『楽器の音』付録ファイルです。

書籍部分の 3 章最後（p.223）までは共通のページ数となります。

書籍部分の「引用・参考文献」を外し，あとがきにページ数を続けています。

（「引用・参考文献」は付録部分での文献も含めて，改めて付録ファイルに記載しています）

目次については，書籍部分と付録部分をあわせた全体目次となっています。

また，索引については，書籍部分と付録部分をあわせた全体索引が付録ファイルにあります。

目　　次

1. 「楽器」って何？

1.1 どこまでが「楽器」？ …… 1
1.2 本書で扱う楽器 …… 2
1.3 音ってなに？ …… 2
1.3.1 音は媒質中の疎密波 …… 2
1.3.2 可　聴　域 …… 4
1.3.3 音波の伝搬の直感的説明 …… 5
1.4 音の3属性 …… 6
1.4.1 音の大きさ …… 6
1.4.2 音の高さ (I) …… 8
(1) 音色的高さ …… 9
(2) トーンクロマ …… 10
1.4.3 音の高さ (II)「音の高さの表し方」 …… 12
(1) 周波数で表す場合 …… 12
(2) 音名で表す場合 …… 12
(3) 基準にした音高からの音程で表す場合 …… 14
1.4.4 音の高さ (III)「高さの開きの表し方」 …… 15
(1) 周波数比 …… 15
(2) 度数表記 …… 16
(3) 半音の数による表現 …… 17
(4) 半音以下の音程の表し方 …… 18

1.4.5 音 色 …… 18
1.5 楽器の分類 …… 20
1.5.1 気鳴楽器 …… 21
1.5.2 弦鳴楽器 …… 21
1.5.3 膜鳴楽器 …… 22
1.5.4 体鳴楽器 …… 22
1.5.5 電鳴楽器 …… 23
1.5.6 楽器の分類のまとめ …… 25
1.6 本書での楽器の取り上げ方 …… 26
1.7 本書の構成 …… 27

2. 楽器の構造と発音機構

2.1 気鳴楽器 …… 29
2.1.1 細分類と代表的な楽器 …… 30
2.1.2 発音体とその振動 …… 31
(1) リップリード楽器 …… 31
(2) エアーリード楽器 …… 33
(3) リード木管楽器 …… 35
(4) フリーリード楽器 …… 37
(5) オルガン（パイプオルガン） …… 38
2.1.3 気鳴楽器の物理 …… 40
(1) 円筒管内の音波 …… 40
(a) 円筒開管の場合 …… 41
(b) 円筒閉管の場合 …… 42
(c) 同じ長さの開管と閉管の違い …… 43
(2) 円錐管内の音波 …… 44
(a) 円錐はほぼ球の一部 …… 44

（b） リップリード楽器は閉管なのに開管のような特性 …… 45
（3） 開口端補正 …… 46
（4） リップリード楽器の実効管長を変える機構 …… 46
（a） トランペットやホルンのバルブはなぜ3本？ 46
（b） さらに高域を使う場合 …… 48
（c） ホルンにはバルブが 4 つついているのがあるけど … …… 48
（5） 音域の変更 …… 49
（a） リップリード楽器 …… 49
（b） エアーリード楽器 …… 49
（c） リード木管楽器 …… 49
（6） 音の増強と大気中への音の放射 …… 51
2.2 弦 鳴 楽 器 …… 52
2.2.1 細分類と代表的な楽器 …… 52
（1） 弦鳴楽器の励振方法による分類 …… 53
（a） 撥弦楽器 …… 53
（b） 擦弦楽器 …… 53
（c） 打弦楽器 …… 54
（2） 各分類細目について …… 54
（a） 撥弦楽器 …… 54
（b） 擦弦楽器 …… 56
（c） 打弦楽器 …… 59
2.2.2 発音体とその振動 …… 62
（1） 「撥弦による弦振動」の概念的説明 …… 62
（a） 弦の瞬時波形 …… 62
（b） ブリッジにかかる力 …… 64
（c） 開放弦の音高 …… 64

(d) はじく位置を変えると … 64
(e) 時間減衰の効果 … 65
(2) 「擦弦による弦振動」の概念的説明 … 65
(a) 「くっつき」と「すべり」(stick and slip) 65
(b) 定常的な振動の維持 … 66
(c) ヘルムホルツ運動 … 66
(d) 運弓方向とキンクの回転方向 … 68
(3) 「打弦による弦振動」の概念的説明 … 69
(a) ピアノにおける打弦 … 69
(b) 打弦の振動波形 … 70
2.2.3 楽器としての音響特性の付与 … 71
(1) 撥弦楽器 … 72
(2) 擦弦楽器 … 72
(3) 打弦楽器 … 74
(a) 打鍵から響板の振動まで … 75
(b) ペダルによる音作り … 76
2.2.4 弦鳴楽器の物理 … 78
(1) 固有振動 … 78
(2) 弦の固有振動の導出 1（簡単な説明） … 79
2.3 膜 鳴 楽 器 … 83
2.3.1 奏法による細分類と代表的な楽器 … 84
(1) 打奏太鼓 … 84
(2) 摘奏太鼓 … 84
(3) 擦奏太鼓 … 84
(4) 歌奏太鼓 … 85
2.3.2 発音体とその振動 … 85
(1) 2 次元座標上の点集合としての膜の振動 … 86
(2) 音が減衰する楽器の場合 … 88

（3） 音が持続する楽器の場合 …… 88
2.3.3 楽器としての音響特性の付与 …… 90
（1） 空気と胴による効果 …… 90
（2） 共鳴膜の効果 …… 92
（3） 音の増強と大気中への音の放射 …… 93
2.3.4 膜鳴楽器の物理 …… 94
（1） 円形膜の固有モード …… 94
（2） 励振と境界条件 …… 94
2.4 体 鳴 楽 器 …… 96
2.4.1 奏法による細分類と代表的な楽器 …… 96
（1） 打奏体鳴楽器 …… 96
（2） 摘奏体鳴楽器 …… 97
（3） 擦奏体鳴楽器 …… 97
（4） 吹奏体鳴楽器 …… 97
2.4.2 他 の 分 類 法 …… 98
（1） 音の減衰／持続による分類 …… 98
（a） 音が減衰する体鳴楽器 …… 98
（b） 音が持続する体鳴楽器 …… 98
（2） 定音高／不定音高による分類 …… 99
（a） 音高の定まった音を出す体鳴楽器 …… 99
（b） 音高感の不明確な音を出す体鳴楽器 …… 99
2.4.3 発音体とその振動 …… 100
（1） 発音体の振動と音としての空気の振動 …… 100
（2） まっすぐな棒の振動 …… 100
（3） 円板の振動 …… 102
（4） 板の振動における非線形効果 …… 103
2.4.4 体鳴楽器の物理 …… 104
（1） 鍵盤打楽器における音色の調整 …… 104

(2) 音の増強と大気中への音の放射 …… 105
2.5 電 鳴 楽 器 …… 106
2.5.1 細分類と代表的な楽器 …… 107
(1) 真正電鳴楽器 …… 107
(2) 電鳴擬楽器 …… 107
(3) 外見的電鳴楽器 …… 108
(a) 録音再生型の外見的電鳴楽器 …… 108
(b) ピックアップ型外見的電鳴楽器 …… 109
(c) 演奏情報入力装置 …… 110
2.5.2 電気楽器・電子楽器の歴史 …… 111
2.5.3 音の合成方式・発生方式 …… 114
(1) ヘテロダイン方式 …… 114
(2) 放送機器の利用 …… 115
(3) ミュージック・シンセサイザ …… 115
(4) 録音編集合成 …… 117
(5) ピックアップ型 …… 117
(6) センサー+アクチュエータ型，MIDI コントローラ 118

3. 楽 器 の 音

3.1 気 鳴 楽 器 …… 122
3.1.1 リップリード楽器 …… 122
(1) トランペットとコルネット …… 122
(a) ヴィヴラート …… 125
(b) ノーマル音とミュート音の比較 …… 126
(2) ホ ル ン …… 127
(a) ゲシュトップト …… 127
(b) マウスピースが共鳴特性に与える影響 …… 128

3.1.2　エアーリード楽器 …… 129
（1）　フルート …… 129
（a）　トリル …… 130
（b）　ヴィブラート …… 131
（c）　トレモロ+ヴィブラート …… 132
（2）　リコーダー …… 133
（a）　トリル …… 133
（b）　ヴィブラート …… 134
3.1.3　リード木管楽器 …… 134
（1）　シングルリード木管楽器 …… 134
（a）　クラリネット …… 134
（b）　サクソフォン …… 136
（2）　ダブルリード木管楽器 …… 141
（a）　オーボエ …… 141
（b）　ファゴット …… 143
3.1.4　フリーリード楽器 …… 145
（1）　ハーモニカ …… 145
（2）　アコーディオン …… 146
3.1.5　オルガン（パイプオルガン） …… 147
3.2　弦鳴楽器 …… 149
3.2.1　撥弦楽器：ギター …… 149
（1）　開放弦と押弦の音色の違い …… 149
（2）　波形の類似性 …… 151
（3）　奏法による音の違い …… 151
（4）　ハーモニックス（フラジオレット） …… 154
（5）　ハーモニックスを使った純正律調弦 …… 157
3.2.2　擦弦楽器：ヴァイオリン …… 159

(1) 現在のヴァイオリン属楽器の サイズによる音色の違い …… 159
(2) 周波数スペクトルからわかること …… 161
(3) 音の強さの違いによる音色の違い …… 162
(4) 押弦による音と開放弦の音の比較 …… 162
(5) スル・ポンティチェーロとスル・タスト …… 163
(6) フラジオレット …… 165
(7) ハーモニックスを使った純正律調弦 …… 166
(8) ダブルストップ …… 166
(9) ヴィブラート …… 167
(10) ピッツィカート …… 168
(11) 個々のヴァイオリンの違い …… 169
3.2.3 打弦楽器：ピアノ …… 170
(1) 3 大メーカーのグランドピアノの波形包絡 …… 172
(2) 立ち上がり，最大振幅到達後，減衰部の波形 …… 173
(3) メーカーによる C4 音の周波数スペクトルの違い … 173
(4) 高調波の時間減衰 …… 174
(5) 音域による周波数スペクトルの違い，音程感覚の違い …… 175
(6) 打鍵強度による音色の違い …… 178
(7) 高調波の減衰 …… 179
(8) ダンパーの効果 …… 180
(9) ウナコルダ・ペダルの効果 …… 182
3.3 膜 鳴 楽 器 …… 186
3.3.1 打奏膜鳴楽器 …… 187
(1) ティンパニ …… 187
(2) ボ ン ゴ …… 190
(3) バスドラム …… 190

(4) スネアドラム …… 192
(5) 日本の打奏膜鳴楽器 …… 195
(a) 和太鼓 …… 195
(b) 鼓 …… 196
3.3.2 擦奏膜鳴楽器 …… 198
3.3.3 歌奏膜鳴楽器 …… 199
3.4 体鳴楽器 …… 199
3.4.1 定ピッチ体鳴楽器 …… 199
(1) マリンバ …… 199
(2) ヴィブラフォン …… 203
3.4.2 不定ピッチ体鳴楽器 …… 204
(1) シンバル …… 204
(2) トライアングル …… 207
3.5 電鳴楽器 …… 210
3.5.1 真正電鳴楽器 …… 211
3.5.2 外見的電鳴楽器 …… 214
(1) 電磁ピックアップを用いるもの（エレキギター以外） …… 214
(2) エレキギター …… 215
(a) 指弾きとピック弾きの違い …… 216
(b) 波形包絡での比較 …… 216
(c) 周波数スペクトルでの比較 …… 217
(d) 同一の高さの音の機種による違い …… 219
(e) ミュートの効果 …… 221
(f) フィードバック奏法 …… 222
あとがき …… 224

付　録

まえがきの補足 …… *230*

A. 楽 器 の 音 域

B. ホルンボステルとザックスによる楽器の分類

B.1　ホルンボステルによる最初の楽器の分類 …… *240*
（1）　体鳴楽器 …… *240*
（2）　膜鳴楽器 …… *241*
（3）　弦鳴楽器 …… *242*
（4）　気鳴楽器 …… *244*
B.2　ザックスによる電鳴楽器の追加 …… *245*

C. 微分方程式と差分方程式**

C.1　物理法則から導かれる微分方程式* …… *247*
C.1.1　万有引力による物体の落下運動 …… *247*
（1）　空気による抵抗を考慮した場合 …… *248*
（2）　空気による抵抗を無視した場合 …… *249*
（3）　放物線の式の導出 …… *250*
C.1.2　波 動 方 程 式 …… *250*
（1）　空気の伸縮による縦波 …… *250*
（2）　弦を伝わる横波 …… *251*

C.2　ダランベール解が波動方程式の解であることの確認** …… 253
C.3　コンピュータシミュレーションのための差分方程式** …… 254
C.3.1　差 分 方 程 式 …… 254
C.3.2　誤差の蓄積を抑える方法 …… 256

D. 音　階・音　律

D.1　音 階 の 根 拠 …… 257
D.1.1　調波構造からの説明 …… 257
D.1.2　「ソ」と「ファ」は「ド」から見て重要な音 …… 258
D.1.3　テトラコードの積み重ねによる説明 …… 258
D.1.4　純正律の不都合 …… 259
（1）　主要三和音 …… 259
（a）　長調の場合 …… 259
（b）　短調の場合 …… 260
（2）　多様な「半音」 …… 261
（3）　「レ」が 2 つ必要であることは昔からわかっていた 261
D.1.5　機能和声と調性音楽 …… 262
（1）　和音の転回 …… 262
（2）　4 音以上からなる和音 …… 263
（3）　終 止 形 …… 263
D.2　音　　律 …… 264
D.2.1　音律を最初に考えたのはピタゴラス？ …… 264
D.2.2　中国の三分損益法 …… 265
D.2.3　なぜいろいろな音律があるの？ …… 267
（1）　ミーントーン音律 …… 267
（2）　キルンベルガー音律 …… 268
（3）　ヴェルクマイスター音律 …… 268

(4) ヤング音律 …… 268
(5) 純 正 律 …… 269
(6) 平 均 律 …… 270
(a) 12平均律 …… 271
(b) 53平均律 …… 271
D.2.4 なぜ長調は楽しくて短調は悲しいの？ …… 274
D.3 チューニング …… 277
D.3.1 オーケストラのチューニング …… 278
D.3.2 個別楽器のチューニング …… 278
(a) 5度調弦（ヴァイオリン，ヴィオラ，チェロ，マンドリンの調弦） …… 278
(b) 4度調弦（ギター，コントラバス，エレキギター/ベースの調弦） …… 279
(c) ピアノの調律 …… 280
(d) 管楽器のチューニング …… 281
D.3.3 和楽器のチューニング …… 281

E. 楽器各論補足

E.1 気 鳴 楽 器 …… 283
E.1.1 気鳴楽器の分類と代表的な楽器 …… 283
(1) リップリード楽器 …… 283
(a) トランペットとコルネット …… 285
(b) トロンボーン …… 286
(c) ホ ル ン …… 287
(2) エアーリード楽器 …… 289
(a) フルート …… 290
(b) リコーダー …… 291

（c） オカリーナ …… 292
（3） リード木管楽器 …… 294
（a） シングルリード木管楽器 …… 295
（b） ダブルリード木管楽器 …… 300
（4） フリーリード楽器 …… 303
（a） ハーモニカ …… 305
（b） リードオルガンとハーモニウム …… 305
（5） オルガン（パイプオルガン） …… 305
E.1.2 流体を伝わる音の波動方程式** …… 307
（1） 大気中の音の波動方程式 …… 307
（2） 波動方程式の導出 …… 307
（a） 音場を表す物理量 …… 307
（b） 運動方程式 …… 309
（c） 空気の弾性的性質 …… 310
（d） $\boldsymbol{\xi}$ に関する波動方程式と p に関する波動方程式 …… 311
（e） 速度ポテンシャル ϕ の導入 …… 312
（f） $\boldsymbol{\phi}$ を使った波動方程式 …… 313
（3） 座標系のとり方と代表的な波形 …… 314
（a） 座標系のとり方 …… 314
（b） 各座標系で表される代表的な波形 …… 316
（4） 境界条件の例 …… 324
（a） 自由空間中での点音源 …… 324
（b） 直方体の空間 …… 324
（c） 直管内部の気柱 …… 326
E.1.3 気鳴楽器に関する特記事項と留意事項 …… 327
（1） 木管楽器の指孔とリップリード楽器の迂回管 …… 327
（a） 木管楽器の運指 …… 327

(b) リップリード楽器の自然倍音列による音高 330
E.2 弦 鳴 楽 器 331
E.2.1 弦鳴楽器の分類と代表的な楽器 331
(1) 撥弦楽器：ギター 331
(a) 起 源 331
(b) 派生楽器 334
(c) ギターの構造 335
(d) ギター以外の撥弦楽器 342
(2) 擦弦楽器：ヴァイオリン 361
(a) サイズのヴァリエーション 361
(b) ヴァイオリン属の構造 362
(c) ヴァイオリン属以外の擦弦楽器 369
(3) 打弦楽器：ピアノ 382
(a) グランドピアノとアップライトピアノ 382
(b) 各部の説明 386
E.2.2 弦を伝わる波の方程式 397
(1) 横波の波動方程式** 397
(a) 両端固定の場合の境界条件から決まってくる固有振動 399
(b) 撥弦の場合の初期条件と横波の時間推移 402
(c) 打弦の場合の初期条件と横波の時間推移 403
(d) 擦弦の場合の定常振動の発生条件 408
(e) 振動の減衰 410
(2) 縦波の波動方程式** 413
E.3 膜 鳴 楽 器 415
E.3.1 奏法による膜鳴楽器の分類と代表的な楽器 415
(1) 打奏太鼓 415
(a) 胴なし（枠のみ）1 枚膜 416

（b） 胴あり 1 枚膜 …… 416
（c） 2 枚 膜 …… 417
（d） 邦楽器の膜鳴楽器 …… 418
（2） 摘奏太鼓 …… 419
（3） 擦奏太鼓 …… 420
（a） 打奏用ドラムの擦奏 …… 420
（b） 摩擦ドラム …… 420
（4） 歌奏太鼓 …… 421
E.3.2 膜 の 振 動** …… 422
（1） 式の形の上での説明 ** …… 422
（2） 励振と境界条件 …… 424
E.3.3 膜鳴楽器の物理** …… 425
（1） 波動方程式の導出 …… 425
（a） 湾曲した膜にかかる復元力 …… 425
（b） 慣性力との釣り合い …… 426
（2） 波動方程式の解 …… 426
（a） 平 面 波 …… 426
（b） 円形膜の固有モード …… 429
E.4 体 鳴 楽 器 …… 430
E.4.1 多様な素材・形状・奏法 …… 430
（1） 音高感による分類 …… 430
（a） 定ピッチ楽器：マリンバ，チェレスタなど 431
（b） 不定ピッチ楽器：カスタネットなど …… 431
（2） 発音体の素材による分類 …… 431
（a） 木： …… 431
（b） 金 属： …… 431
（c） 石： …… 431
（d） ガラス： …… 432

（e） 植物の種： …… 432
（3） 発音体の形状による分類…… 432
（a） 直　棒：…… 432
（b） 曲　棒：…… 432
（c） 板　状：…… 432
（d） 皿　状：…… 432
（e） 箱　状：…… 432
（f） 釣鐘状：…… 432
（4） 奏法による分類 …… 432
E.4.2 発音体とその振動…… 433
（1） まっすぐな棒の振動 …… 433
（2） 曲がった棒の振動…… 435
（3） 板（平板，皿状，つりがね状）の振動…… 438
（4） 板を曲げて音を変える楽器 …… 440
（5） 鍵盤型体鳴楽器について…… 441
E.4.3 固体の振動に関する補足 …… 442
E.5 電 鳴 楽 器…… 443
E.5.1 20 世紀以降の音楽に使われた音 …… 443
（1） 初期のヘテロダイン合成音 …… 443
（2） ミュージック・シンセサイザの音…… 443
（3） そ の 他…… 444
（a） テープ音楽 …… 444
（b） テープ音楽，その後 …… 445
（c） 1970 年以後の音楽とそこで使われた音…… 452
E.5.2 音合成法・音源駆動法 …… 454
（1） ヘテロダイン方式…… 454
（a） テルミン…… 454
（b） オンド・マルトノ …… 456

（2） 加算合成 …… 459
（a） ハモンドオルガン …… 460
（b） RCA Mark-II（通称：“Victor”） …… 462
（3） 減算合成** …… 463
（a） トラウトニウム …… 467
（b） モーグシンセサイザ …… 469
（4） MIDI 規格制定後の音合成型シンセサイザ …… 470
（a） FM 合成 …… 470
（b） PCM 合成（発音源が電気とは認めにくい） 473
（c） 物理モデルシンセサイザ …… 475
（5） 自動演奏装置 …… 477
（a） 機械的自動演奏装置 …… 477
（b） 自動ピアノ …… 482
（6） 信号ピックアップ型電気楽器 …… 492
（a） 電磁ピックアップを使うもの …… 492
（b） 圧電素子を使うもの …… 497
（c） マイクロフォンを使うもの …… 498
（7） MIDI コントローラ …… 499
（a） トリガーコントローラ …… 499
（b） 標準キーボード …… 500
（c） ウィンドコントローラ …… 500
E.5.3　電鳴楽器の分類まとめ …… 501
（a） 真性電鳴楽器 …… 501
（b） 電鳴擬楽器 …… 503
（c） 外見的電鳴楽器 …… 503

F. 奏 法 概 説

F.1 緩急と強弱，どっちが重要？ …… 505
F.2 楽器ごとの固有の奏法 …… 506
F.2.1 気 鳴 楽 器 …… 506
（1） 全般的奏法 …… 508
（a） アンブシュール …… 508
（b） オクターヴキー，レジスターキーの使用 … 508
（c） オーバーブロウイング …… 509
（d） タンギング …… 509
（2） 個別の奏法 …… 509
（a） トレモロ …… 509
（b） ヴィブラート …… 510
（c） ト リ ル …… 511
（d） ゲシュトップト (ストッピング) …… 512
F.2.2 弦 鳴 楽 器 …… 512
（1） ギターの奏法 …… 512
（a） 音楽ジャンルによる奏法・弦の区分 …… 512
（b） 指弾きにもピック弾きにもある奏法 …… 514
（c） 指弾き限定の奏法 …… 518
（d） ほぼエレキギター特有の奏法（クラシックギターでも可能） …… 519
（2） ヴァイオリンの奏法 …… 520
（a） レガート／デタシェ (legato/detaché) …… 520
（b） スタッカート／テヌート (staccato/tenuto) 520
（c） ポルタート (portato) …… 521
（d） ハーモニックス（フラジオレット）(harmonics/flageolet) …… 521
（e） ピッツィカート (pizzicato) …… 522
（f） トリル (trill) …… 522

（g） ヴィブラート (vibrato)…… 522
（h） トレモロ (tremolo) …… 523
（i） ポルタメント (portamento) …… 523
（j） グリッサンド (glissando) …… 523
（k） アルペジオ（arpeggio, 分散和音） …… 523
（l） スル・ポンティチェーロ／スル・タスト
(sul ponticello/sul tasto) …… 523
（m） スピッカート【伊】(サルタート【伊】, ソティエ【仏】, シュプルングボーゲン【独】) (spiccato/saltato, sautillé, Sprungbogen） …… 523
（n） リコシェ（ricochet） …… 524
（o） コル・レーニョ (col legno) …… 524
（p） スコルダトゥーラ (scordatura) …… 524
（q） 多重音奏法, マルチストップ (multi-stops) 524
（3） ピアノの奏法…… 529
（a） 演奏のコントロール要素…… 529
（b） ペダル操作（pedalling） …… 530
（c） グリッサンド（glissando） …… 531
（d） ハーモニックス（harmonics） …… 531
（e） トリル（trill） …… 532
（f） トレモロ（tremolo） …… 532
F.2.3 膜 鳴 楽 器 …… 532
（1） 打　奏…… 533
（a） 団扇太鼓（うちわたいこ）…… 533
（b） ティンパニ …… 533
（c） バスドラム …… 534
（d） スネアドラム…… 534

（e） コンガ，ボンゴ …… 535
（f） 和 太 鼓 …… 535
（g） 鼓 …… 535
（2） 摘 奏 …… 536
（a） カ マ ク …… 536
（b） エクターラ …… 536
（3） 擦 奏 …… 537
（a） クイーカ …… 537
（b） ライオンズロアー …… 537
（c） 打奏膜鳴楽器の擦奏 …… 537
（4） 歌 奏 …… 537
（a） カ ズ ー …… 537
（b） ユーナックフルート …… 537
F.2.4 体 鳴 楽 器 …… 537
（1） 奏法の多様性 …… 537
（2） 多様な励振法 …… 537
（a） 叩く，打つ（トライアングル，チューブラーベルなど） …… 538
（b） 打ち合わせる（合わせシンバル，カスタネットなど） …… 538
（c） 振る（マラカス，シェーカー，ハンドベルなど） …… 538
（d） はじく（サンザなど，親指ピアノの類） …… 539
（e） ひっかく，こする（ギロ，サンドペーパー，グラスハープ等） …… 539
（3） 体鳴楽器の奏法 …… 539
（a） 打叩具を使う：トライアングルなど …… 539
（b） 発音体を打ち合わせる：合わせシンバルなど 539

（c） 多重衝突させる：マラカスなど …… 540
（d） 吊り下げられた発音体をマレットで叩く：チューブラーベルなど …… 540
（e） 音高ごとの担当者が必要：ハンドベルなど 540
（f） 共鳴しやすいものをこする：グラスハーモニカ …… 540
（g） 素手やマレットで発音体を叩く: スティールパンなど …… 540
（h） 鍵盤状配置の音板をマレットで叩く：木琴, 鉄琴の類 …… 541
（i） 鍵盤・打叩機構を使う：チェレスタ …… 541
（4） 定ピッチ体鳴楽器の奏法 …… 542
（a） 旋律楽器としての使用 …… 542
（b） 高さは変えられるが旋律楽器としては使わない場合 …… 543
F.2.5 電 鳴 楽 器 …… 544
（1） テルミン …… 544
（2） オンド・マルトノ …… 544
（3） トラウトニウム …… 545
（4） 鍵盤の使用 …… 545
（5） 在来楽器（の奏法）の流用 …… 546
（6） 在来楽器そのものを流用するもの …… 548
（7） 創作的奏法・他の感覚情報との統合 …… 549

G. 楽 器 雑 談

G.1 管 楽 器 関 係 …… 551

G.1.1 ゴールドのフルートは普通の (洋銀の) フルートよりもいい音がするの？ …… 551
（1） 話の発端 …… 551
（2） 現　　状 …… 551
（3） 実 際 は …… 552
（4） 最近の研究 …… 553
G.1.2 トランペットにリードを付けたらどうなるの？ …… 553
G.1.3 コルネットって昔は角笛だった …… 555
G.1.4 バルブを組み合わせて使うと下り方が足りない？ …… 558
G.2 弦 楽 器 関 係 …… 559
G.2.1 ネックをもつ弦楽器の歴史的経緯 …… 559
（1） ギターやヴァイオリンはどこから来たの？ …… 559
（a） 古代ギリシャの弦楽器はキタラーやリュラーだった …… 560
（b） 腕がなくてもブリッジをもつならリラ属 … 560
（c） リラには撥弦と擦弦があった …… 561
（2） ヴァイオリンが生まれる前にはどんな弦楽器があったの？ …… 562
（a） キリスト教圏の楽器とイスラム圏の楽器の混在 …… 562
（b） フィドルからリラ・ダ・ブラッチオへ …… 568
（c） リラ・ダ・ブラッチオのヴァリエーション 571
（d） リラ・ヴィオーラ …… 575
G.2.2 バロック期の弦楽器の華「ヴィオラ・ダ・ガンバ」 …… 576
（1） ヴィオラ・ダ・ガンバって，どんな楽器？ …… 577
（2） ビウエラ・デ・アルコがヴィオラ・ダ・ガンバに 580
（3） バッハにとってのヴィオラ・ダ・ガンバ …… 582
（4） コントラバスはヴィオラ・ダ・ガンバの生き残り 583

(5) ヴィオラ・ダ・ガンバのヴァイオリン化 …… 584
(6) 18世紀になっても，まだヴィオラ・ダ・ガンバの奏者がいた …… 584
(7) アルペジオーネ：ヴィオラ・ダ・ガンバの亡霊？ … 585
(a) アルペジオーネはなぜ広がらなかった？ … 587
(b) エレキ・アルペジオーネ？ …… 588
G.2.3 ヴァイオリンは結局何から生まれたの？ …… 589
(1) 基になったのはリラ・ダ・ブラッチオとレベック … 589
(2) ヴァイオリン誕生直前の状況 …… 589
(3) 16〜17世紀の弦楽器つくり …… 590
(4) 最初にヴァイオリンを作ったのはどこの誰？ …… 591
(5) 弦 の 数 …… 592
(a) 最初は3弦だった …… 592
(b) 4弦になったのはいつ？ …… 593
(6) 「ヴァイオリン」のイタリア語「ヴィオリーノ」は早くから使われた …… 594
(7) 魂柱やバスバーのアイデアはどこから？ …… 595
(8) 初期のヴァイオリンとそれを取り巻く状況 …… 596
(9) 現存する最古のヴァイオリン譜 …… 597
(10) 在来楽器としてのヴィオラ・ダ・ガンバと新しい楽器ヴァイオリン …… 599
(11) ヴィオラとチェロの間の楽器は忘れ去られた …… 600
(12) ヴァイオリン作りの最盛期の状況 …… 601
(a) クレモナとブレッシア，アプサム …… 601
(b) アマーティ一族（クレモナ） …… 605
(c) アマーティの工房 …… 606
(d) ストラディヴァーリ（クレモナ） …… 608

(e) グァルネリ一族(クレモナ, マントーヴァ, ヴェネツィア) …… 613
(f) グランチーノ一族(ミラーノ, クレモナ) 615
(g) テストーレ一族 …… 615
(h) グァダニーニ一族(クレモナ, ミラーノ, トリーノ) …… 615
(i) カミーロ(カミッロとも)(マントーヴァ) 616
(j) ヴェネツィア派(ゴフリラーとモンタニャーナ, セラフィン) …… 617
(k) トノーニ一族(ボローニャ) …… 617
(l) ガリアーノ一族(ナポリ) …… 617
(m) ドイツ・オーストリア(シュタイナー, クロッツ, アルバーニ) …… 618
(n) フランス(リュポ, シャノー, ヴィヨーム) 621
(o) その他の地域 …… 621
(13) 初期のヴァイオリン奏者が使ったヴァイオリン … 622
G.2.4 ヴァイオリンはなぜ古い名器が珍重されるの? …… 624
(1) 現役の機能的美術品に履歴価値が上乗せされて … 624
(2) オールドヴァイオリンと新作ヴァイオリンでは音や弾き心地が違うの? …… 628
(a) インディアナポリスでの実験(2010 年) · 628
(b) パリのヴァンセンヌ劇場での実験(2012 年) …… 629
(3) ヴァイオリンはなぜ偽物が出回るの? …… 630
(4) いいヴァイオリンを新しく作ることはできないの? 632
G.2.5 ヴァイオリン奏者の系譜 …… 633
(1) コレッリとイタリア楽派 …… 633
(a) コレッリ …… 634

（b） コレッリ以前 …… 636
（c） コレッリ以後 …… 637
（2） ドイツ楽派とその影響 …… 640
（3） フランス楽派など …… 641
（4） そ の 他 …… 642
G.2.6 弓 の 進 化 …… 644
G.2.7 モダンヴァイオリンって何？ …… 647
（a） 具体的な改造点 …… 648
（b） 弦の素材 …… 649
G.2.8 StradivariusとGuarneriusの聞き分けはできるの？分析でわかるの？ …… 650
G.2.9 ウルフトーンはどうして起きるの？ …… 651
G.2.10 木製の楽器には塗料を塗らないほうがいい？ …… 652
G.2.11 3D プリンターでヴァイオリンを作れる？？？ …… 653
G.2.12 こんな弾き方もある …… 654
（1） ペンデレツキにおける弦楽四重奏 …… 654
（2） ルントボーゲン（曲がった弓）の使い方 …… 655
（a） 古楽器の弓として …… 655
（b） 現代曲用の弓として …… 656
（3） 小鳥の鳴き声 …… 657
G.3 ピ ア ノ 関 係 …… 657
G.3.1 ピアノの発展の歴史 …… 657
（1） 打弦機構の発明 …… 659
（2） 改良過程 …… 659
（3） ペリオド楽器による演奏コンクール …… 661
G.3.2 ピアノメーカー …… 662
（1） 御 三 家 …… 662
（2） 各社の特徴 …… 662

G.3.3 ピアノの調律 …… 663
（1） 音律の問題 …… 663
（2） 低域・高域の音程感覚 …… 664
（3） 複　弦 …… 664
（4） オクターヴ内の 12 音の調律例 …… 665
（5） 上下オクターヴへの拡張 …… 666
G.3.4 ピアノの音はタッチによって変わるの？ …… 666
G.3.5 自動ピアノってどういう仕組みなの？ …… 668
G.3.6 アップライトピアノの改良 …… 670
G.3.7 こんな弾き方もある …… 671
（1） プリペアードピアノ …… 671
（2） タチェット …… 671
（3） 内部奏法 …… 672
G.4 そ　の　他 …… 673
G.4.1 和楽器も進化している …… 673
（1） 箏 …… 673
（a） 古墳時代からあった箏 …… 673
（b） 箏の調弦 …… 674
（c） 箏の改良 …… 675
（d） 絃数の拡大 …… 675
（2） 尺　八 …… 676
（a） 尺八は「一尺八寸」のものだけを指す？ …… 676
（b） 法器からの解放 …… 677
（c） 洋楽器との協奏のための地塗り尺八 …… 678
G.4.2 和歌や俳句は七五調じゃなくて 4 拍子！ …… 679
（1） 七五調とか十七文字って，なにを数えるの？ …… 679
（2） 4 拍子でのカウント例 …… 680

H. 楽器に関する歴史的文献

H.1 Agricola の「ドイツの器楽」(16 世紀前半) …… 687
H.1.1 第 1 種楽器（空気楽器） …… 692
(1) 第 1 類：人間の息によって音を出す楽器 …… 693
(a) 指孔のある管楽器（実質的には「木管楽器」） 693
(b) 指孔のない管楽器（実質的には「リップリード楽器」） …… 698
(c) 折衷楽器　指孔をもつリップリード楽器 … 699
(2) 第 2 類：溜めた空気を送り出すことによって音を出す楽器 …… 700
(a) ザックファイフ …… 700
(b) オルガン類 …… 702
H.1.2 その他の種類（弦楽器と打楽器） …… 705
(1) 弦楽器第 1 類：ネックをもつ弦楽器 …… 705
(a) 撥弦楽器 …… 705
(b) 擦弦楽器 …… 707
(2) 弦楽器第 2 類：ネックをもたず鍵盤をもつ弦楽器 720
(3) 弦楽器第 3 類：ネックも鍵盤ももたない弦楽器 … 721
(4) 打 楽 器 …… 724
(5) 補足（あったはずなのに記述がない重要な楽器） 724
(a) 撥弦楽器：ビウエラ・デ・マノ …… 724
(b) 擦弦楽器：リラ・ダ・ブラッチオ／ガンバ … 728
H.2 Praetorius の「音楽大全」(17 世紀前半) …… 730
H.2.1 分類と楽器名の伊・独・仏・英語間対応 …… 730
H.2.2 各　　論 …… 739

(1) 空気楽器 …… 739
(a) 人が吹くもの …… 739
(b) ふいごを使う楽器 …… 750
(2) 空気楽器以外（弦楽器と打楽器） …… 752
(a) 弦 楽 器 …… 752
(b) 非弦楽器（打楽器） …… 783
H.2.3 補足（出版後のバロック楽器で記述のないもの） …… 784
(1) ヴィオラ・ダモーレ …… 784
(2) バリトン（ヴィオラ・ディ・ボルドーネ） …… 785

I. 用 語 集

I.1 50 音 順 …… 786
I.2 アルファベット順 …… 860

J. 音のファイル

J.1 元 デ ー タ …… 867
J.1.1 RWC 楽器音 DB …… 867
J.1.2 編著者による録音 …… 868
J.1.3 レコードからの録音 …… 868
J.1.4 ネットからの録音 …… 868
J.2 音のファイル …… 869
J.2.1 第1・2章関係 …… 869
J.2.2 第 3 章 関 係 …… 870
J.2.3 付 録 関 係 …… 870

K. 弦振動のシミュレーション

K.1　アニメーション 1　撥弦（ギター）…… 877
K.2　アニメーション 2　打弦（ピアノ）…… 880
K.3　アニメーション 3　擦弦（ヴァイオリン）…… 885
引用・参考文献 …… 887
索　　引 …… 896

付　　録

まえがきの補足

1．難読部分について

記述が多少難しくて読みづらく，とりあえずはわからなくても構わないというような箇所（節や項の標題，および文末）には「＊」や「＊＊」などで，読み飛ばしても差し支えないことを示しておく。「＊」は理系志望の高校生なら，がんばれば理解できるレベルの内容，「＊＊」は理工学系の大学の教養部（1〜2 年生）程度の理解力を要するレベルの内容である。本書を読み物として読む場合には，これらはすべて読み飛ばしても構わないし，それで本質的なことは十分理解できるはずである。

2．表記について

a．音名をドイツ式で書くかアメリカ式で書くか

音楽に関する理論書はヨーロッパ系のものが多いので，音名を当初はキルンベルガーの「純正作曲の技法」[12] に従ってドイツ方式（C,D,E,F,G,A,H,C）で書いていたが，管楽器のサイズの呼び方については，アメリカ方式（C,D,E,F,G,A,B,C）の「B♭ 管（ビー・フラットかん）」という呼び方の方がドイツ式の「B 管（ベーかん）」よりも多い（誤解の余地がないから？）ようなので，後でアメリカ方式に書き直した。ただし，付録の図 E.24 は書き直していない。わかりにくいが，この図の「H」は米国式の「B」，「B」は米国式の「B♭」と読み替えていただきたい。他にも書き直し漏れがあるかもしれない。

b．長音記号

理工系では，外来語の語末の長音記号について，（特に英語の場合には）元の綴りが “-ar”，“-er”，“-or”で，カナ表記で末尾に長音記号を書くとそれを含めて 3 文字以上になる単語の場合は書かない（2 文字の場合は書く）ことになっている。ところが，guitar がギタ，power がパワ，color がカラ，cover カヴァやカバではおかしいし，日常的にはこれらはギター，パワー，カラー，カバーと表記されるので，3 文字（3 モーラ）の場合はここでも世間一般の慣習に従うようにする。hammer や sensor はカナ書きにすると 4 文字（4 モーラ）になるが，ハンマやセンサではわかりにくいのでハンマー，センサーとする。over は本来

ならオーヴァーとしたいが，オーヴァやオーバではわかりにくいので，慣習に従ってオーバーと表記する。同様に，dulcimer は日本語では 5 文字になるので理工系ルールでは必ず省略されるが，ダルシマやハム・バッカなどのように長音記号を省くと奇異な感じを与える語についても長音記号をつける。固有名詞については Kirnberger をキルンベルガー，Bösendorfer をベーゼンドルファーなどは，長くても慣用的な表記に従った。フィルタ，コンピュータ，シンセサイザなど，長音記号を書かないでも違和感がそれほど大きくないものについては原則として理工系のルールに従う。ただし，上記のように長音記号を削ると違和感を与えるものや，誤解の恐れがあるものについてはこれを残す。

c. 語境界の「・」

日本語としてほとんど 1 語として認識されている（辞書等の見出し表記に「・」がない）とか，「・」を入れなくても視覚的にパターン化が容易で，語境界を誤認識される恐れがない場合は「・」を入れない。（例：パイプオルガン，クラシックギター，テナーサックス，ラウドネスレベルなど）　ただし，日本語特有の省略形（エレキギター，フルアコ，セミアコなど）を使う場合は，初出場所など適当な場所で説明を加える。「・」を入れておかないとわかりにくくなる場合や，辞書の見出しで「・」が入っている場合は，長くなっても入れる。（例：ヴィオラ・ダ・ガンバ，ビウエラ・デ・アルコ，カポ・ダストロ・バーなど）　3 語以上からなる場合は，意味的に大きい境界に「・」を入れる。（例：ウナコルダ・ペダル，ヴァイオリンオクテット・プロジェクトなど）

d. カナ表記

d.1　「v」の音の表記

元の言語での発音が/v/の場合は原則として「ヴァ」行で表記する。
（例：violin【英】→ヴァイオリン，octave【英】→オクターヴ　など）

ただし，日本語でのカナ表記としておもに「バ」行が使われているものについては，元の音にかかわらず，慣習に従って「バ」行で表記する。
（例：vector【英】→ベクトル，valve【英】→バルブ，level【英】→レベル，など）

元の言語での発音が「バ」行の場合は，綴りが「v」であっても「バ」行で表記する。（例：vihuela【西】→ビウエラ，violín【西】→ビオリン　など）

d.2　「di」,「ti」の音の表記

原則として元の言語での発音に近いように表記するが，慣用的な表記にしないと違和感がある場合は慣用表記に従う。
原則に従う例：digital →ディジタル，discant[英],discanto[伊] →ディスカント

原則と慣用が一致する例：timpani →ティンパニ，cutting →カッティング
慣用に従う例：radio →ラジオ，radian →ラジアン，multi →マルチなど

d.3　「z」「x」「j」の音の表記

原則として元の言語での発音に近いように表記するが，慣用的な表記にしないと違和感がある場合は慣用表記に従う。
原則に従う例：zampogna →ザンポーニャ【伊】, zampoña →サンポーニャ【西】
日本での慣用表記と異なるが原則に従う例：México →メヒコ，あるいはメヒコ，Venezuela →ベエスエーラ，bajo →バホ（英：bass）
慣用に従う例：Piazzolla（イタリア系の姓）→【伊】イタリアでの自己紹介ではピアッツォーラ→【西】アルゼンチンでピアソラ，ピアソラ，
原則と慣用が一致する例：pizzicato →ピッツィカート，intermezzo →インテルメッツォ
原則を無視して慣用に従う例：nazi →ナチ，mezzo-soprano →メゾソプラーノ

d.4　「two」の音の表記

慣用的な表記は「ツー」であるが，元の音に近いように書くなら「トゥー」であるので，ポピュラー音楽に頻出する和音進行「II-V」は「トゥー・ファイヴ」とした。

e. ストレス・アクセントの暗示

カナ表記ではアクセントの位置がわかりにくく，日本語のルールで読むと本来の位置からずれることがある。そのような場合はアクセントのある位置に長音符号「ー」を挿入し，それを日本語のルールで読めば自然に原言語のアクセントの音節に強勢がつくようにした。（例：Stradivari ＝ストラディヴァーリ，Amati ＝アマーティ，tenora ＝テノーラ，ocarina ＝オカリーナ）

ただし，長音符号を入れなくても日本語として読めば自然に元のアクセント位置に強勢がついて読まれるような場合には，特に長音符号は入れていない。（例：Stainer ＝シュタイナー，Bergonzi ＝ベルゴンツィ）。

ストレス・アクセントの位置がわかりにくくかつ長音記号を入れると元の言語での発音に比べて音が長くなりすぎる場合は，主な初出場所で上に小さな・印あるいは▼印をつけるか太字にするかで示した。（例：Agricola=アグリコラ，アグリコラ，アグ**リ**コラ，krummhorn=クルムホルン，あるいはクルムホルン，クルムホルン，bandoneón=バンドネオン，バンドネ**オ**ン，など）原語でのアクセントの位置が不明で，アクセント位置を暗示する標識を書くことができず，通常のカナ書きのままにしたもの（例：カマク）もある。英語についてはアクセント標識は入れない。

f. 用語統一の意図的違反

・ブリッジ（コマ）

弦鳴楽器の駒（bridge）を駒，コマ，ブリッジ，柱などと使い分けている。ただし，初出箇所では「駒（ブリッジ，bridge）」としている。以後は，慣用的な呼び方に従ったつもりで，ヴァイオリンには「コマ」，ギターとピアノには「ブリッジ」を主として用い，三味線や琵琶などの和楽器には「駒」を，箏には「琴柱」を用いた。ただし，駒がイタリア語では ponticello と呼ばれることは，ヴァイオリンの奏法のスル・ポンティチェーロのところで説明した。

・ネック（棹）

ネックを持つか持たないかで弦鳴楽器を分類する場合などで，有棹／無棹などの表現のために，また，三味線について太棹／細棹の区別の必要性から，ネックと英語では呼びにくいということもあって棹と書いた部分がある。

g．何語の名称を使うかの問題

イタリア語でクラヴィチェンバロあるいは略してチェンバロと呼ばれる楽器は英語ではハープシコード，フランス語ではクラヴサンと呼ばれる。ドイツでは外来語として単にチェンバロと呼ばれる。日本では，演奏される曲の作曲者や奏者の国に従って，チェンバロ，ハープシコード，クラヴサンが何となく使い分けられているようである。このような場合は，その楽器名として 1 つだけを挙げるのはよくないと考え，呼称が言語によって語源的に複数あることを説明するようにしておく。

多くの楽器はイタリアで発祥し発展したもので，本書では主としてイタリア語の名称を用いる。（例：ファゴット【英：バスーン】，ヴィオラ・ダ・ガンバ【英：ヴァイオル／ヴィオル 】など）　ただし，コール・アングレ（リエゾンしてコーラングレ）は，この楽器に限り誤訳を避けて，元のフランス語を用い，英・伊・独語の名称はその誤訳であることを説明しておく。

付録 H では，元の文献がドイツ語であるので，楽器名がドイツ語になっている場合が多いが，楽器名が未定の段階であったというようなものもあって，独・伊・仏語が入り混じったような名称も出てくる。

ただし，日本では慣習的に英語が使われることが多いので，それが語源的に元の言語による名称に近い場合，付録 H 以外ではそれに従う。（例：ヴァイオリン，トランペット，ピアノ，ギター，フルート，オルガン　など）

h．修飾語による区別が必要な場合の呼称

・笛（フルート）

日本で「フルート」といえば，エアーリード型の特定の洋楽器を指し，笛一般を指す語としては日本語の「笛」を使うが，欧米では状況が異なる。ヨーロッパで笛（フラウト【伊】，フレーテ【独】，フリュート【仏】，フルート【英】）と

言えば，バロック期以前では，フィップル（詰め栓。【独】ブロック）を持った縦笛（ドイツ語でブロックフレーテ，英語でリコーダー）を指したが，リコーダーが廃れてからは笛（フラウト）といえばフィップルを持たない横笛を指すようになった。これの改良されたものが現在のフルートである。本書でも，「フルート」で欧米と同様にフラウト・トラヴェルソ【伊】（クヴェールフレーテ【独】）の現代版を指すものとし，フラウト・ディリット【伊】（ブロックフレーテ【独】）を指すには英語の「リコーダー」を用いる。

・オルガン

欧米では，単に organ【英・米】，Orgel【独】，organo【伊】，orgue【仏】と呼ばれるが，日本では一般には「パイプオルガン」と呼ばれることが多い。多数のフルーパイプとリードパイプを持つ。日本で単に「オルガン」と呼ばれるものは，パイプを持たない「**リードオルガン**」を指すことが多く，これはヨーロッパではアメリカンオルガンと呼ばれるもので，**ハーモニウム**と呼ばれることもあるが，厳密には，ハーモニウムは加圧発音，リードオルガンは減圧発音という違いがある。

オルガンという楽器名に開発者の名前を付けた**ハモンドオルガン**というのがあるが，これは光電管とトーンホイールを使った電子・機械式の鍵盤楽器で，オルガンと同じように高調波を選択的に使用して音色を調整できることから，「オルガン」を名称に持つ。また，シンセサイザの一部に電子オルガンと呼ばれることがあるものがある。

本書では，ハモンドオルガンや電子オルガン類を除いた「パイプ群を持った」気鳴の鍵盤楽器を（送風が人力か電動か，場合によっては水力かに関わらず），建物に組み込まれた大型のものから膝の上に載せられる小型のものまでをまとめて「オルガン類」とし，その中で，日本で通称パイプオルガンと呼ばれているものを，キリスト教文化の標準に整合させて単に**オルガン**と呼ぶことにする。ただし，「オルガン」だけでは誤解される可能性のある所では「パイプオルガン」とした。

i. 紛らわしい名称の楽器

・ヴィオラ

「ヴィオラ」は，現在では英語でもイタリア語でもヴァイオリンより少し大きく音域が 5 度低いヴァイオリン属の楽器を指すが，バロック期のイタリアでは「ヴィオーラ」は音域やサイズに無関係に擦弦楽器一般を意味した[45]。つまり，バロック期のヴィオラは英語で言うところのヴィオル属（ヴィオラ・ダ・ガンバ属）とヴァイオリン属（ヴィオラ・ダ・ブラッチオ属：ヴァイオリン，ヴィオラ，ヴィオラ・ダ・スパラ，チェロ）のすべてを指した。このように，ヴィ

オラについては，単独の呼称では曖昧性があるので，本書ではどういう意味で使われているかがわかるようにした。

・イングリッシュホルン

オーボエ属（ダブルリード）の木管楽器コール・アングレは，英語でも日本語でも「イングリッシュホルン」と呼ばれることがあるが，「イギリス式のホルン」ではない。フランス語の元の名称「cor anglais：曲がった（角度のついた）角笛（つの）」の「anglais」が「イギリス式の：inglais」と同じ音であったことによる誤訳で，イタリア語やドイツ語でも誤訳でコルノ・イングレーゼ，エングリッシュホルンとなっている。

【注】cor inglais という表現が現れる前に，cor anglé という語が使われたという証拠がないことから，紛らわしい名称の源はフランス語の「角度のついた」の意味の anglé アングレ）ではなく「天使の」の意味であったとする説もあるが，それならフランス語の段階で inglais と同じ音の anglé を使わずに angelique（アンジェリク） としておけば，誤訳されずにイタリア語なら corno angelico（コルノ・アンジェリコ），ドイツ語なら Engelshorn（エンゲルスホルン）となっているはずである。後説に立つと，“g”の後ろに母音が必要であること，並びに紛らわしさに起因する誤訳が発覚した後もフランス語の表現が “g”と “l”の間に母音が入らない inglais のまま放置されていることからも，後説はとりにくい。

・フラジオレット【伊・英・仏・独】

12 世紀頃から存在したリコーダーと同じ構造（フィップル付き）の固定気道の縦笛で，19 世紀初頭に大量生産された金属製のものは主として素人用。奏法のフラジオレット（ハーモニックス奏法）と同一綴りではあるが無関係。

・バリトン【独：Baryton】

バロック期から 19 世紀にかけて使われたドローン弦付きの大型（両脚で挟む）擦弦楽器で，イタリア語ではヴィオラ・ディ・ボルドーネ（「低音弦の擦弦楽器」の意）。広い指版に貫通窓が開いていてドローン弦を左手の親指で裏側からはじくことができた。声域の baritone とは無関係。

j.「日本での慣習的な呼称」の使用

ヴァイオリン（伊：ヴィオリーノ）や**トランペット**（伊：トロンバ）などは日本ではイタリア語は使われず，慣習的に英語名称が使われるので，ここでも原則的にはそれに従う。

ただし，ヴィオリーノ・ピッコロ（通常のヴァイオリンよりも音域が高い，サイズの小さいヴァイオリン。こども用の $\frac{3}{4}$ とか $\frac{1}{2}$ とは異なる）はスモール・ヴァイオリンとはせずに，川島佳子氏によるピッコロ・ヴァイオリン[46]（元のイタリア語はヴィオリーノ・ピッコロ）という伊・英の混用表現を採用してい

る。同様に，トロンボーンの名称の由来やトロンバ・マリーナ（海のトランペット：ハーモニックス奏法だけで奏する弦鳴楽器）の説明ではトランペットのイタリア名称の「トロンバ」を持ち出す。

撥弦楽器（3.2.1 項）で，不適切と思われるのを承知の上で，**クラシックギター**という表現を使っている。日本ではエレキギターやフォークギターあるいはフラメンコギターなどと区別するために，RWC 楽器音 DB でもそのようになっている。洋楽の古典期（1750 頃〜1810 頃）には，ギターはまだ現在の形にはなっておらず，スペインのビウエラ・デ・マノ (複弦 6 コース) がバロックギターを経て単弦の現在の形になったのは 19 世紀後半なので，本来ならクラシックギターという呼び方はないはずである。また，.E.2.1 項 (1) ギターの (b)「派生楽器」で，**アコースティックギター**という表現を使ったが，楽器は音を出すのが当然なので，その「アコースティック」は「音響的」という意味ではなく，「電気なしでも音を出せる」と言う意味であって，樂器であるギターに対してこの修飾語をつけるのは疑問であるが，日本以外でも一部では使われているようである。

ついでながら，ギターはその発祥の国スペインではギターラであるが，本書ではスペイン語は使わず，英語のギターを用いる。ただし，大型ギターにはギタロン，小型ギターにはレキントというスペイン語を用いている。

k. 一般的な単語の楽器名への転用

「**ピッコロ**」は，単独で用いる場合は慣習的にフラウト・ピッコロ（小さいフルート）を指すが，イタリア語としては「小さい・小型の」の意の形容詞の男性形で，楽器はフルートに固定されない。フラウト・ピッコロは正式なイタリア語ではオッタヴィーノである。本書では慣習に従って「ピッコロ」を単独で使う場合はフラウト・ピッコロ（オッタヴィーノ）を指すものとし，「小さな」の意で使う場合は必要に応じて出現場所で説明を加える。

同様に，「**ピアノ**」は，日本語あるいは英語で単独で用いる場合は，楽器のピアノ（ピアノもフォルテも弾ける鍵盤付きの打弦楽器）を指すが，これはイタリア語ではピアノフォルテである。イタリア語の “piano” は形容詞の場合は英語の plain, plane に対応し，名詞の場合は英語の plane および plan を意味する。

「**コントラバス**」はそれぞれの楽器の最低音域のものを指すが，単独で「コントラバス」といえば，元ヴィオラ・ダ・ガンバ属の最低音域サイズのもの（現在ではフレットが排除され，魂柱・バスバーを持ち，弦の数，響孔の形，裏板のアーチなど，多くの点でヴァイオリン化されている）を指す。クラリネット，トロンボーン，ファゴット，さらにはハーモニカなどにもコントラバスがある。

「トライアングル（triangle)」は三角形の意味であるので，打楽器**トライア**

ングルは日本語表現するなら「三角形」で構わないはずであるが，誰もそうは呼ばないので，ここでもトライアングルとする。

l. ファイル名中での'♭' と'#' の代替表記

ファイル名の中では特殊文字を使えないので，'♭' の代わりに'b' を，'#' の代わりに'+' を用いる。

3. 付録の内容

冒頭：まえがきの補足
　　難読部分の読み方，および表記法について
付録 A：代表的な楽器の標準的な音域
　　A4=440Hz とした平均律でのピアノ音域内の各音名の周波数
付録 B：ザックス＝ホルンボステルによる楽器の分類の概要[2),3)]
　　ホルンボステルによる最初の提案とその後のザックスによる追加
付録 C：波動を表す微分方程式とその解および差分方程式
　　物理現象を表す微分方程式とシミュレーションのための差分方程式
付録 D：音階と音律
　　音階・音律・協和性・和音・機能和声など音楽に関する基礎的な事項
付録 E：楽器各論補足
　　第 2 章で書けなかった楽器各論の補足（数式による説明を含む）
付録 F：奏法概説
　　緩急・強弱と各楽器固有の奏法
付録 G：楽器雑談
　　楽器に関する個別の雑多な話題
付録 H：楽器に関する歴史的に重要な 2 つの文献の概要
　　Agricola の「ドイツの器楽」[4)] と Praetorius の「音楽大全」[5)]
付録 I：用語集
　　本文および付録で使用した用語の説明。
付録 J：音のファイル
　　分析に使用した音および参考音のファイルとその出典説明

主として第 3 章で分析対象とした音の他，第 1 章，第 2 章，付録 B〜G での説明に使った音を収録した。本文中で使った音は本文の構成に従って，図の出現順に入れておいたので，分析ツール（フリーのものもある）を使える読者は自分で分析して確認することができる。

フリーの分析ツールの例 （2023 年 10 月現在）
WS（WaveSpectra）：ver.151
　　http://web.archive.org/web/20171105052121/http://efu.jp.net/

Sonic Visualiser: ver.4.5
https://sonicvisualiser.org/download.html

付録 K：弦振動のアニメーション
撥弦・打弦・擦弦による弦振動の動画。

いくつかの条件での振動を示してある。アニメーションは弦の振動であって，音の波形ではないことに注意していただきたい。

A

楽器の音域

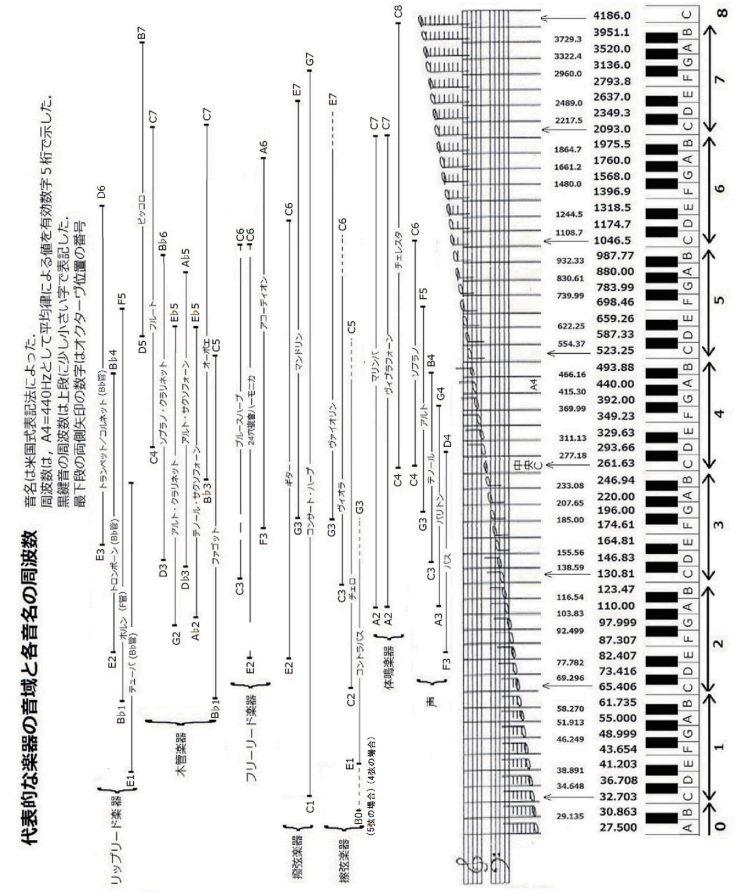


図 A.1　代表的な楽器の音域と平均律による各音名の周波数

B

ホルンボステルとザックスによる楽器の分類

B.1　ホルンボステルによる最初の楽器の分類

まず，ホルンボステルとその弟子ザックスによる分類[2]（以下，「H-S 分類」と略）のオリジナルな形を示す。これは第 1 次世界大戦前の，まだ電気楽器が出現していない時点で発表されたので電鳴楽器が入っていない。記述順序は体－膜－弦－気の順であったが，本書の本文では Montagu の論文[35] やオンライン楽器博物館 MIMO[38] などを参考に，一般読者の興味を想定してこの 4 つを逆順として，その後に電鳴楽器を追加する形とした。ただし，本節では原典の順序にしておく。

（**1**）**体鳴楽器**　ホルンボステルとザックスは体鳴楽器を奏法によっておおむね打奏／摘奏／擦奏／吹奏に下位分類しているが，打奏はさらに直接／間接に細分類され，打合（だごう）奏は直接打奏に，振奏は間接打奏に入れている。その下は発音体の構造や形による分類で，その下は数による分類となっている。

・打奏体鳴楽器（打つ）
　・直接打奏　トライアングル，木琴，鉄琴，チェレスタ，フレクサトーン，管ベル，スティールパン，編鐘，梵鐘（外撞きの鐘），木魚
　・間接打奏（振奏（振る）とも言える）
　　・（内部にクラッパー）：カリジョン，ハンドベル
　　・マラカス，シェーカー，カバサ，ラットル（ガラガラ），編木（びんざさら）鰒
　・打合（だごう）奏（打ち合わせる）：合わせシンバル，カスタネットなど

【注】打合奏は Montagu によって打奏の下に後に追加された。

・摘奏体鳴楽器（はじく）：親指ピアノ，ジューズハープ，オルゴール等

・擦奏体鳴楽器（こする）： ミュージカルソウ，グラスハープ等

・吹奏（吹く）：ヴィードロ（【ポ】vidro：「ガラス」の意。「ポッペン」とも）

（風による発音）：アエオルスクラフィア（エオリアンハープ）等

・掻擦奏（引っ掻いてこする）：ギロ，擦り簓

（**2**） **膜鳴楽器**　膜鳴楽器は奏法（【打／摘／擦／歌】奏）によって細分類されているが，打奏が大部分を占め，摘奏は下位分類さえ示されていない。奏法による分類の下の分類は形状（鍋／筒／樽／枠）による分類で，その下は単膜と複膜に分かれており，最も下の区別は単体で使うか複数で使うかの分類である。分類が多段階層で細かく区分されており，名称のある具体例が挙げられていなくて，使われている国名・地域名だけが記された分類項目が多い。ここでは具体例がある代表的な分類項目を挙げておく。

・打奏ドラム

・直接打奏

・胴付き：種々の胴形状（鍋型／円柱／樽型／砂時計型ドラム）

バスドラム，スネアドラム，コンガ，ボンゴ，和太鼓，鼓など

・ケトルドラム（後に追加された。鍋型胴つき）：ティンパニ

・枠ドラム：団扇太鼓（柄つき），タンブリン（柄なし）

・間接打奏（振奏。ラットルドラム）：でんでん太鼓

・摘奏ドラム：膜に固定した紐に張力をかけておき，紐を撥いて膜を振動させる。

【注】下位分類の記述はなく，「撥弦楽器とみなされることもある」との説明。

例：エクターラ，カマクなど（原著では可変張力弦鳴楽器とされている）

・摩擦ドラム

・膜に付けた棒や紐を（湿った／松ヤニを塗った）手で握って擦る型

クイーカ：円筒胴単膜の内側に棒（割箸程度）の一端を付けたもの

ライオンズロアー：上で棒の代わりに長い紐を用いたもの

・膜面を指や掌で擦る型（「手擦」とされている）

通常は打奏するドラム（ティンパニ，ボンゴ，コンガなど）

・歌奏ドラム：

カズー（容器表面にゆるく張った膜を声で震わせる），

ユーナックフルート（明笛）

（**3**） **弦 鳴 楽 器**　ホルンボステルとザックスの分類では，弦鳴楽器は**単純弦鳴楽器**（simple chordophones）と**複合弦鳴楽器**（composite chordophones）に細分類されていた。これは，共鳴器を持たない弦楽器，もしくは弦が共鳴器と独立に張られていて共鳴器を取り外しても弦が張られた状態を保てるか，共鳴器を取り外すと弦を張ることができない（取り外すと弦が張れなくなる）のかの構造的な違いであって，音響学的なあるいは奏法による違いではない。

ギターとヴァイオリンが同一の細分類項目に入れられていることから，これはたぶん ホルンボステルが励振方法や奏法で分類するのを避けたかったからであろうと思われるが，分類の意味がわかりにくい。この分類法ではピアノのような複雑な構造の楽器であっても，弦が共鳴器（ピアノの場合は響板）と独立に張られているものは，簡単な楽弓やツィターなどと並んで「**単純**」弦鳴楽器となり，それよりもはるかに簡単な構造であるリュート属のギターやヴァイオリンは，弦を張った状態では共鳴器を外せないので「**複合**」弦鳴楽器とされていた。つまり，共鳴胴のどこかに弦を留めている弦楽器は共鳴胴を取り外すと弦を張れなくなるので，いくら簡単な楽器でも「複合」弦鳴楽器ということとされてていた。この分類では，非常に簡単なカマクやエクターラ（膜に弦を付けて引っ張ってはじくインド，ベンガル地方の膜付き一弦琴）も弦鳴楽器と考えるなら複合弦楽器になる。（本書では摘奏膜鳴楽器としてある。）　H-S 分類ではギターとヴァイオリンが最末端の分類レベルで「ネックを持った共鳴胴付きのリュート属」として同一の部類項目に入れられているのも奇妙に感じる。

この分類よりは，奏法が撥弦か擦弦か，あるいはギターやヴァイオリンなどのように押弦が必要か，ピアノやチェンバロなどのように各弦がそれぞれ特定の音高に固定的に用意されていて押弦が不要か，によって分類するほうが，楽器の

分類としては意味があるように思える。ただこれでは，箏や琵琶のように調内音（調固有音）であっても弦を押して必要な高さを作る必要のある楽器と，調固有音は用意されているが調固有音以外の音についてはペダル操作などによって奏者が作り出さなければならない楽器を区別する必要が生じるであろう。鍵盤を持つか持たないかで分類すると，大正琴（キーバーの下エッジでフレット間の弦を押さえる）やハーディーガーディーあるいはニッケルハルパ（タンジェントで弦を横から押す）などの特殊な構造のものをどう分類するかで分類が複雑になる。

複合弦鳴楽器は，2 本の腕を持ったリラギターやフルアコのエレキギター（共鳴胴を持つ電気ギター）の初期の電気弦楽器も含むことになるが，ザックスの改訂版が発表された時代には，現在のタイプのエレキギターはまだ出現していなかったので，ザックスは電気弦楽器としてはハワイアン等に使われるスティールギターを想定していたはずである。

以下に，ホルンボステルとザックスによる弦鳴楽器の下位分類の概略を示す。

共鳴器が楽器から取り外し可能かどうかによって，まず単純／複合† に分類され，そのうち，単純弦鳴楽器は弦が棒（腕）に張られているか板に張られているかによって，また複合弦鳴楽器は弦面が共鳴板に平行か，垂直かによってリュート属とハープ属に細分類されている。

弦鳴楽器の構造による分類：

・単純弦鳴楽器（ツィター属：共鳴器分離可能）：
　・バー・ツィター（棒状の腕に弦を取り付ける）：楽弓
　・ボード・ツィター：ツィター, ツィンバロン, チェンバロ, ピアノ等
・複合弦鳴楽器（ハープ・リラ類：共鳴器分離不能）：
　・リュート属（弦が振動面に平行）：リラ，リュート，ギター，ヴァイオリン
　・ハープ属（弦が共鳴器の振動面に垂直）：竪琴，ハープ（ペダル有無）等

† この分類は現在でも「ツィター属」／「ハープ・リラ類」として残っているが，ピアノやチェンバロがツィター属になり，ヴァイオリンやギターがハープ・リラ類のリュート属になるなど，名称と内容の整合性がよくないのでほとんど使われない。

ホルンボステルは音響学的な観点からの分類として奏法による分類をしたくなかったのであろう。弦鳴楽器に関するホルンボステルによる分類は，奏法や励振法の異なる楽器が同一の分類細目に入ることがある。（明示的には挙げられていないが，弦を撞いて励振するクラヴィコードは H-S 分類ではピアノやチェンバロと同じように共鳴器付きのボード・ツィター類ということになる。）

ヴァイオリンは弓奏でもピッツィカートでも弾けるので奏法によって楽器を分類するのは合理的でないと考えたのかもしれないが，ピアノとチェンバロはどちらも鍵盤の有無でも分けにくいし，ギター属とヴァイオリン属が奏法以外は同じとなるような分類は，感覚的に馴染みにくい。これは楽器の分類としては分りにくいので，本書では弦鳴楽器の分類については奏法（励振法）による分類を採用し，まず撥弦／擦弦／打弦で大分類した。

（4）気鳴楽器　　ホルンボステルはまずフリーエアー型の楽器の例としてムチと刃を挙げ，ついで空気流を周期的に遮断する薄板として回転羽根のサイレン，破裂奏として空気銃など，静止状態の空気や空気流を切るものを挙げ，ついでリード（ほぼ金属の薄板）の固有周波数での振動によって間隙を通過する空気を周期的に断続して振動させるリードオルガンや，マウスオルガン（ハーモニカ），アコーディオンなどのフリーリード楽器等，形状が管状でないものを挙げ，その後で “Wind Instruments Proper（純吹奏楽器）” として管楽器を簧（リード）の型によって分類している。

・非吹奏楽器
　・静止している空気を切る：ムチ，刃等
　・空気流を回転する羽根で切る：サイレン
　・爆発による空気振動：空気銃，大砲
　・フリーリード (自由簧)：パイプオルガンのリードパイプ，ハーモニカ等
・純吹奏楽器：
　・エッジ型：フィップル（気道用の詰め栓）あり・指孔なし：ホイッスル
　　フィップルあり・指孔あり：リコーダー，オカリナ等
　　フィップルなし・指孔なし：サンポーニャ（パンパイプ）

フィップルなし・指孔あり：フルート

・リップリード：

自然 (管長固定) らっぱ：ナチュラルトランペット，ナチュラルホルン

半音階的（可変長）らっぱ：トランペット（ピストン／ロータリー），トロンボーン（スライド），ホルン（ロータリー，シングル／ダブル），ユーフォニアム，テューバ等

・リード木管楽器

・シングルリード：クラリネット，サクソフォン

・ダブルリード：オーボエ，ファゴット

B.2　ザックスによる電鳴楽器の追加

開発当初（1920 年）はエーテロフォンと呼ばれ，後に開発者の名をとってテルミンと改称された楽器や，その改良型といえるオンド・マルトノの出現（1928 年）後，1940 年にザックスは電鳴楽器を追加[3] して H-S 分類の改訂版を出版した。ただ，この追加部分に対しては種々の問題が指摘され，Davies によって改訂[36] がなされ，その後，Montagu によって全般的な見直し[35] がなされた。ザックス版では，電鳴楽器はカテゴリ 1：電動楽器（ふいごなどをモーターで動かす），カテゴリ 2：電気楽器（電気的にピックアップした信号を増幅する），カテゴリ 3：電気的に音の波形を生成する楽器（テルミンなど）に細分類されていた。

電鳴楽器　発音体で分類するなら本来気鳴楽器に分類すべきオルガン（パイプオルガン）を，ザックスは 1940 年の改訂版で，当時すでに電気で送風するようになっていたことから「**電動** (electric action) 楽器」として電鳴楽器のカテゴリ 1 に分類していた。電鳴楽器には，このほかに 1930 年代初頭に電気ピアノとして売り出されたネオ・ベヒシュタインのように電磁的にピックアップした信号を増幅するものとして「**電気増幅** (electrical amplification) 楽器」をカテゴリ 2，高周波領域で近接 2 周波を加算してそのうなり（波形包絡の時間

変化）を可聴音域に持ってきて，手とアンテナの間の静電容量で音高と音量を制御するテルミンや，同じ原理で制御を可変容量コンデンサで行うオンド・マルトノなどは電気的信号生成楽器としてカテゴリ 3 の「**電磁波** (radio-electric) 楽器」としていた。

その後，Maarten Quanten[37] はその博士論文で電磁ピックアップなどのセンサーで振動を拾って電気振動に変えて音にするものを「**電気音響** (Electro-Acoustic) 楽器」，トーンホイール（半径が異なる円周上に半径をオクターヴ位置に対応させて，それぞれ 360°, 180°, 90°, 45°, 22.5° ごとにスリットを入れた円盤 12 枚をオクターヴ内の 12 音に応じた回転数で回して光電管でスリットを拾う）を用いるもの（ハモンドオルガンなど）を「**電気機械** (Electro-Mechanical) 楽器」，電子回路で音を作るもの（おもに音合成によるシンセサイザ。テルミンやオンド・マルトノもこれに対応）や，音データを電子的に蓄えておいて編集加工して再生するもの（メロトロンや PCM シンセサイザ）を Quanten は「**電子** (Electronic) 楽器」としている。さらに，Quanten はマイクロフォンで音を拾って蓄積しておき再生して音にするものは発音体よって本来の気／弦／膜／体のどれかの分類に割り当てた。したがって，オルガン（パイプオルガン）は気鳴楽器，ヴィブラフォンは体鳴楽器と修正された。この観点に立つなら，エレキギターは弦鳴楽器とすべきで，MIMO（オンライン楽器博物館）では電気音響弦鳴楽器とされており，本書では編集方針によって電鳴楽器に分類してあるが，その中で「擬電鳴楽器」として，発音体で分類するなら電鳴楽器とすべきでないことを暗示した。

ザックスによる電鳴楽器の分類項目とその表的な楽器を以下に例示しておく。

・カテゴリ 1「電動楽器」：
　　オルガン，ヴィブラフォンなど
・カテゴリ 2「信号ピックアップ型電気楽器」：
　　電気ピアノ (ネオ・ベヒシュタイン), 電気ギター (スティールギター) など
・カテゴリ 3「信号生成型電気楽器」：
　　テルミン，オンド・マルトノ，トラウトニウムなど

C 微分方程式と差分方程式**

C.1 物理法則から導かれる微分方程式*

方向と初速度を与えて物を投げると，無風でかつ空気抵抗を無視するなら，軌跡が放物線になることをその運動を表す運動方程式（微分方程式の一種）から導いて，微分方程式の物理的な意味を理解しよう。

ある位置で，ある方向にある初速度で物体を投げた時に，風がなく，空気の抵抗はなく，重力だけが働くとすると，物体の位置の軌跡は初期位置を通る放物線になる。これは高校の物理で教わることであるが，これを万有引力の法則から出てくる重力下での運動を表す微分方程式から導いてみる。

C.1.1 万有引力による物体の落下運動

地表付近での質量 m の物体に働く重力 f は，重力加速度を g とすると

$$f = gm \tag{付.1}$$

で，重力は地表に対して下向きに働くが，これを万有引力 F と考え，その他の天体や他の物体からの引力や地球の自転などを無視すると，物体に働く力 f は地球と物体の間の引力 F だけとなり，それは地球と物体の質量の積に比例し，それらの間の距離の 2 乗に反比例するので，地球の質量を M，地球と物体の中心間の距離を r，万有引力の定数を G とすると

$$f \approx F = G\frac{Mm}{r^2} \tag{付.2}$$

で，物体の地表からの高さはよほど上空でない限り地球の半径 R と比べて無視できて，$r \approx R$ として問題ないので，r を R で代用できる。したがって，地表付近での重力加速度 g は

$$g = \frac{f}{m} \approx G\frac{M}{R^2} \tag{付.3}$$

ということになる。地球から外向きを z 軸の正方向とすると，g はそれとは逆方向に働くので，ベクトルで書くと $\boldsymbol{g} = [0,\ 0,\ -g]^{\mathrm{T}}$ である。

（1） 空気による抵抗を考慮した場合　　位置 $\boldsymbol{p}_0 = [x_0, y_0, z_0]^{\mathrm{T}}$ から初速度 $\boldsymbol{v}_0 = [v_{0x},\ v_{0y},\ v_{0z}]^{\mathrm{T}}$ で質量 m の物体を投げた時の物体の位置 $\boldsymbol{p} = [x, y, z]^{\mathrm{T}}$ の軌跡を求めてみよう。

空気の抵抗は速度に比例するので，その比例定数を k とすると，重力下での物体の運動を表す微分方程式は

$$\boldsymbol{f} = m\frac{d^2\boldsymbol{p}}{dt^2} = m\boldsymbol{g} - k\frac{d\boldsymbol{p}}{dt} \tag{付.4}$$

となる。$\dfrac{d\boldsymbol{p}}{dt}$ を $\boldsymbol{v}$（$= [v_x,\ v_y,\ v_z]^{\mathrm{T}}$）と書くと，$\dfrac{d^2\boldsymbol{p}}{dt^2}$ は $\dfrac{d\boldsymbol{v}}{dt}$ となり，上式の両辺を m で割って $\boldsymbol{v}$ に関する式として書くと

$$\frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \boldsymbol{g} - \frac{k}{m}\boldsymbol{v} \tag{付.5}$$

となる（$\boldsymbol{g}$ の非 0 成分は z 軸だけ)。成分ごとに書くと

$$\frac{dv_x}{dt} = -\frac{k}{m}v_x, \quad \frac{dv_y}{dt} = -\frac{k}{m}v_y, \quad \frac{dv_z}{dt} = -g - \frac{k}{m}v_z \tag{付.6}$$

である。少し形を変えると

$$\frac{1}{v_x}dv_x = -\frac{k}{m}dt, \quad \frac{1}{v_y}dv_y = -\frac{k}{m}dt, \quad \frac{1}{v_z + \dfrac{m}{k}g}dv_z = -\frac{k}{m}dt, \tag{付.7}$$

と変数分離型になるので，両辺をそれぞれ積分できて

$$\int \frac{1}{v_x}dv_x = -\frac{k}{m}\int dt, \quad \int \frac{1}{v_y}dv_y = -\frac{k}{m}\int dt,$$
$$\int \frac{1}{\left(v_z + \dfrac{m}{k}g\right)}dv_z = -\frac{k}{m}\int dt \tag{付.8}$$

となる。ここで積分公式 $\int \frac{1}{x}dx = \log|x| + C$ を使うと

$$\log|v_x| = -\frac{k}{m}t + C_x, \quad \log|v_y| = -\frac{k}{m}t + C_y,$$
$$\log\left|v_z + \frac{m}{k}g\right| = -\frac{k}{m}t + C_z \tag{付.9}$$

x 軸，y 軸は初速度のその方向成分 v_{0x}, v_{0y} が正になるようにとることができ，定数は初期条件から決まって，$t \geq 0$ に対して

$$v_x = e^{C_x - \frac{k}{m}t} = v_{0x}e^{-\frac{k}{m}t}, \quad v_y = e^{C_y - \frac{k}{m}t} = v_{0y}e^{-\frac{k}{m}t}, \tag{付.10}$$

となり，これらはそれぞれ $t = 0$ で初期値 v_{0x}, v_{0y} から始まって $t \to \infty$ で 0 になる。z 軸方向に関しては，式 (付.9) より $v_z + \frac{m}{k}g > 0$ の範囲内では

$$v_z = \left(v_{0z} + \frac{m}{k}g\right)e^{-\frac{k}{m}t} - \frac{m}{k}g \tag{付.11}$$

となり，$t = 0$ では初期値 v_{0z} であるが，$t \to \infty$ で $e^{-\frac{k}{m}t}$ の部分が 0 になるので，$-\frac{m}{k}g$ の項だけが残り，v_z は一定値 $-\frac{m}{k}g$ になる。つまり，空気による抵抗を考慮すると，物体の落下速度はいくらでも速くなるのではなく，ある速度以上にはならないことがわかる。

（2） 空気による抵抗を無視した場合　空気抵抗がないとすると，水平方向の速度は式 (付.10) で $k = 0$ とすることになって，指数関数部分が 1 になり，速度の水平成分は x 軸方向，y 軸方向ともに初速度を保つ。鉛直方向については，式 (付.11) で式 (付.8) の左辺の被積分関数の分母が正の場合は式 (付.11) で $k = 0$ とすればよいが，分母が負の場合，つまり

$$v_z + \frac{m}{k}g \leq 0 \tag{付.12}$$

の場合（分母が 0 の場合も形式的に含めることができる）ということになるが，$k = 0$ の近くでは，上式の第 2 項が ∞ になり，不等号が成立することはないので，このような状況は排除できる。

（**3**） **放物線の式の導出**　　式 (付.4) で $k = 0$ とすると，式は簡単になり，両辺を m で割ると，$\boldsymbol{g}$ は z 成分しか持たないので，z 軸方向について

$$\frac{d^2z}{dt^2} = -g \tag{付.13}$$

となり

$$\frac{dz}{dt} = -gt + C_1 \tag{付.14}$$

である。したがって

$$z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + C_1t + C_2 \tag{付.15}$$

となる。初期条件 $\boldsymbol{p}(0) = \boldsymbol{p}_0$，$\boldsymbol{v}(0) = \boldsymbol{v}_0$ から，C_1, C_2 が決まり，式 (付.15) が式 (付.13) を満たす解であることは代入してみればわかる。式 (付.15) は高校の物理で出てきた物体の落下の式（鉛直方向のみ）である。放物線の式は，初速度 $\boldsymbol{v}_0$ の水平成分の方向に x 軸をとれば，風がない場合，物体の軌跡は (x, z) 面内だけで考えればよく，空気の抵抗を無視できるなら，式 (付.10) の x 成分は $v_x = e^{Cx} = v_{0x}$ で定速度となり，物体の軌跡は，それを時間で積分した $x(t) = C_{0x} + v_xt$ と式 (付.15) から時間 t を消去して

$$z = -\frac{1}{2}g\left(\frac{x - C_{0x}}{e^{Cx}}\right)^2 + C_1\frac{x - C_{0x}}{e^{Cx}} \tag{付.16}$$

となり，これは x に関する 2 次式で，2 次の係数が負なので，(x, z) 平面で，おなじみの「上に凸の放物線」になる。

C.1.2　波 動 方 程 式

（**1**） **空気の伸縮による縦波**　　流体中を伝わる音波はその流体粒子の疎密波であり，3 次元的な位置をベクトル $\boldsymbol{x}$ で表すとして，時刻 t における仮想的な速度ポテンシャル[†] ϕ を使って，次の微分方程式で表され，これは**波動方程**

[†] その傾度（グラディエント）$\nabla\phi$ が媒質粒子の速度ベクトル $\boldsymbol{v}$ を与えるスカラー量

式と呼ばれ，連続の条件 †1 と媒質粒子の運動方程式 †2 ，および媒質の弾性的性質 †3 から導かれる【導出は付録 E.1.2 項 (2) 波動方程式の導出】。

$$\ddot{\phi}(\boldsymbol{x},t) = c^2\nabla^2\phi(\boldsymbol{x},t) \tag{付.17}$$

ただし，ϕ の上の 2 つのドットは，ϕ の時間についての 2 階偏微分，∇（ナブラ）は空間微分で，∇^2 は空間についての 2 階微分を表す（これは Δ（ラプラシアン）で表されることもある）が，空間が 1 次元（x 軸とする）の場合，これは $\dfrac{\partial^2}{\partial x^2}$ になり，管の中の空気の長さ方向の圧縮膨張による縦波は次式で表される。

$$\frac{\partial^2\phi(x,t)}{\partial t^2} = c^2\frac{\partial^2\phi(x,t)}{\partial x^2} \tag{付.18}$$

c は流体の性質・状態によって決まる定数で，静止圧を p_0，比熱比（低圧比熱／定積比熱）を γ（空気では約 1.41），静止密度を ρ_0 として

$$c = \sqrt{\frac{p_0\gamma}{\rho_0}} \tag{付.19}$$

で表される定数で，C.2 節で示すダランベール解の形から，これは流体中の波の伝搬速度を表し，常温常圧の大気中では約 340 m/s，水中では約 1500 m/s になる。

（**2**） **弦を伝わる横波**　張力 T で張られた線密度 ρ，長さ L の両端が固定された弦の上の微小部分に関する運動方程式から，弦を伝わる**横波**に関する**波動方程式**は，時刻 t での位置 x における軸に垂直な面内での変位を $\xi(x,t)$ とすると，次の形で与えられる。これは張力 T で張られた弦の端点からの距離 x の位置の微小部分（長さ：dx，傾き：θ）の両端での，平衡位置へ戻そうとする

---

†1　媒質粒子の速度ベクトルを $\boldsymbol{v}$，媒質の密度を ρ としたとき，$\dfrac{\partial\rho}{\partial t} = -\nabla\cdot(\rho\,\boldsymbol{v})$。
気体の場合は「圧縮膨張は流入・流出による」。非圧縮の場合は「湧き出しや消滅がなく質量は保存される」という質量保存の法則とも言える。

†2　媒質の圧を p としたとき，$\rho\dfrac{\partial\boldsymbol{v}}{\partial t} = -\nabla p$

†3　密度は体積に反比例する。すなわち，媒質の圧が p_0 から ∂p だけ（密度が ρ_0 から $\partial\rho$ だけ）増えたとき，体積が V_0 から ∂V だけ減少するとき，$\dfrac{\partial\rho}{\rho_0} \approx \dfrac{\partial V}{V_0}$。

力と張力の法線成分の差 †1 で運動するとした運動方程式 †2 に，理系の大学の 1 年で習うテイラー展開による近似計算 †3 を入れることによって導かれる【導出は付録 E.2.2 項 (1) 横波の波動方程式】。弦の長さはこの式には入っていないが，固有解を求める際に境界条件として入ってくる。

$$\frac{\partial^2 \xi(x,t)}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \xi(x,t)}{\partial x^2} \tag{付.20}$$

これは変位 $\xi(x,t)$ についての時間と場所に関する微分方程式で，式 (付.18) と同様に時間に関する 2 階偏微分が位置に関する 2 階偏微分の定数倍になるという特徴的な形をしている。c は弦の張力 T と線密度 ρ によって決まる定数

$$c = \sqrt{\frac{T}{\rho}} \tag{付.21}$$

で，両端固定の弦の場合は，境界条件が t のいかんに関わらず $\xi(0,t) = \xi(L,t) = 0$ になる。

【注意】式 (付.20) は式 (付.17) と同じ形であるが，式 (付.17) あるいは式 (付.18) の ϕ と式 (付.20) の ξ とは表すものが異なる。式 (付.20) の ξ は弦の揺れとしての横波の変位で，弦振動による音としてこれが聞こえるのではなく，弦鳴楽器では通常この振動が弦に生じ，その効果がブリッジ（駒）を経由して面的な振動体（ギターやヴァイオリンなどでは表板，ピアノなどでは響板，三味線などでは表皮（おもてがわ））に伝えられ，その振動が空気の縦波（疎密波）を起こし，それが音として聞こえる。

（偏微分：対象とする変数以外の変数を定数と想定し，変数は対象とするもの 1 つだけと考えた微分。偏微分であることを示すために，通常の微分で d と書くところを ∂ で表す。）

---

†1　弦の張力の，位置 x と位置 $x+dx$ での法線方向成分の差

$$dF_y = T\sin\theta\,|_{x+dx} - T\sin\theta\,|_x$$

†2　左辺は微小部分 dx にかかる力，ρdx は微小部分の質量，$\dfrac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$ は加速度を表す。

$$T\sin\theta\,|_{x+dx} - T\sin\theta\,|_x = \rho dx\,\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$$

†3　dx が小さいとき

$$f(x+dx) = f(x) + \frac{\partial f(x)}{\partial x}dx + \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2}(dx)^2 + \cdots \approx f(x) + \frac{\partial f(x)}{\partial x}dx$$

式 (付.20) の解として，ダランベール（d'Alembert）が与えた形が，進行波と後退波の和で表される**波動解**として知られている。

C.2　ダランベール解が波動方程式の解であることの確認**

ダランベール形式の解は次の形で表される。

$$\xi(x,t) = f_{\mathrm{F}}(ct-x) + f_{\mathrm{B}}(ct+x) \tag{付.22}$$

これが式 (付.20) の解であることは，この $\xi(x,t)$ を式 (付.20) の左辺と右辺に代入すると等号が成立することからわかる。

左辺は

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial^2 \xi(x,t)}{\partial t^2} \\
&= \frac{\partial^2}{\partial t^2}\left(f_{\mathrm{F}}(ct-x) + f_{\mathrm{B}}(ct+x)\right) \\
&= \frac{\partial}{\partial t}\left[\frac{\partial}{\partial t}\left\{f_{\mathrm{F}}(ct-x) + f_{\mathrm{B}}(ct+x)\right\}\right] \\
&= \frac{\partial}{\partial t}\left[\frac{\partial\, f_{\mathrm{F}}(ct-x)}{\partial(ct-x)}\,\frac{\partial(ct-x)}{\partial t} + \frac{\partial\, f_{\mathrm{B}}(ct+x)}{\partial(ct+x)}\,\frac{\partial(ct+x)}{\partial t}\right] \\
&= \frac{\partial}{\partial t}\left[c\frac{\partial\, f_{\mathrm{F}}(ct-x)}{\partial(ct-x)} + c\frac{\partial\, f_{\mathrm{B}}(ct+x)}{\partial(ct+x)}\right] \\
&= \frac{\partial}{\partial t}\left[c f'_{\mathrm{F}}(ct-x) + c f'_{\mathrm{B}}(ct+x)\right] \\
&= c^2\left[f''_{\mathrm{F}}(ct-x) + f''_{\mathrm{B}}(ct+x)\right]
\end{aligned} \tag{付.23}$$

（′は (　　) 内を変数とした微分，″は 2 階微分）

同様に，右辺は

$$
\begin{aligned}
&c^2\frac{\partial^2\xi(x,t)}{\partial x^2}\\
&= c^2\ \frac{\partial^2}{\partial x^2}\left(f_{\mathrm{F}}(ct-x)+f_{\mathrm{B}}(ct+x)\right)\\
&= c^2\ \frac{\partial}{\partial x}\ \frac{\partial}{\partial x}\ \left[f_{\mathrm{F}}(ct-x)+f_{\mathrm{B}}(ct+x)\right]\\
&= c^2\ \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{\partial f_{\mathrm{F}}(ct-x)}{\partial(ct-x)}\frac{\partial(ct-x)}{\partial x}+\frac{\partial f_{\mathrm{B}}(ct+x)}{\partial(ct+x)}\frac{\partial(ct+x)}{\partial x}\right]\\
&= c^2\ \frac{\partial}{\partial x}\left[-\frac{\partial f_{\mathrm{F}}(ct-x)}{\partial(ct-x)}+\frac{\partial f_{\mathrm{B}}(ct+x)}{\partial(ct+x)}\right]\\
&= c^2\ \frac{\partial}{\partial x}\left[-f'_{\mathrm{F}}(ct-x)+f'_{\mathrm{B}}(ct+x)\right]\\
&= c^2\left[-\frac{\partial f'_{\mathrm{F}}(ct-x)}{\partial(ct-x)}\frac{\partial(ct-x)}{\partial x}+\frac{\partial f'_{\mathrm{B}}(ct+x)}{\partial(ct+x)}\frac{\partial(ct+x)}{\partial x}\right]\\
&= c^2[f''_{\mathrm{F}}(ct-x)+f''_{\mathrm{B}}(ct+x)]
\end{aligned}
\qquad \text{(付.24)}
$$

以上より，式 (付.22) が式 (付.20) を満たすことがわかる。

C.3　コンピュータシミュレーションのための差分方程式**

C.3.1　差 分 方 程 式

弦を伝わる横波に関する波動方程式は，$\xi(x,t)$ を位置 x における時刻 t での変位として，次の形で与えられる。

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} = c^2\ \frac{\partial^2\xi}{\partial x^2} \qquad \text{(付.25)}$$

コンピュータ上で，弦の振動のシミュレーションを行うために，$\xi(x,t)$ を x 軸上で細かく分けた Δx ごとの点について，微小時間 Δt ごとに求めることを考えよう。

場所に関する 1 階偏微分 $\dfrac{\partial\xi}{\partial x}$ は，コンピュータ上では x 軸方向に Δx 先の点での同じ時刻における ξ の値の差 $\xi(x+\Delta x,t)-\xi(x,t)$ を Δx で割った値で近似的に表すことができる。同様に，場所に関する 2 階偏微分 $\dfrac{\partial^2\xi}{\partial x^2}$ は，同じ時刻 t におけるその階差を Δx で割った値，すなわち $\xi(x+\Delta x,t)-\xi(x,t)$ と

$\xi(x,t)-\xi(x-\Delta x,t)$ の差を $[\Delta x]^2$ で割った値で近似的に表すことができる。すなわち

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2}\to\frac{\dfrac{\xi(x+\Delta x,t)-\xi(x,t)}{\Delta x}-\dfrac{\xi(x,t)-\xi(x-\Delta x,t)}{\Delta x}}{\Delta x} \tag{付.26}$$

したがって

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2}\to\frac{\xi(x+\Delta x,t)-2\,\xi(x,t)+\xi(x-\Delta x,t)}{[\Delta x]^2} \tag{付.27}$$

同様にして，時間関する 2 階偏微分 $\dfrac{\partial^2\xi}{\partial t^2}$ は，同じ位置 x における $\xi(x,t+\Delta t)-\xi(x,t)$ と $\xi(x,t)-\xi(x,t-\Delta t)$ の差を $[\Delta t]^2$ で割った値で近似的に表すことができる。すなわち

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}\to\frac{\xi(x,t+\Delta t)-2\,\xi(x,t)+\xi(x,t-\Delta t)}{[\Delta t]^2} \tag{付.28}$$

したがって，偏微分方程式 (付.25) は次の形の差分方程式に書き換えることができる。

$$\begin{aligned}&\frac{\xi(x,t+\Delta t)-2\,\xi(x,t)+\xi(x,t-\Delta t)}{[\Delta t]^2}\\&=c^2\left[\frac{\xi(x+\Delta x,t)-2\,\xi(x,t)+\xi(x-\Delta x,t)}{[\Delta x]^2}\right]\end{aligned} \tag{付.29}$$

ここで，時間に関する最も後の項 $\xi(x,t+\Delta t)$ だけを左辺に残して，その他をすべて右辺に回すと次式が得られる。

$$\begin{aligned}\xi(x,t+\Delta t)=\;& c^2\,\frac{[\Delta t]^2}{[\Delta x]^2}\,[\xi(x+\Delta x,t)-2\,\xi(x,t)+\xi(x-\Delta x,t)]\\&+2\,\xi(x,t)-\xi(x,t-\Delta t)\end{aligned} \tag{付.30}$$

空間と時間の刻み幅 Δx，Δt を決めて，初期条件として $t=0$ での初期形状 $\xi(x.0)$ と $t=\Delta t$ での形状 $\xi(x.\Delta t)$ を与えると右辺が計算できるので，$t=n\times\Delta t$（ただし，$n=2,3,4.\cdots$）という形で時刻を進めていけば，原理的には各時点での各位置の値 $\xi(x,t)$ が次々に求まることになる。このような手法によるシミュレーションは，時間領域有限差分法（finite difference time domain, FDTD

法）と呼ばれる。上式による各時点での計算で必要な過去のデータは 1 時点前の両端の値だけで，固定端（両端では常に変位がゼロ）の場合，計算すべきなのは両端を除いた点なので，反射条件を式にわざわざ組み込む必要がない。

C.3.2　誤差の蓄積を抑える方法

$\dfrac{\Delta x}{\Delta t} = c$ の関係が成立するように $\Delta t, \Delta x$ を設定しておくと，式 (付.30) の右辺第 1 項の係数に関する部分は誤差なく計算できることになり，全体の誤差の蓄積は大幅に抑えられる。

D 音 階・音 律

D.1 音 階 の 根 拠

D.1.1 調波構造からの説明

音階内の各音は，調波構造の成分の周波数から説明されることが多いが，それは次のような関係に基づく。

基本波を H_1, その第 n 高調波 H_n の周波数を F_n と書くことにする。F_n=n×F_1 である。オクターヴ（oct. と略）上を「'」で表すとし，H_1 の周波数 F_1 の階名を移動ドでの「ド」とすると

F_2= 2 × F_1 なので H_2 の高さは 1oct. 上の「ド'」,

F_3 = 3 × F_1 = $\frac{3}{2}$ × F_2 なので H_3 は「ソ'」,

F_4 = 2 × F_2 なので，H_4 は「ド"」,

F_5 = 5 × F_1 = $\frac{5}{4}$ × F_4 なので「ミ"」（次項の説明を参照）,

F_6 = 2 × F_3 なので，H_6 は「ソ"」,

F_7 は中途半端な値なので近い階名はない。

F_8 = 2 × F_4 なので H_8 は「ド "'」,

F_9 = $\frac{9}{8}$ × F_8 なので H_9 は「レ"'」,

F_{10} = 10 × F_1 = 2 × F_5 なので，H_{10} は「ミ"'」,

F_{11} は中途半端な値なので近い階名はない。

F_{12} = 2 × F_6 なので，H_{12} は「ソ"'」,

F_{15} = $\frac{15}{8}$ × F_8 なので H_{15} は「シ"'」,

になる。「ラ」は H_{27} として 3 オクターヴ上の音が出てくる。「ファ」については計算上では第 3^{11}(= 177,147) 高調波が 16 オクターヴ上のファ音（5 度上行を 11 回行って到達する高さ）になるが，実用的な高さではない。

D.1.2　「ソ」と「ファ」は「ド」から見て重要な音

「ド」から見て「ソ」が重要な音であることは，弦の振動や筒の中の気柱の振動での基本モード（最も基本的な振動様態）の周波数を「ド」とした場合に，第 3 モードは第 2 モードの「ド」の上の「ソ」になることからも納得できるであろう。金管楽器の経験のある読者は，何も説明しなくても 5 度の物理的な重要性は体でわかっているはずである。ギターやヴァイオリンでハーモニックス奏法をしたことがある読者も，開放弦の 12 度上が上のオクターヴの 5 度音になることから，5 度の関係は楽器の物理に由来する重要な音程であることを知っているはずである。オクターヴを無視すれば，「ド」から見て完全 5 度上の「ソ」は非常に関係の深い重要な音であるということになる。そう考えると，「ド」から見て完全 5 度下の音である「ファ」も「ド」と関係する重要な音であることになる。「ド」を基準（主音）として，「ソ」が属音（dominant：支配的な音），「ファ」が下属音（subdominant）と名付けられているのは，その重要性による。

D.1.3　テトラコードの積み重ねによる説明

上で導いたド，レ，ミ，ファは，完全 4 度音程の中に 2 音を配置した 4 弦音（テトラコード）と考えられる。その配置は下からの音程で言うと，全音／全音／半音となっている。この音程配置の音列を属音から上に置くと，ソ，ラ，シ，ドになる。したがって，2 つのテトラコードを 5 度で積み重ねると，それらの高調波の高さで西洋音階における全音階（長調）の音がすべて出揃うことになる。

これによって「ラ」と「シ」の周波数が決まることになるが，この場合，「シ」は，「ソ」の $\frac{5}{4}$ 倍なので，「ド」から見ると $\frac{3}{2} \times \frac{5}{4} = \frac{15}{8}$ となり，「シ」が出てくる属和音ソシレの周波数比は $\frac{3}{2} : \frac{15}{8} : \frac{9}{4} = 4 : 5 : 6$ となるので，主和音ドミソの周波数比と一致している。一方，「ラ」は「ソ」の $\frac{9}{8}$ 倍なので，「ド」から見た「ラ」

の周波数比は $\frac{3}{2} \times \frac{9}{8} = \frac{27}{16}$ 倍になる。しかし，これでは下属和音ファラドの周波数比が $\frac{4}{3} : \frac{27}{16} : 2 = 4 : 5.0625 : 6$ となって，ドミソの周波数比と一致しない。

D.1.4 純正律の不都合

5 度（周波数比 3/2）を基本にしつつ，調波構造に基づく「ミ」を取り入れることによって，「ミ」の協和度を上げたのが純正律である。協和性の話をするには，調性音楽における主要三和音を説明しておく必要がある。

（**1**） **主要三和音**　3 度を積み重ねた 3 つの音で構成される和音は「**三和音**（triad）」と呼ばれ，和声法上重要なものが 3 つあり，これらは「**主要三和音**」と呼ばれる。長調か短調かに関わらず（以下，「旋法に関わらず」と表現する），三和音は基本的な形として，和音の基礎になる音を「**根音**（root）」とし，それとその 3 度上の音（**3 度音**，third）および 5 度上の音（**5 度音**，fifth。3 度音から 3 度上）の 3 つの音で構成する。

5 度音は旋法に関わらず根音から完全 5 度であるが，中間の 3 度音は長調では根音から長 3 度，短調では短 3 度である。主音を根音にした三和音を**主和音**（tonic chord：略号 T），属音を根音にした三和音を**属和音**（dominant chord：略号 D），下属音を根音にした三和音を**下属和音**（subdominant chord：略号 S）といい，この 3 つをまとめて**主要三和音**（primary triads）という。

長調の場合，主要三和音はすべて「長三和音 major triads」（下の 3 度が長 3 度），短調の場合はそれらがすべて「短三和音（minor triads）」（下の 3 度が短 3 度）である[47)]。和音の構成音について説明する。

（**a**） **長調の場合**　長調の主音はドで，主和音はドミソ，属和音はソシレ，下属和音はファラドである。

「ミ」は，「ド」から 5 度を 4 回上がって得られる音の高さであるが，そのままでは「ド」との周波数比が $\left(\frac{3}{2}\right)^4 = \frac{81}{16}$ となって簡単な整数比とは言えない。これを第 5 高調波の基本波との周波数比が 5 になるように $\frac{80}{16} = \frac{5}{4} \times 4$ とし，「シ」をこの「ミ」（周波数比 $\frac{5}{4}$）の 5 度上，すなわち $\frac{5}{4} \times \frac{3}{2} = \frac{15}{8}$ とする。これで，属和音ソシレの周波数比は $1 : \frac{5}{4} : \frac{3}{2} = 4 : 5 : 6$ になる。「ファ」は上の

「ド」の 5 度下,「ラ」はその長 3 度上とすると，下属和音ファラドの周波数比は $2/\frac{3}{2} : (2/\frac{3}{2}) \times \frac{5}{4} : 2 = \frac{4}{3} : \frac{5}{3} : 2 = 4 : 5 : 6$ となって，長調の主要三和音がすべて 4:5:6 で統一される。このようにして作った長音階の階名音の周波数比ド: レ: ミ: ファ: ソ: ラ: シ: ドの周波数比は,「ド」を 1 とすると，$1 : \frac{9}{8} : \frac{5}{4} : \frac{4}{3} : \frac{3}{2} : \frac{5}{3} : \frac{15}{8} : 2$ となる。

このようにして構成した長調（長音階）には，隣接音間の周波数比が $\frac{9}{8}$ のもの（ド－レ間，ファ－ソ間，ラ－シ間），$\frac{10}{9}$ のもの（レ-ミ間，ソ－ラ間），$\frac{16}{15}$ のもの（ミ－ファ間，シ－ド間）がある。$\frac{9}{8}$ の音程を大全音，$\frac{10}{9}$ の音程を小全音，$\frac{16}{15}$ の音程を全音階的半音という。

（b） 短調の場合　一方，短調は，主音がラで，主和音はラドミ，属和音はミソシ，下属和音はレファラである。これらの周波数比を，上記の音階を使って計算すると，ラドミは $\frac{5}{6} : 1 : \frac{5}{4} = 10 : 12 : 15$，ミソシは $\frac{5}{4} : \frac{3}{2} : \frac{15}{8} = 10 : 12 : 15$ となるが，レファラは $\frac{9}{8} : \frac{4}{3} : \frac{5}{3} = 10.125 : 12 : 15 :$ となって和音の周波数比が揃わない。レを $\frac{10}{9}$ にすると，レファラの周波数比は $\frac{10}{9} : \frac{4}{3} : \frac{5}{3} = 10 : 12 : 15 :$ と揃えられる。

つまり，純正律では和音の周波数比を長調と短調それぞれで揃えるために，長調と短調でレの高さをそれぞれに用意する必要があることになる。ドとミの間の音程を固定したままレを低くすると必然的にレとミの間隔が広くなる。ドから見た周波数比で，ミを 5/4 に保って，レを 10/9 にすると，レとミの周波数比は $\frac{5}{4} \,/\, \frac{10}{9} = \frac{9}{8}$ なので，短調のドレミは長調のドレミの広い全音（周波数比が $\frac{9}{8}$）と狭い全音（周波数比が $\frac{10}{9}$）を入れ替えることになる。したがって，長調とその平行調（relative key：調記号を同じくする長調と短調）の短調は純正律では「レ」の高さが微妙に異なるので「レ」が 2 つ必要ということになる。

どの調についてもレを 2 つずつ用意するとなると，結局全部の階名に対してキーを 2 つずつ用意する必要があるので，オクターヴ内に 24 個のキーが並ぶことになる。少し近似を入れてキー数の増加を抑えても図 D.4 のようになる。これは鍵盤楽器を作るには非常に都合が悪い。

そこで，この問題を解決する（どの調でも和音の響きをできるだけ保つ）た

めにさまざまな方策が提案された（D.2 節参照）。その究極の妥協策が平均律である。それは半音の周波数比の値 r を 2 の 12 乗根とするものである。小数で表すなら，$r \approx 1.059463$ になる。

（**2**） **多様な「半音」**　純正律には「半音」が 2 種類ある。1 つは長音階（長調）の説明に出てきた全音階的半音（周波数比は $\frac{16}{15} \approx 112$ ¢）で，もう 1 つは長 3 度と短 3 度の差の半音階的半音（周波数比で $\frac{5}{4}/\frac{6}{5} = \frac{25}{24} \approx 70$¢）である。全音に大全音（周波数比で $\frac{9}{8} \approx 204$ ¢）と小全音（周波数比で $\frac{10}{9} \approx 182$ ¢）があるので，これらから上の 2 種の半音を引いた残りも半音なので，もっとたくさんの半音がある。小全音（周波数比で $\frac{10}{9}$）から全音階的半音を引いた残りの半音の周波数比は $\frac{10}{9}/\frac{16}{15} = \frac{25}{24}$ で，これは長 3 度（$\frac{5}{4}$）と短 3 度（$\frac{6}{5}$）の違いと同じ（$\frac{5}{4}/\frac{6}{5}=\frac{25}{24}$）なので半音階的半音になる。大全音（周波数比で $\frac{9}{8}$）から全音階的半音を引いた残りの半音の周波数比は $\frac{9}{8}/\frac{16}{15} = \frac{135}{128} \approx 92$ ¢，半音階的半音を引いた残りの半音は $\frac{9}{8}/\frac{25}{24} = \frac{27}{25} \approx 134$ ¢ となる。ただし，平均律での半音はどこをとっても同一で，周波数比は $2^{\frac{1}{12}} \approx 1.059463$ で，100 ¢ である。平均律の全音の周波数比は $r^2 \approx 1.122462$ で，200 ¢ である。

4 種の半音について，**図 D.1** にまとめた。

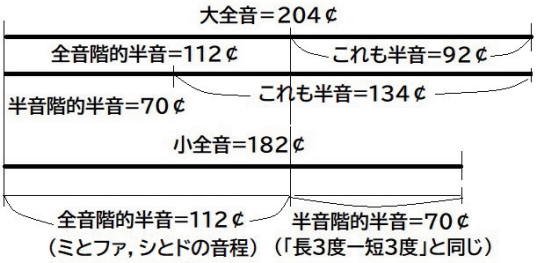


図 D.1　4 種の半音

（**3**） **「レ」が 2 つ必要であることは昔からわかっていた**　「レ」が 2 つ必要であることは，1636 年の Marin Mersenne の “Harmonie Universelle” にモノコード（一弦琴）の音高図として記されている（**図 D.2**）。撥弦は押弦位置よりも上で行うとして，開放弦を C とした場合の純正律の音名の押弦位置が示

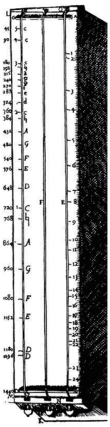


図 D.2　“Harmonie Universelle”[48] に載っているモノコード上の階名（音名のつもり？）

されている。オクターヴ上の C は中央に書かれている。C の 5 度上の G は下から 1/3 の点（振動部の長さは開放弦の 2/3，したがって周波数は 3/2 倍），E は下から 1/5 の点（振動部の長さは開放弦の 4/5，周波数は 5/4 倍）になっている。ところが，D は 2 箇所に書いてある（1/9 が長調用，1/10 が短調用）。

D.1.5　機能和声と調性音楽

3 つの主要三和音は音楽の進行の中でそれぞれ和声上の働き（「機能（function）」と呼ばれる）を持ち，それらは三和音の名称の頭文字をとって，T（主和音），D（属和音），S（下属和音）で表されるが，その他のすべての和音も和声法上の機能としては，T/D/S のどれかの機能を持つと考えて，和音進行が考えられる。このような考え方に基づく和声は**機能和声**（functional harmony）と呼ばれ，機能和声に基づいて作られた音楽は**調性音楽**（tonal music）と呼ばれる。

（**1**）　**和音の転回**　　三和音で下から根音，3 度音，5 度音の順に並んだ形（根音がベース音になっている形）を**基本位置**（root position）あるいは**基本形**（fundamental position）といい，長調ではドミソ，ソシレ，ファラドがこれに該当し，これらはすべて**長三和音**（major triads）である。短調ではラドミ，ミソシ，レファラがこれに該当し，これらはすべて**短三和音**（minor triads）であ

る（ただし，短調では属和音から主和音に進む場合の属和音の 3 度音ソをその調の導音ソ♯に変える。）。基本位置のベース音を 1 オクターヴ上に回し，元の 3 度音がベース音になった三和音を**第 1 転回**（first inversion），基本位置におけるベース音と 3 度音をそれぞれ 1 オクターヴ上に回し，元の 5 度音がベース音になった三和音を，**第 2 転回**（second inversion）という。三和音の第 1 転回は，最高音がベース音から見て 6 度（長調では短 6 度，短調では長 6 度）上になるので，「**六**（ろく）**の和音**」（sixth chord）とも呼ばれる。また，**第 2 転回**は，中央の音がベース音から見て完全 4 度上，最高音が 6 度（長調では長 6 度，短調では短 6 度）上になるので，「**四六**（しろく）**の和音**（six-four chord）」とも呼ばれる。

（**2**） **4 音以上からなる和音**　　**四**（よん）**和音**（tetrad，vierklang, 4 つの音からなる和音）では，三和音の上に根音から見て 7 度（長 7 度あるいは短 7 度）上の音を重ねるので，「**七**（なな）**の和音**」(seventh chord) と呼ばれる。属音を根音とする四和音は**属七**（ぞくしち）**の和音** (dominant 7th, 表記は D_7) と呼ばれ，下属和音 (S) − 属和音 (D) − 主和音 (T) とつなぐ終止 (cadenz) 型の中の S から D への進行（三和音の範囲では共通音がないため，進行に滑らかさが欠ける）を共通音 iv の導入によって滑らかにする手段（S=IV=iv+vi+i の代理和音として II=ii+iv+vi を使い，V=v+vii+ix に 7 度音 xi を追加した V_7=v+vii+ix+xi を D とみなした II-V の進行は “**two-five**（トゥー・ファイヴ）”と呼ばれ，ポピュラー音楽での常套手段）としてよく使われる。七の和音の第 1 転回はベース音から見て 5 度の音と 6 度の音を持つので「五六の和音」，第 2 転回はベースから見て 3 度音と 4 度（および 6 度）音を持つので「三四の和音」あるいは「三四六の和音」とも呼ばれる。

四和音の上に根音から数えて 9 度（長調および短調ともにオクターヴ上の長 2 度）上の音を重ねた五和音（5 つの音からなる和音）は「**九の和音**」（ninth chord）と呼ばれ，さらに 11 度音や 13 度音を加える和音もある。9 度以上の音を含む和音は上のオクターヴ違い（転回すれば同一オクターヴ）の隣接音を含み，緊張感を持つのでテンションコードと呼ばれる。

（**3**） **終 止 形**　　カデンツ〈【独】Kadenz,【伊】cadenza,【英】cadence〉

とも。調性音楽における楽節の段落または終止になる部分で，文章における句読点の効果を持つ和音進行の構造。正格終止（V_7→I），変格終止（IV→I），半終止（T→V），偽終止（V_7→VI）などがある。正格終止はここで曲が終わってもいいという安定感を与えるが，その他の和音進行は，後に何かが続いてほしい感じを与える。

D.2　音　　律

D.2.1　音律を最初に考えたのはピタゴラス？

打楽器の一部を除いて，どんな楽器でも音高を調整するというプロセスを避けられない。ここで，音律（音階を構成する音の間の周波数比の決め方）に関する話をしておく。韻律を初めて数学的に考えたのはピタゴラス（前 582-496）だろうということになっている。

ピタゴラス音律　　ピタゴラス音律は，5 度（ドとソの間の音程。半音 7 つ）の積み重ねで作る音階である。基準になる音は何でも構わないが，例えばドを基準として，上へ完全 5 度をドンドン積み重ねて（オクターヴの境界を｜で示して）いくと

ソ，｜レ，ラ，｜ミ，シ，｜ファ♯，｜ド♯，ソ♯，｜レ♯，ラ♯，｜ファ｜ド

となり，12 個目で最初のドよりも 7 オクターヴ上のドになる†。オクターヴ等

† ただし，ピタゴラスの時代には，まだドレミファ・・・という階名は付けられていなかった。ドレミファ・・・の起源は，中世のキリスト教の「聖ヨハネ賛歌」の歌詞とされる[23]。この曲の第 1〜6 フレーズの最初の音が C-D-E-F-G-A の音高（オクターヴ内に 6 音しかないのでヘクサコードと呼ばれる）になっており，それに付けられている歌詞としてのラテン語の祈祷文の音節が Ut-Re-Mi-Fa-Sol-La であったのを，音楽教師グイード・ダレッツォ（Guido D'Arezzo，991 or 992-1050）が修道士の教育に用いたが，13 世紀半ばころに，G 音 (Sol) から始まるヘクサコードが生まれ，その際に第 1 音 Ut(how,as) が Dominus(lord「主」) の Do に変えられて，C 音から始まるヘクサコードが Do-Re-Mi-Fa-Sol-La となり，第 7 音として歌詞の末尾 Sancte Johannes（聖ヨハネ）の頭文字 SJ の j を異字体の i に変えて（ラテン語では i の代わりに j を使える）Si としたとされる。長調でソが Dominant と呼ばれるようになったのもこれが関係する（日本語ではドが「主」音で，ソは「属」音と訳されている）。この階名の音名としての使用は，ロマンス語圏で「固定ド」が使われる遠因になっていると思われる。

価性を使ってこれらの音をすべてオクターヴ内に落とし込んだのが**ピタゴラス音律**であるが，異名同音（例えばド♯とレ♭）は同じ高さとみなすと，これでオクターヴ内の階名 12 個が半音階ですべて出そろったことになる。

この最後のドの周波数は最初のドの $\frac{3}{2}$ の 12 乗倍で，$(\frac{3}{2})^{12} = \frac{531441}{4096} \approx 129.75$ となり，最初のドとその 7 オクターヴ上のドの周波数比 $2^7 = 128$ よりも少し高い。この違いはセント値（1 セントは半音の 1/100）で表すと約 23.46¢ である。† これは「ピタゴラスのコンマ」と呼ばれる。

ピタゴラスのコンマの問題を解決するために，以後いろいろな音律が提案された。純正律はその過程で考案された「和音がきれいな音律」である。

ピタゴラス音律で三和音，例えば「ドミソ」を作ると，その周波数比は $1 : (\frac{3}{2})^4/8 : \frac{3}{2} = 64 : 81 : 96$ となり，簡単な整数比にならない。つまり，高調波の重なる頻度が少なく協和性が低い。「ラ」についても，「ラ'」の周波数が $(\frac{3}{2})^3 = \frac{27}{8}$ なので，「ド」と「ラ」の周波数比は $\frac{27}{16}$ となり，高調波の重なりは高域へ上ってしまうので，協和性は現れない。ピタゴラス音律はそのままでは協和性の悪い音律なのである。これを改善するためにさまざまな音律が考案された。

次項で純正律，平均律，およびそれら以外の音律をいくつか紹介する。

D.2.2 中国の三分損益法

中国の「史記」の巻 25「律書第三」に，笛や弦楽器での音階の作り方が「**三分損益法**」として，以下のように説明されている。管内の空気や張った弦の振動による音の高さとして「律数（長さの単位）九九 81 をもって宮（5 音音階の主音）とし，その $\frac{1}{3}$ を切り落として長さを $81 \times \frac{2}{3} = 54$ にすると，振動の周波数は $\frac{3}{2}$ 倍（高さは 5 度上）になって，徴（属音：主音の 5 度上）」になり，それにその $\frac{1}{3}$ を継ぎ足して長さを $54 \times \frac{4}{3} = 72$ にすると，振動の周波数はその $\frac{3}{4}$ 倍になって，商（主音の長 2 度上）」になる。さらに，その $\frac{1}{3}$ を切り落として長さを $72 \times \frac{2}{3} = 48$ にすると，振動の周波数はその $\frac{3}{2}$ 倍（高さは 5 度上）になって，

† 周波数比で $(\frac{3}{2})^{12}/2^7 = \frac{531441}{4096}/128 \approx \frac{129.75}{128} \approx 1.01364$ は，セントに換算すると $1200 \times \log_2 1.01364 \approx 23.46$¢

羽（属音の長 2 度上）」になり，それにその $\frac{1}{3}$ を継ぎ足して長さを $48 \times \frac{4}{3} = 64$ にすると，振動の周波数はその $\frac{3}{4}$ 倍になって，角（主音の長 3 度上）」になる。これで，5 音音階の 1 オクターヴ内のすべての音（ド，レ，ミ，ソ，ラ）が出揃う。さらに同様の操作を続けると，変宮（宮の半音下，西洋音階の長調で言うならシ），変徴（徴の半音下，西洋音階の長調で言うならソ♭）が導かれる。この段階で宮に F 音を割り当てると F を主音とした長音階が得られる。

近代邦楽ではこれを「**順八逆六**の法則」と呼んでいる。この名称は，5 度上がることを（5 度上の音を）「順方向に半音で 8 個目の音」，4 度下の音を「逆方向に半音で 6 個目の音」と数えることによる。

三分損益法はピタゴラス音律と同じ　三分損益法は管や弦の長さの $\frac{1}{3}$ を短くしたり付け足したりすることによって音階の音が次々に得られると説明しているが，これは長さを $\frac{2}{3}$ にすると 5 度上がり，$\frac{4}{3}$ にすると 4 度下がる（下のオクターヴの階名でいうなら，5 度上がる）ことを説明しているので，ドから 5 度ずつ上がるとピタゴラス音階でソレラミ・・・というように求まっていくのと同じことを言っていることになる。**図 D.3** に三分損益法を図示しておく。

点線は左側の長さの $\frac{1}{3}$ を切り落とすことを，太い実線は 2 本ずつ組みにして，左側の長さの $\frac{1}{3}$ をつけ足して右側の長さにすることを表しており，縦棒の左の数字は長さを表している。単位は中国の「寸」であるが，相対音高をとる

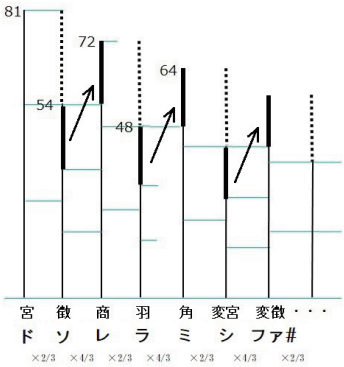


図 D.3　三分損益法による中国の音階の作成法。横軸の下は，中国の階名とそれに対応する洋楽階名。横軸最下行の掛け算の数値は左から右への長さの比。図中の数値は，最初の長さを 81 とした場合の長さ。

なら長さの比と考えてもよい。横軸には中国での音名（日本の雅楽での音名でもある）を示しているが，その下の掛け算記号と分数は左から右への長さの比である。「最初の長さを 81 として，その $\frac{1}{3}$ = 27 を切り落として 54 とし，その $\frac{1}{3}$ = 18 を付け足して 72 にする」といったように進めると，「5 度上昇・4 度下降」を繰り返すことになる。

三分損益法を見出した前漢の音楽の理論家京房(けいぼう)(BC77-BC37) は，管では三分損益法の精度がとれない（実効的な開口端は管の少し外になる）ので弦を用いるように推奨している。

ドを 1 個目の音として三分損益を（5 度上昇あるいは 4 度下降を 1 回とカウントして）合計 53 回行うと，54 番目の音は形の上では「シ」であるが，周波数は最初の「ド」のほぼ 32 倍になる†。D.2.3 項 (6)(b) で説明する「53 平均律」は多分ここから思いついたと思われる。53 平均律の step の幅（誤解を受けやすいが Holdrian comma と呼ばれる）は 1200/53≈22.6415094¢。

D.2.3 なぜいろいろな音律があるの？

ピタゴラス音律は完全 5 度を基準にしてその積み重ねでオクターヴ内の 12 音を作り出すことができるが，ピタゴラスのコンマと呼ばれる食い違いが生じ，かつ長 3 度の協和性が悪いので，そのまま使うのは都合が悪い。そこで，完全 5 度の周波数比を $\frac{3}{2}$ で保持したまま，広・狭 2 種の全音程を使うことによって，協和性を保ちつつピタゴラスのコンマを振り分けて辻褄を合わせる音律がいくつか考えられた。

（1） ミーントーン音律　ピタゴラス音律では主音をドとしたときのミ（3 度音）が少し高すぎる。ピタゴラス音律でのミは，ドから完全 5 度を 4 回重ねてソレラミと上がって 2 オクターヴと長 3 度で作る。協和の観点で理想的な純正律での 2 オクターヴ上のミの周波数（2 オクターヴ上のドの $\frac{5}{4}$ 倍）は元のドのちょうど 5 倍となるべきであるが，ドから完全 5 度を 4 回重ねてソレラミとして 2 オクターヴと長 3 度で作ると，ドの周波数の $\left(\frac{3}{2}\right)^4 = \frac{81}{16} = \frac{80}{16} \times \frac{81}{80} = 5 \times \frac{81}{80}$

† $(3/2)^{27} \times (3/4)^{26} = 32.06689005$

倍となるので，5 の $\frac{81}{80}$ 倍となり，望ましい値よりも少し大きくなる。これがちょうど 5 になるように，すなわち純正の長 3 度が得られるようにして，完全 5 度よりも少し狭い 5 度（「**ミーントーン 5 度**」と呼ぶ。）を作り，これを 5 度としてピタゴラス音律と同じように 5 度ずつ上がって 1 オクターヴ内の 12 音を作ったのが「ミーントーン音律（中全音律）」である。ミーントーン 5 度は周波数比では $5^{\frac{1}{4}} \approx 1.495349$ で約 696.578¢ となる。したがって，これを 12 回重ねると，約 38¢ 足りなくなる。ミーントーン音律は 5 度が狭くなり，すべての和音で不快なうなりを生じるので，実用性が低い。

（**2**） **キルンベルガー音律**　J. S. Bach の弟子にキルンベルガー（Johann Philipp Kirnberger）という人がいた。“Die Kunst des reinen Satzes in der Musik”(邦訳：東川清一訳「純正作曲の技法」) の著者として有名で，彼がバッハの手書きの譜面を集めたものはキルンベルガー・コレクションと呼ばれている。バッハを高く評価し，その作曲技法をまとめたものが上掲書で，その前半は音律に関する記述で占められている。Kirnberger は完全 5 度（以下 P と略記）とミーントーン 5 度（以下 M と略記）を使ってミーントーン音律を改良した。これは現在では**キルンベルガー音律**と呼ばれ，ドを基準として上へ MMMMPP，下へ PPPPP ととり，オクタ－ヴの周波数比を 2 にした音律である。この場合，誤差のしわ寄せが 5 度円の D ♭と F ＃の間の 5 度に集まる。

（**3**） **ヴェルクマイスター音律**　キルンベルガー音律では M あるいは P が連続しているが，長 3 度の純正さを少し犠牲にしてこれをやや均等（上へ PPMMPPMM，下へ MPP）配分したものがヴェルクマイスター音律である。ただし，ここでの M は上記 (1),(2) での M とは極くわずか異なり，完全 5 度よりもピタゴラスのコンマの 1/4 だけ狭いものであるが，Werckmeister はこの違いは聞き取れないとしているので，ここでは同じ記号を用いた。

（**4**） **ヤング音律**　P の周波数比が約 702¢，M の周波数比が約 696.6¢ で M のほうが 700¢ からの開きが少し大きいが，700¢ からの開き巾が同じで 700¢ よりも広い完全 5 度 P（701.955¢）と狭い 5 度 S（698.045¢）の数を 6 つずつ

にして，関係調への転調が滑らかになるように，5 度円で 5 度間隔で並ぶ隣接調が極力同じ 5 度になるように，C-F♯（G♭）を結ぶ対角線の ♯ 側に S を 6 つ，♭ 側に P を 6 つ並べた音律。長 3 度が純正律よりも狭いところと広いところができる．これに似たヴァロッティ音律は C-Major, a-minor からの転調を重視したもので，♯ と ♭ の境界が左回りに一つずれる．

（**5**） **純　正　律**　D.1.4 項で触れたように，**純正律** (just intonation) は和音がきれいに響くようにした音律で，具体的には，長調の主要三和音（ド: ミ: ソ，ソ: シ: レ，ファ: ラ: ド）の周波数比を 4:5:6，短調の主要三和音（ラ: ド: ミ，ミ: ソ: シ，レ: ファ: ラ）の周波数比を 10:12:15 にするもので，オクターヴ内の階名音の周波数比は，広い全音を $\frac{9}{8}$，狭い全音を $\frac{10}{9}$，半音の周波数比を $\frac{16}{15}$ として，

長調では，ド: レ=ファ: ソ=ラ: シ=8:9，レ: ミ=ソ: ラ=9:10，ミ: ファ=シ: ド=15:16 として

ド: レ: ミ: ファ: ソ: ラ: シ: ド=1:$\frac{9}{8}$:$\frac{5}{4}$:$\frac{4}{3}$:$\frac{3}{2}$:$\frac{5}{3}$:$\frac{15}{8}$:2

短調では，ラ: シ=レ: ミ=ファ: ソ=8:9，ド: レ=ソ: ラ=10:9，ミ: ファ=シ: ド=16:15 として

ラ: シ: ド: レ: ミ: ファ: ソ: ラ=1:$\frac{9}{8}$:$\frac{6}{5}$:$\frac{4}{3}$:$\frac{3}{2}$:$\frac{8}{5}$:$\frac{9}{5}$:2

とするものである。これで和音はきれいに響くが，レが長調用と短調用に 2 種類必要になる。これはハ長調とイ短調での話であって，他の平行調の対（ト長調とホ短調など）でも同様（その調でのレ（ト長調なら A 音）が 2 つ必要）であるので，鍵盤楽器で純正律のどの調でも弾くことができるようにするためには，結局すべての音について 2 つずつキーが必要になり，オクターヴ内にキーを 24 個設けなければならなくなる。これを近似的に実現した純正調オルガンが田中正平（1862-1945）によって明治期に作られている。現存する 4 台のうちの 1 つが京都女子大にある。**図 D.4** はその鍵盤である。

この鍵盤では 1 オクターヴあたりの鍵（キー）の数が 21 個になっており，調と旋法によってどのキーを使うかを判断しなければならないので演奏が非常に難しい。

純正調オルガンに使われている音律は実は純正律ではない。このオルガンで



図 D.4　53 平均律を使った純正調オルガン（京都女子大所蔵）の鍵盤

使われている音律は，$(\frac{3}{2})^{53}$ が 2^{31} にきわめて近いこと † を利用して 1 オクターヴを 53 に等比分割（1 区分の音程は周波数比で約 1.0132，cent 値では約 22.64 ¢）し，この中の 21 か所を使う「53 平均律」（本項（6）(b) 参照）に基づくものである。これによって，12 平均律で純正律との差が大きい長 3 度，短 3 度の誤差を小さく抑えられるのが 53 平均律のメリットである。

発音後すぐに減衰する音（ピアノやギターなど）なら，基本周波数が簡単な整数比から少しくらいずれた和音を弾いてもうなりによる音の混濁が聞こえる前に減衰してしまうので，それほど気にならないが，持続音の場合には高調波間の多重のうなりが気になることがある。持続音で和音を弾く場合にうなりが耳障りになるので，それを抑えるために 53 平均律はオルガンに採用されたと考えられる。

（6）平　均　律　　平均律（equal temperament）は 1 オクターヴ（周波数比で 2）の音程を周波数が等比的になるようにいくつかの音程に割る音律で，修飾語を付けずに「平均律」といえば，通常は 12 に分割する 12 平均律を指す。ここでは 12 平均律と 53 平均律を説明する。

---

† $(\frac{3}{2})^{53}/2^{31} \approx 1.00209$ で，ピタゴラス音律の正確さを表す $\frac{(\frac{3}{2})^{12}}{2^7} \approx 1.0136432$ よりもはるかに 1 に近い。

（**a**） **12 平均律**　1 オクターヴを等比的に 12 の半音に切る。したがって，半音の周波数比 r は $r = 2^{\frac{1}{12}} \approx 1.059463$ である（1.4.4 項 (3) 参照）。12 平均律での全音（長 2 度）は $r^{12} = 2$ より $r^2 = 2^{\frac{1}{6}} \approx 1.122462$ になる。1.4.4 項 (4) でも説明したように，12 平均律の半音を等比的に 100 等分した音程を 1 セント（単位記号は ¢）と呼び，その周波数比を c で表すと，$c^{100} = r$ より $c = r^{\frac{1}{100}} = 2^{\frac{1}{1200}} \approx 1.00057779$ になる。半音が 100¢ なので，1 オクターヴは 1200 ¢ になる。r，c を使うと，平均律での完全 5 度は半音 7 つなので $r^7 = 700$ ¢，長 3 度は半音 4 つなので $r^4 = 400$ ¢ になる。¢ 値で表すと，完全 5 度は約 701.96 ¢，長 3 度は約 386.31 ¢ となるが，ヒトの継時独立聴取での高さに関する弁別閾は 2 ¢ 前後なので，完全 5 度に関しては問題ないが，長 3 度については誰が聞いても違いがわかる（音階として聞いて違いが誰にでもわかるという意味ではなく，当該 2 音を続けて聞けば高さが異なることがほとんどの人にわかる）差になっている。

（**b**） **53 平均律**　和音を聴いた時に 3 音の基本周波数がきれいな整数比になっていなければ，高調波の間でうなりが生じる。うなりがゆっくりしていれば音の揺れとして感じられるので不自然ではないが，速いうなりが多数生じると音が汚く感じられるようになる。ヴァイオリンのように演奏時に奏者が持続音の音高を微妙にコントロールできる楽器の場合，奏者は重音（ダブルストップ）の訓練段階で 2 音がきれいに協和する範囲内に収まるように練習するが，ピアノのように奏者が演奏時に音高をコントロールできない楽器では調律の段階でその問題を解決しておく（妥協できる範囲内に調整しておく）必要がある。これは調律師の仕事である。

適切に調律されていないピアノやオルガンなどで弾く和音は，特に音が持続的な場合には多重うなりによる音の濁りが耳障りになりやすい。三和音だけで考えても，純正律でどの和音もきれいに協和するように調律するには，すべての音高について 2 つのキーを用意する必要があるが，四和音以上も考えるならさらに多数のキーが必要になる。通常は鍵盤には 1 つの音高あたりキーは 1 つしかないので，妥協点を見つけることになり，使用頻度の高い調の和音がきれ

いに響くように，かつ奏者の好みを取り入れて調整する。

特に音が持続するオルガンのために，1 つの音高にキーは 1 つだけという制約を少し緩めて考えられたのが 53 平均律で，これは多くの和音の周波数比が簡単な整数比になるように（言い換えれば高調波の重なりが多くなるように）して，和音をきれいに協和させるために考えられたものである。(5) 純正律でも説明したが，これは $(\frac{3}{2})^{53}$ が 2^{31} にきわめて近いことを利用する音律で，1 オクターヴを 53 に等比分割（1 区分の音程は約 22.64 ¢）し，この 53 か所の中の 21 か所を使う。以下，1 つの区分 (division) の音程を d と表すことにする。

これによって，完全 5 度（純正律で 702.0¢）を $31d \approx$701.9 ¢，完全 4 度（純正律で 498.0¢）を $22d \approx$498.1 ¢，広い長 2 度（純正律で 203.9¢）を $9d \approx$203.8 ¢，狭い長 2 度（純正律で 182.4¢）を $8d \approx$181.1 ¢ として純正律の長短三和音で使うすべての音程との誤差をきわめて小さく（高さの差の検知限以下に）抑えられることになる。ただし，3 全音（「悪魔の音程」と呼ばれる不協和な音程。増 4 度あるいは減 5 度とも呼ばれる）は純正律との差が大きくなる（$0.5d \approx$11.32¢）が，三全音は協和的な和音としては使わないので，純正律から外れても差し支えないと考える。完全 5 度と完全 4 度を正確にとれて，同一音程の広/狭を区別でき，かつ 12 平均律で純正律との差が大きかった長 3 度，短 3 度の誤差を小さく抑えられるのが 53 平均律の最大のメリットである。

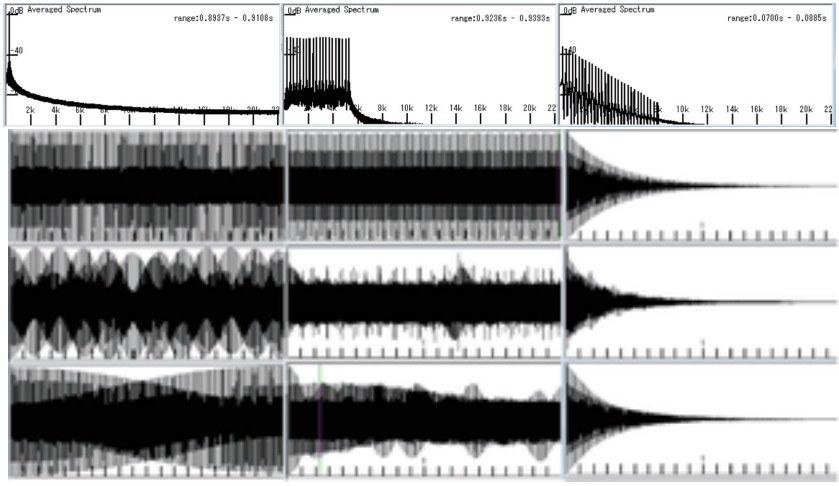
表 D.1 に純正律と 12 平均律および 53 平均律の各音高を「ド」からの周波数比，セント値で示す。また，**図 D.5** に，正弦波 1 本（基本波成分のみ）の音，同一振幅の 20 成分の定常的な調波構造音，高域下がりの特性を持った指数減衰する調波構造の 3 種の音で長三和音（ハ長調の主和音「ド・ミ・ソ」）の波形包絡を，純正律，12 平均律，53 平均律について示す。和音におけるうなりの速さを波形包絡の増減の速さで視覚的に見ることができる。

【補足】音律比較：53 平均律と 12 平均律とを比べて，純正律にどの音が近いか，どの音が遠いかを数値で表の形で，表 D.1 に示す（どちらも 5 度音・4 度音に関しては同程度に純正律に近いが，3 度音・6 度音に関しては 53 平均律のほうが 12 平均律よりもはるかに純正律に近く，3 全音に関しては 53 平均律

表 D.1　2 種の平均律と純正律との比較

	12 平均律			純正律			53 平均律		
音程	r 表記	周波数比	¢ 値	比	周波数比	¢ 値	divs.	周波数比	¢ 値
1 度	r^0	1.0000	0	1	1.0000	0	0	1.0000	0
短 2 度	r^1	1.0595	100	16/15	1.0666	111.7	5	1.0676	113.2
長 2 度 (m)	-	-	200	10/9	1.1111	182.4	8	1.1110	181.1
長 2 度 (M)	r^2	1.1225	200	9/8	1.1250	203.9	9	1.1249	203.8
短 3 度	r^3	1.1892	300	6/5	1.2000	315.6	14	1.2009	317.0
長 3 度	r^4	1.2599	400	5/4	1.2500	386.3	17	1.2490	384.9
4 度	r^5	1.3348	500	4/3	1.3333	498.0	22	1.3334	498.1
3 全音 a	r^6	1.4142	600	45/32	1.4063	590.2	26	1.4050	588.7
3 全音 b	r^6	1.4142	600	45/32	1.4063	590.2	27	1.4235	611.3
5 度	r^7	1.4983	700	3/2	1.5000	702.0	31	1.4999	701.9
短 6 度	r^8	1.5874	800	8/5	1.6000	813.7	36	1.6013	815.0
長 6 度	r^9	1.6818	900	5/3	1.6667	884.4	39	1.6654	883.0
短 7 度	r^{10}	1.7818	1000	16/9	1.7778	996.1	44	1.7779	996.2
長 7 度	r^{11}	1.8877	1100	15/8	1.8750	1088.3	48	1.8734	1086.8
8 度	r^{12}	2.0000	1200	2	2.0000	1200.0	53	2.0000	1200.0

53 平均律は 12 平均律よりもはるかに純正律に近く，長 2 度の広／狭を区別できる。d は周波数比で約 1.013164143021（22.6415094¢）で，3 全音については許容範囲内の近似で対応する div 番号がなく，上下の div 番号（26,27）の高さから等音程で離れている。



正弦波 1 本／音　　持続調波構造音　　指数減衰の高域下り調波構造音

図 D.5　合成音による長三和音の各音のスペクトル構造と用いた音律による波形包絡の違い。【時間長＝ 2 秒】
最上段：各単音のスペクトル構造。
下 3 段：長三和音の波形包絡
上段：純正律，中段：12 平均律，下段：53 平均律
左列：正弦波 1 本だけの 3 音による和音，
中列：等レベル 20 成分の調波構造の 3 音による和音，
右列：高域下り 30 成分の調波構造で指数減衰する 3 音による和音

は誤差が大きいことがわかる。)。

53 平均律が 12 平均律よりもいかに純正律に近いかを示すために, 3 種の周波数構造で作った和音を比べてみよう。比較のための和音はハ長調の主和音（ドミソ）で長三和音である。各音が正弦波 1 本だけの場合（左列）を見ると, 純正律の場合はうなりがなく, 12 平均律では速いうなりがあるが, 53 平均律ではうなりが遅くなる（純正律からのずれが 12 平均律よりも小さくなる）のがわかる (【⬇:\付録関係 \2. 付録D:音階・音律 \D.3 単一成分による長短三和音 \8 音律長短三和音 \C-major_8-temperaments.wav, a-minor_8-temperaments.wav】純正律, 12 平均律, 53 平均律, ピタゴラス, 中全音律, キルンベルガー, ヴェルクマイスター, ヤングの順)。

参考のために, D.1「各種音律」に純正律, 平均律, ピタゴラス音律など各音律による音階を音のファイルに入れてある。D.2「ビート音階」で純正律との差をうなりで聞くことができる。【⬇:付録関係/2. 付録 D:音階・音律/D.1 各種音律 および /D.2 ビート音階”】

音のファイルの説明

D.1 各種音律：各音律による全音階 1 オクターヴ
D.2 ビート音階：上記 D.1 の各音階と純正律による音階を波形領域で足し合わせたもの

【注】：D.1 を独立に聴いて違いがわかる人は，音高・音程に関する弁別能力が高い人である。D.2 で，うなりが速い音高はその音律と 12 平均律による音高との差が大きい。

D.2.4　なぜ長調は楽しくて短調は悲しいの？

小学校の音楽の時間に，長調の曲と短調の典型的な曲を対比的に聴かされて，「長調の曲は楽しいけれども，短調の曲は何となく悲しいでしょ」と説明され，素直な小学生であった編者は聴いた印象が言われた通りなので，理由は詮索せずに納得してしまっていたが，音楽大学で講義をするようになってからは，講

義で説明するからには根拠を示す必要が生じ，少し調べたところ，和音の安定性に関する古い研究と短調の悲しさに関する動物行動学に基づいた以下のような説明があった。

基礎的な研究として，和音の**緊張度**に関する Leonard B. Meyer の論文[49] がある。三和音の場合は転回型にかかわらず，基本位置に戻して，中央の音から上下の音への音程が同一のときに，緊張度 T は最大で，上下の音程の差が半音のときに緊張度は 0 とされている。

その後，William A.Sethares は，和音の**不安定性** I が，不協和度 D と上記の緊張度 T との荷重和

$$I = wD + (1 - w)T \tag{付.31}$$

のような形で表現できると考えた[50]。ただし，**不協和度** D は隣接 2 音間の不協和度 D_1（半音で最大）と，任意の 2 音間の組合せの不協和度 D_2（増 4 度で最大）の和 $D = D_1 + D_2$ とされているが，定性的に説明されているだけで根拠は示されていない。

短三和音の悲しさの根拠として，上記の緊張度と**動物行動学**的な知見に基づいた次のような説明が N. Cook & T. Fujisawa によって与えられている[51]。

これは，三和音（3 つの音からなる和音）に関して，中央の音から上下の音への音程が半音の数で同数である状態は緊張度が高く，緊張度が高い和音は中性とし，それを出発点として上あるいは下の音の高さを動物行動学的な意味付けによって変えたものとして，和音の性格を説明するものである。

動物は，自分が快適な状態にある場合や相手を威嚇する場合には，相手よりも優位にあると判断すれば，聴覚的サインとして低い声（「ゴロゴロ」とか「ウーッ」というような声）を使う。逆に相手より自分が弱いとか劣位にあると判断すれば，自分が不利な立場にある（まずい，あるいは悲しい状態にある）ことを認識していることを相手に知らせて，抵抗しないという意思表示のために，聴覚的サインとして高い声（「キャンキャン」というような声）を使う。人間でも，威嚇する場合はドスの効いた低い声を，悲鳴を上げるときは高い声を使う。こ

れを中央の音から上下に同一音程で離れた音を持つ三和音に適用することを考える。

中央の音から上下どちらへも短 3 度あるいは長 3 度離れた音を持つ三和音を中性と仮定し，そこから上下の音を半音移動して，どのような印象を持つ音になるかを見てみよう。

中央の音とそれから上下に短 3 度離れた音からなる 3 音で最下音を半音下げる，あるいは中央の音とそれから上下に長 3 度離れた音からなる 3 音で最上音を半音下げると長三和音が得られる。中央の音とそれから上下に短 3 度離れた音からなる 3 音で最上音を半音上げる，あるいは中央の音とそれから上下に長 3 度離れた音からなる 3 音で最下音を半音上げると短三和音が得られる。つまり，中性的な和音から 1 つの音高を下げると長三和音が得られ，上げると短三和音が得られるということになる。

図 D.6 に短 3 度あるいは長 3 度の積み重ねによる中性の三和音 2 種を出発点とし，そこから上あるいは下の音を上下に半音移動させることによって長三和音あるいは短三和音を作り，それによって「浮かれた／沈んだ」感じを醸し出す過程を示す。

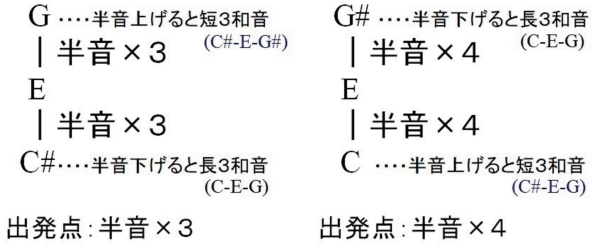


図 D.6　「長三和音は明るく短三和音は暗い」の説明

図で，中央の音とそれから上下に短 3 度あるいは長 3 度離れた音からなる三音はどちらも中性的な印象を与える。左の図で，下の音を半音下げるか，右の図で上の音を半音下げるとどちらもドミソとなって，楽しい印象を与える長三

和音になる。これに対して，左の図で，上の音を半音上げるか，右の図で下の音を半音上げるどちらも悲しい印象を与える短三和音になる。

つまり，中性的な 3 つ組みの音から，1 つの音高を下げると気楽な（優位な，好ましい）状態を表すことになり，半音上げると困った（降参するなど，悲しむべき）状態にいることを表すという，「動物行動学の原則に合致する」というのである。

まとめると，中央の音から上下に同じだけ離れた音を持った中性の三和音に対して，最上音を下げるか，最下音を下げるかによって長三和音を作れば陽気な雰囲気に，逆に最下音を上げるか，最下音を上げるかによって短三和音を作れば沈んだ雰囲気になるというのが Cook らの説明である。

D.3 チューニング

楽器は使用環境の温度や湿度，場合によっては経年変化によってサイズや状態が微妙に変わるので，個々の楽器自体での各音の音高関係とともに，合奏の場合には音高全体を調整する必要がある。ピアノやチェンバロ，オルガン，マリンバ，チェレスタなど，鍵盤型の楽器は，音高ごとにごとに調律する必要があり，しかも，どのような音域でどのような協和音を弾いてもきれいに協和するように調律する必要があるので，ある調に合わせて純正律で調律すると，他の調で不協和になる和音が生じる。また超低域や超高域では音高に関する知覚特性が鈍るので，純粋に純正律で調律すると種々の不都合が起きる。このため，これらの楽器の調律は専門の職人が奏者の好みを入れながら行う。鍵盤を持たない弦楽器は調弦しやすいので，音高を調節することに関する困難はなく，奏者が調弦する。管楽器は，個々の楽器については迂回管の長さや指孔の位置の位置は製作段階で調整されており，それを奏者が調整することはない。奏者が調整できるのは管全体の長さを調整するために，リップリード楽器のチューニングスライドや笛類（フルートやリコーダーなど）の頭部管やサックスのマウスピースの差し込みの深さを調節したり，スライド式のリップリード楽器（現在

ではトロンボーンが代表的）のスライド管の操作だけである。オーボエとファゴットは奏者が調律できるようになっていない。

D.3.1　オーケストラのチューニング

管楽器の共振周波数は基本的には管長で決まってしまうので，管楽器の音高調整は一般には難しい。このため，オーケストラでも，演奏開始前の「音合わせ」（チューニング）は，音高調整のしにくい管楽器の中でもそれが最も難しい楽器（通常はオーボエ）の A 音を出しておき，弦楽器は A 線の張力を調整してオーボエに合わせ，その他の弦は A 線を基準にしてハーモニックスが合うように（したがって，ヴァイオリン，ヴィオラ，チェロは完全 5 度を基準にして）調整する。コトラバスは原則的には 4 度で調弦する。管楽器は，どこか 1 箇所が合っていれば，その他の音の共振周波数は許容範囲内に収まる。リップリード楽器（金管楽器）はチューニングスライドで楽器全体の管長を調整して A の音高をオーボエのそれに合わせ，その他の音の高さの微調整は吹き方（唇の振動数）で調整する。フルートは頭部管の差込みの深さで全体（最低音）の高さを調整する。吹奏楽の場合は$\overset{ベー}{\mathrm{B}}$管（$\overset{ビー}{\mathrm{B}}\flat$ 管）が多いため，オーボエに代わってクラリネットの$\overset{ビー}{\mathrm{B}}\flat$（ドイツ名では $\overset{ベー}{\mathrm{B}}$【$=\overset{ハー}{\mathrm{H}}\flat$】）を使う。

D.3.2　個別楽器のチューニング

（a）　5 度調弦（ヴァイオリン，ヴィオラ，チェロ，マンドリンの調弦）　どれも隣接開放弦の音程が 5 度でペグで調整する楽器である。擦弦か撥弦かは問わない。ヴァイオリンなら第 2 弦が A4，ヴィオラなら第 1 弦が A4，チェロなら第 1 弦が A3 なので，A を標準音高に合わせ，その他の弦は隣接弦間が 5 度であることを使えば，低い側の第 3 高調波の周波数が高い側の第 2 高調波の周波数と一致する。したがって，低い側の第 7 ポジション（開放弦から半音で 7 つ上。押弦でのスピーキングレングスは開放弦の $\frac{2}{3}$）でのハーモニックス音の高さ（開放弦の 12 度上）は，高い側の第 12 ポジション（開放弦の 1 オクターヴ上）でのハーモニックス音の高さが一致するのでダブルストップで調整でき

る。カンティーノ（歌弦，最高音弦，第 1 弦）の調弦はペグで難しいなら，多分アジャスター（微調整ねじ）がついているだろうから，それを使って高調波間のうなりも消すことが望ましい。詳しくは，3.2.2 項 (7) 項を参照。

（b） 4 度調弦（ギター，コントラバス，エレキギター/ベースの調弦） どれも隣接開放弦の音程が原則 4 度で，6 コース（6 弦）の場合は 1 か所だけ長 3 度になるが，ペグで調整する楽器である。擦弦か撥弦かは問わない。6 コースの場合，ボルドーネ（ギターの場合はボルドーナ：最低音弦，第 6 弦）からカンティーノ（ギターの場合はカンタレーラ：歌弦，最高音源，第 1 弦）までの音程は，長 3 度の位置のいかんにかかわらずちょうど 2 オクターヴになるので，ボルドーネの第 5 フレット（開放弦から $\frac{1}{4}$）でのハーモニックスの音高はカンティーノの音高と同一になるので，容易に調律できる。4 度音程の隣接弦間の調律は，低音側の第 5 フレット（開放弦から $\frac{1}{4}$）のハーモニックスの音高はその開放弦の 2 オクターヴ上になり，高音側の第 7 フレット（開放弦から $\frac{1}{3}$）のハーモニックスの音高はその開放弦の 12 度上になるので，これらは一致する。したがって，容易に調律できる。

コントラバスなど 4 コース（4 弦）の場合はすべての隣接弦間が 4 度なので，上記の 4 度音程の調律だけで済む。詳しくは，3.2.1 項 (5)「ハーモニックスを使った純正律調弦」を参照。4 コース 4 弦といっても，ウクレレの場合は手前から G4，C4，E4，A4 なので，G4-C4 間は 5 度調弦，E4-A4 間は 4 度調弦を使えるが，C4-E4 間は長 3 度調弦を使うことになる。長 3 度調弦は低音側の第 4 フレットでのハーモニックス音と高音側の第 5 フレットのハーモニックス音が同じ高さになることを使う。

コントラバスには 4 弦のものと 5 弦のものがあり，調弦はどちらも上から順に，G2，D2，A1，E1 で，5 弦の場合はこの下の最低弦を $\overset{ビー}{\mathrm{B}}0$ あるいは C1 にする。ヴィオラ・ダ・ガンバの 4 度調弦の原則に従うなら B0 であるが，B0 を使うことはほぼないので，それよりもよく使う C1 を押弦せずに弾けるようにするのが 5 弦コントラバスの変則調弦である。B0 の場合はその隣りの E1 との間でハーモニックスを使った 4 度調弦をするが，C1 の場合はナットから 1/3

の位置（第 5 フレットに相当する位置）の弦に触れると 12 度上の G2 のハーモニックス音が出るので，最高音弦の G2 との間で合わせることができる。

（c） **ピアノの調律**　ピアノの弦は音域によって 1 つのキーに対応する弦の数が異なり，メーカーやピアノの型番によって異なるが，最低音域の数本は 1 本，低音域は 2 本，中音域から最高音域までは通常 3 本になっており，標準的な 88 鍵のピアノでは弦の総数は約 230 本程度になる。中音域から高音域までの弦は鋼鉄の単線であるが，最も低音域の弦は張力を下げるとともに，芯になる鋼線を銅線で巻いて単位長さ当りの重量を増やし，必要な長さが極端に増大するのを抑えている。ピアノはどの調でも和音が協和しなければならないが，人間の聴覚の音高に関する特性は中音域（C2 辺りから A5 辺りまで）についてはほぼ対数的（基本周波数が 2 倍になれば知覚的に 1 オクターヴ上る）と感じるが，それよりも低域や高域では基本周波数が半分になっても感覚的にはオクターヴ下がり切らず，2 倍になってもオクターヴには上がり足りないように感じる。中域で 1200¢ よりも約 2¢ 広いほうがちょうどオクターヴに感じる。さらに，ピアノの弦は金属なので曲げに対する剛性があって，それが高域高調波の周波数を押し上げる効果があり，A0 で約 40¢ 低く，A7 で約 40¢ 高く調律するのが標準的である[34), 図 5.61]。

具体的なチューニングは，カウンターを使って中音域のどれかの白鍵（C4 あるいは A4 などが多い）を設定しておき，それを基準にして 5 度上，4 度下あるいは 4 度上，5 度下などを，高調波間のうなりを聞いて調整していく。インハーモニシティが無視できる場合，例えば 5 度上の音を純正律で正確に調律するには，元の基準音の第 3 高調波と調整しようとするそれよりも 5 度上の音の第 2 高調波の間のうなりがなくなるように，少し広めにしたいなら，高音側を上げればうなりが速くなる側でうなりの周波数（1 秒間の変化回数）が設定しようとする周波数差の 2 倍になるようにすればよい。1 オクターヴの 12 音を調整できれば，それを基に，非調和性に起因するうなリを抑えるように上下に広げていけばいい。

「ピアノの調律」は音高のチューニング以外に打鍵機構の調整やハンマーフェ

ルトの手入れなどを含む。詳しくは，付録 G.3.3 項を参照。

オーケストラでピアノを使う場合（ピアノ協奏曲など）は，ピアノとオーボエが合っていないと破綻するので，ピアノの A4 をあらかじめ主席オーボエ奏者の楽器に合わせて調律しておくはずである。

（d） 管楽器のチューニング 管楽器の音高（共振の周波数）は基本的には管の実効長と内部の気体の密度・温度によって決まるが，管内の気体は通常は空気でその組成を制御することはほぼできず，管の内壁の温度は使用に伴って呼気の温度によって使用直後の温度よりも通常は上がってくる。マウスピースを取り付ける管楽器はマウスピースの差し込みの深さに多少の余裕を取ってあり，マウスピースあるいはチューニング用のスライド管を差し込む深さを変えることによって管長を調節できるようになっており，これを使って他の楽器と音高を合わせることができるようになっている。管楽器のチューニングは少し吹いて管の温度がある程度安定してから行うようにすべきである。

D.3.3 和楽器のチューニング

箏や三味線など，弦楽器については音高を調節することに関してまったく問題がない。したがって，これらを洋楽器との合奏に使う場合，音高調整の困難はない。管楽器は共振周波数が管長で決まってしまうので，音高調整は一般には難しい。洋楽器は管楽器でも管長を調節する機構を持った楽器が多いが，日本の管楽器はそのを持たないものが多い。尺八や篠笛・龍笛の場合，製作時にしか音高調整はできないと考えてよい。演奏時の全体的な高さの調節は，継ぎ管になっている場合は上管と下管の差し込みの深さを調整できるようにしておけば，高さの調整が可能なはずであるが，特に普化尺八は法器であったので，他の楽器との合奏に使うという発想はなく，単独で吹いて適切な音程がとれるならそれで十分であった。和楽器の場合，継ぎ管は調律のためではなく，携帯のために分割するためのものであった。したがって，継ぎ管の場合もいっぱい差し込んだ状態で使用することが想定されているので，継ぎ管の場合でも全体の高さを製作時の音高以上に上げることはできなかった。ただ，現代の尺八は洋

楽器との合奏に使われることもあるので，合奏での使用が想定される尺八は基準音高を洋楽の基準に合わせられるようにしておく必要がある。このため，現在では尺八の管の内壁に漆や砥粉を塗って，音色や音高を調整するということが一般に行われている。このようにして作られた尺八は「地塗り尺八」と呼ばれている。上管と下管の差し込みの深さを調整できるようにするには，いっぱい差し込んでいない状態でも音色が変わらないように，内壁に凹凸ができないようにしておかなければならない。

E

楽器各論補足

E.1 気 鳴 楽 器

E.1.1 気鳴楽器の分類と代表的な楽器

（1） リップリード楽器　現代のオーケストラで使われる代表的なリップリード楽器としては，トランペット，トロンボーン，ホルン，テューバがある，それらはリードをもたず，カップ型のマウスピース（奏者が口を当てる部分）を管の入口に差し込むようになっている。管部分は断面がほぼ円形の長い管を何重かに巻いて，手でもてる，あるいは紐でつるして首からかけられる程度の



図 E.1　代表的なリップリード楽器（金管楽器）
左からトランペット（ヤマハ），トロンボーン（ヤマハ），ホルン（ヤマハ），テューバ（ヤマハ）．

サイズにしてある。大きなものでは床に立てて保持するものもある。**図 E.1** に代表的なリップリード楽器を示す。

リップリード楽器の音源は奏者がマウスピースに吹き込む「ブーッ」とか「プーッ」というような音で，発音体は奏者の唇ということになる。音の高さ（演奏音高）はこの音の基本周波数によって決まる。マウスピースはこの音を広い周波数範囲にわたって出しやすいような形状であることが求められ，その形状は非常に重要で，種々の形が試されている。**図 E.2** に，いろいろな形のマウスピースをもち寄った際のスナップを示す。



図 E.2　リップリード楽器用の試作マウスピースの私的品評会で

音響管は断面の径が波長よりも十分小さい場合は，管内を伝わる波は平面波状に伝わると考えてよいので，管が曲がっていても，同じ長さの直管の場合と音響特性はほとんど変わらない。リップリード楽器は管の材料が真鍮あるいはその合金であることが多いので**金管楽器**とも呼ばれるが，管体材料が金属であるとは限らない。

コーヒーブレイク

日本の「ブラスバンド」は必ずしも金管楽器のバンドではない

日本の中学や高校によくある「ブラバン」（ブラスバンドの和製略語。ブラス：真鍮）は本来なら「金管楽器の楽団」の意味であるが，「ブラバン」はほとんどの場合，金管楽器のバンドではなく木管楽器も加えた「吹奏楽団」（英語では Wind Orchestra）であって，場合によると鉄琴やコントラバスまで加わっていることもある。金管楽器だけの場合は「ブラバン」とは言わず，誤解を受けないように「金管バンド」と称していることもある。

コーヒーブレイク

管楽器の管長の名称

管楽器はサイズによって$\overset{\text{ビーフラット}}{\text{B}\flat}$管とか F 管あるいは C 管などと管長に対応する音名を付けて呼ぶが，リップリード楽器の場合，その音名はピストンやレバーで迂回管を使わない状態で出せる最低音の音名で呼ぶ。実際に出せる最低音はそれよりも 3 全音（半音 6 つ）下なので B♭ 管はその下の E まで出すことができる。バルブ機構がなかった昔は管長によって出すことのできる音高に制約があったため，調によって異なるサイズの楽器をもち替えて吹いていたが，現在では調が変わっても階名に基づいて同じ運指が使えるように，迂回管を使わずに出せる最低音を階名のドと考えればいいようにしたので，移調楽器（transposing instruments）では管名が固定ドの「ド」つまり C 音になるように移した譜面を用いる。例えば，B♭ 管トランペットでは，B♭ を C として長 2 度高く記譜される。

木管の移調楽器でも事情は同じで，すべての指孔をふさいだ状態での音高を C として記譜する。例えば E♭ 管アルトサックスでは，E♭ を C として長 6 度高く記譜する。

“$\overset{\text{ビーフラット}}{\text{B}\flat}$管”を“$\overset{\text{ベー}}{\text{B}}$管”と呼ぶ場合があるが，これは英語の音名“$\overset{\text{ビーフラット}}{\text{B}\flat}$”をドイツ語音名で“$\overset{\text{ベー}}{\text{B}}$”というからで，“B 管”を「ビー管」と読んだり，“B♭ 管”を「ベーフラット管」と読んだりしてはいけない。

代表的なリップリード楽器

（a） **トランペットとコルネット** **トランペット**は長さ約 130 cm の管にカップ型のマウスピースとベルをつけて途中で 2 回折り返した高音用のリップリード楽器で，ほとんどがピストンバルブを 3 つもつタイプである。B♭ 管が標準で，その音域は E3〜B♭5 であるが，そのほかに C 管およびバスサイズとピッコロサイズなどがある。移調楽器であるが，C 管については実音で記されていることになる。

外見がトランペットに似た**コルネット**というリップリード楽器があるが，これはホルン（英語でホーン）の小型の意味（イタリア語で動物の$\overset{\text{つの}}{\text{角}}$を指す corno に縮小辞 etto をつけたもの）で，指孔を開けることによって実効管長を変える角笛であった。19 世紀にピストンバルブをつけたものが現れ，その成功を見て，トランペットは操作性の向上のために本体の管長を短くし，3 種の迂回管

を使ってピストンバルブで演奏中に実効長を変えられるようになった。**図 E.3** に現代のトランペットとコルネットを示す。



図 E.3　左：トランペット（B ♭管），右：コルネット（B ♭管）

トランペットは，操作性の向上のために管長を短くしたことによって音色の高貴さが損なわれたとも言われる。トランペットが音を犠牲にしてまで演奏しやすさを採ったことは，楽器として何が重要なのかを考えさせられる。音を求める奏者は現在でもピストンをもたない低音域のナチュラルトランペットを求める。トランペットにはスライド式のものやピストンの代わりにレバーをもつロータリー式のものもある（**図 E.4**）。



図 E.4　ピストンバルブ以外の方式のトランペット
左：スライドトランペット（B♭Alto Tb. Behning & Sons 社 HP より），右：ロータリートランペット（Schagerl 社 HP より）

（b）**トロンボーン**　　**トロンボーン**はトロンバ（トランペットのイタリア語）の語末の “a” をとって，拡大辞 “one” を付けたトロンボーネの英語読みで，「大きなトランペット」の意味である。**図 E.5** に現代のトロンボーンを示す。

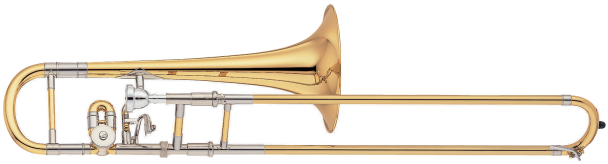


図 E.5　アルトトロンボーン（トリルレバーつき，ヤマハ）

標準的な B♭ 管で音域を比べると，トロンボーンの B♭ 管はトランペットの B♭ 管よりも 1 オクターヴ低い。2 重管のスライド部を伸縮させることによって，半音単位で音階を埋めることができる。スライド操作による音高は半音間隔で 7 つ出すことができ，完全 5 度を埋めることができる。トランペットが 3 つのピストンバルブによって迂回路を作って実効管長を半音間隔で 3 全音まで埋めるのと同じ効果をスライド操作で行うようになっている。完全 5 度を半音間隔で（つまり 3 全音までを半音間隔で）埋められるようにしておけば，自然倍音列で第 2 共振と第 3 共振の周波数比が 1.5（度数では完全 5 度）であるので，隣接モードへ移行することによって上下の音域の高さも出せる（つまり，音域全体にわたって半音間隔で埋めることができる）ことになる。

19 世紀後半にはトランペットと同じようにバルブで迂回路を作るバルブトロンボーンが試みられたが，音高の調整が難しく完成しなかったので，現在トロンボーン（大型トランペット）はスライド式だけになっている。スライド式にすることによって，トロンボーンは連続的に音高を変化させるグリッサンドやポルタメントが可能である。標準サイズは B♭ 管（テノール）で，その上に F 管（アルト），B♭ 管（ソプラノ），下へ G 管・F 管（ともにバス），その下の B♭・C 管（ともにコントラバス）がある。

（c）**ホ　ル　ン**　**ホルン**は，動物の角（英語でホーン，イタリア語でコルノ）から作られた信号用の角笛（つのぶえ）類およびそれが発展して作られたリップリード楽器の総称で，原始的なものは動物の角に穴を開けたコルノ・ダ・カッチア（狩猟ホルン）であったが，これには三日月状に少し曲がった程度のものから 1

周以上丸く巻いたものがあり，前者が 17 世紀にはコルネットあるいはツィンクに，後者がトロンプ（トロンバの異型）を経て後にホルンになった。

初期のホルンは管長が固定で**ナチュラルホルン**と呼ばれ，それは原始的なリップリード楽器の制約によって自然倍音列上の飛び飛びの高さしか出せなかったが，18 世紀に管の一部を取り替える「**クルック**（クルークとも）」(crook, 替え管）方式が開発され，それと同時にベルの中に右手を突っ込んで音高を半音下げたり音色を変える「ストッピング（独：**ゲシュトップト**，伊：キウソ，仏：ブーシェ）奏法」が開発された。

ホルンで自由に半音が出せるようになったのは 19 世紀に入って，3 通りの迂回管をもったバルブホルンが開発されてからである。現在では半音下げるのにはバルブを使い，ゲシュトップト奏法は音色を変える方法として使われる。

ホルンには第 4 のバルブをもつものがあり, それは管長の異なる 2 つの管長（例えば F 管と B♭ 管など）を 1 つの楽器に兼ねさせて，それを切り替えるものである。このようなホルンは**ダブルホルン**と呼ばれる。もう 1 つ別の調（管長）にもなるトリプルホルンもある。現在の標準的な F 管ホルンの音域は B1(H1)〜A3 である。**図 E.6** に現代のダブルホルンとともに，バルブがなかった時代のナチュラルホルンとその替え管類を示す。

リップリード楽器には，以上の他にサクソルン（サックスホルン）類があり，これから フレンチテューバ（バスサクソルン）やユーフォニウム（テノールサ



図 E.6　左：2 種の管を兼ねた現代のダブルホルン（ヤマハ，3 本並んだレバーの向こう側の右に F ／ B♭ の切り替えレバーが見える）
右：バルブがなかった時代のナチュラルホルンおよびそのクルック（管長を変えるための差し替え管：Horn Guys の HP から）

クソルン）などが派生した。

（2） **エアーリード楽器**　エアーリード楽器はリードをもたない管状の笛（木管楽器）で，代表的なものを**図 E.7** に，それらの中の歌口のいくつかの型を**図 E.8** に示す。



図 E.7　代表的なエアーリード楽器：
左から　フルート（ヤマハ），
リコーダー（木製，ヤマハ），
ケーナ，尺八

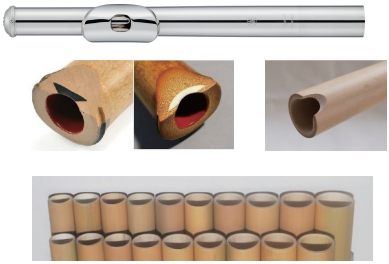


図 E.8　アンブシュール形成が必要な楽器の歌口
上段：フルート（ヤマハ），
中段：左 2 つ＝尺八（左：琴古流，中：都山流），
右＝ケーナ，
下段：2 列サンポーニャ（奏者から見て左側を高音管にして持つ）

管が 1 本の**単管楽器**か 2 本（歴史的には多い †1），あるいはもっと多数（パンフルートの類 †2）の**複管楽器**かという区別が形や構造の上からは可能であるが，音響学的にはこれらは区別しない。笛には，エアーリード楽器のほかに，次項で述べるリード木管楽器がある。

2.1.2 項 (2) で述べたように，エアーリード楽器には，空気流を楽器に備わった固定のスリットで作るものと，奏者が唇によって**アンブシュール**（演奏するために唇がとるべき適切な形）の形成が必要なものがある。

---

†1　古代ギリシャのアウロス，エジプトのアルグール，チュニジアのズマラなど

†2　中南米のサンポーニャなど。サンポーニャは，伝統的には全音音階の奇数番目の音列（ド・ミ・ソ・シ・レ・ファ＃・ラ・ド）と偶数番目の音列（レ・ファ＃・ラ・ド・ミ・ソ・シ）を別の音列楽器として作って，2 人の奏者が組んで演奏していたが，最近は前後に重ねて組み合わせることによって 1 つの楽器としたものが多い。サンポーニャはスペイン語名。北イタリアのザンポーニャ（大型のバグパイプ）と語源的には同じと思われるが，楽器はまったく別物である。原住民語ではシーク（アイマラ語）あるいはアンターラ（ケチュア語）と呼ばれる。

木管楽器の指孔は基本的には，実効的な管長を短くするという意味で，ある位置よりも手前はすべて閉じてそこより先はすべて開ける（つまり，音を順に上げていくには，先の孔から順に開けていく）のが原則（プレインフィンガリング）であるが，補正などのために，開孔を挟んでそれよりも先の指孔をいくつか補足的に塞ぐ場合（クロスフィンガリング）もある。リコーダーの指使いを図 E.24 に示す。

代表的なエアーリード楽器

（a） **フ ル ー ト**　「笛」は，日本語の感覚としては，運動会で徒競走に使われるホイッスルや，和楽器としては祭りなどで使う龍笛，神楽笛から，能で使われる能管あたりまでが意識に上ってくるが，なぜか尺八は笛としては思いつきにくい。日本で育った人でも，洋楽器としてはリコーダーやフルートなどを思い浮かべる。ただし，洋楽器の**フルート**を日本語で直訳して「笛」と呼ぶ人はいない。

ヨーロッパで笛（フラウト【伊】，フレーテ【独】，フリュート【仏】，フルート【英】）と言えば，バロック期以前では，フィップル（固定気道）をもった縦笛（英語でリコーダー）を指した。リコーダーは，Praetorius の[5]「Syntagma Musicum（音楽大全）」(1618〜20) に中世ドイツ語で「すべての音域（ganz Stimmwerck）のブロックフレーテ（栓笛）」として 8 サイズが紹介されている。同じページに，当時出現したばかりの，フィップルをもたない 6 穴の横笛も「クヴェールフレーテ（斜笛）」および「ドルツフレーテ（甘い笛）」として紹介されている。これはイタリアで「フラウト・トラヴェルソ（横笛）」ないしは「フラウト・ドルチェ（甘い笛）」と呼ばれたものである。リコーダーではエッジ（楔形の先端の稜線）への気流の当り方が楽器の気道によって固定されていたのと比べると，この横笛は吹き方によって音色を奏者がコントロールできるという意味で，「甘い音も出せる」笛であった。縦笛と横笛が共存した時期には，リコーダーはフルートと区別するためにイタリアではフラウト・ディリット（直笛）と呼ばれたが，リコーダーが廃れてからは笛（フラウト）といえばフィップルをもたない横笛を指すようになった。これの改良されたものが現在のフルー

トである[43)]。

フラウト・トラヴェルソは音孔が 7 つになり，最も遠い孔は右手小指でキーを使って閉じる「1 鍵フルート」になり，その後徐々にキーが増えていった。18 世紀末から 19 世紀初頭にかけて，8 鍵の期間が長かったが，19 世紀後半までキーの数や指使いに統一がとれていなかった。19 世紀半ばに，ドイツのフルート奏者で楽器製作者のテオバルト・ベームが管体を円筒にし，管材を金属にして大きな孔を開けられるようにし，それをキーで開閉できるよう大幅に改良を加えた 8 鍵のフルートを開発した。これによって，フルートは大きな音量かつ正確な音高での演奏が可能になった。現代のフルート（ベーム式フルート）ではすべての孔の開閉をキー操作によって行うようになっており，16 個の孔を右手親指以外の 9 本の指で操作して演奏するようになっている。キーを押えていないときは孔が開いているオープンキー 12 個と，閉じているクローズドキー 4 個をもっているのが一般的である[43)]。

フルートは昔は木製であったが，現在は普及型は洋銀（銅とニッケルと亜鉛の合金）で，高価なものには銀製，金製，白金製などもある。管材が高価なものほど楽器としていいというわけではない。【付録 G.1.1 項参照】

（b） **リコーダー**　固定スリット（アンブシュール不要）のエアーリード楽器としては，現代の楽器ではないが**リコーダー**（独：ブロックフレーテ）を挙げざるをえない。リコーダー以外で固定スリットのエアーリード楽器となると，現在の楽器ではオカリーナくらいになる。原始的なエアーリード楽器にはエッジを切っただけの単純なものが多かったが，12〜15 世紀のヨーロッパの楽器作りで，アンブシュール形成の困難を回避するために（誰でもすぐに音を出せるように），いい加減に吹いてもエッジに適切に空気流が当たるように固定スリットの気道を作って，帯状に整形された空気流がエッジに当たる楽器が作られた。これがリコーダーで，当時の文化の中心地イタリアで単にフラウト（フルート，笛）といえば，これを指し，絶大な人気があって，種々の音域のものが作られ，そのコンソート（同属楽器の合奏。【伊】コンソルテ）が盛んに行わ

れた[43]。ドイツでも 16 世紀前半でフレーテ（笛）といえばこれを指していたようで，Agricola は 1528 年初版（1545 年第 4 版）の著書[4] で，リコーダーを単にフレーテと書き，新しい型の笛（当初フラウト・トラヴェルソあるいはフラウト・ドルチェと呼ばれ，後に 1 鍵フルート，8 鍵フルートと呼ばれた型を経て現在のフルートに繋がる）をシュヴァイツァー・ファイフ（スイス管）と書いている。

リコーダーは縦笛（フラウト・ディリット）であったが，18 世紀中頃に現れたフラウト・トラヴェルソ（横笛，伊別称：「フラウト・ドルチェ（甘い笛）」）に比べて表現力が乏しかったため，フラウト・トラヴェルソの出現後，急速に廃れた。現在では，古楽器として使われるだけになってしまったが，日本では小学校で音楽の教材としてよく使われている。

（c） **オカリーナ**　**オカリーナ**は形状がずんぐりして楕円体に近く，管楽器とは呼びにくいが，エアーリード楽器で，ヘルムホルツ共鳴によって音を発生する。構造的には，陶器製の楕円体状の胴に吹き口の他に歌口 1 つと多数の指穴を開けたもので，空洞内部の空気は圧縮・膨張振動し，その一部が穴を通して出入りする。**図 E.9** に 4 サイズのオカリーナを示す。



図 E.9　4 サイズのオカリーナ
左上：バス, 左下：テノール,
右下：アルト，右上：ソプラノ（中南米フィルクローレ・コンフント “Tantanakuyi” 井上暁氏製作）

エッジに当たる空気流は楽器の固定気道によって形成されるので，奏者がアンブシュールを作る必要はない。そのエアージェットの振動周波数は管の気柱共鳴ではなく，**ヘルムホルツ共鳴**（首あるいは開口部をもった容器の内部にある空気がばねの役割を果たし，空気の弾性と開口部からの空気の出入りによっ

て起きる共鳴）によって決まる。オカリーナは極端に短い首を多数もったヘルムホルツ共鳴器とみなせる。ビール瓶の口を横から吹いたときに鳴る音は，1 本の長い首をもったヘルムホルツ共鳴器の音である。ヘルムホルツ共鳴の周波数は容器の容積と開口面積の総和と開口の平均半径および首に対応する部分（開口部分）の実効的な長さ（オカリーナの場合は容器壁面の厚さ）の平均値で決まる。共鳴周波数は，容量が小さいほうが高くなり，容量が同じならば，開口面積の和の大きいほうが高くなる（式 (付.32) 参照)。オカリーナは通常陶器で作られるが，陶器は焼くと縮むので，全体を少し大きめに，指穴を小さめに作って焼き，焼き上がってから低音から順に既定の音高になるように指孔の径を大きくしていく。削り過ぎた場合，少しであれば釉（うわぐすり）で指孔の開口面積を小さくして微調整できる。

オカリーナやホイッスルの音は，気柱共鳴ではなく，ヘルムホルツ共鳴によると考えられる。ヘルムホルツ共鳴器の最もわかりやすいモデルは，**図 E.10** に示すようなフラスコ型の共鳴器である。フラスコの容積 V の内部の空気がばねのように働き，フラスコの首の部分の空気の総重量 m が慣性質量として働く。オカリーナの歌口の開口部と指穴はヘルムホルツ共鳴器の首の部分に相当するので，オカリーナは多数の短い（本体の厚さの長さの）首をもったヘルムホルツ共鳴器になる。

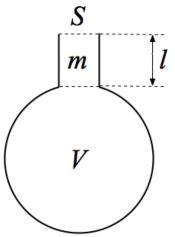


図 E.10　ヘルムホルツ共鳴器のモデル（V：容器の容積，S：首の断面積，l：首の長さ

そう考えると，首の部分の長さの実効的な平均値を $\bar{l}$，断面積（開口面積）の総和を S，複数の開口部を 1 つの円形開口とみなした場合の実効的な半径を $\bar{r}$ とすると，共鳴周波数 f は，音速を c として，開口端補正を考慮すると

$$f = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{V(\bar{l}+0.6\bar{r})}} \tag{付.32}$$

となる[1) p.226]。

楽器の容積と厚さを固定とすると，共振周波数は，首の総断面積（指穴の面積の総和）によって決まるので，穴の総面積を変える（小さな孔を多数開けておいて，その内のいくつかを指で塞ぐ）ことで種々の高さの音を出すことができる。より正確に計算するためには首の長さに開口端補正を加える必要があるが，孔の位置はそれほど重要でない。管内の気柱共鳴と異なり，ヘルムホルツ共鳴は倍音をもたないので，オカリーナの音は正弦波に近い音になる。

（3） リード木管楽器　　リードが 1 枚のシングルリード楽器と，2 枚のリードを向かい合わせた形のダブルリード楽器がある。現代の楽器でのシングルリード木管楽器にはクラリネットとサクソフォンがあり，ダブルリード木管楽器にはオーボエとコール・アングレ（別名：イングリッシュホルン），およびファゴットがある。**図 E.11** に代表的なリード木管楽器 5 種を示す。これらの中で，サクソフォンは管体が金属製なので一見金管楽器のような外観をしている。



図 E.11　代表的なリード木管楽器：左から　クラリネット（シングル），サクソフォン（シングル），オーボエ（ダブル），コール・アングレ（ダブル），ファゴット（ダブル）

サクソフォンは金管楽器のように見えるが木管楽器で，リップリード楽器用の金属製の管体にリードをつけたようなものなので，音量が金管楽器のように大きく，音色は木管と金管の中間的なものである。イングリッシュホルンはフランス語での楽器名コール・アングレの英語への誤訳で，本来は「曲がったホルン（角度をもった角(つの)笛)」と訳すべきところを同一発音の「イギリスのホルン」と誤った英語を充てたオーボエ属の楽器で，先がタマネギ型になっている。

（a） **シングルリード木管楽器**　**シングルリード木管楽器**は，葦や竹あるいは合成樹脂製の 1 枚のリードを息の吹き込み口（マウスピース）に取り付けたリード木管楽器で，息を吹き込まない状態では，リードとマウスピースの間に少し隙間がある。ただ，リードとマウスピースの隙間は小さく，ほぼ閉じているとみなせるので，閉管とみなせる。マウスピースをくわえて息を吹き込むと，マウスピース内に空気の疎密が発生し，気柱内部を往復運動する。リードは，口腔内圧力（吹鳴圧）とマウスピース内音圧の差によって駆動されるが，リード単体の固有振動数は，気柱の共鳴振動数よりもずっと高いので，リードはほぼマウスピース内の音圧変化に追従して振動する。定常振動状態では，気柱の圧縮・伸張とリードの振動は同期し，リードの開閉に伴って，口腔から空気流が適切なタイミングで供給され，気柱の振動が維持される。

クラリネットのような円筒閉管の場合，基本波の波長は管長の 4 倍になるので，音波の 2 往復する時間が基本振動の周期である。最初の一往復でマウスピース内音圧が正とすると次の一往復で負となるので，リードはこれと同期し最初の 1 往復では開いた状態となり次の 1 往復で閉じた状態となる。このように，リードは開閉することで空気流を制御するバルブの役割を果たす。リード木管楽器については，リードの振動（固体の振動）が音波を作るという記述をしばしば見かけるが，力学モデルを用いた解析を行うとその効果は小さく，気柱内の音波は空気流の供給によって維持されていると考えるほうが妥当である。

シングルリードのリード木管楽器の代表的なものを以下に示す。

(a.1)　クラリネット　**クラリネット**は，**円筒管**に近い管体形状をもったシングルリード木管楽器で，フランスの古い楽器**シャリュモー**（指孔 7，親指

孔 1）がその前身である。クラリネットは閉管なので，基本波の波長は管長の 4 倍となり，同じ長さであれば開管楽器（フルートなど）よりも 1 オクターヴ低い音を出せる。また，閉管であることから，高次モードの振動を起きやすくする孔を開くと，基本波の 3 倍の周波数（ペダルトーンの 12 度上）の高さの音が出る，シャリュモーはその音域を拡張するために，1700 年ころに**スピーカーホール**が設けられてクラリネットになったが，スピーカーホールを開けずに出すクラリネットの最低音域を**シャリュモー音域**という。これは上記の前身楽器の名前に由来する。スピーカーホールを開いて出す 3 倍音の音域の音は，ルネサンス期のクラリーノ（短管トランペット）の明るく開放的な音を思わせるところから，この音域は**クラリーノ音域**あるいは**クラリオン音域**と呼ばれ，クラリネットの名称はここから来ている[43)]。

図 E.12 に各サイズのクラリネットを示す。すべて C 管（1900 年ころまであったが今はない）として記譜される。



図 E.12　いろいろなサイズのクラリネット（ヤマハ）。左から，標準的な B♭ 管，A 管，E♭ 管（小クラリネット），アルトクラリネット（小クラリネットのオクターヴ下），バスクラリネット（B♭ 管の 1 オクターヴ下）。

次に，金管楽器と間違われやすいが木管楽器であるサクソフォンを挙げておく。

(a.2)　サクソフォン　　**サクソフォン**は，管体が金属製であるが，リードをもつので分類上は木管楽器になる。1846 年にアードルフ・サックスによって開発された木管楽器と金管楽器の折衷のような，いわば実験的な楽器である。マウスピースは，クラリネットと同様にシングルリードで，管形状はほぼ**円錐**である。そのため，閉管ではあるが，共振特性は開管に近く，同じ管体長の場合，管の基本振動数はクラリネットの約 2 倍（したがって音域は 1 オクターヴ上）になる。サクソフォン 4 サイズを**図 E.13** に示す。



図 E.13　サクソフォン 4 サイズ（ヤマハ）：
左からソプラノ（A♭3〜E♭6），アルト（D♭3〜A♭5），
テナー（A♭2〜E♭5），バリトン（D♭2〜A♭4）

左手親指で操作する 2 つのスピーカーキーがあって，これを押さえると第 2 共振，第 3 共振の波の腹の位置に孔が開き高次共振が起きやすくなり，それぞれオクターヴ，12 度（オクターヴ＋ 5 度）高い音が出やすくなる。オクターヴ上の音を出すことが多いのでスピーカーキーをオクターヴキーと呼ぶこともある。

サクソフォンの開発は 1846 年で，交響曲などの大編成の管弦楽の形での作曲が少なくなった後に現れた楽器なので，盛期ロマン期まで（1850 年ころまで）の楽曲の楽譜にこの楽器が現れることはない。開発 10 年後頃にヴァイオリン奏者サンジュレー（Jean-Baptiste Singelée: 1812-1875）によって書かれたサ

クソフォン四重奏曲によってこの楽曲形式が確立され，現在までに数百曲程度が書かれている[43]。

四重奏の編成は標準的にはソプラノ，アルト，テナー，バリトンであるが，ソプラノの代わりにアルトを 2 本にしたり，ソプラニーノを使ったりする場合がある。グラズノフなどによる協奏曲もあるので独奏楽器としての使用はあるが，オーケストラ楽器としてサクソフォンが使われることはほぼない。サクソフォンが使われるのは，主としてジャズやポピュラー音楽であり，中南米音楽に使われることは少ない。

ソプラノサックスの変な音　ちょっとまずい音として，あるソプラノサックスについて，長 2 度で隣接する高域の 2 音を比較したものを**図 E.14** に示す。奏法としては，通常の奏法とブロウ奏法を見ておく。

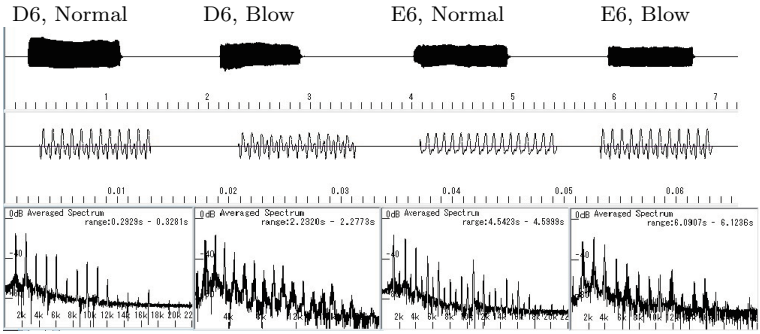


図 E.14　ソプラノサックスでの通常奏法とブロウ奏法による高域の 2 つの音高（D6 と E6）の波形包絡（上段），波形の一部の時間軸拡大図（中段）と定常部約 50 ms の周波数スペクトル（下段）。E6 の通常奏法のスペクトルの低域では，基本周波数が公称ピッチ（1318 Hz）の半分の調波構造で，偶数番目の高調波が奇数番目の高調波よりも大きいように見えることに注意。【⬇：SSax251(D6+E6)×(N+BL)F.wav】

図 E.14 で，通常奏法の D6 と E6 を比較すると，D6 が基本周波数 1200 Hz 程度（第 10 高調波の周波数がほぼ 12 kHz）の普通の調波構造を呈している（D6 の公称周波数は 1175 Hz）のに対して，通常奏法の E6 のスペクトルは E6 の公称周波数 1318 Hz を基本周波数とする調波構造と見るには少し無理がある。第 10 高調波が 13 kHz の少し上にあるように見え，12 kHz 以下の帯域では基

本周波数が 1318 Hz の半分の調波構造をもっていて，高域を除いて奇数番目の高調波が偶数番目の高調波よりも顕著に小さいように見える特殊な形をしている。つまり，通常奏法で D6 と E6 の間で音色が大きく変わっていることがわかる。ブロウ奏法に関しては，D6 と E6 の間にこのような違いは認められない。この図の通常奏法の E6 音は，1 オクターヴ低い音が少し混じったように聞こえることが予想されるが，聞いてみると完全に E6 である。

演奏技術にも依存するが，この楽器では通常奏法で，D6 と E6 という音高の近い 2 音間でも音質がかなり異なることが予想される。これは楽器としては好ましくない。実際に音を聞いてみると，特に通常奏法に関して D6 と E6 の間で音質の違いが大きいように感じられる。演奏の稚拙さによるのかもしれないが，E6 の通常奏法の周波数スペクトルを見ると，基本周波数が E6 の公称周波数 1320 Hz の $\frac{1}{2}$ とみると，その奇数番目の高調波が認められ，それは第 9 高調波辺りまでは偶数高調波よりも小さいが，それより上の周波数帯域では偶数高調波と比べられる程度のレベルに上がっていて，それが公称値の半分の基本周波数を与える（高調波の間隔が半分に見える）ようにも思える。つまり，2.1.3 項 (1) で説明した開管の特性（高調波番号に従って徐々に減衰）でも閉管の特性（奇数高調波が大きい）でもない，「偶数調波が大きい」という特殊な（望ましくない？　通常ならありえない？）特性の振動が起きている可能性がある。E6 の通常奏法の周波数スペクトルを見ると，E5 にも聞こえるのではないかと心配になるが，E5 と見たときの奇数高調波のレベルが低域では低いためか，知覚的音高は完全に E6 である。

管の共振周波数は基本周波数の整数倍であるが，リード楽器の場合，実際の空気の振動にはリードの振動が関係する。通常リードの共振周波数は吹鳴音高の基本周波数よりも十分高いので管内の空気の遅い振動に追随して振動するが，吹き方によっては管長を基本半波長とする周波数の整数倍への引き込みがあって，それがリードそのものの高い共振周波数に近づくにつれて大きくなっていると考えられる。このような現象によって，E5 の整数倍の周波数の共振の内，奇数倍の成分が高域では偶数成分と同程度になっているものと考えられる。

【参考】　E6 は近年のソプラノサックスでは通常奏法で出せることになっているが，少し前まではこの高さは出せず，最高音は E♭6 であった，というような事情から，通常奏法による E6 は多少無理がある可能性がある。

（b） **ダブルリード木管楽器**　　**ダブルリード木管楽器**のリードは，薄く削り湾曲した板状の葦を 2 枚組みわせて作る。リード振動のメカニズムは，シングルリードとほぼ同じであるが，構造上長い流路をもつので，流体力学的な抵抗が大きくその影響で振る舞いが複雑になると言われている。また，上下のリードを唇で咥えて演奏するので，演奏者がある程度リードの振動を制御でき，演奏の自由度は大きくなるが，その分，演奏が難しくなる。

ダブルリードのリード木管楽器の代表的なものを以下に示す。

(b.1)　オーボエ　　**オーボエ**は 17 世紀頃に誕生した楽器で，その前身は英語で**ショーム**（独：シャルマイ，大型はポンマー，伊：チャラメーラ，大型はボンバルド，仏：シャルミー [chalemie]）という軍隊等が戸外で使用していた楽器で，起源は古代ローマのティビア，古代ギリシャのアウロスにまで遡る。屋台の支那そば屋のチャルメラ（イタリア語のチャラメーラ ciaramella と同語源）や，雅楽の篳篥も同起源である。現在でも，スペインのカタルーニャ地方の民族舞踊サルダーナではショームの生き残りともいえるティプレ（西：ティプレ）[†1] やテノーラ [†2] が使われている。バロック期のオーボエは，キーが数個ついた単純なものであったが，他の多くの管楽器と同様に 19 世紀に改良がなされ，多数のキーがついた現代のオーボエになった[43]。

管体はほぼ円錐形の閉管であるが，開管とほぼ同じ共振振動数をもち，ほぼ同じ管長をもつクラリネット（閉管）に比べ約 1 オクターヴ高い最低音をもつ。オーボエの円錐半頂角は約 0.7° と小さい。一見して円錐楽器に見えないのはそのためである。詳しい記述は避けるが，オーボエの豊かな倍音構造は，円錐管体の頂角が小さいこととダブルリードであるためと言われている。管材としては昔は黒檀（エボニー）が多かったが，現在では黒檀よりも硬くて密度が高く

[†1] カタルーニャ語：tible, 西：tiple，伊：tibla，英：treble
[†2] 西：tenora，伊：tenore，英：tenor

吸水性がほとんどないグラナディーラ†にほぼ置き換わっている。ローズウッド（紫檀）のものもある。

標準サイズの音域は B♭3 から G6 までの 2 オクターヴ半あまりである。現在使われているのはほとんどが**コンセルヴァトワール式**と呼ばれる 19 世紀末にフランスで開発された型で，オクターヴキーの機構によって，セミオートマチック（第 1，第 2 オクターヴキーを操作する必要がある）とフルオートマチックに分かれる。その他は旧方式の**ドイツ式**（ウィンナ・オーボエ）がウィーンでのみ使われている[43)]。

同属楽器として，短 3 度低いオーボエ・ダモーレ，5 度低いコール・アングレ別称：イングリッシュホルン），8 度低いヘッケルフォーンとバリトン（バスとも）・オーボエ，小型のミュゼット（短 3 度高い）などがある。**図 E.15** にこれらを示す。オーボエは先が朝顔型に開いているが，それ以外は実効管長を伸ばすためか球根型になっている。



図 E.15 オーボエ属の楽器。上から，オーボエ（Buffet Crampon 社製 “Légende”），オーボエ・ダモーレ（Fossati 社製 A-HAF01），コール・アングレ（Buffet Crampon 社製 “Prestige” 4713），ヘッケルフォーン（Heckel 社製），バリトン・オーボエ（Buffet Crampon 社製）

† アフリカ原産のマメ科トケイソウ。アフリカン・ブラックウッドとも呼ばれる，カキノキ科の黒檀よりも硬くて重く木材として均質。granadilla は英語読みでグラナディーラあるいはグレイナディーラと呼ばれることが多いが，元のスペイン語ではグラナディーリャあるいはグラナディージャ。

(b.2)　ファゴット　　**ファゴット**（英名：バスーン）は，低音のダブルリード木管楽器で音域は B♭1 から G4 まで，管長は延ばすと 2.4 m もあり，5 つの部分に分割できる。通常，管材にはローズウッド（紫檀）が使われる。ジョイントの方式の違いによって**フランス式**（ビュッフェ・クランポン社）と**ドイツ式**（ヘッケル社）があり，ラテン語圏諸国はフランス式を使うのが主流であったが，徐々にドイツ式に鞍替えする人が増え，現在では国にかかわらずドイツ式が主流になっている。ただし，ドイツ式のものは機構的な改良のために音色を犠牲にしたともいわれる。

ファゴットの前身楽器**カータル**[†1]は，1528-45 年出版の Agricola 著 “Musica Instrumentalis Deudsch（ドイツの器楽）”には出ていないが，1618-20 年の Praetorius 著 “Syntagma Musicum（音楽大全）”には 5 サイズあるとして，絵が描かれているので，16 世紀末期には存在したと考えられる。それ以前は明らかではないが，Praetorius の本には，1 本の太い木に 9 本の内管をくり抜いて開口両端を次々と U 字管でつないで合計の長さを延ばした**ラケット**[†2]とともに，その発展形として，内管が 2 本の楽器が「**ゾルドゥン**（Sordun, Sorduen。英語では「カータル（curtal）」）」という名称で描かれている[5)]。ほぼ同じ形で，ファゴットと書かれているページもある (図 H.35，H.36 参照)。

18 世紀のファゴット（ゾルドゥン）はキーが 3〜4 個しかないものであった。現在のファゴットは複雑なキーシステムをもつようになっているが，昔の音色を損なわないように，音孔の配置は伝統に従っている[43)]。ファゴットは，管先に行くにしたがって少しずつ開く，ほぼ円錐形の管体をもつが，その円錐半頂角は約 0.4° とオーボエよりもさらに小さい。管長が約 2.6m もあるので内管を 2 重に折り返すことによって実効長を稼いでいる。リードの形状はオーボエのそれとは異なり，サイズも大きい。そのため，オーボエとはまったく異なった音色，響き，発音特性をもっている。

[†1] 英：curtal, dulcian, 仏：courtaud, クールトー，独：Dulzian, ドゥルツィアン，伊：dolceano, ドルチェアーノ，dolcesono, ドルチェソーノ：「甘い音」

[†2] 英：racket,rackett, 独：Rackett, Rankett，伊：racchetta, 仏：cervelas）

図 E.16 に現代のファゴットと，その前身楽器であるゾルドゥンを示す。**図 E.17** に文献[5] の中でのラケットの絵とその内部構造の説明図を示しておく。



図 E.16 ファゴット（ヤマハ）とその前身楽器ゾルドゥン (英：カータル)) Wikipedia“Dulcian” より

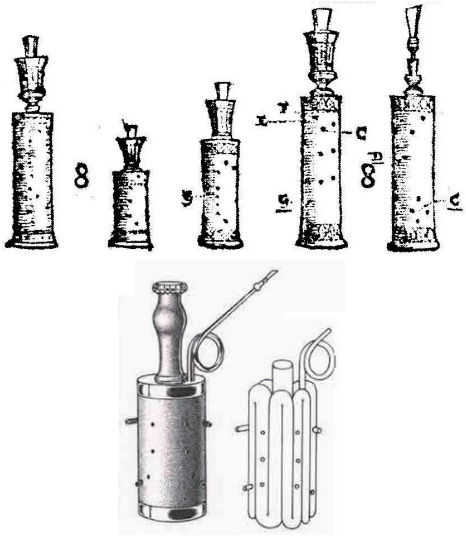


図 E.17 ラケットの古い絵（Praetorius “Syntagma Musicum” より）とその外観および内部構造（Wikipedia “Rackett” より）

（4） フリーリード楽器 身近なフリーリード楽器としてはハーモニカ，小学校で習った鍵盤ハーモニカ（商品名：ピアニカ，メロディオン），蛇腹を開閉操作するコンセルティーナ，バンドネオン，アコーディオン，鞴（ふいご）を足やモーターで操作するリードオルガン（吸気式。米での呼称）やハーモニウム（吹気式。ヨーロッパではリードオルガンも含む）の他，日本では雅楽で使われる笙（しょう）（シングルリード）がある。

笙は奈良時代に唐から伝わったもので，円周上にフリーリード（昔は竹製であったが，現在は銅合金）をもった多数（現在では 17 本あるいは 13 本）の管を立て，どの管を使うかを指孔で決める。6 本程度までの重奏が可能である。吹いても吸っても同じ高さの音が出るので，瞬間的な音量低下を挟んで長い持続

音を出せる。

ハーモニカの 4 つの型を**図 E.18** に，その他を**図 E.19** に示す。ハーモニウムは外見的にはリードオルガンと変わらない。コンセルティーナは楽器としてはおもちゃに近い。



図 E.18　ハーモニカ
上左：ダイアトニック（シングル。10 穴，Hohner 社 “Blues Harp”），上右：クロマティック（レバー式，12 穴シングル，Hohner “Super Chronomica”），下左：クロマティック（ノンレバー上下式，シングル，コントラバス，トンボ S-50），下右：ダブル（全音階型，21 穴，トレモロ，トンボ No.1521）

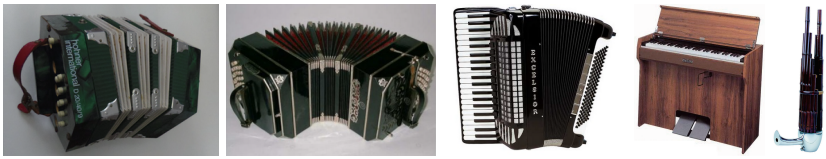


図 E.19　フリーリード楽器：　左から：　コンセルティーナ（Hohner 社製 D/20/40/9），バンドネオン（Alfred Arnold 社製，144 鍵），アコーディオン（Excelsior 社製 704），リードオルガン（ゼンオン社製 D-15），笙 (photophoto.cn)

リードが安定に持続振動を続けられるためには，リードに空気を持続的に吹き付ける／吸引する必要がある。空気の送り方として，口腔経由で呼吸を使うマウスオルガン類，両手で蛇腹を開閉する手風琴類，足踏み操作やモーターで送風するリードオルガン類に分けられる。

1 つの音高についてリードが 1 枚だけの**シングルリード**楽器と 2 枚もった**ダブルリード**楽器がある。ハーモニカにはどちらのタイプのものもあるが，手風

琴類のうち，コンセルティーナとバンドネオンはシングルリードで，アコーディオンはダブルリードである。ハーモニウムとリードオルガンはどちらもダブルリードで，違うのは，前者がリードを吐気で励振するのに対して，後者は吸気で励振するという点である。ダブルリードの場合，多くは 2 つのリードの固有周波数を少しだけずらせておき，それらの周波数差の速さによる「うなり」によってトレモロ効果が得られるようになっている。

これらの多くは金属製のリードをもち，空気流を使って空気の振動を起こすが，リードの固有振動が振動の基本周波数を決める支配的な要因となるので，フリーリード楽器という細分類項目にまとめられる。

（**a**） **ハーモニカ**　(ダイアトニック／クロマティック)×(シングル／ダブル)=4 種？

ハーモニカは，特定の調の全音階の音のリードしかもっていない**ダイアトニック**（全音階型）と半音ごとのリードをすべて備えた**クロマティック**（半音階型）の 2 種類に大きく分類できる。また，1 音あたりのリードの数によって，リードが 1 枚の単音ハーモニカ（略称：**シングル**）と，2 枚もっている複音ハーモニカ（略称：**ダブル**）に分類できるので，これらの組合せとして，4 種類あるはずであるが，ダブルリードのクロマティックは実験的なもの以外はない。

（**b**） **リードオルガンとハーモニウム**　どちらも，足踏み式（電動もある）のふいごを使ったフリーリード楽器である。米国で開発された吸気式のものは**リードオルガン**と呼ばれ，おもにヨーロッパで作られる吹気式のものは**ハーモニウム**と呼ばれるが，空気の方向以外に基本的には変わらない。

右膝で風量を増減させるレバーがあり，これはパイプオルガンの音量調節用のスウェルから名前をとって，スウェル・レバーと呼ばれる。

第 2 次大戦直後の日本の小学校の教室に，「オルガン」と称して高価なピアノの代用品として置かれていたことがあって，リードオルガンを「オルガン」と呼ぶ習慣が広まってしまったので，日本では本来のオルガンのことを「パイプオルガン」と呼ばなければ誤解される状態になっている。

（**5**） **オルガン（パイプオルガン）**　オルガンは，フルーパイプ（エアー

リード型）とリードパイプ（シングルリード型）を選択的あるいは並列的に使う。パイプの数が多く，楽器全体としては大きくなるので，**図 E.20** のように建物と一体化して作られる。どの段の鍵盤をどの型の（どの音色の）パイプ列に割り当てるかは，コンソール（演奏台）の壁に配置された**ストップ**（栓）で鍵盤ごとに設定する。ストップによって，どの鍵盤を使ったときに風箱（ウィンドチェスト）の空気をどのパイプ列に送るかをスライダーで決め，どの高さの音を出すか（そのパイプ列の何番目のパイプに空気を流すか）は，鍵盤のキーによって発音すべき音高のパイプのパレット（弁）を開いて，そこへ空気を送るようになっている。



図 E.20　オルガン：　左＝コンサートホール内（シドニー　オペラハウス），右＝聖堂内（再建中のノートル・ダム，パリ）

各鍵盤に割り当てるパイプ列の指定はストップで行うが，それは当該鍵盤のオクターヴ位置の設定も兼ねており，鍵盤上の最低音（左端の C）にどの長さのパイプ（開管：管長が半波長になる）を割り当てるかで決める。標準的に，C2(66Hz, λ_0 = 音速/66 ≈5.15m) にするならプリンシパルに通称「8’」($\approx 2.44m \approx \lambda_0/2$)，1 オクターヴ上げるなら「4’」，2 オクターヴ上げるなら「2’」，1 オクターヴ下げるなら「16’」のストップを使えばよいということになる。ストップは，大きなオルガンでは「64’」から次々と 2 で割って「$\frac{1}{4}$’」まである。5 度音程系列の長さのパイプ列のストップや，パイプの組合せで他の楽器の音を模すストップもある。鍵盤ごとの音色は単一のストップによって設定することもできるが，複数のストップの組合せで作ることもできる。

オルガンの起源は古く，その原型は前 2〜3 世紀のアフリカ北岸のヒュードラリウス（水オルガン）とされている。4 世紀ころにふいごを使うオルガンが現れ，757 年に東ローマ帝国の皇帝がフランク王国の国王にオルガンを贈ったことが，オルガン史の最初の特記事項とされる[23)]。

14–15 世紀にキリスト教が教会にオルガンを取り入れたことから，オルガンはキリスト教の御用楽器のようなものになり，オルガンのためのキリスト教の音楽が多数書かれた。ただし，オルガンは宗教界でもキリスト教だけのものではないようで，築地本願寺にもオルガンが設置されている[†1]が，これは仏教としては特別な例なのであろう。イスラム教には，音楽を酒や麻薬などと同様に人の心を麻痺させる危険なものとの見方があり，楽器を宗教活動に取り入れているようには見えない。でも，アル・クルアーン（コーラン）の詠み方が音楽的であることは，酒や音楽に溺れてはいけないという教義（？）と矛盾しているようにも思える。

音楽専用のホールの建築が盛んになってからは，宗教と関係なく音楽ホールにオルガンが設置されることが増え，現在ではほとんどの音楽ホールがオルガンを備えている。

E.1.2　流体を伝わる音の波動方程式**

（1） 大気中の音の波動方程式　媒質[†2]中の音波は波動方程式で表される。波動方程式は，媒質が流体（静止状態において剪断応力が発生しない連続体。おおざっぱにいうなら気体と液体）の場合，媒質の粒子あるいは微小部分に対する運動方程式と媒質の弾性的性質とから導かれる。管の中の空気の振動も空気中の音波の伝播も基礎となる波動方程式は同じである。違うのは，閉じられた空間での空気の振動か，自由空間での空気の振動かという境界条件だけである。

（2） 波動方程式の導出

（a） 音場を表す物理量　音場を表す物理量である音圧，粒子変位，粒子

[†1] 毎月最後の金曜日の昼に無料のコンサートを行っている。
[†2] 波が伝わる物質。通常は空気，水など。弦や膜，弾性体を伝わる波もある。

速度を考える。

(a.1)　音圧 p　　大気中の音波は，空気の疎密が変化する波であるから，音波が伝わると空気中の圧力が場所と時間によって変化する。圧力とは，空気中のある 1 点の回りの微小領域を考えた場合に，その微小領域表面の単位面積あたりに働く力である。大気中で音波が伝わっていない状態では常に**大気圧** P_0 が働いている。音波が発生すると，空気中の圧力は大気圧からわずか変化して P となる。音の大きさを音圧レベルで表す場合は，**音圧**（sound pressure）p は P の大気圧 P_0 からの変動分の実効値

$$p = \sqrt{\overline{(P - P_0)^2}} \tag{付.33}$$

として，音圧レベル L_p を dB 単位で

$$L_p = 10 \times \log \frac{p^2}{{p_0}^2} = 20 \times \log \frac{p}{p_0} \tag{付.34}$$

とする。ただし，p_0 は健聴者の平均的な最小可聴音圧で，20μPa である。この場合，音圧 p は，方向をもたない非負のスカラー量である。

p は位置ならびに時間に関する関数であり，明示的に書くなら，位置を 3 次元ベクトル $\boldsymbol{x}$ で表すとして，$p(\boldsymbol{x}, t)$ であるが，ここでは位置を省略して $p(t)$，あるいは時間も省略して単に p と表すことがある。ただし，音圧の瞬時値を問題にする場合は，$p(t) = P(t) - P_0$ とする。この場合，p は負の値もとりうることになる。

(a.2)　粒子変位 $\boldsymbol{\xi}$ および粒子速度 $\boldsymbol{v}$　　**変位** $\boldsymbol{\xi}$ は，媒質粒子の振動あるいは波動の伝搬に伴なう，粒子の静止状態からの位置変化を表す物理量である。変位にはその大きさに加えて方向がある（どの方向にどれだけズレたかを表す必要がある）ため，変位 $\boldsymbol{\xi}$ は**ベクトル量**である。$\boldsymbol{\xi}$ は，位置ならびに時間に関するベクトル関数であり，ここではこれを $\boldsymbol{\xi}(t)$，あるいは単に $\boldsymbol{\xi}$ と表す。$\boldsymbol{\xi}$ の時間微分を**粒子速度**と呼ぶ。ここではこれを $\boldsymbol{v}\ (t)$ あるいは $\boldsymbol{v}$ で表す。すなわち

$$\boldsymbol{v} = \frac{\partial \boldsymbol{\xi}}{\partial t} \tag{付.35}$$

で，これも位置と時間を変数としたベクトル量である。

（**b**） **運動方程式**　微小領域に関する**運動方程式**を考えよう。先に微小領域の粒子速度を考えたのと同様に，まず，x 軸方向について，**図 E.21** に示すような直方体の微小領域 $\delta x\delta y\delta z$ の左端平面と右端平面に働く力を考える。

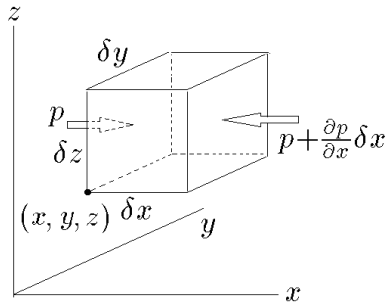


図 E.21　微小領域にかかる x 軸方向の圧力

微小領域の左側での圧力は p，yz 面と平行な面の面積は $\delta y\delta z$ であるので，微小領域の内部へは左側の面に対して x 軸の正の方向に $p\,\delta y\,\delta z$ なる力が働く。一方，右側の $x+\delta x$ の位置での圧力は $p+\frac{\partial p}{\partial x}\delta x$ であるので，右側の面から微小領域の内側へ働く力は $(p+\frac{\partial p}{\partial x}\delta x)\delta y\,\delta z$ となる。したがって，この微小領域にはこれらの合力として x 軸の方向に次の力を受ける。

$$p\,\delta y\delta z-(p+\frac{\partial p}{\partial x}\delta x)\,\delta y\,\delta z=-\frac{\partial p}{\partial x}\,\delta x\,\delta y\,\delta z \qquad (付.36)$$

ニュートンの運動の法則から，この力は微小領域の質量 $\rho\,\delta x\,\delta y\,\delta z$ と x 軸方向の加速度 $\frac{\partial^2\xi_x}{\partial t^2}$ （ξ_x は $\boldsymbol{\xi}$ の x 成分）との積に等しいとおくことによって，x 軸方向の運動方程式は

$$-\frac{\partial p}{\partial x}\,\delta x\;\delta y\,\delta z=\rho\,\delta x\,\delta y\,\delta z\,\frac{\partial^2\xi_x}{\partial t^2} \qquad (付.37)$$

となる。ρ は媒質の密度である。両辺から $\delta x\;\delta y\,\delta z(\neq 0)$ を落とすことによって，x 軸方向について

$$-\frac{\partial p}{\partial x}=\rho\,\frac{\partial^2\xi_x}{\partial t^2} \qquad (付.38)$$

が得られる。同様にして，$\boldsymbol{\xi}$ の y,z 成分をそれぞれ ξ_y,ξ_z と書くと，微小領域についての y 軸および z 軸方向に関する運動方程式として

$$-\frac{\partial p}{\partial y}=\rho\,\frac{\partial^2\xi_y}{\partial t^2},\quad -\frac{\partial p}{\partial z}=\rho\,\frac{\partial^2\xi_z}{\partial t^2} \tag{付.39}$$

が得られ，これらをまとめると，次の**運動方程式**が導かれる。

$$-\nabla p=\rho\,\frac{\partial^2\boldsymbol{\xi}}{\partial t^2} \tag{付.40}$$

この形は 1 つの微分方程式の中に未知関数として p と $\boldsymbol{\xi}$ が現れているのでこのままでは解けず，未知関数を 1 つにする必要がある。

1744 年にダランベール（Jean le Rond d'Alembert , 1717-1783）が導いた流体の運動に関する方程式は基本的にはこの形のようで，これを流体の弾性的性質と組み合わせることによって波動方程式が出てくることになる。1744 年はニュートンが「プリンキピア」を出してから 57 年後で，ニュートンの第 2 法則（運動の法則）をオイラーが明確な形で定式化した 1736 年の 8 年後であるから，その直後であるといえる。

（**c**） **空気の弾性的性質**　　気体について，体積の圧縮率に対する圧力の増加は**体積弾性率**と呼ばれ，これは気体をばねとみなした場合のばねの強さに対応するもので，次の κ のように表すことができる。

$$\kappa=\frac{p}{\dfrac{-dV}{V_0}}\qquad p\text{: 圧力の増加},\quad \frac{-dV}{V_0}\text{: 体積の圧縮率} \tag{付.41}$$

したがって，これを書き直すと

$$p=-\kappa\left(\frac{\partial\xi_x}{\partial x}+\frac{\partial\xi_y}{\partial y}+\frac{\partial\xi_z}{\partial z}\right) \tag{付.42}$$

となり，ベクトル演算子を使って書くと次の形になる。

$$p=-\kappa\,\nabla\cdot\boldsymbol{\xi} \tag{付.43}$$

あるいは以下のようにも書ける。

$$p = -\kappa \,\mathrm{div}\boldsymbol{\xi} \tag{付.44}$$

これは流体の弾性的性質を表す式で，ダランベールは基本的には前述の式 (付.40) と上記の式をセットにして流体の振動を表している。

（d） $\boldsymbol{\xi}$ に関する波動方程式と p に関する波動方程式　x 軸方向だけの 1 次元運動を考えるとき，式 (付.42) の x 軸成分を式 (付.38) の p に入れると，x 軸方向の運動に関して次式が得られる。

$$\frac{\partial^2 \xi_x}{\partial t^2} = \frac{\kappa}{\rho}\frac{\partial^2 \xi_x}{\partial x^2} \tag{付.45}$$

x 軸だけに関する上式を y 軸・z 軸にも拡張し，場所に関する微分をベクトル演算子を用いて書くと，次の形の波動方程式が得られる。

$$\frac{\partial^2 \boldsymbol{\xi}}{\partial t^2} = \frac{\kappa}{\rho}\nabla^2\boldsymbol{\xi} \tag{付.46}$$

ここで，∇^2（ナブラ 2 乗）は場所に関する 2 階微分を表す演算子で，Δ（ラプラシアン）とも書かれる。

式 (付.46) を解けば，時刻 t での媒質内のすべての位置の粒子の平衡位置からの変位 $\boldsymbol{\xi}$ を得ることができるが，変位よりも粒子速度 $\boldsymbol{v}$ や圧力変動分 p が欲しい場合がある。

p を未知関数とした式が欲しい場合には，式 (付.43) を時間 t で 2 階偏微分すると

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = -\kappa\frac{\partial^2}{\partial t^2}(\nabla\cdot\boldsymbol{\xi}) = -\kappa\,\nabla\cdot\frac{\partial^2\boldsymbol{\xi}}{\partial t^2} \tag{付.47}$$

となるので，運動方程式 (付.40) の $\frac{\partial^2\boldsymbol{\xi}}{\partial t^2}$ を上式に代入して $\boldsymbol{\xi}$ を消すと，p に関する波動方程式が得られる。

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \frac{\kappa}{\rho}\nabla\cdot\nabla p \tag{付.48}$$

これは次のように書ける。

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \frac{\kappa}{\rho}\nabla^2 p \tag{付.49}$$

式 (付.46) と式 (付.49) は未知関数が異なり，かつ式 (付.46) の未知関数はベクトル関数で，式 (付.49) の未知関数はスカラー関数であるが，式としてはまったく同じ形をしている。

（e） **速度ポテンシャル ϕ の導入**　波動現象をスッキリした形で表すために，場所微分して符号を逆にすれば粒子速度 $\boldsymbol{v}$ になるようなスカラー量「**速度ポテンシャル**」ϕ を新しい変数として次のように定義する。

$$-\nabla\phi = \boldsymbol{v} \tag{付.50}$$

これは，媒質の粒子速度 $\boldsymbol{v}$ $\left(= \dfrac{\partial \boldsymbol{\xi}}{\partial t}\right)$ が，変数 ϕ の負の勾配として求められることを表している。$\phi(t)$ は，3 次元空間の時変スカラー関数で，$-\nabla\phi$ は，時刻 t でのその空間的な負勾配になる。2 次元空間で考えると，関数 ϕ は地図（2 次元空間）上の標高に相当し，等高線が密なところは勾配 $\nabla\phi$ が急で，その最急降下方向は等高線に直交する。

ここで

$$\boldsymbol{v} = \frac{\partial \boldsymbol{\xi}}{\partial t} \tag{付.51}$$

なので，式 (付.50) から

$$\frac{\partial^2 \boldsymbol{\xi}}{\partial t^2} = \frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t}(\nabla\phi) \tag{付.52}$$

となり，これを式 (付.40) に代入すると以下のようになる。

$$\rho\frac{\partial}{\partial t}(\nabla\phi) = \nabla p \tag{付.53}$$

∇ と $\dfrac{\partial}{\partial t}$ の順序を入れ替えると以下の式が求まる。

$$\nabla p = \rho\nabla\frac{\partial\phi}{\partial t} \tag{付.54}$$

これを場所積分することによって

$$p = \rho\frac{\partial\phi}{\partial t} + C \qquad (C \text{ は積分定数}) \tag{付.55}$$

となる。速度ポテンシャル ϕ の時間微分が 0 になると p がすべての場所で固定値 C をとるということになり，音波はなくなる。その場合の媒質の圧力は大気の静圧（$=P_0$）となり，大気圧からの変動分 p はあらゆる場所でゼロなので，$C=0$ となる。$\rho \approx \rho_0$ 大気の密度）としてよいので，式 (付.55) は

$$p = \rho_0 \frac{\partial \phi}{\partial t} \tag{付.56}$$

となり，p は ϕ から求めることができることになる。

（f） ϕ を使った波動方程式　次に，速度ポテンシャルを用いた波動方程式を導いてみる。$\rho \approx \rho_0$ とし，式 (付.48) に式 (付.56) を代入すると，次式が得られる。

$$\rho_0 \frac{\partial^3 \phi}{\partial t^3} = \frac{\kappa}{\rho_0} \nabla \cdot \nabla \rho_0 \frac{\partial \phi}{\partial t} \tag{付.57}$$

両辺を ρ_0 で割って t で積分すると，積分定数は消すことができて

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = \frac{\kappa}{\rho_0} \nabla^2 \phi \tag{付.58}$$

となり，これは速度ポテンシャル ϕ を使った**波動方程式**である。係数として

$$c = \sqrt{\frac{\kappa}{\rho_0}} \tag{付.59}$$

を導入すると，1 次元空間の波動方程式は次のように書ける。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 \phi \tag{付.60}$$

この式から速度ポテンシャル ϕ が求まると，式 (付.50) から粒子速度 $\boldsymbol{v}$ を計算することができ，また，式 (付.56) から，ϕ を時間微分することによって音圧 p を求めることができる。したがって，速度ポテンシャル ϕ のみで音圧 p と粒子速度 $\boldsymbol{v}$ の 2 つの変数を代行できることがわかる。速度ポテンシャルを導入したのは未定乗数法で有名なラグランジェで，それはダランベールの波動方程式が発表されてから 37 年後の 1781 年のことであった。

この後，物理法則を数学的に綺麗な形で定式化しようということが流行のようになり，フランス革命（1789〜1799 年）のさなかにナポレオンによって創

設されたエコール・ポリテクニークの出身者によってヨーロッパの科学界は牽引され，1804 年に帝政を敷いたナポレオンが翌年に 3000 フランの懸賞金をつけて弾性振動板の解析的研究を求めるなど，物理現象の理論的な解明が渇望され，以後 20 世紀に入るまでの間に，アンペール（1775-1836），ゲイ＝リュサック（1778-1850），フレネル（1788-1827），コリオリ（1792-1843），カルノー（1796-1832）などによる物理・化学分野の進展だけでなく，ラグランジェ（初代校長，1736-1813），ルジャンドル（1752-1833）ポアッソン（1781-1840），ナヴィエ（1785-1836），コーシー（1789-1857），ポアンカレ（1854-1912），などによって数学もこの時期にフランスで飛躍的に進んだ。このため，エコール・ポリテクニークはナポレオンの最大の功績であるとまで言われる。

（3） 座標系のとり方と代表的な波形

（a） 座標系のとり方　媒質中の音波は，波動方程式を解くことによって求められるが，座標系として「場の対称性を使うと式が簡単になるような座標系」を採用することによって，波動方程式の解を求めてみよう。

ラプラシアン（Δ：場所に関する 2 階微分）は座標系によって，次のように形が異なる。

(a.1)　デカルト座標（直角座標）　平面波や直方体の空間を扱う場合はデカルト座標（直角座標）（cartesian coordinate）(x, y, z) が便利である。この場合，ラプラシアン（場所に関する 2 階微分）は次のようになる。

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \tag{付.61}$$

平面波の場合は波面に垂直（すなわち，波の進行方向）にとった座標軸だけを考えればよい。音場が直方体空間の場合，直交する稜線に平行に直角座標の 3 軸をとれば，3 軸とも同じ形の式になる。管の中を伝わる音も，管の径よりも波長が十分長い音波については，管の中心線を座標軸とみて，音はそれに垂直な波面をもつ平面波として，音波を 1 次元座標で表すことができる。

(a.2)　3 次元極座標　3 次元直角座標 (x, y, z) と 3 次元極座標（polar coordinate）(r, ψ, θ) の関係を**図 E.22** に示す。

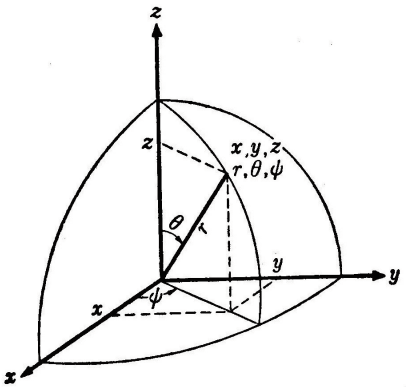


図 E.22 点音源の位置に原点を置いた 3 次元極座標 (r, θ, ψ)

自由空間中で点音源から球面状に広がるような波を扱う場合に便利である。座標原点からの距離 r，z 軸との角 θ，$x-y$ 面上での水平角 ψ で直角座標 (x, y, z) を表すと次のようになる。

$$x = r\sin\theta\cos\psi,\ \ y = r\sin\theta\sin\psi,\ \ z = r\cos\theta \qquad \text{(付.62)}$$

また，ラプラシアンは

$$\Delta = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\right) + \frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2}{\partial\psi^2} \qquad \text{(付.63)}$$

となる。

点音源の場合，音源の位置を原点に取ると，対称性から上式右辺の第 2 項と第 3 項が消えて，変数は原点からの距離 r だけになる。この場合の波動方程式の解を球面波という。有限の大きさの音源からの音でも，音源から波長よりも十分遠い位置での球面波は平面波に近づく。

(a.3) 円柱座標 2 次元極座標 (r, θ) に高さ方向の z 軸を加えた円柱座標（cylindrical coordinate）(r, θ, z) と 3 次元直角座標 (x, y, z) との関係を**図 E.23** に示す。

直角座標系と z 軸を共通にして，(x, y) 平面内の位置を中心からの距離 r と

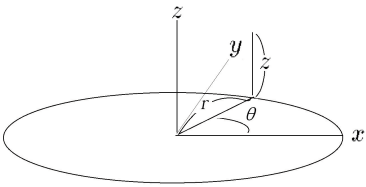


図 E.23　円柱座標

x 軸からの水平角 θ で表す。線音源を扱う場合に便利である。直角座標とは z が同一で，その他は次の関係になる。

$$x = r\cos\theta,\ \ y = r\sin\theta \tag{付.64}$$

無限に広い膜の上の 1 点を励振した場合の膜の振動を扱うとか，水面に物体が鉛直に落ちた場合の水面の運動など，関数値が (x, y) 座標あるいは (r, θ) 座標には依存するが z 座標には依存しなくなる場合，z 軸は無視しても構わないことになる。このときの 2 次元極座標のラプラシアンは次のようになる。

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \tag{付.65}$$

場が点（軸）の周りで回転対称になっている場合は第 3 項が消え，場所変数は軸からの距離 r だけになる。油に中に鉛直（$-z$ 方向）に吊るした金属パイプが上下に振動する場合の油の運動や高い位置の直線状の鉄橋を走る長い列車の通行中の騒音の評価等に使える。列車の問題の粗い近似では線路（z 軸）方向には列車の長さの範囲で均一（列車の長さは無限長）と仮定して線路方向の断面上での騒音分布を考えるが，推定精度を上げるには長さ方向の分布を考慮する必要がある。

（b）各座標系で表される代表的な波形　各座標系で表される代表的な波を以下で考える。

(b.1)　平面波　デカルト座標を用いると，式 (付.60) は

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\phi}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} \tag{付.66}$$

となるが，平面波では波面内の ϕ が同一値になるので，波面に垂直な方向（波

の進行方向）に x 軸，波面に平行な平面を yz 面とすると，左辺の第 2 項と第 3 項は消え

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} \tag{付.67}$$

の形，つまり空間が 1 次元の簡単な形になる。

式 (付.67) の解として 2 つの型が知られている。1 つはダランベールが与えたもので，もう 1 つは変数分離型のものである。

1. **ダランベール形式の解**

ダランベール形式の解は**波動解**と呼ばれるもので

$$\phi(x,t) = f_1(ct-x) + f_2(ct+x) \tag{付.68}$$

という形で書かれる。これが式 (付.67) の 1 つの解であることは，代入するとそれが式 (付.67) を満たすことからわかる。

式 (付.68) は，波動方程式の解 $\phi(x,t)$ が $f_1(ct-x)$ と $f_2(ct+x)$ という 2 つの成分（波）の和で書けるということを表している。これは，$\phi(x,t)$ が速度 c で左右に進む 2 つの波の和で表されることを示している。

詳しく言うと，第 1 項については，関数 f_1 は変数が $ct-x$ の形をしているが，t を中心に考えると，x,t のいかんにかかわらず

$$f_1\left(c\left(t+\frac{x}{c}\right)-(x+x_0)\right) = f_1(ct-x_0) \tag{付.69}$$

が成立する。つまり，いかなる場所 x と時刻 t についても，時刻 $t+\frac{x}{c}$ での場所 $x+x_0$ の f_1 の値は時刻 t での座標点 x_0 での f_1 の値と同じ。同様に，第 2 項については

$$f_2\left(c\left(t-\frac{x}{c}\right)+(x+x_0)\right) = f_2(ct+x_0) \tag{付.70}$$

が成立する。つまり，いかなる場所 x と時刻 t についても，時刻 $t-\frac{x}{c}$ での座標点 $x+x_0$ での f_2 の値は時刻 t での場所 x_0 の f_2 の値と同じになる。

この意味で，f_1 は**進行波**，f_2 は**後退波**と呼ばれる。その 2 つの波がどのような形なのかは，**初期状態**によって決まる。つまり時刻 $t = 0$ で，$\phi(t)$ がどのような形であったか，すなわち $\boldsymbol{\xi(0)}$ がどのような形をしていたかと，波の各位置の初速度（$\boldsymbol{v}(0) = \dfrac{\partial \boldsymbol{\xi}(t)}{\partial t}\,|_{t=0}$　の形）によって決まる。上の議論と式 (付.59) からわかるように，波が媒質を伝わる速度 c は媒質の密度と弾性定数だけで決まり，音波の波形や周波数には無関係である。このことは非常に重要である。

2. **変数分離型の解**

式 (付.67) の別の解法として，解が

$$\phi(x,t) = X(x)\,\Phi(t) \tag{付.71}$$

のように，場所を変数とする成分と時間を変数とする成分の積の形で書けると仮定して，これを式 (付.67) に代入してみると，次のようになる。

$$\Phi(t)\,\frac{d^2X(x)}{dx^2} = \frac{1}{c^2}\,X(x)\,\frac{d^2\Phi(t)}{dt^2} \tag{付.72}$$

これから，次式が得られる。

$$\frac{1}{\Phi(t)}\,\frac{d^2\Phi(t)}{dt^2} = c^2\,\frac{1}{X(x)}\,\frac{d^2X(x)}{dx^2} \tag{付.73}$$

この式は，左辺の変数は t だけ，右辺の変数は x だけの形（変数分離型）になっているので，両辺は t にも x にも関係しない定数と置くことができる。これを $-\nu^2$ とおくと，次の 2 つの式が得られる。

$$\frac{d^2\Phi(t)}{dt^2} + \nu^2\,\Phi(t) = 0, \quad \frac{d^2X(x)}{dx^2} + \frac{\nu^2}{c^2}X(x) = 0 \tag{付.74}$$

この第 1 式の解は

$$\Phi(t) = P\cos\nu t + Q\sin\nu t \tag{付.75}$$

となり，第 2 式で

$$k^2 = \frac{\nu^2}{c^2} \tag{付.76}$$

とおくと，第 2 式は第 1 式と同じ形になるので，その解は次のようになる。

$$X(x) = R\cos kx + S\sin kx \tag{付.77}$$

したがって，式 (付.67) の解は次のようになる。

$$\begin{aligned}\phi(x,t) &= X(x)\,\Phi(t)\\ &= (P\cos\nu t + Q\sin\nu t)(R\cos kx + S\sin kx)\end{aligned} \tag{付.78}$$

ここで，ν, k, P, Q, R, S は，境界条件ならびに初期条件から決まる。

式 (付.78) はダランベール形式の解 (付.68) と外見上では形が異なるが，同一の内容を表すものであることが，次のように変形すればわかる。

式 (付.78) を展開し，三角関数の公式を用いて整理すると，次のようになる。

$$\begin{aligned}\phi(x,t) &= PR\cos\nu t\cos kx + PS\cos\nu t\sin kx\\ &\quad + QR\sin\nu t\cos kx + QS\sin\nu t\sin kx\\ &= \frac{PS+QR}{2}\sin(kx+\nu t) + \frac{PR-QS}{2}\cos(kx+\nu t)\\ &\quad + \frac{PR+QS}{2}\cos(kx-\nu t) + \frac{PS-QR}{2}\sin(kx-\nu t)\end{aligned}$$

ここで，式 (付.76) を使って，$\dfrac{\nu}{k} = c$ と書くと，上式は前 2 項が $x + ct$ の関数に，後ろ 2 項が $x - ct$ の関数になり，式 (付.68) の形になることがわかる。

ダランベール形式の解である式 (付.68) も，変数分離型の解である式 (付.78) も，平面波については，上記の式の形を見ればわかるように，時間に関する減衰がない。つまり，どこにもエネルギー損失がない理想的な場合には平面波は減衰せずに伝わるということになる。

(b.2) 球面波 極座標 (r, θ, ψ) を用いると，式 (付.60) は

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} = c^2\left[\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial\phi}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\phi}{\partial\theta}\right) + \frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2\phi}{\partial\psi^2}\right] \tag{付.79}$$

となるが，球面波では対称性によって右辺の第 2 項と第 3 項は消え，右辺のカギ括弧内で残るのは第 1 項だけになって

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} = c^2\left[\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)\right] \tag{付.80}$$

となる。ところが，この右辺のカギ括弧内は以下のようになる。

$$\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial\phi}{\partial r}\right) = \frac{1}{r^2}\left(2r\,\frac{\partial\phi}{\partial r} + r^2\,\frac{\partial^2\phi}{\partial r^2}\right) = \frac{1}{r}\left(2\,\frac{\partial\phi}{\partial r} + r\,\frac{\partial^2\phi}{\partial r^2}\right) \tag{付.81}$$

一方，以下のような等式が成り立つ。

$$\frac{\partial^2(r\phi)}{\partial r^2} = \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\partial(r\phi)}{\partial r}\right) = \frac{\partial}{\partial r}\left(\phi + r\,\frac{\partial\phi}{\partial r}\right) = 2\,\frac{\partial\phi}{\partial r} + r\,\frac{\partial^2\phi}{\partial r^2} \tag{付.82}$$

したがって，式 (付.80) は次のように書き直せる。

$$\frac{\partial^2(r\phi)}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2(r\phi)}{\partial t^2} \tag{付.83}$$

これは，式 (付.67) の ϕ を $r\phi$ に，x を r にした形になっている。したがって，この解は以下のように書ける。

$$r\phi = F_1(r - ct) + F_2(r + ct) \tag{付.84}$$

すなわち，原点 $r = 0$ を除いて，解は

$$\phi = \frac{1}{r}\left(F_1(r - ct) + F_2(r + ct)\right) \tag{付.85}$$

の形で与えられることがわかる。右辺第 1 項は中心から半径方向に外へ広がる成分，第 2 項は中心へ向かう成分を表している。

上にも書いたように，球面波の式 (付.83) は，平面波の式 (付.67) で x を r に，ϕ を $r\phi$ に変えたものになっている。同じ形の方程式の解は同じになることを考えると，球面波の式の解 ϕ に原点からの距離 r をかけたものが平面波の式の解と同じということであるから，球面波の解 ϕ は，原点 $r = 0$ を除いて，平面波の解を原点からの距離 r で割ったものということになる。

つまり，球面波の波形は，原点 $r = 0$ を除いて，原点からの距離に反比例する形で距離減衰するということで，振幅が距離に反比例するということは，エネルギーで考えるとその 2 乗になるので，球面波のエネルギーは音源からの距離の 2 乗に反比例するということになる。したがって，自由空間（反射するもの

が何もない空間）では，点音源から出た音はそこから距離の 2 乗で減衰することになり，それは「逆 2 乗則」と呼ばれて，「無響室」という自由空間を模した実験装置がどの程度自由空間に近いかを評価するための指標として使われる。

(b.3) 円筒波（円柱波） 円柱座標 (r, θ, z) を用いると，ϕ が z に無関係な場合，式 (付.60) は

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial\theta^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} \tag{付.86}$$

となるが，円筒波では軸回りの対称性によって左辺の第 3 項が消えるので，場所変数は r だけになり

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial r} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} \tag{付.87}$$

となる。

式 (付.87) は左辺に第 2 項を含んでいるので，このままでは解きにくく，かつ解の見通しが悪いので，少し変形を試みる。

$\sqrt{r}\phi$ の r による 2 階偏微分を考えると

$$\frac{\partial^2(\sqrt{r}\phi)}{\partial r^2} = \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\partial(\sqrt{r}\phi)}{\partial r}\right) = \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{1}{2\sqrt{r}}\phi + \sqrt{r}\frac{\partial\phi}{\partial r}\right) \tag{付.88}$$

$$= -\frac{r^{-\frac{3}{2}}}{4}\phi + \frac{1}{\sqrt{r}}\frac{\partial\phi}{\partial r} + \sqrt{r}\,\frac{\partial^2\phi}{\partial r^2} \tag{付.89}$$

なので，右辺の第 1 項を左辺へ移して，両辺を $\sqrt{r}$ で割ると

$$\frac{1}{\sqrt{r}}\,\frac{\partial^2(\sqrt{r}\phi)}{\partial r^2} + \frac{\phi}{4r^2} = \frac{\partial^2\phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial r} \tag{付.90}$$

となり，この右辺は式 (付.87) の左辺と同じなので

$$\frac{1}{\sqrt{r}}\,\frac{\partial^2(\sqrt{r}\phi)}{\partial r^2} + \frac{\phi}{4r^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2} \tag{付.91}$$

となり，両辺に $\sqrt{r}$ を掛けると，次式が得られる。

$$\frac{\partial^2(\sqrt{r}\phi)}{\partial r^2} + \frac{\sqrt{r}\phi}{4r^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2(\sqrt{r}\phi)}{\partial t^2} \tag{付.92}$$

式 (付.92) の形から，r が大きくなれば左辺第 2 項を無視できることがわかる。式 (付.92) で，第 2 項を無視すると，$\sqrt{r}\phi$ が式 (付.67) の ϕ に相当する形になっている。つまり，r が十分大きいところでは，$\sqrt{r}\phi$ は平面波になるので，円筒波の ϕ はそれを $\sqrt{r}$ で割ったもの，つまり平面波的ではあるが，大きさが中心軸からの距離の平方根に反比例して減衰することがわかる。つまり，r が十分大きいところでは，外向き方向の波だけを考えるなら外向きに速度 c で伝わるので，ダランベール型の解は

$$\phi(r,t) = \frac{F_1\left(t - \dfrac{r}{c}\right)}{\sqrt{r}} \tag{付.93}$$

と書けることがわかる。後退波については係数の分母が∞になるので後退波の項は消える，つまり，自由空間中での線音源の場合も点音源の場合と同じように進行方向の先に終端がないので，後退波はないと考えてもよい。

式 (付.92) は，左辺第 2 項も含めたままでは解きにくい形をしているので，周波数領域へもって行って，よく出てくる形の微分方程式にすることを考える。

$\phi(r,t)$ のフーリエ変換を $\Phi(r,j\omega)$ とし，これを

$$\mathcal{F}[\phi] = \Phi \tag{付.94}$$

と書くことにすると

$$\mathcal{F}\left[\frac{\partial\phi}{\partial r}\right] = \frac{\partial\Phi}{\partial r}, \quad \mathcal{F}\left[\frac{\partial^2\phi}{\partial r^2}\right] = \frac{\partial^2\Phi}{\partial r^2}, \quad \mathcal{F}\left[\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2}\right] = (j\omega)^2\Phi \tag{付.95}$$

なので，式 (付.87) のフーリエ変換をとると，次式が得られる。

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\Phi}{\partial r} + \frac{\omega^2}{c^2}\Phi = 0 \tag{付.96}$$

Φ は $\phi(r,t)$ のフーリエ変換なので ω の関数であるが，特定の周波数では，ω をパラメータと考えてよい。そこで，$\eta = \dfrac{\omega r}{c}$ を新たな変数とおけば，式 (付.96) は

$$\left(\frac{d^2}{d\eta^2} + \frac{1}{\eta}\frac{d}{d\eta} + 1\right)\Phi(\eta) = 0 \tag{付.97}$$

と書き直せる。

この形の微分方程式（0 次のベッセル方程式）の外向き球面波解 $\Phi(\eta)$ は 0 次の第 2 種ハンケル関数で与えられることが知られている。十分遠方，すなわち $\eta \gg 1$ では，外向き球面波解は

$$\Phi(\eta) \propto \frac{e^{-j\eta}}{\sqrt{\eta}} \tag{付.98}$$

となる。$\Phi(\eta) = \Phi\left(\dfrac{\omega r}{c}\right)$ に周波数スペクトルに対応する ω に依存する係数を掛けてフーリエ逆変換すれば，式 (付.87) の解が求まる。十分遠方では式 (付.93) の形になる。

線音源は，概念的には，点音源を線上に等間隔 d で並べ，各点音源は球面波を同位相で生じているとして，その間隔 d を 0 にもっていった極限と考えてよい。z 軸上の 1 つの点 z_0 にある点音源から出た音を z 軸から半径方向に r の円筒面上の点 z で受けるとすると，音源から受音点までの距離 R は

$$R = \sqrt{r^2 + (z - z_0)^2} \tag{付.99}$$

である。z 軸から半径方向に r だけ離れた点での，z 軸上にある線音源全体からの音は，各点音源からの音をそれぞれに対応する距離 R で受ける音をすべての点音源について加え，点音源の間隔 d を 0 にもっていった極限になる。つまり，$-\infty < z - z_0 < \infty$ で積分したものになる。点音源から距離 R の点での外向きの球面波は，式 (付.85) の第 1 項で r を R で置き換えたものとなり，線音源とした場合の ϕ は，その積分として

$$\phi(r,t) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f\left(t - \dfrac{R}{c}\right)}{R} d(z - z_0) \tag{付.100}$$

となる。ただし，f の形は初期条件によって決まる。

式 (付.100) における f と式 (付.93) における F_1 は次の関係で結ばれていることが知られている【導出は省略】。

$$F_1(t) = \sqrt{2c} \int_{-\infty}^{t} \frac{f(\tau)}{\sqrt{t - \tau}} d\tau \tag{付.101}$$

（4） 境界条件の例

（a） 自由空間中での点音源　広さ無限大の自由空間中での点音源からの音は，境界なしの状態で広がり続けるが，波面の単位面積あたりのエネルギーは音源からの距離の 2 乗の逆数で小さくなる。これは球の表面積が半径の 2 乗に比例して拡大することを考えればわかりやすい。

（b） 直方体の空間　直方体の空間の場合，直交する 3 辺をデカルト座標の x, y, z 軸にとり，空間を $0 \le x \le L_x, 0 \le y \le L_y, 0 \le z \le L_z$ とすると境界条件は，t にかかわらず $\xi_x(0) = 0$，$\xi_x(L_x) = 0$，$\xi_y(0) = 0$，$\xi_y(L_y) = 0$，$\xi_z(0) = 0$，$\xi_z(L_z) = 0$, となる。

一方，$\boldsymbol{\xi}$ に関する 1 次元デカルト座標の波動方程式 (付.45) のダランベール形式の解は，変数を ξ_x とし，定数を $c = \sqrt{\frac{\kappa}{\rho}}$ とおくと，

$$\xi_x(x,t) = f_1(ct - x) + f_2(ct + x) \tag{付.102}$$

で与えられる。これが式 (付.45) の解であることは，代入すると式 (付.45) を満たすことからわかる（付録 C.2 節参照)。

直方体の空間に閉じ込められた空気の場合，端が壁によって時刻にかかわらず常に固定されている（壁に接している空気は壁面に垂直な方向には動けない）ということから，頂点の 1 つを原点にして，直方体の直交 3 辺のうちの 1 つを x 軸にとると，壁 $x = 0$ で ξ の x 方向成分は 0 に固定されているとして，$\xi(0,t) = 0$ を解に入れると

$$f_1(ct - 0) + f_2(ct + 0) = 0 \quad \rightarrow \quad f_1(ct) = -f_2(ct) \tag{付.103}$$

となり，壁面では波形の上下が逆になって反射することがわかる。

任意の区間の波形は，フーリエ級数展開によって，それを整数周期とする正弦波と余弦波の荷重和（無限級数の和）で表すことができるので，それらの成分を $\sin\frac{\omega}{c}(ct \pm x)$，$\cos\frac{\omega}{c}(ct \pm x)$，それらの振幅を未知として，$\xi_x(x,t)$ を次のように表し，周波数ごとに係数を決めていくことを考える。

$$
\begin{aligned}
&\xi_x(x,t)\\
&= A\sin\frac{\omega}{c}(ct-x) + B\cos\frac{\omega}{c}(ct-x) + C\sin\frac{\omega}{c}(ct+x) + D\cos\frac{\omega}{c}(ct+x)\\
&= A\sin(\omega t - kx) + B\cos(\omega t - kx) + C\sin(\omega t + kx) + D\cos(\omega t + kx)
\end{aligned}
\tag{付.104}
$$

ただし，$k = \dfrac{\omega}{c} = \dfrac{2\pi f}{c} = \dfrac{2\pi}{\lambda}$ は，radian 単位での波数である。

定在波（定常波）を考えると，いかなる t についても $\xi(0,t) = 0$ であるという条件から

$$
(A+C)\sin\omega t + (B+D)\cos\omega t \quad = 0 \tag{付.105}
$$

となり，いかなる t についても

$$
\sqrt{(A+C)^2 + (B+D)^2}\sin\left(\omega t + \tan^{-1}\frac{B+D}{A+C}\right) = 0 \tag{付.106}
$$

なので，

$$
(A+C)^2 + (B+D)^2 = 0 \tag{付.107}
$$

となる。したがって

$$
C = -A, \quad D = -B \tag{付.108}
$$

が要請され，これらを式 (付.104) に代入すると，以下のようになる。

$$
\begin{aligned}
\xi(x,t) \quad &= A\{\sin(\omega t - kx) - \sin(\omega t + kx)\} + B\{\cos(\omega t - kx) - \cos(\omega t + kx)\}\\
&= A\{(\sin\omega t\cos kx - \cos\omega t\sin kx) - (\sin\omega t\cos kx + \cos\omega t\sin kx)\}\\
&\quad + B\{(\cos\omega t\cos kx + \sin\omega t\sin kx) - (\cos\omega t\cos kx - \sin\omega t\sin kx)\}\\
&= -2A\cos\omega t\sin kx + 2B\sin\omega t\sin kx\\
&= 2(B\sin\omega t - A\cos\omega t)\sin kx\\
&= 2\sqrt{A^2+B^2}\sin\left(\omega t + \tan^{-1}\frac{A}{B}\right)\sin kx
\end{aligned}
$$

これに，反対側の壁面での境界条件 $\xi_x(L_x,t) = 0$ for $\forall t$ を入れると

$$\sin kL = 0 \tag{付.109}$$

となる。これより

$$kL = \frac{2\pi}{\lambda} L = m\pi \tag{付.110}$$

となり，波長は以下のように求まる。

$$\lambda_m = \frac{2L}{m} \quad (m = 1, 2, 3, \cdots) \tag{付.111}$$

周波数で言うなら

$$f_m = \frac{c}{\lambda_m} = m\frac{c}{2L} \quad (m = 1, 2, 3, \cdots) \tag{付.112}$$

という離散的な値しか取り得ないことになる。これが両端を壁で閉じられた空間のその方向に生じる波の**固有周波数**（固有振動の周波数）である。以上は対向する壁に垂直な方向に圧伸する波について述べたが，直方体の場合は，このような対向する壁が直交する 3 本の座標軸方向に対応して 3 対あり，それぞれがここで説明したような離散的な固有振動をもつことになる。

両端を固定された弦の横振動，および両端が閉じられた管（そのような楽器があるかどうかは別）の中の気柱振動は，波動方程式が上述の場合と同じで，境界条件もここでの境界条件と同じ（両端で，常に変位が 0）なので，ここで説明した固有振動は，両端を固定された弦の横振動，ならびに両端が閉じられた直管の中の気柱の振動でもまったく共通である。

（**c**） **直管内部の気柱**　管楽器で見られる気柱の振動は，管が曲がっていても管径が波長に比べて十分大きい場合には直管とみなすことができるので，ここでは管はすべて直管として扱う。管楽器に見られる管は，両端が開いている「開管」か，一端が閉じられて他端が開いている「閉管」かのどちらかになる。ここではどちらも管が真っ直ぐで，管の中心線に沿って x 軸をとり，断面の内壁は円形で中心線の周りは回転対称性があり，音の高さを決めるのは中心線に沿った方向の管の実効的な長さであるので，波動方程式は流体の中を伝わる音の波動方程式で 1 次元の場合の式 (付.67) となり，境界条件が開管か閉管かによって生じる振動モードが異なることは 2.1.3 項 (1) で説明した。

1. **開管の場合**

   開管の場合の境界条件は，両端が振動の腹，すなわち変位 $\boldsymbol{\xi}$ や粒子速度 $\boldsymbol{v}$ が最大値をとる位置として解くことになる。

2. **閉管の場合**

   閉管の場合の境界条件は，閉端で中心線方向の粒子速度が 0，開端で粒子速度が最大ということになる。つまり，粒子速度で考えた場合，閉管では閉端が振動の「節」，開端が「腹」になる。

E.1.3 気鳴楽器に関する特記事項と留意事項

（**1**） **木管楽器の指孔とリップリード楽器の迂回管**　リップリード楽器（金管楽器）ではスライド機構で実管長を延ばしたりバルブ機構で**迂回管**を選択的に付加したりすることで，実効管長を長くすることによって 3 全音（増 5 度）下までの共振音高を半音単位で決め，唇を震わせる振動数を管の共振モードの 1 つに合わせることによって演奏音高を作り出すようになっているので，リップリード楽器は原理的には音孔をもたないはずである。にもかかわらず，Agricola の本に出ているカモシカの角で作った 16 世紀のリップリード楽器ゲムゼンホルン（図 G.1, 図 H.14) は実効長を変えるための指孔をもっていた。このことが楽器改良のヒントになってが同属のコルネット（角笛）が木で作る時代を経て金属で作られるようになってから，吹奏時に実効長を変える目的で迂回路を設けるというアイデアがトランペット（管長を変えるには替え管を使っていた）よりもコルネットで先に生まれたのはこのような歴史的な経緯からと推測される。

木管楽器においても，管の共振周波数が，管の実効的な長さによって決まることに変わりはない。したがって，演奏に必要ないろいろな高さで音を共振させるためには，管長（実効管長）を変えられるようにする必要がある。木管楽器では，管壁に大きな**音孔**を開けてこれを開閉することでこの問題を解決している。音孔が開いていると，開いた音孔はその場所が管の開口端になるように振舞うので，そこに波の粒子振動の腹がくるような定在波が生じやすくなる。

（**a**） **木管楽器の運指**　管体長 L_0 で基本波の振動数が f_0 の管を考える。

いま，その管を使って f_0 よりも高い振動数 f の音を出したいとすると，その管長 L は，$L < L_0$ でなければならない。単純に考えれば，歌口から L の所で管が実効的に終わる（そこから先は大気圧になる）ように大きな孔を開ければよいと考えられる。しかし，音孔は部分的な開口であって，そこだけを開けてもそこから先の部分の空気の動きが制約を受ける。そこで，管の開口端にしたい音孔から先にできるだけたくさんの大きな孔を開け，その部分の空気が動きやすいようにしておけば，実効管体長がほぼ L とみなせる。木管楽器で最低音から音高を上げていくとき，基本的には開ける音孔を先端から順次増やしていき，そこから先をすべて開けた状態にするのはそのためである。**図 E.24** にリコーダーの指使いを図示しておく。孔の大きさや孔の間隔によって原則から外れる音高がいくつかある。

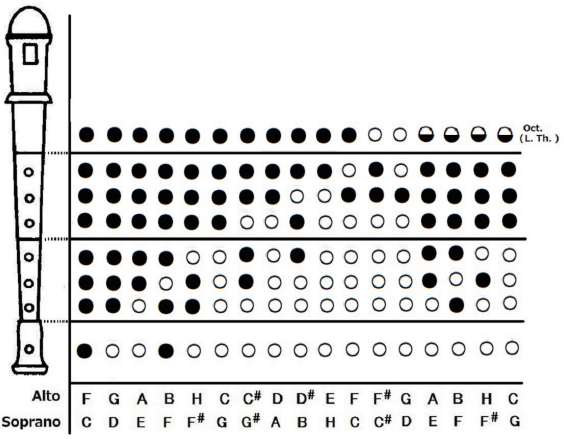


図 E.24　リコーダーの指使い　○：開，●：閉
（F 管：アルト，C 管：ソプラノ）
裏側にあるオクターヴキーの開閉は最上段に表示。
（「楽器の物理学」[1] p.533 図 16.21 を転載。）音名はドイツ式表記。F 管（アルト管）は A から G，C 管（ソプラノ管）は E から D まで半音刻みになっている。

閉鎖を●，解放を○で表した指使いをソプラノ管（C 管）とアルト管（F 管）について示す。下半分が黒くなっている円は半開を意味する。吹鳴音高は下方

の 2 段にアルト管とソプラノ管に分けて示してある。開閉を示す印の最上段は管の裏側にあるオクターヴホールで，左手の親指で開閉する。吹鳴音高を上げるには，オクターヴホールを除いて，基本的に先から順に開けて行けばよいことがわかる。

リップリード楽器は，ピストン型かロータリー型のバルブを使って，3 つの迂回管を使い分けるようになっている。第 2 迂回管を通すことによって（実効的な管長を本来の長さの $\frac{16}{15}$ 倍にして）半音下の音を，第 1 迂回管を通すことによって（$\frac{9}{8}$ 倍にして）長 2 度下の音を，第 3 迂回管を通すか。あるいは第 2 迂回管と第 1 迂回管を通すことによって（$\frac{6}{5}$ 倍にして）短 3 度下の音を，第 3 迂回管と第 2 迂回管を通すことによって（$\frac{5}{4}$ 倍にして）長 3 度下の音を，第 3 迂回管と第 1 迂回管を通すことによって（$\frac{4}{3}$ 倍にして）完全 4 度下の音を，3 つの迂回管をすべて通すことによって（$\frac{64}{45}$ 倍にして）3 全音下の音を出せるようになっている。具体例をトランペットで音の波形包絡を付けて**図 E.25** に示す。

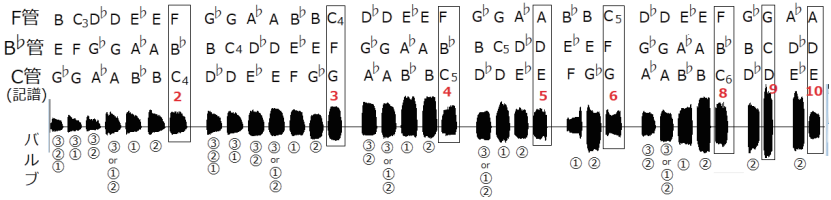


図 E.25 トランペットの音とその指使い（C 管：ソプラノ，B♭ 管：メゾソプラノ，F 管：アルト）枠で囲った音はバルブを使わないで出す高さ。【⬇ ：付録関係/4. 諸資料/(i)Trumpet の音域/211Tp(Bb 音域区切り)E3-D6.wav 】

C 管以外のトランペットは移調楽器であるので，吹鳴音高に関わらず記譜は指使いに関係しないように C 管の音高で書くことになる。理解するためには，四角の枠で囲った「どのバルブも押さない状態」の C 管の行の音高と最下段のバルブの押し方を見ればよい。「どのバルブも押さない状態」は迂回管を使わないトランペットの管の長さを最短長の共振器として使うので，その長さに対応する周波数が基本周波数となり，これがペダル音高となって，その整数倍の周波数が共振可能な周波数になる。通常，ペダルトーンは吹鳴音高としては使わ

ず，第 2 共振から上を吹鳴音高として使うことになる。四角で囲ったところは，第 2 共振以上の共振点で，そのモード番号を音名と波形包絡の間に数字で示してある。第 2 共振が基本的な吹鳴音高になり，この音高が管の名称になる。この高さを C にしたものが C 管で，その場合，第 3 共振は C の 5 度上の G に，第 4 共振はオクターヴ上の C になる。第 5 共振はその長 3 度上の E，第 6 共振は第 3 共振のオクターヴ上の G，第 7 共振は対応する音がなく，第 8 共振は第 4 共振のオクターヴ上の C になる。第 9 共振はその長 2 度上の D，第 10 共振は第 5 共振のオクターヴ上の E になる。そこまでで出てこなかった音高は，四角で囲った音高から，迂回管を使って（丸で囲った番号のバルブを押して），実効的な管長を長くすることによって，1 つ左の四角の枠で囲った音までの間を半音単位で最大で 6 個の音を埋めることができるようになっている。B♭ 管は楽器全体を長 2 度下げたもの，F 管は完全 5 度下げた（あるいは完全 4 度上げた）ものである。

上の計算からわかるように，迂回管を 2 本以上同時に使うと，共振周波数が協和性のいい音程の積み重ねにはならない。このことについては，付録 G.1.4 項で詳しく説明する。

（b） リップリード楽器の自然倍音列による音高　現代のリップリード楽器はバルブやスライド機構によって実効的な管長を変えられるようになっているが，管の長さを変えられなかったころのリップリード楽器は，その楽器の最低次の共振の周波数を基準として，その整数倍の周波数でしか共鳴させられなかった．最低次モードの共振の高さ（ペダルトーン[†]と言って，通常，吹鳴音高としては使わない）を C1 として，その整数倍の周波数の音高を考えると，第 n 次モードの音高は**表 E.1** のようになる（2 の整数べき乗モードの音名は C，2 の整数べき乗× $\frac{3}{2}$ 倍のモードの音名は G になる。）。

管楽器は「F 管」とか「B♭ 管」というようにサイズあるいは音域が区別されるが，それはバルブを使わずに出せる最低音の音高がそれぞれの音名になって

[†] 実際には，最低次の共振周波数は倍音の整数分の 1 にならずそれよりもかなり低くなる。これがペダルトーンを使わない一因になっていると考えられる。

表 E.1　自然倍音列。最低次共振を C1 とした場合の各共振モード次数とモード周波数および音高の関係（周波数は C1 の周波数の整数倍であって，付録 D の平均律の周波数とは若干異なる。音名の右肩の符号は平均律でのその音高よりも知覚的にわかる程度以上に高い／低いことを表す）

モード次数	1	2	3	4	5	6	7	8
周波数	32.7	65.4	98.1	130.8	163.5	196.2	228.9	261.6
音高	C1	C2	G2	C3	E3	G3	$A\#3^-$	C4
モード次数	9	10	11	12	13	14	15	16
周波数	294.3	327.0	359.7	392.4	425.1	457.8	490.5	523.2
音高	D4	E4	$F4^+$	G4	$A4^-$	$A\#4^-$	B4	C5

いる楽器である。「$\overset{\text{ビーフラット}}{\text{B}\flat}$管」と「$\overset{\text{ベー}}{\text{B}}$管」は同じもので，英語での言い方か，ドイツ語での言い方かが異なるだけである。したがって，「B 管」を「ビーかん」と読むのはドイツ語の英語読みで，英語での呼称と考えると間違いである。

E.2 弦　鳴　楽　器

E.2.1 弦鳴楽器の分類と代表的な楽器

（1）撥弦楽器：ギター

（a）起　　源　ギターはイタリア語でキターラ（chitarra），ラテン語でもキターラ（cithăra）であるが，ラテン語のキターラはツィター，リラ，リュートも含む。その語源は古代ギリシャの職業演奏家用の撥弦楽器（7 弦）キタラー（$\kappa\iota\theta\grave{\alpha}\rho\bar{\alpha}$）で，その簡略版リュラー（$\lambda\upsilon\rho\bar{\alpha}$）がリラの語源となっている。ギター類で一般的なものはスペインで発達した，いわゆる**クラシックギター**で，昔はガット弦を用いたが，現在ではナイロン弦になっている。同じスペインで発展したものに**フラメンコギター**があるが，これはクラシックギターに比べて胴がやや薄く，レスポンスをよくするために板を薄くし，指板からの弦の高さをやや低くしてある。ゴルペ（胴を叩く奏法）を多用するので，表板の保護のためにゴルペ板を貼ってある。

ギターは，現在では標準では 6 コース 6 弦であるがその前身楽器（バロックギターと呼ばれる。**図 E.26**）がバロック時代には複弦（各コースに弦を 2 本ず



図 E.26　バロックギター（5 コース 9-10 弦）とそのヘッドと響孔。現在見つかっている 6 本のストラディヴァーリ作のギター[29) pp.228–230] の中の 1 本で，1700 年作の “Rawlins”.（米 South Dakota 大の National Music Museum：国立音楽博物館 “Rawlins Gallery” 所蔵）。

つ使う）であったこともあって，6 コース 12 弦，あるいは 11 弦（カンティーノだけ単弦）のものもある。図 E.26 にストラディヴァーリ作の現存の 6 本のギター（バロックギター）† のうちの 1 本を示す。シターン（図 H.45 の 6 あるいは 7, 図 H.44 の 2, 図 H.48）の形を継ぐポルトガルギター（**図 E.27** 右）は現在でも 12 弦である。

ヨーロッパの中央部では，ルネサンス期以降，ネックをもった撥弦楽器としてはアラブ起源のリュートが広まっていた。ヨーロッパに伝わったリラのうち，撥弦型からネックをもたない形で竪琴やハープあるいはダルシマーやチェンバロが生まれていた。これはルネサンスの気運として，古代ギリシャのプサルテリオン（共鳴箱の上に多数の弦を張って，指ではじいたり，バチで叩いて音

† 図 E.26 のものの他に以下のものがある。(1)1681 年作の “Giustiniani”（ジェノヴァで興りヴェネツィアで繁栄した旧家の名）でジュスティニアーニ家の所有。(2)1688 年作の “Hill”（ロンドンにあったヴァイオリンを扱う商会名，かつ文献[29), 52)] の著者名）は現在は英 Oxford 大の Ashmolean 博物館所蔵，(3)1711 年の “Vuillaume”（ヴァイオリンの高度な模作で有名なフランスの名工の名前），(4)1679 年作の “Sabionari” は個人の所有で，弾けるように補修された。これを弾いた動画が Youtube にいくつかアップされている。（“Sabionari” で検索可能）(5)1675 年のもの（W. E. Hill 著 “Antonio Stradivari” の p.230 にヘッドの写真）はクレモナでヴァイオリンなどと共に展示されている。



図 E.27 左：チャランゴ（5 コース 10 弦，“Tatanakuy”井上暁氏所有，筆者撮影），右：ポルトガルギター（6 コース 12 弦。Gilberto Marques Gracio 2000 年作。工房ミネハラ）とそのヘッド

を出す楽器）の復興が意識の深層にあったのかもしれない。「プサルテリウム “psalterium”」は音楽辞典では「中世ヨーロッパ，特に 14〜15 世紀に用いられた板型ツィター」となっているが，現在の簡易ラテン語辞典では，「stringed instrument, lute」となっている。

リラもプサルテリオンの延長上のもので，撥弦型と擦弦型の両形態をもったままスペインへ渡ったが，スペインは長期にわたってアラブに侵略されていたため，アラブの臭いの強いリュートはスペインでは嫌われていた。そこへ渡ってきたリラはアラブの臭いが薄かったので大歓迎され，スペインで**ビウエラ**[†]になり，それにも撥弦型と擦弦型が併存していた。スペインでは撥弦型がビウエラ・デ・マノ（手のビウエラ）として大流行し，16 世紀には，ルイス・デ・ミラン（Luis de Milán）の “エル・マエストロ（El Maestro）”を皮切りに，多数のビウエラ曲集が出版された。ビウエラ・デ・マノは後に現在バロックギターと呼ばれる複弦 6 コースの楽器を経てスペイン内で現在のクラシックギターに発

[†] 当時のイタリア語の「ヴィオーラ」にほぼ対応するスペイン語で，イタリアでは（胴裏が丸くない）擦弦楽器を指したが，スペインでは「ネックをもつ胴裏が丸くない弦楽器（撥弦楽器を含む）」の意味であった。ビウエラ（vihuela）はフレット付き 4 度調弦で，当初は 4 弦であったが，後に 6 弦になった。現在でも，スペイン語の歌詞で「ビオーラ」が「ギター」を意味する場合がある。（“Mi Vieja Viola” [Humberto Correa, 1932] など）

展した。現在のギターの 6 弦 4 度調弦はビウエラ・デ・マノからの継承である。ただし，3 度音程の位置は 3-4 弦間から 2-3 弦間へ移動した。

（b） **派 生 楽 器**　大航海時代にスペインから南北アメリカに渡ったギターの前身楽器は中南米では小型の**レキント**（“requinto”：普通のギターよりも 4 度高い。5 度下げてオクターヴ上げたと解釈する。）や大型の**ギタロン**（“guitarrón”：普通のギターよりも 5 度低い。フレットなし），あるいはキルキンチョ（アルマジロ）の甲羅を使った**チャランゴ**（“charango”，図 E.27 左）を生み，北米ではバンジョーと音色の合うスチール弦のギターがカントリーミュージック用に生まれ，それが**フォークギター**になっていった。

ただし，ギタロンは正面から見た状がギターに似ており，正式な名称も「メキシコ大型ギター」であるが，上記のようにフレットを備えておらず，高音 3 弦はナイロンであるが低音 3 弦は金属の巻弦で，表板の広さの割にボディが深く，最低弦は A1 であることから，起源はビウエラではなく，16 世紀のスペインにあり，ビウエラと似た「バホ・デ・ウーニャ（Bajo de Uña：爪の（爪で弾く）低音」と呼ばれた楽器であるとの説もある。

レキント[†] は楽器一般の用語で「小型」（通常，普通サイズよりも 4 度高い）を指すが，本来は「5 度上あるいは下の楽器」である。現在単にレキントと言えば標準音域のギターよりも 4 度高い（「5 度下のオクターヴ上」と考える）音域の小型ギターを指す。ちなみに，クラリネットのレキントは標準の変ロ調管よりも音域が 5 度低いアルトクラリネット（変ホ調管）を指す。

ギターのレキントは中南米のボレーロなどに使われるマイナーな楽器であったが，1950 年代にプエルト・リコのトリオ「ロス・パンチョス」のアルフレード・ヒル（Alfredo Gil. 1915-1999）が弾いて脚光を浴びた。ついでながら，ボス・セグンダ（セカンド・ヴォイス）のチューチョ・ナバーロ（Chucho Navarro, 1913-1993）はギタロンを担当した。初代ボス・プリメーラ（トップ・ヴォイス）のエルナンド・アビレス（Hernando Avilés, 1914-1986）がプエルト・リ

[†] スペイン語動詞 “requintar”は「5 度音程の操作を施す」で，上げる場合と下げる場合がある。1 人称単数直説法現在形が名詞になるというスペイン語文法規則の例。

コ人なので，プエルト・リコのトリオとしたが，他の 2 人はメヒコ人である。

ポルトガル以外で**ポルトガルギター**と呼ばれているもの（図 E.27 右）は，ポルトガルでは単に「guitarra ギターハ」と呼ばれており，それはシターン（フェルメールの「恋文 (1669-1670)」【図 H.48 左】に描かれている楽器）の流れを汲むもので，裏が平らな水滴型の胴にクジャク型の糸巻きがついた，フレット付き 6 コース 12 弦の撥弦楽器で，親指と人差し指にプレクトラムをはめて弾く。われわれが通常「ギター」と呼んでいるものは，ポルトガルでは「violão ヴィオラウ (ン)」または「guitarra espanhola ギターハ・エスパニョーラ（スペインギター)」と呼ばれる。ポルトガルギターはファドの主楽器になっており，ファドではスペインギターと組み合わせて使われる。Armando Augusto Salgado Freire（通称アルマンディーニョ，Armandinho，1891-1946）という名手がいた。

エレキギターもギターからの派生楽器であるが，本書では電鳴楽器として扱うので，ここでは除外しておく。アコースティックギターと呼ばれるギターは，語義からは電気を使わないでも楽器から音が出る普通の意味のギター（クラシックギターに代表される）であるが，一般的に（特に日本で）はフォークギターを指すことが多い。ただし，「電気を使わないでも音が出る」を「電気を使わないでも音が出るが，電気を使って音を加工・増幅できる」というように拡大解釈（曲解？）したギターを指すこともある。電気ギターのことを話している際に「アコースティックギター」という表現を使う場合は，クラシックギターではなく，マイクロフォン（あるいはプリアンプまで）を内蔵しているが電気を使わないでも音が出せる「エレクトリック・アコースティックギター」を指すと考えてよい。

（c） **ギターの構造**　ギターの概略の構造を**図 E.28** に示す。

(c.1) 表板　ギターの表板は通常スプルース材で，ひょうたんを平面にしたような外輪郭で厚さは約 2.5 mm，円形の響孔をもつ。標準的なサイズの表板単体（周囲は自由）での共振モードについては，低次モードの共振周波数が例えば 60, 72, 95, 109 Hz, … となっているが，側板で周囲を固定すると，同

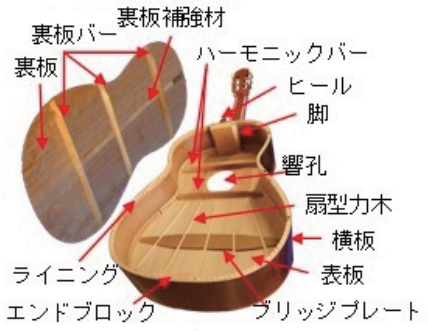


図 E.28　クラシックギターの構造と各部の名称（「楽器の科学」[22] より）

じ板の共振周波数が 3 倍程度に高くなる。また，表板はブリッジ裏に取り付けられるブリッジプレートや響孔周りの補強材，ならびにいろいろなパターンで貼られているブレイス（力木，添え木）で補強されている。

木の板はその材質や切り出し方と杢目，形状や厚さ分布などによって共振モードが大きく異なる。ギターの表板の振動の基本モードと第 2 モードを**図 E.29** に示す。ギターの表板・裏板の振動様態や共振周波数は補強材やブレイスをどのようなパターンで入れるかに大きく依存し，そのパターンに関する検討はいまだ試行錯誤の段階で，格子型や扇型，交差型，ブッシュ式，ラミレス式など種々のパターンが試されている。

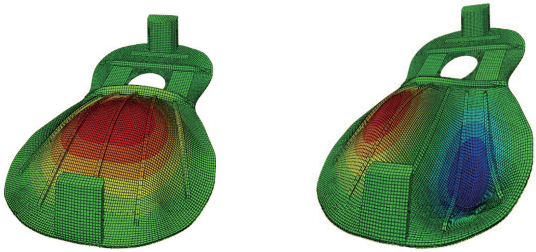


図 E.29　ギター表板の振動モード　左：基本モード，右：第 2 モード（「楽器の科学」[22] より）

(c.2)　裏板　　裏板は表板と同じ外形・サイズであるが，響孔があいておらず，通常は材質がカエデなど，表板とは異なる。近年，良質の木材の不足か

ら，裏板と側板をグラスファイバーで置き換えたものも試みられている。裏板の振動は表板の振動とともにボディ容積の変動を引き起こし，内部の空気の圧縮膨張と響孔を通しての空気の弾性的な出入りによるヘルムホルツ共鳴と相互に影響し合う。裏板単体の固有振動の周波数はこれらの連成振動の周波数とは一致しない。

(c.3)　ボディ　　弦鳴楽器の音の周波数スペクトルは，一般にどの時点でも調波構造† をとるが，細かく見ると，それとは無関係な小さい成分もある。ギターには魂柱がないので，表板の振動が直接裏板に伝わることはなく，ボディ内部の空気は表板・裏板の振動によるとボディ容積の増減と内部の空気の圧縮伸張の相互作用による振動をするが，響孔による空気の出入りがあるので，ヘルムホルツ共鳴が起きて，通常これが最も周波数の低い共振になる。これは標準的なサイズのギターでは 100 Hz 近辺になる。ボディをヘルムホルツ共鳴器と見ると，響孔は長さが極端に短い（表板の厚さが長さになる）首になる。ヘルムホルツ共鳴の周波数より高い周波数帯域の空洞共振は，標準的なギターのサイズと形では，ほぼ 200 Hz, 500〜550 Hz, 800〜850 Hz, … と続く。これはボディのサイズと形状によって決まる。横板は表板の振動方向と平行なので，振動しにくく，音への直接的な影響は少ない。

図 E.30 に，あるギターの最高音弦の開放弦（E4：f_0=330 Hz）を指で弾いた音の立体的表示によるスペクトログラムを示す。横軸右方向が周波数，縦軸がパワー，斜め右奥方向に時間経過であるが，時間の目盛りはスペース節約のために右に垂直に書いてある。この図では，ヘルムホルツ共鳴は 97Hz 付近で，それより上の空気共振は，190 Hz, 535 Hz, 820 Hz, 1150 Hz, 1480 Hz, 2020 Hz, 2100 Hz, 2500 Hz, 3100 Hz, 3450 Hz, … 付近に調波構造と無関係な小さい共振特性の山が見えるがこれらが空洞共振である。時間経過とともに全体として高域の高調波ほど減衰が速いことと，高調波によって時間減衰の様子が異なることなどがわかる。

† 特定の周波数（基本周波数：弦鳴楽器の場合は奏弦の振動周波数）の整数倍の周波数に成分をもつスペクトル構造。

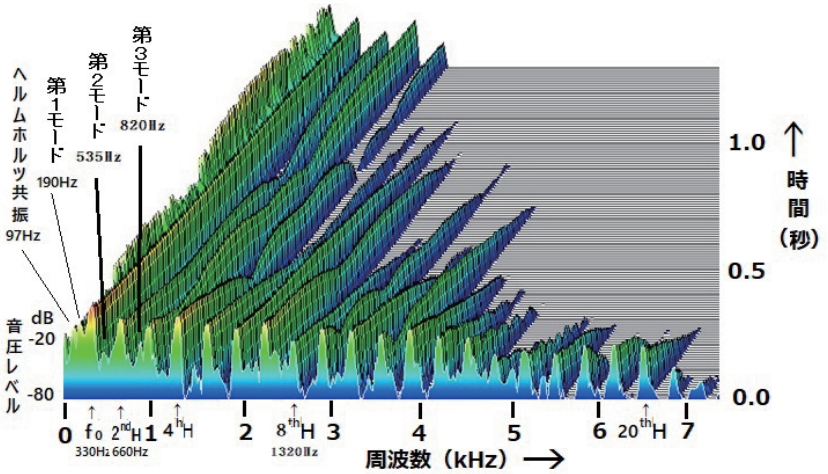


図 E.30　ギター音のスペクトログラム分析の例（カンティーノ：E4 弦の指弾きで f_0=330 Hz）：横軸：周波数，縦軸：パワー，斜め右方向：時間。時間経過とともに高域周波数成分が先に減衰する。（神奈川工科大学　徳弘一路氏提供）。

(c.4)　ブリッジとサドル　　ギターの弦はサドルで決められる振動の端点を経てブリッジの孔を通してテール側の孔から出し，ブリッジの上を通って入り口に入る弦を 1 回ひっかけて，再びブリッジの上からテール側へ戻して元の弦の下へ入れて留められている（**図 E.31** 左）。弦の振動の手元側の端点を決めるのがサドルで，クラシックギターやフラメンコギターではブリッジとほぼ平行であるが，フォークギターなどでは高音側の振動弦長を低音側よりも少し短くして，押弦や使用による伸びの調整をしているものがある。



(a)　クラシックギター



(b)　アコースティックギター

図 E.31　ブリッジ側の弦の止め方とサドルの傾き（アコースティック（金属弦）のほうがクラシック（ナイロン弦）よりも傾きが大きい）

ボディ側の弦の端点はサドルの位置になるが，ネック側の端点は開放弦の場合はナット（枕）の位置，押弦の場合は押弦フレットの位置になる。押弦する

と弦が少し引き伸ばされて張力が大きくなるので，フレットの位置は開放弦の長さとの比から計算上決められる位置よりも全体的に若干ナット側に寄せられる。それでも弦の材質や太さによって張力の増大率が異なるので，それをいくらかでも補正するために，サドルを弦に対して少し斜めに置くという手段がとられる場合が多い（図 E.31 右）。

撥弦の振動は図 2.23 に示したが，まず撥弦位置で始まる山（瞬時的な弦形状の変位最大点）が 2 つのキンク（曲がり角）に分かれて広がり，一方が撥弦点から近い方の端（ブリッジ側）に達した時点で変位が反転し，上下一対になったキンク対が端点の間で並進し，他方のキンクがもう一方の端点（ナット側）に達して変位が反転した後，同一側になったキンクが合体して 1 つの谷になって半周期が終わる。（この時点で変位最大点は撥弦位置の対称点になる）

弦振動の振動面は最初にはじかれた 3 次元的な位置と両端点で決まる平面で始まるが，弦の断面の不均一性や弦の両端の留め方の非対称性などによって，振動面は静止状態の弦の中心軸を軸として（弦の振動の速さと比べて）ゆっくり回転する。キンクが端点に達するたびに弦がブリッジを振動面内で駆動することになるので，弦振動の表板への垂直方向成分が表板に対する駆動力になる。

単純なモデルでは各弦は独立と仮定して，両端は固定と仮定しているが，少し考えると，ブリッジは表板に固定されているので，厳密にはギターの弦の端点は固定ではなく，表板が振動すればブリッジも動くし，ブリッジがすべての弦に対して共通なので，ある弦の振動は他の弦にもブリッジを介して伝わる。演奏しながら楽器そのものを激しく動かすと，弦に働く重力の方向や運動の加速度がボディの移動や回転によって時間的に変化する。これらは無視できないかもしれない。したがって実際の弦の振動現象は非常に複雑である。

(c.5) 響孔　ギターの音は主として表板の振動によって生じる。響孔（サウンドホール）は直径が約 14 cm の円形であるが，響孔からの音響出力はその名称から想像されるほど大きくない。響孔の主たる機能は，空気の出入りを許すことによって，内部の空気の膨張圧縮に対する抵抗を軽減することである。響孔を通して空気の出入りがあるので，いくらかの音はそこから放射され，こ

の形の音はヘルムホルツ共鳴によるものと，弦の振動による胴内空気の圧縮・膨張の一部を外部へ逃がす空気の出入りとの連成になる。ヘルムホルツ共鳴の周波数はボディの容積と響孔の開口面積によって決まるが，標準的なクラシックギターでは 100 Hz 前後である。したがって，ヘルムホルツ共鳴が効果をもつのはほぼ最低音弦（ボルドーナ【西】）の第 5 フレット A2($f_0 \approx$110 Hz) 付近以下である。

(c.6)　弦　弦の材質は昔はガットであったが，20 世紀後半以降は，クラシックギターおよびフラメンコギターには，通常，高音弦にナイロン弦，中音域以下にナイロンの芯線に金属を巻いた弦が使われるようになった。金属巻弦は使い始めると劣化が速いが，フォークギターには専らスティール弦が使われる。電鳴楽器として扱うエレキギターでは電磁ピックアップで振動を拾うことができるように，必ずスティール弦が使用される。

ブリッジの項に書いたように，はじかれた弦の振動は，撥弦位置で決まる山の頂上が左右の角（キンク）に分かれ，その一方が端に達した時点で反転し，上下一対になったキンク対が端点の間で等速で並行移動し，他方の角が端点に達した後 1 つの谷に合体して半周期が終わる。以後はそこが最初にはじかれた点の上下左右の対称点となり，半周期経つと最初にはじかれた状態にほぼ戻るがいくらか減衰した状態になる。以後はその繰り返しになり，徐々に振動は減衰していく【付録 E2.2 項 (1)(e)「振動の減衰」参照】。弦振動の振動面は最初にはじかれた位置と両端点で決まる平面内で始まるが，弦の断面の不均一性などによって，振動面は静止状態の弦の位置を軸として回転する。

ギターの弦振動は撥弦直後は，弦を開放した点の位置で決まる面内で始まり，振動の振幅は徐々に減衰するので，全体的には最初が大きく，徐々に減衰する。ただし，ブリッジを表板の振動方向に励振するのは表板に垂直な成分であるが，振動面は弦の静止状態の軸の周りで回転するので，ブリッジの表板駆動は振動面の回転に応じて駆動効率は時間的に変化し，（あるいは振動面の角度に依存するわずかな振動周波数の差に起因する余韻との同時発音による「うなり」によって）音は大きくなったり小さくなったりしながら減衰する。

(c.7) フレット 指板をもつ弦楽器で，押弦位置を確定するために指板上に埋め込む金属製あるいは象牙製，牛骨製，木製などの線状の突起列，もしくはネックにガットを何本か巻いたものである。現代のギターでは通常，指板に金属製あるいは牛骨製ないしは樹脂製のフレットが埋め込まれる。

ヴァイオリン属では，純正律の和音でないと濁った音が持続して響きがよくないので，音高を細かくコントロールできるようにフレットはもたないが，ヴィオラ・ダ・ガンバやアルペジオーネはフレットを備えていた。撥弦の場合は音の減衰が速く，和音の各音の周波数の整数比からのズレによる濁りはほとんど気にならないので，撥弦楽器には弾き易さを重要視してフレットを付けたものが多い。ウードがフレットをもたないのは，和音をきれいに弾くためというよりも，四分音を弾けるようにフレットを付けると，フレットが多くなり過ぎるからである。ネック付きの撥弦楽器では，ウードと三味線などの例外を除いて，ほぼすべてフレットがついていると言える。

ナットから各フレットまでの距離を，開放弦の音高からの音程に応じてナット－サドル間の長さから計算される値（割合）ちょうどにすると，押弦時の音高が想定値よりも若干高くなる。それは，押弦によって振動部分の張力が開放弦の状態での張力よりも少し増加するからである。このため，実際のギターでは，押弦時の張力増加によって音高が上がり過ぎるのを補正するために，フレットの位置を計算上の位置よりもナット側へ少し寄せて設置する。

(c.8) プレクトラム 撥弦具は，チェンバロのように楽器に固定されているかギターや箏のように手でもったり指に嵌めたりするかに関わらず，音楽用語としては一般に**プレクトラム**と総称される。呼び方は楽器や言語によってさまざまであるが，ギター用のものは日本では英語で**ピック**と呼ばれ，現在では合成樹脂製のものが大部分である。

(c.9) カポタスト 「指板 (tasto) の頭 (capo)」の意味で，フレット付きの弦楽器類の全弦の開放弦の位置を一斉に半音単位でいくつか上げるための道具で，指板上の任意のフレット間に圧着させて開放弦の音高を上げる。これを使えば，運指を変えずに移調演奏ができる。指板が平らなクラシックギター

やウクレレのためのもののほかに，指板が丸みを帯びたエレキギター用のものがあり，リュート用のものやヴィオラ・ダ・ガンバ用のものも市販されている。

（d） ギター以外の撥弦楽器　ギター以外の撥弦楽器について以下に記す。

(d.1)　有棹撥弦楽器

1. **ウード**

洋梨を縦に半分に切ったような形の胴に円形の響孔をもつ 4~6 コース 8~11 弦の撥弦楽器で，奇数の場合は最低音弦だけ単弦で他は複弦である。ペグボックスがネックから後ろへほとんど直角に折れているのが特徴的である。10 世紀ころまではフレットをもっていたとされるが，微分音を奏する必要から，現在ではフレットをもっていない。指で弾くことも可能であるが，通常はプレクトラムを用いる。ウードの細い棒状のプレクトラムはアラビア語では**リーシャ**と呼ばれ，20 世紀半ばまでは鷹の羽根の軸や亀の甲羅で作られたものが作られていたが，現在では合成樹脂製になっている。響孔は通常幾何学的な花柄の彫刻が施してあり，**ローズ**あるいは**ロゼッタ**と呼ばれる。ローズを複数もつものが多い。

地域によって形状や大きさが若干異なり，トルコやペルシャのものはアラブのものよりも少し小さい。調弦は何種類かあるが，基本的には 4 度調弦で，1 か所だけ長 2 度あるいは長 3 度になる。6 コースの代表的なものは，下から D3, G3, A3, D4, G4, C5 あるいは C3, E3, A3, D4, G4, C5 などである。

2. **リュート**

ウードにフレットを付けたような楽器で，中世からルネッサンス期にかけてイベリア半島を除くヨーロッパ全体で広く人気があった。表板の裏には強度を補うための力木（ブレイシング）が入っている。ペグボックスはウードと同様に後ろにほぼ直角に折れている。指板表面は胴の表板と同じ高さで，ルネッサンス期までは平坦であったが，現在のものは断面が少し山形になっている。フレットは，高域側では木製や骨製のものを埋め込んであるが，低音側ではガットを巻く。弦の数は，バロック

期以降のヨーロッパでは 6 コース 11 弦であるが，ウードと違って歌弦（シャントレル，最高音弦）が単弦で，他は複弦である。

中世まではプレクトラムが用いられていたが，ルネッサンス期頃からは指で直接弾くようになった。ポリフォニーの発達に同期して，ソプラノ，アルト，テノール，バスの 4 声域のサイズが作られた。テノールが一般的で，調弦は当初 4 コースで C3, F3, A3, D4 であったが，15 世紀に G4 が追加，16 世紀に G2（F2 に調弦することもあった）が追加された。この調弦はスペインのビウエラと同じであったので，**タブラチャ**（ 押弦位置によって奏法を示す楽譜）は互換性があった。

この時代の 6 コースの弦楽器での 4 度調弦は 3 度音程を中央（第 3 弦と第 4 弦の間）にもっていたが，これは開放弦の音高をハ長調・イ短調の幹音（ピアノの白鍵）にするためで，現在のギターは 6 弦 4 度調弦ではあるが，3 度音程の位置は第 2 弦と第 3 弦の間に移動している。ただし，6 コース 4 度調弦の特徴としての「ボルドーネ（最低音弦）からカンティーノ（歌弦，最高音弦）までが 2 オクターヴ」は，この時代以来，擦弦楽器も含めて常に保たれている。

Agricola の「Musica Instrumentalis Deudsch」にリュートの調弦と各フレットの位置の音高の図が出ていたので**図 E.32** に転載しておく。

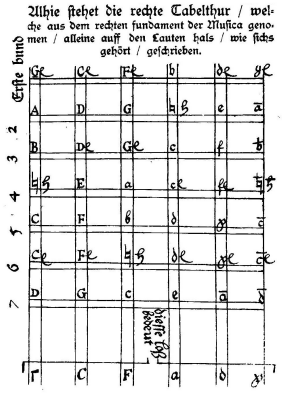


図 E.32　リュートの調弦
（M. Agricola 著「ドイツの器楽」）
最下段の文字は開放弦の音名で，最左の “Γ” は “G”。左側の数字はフレット番号。Erste Bund は第 1 フレット。第 7 フレットは開放弦の 5 度上。

最下段のアルファベットが複弦 6 コースの弦の開放弦の音名で，左から Γ=G2, C=C3, F=F3, a=A3, d=D4, g=G4 で，カンティーノ（歌弦：最高音弦）だけは単弦。左側の数字はフレット番号であるが，1 だけは数字でなく Erste bund（第 1 バンド）となっている。「バンド」はガットでネックを巻いてあるフレットを意味する。最低音弦の開放弦がなぜか “G” に対応するギリシャ文字の “Γ” になっている。“δ” は “d” である。a 線の第 1 フレットはドイツ記法で $\overset{\text{べ}}{\text{b}}$ となっている。第 7 フレットは開放弦から完全 5 度上になる。表題は「その他の種類（「空気楽器以外の種類の楽器」 7 の意味）」。

3. **マンドリン**

マンドリン属は 5 サイズあるが，すべて梨型胴，フレット付き 8 弦 4 コース 5 度調弦で，小さなものからクアルティーノ，マンドリーノ，マンドーラ，マンドロンチェロ，マンドローネで，2 サイズアップで音域が 1 オクターヴ下がるようになっている。マンドリン【英】はマンドリーノ【伊】の英称で，その調弦はヴァイオリンとまったく同じである。マンドーラが現在のヴィオラと同じ，マンドローネがチェロと同じ調弦になる。マンドロンチェロはヴァイオリン属では失われてしまったテノールサイズのもので，音域はマンドリンよりも 1 オクターヴ低い。どのサイズも表板は平面的であるが，ブリッジの下辺りで少し折れている。響孔は円形が多いが変形のものもある。指板とフレットは，低音側は響孔の縁で切れているが，高音側は響孔に入り込んでおり，カンティーノ（歌弦，最高音弦）には第 24 フレットまでついている。

形状からリュート系統の楽器であることは明らかであるが，調弦はヴァイオリン属と同じでリラの系統で 5 度調弦である。プレットロ（ピック）で弾く。音の減衰が速いため音価の長い音符を弾く場合は同音の連続トレモロを用いる[53)]。Vivaldi や Mozart, Paganini などがマンドリンの曲を少しだけ書いているが，バロック期のマンドリンのフレットはガット製で，そのころは音価を保つためのトレモロは使われなかった。

マンドリンは 17 世紀に多分シターンとリュートをミックスしたようなものとしてできたが，19 世紀にいくつかの点が改良されたナポリ型のマンドリン（胴裏が丸い）が主流となり，イタリア王室でこの楽器の愛好者がいたこともあって，イタリアで大流行した。胴裏が平らなポルトガル型もあるが，日本には明治後期にナポリ型が渡ってきて，イタリア帰りの奏者が指導者になって愛好者を増やし，1910 年以降，日本の多くの大学にマンドリンクラブができた。

そこに，名手ラファエレ・カラーチェ（Raffaele Calace，1863-1934）が 1924 年に来日して，東宮（昭和天皇）の前で御前演奏したり日本各地で演奏会をしたので，日本で大流行となった。これに続いて，第 2 次大戦ではイタリアが日本と同盟国になっていたので，戦中もマンドリンは親日国の楽器ということで軍の宣伝に利用された面もあった。

イタリア王室にマンドリン好きがいたが，第 2 次大戦でイタリアは敗戦国になって王政が倒れ，イタリアでのマンドリン熱は冷めたが，日本でのマンドリンの人気は衰えず，戦後すぐに大学のマンドリンクラブは息を吹き返し，イタリアでは熱が冷めてしまったにもかかわらず，日本



図 E.33　マンドリン 5 サイズ：左からクアルティーノ，マンドリーノ，マンドーラ，マンドロン，マンドローネ（楽器は同志社大学マンドリン・クラブ所蔵のもので，左端は Raffaele Calace 作）

でのマンドリン人気は戦後も続いた。特に各大学のマンドリンクラブはそれぞれ大規模なマンドリンオーケストラを編成したので，日本は本家のイタリアよりもマンドリンが盛んな，変な国となった。ただ，この状況はエレキギターの普及によって変わってきている。

図 E.33 に 5 サイズのマンドリン属を示す。左から 2 番目が標準サイズのマンドリン（【伊】マンドリーノ）で，左端はそれより 4 度高い。2 サイズ大きくなると 1 オクターヴ下がるように，5 度と 4 度を交互に繰り返す音程間隔で作られる。

4. **琵琶**

琵琶は奈良時代に中国から渡ってきたことと，その梨型胴の外形と後ろへほぼ直角に折れた糸倉（糸巻き箱）の形の類似性から，アラブのウードあるいはササン朝ペルシアのバルバットがシルクロードを伝わって，中国へ前漢のころに伝わってきて，それが聖武天皇の時代（中国は唐）に琉球列島・九州経由で伝わったものと考えられている。ただし，裏板はウードやリュートのように膨らんではおらず，ほとんど平板に近い。逆に表板はウードやリュートが平板であるのに対して，なだらかな隆起がある。響孔は「半月（はんげつ）」と呼ばれる（実際には三日月型）。紛らわしいが，「半月」は月琴では半月型の弦留め（ヴァイオリンなどのテールピースに相当）を意味する。琵琶の弦留めは覆手（ふくしゅ）と呼ばれる。琵琶の弦は絹の撚り糸である。現在多く使われている 5 弦の筑前琵琶は薩摩琵琶を基礎にしたもので，撥弦には柘植（つげ）材で幅の広い（先端の幅は約 20cm），銀杏型の撥（バチ）が使われる。フレットに相当する柱（じ）は数が少なくて，非常に高く，押弦は指を最大で 3 本まで使って強く押さえることによって 5 度以上も上げることができる（奏法としては長 3 度まで）。ただし，予想されるように，押さえによって適切な音高を撥弦前に安定してとることは難しい。

正倉院に残っている螺鈿紫檀五絃琵琶（**図 E.34**）は糸倉がまっすぐ（直頸）で，伝承が切れており，曲頸のものとの関係は明らかになっていない。現在の 5 弦の筑前琵琶は 4 弦のものの改良型であって，正倉院の



図 E.34 正倉院の螺鈿紫檀五絃琵琶（宮内庁 HP）



図 E.35 5 弦直頸の琵琶（インド 2 世紀石彫）

5 弦の琵琶から繋がるものではない。インドに直頸 5 弦の琵琶の石彫（2 世紀，**図 E.35**）があり，北魏時代の敦煌の遺跡には 5 弦の琵琶の絵があるが，中国では唐の時代には 4 弦になっていたことが白居易の長歌（**図 E.36**）でわかる。4 弦（イラン起源）の琵琶も 5 弦（インド起源）の琵琶も正倉院に残っているものが現存する琵琶としては最古のものであるとされる。



琵琶行

潯陽江頭夜送客 ・・

別時茫茫江浸月

忽聞水上琵琶聲

主人忘歸客不発

尋聲闇問弾者誰

琵琶聲停欲語遅 ・・・

四絃一聲如裂錦

東船西舫悄無言

唯見江心秋月白

図 E.36 白居易 七言長歌「琵琶行」（815 年）左遷された元和十年の翌秋の作（図は後付け．zhuanlan.zhihu.com）

白居易の七言長歌「琵琶行」（図 E.36）に，左遷先の溢浦（後に元が府を置いた雲南省の町）で夜に舟で客を送る際に水上に琵琶の音が聞こえ，客を送ることも忘れ，客も帰らず，弾いているのは誰かと尋ねると，元長安の歌女で，「四絃」を一挙に弾くと錦がはじけるが如し（後ろから 3 行目），と書かれていることから，唐代には 4 弦になっていたようである。清朝の琵琶は唐代のものからさらに変わっている。

日本には，雅楽で用いられる樂琵琶，平家物語の語りに用いられる平家琵琶，ごく最近まで宮崎県日向市に残っていた盲僧琵琶があり，清代の琵琶が唐琵琶と呼ばれて明治時代まで残っていたが，これは日清戦争で下火になった。現在，日本では鎌倉時代からの薩摩琵琶と明治以降にで

きた筑前琵琶があって，筑前琵琶は薩摩琵琶の改良型あるいは盲僧琵琶から宗教性を抜いて芸術性を高めたものとされている。ともに 4 絃 5柱(じ)が標準で，弦は絹である。

徳川美術館所蔵の「雲龍紋螺鈿琵琶」（4 弦，曲頸）は装飾の文様から「琉球琵琶」と呼ばれるが，江戸時代に琉球で装飾された日本の琵琶である。

弦は下（手前側）から一の糸，二の糸，・・・と呼ばれ，4 弦のものの調弦は下から E3, A3, E4，E4（高音 2 弦は同一音高） で，5 弦のものは低音側に 1 本（通常 A3）が追加される。楽琵琶（雅楽用の琵琶）の調弦は，下から A3, C4, E4, A4 である。絶対音高で書くと以上のようになるが，琵琶の調弦は基本的には相対音高で行われるので，単体で調弦する場合は弦間の音程だけが決められていることになる。したがって，5 弦の場合，一の糸と三の糸は同一音高で，二の糸はそれより 4 度下，四の糸と五の糸は同一音高で三の糸より 5 度上ということになる。

琵琶のフレット（「柱(じ)」と呼ばれる）は高くて，柱間の弦を強く押さえると，その柱の本来の高さより長 3 度上まで上げられる。これを使ってヴィブラートやポルタメントができる。標準的な柱間音程は邦楽の音律に基づいて設定されており，開放弦から上へ長 2，短 2，長 2，長 2，短 3 度で，ギターで言うなら，ほぼ第 2, 3, 5, 7, 10 フレットに相当する位置に立てられており，特に第 2，第 3 柱は洋楽の音程としては少しズレた位置になっている。奏法としては，打楽器的な弾き方や撥を弦に沿って擦って雑音的な音を生じるなど，独特の奏法があり，これらの奏法は現代の曲に頻繁に用いられる。現代の中国の琵琶は金属弦で 4 絃 31 フレット（半音刻み）になっている。

5. 三味線

15〜16 世紀に琉球から来た三線(さんしん)（蛇皮線）から派生し，江戸時代に完成したとされる。日本固有の楽器であり，三絃とも呼ばれる。丸みを帯びた四角い箱状の木（花林）製の胴の両面にネコやイヌの皮を張って，

胴を貫通する棹（紅木，紫檀，樫，桑など）を差し込み，表皮に駒を立てて弦を 3 本張った構造であるが，もち運びが容易なように，棹は胴から抜いて 3 つの部分に分けられるようになっているもの（3 つ折れ）が多いが。分割できないもの（延べ棹）もある。

一の糸（最低音弦）だけ上駒（かみごま）（ナット）から外してあり，上駒の高さだけ弦の位置が棹に近いので，大きな振幅で振動するとさわり山（乳袋の山）に触れるようにした「さわり」と呼ばれる構造をもち，一の糸が大きく振れた場合に弦がさわり山に触れて「ビーン」というような音がするようになっている。これは一の糸がさわり山に触れる時と触れていない時の有効弦長が異なることによって倍音成分が増えて響きを持続させる効果をもたせるものである。

棹の裏側からネジによってさわり山の高さを調節できるようにしたもの（東（あずま）さわり）もあるが，**図 E.37** はその機構をもたないものである。



図 E.37 三味線の「さわり」(teiscotone.web.fc2.com より)。一の糸だけ上駒から外れていて，指板から弦までの高さが低く，振動の振れ幅が大きいと，弦がさわり山に「さわる」

通常，膝の上に胴を置いて，左手で棹をもって押弦し，右手にもった銀杏型の撥で弦をはじくが，左手の指ではじく（ヴァイオリンでの左手ピッツィカートに相当する）場合もある。調弦は単独で弾く場合は弦間の相対的な高さだけが決まっており，絶対音高は歌いやすいように適当にしておく。「本調子」では一の糸に対して，二の糸は完全 4 度上，三の糸は 1 オクターヴ上とする。「二上り」では本調子の二の糸を長 2 度上げ，「三下（さんさが）り」では三の糸を本調子よりも長 2 度下げる。複数の楽器で高さを合わせる必要がある場合は，本調子を C4, F4, C5 とする。

三味線は大きく分けて 3 種類あり，細棹（ほそざお）は「長唄三味線」とも呼ばれ，歌舞伎などで使用する。中竿（ちゅうざお）は「地唄三味線」などがあり，地唄，常磐津，清元，新内などに使われる。太棹（ふとざお）は義太夫三味線と呼ばれ，義太夫，浪曲などに使われる。津軽三味線も太棹の一種であるが，皮にイヌを使い，撥は少し小さい。

このほかに，柳川三味線（京三味線）もある。これは地唄三味線の最も古い流派で，京都に残る柳川流が使っている三味線で，やや小さく細竿よりもさらに細い。「三曲」（「平曲」の琵琶に対する 3 種の楽器，三味線，箏，胡弓ないし明治以降は尺八）の中では「三絃」と呼ばれることが多い。

6. **月琴**

中国明・清朝のネック付きの撥弦楽器で，胴は円形で厚さが 5 cm 程度の，表裏共に平板で響孔をもたない。名称は満月のような胴形状から来ている。通常 4 弦で複弦 2 コースで，調弦は種々あるが相対音高の複弦 5 度調弦が基本で，低音 2 本は D に，高音 2 本を A にする。フレットの位置は洋楽の高さから見ると中途半端な位置になっている。例えば，第 1 フレットは開放弦の長 2 度上であるが，第 2 フレットは開放弦の短 3 度上よりも少し高い。清朝以前の月琴は胴の内部に金属製の響き弦をもつが，現代の（中華人民共和国以後の）ものはこれをもたず，フレット位置も洋楽の半音間隔にしてある。

月琴のヘッドに付けられている装飾部分は「蓮頭（はすがしら）」と呼ばれる。図の月琴のフレット（琵琶のフレットのように「柱（じ）」，あるいは「品（ほん，【中】pin）」と呼ばれる）は，明・清期の数（8 本）になっているが，現在の市販品では半音ごとに置かれているものもある。明・清期の楽器では第 6 フレットが開放弦のオクターヴ上で，8 本の中で最も長い。フレットは断面が台形あるいは二等辺三角形の頂点を少し丸くした形で，ヘッド側に近くなるにつれて半月（緒留め，テールピース）側の

ものよりも 2〜3 mm 高くなっており，表板に膠（にかわ）で固定される。

(d.2)　無棹撥弦楽器

1. **ツィター**

ドイツ・オーストリアの楽器（図 2.19 中央最上段）で，親指にはめたプレクトラムで弦をはじく。奏弦はフレットをもった手前の指板上にまとめられ，共鳴および補助的な音のための弦はそれよりも奏者から遠い側に置かれている。奏弦をはじくのは右手で，左手は指板上の押弦と補助弦をはじくために使われる。アラブ圏のカーヌーン（図 2.19 中央上から 2 つ目），フィンランドのカンテレ（図 2.19 央上から 3 つ目）も音響学的にはほぼ同じである。ハンガリーのツィンバロン（図 2.21）は撥弦ではなく打弦であるが，いずれもホルンボステルとザックスの分類（付録 B）では弦鳴楽器の中では「ツィター属」（共鳴箱の表板あるいは響板などに弦が平行に平面的に張られ，ブリッジをもつ）とされていたものである。定義上はピアノやチェンバロもツィター属に分類される。

1920 年代に和音を 1 つのキーで弾くことができ，かつ不要な音をミュートすることのできるツィター（Coded Zither）が開発され，Oscar Schmidt 社からオートハープ（**図 E.38**），Aria 社からコードハープという商品名で売り出されている。これらは「ハープ」の名称がつけられているが，弦を張った面が共鳴器の表板と平行なので，ホルンボステルとザックスの分類（付録 B）では平板型の「ツィター属」になる（弦が共鳴板からその垂直面内で腕へ張られたものはハープ属とされる）。

押弦せずに弦を撥（ばち）で叩くツィンバロン（【英】ダルシマー：図 2.21）は，奏法がツィターと大きく異なるが，楽器自体は共鳴胴の上に共鳴用の板と平行な面に弦を張ってあるという意味で，構造的にはツィターと同じと考えてよい。ホルンボステルとザックスによる分類では，ピアノも同じ共鳴器付きの平板型ツィター属とされていた。

現在のツィターは奏者から見て手前に 5〜6 本の旋律用の弦と，奥側に



図 E.38　コード・ツィター (商品名：“Autoharp”，Oscar Schmidt 社)

30 本ほどの伴奏用の弦もち，旋律用の弦は左手で押弦するようになっており，2 オクターヴ半ほど上までのフレットがついている。弦は共鳴空洞の表板に平行に張られ，伴奏用の弦の下には丸い響孔が開いている。

2. **ハープ**

共鳴胴から出た 1 本の腕から共鳴胴の響板に弦を張る。通常，弦は同一平面内に張られ，響板に垂直な面内に（弦が振動すれば響板を引っ張る方向に）固定される。共鳴胴から張った弦を 1 本の腕にとめてはじく形の撥弦楽器で，原則的には腕が 1 本のものがハープで，腕が 2 本で弦面が響板と平行なものはリラ（日本語ではどちらも竪琴）と呼ばれる。リラは元々腕が 2 本であったが，腕がなくなっても，弦を張った面が響板と平行（ギターやヴァイオリンなど）であればリラの後継楽器とされる。弦の材質は，かつてはガットであったが，現在ではその他にナイロン，スティールなどがあり，低音用にはナイロンやスティールにさらにスティールを巻いたものもある。地域，形状，機能，奏法等によって分類できるが，グランドハープ，アイリッシュハープ，アルパ（インディアンハープ）などが現在使われている。

各弦は固有の音高で張られ，原始的なものは固定の調で弾きやすいように全音階で調律されるが，半音も弾けるようにするための機構が考えられた。ただし，グリッサンド音の美しさを維持するために調律は基本的に全音階型で発展してきており，ペダルによって調外音を臨時的に弾

ける機構が開発され，半音階機能をもたせたハープが現在のコンサートグランドハープになった。あくまでも調性の高い音楽を弾きやすいように作られており，ペダルの設定は五線譜の調記号に合わせて設定しておけばよいようになっている。ただし，調性の程度が低い曲の演奏ではペダル操作が非常に煩雑になる。

グランドハープはコンサートで使われることからコンサートハープの呼び方もあり，全高は約 180 cm あり，気品のある形状と見映えする大きさ，美しい音色と音量の豊かさで花形楽器の 1 つである。改良が重ねられ，大型にすることによって弦が伸びたことに対しては，強い弦を使って弦の張りを強くして音高を保ち，撥弦楽器としては破格に大きな音量で演奏できる。拡声装置なしでオーケストラと協演できる撥弦楽器はハープだけである。ハープの響板はスプルース（松科トウヒ属の常緑樹で軽く柔らかい），その他の木部はメープル（カエデ）で作られており，弦数は 47 本で全音階で張られ，識別のために各オクターブの C の弦に赤，F の弦に青（あるいは黒）の色が付けられている。

ダブルアクション・ハープはペダルが 7 つあり（**図 E.39**），足で操作して音名ごとに楽譜の調号に合わせて半音の上げ下げができる。音高をとるための押弦はせず，演奏には両手の指の爪や腹を用いる。グリッサンドの響きは他の楽器にない美しさをもっている。



図 E.39　ダブルアクション・ハープのペダル。中央から右へ E, F, G, A, 左へ B, C, D. 下へ踏み込むと半音上がり，上の位置にすると半音下がる。（「楽器の科学」[22]p.111 より）

7 つのペダルは，中央から右へ（右足用）E，F，G，A，左へ（左足用）B，C，D 用で，すべてのペダルをカギ型に曲がった中段の位置にすると，弦はピアノの白鍵の高さになり，各音名のペダルは下の位置に踏み込んだり，上の位置へ緩めたりすることによって，全オクターヴの

同一音名の弦の音高を一斉に半音上げたり下げたりするようになっている。つまり，楽譜のアタマの調記号に合わせてペダルを設定しておけばその調の調固有音を弾くことができ，楽譜に臨時記号やナチュラルが出てくればそれに合わせてペダル操作をすればいいようになっている。したがって，すべてのペダルを中央にしておくと，ハ長調・イ短調の演奏用になり，例えばFのペダルを踏み込んで半音上げるとト長調，ホ短調用になる。

この機構からわかるように，ハープは調性音楽の演奏には適しているが，頻繁に調が変わったり，調性の乏しい音楽（例えば，Pierre Boulez “Sur Incises pour trois pianos, trois harpes et trois percussions-claviers” “3台のピアノ，3台のハープと3つの打楽器のための『シュル・アンシーズ』など）を演奏する場合は足が極端に忙しくなる。

ペダルで半音を出せるハープの出現によって調固定のオーケストラ用のハープは19世紀初頭に廃れた。現在は20〜30弦のガット弦を使い，ペダルを備えた小型のものがアイリッシュハープという名称で市販されているが，これは昔のアイリッシュハープ（本来は金属弦）とは関係がない。アイルランドのアイリッシュハープは調固定の簡便型として18世紀末まで残っていたもので，柳の木をくり抜いた胴と湾曲した前柱が外見的な特徴とし，30〜36本程度の金属弦を用いていた。

中南米で現在も使われているアルパ（Harpa【西】。英語ではインディアンハープ）があるが，全音階型で調固定である。アジアにも，歴史的には中国や韓国の箜篌（くご）があり，ミャンマーには現在でも使われているサウン・ガウ（**図 E.40**，saung-gauk）がある。これは日本映画「ビルマの竪琴」に出てきた。

ミャンマー（旧ビルマ）で現在でも使われるサウン・ガウは日本語では古代ギリシャのリラを連想させる「竪琴」と呼ばれているが，腕が1本だけ（リラなら2本）で，弦が響板から腕へ垂直面内に張られている（リラは弦面が響板に平行）ので，分類上からはサウン・ガウはリラ属では



図 E.40　サウン・ガウ

なくハープ属である。通常，弦は絹製で 16 本で 5 音音階で調律される。

ハープ（腕が 1 本だけ）では通常，弦が共鳴箱の表面から垂直に張られるが，それとは別のタイプの弦楽器として，共鳴胴から腕を 2 本出してその間に棒を渡し，それと共鳴胴の側面との間に弦を張るタイプのものが現れた。当初，弦が共鳴箱の表面から垂直に張られた形のものもあったが，低音を共鳴させるために共鳴箱が弦方向に大きくなって，弦を共鳴箱の側面から張って，共鳴箱を構成する板の一部と弦の面が平行になるものが主流になり，それを特徴とする楽器が生まれた。

それは古代ギリシャではリュラー（$\lambda\upsilon\rho\bar{\alpha}$）と呼ばれたが，後にはリラ（伊：lira），ライアー（英・仏：lyre，独：leier，lyra）と呼ばれるようになった。ところが，ルネサンス期ころからドイツ語のライアーはハーディー・ガーディーを指すようになり，紛らわしいので，本書では特に他言語で書く必要がある場合以外はイタリア語の「リラ」を用いる。

3. **リラ**

共鳴胴から腕を 2 本出して，その間に棒を渡し，共鳴胴からその棒に弦を張った撥弦楽器。原始的なものは弦ごとに音高が異なり，これが調固定の簡単なリラになった。簡単なものは古代ギリシャにも存在して絵（**図 E.41**(a)）に残っているが，それはキタラー（図 E.41(b)）の簡易型で。それらをモデルにした写真（図 E.41(c)）が 20 世紀初頭に撮られている。また，リラは音楽の象徴として音楽関係の企業や大学などのマークに取り入れられている（図 E.41(d),(e)）。



(a)　(b)　(c)　(d)　(e)

図 E.41　左から，(a) 古代ギリシャのリラの絵と (b) キタラーの彫刻，(c) それらをモデルにした 20 世紀初頭の写真，(d) スタインウェイの商標，(e) 大阪音楽大学の学章

ハープの弦は共鳴箱の板から垂直に張られるが，リラの弦は共鳴箱の板と平行に張られるので，弦の横振動を共鳴胴の板に伝えるために，必然的にコマ経由で張ることになった。また，リラは後に中央に指版をもつようになり，各弦に複数の音高を担わせることによって，弦の数を減らすことができるようになった。現在リラ・ハープあるいはリラ・ギター（**図 E.42**(c)）は，古代ギリシャのリラと中世以降のリュート属を折衷したようなもので，中央に指板を設けて弦をその上に張ることによって，各弦が複数の音高を受けもつことができるようになり，竪琴型のリラでは多数必要であった弦の数を減らせるようになった。この型の楽器は 18 世紀末から 19 世紀に流行した[23] ようで，現在でも，復古楽器として市販されている。



(a)　(b)　(c)　(d)　(e)　(f)　(g)

図 E.42　リラ系の弦楽器。左 3 つは撥弦：(a) 原始的なリラ，(b) 市販品「ダビデのハープ」(Hika Shop, オーストラリア)，(c) リラ・ギター (ハープ・ギターとも，www.harpguitars.net)。右 4 つは擦弦：(d) クルース (by Michael King Musical Instruments)，(e) 市販品「クレタ・リラ」(Folkway 社, ギリシャ：本来は 3 弦)，(f) 中世フィドルの復元品，(g) リラ・ダ・ブラッチオ（by Giovanni d'Andrea, 1511 年。工芸史博物館, Kunsthistorisches Museum，Wien）

両脇に腕が残っている状態の楽器を擦弦にしたのがウェールズのクルース（図 E.42(d)）やフィンランドのヨーヒッコで，胴の表裏が平行になり，不要になった両腕を切り落としたものが初期の中世フィドル（ 図 G.6 最左）になった。さらに，擦弦タイプのものは胴の中央部の両側が擦弦しやすいようにくぼんでリラ・ダ・ブラッチオ（図 E.42(g)）になった。撥弦タイプの胴にはシターンやポルトガルギターのように水滴型のまま残ったものと，ビウエラ（ギターの前身）のように，中央がなだらかな曲線でくびれていったものがある。中世フィドルでは，不要になった腕が撤廃されたが，弦の止め方はリラの方法が残って，ペグは垂直指しのまま残った。一方，クレタ・リラやビザンティン・リラの洋梨型の胴はレベックに残ったが，レベックはペグを刺す方向が水平になった。

中世フィドルはイタリアでリラ・ダ・ブラッチオ[54] を経てヴィオラ・ダ・ブラッチすなわちヴァイオリンに発展していった【→付録 I「リラ」】。中世フィドルはスペインへも渡ってビウエラとなり，その擦弦型はイタリアへ戻って来てヴィオラ・ダ・ガンバになり，撥弦型は現在バロックギターと呼ばれている複弦のギターを経て，スペインで現在のギターになった。

4. **チェンバロ**

弦振動の固定端点になる点を突き上げて弦を振動させるクラヴィコード（「鍵盤付き弦楽器」の意。音が小さい）から発展して開発された楽器で，各音高ごとに弦を張り，鳥の羽根の骨で作ったプレクトラムを鍵盤上のキー操作で動かして弦をはじき，その振動をコマ経由で響板に導いて空気を振動させるようにした鍵盤楽器で，弦が共鳴板と平行な面内に張られるのでツィター属である。それまでのクラヴィコードとは比べ物にならないほど大きな音を出すことができたが，音量に強弱を付けられないという大きな欠点があった。それでも，ピアノが出現する前の通奏低音用の主要な楽器で，チェンバロはバロック期あるいはそれ以前の曲の演奏に現在でも使われる。

イタリア語の cémbalo はシンバルをも表し，「音を出すもの」程度の意味なので，チェンバロに対しては誤解を避けるために，厳密には前に「鍵盤」をつけてクラヴィチェンバロ（clavi-cembalo）としている。現代ドイツ語ではイタリア語の短縮形の “Cembalo” をそのまま流用し，それを借入語としてイタリア語読みでチェンバロと読ませているが，ルネサンス期のドイツではクラフィコルディウム（「鍵盤弦楽器」の意）ないしはクラフィツィンベル（「鍵盤発音機」の意）と呼ばれていた (図 H.58 参照)。フランス語では「鍵盤」を強調してクラヴサン（clavecin），英語ではハープシコード（harpsichord）で，日本ではチェンバロ，ハープシコード，クラヴサンが奏者の国籍と整合させるなどしてほとんど等頻度で使われる。

イタリア語の「チェンバロ “cembalo”」は，“cìmbalo”（シンバルの古形）の動詞形 “cembalare”（チェンバラーレ：音を出す）からの派生語で，“cembalare” にはチェンバロの出現後，「チェンバロを弾く」の意味が加わった。英語のシンバル (cymbal) やハンガリアの打弦楽器ツィンバロン（cimbalom：cymbal）も同語源である。

「チェンバロ」はハープのような楽器の弦を鍵盤操作で引っ掻いて響板を響かせるようにしたものなので，英語では「harp+sic（英語の such に相当するスコットランド語）+chord（弦）」でハープシコードになったようである。ピアノ† が開発され普及するまではチェンバロがオルガンと並んで鍵盤楽器の双璧であった。

大型のチェンバロはグランドピアノのような形であるが，小型のチェンバロとして，ヴェルジナーレ（英：ヴァージナル。エリザベス 1 世「処女王」が愛用したことからの呼称。直方体の筐体が多い）とかスピネッタ（考案者 G.Spinetti の名に由来。英：スピネット，一般には筐体が不

† 当初は，gravi-cembalo col piano e forte, つまり，「ピアノ（弱音）とフォルテ（強音）を出せるグラヴィ（おおきな）チェンバロ」という名称であった。この楽器は，ドイツでは，弦をはじくのでなくて，ハンマーで弦を打つ楽器で，鍵盤をもつということが強調され，一時期「ハンマークラフィアー」と呼ばれるようになった。

等辺多角形）と呼ばれるものもあった。小型のチェンバロは鍵盤が 1 段しかないが，大型のものでは鍵盤は 2 段になり，1 つの音高について複数の弦をもつものがある。**図 E.43** にチェンバロの 2 段鍵盤を示す。



図 E.43 2 段鍵盤のチェンバロ（本節の音の収録機，RWC「楽器音データベース」より 032HC2.jpg）。

チェンバロはオルガンと同じようにレジスター（オクターヴ位置）を選択することができるものがあり，レジスターの呼び方も，オルガンでの呼び方を流用し，標準のレジスターは「8 フィート」と呼ばれる。これはオルガンで最も低い C の鍵に C2 用の 8 フィートのパイプを割り当てるのに相当するレジスターである。同じ鍵で 1 オクターヴ高いパイプ（長さは半分）を割り当てるレジスターをオルガンでは「4 フィート」と呼ぶ。多くのチェンバロはこの 2 組のレジスターをもつが，これらを独立に使用できるものと，4 フィートは独立には使えず，8 フィートレジスタと同時に使うように補足的に付けられているものがある。

8 フィートレジスタを 2 組もっている場合は，弦を張る位置を少しずらせて，キーを押せば 2 本の弦をほんの少し時間をずらせてはじくことができる。この場合は，キーを押す速さを変えることによって，2 弦をはじく時点に時間差をもたせて，弾き方によって音色を制御することができる。

8 フィートレジスター 2 セットと 4 フィートレジスターを 1 セットもっている場合，一般的には，下鍵盤で 8 フィート 1 つと 4 フィートを

弾くようになっていて，上鍵盤でもう 1 つの 8 フィートレジスタを弾くようになっている。上鍵盤を奥へ押し込めば（この操作によって，上鍵盤用の 8 フィート用ジャックも下鍵盤で押し上げられるようになっている），下鍵盤だけで 3 つのレジスターをすべて使う「カップリング」ができる機構をもつものもある。**図 E.44** にカップリング機構を示す。

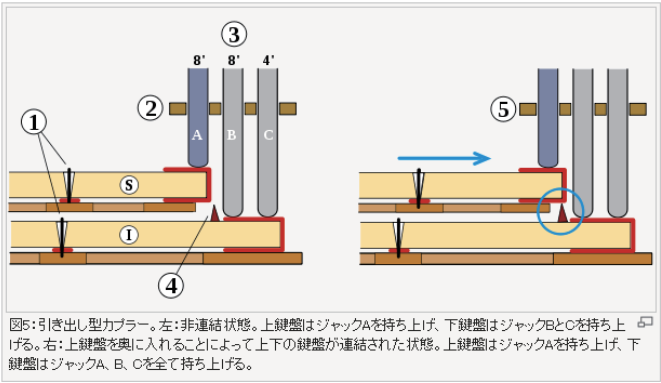


図 E.44　2 段鍵盤チェンバロのカップリング機構
【wikipedia「チェンバロ」】

レジスターは，初期には手で操作するようになっていたが，演奏中は手を使う余裕がないことが多いので，後期になると膝や足で操作できるようになった。8 フィート，4 フィートのほかに，さらに 1 オクターヴ低い「16 フィート」，あるいは 1 オクターヴ高い「2 フィート」のレジスターをもつものもある。スピネットやヴァージナルは 1 段鍵盤で 8 フィートだけしかもたない。

5. **箏**（そう）

約 2 m×30 cm 程度で両端が少し狭い山型の表板をもった共鳴胴の上に弦を 13 本張ってある。弦の面が山形にはなっているが，共鳴胴の表板と並行に張られているので，ツィター属になる。弦ごとに独立で可動の琴柱（ことじ）（ブリッジ）によって音高を調整するのが大きな特徴である。右手の指にはめた爪で琴柱よりも右側の弦をはじく。出したい音高の弦がな

い場合は，その高さよりも少し音高が低い弦の琴柱よりも左側を強く押さえて所望の音高を作る。奈良時代に中国から伝わった楽器である。標準的には 13 弦なので，「十三絃」とも呼ばれる。低音用の「十七絃」，「二十一絃」もある。実験的には八十絃（図 G.41）のものもあった。中国で現在でも使われている古箏（グーチェン）は 21 弦である。

須磨琴として知られる一絃琴（いちげんき）は，在原行平が須磨に流されたときに作ったものが原型であるという伝説があるが，寛文年間（17 世紀後半）に中国から伝わり，18 世紀半ばに覚峰律師が改良し幕末期に普及した[23] もので，上記の箏類とは起源がまったく異なる。

（**2**） **擦弦楽器：ヴァイオリン**　ヴァイオリン（イタリア語ではヴィオリーノ）属は 4 弦 5 度調弦（隣接弦間音程が完全 5 度）の擦弦楽器で，バロック期に使われたヴィオラ・ダ・ガンバ（直訳：脚の擦弦楽器）属よりも板が厚く，ヴィオラ・ダ・ガンバと違って裏板も隆起し，ネックの付け根がなで肩でなくネックに対して両肩のラインが水平で，指板にはフレットがない。細かい点では，表板と裏板が横板よりも少しせり出している（オーバーハングと呼ばれる）。ヘッドにはスクロール（渦巻き）が彫ってあり，ペグはギターのような金属の機構は介さず，ペグボックスに直接左右から 2 本ずつ水平に刺す。見えない所では，表板の低音弦側の裏に太くて長いバスバー†がボディいっぱいに通してあり，コマは低音弦側の脚がバスバーの上にくるように接着剤なしで表板の上に立ててあって，高音弦側の脚の位置よりも少しテールピース側の表板と裏板の間に支柱（魂柱と呼ばれる）が接着剤なしで挟んである。弓はヴィオラ・ダ・ガンバとまったく逆で，オーバーハンドで上からもち，強拍はダウンボウで弾く。

（**a**） **サイズのヴァリエーション**　ヴィオラ・ダ・ガンバ属の代表がバス・サイズであったのに対して，ヴァイオリン属（発祥当初はヴィオラ・ダ・ブラッチオ属と呼ばれた）では，当初アルトサイズが代表であったが，ヴィオラ・ダ・ガンバが衰退して，ガンバ（脚）／ブラッチオ（腕）の区別を付けなくても「ヴィオラ」だけでヴィオラ・ダ・ブラッチオを指すようになり，それが現在の呼称で

† 表板の強度を補うとともに，コマの低音側の脚を固定させるという目的をもつ

のヴィオラ（ヴァイオリン属のアルトサイズ）となった。その後，ヴァイオリン属が構造的な改良を施されたころ以降は，ディスカウント・サイズの「ヴァイオリン」がヴィオラ・ダ・ブラッチオ属（ヴァイオリン属）の代表サイズとみなされるようになった。

現在，ヴァイオリン属は 3 サイズ（ヴァイオリン，ヴィオラ，チェロ）しかないが，ハッチンス（Carleen Hutchins，1911-2011）の**ヴァイオリン・オクテット・プロジェクト** †1（1956-1990?）[55),56)] ではピッコロからコントラバスまで 8 サイズ †2が作られた。

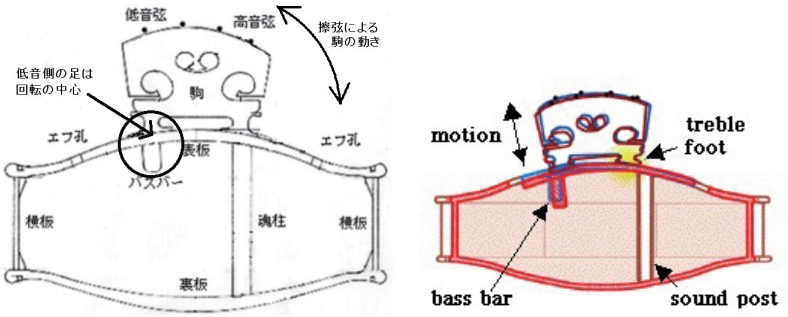
テノールサイズの楽器については，「楽器雑談」の中の G.2.3 項 (11)「ヴィオラとチェロの間の楽器は忘れ去られた」で詳述する。ヴァイオリンの発祥前後から後述のモダンヴァイオリンと呼ばれる型に発展するまでの擦弦楽器の歴史についてはカリフォルニア大学バークレー校の教授でアメリカ音楽学会の会長を 2 回務めた故 David Boyden の著書[45)] が詳しい。また，ヴァイオリン製作の名工については多数の文献[29),52),57),58)] がある。歴史的な教則本としては Leopold Mozart（Amadeus の父親）が読者としてヴィオラ・ダ・ガンバの奏者を想定して絵入りで書いたもの[59)] が特筆される。19 世紀末期以後，ストラディヴァリウス型やグアルネリウス型のヴァイオリン製作の型紙として用いられているものが E. Heron-Allen の著書の復刻版[60)] に綴じ込まれている。

（**b**） **ヴァイオリン属の構造**　　ヴァイオリン属の構造を以下に記す。

(b.1)　駒（ブリッジ）　　ヴァイオリン属は中央に隆起（「アーチ」と呼ばれる）をもった表板の低音弦側の裏側に太い**バスバー**が通っており，その上の表板の上にコマの片足が乗せられていて，コマはその低音弦側の足を固定点

†1　ヴァイオリン属の音を極力保存し，音域（サイズ）の異なる楽器を同じ縮尺で作れるかを確認する実験的な研究。

†2　通常の 4 サイズ（ディスカント＝ヴァイオリン，アルト＝現在の呼称でのヴィオラ，テノール＝現在は失われてしまったヴィオラ・ダ・スパラ，バス＝ヴィオロン・チェロ）の，ディスカント＝メゾソプラノの上にソプラノ，その上にピッコロがあり，バスの下にグランドバス，その下がコントラバスがあった。原則的に 1 サイズの違いは最低音弦の開放弦の音高の音程で 4 度と 5 度を交互にして，2 サイズ違いで 1 オクターヴ違いとする。したがって 8 サイズの差は，3 オクターヴ半である。



現在の解釈　　昔の解釈

図 E.45　奏者側から見たヴァイオリンの駒の動き。左：低音側の足をバスバーの上に固定して，弦の稜線方向の振動を高音側の足の上下運動に変換している。右：19 世紀以来，サヴァールによる「駒は高音側が魂柱で固定されていて低音側が表板を振動させるように働く」という上図の説明があったが，それは 1970 年代にシェレングらによって左のように修正された。

（中心）として，コマ面内で**回転運動**をするようになっている。つまり，駒のもう一方（高音弦側）の足は**図 E.45** 左に示すように，低音弦側の足を中心としてコマ面内で回転運動をする。擦弦で表板を振動させるための工夫として，ラバーブでは細いネックの部分で，サーランギなどの場合は胴の横を深く掘り込んで，表板に垂直に近い方向に弓を動かせるようになっている（図 2.29 参照）が，ヴァイオリン属では表板に垂直な方向の運弓はできないので，コマの山型に沿った方向に擦弦してもコマの足が表板を効率よく励振する機構が必要であった。それを実現するのが表板の裏の低音側につけたバスバーの上にコマの片足を載せて，その足を固定してコマをその面内で回転運動させるという方法である。（19 世紀にはサヴァールの論文[30] によって間違って解釈されていたが，シェレング[31] によって修正された。）ヴィオラ・ダ・ガンバ属はそうなっていなかったので，表板の励振効率が低い。

(b.2)　魂柱　　**魂柱**は表板と裏板の間に接着剤なしで挿入される直径 5〜6 mm，長さ 5 cm ほどの木製の小さな支柱であるが，その名称（イタリア語でアニマ【ànima】，フランス語ではアム【âme】：魂，心）が表すように，ヴァイオリン属にとって非常に重要な部品で，その機能はコマの高音側の足の振動に

よる表板の振動を裏板に伝えることである。少し位相を遅らせて表板の振動を裏板に伝えるように，魂柱はコマの高音弦側の足からほんの少し離れた位置の表板と裏板の間に挿入される。英語ではサウンドポストである。その位置はコマの足からテールピース側へ数 mm ズレたところなので，魂柱が立てられている裏板部分へ伝えられる振動は表板のコマの足付近の振動からは少し位相が遅れた振動になるはずで，しかも魂柱は表裏の板の間に嵌め込まれているだけで接着剤が使われていないので，魂柱を通して伝えられるのは裏板を内側から外へ押し出す方向の力だけで，魂柱を通して引き戻す方向の力はかからず，裏板を内側へ引き戻す方向に働くのは裏板の弾力（復元力）だけである。魂柱の機能についてはヴァイオリンを回路として見たシステム論的な解析[61] とコマの機能の修正解釈と共にシェレングによる詳しい研究[31] がある。

(b.3)　f 孔　表板と裏板が振動するので，ボディ内部の容積が増減するが，圧縮・膨張で吸収できなかった空気は**響孔**（サウンドホール）を通して出入りする。ヴァイオリンの響孔は表面を正面から見て左側のものの形がローマ字の f の形をしているので**f 孔**（エフこう）と呼ばれる。響孔はその名称ゆえに，主としてそこから音が放射されるように誤解されやすいが，響孔を通しての音の放射は，f 孔を開口としたボディによるヘルムホルツ共鳴周波数付近の帯域以外，表板からの音の放射に比べて小さい。

響孔はヘルムホルツ共鳴器における開口とみなされるが，その場合に音響的に影響するのは開口面積の総和であり，形状はそれほど重要ではない。形状が影響するのは，空気の出入りに際しての空気の粘性による出入りのしやすさと，開口形状の違いによる表板の振動モードへの影響である。前者は媒質が気体の場合はほとんど影響ないが，後者についてはボディ（特にセンターバウト）の共振特性に影響する。

(b.4)　表板　表板は空気振動を生じさせる重要な部分で，その振動様態はヴァイオリンの音に直接影響を及ぼす。ヴァイオリンの両面の板には**隆起**（アーチ）があるが，一般には表板の隆起を縁近くから早く立ち上げる方が音はきれいになるが音量は小さくなるとされる。「音量は小さいが音のいいヴァイ

オリン」として 1780 年ころまで最も価格が高かったのがこの型のヤーコップ・シュタイナー（Jacob Stainer, 1617-1683）のものであった[58)]。これは，隆起を高くするほど共振点が多数生じて広い周波数範囲に分散するので広い音域にわたって同質の音色を得られるが，板は曲面になると大きく振動しにくくなるので，音量を大きくしにくかったのである。

表板の材料スプルース（マツ科トウヒ属の針葉樹）や裏板の材料カエデ（カエデ属の落葉樹）は天然の材料であるので個々のヴァイオリンに使われるそれぞれの木の個体や部位によって特性が微妙に異なり，最良の音を得るには使用する個々の材料を見て板にする際に厚さ分布を調整することが望ましい。ストラディヴァーリ（Antonio Stradivari, 1644?-1737）やグアルネリ・デル・ジェスー†（Baltolomeo Giuseppe Guarneri, 1698-1744）らの名工は，材料の木材を見て天才的なひらめきで板厚分布を決めていたようである。板厚の決定が試行錯誤の結果なのか板を見ただけの判断だったのかは不明であるが，ストラディヴァーリのヴァイオリンの表板には，板厚が薄くなった「ストラディヴァーリ・ホール」と呼ばれる薄い部分が数か所あり，その位置が個々の楽器によって微妙に異なっている[60)]。

(b.5) ボディの形状と大きさ ヴァイオリン属には標準的なサイズとして，現在ではメゾソプラノ楽器としてのヴァイオリン，アルト楽器としてのヴィオラ，バリトン（ないしはバス）楽器としてのチェロがあるだけであるが，歴史的にはヴィオラとチェロの間にテノール楽器としての**ヴィオラ・ダ・スパラ**（肩のヴィオラ）があり，さらにヴァイオリンよりも 5 度高いソプラノの**ヴィオリーノ・ピッコロ**があった。Carleen Hutchins の**ヴァイオリン・オクテット・プロジェクト**（1956-1990 ころ?, 各部のサイズ比をできるだけ保って，音の同質性を確保しながら 8 サイズ設計する）ではソプラノの 4 度上のトレブル（最低音弦は G4），チェロの 4 度下にスモールバス，その 5 度下にラージバスが作

† 通称 Guarneri del Gesù。楽器の内側に貼るラベルに十字架を描いたので「イエスの・・・」と呼ばれる。Nicolo Amati の工房で Stradivari よりも先輩格の徒弟であった Andrea Guarneri の孫。

られた。サイズと音域は，2 サイズ小さくなると音域が 1 オクターヴ上がるという関係になっている。

現在，ヴァイオリンとしてはストラディヴァーリの「ベッツ」（1704 年）などを模倣したサイズ・形が使われることが多い[60] が，ほとんどが手作りであることから，サイズや形にばらつきがある。ストラディヴァーリ自身もベッツのサイズ・形（長さ，上バウト幅，下バウト幅，横板高さ，隆起）に落ち着くまでに種々のサイズや形を試しており，かなりのばらつきがある。

ヴァイオリンのボディはある程度定まった形状と容積をもっているので，それに対応したいくつかの共振特性をもつ。また，表板や裏板などのパーツもそれぞれの大きさや厚さ分布に応じた固有振動モードをもち，楽器全体としてはそれらを組み合わせた複合体としての音響特性をもつことになるので，それぞれの楽器は各個体によってばらつきがある。

(b.6)　演奏用の補助部品　ヴァイオリンの演奏には，現在ではアゴ当て，肩当てなどを使用することが多いが，少なくともパガニーニ（1782-1840）の時代まではアゴ当ても肩当ても存在しなかった。アゴ当てはルイ・シュポーア (1784-1859) の発明，肩当てはオーレ・ブル (1810-80) の発明で，パガニーニの弟子シヴォーリ（1815-95）は師匠にならってアゴ当ても肩当ても使っていない。1 世代後のヨアヒム（1831-1907）やサラサーテ（1844-1908）はアゴ当てを使っているが肩当ては使っていない。肩当てはハイフェッツ（1901-87）も使っていない。

「肩当てなど使わなくても楽器をちゃんと保持できる」というのがプロの自負になっていた可能性があり，現在でも「肩当ては使わないほうが裏板の振動を肩で感じることができていい」という奏者もいる。ところが，肩当てを使わないと裏板の振動を肩で抑えることになり，アゴ当てを使わないと表板の振動をアゴで抑えることになるので，これらは音響的には使用したほうが音量のロスが少ないことは明らかである。最近のジュリアード† 出身者はすべてアゴ当

† ニューヨークにある音楽学校。特にヴァイオリン部門が第 2 次大戦後，Ivan Galamian, Dorothy Delay, Itzhak Perlman らによって優秀な奏者を多数輩出したことで有名。

て・肩当てを使用している。ただし，他系統には Anne-Sophie Mutter のように肩当てを使用しない奏者もおり，ワディム・レーピンのように，ずっと肩当てを使っていたけれども，使わなくなった奏者もいる。女性奏者の多くは素肌の肩でヴァイオリンの裏板を支えるが，男性奏者は間に服があって滑りやすくなるので，いくらかは左手で支えることになる。滑り止めにセーム皮を用いる奏者もいる。

(b.7)　弓　　弓の毛の張りの調節機構は意外に早く，一般化していたかどうかはわからないが，1694 年にすでにネジによる可動フロッグがあった[45)]。少なくとも，弓の木部に波状の歯を付けておき，毛を束ねてスライド式のフロッグの鍵爪を引っ掛けて毛の張りを調整する機構は旧型の弓でも備わっていたが，弓の先は細くて木部と毛の間隔が狭く，手元で木と毛の間隔が広くなっていて，弓全体の重さのバランスが悪かった。フランソア・トゥールト（François Tourte, 1747-1835）が名手ジョヴァンニ・バッティスタ・ヴィオッティ（Giovanni Battista Viotti, 1755-1824）の助言を得て 1780 年頃に改良するまでの旧型の弓（**図 E.46** 最上段）は，弓の断面重心が毛から遠く，木部が不安定で，かつ長さ方向の重心も手元に近くて重量バランスが悪かった。トゥールトは弓の反りを反対にして断面重心を毛に寄せ，長さを伸ばし，先端を重くして重心を手元から遠ざけることによって，バランスを改善した。この型の弓はモダンボウと呼ばれる。旧型の弓を使っていたタルティーニ（Giuseppe Tartini, 1692-1770）はダブルストップによるトリルくらいまでしかできなかったが，この改良によって，パガニーニ（Niccolò Paganini, 1782-1840）の時代には弓の張りによる弦からの反発と重心移動のバランスを利用するスピッカート（独：



図 E.46　ヴァイオリンの弓の変遷　上：バロックボウ，中：トゥールトの弓，下：現代の弓

シュプルングボーゲン）ができるようになり，演奏技術が飛躍的に発展したとされる。現代の弓（図 E.46 最下段）はトゥールトのものよりもさらにバランスが良くなっている。

(b.8)　弱音器　駒を上から挟んで駒の重さを増やして駒を動きにくくする道具として**弱音器（ミュート，【伊】ソルディーノ）**がある。駒に渡してある弦を避けて弦の間から駒を両面から挟んで装着するようになっている。金属製のものや合成樹脂製のものなどがあるが，重量の大きいもののほうが効果は大きい。知覚的には籠ったような音になり，音量も下がる。**図 E.47** に金属製のミュートを 2 種示す。



図 E.47　ヴァイオリン用の金属製ミュート 2 例

図 E.48 に E 線と A 線の開放弦についての弱音器装着の効果を示す。弱音器をつけると高域が落ちるだろうと予測されたが，高域は思ったほど落ちず，むしろ第 4〜8 高調波が抑えられているようである。

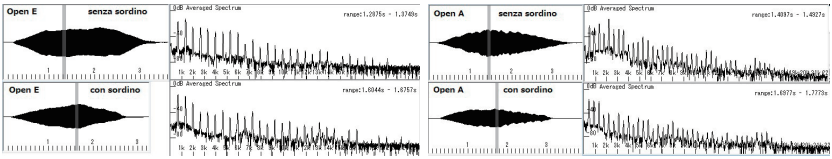


図 E.48　弱音器の効果 2 例　左：E 線開放弦，右：A 線開放弦，上：弱音器なし，下：弱音器装着

(b.9)　ヴァイオリンの構造的な改良　1780 年ころに弓が改良された後，大きなホールで多数の聴衆の前で演奏する機会が増え，ピアノと同様に，一般大衆を対象にした大きな音と華麗な（派手な？）演奏が求められた。バロック期のヴァイオリンは，**図 E.49** の上図に示すように，側面から見ると，指板とネックの接着境界線が表板の延長線上であったが，古典期以降は大きな音を出

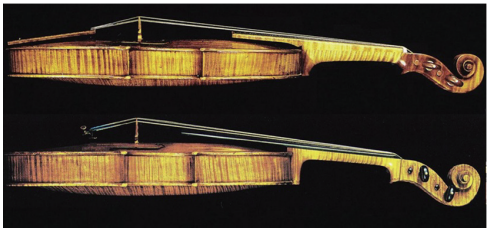


図 E.49　バロック期のヴァイオリンと改造後のヴァイオリン（どちらもストラディヴァリウス）。上：「メトロポリタン（メトロポリターノ）」1699 年（改造後，旧型に復元），下：「トゥスカン（トスカーノ）」1690 年（改造後）。バロック型に復元されたものでは，ネックの木と指板受けの木の境界線が，表板の水平線の延長上にあるのに対して，改造されたものではネックに角度がつき，指板が高ポジション側に伸び，ネックが細くなって付け根のコーナーが深くなっていることがわかる。（横山進一「ストラディヴァリウス」[62] より）

せるように，弦を強く張る必要から，強い張力にネックの付け根が耐えられるように，同図下のように少し角度をつけてネックの付け根にかかる力の方向が耐性のある方向になるように改良された。また，弦を強く弾いたときに弦の振幅が増大して指板に触れるのを防ぐために駒を高くし，音域を拡大するために指板を延ばすとともに，高いポジションまで押弦指を伸ばせるようにネックを細くして左手の親指を付け根のコーナーへ深くもっていけるようになった。

19 世紀に入るころから，新しく作られるヴァイオリンは新しい規格で作成されるものはもちろん，バロック期に作られたヴァイオリンもほとんどが改造された。中にはいったん新しい型に改造された後に，展示や記録のために再び元の形に戻されたものもある。十分な技術をもった職人によって改造が行われた場合はいいが，改造によって台無しになった名器も多数あると言われている。図 E.49 に新旧の比較を示す。上はいったん新規格に改造されたのちに元に戻されたストラディヴァーリの「メトロポリタン（メトロポリターノ）」，下は新規格に改造された「トゥスカン（トスカーノ）」である。

（c）ヴァイオリン属以外の擦弦楽器　ヴァイオリン属以外の擦弦楽器について以下に記す。

(c.1)　ヴィオラ・ダ・ガンバ

1. 概説

ヴァイオリンが 16 世紀半ばの少し前に出現する以前から，ヨーロッパの貴族に好まれていた擦弦楽器はヴィオラ・ダ・ガンバであった。

「ヴィオラ・ダ・ガンバ」は脚のヴィオラの意味で，ここでの「ヴィオラ」は「擦弦楽器」の意味であって，現在のヴィオラ（ヴァイオリンよりも一回り大きいヴァイオリン属の楽器）ではない。ヴィオラ・ダ・ガンバにはいろいろなサイズのものがあり，外見は一見ヴァイオリンやチェロと似ているが，標準的には 6 弦 4 度調弦で，裏板が水平な直線境界で少し折れた平板で，ネックの付け根のボディ上部がなで肩になっていて，向かって右側の響孔がローマ字の「C」の形である。外から見えない所では，ヴァイオリン属がもっているバスバーと魂柱（サウンドポスト）をもたない。チェロと同じくらいのサイズのバス楽器は両脚で挟んで弾き，ヴァイオリンくらいのサイズのものは左手でネックをもって左ひざの上に立てて弾く。弓は指を下から回してもち，運弓はヴァイオリンやチェロと反対で，強拍（1 拍目）をアップボウ（押し）で弾く。

ヴァイオリンの出現後 1 世紀以上の間，「ヴィオラ・ダ・ガンバは高貴な人が弾く楽器，ヴァイオリンはそれで生計を立てる低階層の人間が弾く楽器」という構図が固定化していた。それにはいくつかの理由があったが，18 世紀半ばには，高音域の音色の華やかさや重音の清澄さなどによって，ヴィオラ・ダ・ガンバはヴァイオリンにほぼ駆逐され，ヴィオラ・ダ・ガンバはその最後の名手アーベル（Carl Friedrich Abel）の死（1787 年）によって衰退してしまったとされる[45)]。

ヴィオラ・ダ・ガンバには種々のサイズのものがあり，代表的な 4 サイズはバス，テノール，アルト，ディスカントで，バスの下にグランドバスとコントラバスがあった。ディスカントはソプラノないしはメゾソプラノで，それよりも高音域サイズの楽器が同時にあれば，それがソプラノになり，ディスカントはメゾソプラノになるが，通常の 4 サイズで

4 声部を割り振る場合はディスカントがソプラノを担当する。調弦はすべて隣接弦間の音程が下から 4-4-3-4-4 度である。

フランスではディスカントはデュッシュ（dessus は英語の above に相当）と呼ばれ，その上にほぼフランスだけで使われたパルデュッシュがあった。貴族の間で人気があったのはバス・サイズで，上記のアーベルは高度な演奏用のバスサイズのヴィオラ・ダ・ガンバである 7 弦のヴィオラ・バスタルダ（曲によって調弦を変えて使うので「bastarda（多様な，異種の）」の形容詞がつく）を使っていたとされる[45)]。

図 E.50 にヴィオラ・ダ・ガンバの糸巻き箱と頭部の典型的な彫刻，ガットで巻いたフレットのネック裏での留め方および響孔（形状から C 孔と呼ばれる）と駒を示す。



図 E.50　ヴィオラ・ダ・ガンバの細部。左：ペグボックスとヘッド，中央：ネックの裏から見たフレットの留め方，右：響孔（C 孔と呼ばれる）と駒

2. 構造と音

ヴィオラ・ダ・ガンバは後にヴァイオリンを真似てバスバーや魂柱を備えるようになったが，本来の構造の（ヴァイオリン化される前の）ヴィオラ・ダ・ガンバ属はバスバーや魂柱がないので，その表板・裏板の振動はヴァイオリン属のものとはかなり様子が異なる。まず，コマは表板の上に 2 本の足で立っているだけなので，コマの動きは上にかけられている弦のヘルムホルツ運動によるキンク（弦の曲がり）がコマの上に来るたびに（1 周期に 1 回の頻度で）コマの上部がキンクの軌跡の外側へ引っ張られるように力を受けるはずで，その結果，コマの足は表板を振動さ

せることにはなるが，コマの振動方向は表板の振動方向とはかなり角度が異なるので，発音の効率はヴァイオリン属に比べるとよくない。音色については，ブリッジアドミタンスの周波数特性の比較（**図 E.51**）から，ヴァイオリンと比べると高域の出力が落ちるはずである。音をヴァイオリンと比べると，高域の明るさが劣り，雑音成分（カサカサした感じの音）が多い。

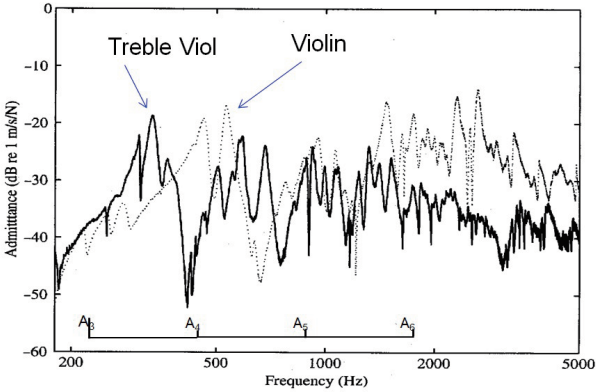


図 E.51　トレブル・ヴィオルとヴァイオリンのブリッジアドミタンスの周波数特性の比較　from “The Science of String Instruments”[63] Ch.17 Murray & Patsi Campbell, “Viols and Other Historic Bowed String Instruments”

音色については少し聴いていると慣れてしまうので，感覚的には音色の違いよりも奏法の違い（強拍を「押し」で弾く）によるアタックの差やヴィブラートの少なさ（ヴァイオリンやチェロならヴィブラートをかけると思われるところでもほとんどかけずに弓を弦から離す弾き方）のほうが耳につく。多重音の濁り（ハモリの悪さ）は，多重音の周波数比の整数からのズレが大きいことがあり，技術が足りない奏者によるヴァイオリンの 2 重音と似通った印象を受ける。

3. 弓の持ち方と運弓法

ヴァイオリン属の弓の持ち方はオーバーハンド（上から持つ）で，強拍はダウンボウで弾くのに対して，ヴィオラ・ダ・ガンバ属の弓はアンダーハンド（下から持つ）で，強拍はアップボウで弾いた。ヴァイオリン属は，ヴィオラ・ダ・ガンバ属が広く使われている状況で同じ擦弦楽器として出現したので，楽器の保持方法や弓の持ち方や使用法に混乱があったようで，最初のヴァイオリンの出現から 2 世紀以上，ストラディヴァーリの死後ほぼ 20 年近く経っても，まだレオポルト・モーツァルト（アマデウス・モーツァルトの父）が書いたヴァイオリン教則本[59]（1756 年）にはヴァイオリンの構え方や弓の持ち方使い方に関する注意が図入りで細かく書かれている。

ヴィオラ・ダ・ガンバ属では弓の毛を親指と人差し指の間に挟んで，中指で張りを調節しながら弾いた。強拍を「押し」（アップボウ）で弾いたので，アタックをあまり強くできず，左手での押弦はギターと違って押弦指が弦振動を弱めることがない範囲でできるだけフレットの近くを押さえた。ヴィブラートはできなくはないが，フレットがあることによって振動弦長は固定されるので，張力の強弱を揺らすしかなく，揺れ幅を大きくとり難いので，音価の長い音はノンヴィブラートで単調になりやすい。弦が 6 本なので，擦弦の際の弦間角度が 4 弦のヴァイオリン属よりもかなり浅く，毛を少し緩めることによって，多弦の同時擦弦が可能になる。ただ，フレットがあることによって，複数弦を押弦している時の音高の微調整が難しく，協和性の高い和音を奏者が左手の指で調整することがほとんどできない。

4. 発祥

ヴィオラ・ダ・ガンバはイタリアで生まれた楽器であるが，それはヴァイオリンよりも少し先（15 世紀末ころ）にスペインで人気のあったビウエラの弓奏型の楽器（「ビウエラ・デ・アルコ」：弓のビウエラ † から発

† 「ビウエラ」はイタリア語の「ヴィオーラ」に対応するスペイン語で，通常は「擦弦楽

展したもので，指弾きのビウエラ（「ビウエラ・デ・マノ」：手のビウエラ）がギターに発展したことと考え合わせると，どちらも 6 弦 4 度調弦フレット付きで，共通の特徴が多く，ヴィオラ・ダ・ガンバとギターは兄弟楽器であるといえる。

最初期のヴァイオリン製作者として名を残しているガスパーロ・ダ・サロ（Gasparo da Salò，本名は Gasparo di Bertolotti）作のギターのような胴形状のヴィオラ・ダ・ガンバ（**図 E.52** 左）が残っている。ヴィオラ・ダ・ガンバとギターはどちらもビウエラから派生した楽器なので，ギターに似た胴形状のヴィオラ・ダ・ガンバがあるのは十分納得できる。



図 E.52　ギター型の胴をもった擦弦楽器。左：Gasparo da Salò 作 (ca1570) のギター型の胴をもったヴィオラ・ダ・ガンバ (Orpheon Found.)，中央：Georg Stauffer 作の最初期のアルペジオーネ（1824 年, Univ. Leipzig），右：フレット位置調整機能付きアルペジオーネとその指板の近撮

5.　ヴァイオリンとヴィオラ・ダ・ガンバの比較

弦の振動に対する音の出やすさをブリッジアドミタンス（ブリッジへの入力の音への変換されやすさのような概念）によって，ヴィオラ・ダ・ガンバ属とヴァイオリン属の同じ音域の楽器間で比較した研究があるので紹介しておく。試供楽器は新たに製作されたヴァイオリン（開放弦は

器」を指すが，ここでは広義の命名で，ネックをもつ弦楽器全般を意味している。ただし，「ビウエラ」という表現が単独で用いられた場合は撥弦の「ビウエラ・デ・マノ」を指すことが多い。

G3,D4,A4,E5)と，それと同じ音域のトレブル・ヴィオル（ヴィオラ・ダ・ガンバのディスカントサイズ）の復元楽器（開放弦はD3,G3,C4,E4,A4,D5）である。トレブル・ヴィオルのほうが最低音弦が4度低いが，ヴィオラ・ダ・ガンバは通常最低音弦を使わないという当時の慣習を考慮すると，これらは同じ音域の楽器ということになる。

図E.51は，トレブル・ヴィオルとヴァイオリンのブリッジアドミタンスを単位入力あたりの値のdB表示の周波数特性で比較している。

図から，ヴァイオリンは「音が大きく出やすい周波数」がトレブル・ヴィオルよりもほぼ1オクターヴほど高いこと，および1.5kHz以上の周波数領域の成分が大きく出やすいことがわかる。図E.51から，ヴァイオリンは同じ音域のヴィオラ・ダ・ガンバよりも高音を出しやすく明るい音がするであろうと予測できる。

(c.2) アルペジオーネ（付録G.2.2項(7)「アルペジオーネ：ヴィオラ・ダ・ガンバの亡霊？」参照） ヴァイオリンの出現後300年近く経った1824年に，Georg Stauffer がギターを弓で弾くようにしたような6弦4度調弦で，フレット付きの擦弦楽器[64]を（アルペジオが弾きやすいという意味で？）**アルペジオーネ**という名称で作った。この楽器（図E.52中央と右）はフレットがついていたので初心者にはとっつきやすかったが，フレットが邪魔をしてきれいな（基本周波数が簡単な整数比の）重音を弾くことができなかった。

この欠点のため，有名な曲としてはシューベルトの「アルペジオーネ・ソナタ」（1824年）1曲だけで，この曲の楽譜が出版された1871年には，この楽器はすでに廃れてしまっていた。この曲は，現在ではチェロで弾かれる。後に各音のフレットの位置を音高ごとに微調整できるものも開発されたが，位置調節の煩雑さにもかかわらず，すべての重音をきれいに響かせるということは原理的にできなかった。

(c.3) 異形擦弦楽器

1. **シャノーのヴァイオリンなど**

ミルクールで生まれ，父親の工房で修行してパリで自分自身の工房を

もったシャノー（François Chanot, 1788-1825）が作ったヴァイオリン（のような楽器）はその風変わりな形（胴がギター的でスクロールが後ろ巻き，テールピースなし，響孔はセンターバウトの外輪郭に沿うような細長い変形の C 字形）によって特に有名なので，**図 E.53** に示しておく。ただし，シャノーは標準的なヴァイオリンに近い楽器も作った。



図 E.53　シャノーのヴァイオリン：後ろ巻きのスクロールとギター型の外輪郭，ならびにテールピース代わりの弦留めと細長い響孔，テールピースがなく弦はギターのように表板上で留めるのが外見上の目立った特徴（The Cutler Gallery の HP より）

図 E.53 に示したシャノーのヴァイオリンもヴァイオリンの変種の 1 つであるが，もっと変わったヴァイオリンも作られた。ヴァイオリンの定義をどうするのかによってどこまでがヴァイオリンなのかが変わってくるが，3 弦のヴィオラ・ダ・ブラッチオを「発祥期のヴァイオリン」としてヴァイオリンに含めるなら，4 弦という条件は削って，「バスバーと魂柱をもった 5 度調弦のフレットをもたない擦弦楽器」ということになる。3 弦のヴァイオリンは絵にあるだけで，現物は残っていない。胴がギター型であろうが，ヘッドのスクロールが後ろ向きであろうが，響孔が “f” でなかろうが，テールピースがなかろうが，そんなことは関係ない。シャノーのヴァイオリンの多くはバスバーを表板の裏の中央にもち，魂柱はコマの高音側の脚の裏よりも少しネック側に置かれていた[65)]。

19 世紀初頭に試みられた異形の擦弦楽器のいくつかを**図 E.54** に示す。上述のシャノーのもの (a) 以外に，(b) シュタウファー（Stauffer），(c) ハウエル（Howell）などがあるが，どれも成功しなかった。裏板のない練習用のもの (d) が 18 世紀からあったが，それは魂柱をもたないので上の定義からは厳密に言うならヴァイオリンではない。



(a)　(b)　(c)　(d)　(e)　(f)

図 E.54　異形擦弦楽器。
(a)Chanot，(b)Stauffer，(c)Howell，(d) 練習用ヴァイオリン（裏板なし），
(e) ヴァイオリンに近い 2 コーナーの楽器（Gasparo da Salò, 1561 年）【Ashmolean Museum, Oxford 大, Lira da Braccio となっているが，ヘッドの形とボディ形状と弦の数から判断すると，Lira Viola と Viola da Braccio の間】(図 G.13 最左)
(f) カントン（5 弦のパルデュッシュ・ド・ヴィオルとヴァイオリンの中間楽器）

2.　過渡的な楽器と後の異形楽器

図 E.54(e) は Oxford 大学の Ashmolean 博物館のヒル・コレクションに含まれる Gasparo da Salò1561 年作のリラ・ヴィオーラで，Boyden はカタログでヘッドとネックと指板およびテールピースは古い形に修復されているがオリジナルでないとしている。弦の数から見るとリラ・ヴィオーラからドローン弦を除いたもので，ヴィオラ・ダ・ブラッチオ（ヴァイオリン）への過渡的な楽器であるが，まだ尻割れ形（リラの特徴）で，すでに響孔は f（ヴァイオリン型）に，また，表板と裏板の周辺に 2 重のパーフリング（細く彫った溝に木を詰める細工）が入っており，さらに弦の数は 4 本になってはいるが，コーナーが 2 つしかないのでセンター・バウトはない。表板の裏には格子状のブレイス（バスバーではない）が

入っており，2 枚突き合わせの裏板の内側には肋骨状にブレイスが入っているとあるが，魂柱に関する記述はない[54)]。多分，魂柱を立てた痕跡がないのであろう。

3. カントン

図 E.54(f) は 18 世紀の半ばにフランスにあったカント（quinton）という 5 弦の擦弦楽器で，これは外見はヴァイオリンに近いが，構造的にはヴィオラ・ダ・ガンバ系の楽器である。外形はヴァイオリンに近く，表板・裏板は少しオーバーハングになってるが，パーフリングは線を描いただけで，ボディーの厚さが浅く，コーナーが鋭角で，響孔の形は “*f*” のものもあるが，フレットを巻くようになっていること，ネックへの接続部が「なで肩」であり，ヘッドに彫刻があることなどに，ヴィオラ・ダ・ガンバの面影を残したものもある。カントン固有の調弦は，下から G2,D3,A3,D4,G4（弦間音程で表すなら，5-5-4-4）で，5 度調弦と 4 度調弦の混用である。本来の奏法は，パルドゥッシュ・ド・ヴィオールと同様に，左手でネックをもって膝の上に立て，弓はアンダーハンドで強拍を「押し」で弾く。

18 世紀の半ばには，イタリアではヴァイオリンが浸透してきていたが，フランスではまだ擦弦楽器としてはヴィオラ・ダ・ガンバが中心的な楽器で，イタリアの状況を見て，ヴィオラ・ダ・ガンバのヴァイオリン化が始まったと見ることができる。当時，ヴィオラ・ダ・ガンバは実際には 6 弦であったが，最低音弦を使わないことが多かったので，実用的には 5 弦で間に合った。フレットを外して D4 弦を E4 にして（A4 弦を B4 にはしないで無視して）弾いてみるのに使うことが可能で，ヴィオラ・ダ・ガンバの指遣いで弾きたいのならフレットを巻いて D3 弦を E3 に，G2 弦を B♭2（H2）にしておけばよい。ヴィオラ・ダ・ガンバを弾き慣れた人がヴァイオリンの 5 度調弦を試してみる場合にも，音の違いを気にしないなら互換楽器として使うことができたはずである。カントンは後に，ヴァイオリン化が進んで音域が上がり，フランス革命（1789-1795 年）の

頃にそのドサクサで消滅したと思われる。1794 年にはリュポ (Nicolas Lupot,1758-1824) がパリでヴァイオリンを作り始め，このころ以降はフランスもヴィオラ・ダ・ガンバから脱却した。

4. **携帯型擦弦楽器**

ポケットに入れたり，ステッキ代わりにもち歩けるようなものが 18 世紀末から 19 世紀初頭にかけて流行した。フランスではポシェット，イギリスではキット，ドイツではタンツマイスターガイゲ（ダンス教師のヴァイオリン）などと呼ばれた。いずれも音質・音量は度外視して無理矢理その形・大きさにしたと考えられる。**図 E.55** にいくつかを示す。



(a) (b) (c) (d) (e)

図 E.55 携帯用ヴァイオリン。左から，(a)Stradivari 1717 年作の “Clapisson” pochette のコピー，(b)Tanzmeistergeige（ダンス用, ドイツ, 17 世紀), (c)Kit（アイルランド, 18 世紀）,(d)Pochette（フランス, 19 世紀）, (e)Steck-geige（ドイツ, 19 世紀，Moritz W. Gläsel 作，Boston 美術館蔵）とそのコマ ~ テールピース周辺の拡大

5. **ストローヴァイオリン（コルネットヴァイオリン）**

マイクロフォンがなかった時代には，ヴァイオリンからの音響放射の指向性を絞って集音器に音を効率よく吹き込むために，表板を振動させる代わりにコマの振動をダイアフラム経由でホーンから音を放射させる擦弦楽器が 1899 年に John Matthias Augustus Stroh（1828-1914）によって開発された。これは開発者の名前をとって Stroh violin ないしは，つけたホーンがコルネットのものに似ているので俗称としてはコルネッ

トヴァイオリンと呼ばれる。コマは面内の回転運動ができるようになっていて，高音弦側の脚下からダイアフラムに湾曲したロッドがつながっているのが見える。小さいホーンは奏者へのフィードバック用。**図 E.56** はマイクを使わずに音を集音器にぶち込むために放射器を集音器に向けて弾いている様子を示す。

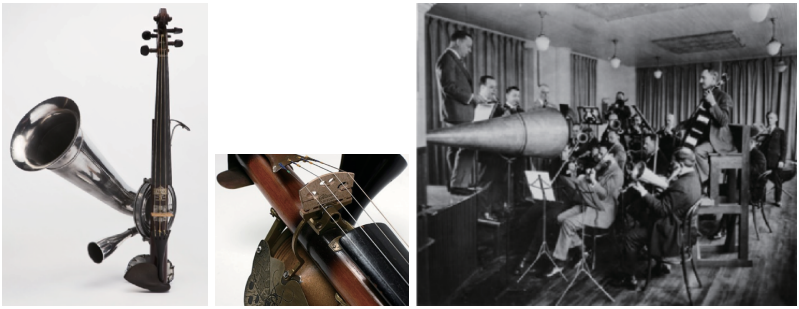


図 E.56　左：ストローヴァイオリン（Edinburgh 大学），中央：コマ付近の拡大（“Streampunk” Stroh violin repair），右：集音器への吹込みの様子（写真の下中央少し右にホーンを集音器に向けたストローヴァイオリンが見える），【⬇：付録関係/4. 諸資料 (a)Vn 関係 a-8 Vn. Corneta.wav】

Web にコルネットヴァイオリン（ストローヴァイオリン）の音を上げておく。旧録音（マイクロフォンを使わない録音）なので音は悪いが，ビオリン・コルネータの演奏はフリオ・デ・カロ (Julio de Caro) で曲は自作の「愛しき故郷（Tierra Querida，ティエラ・ケリーダ）」，伴奏のピッツィカートはエルビーノ・バルダーロ (Elvino Vardaro) で楽器はストラディヴァリウスである。

6. 擦弦の民族楽器

このほかに民族楽器としての擦弦楽器には，英国ウェールズに「クルース」refFig: リラ系の楽器中央），フィンランドにクルースを細くしたような「ヨーヒッコ」（図 G.3 左から 2 つ目），ノルウェーに共鳴弦をもったヴァイオリンのような「ハルダンゲル・フェーレ（ハーディンガー・フィドル，図 E.57 左端）」，インドに「サーランギ」（図 2.29 中央の 2

つ），バングラデシュの「サリンダ」（図 2.29 右から 2 つ目），アラブ圏の「ラバーブ」（図 2.29 左から 2 つ），中近東の「ケマンチェ」（図 2.29 最左），アジアには中国の二胡，三胡，四胡，板胡，京胡等，韓国の「ヘグム」（奚琴），モンゴルの「馬頭琴」，タイの「ソードゥアン」など，多様な「胡琴」類の楽器がある。和楽器としては三味線を擦弦にしたような「胡弓」がある。

図 E.57 に，ハルダンゲル・フェーレとそのコマ周辺の近撮，二胡・三胡・四胡，ヘグム，馬頭琴を示す。ハルダンゲル・フェーレは奏弦 4 本の下にコマを貫く共鳴弦 4 本をもっており，フレットはなく，ヴィオラ・ダモーレとヴァイオリンの折衷楽器と言える。ヘグムは漢字で書くと「奚琴」で，中国の二胡・板胡・京胡やモンゴルの馬頭琴・タイのソードゥアンなどの原型となる楽器の朝鮮半島における現代版と言える。奚琴属は弓の毛を棹と弦の間に通るようにしておくので，使用していない時でも弓は弦から切り離せない状態に保たれる。楽器本体と弓を分離するためには，フロッグを木部から外す必要がある。擦弦は弓の木部と毛の間を通っている弦を弓の毛で外側へ張る状態で擦って弾き，押弦は弦振動の端点とすべき位置を左手指の第 1 関節を曲げて指先で必要最小限の圧で軽く押さえる（押さえるというほど強くは押さえない）だけである。千斤（ギターやヴァイオリンなどのナット，三味線の上駒に相当する）の位置から，人差し指は長 2 度，中指は長 3 度，薬指を完全 4 度の



図 E.57 その他の擦弦楽器。左：ハルダンゲル・フェーレとそのコマの周辺，中央：二胡・三胡・四胡（中国），右：ヘグム（朝鮮半島）と馬頭琴（モンゴル）

位置に置いて押さえる準備としておく。小指は完全 5 度の位置を押さえるのに使う。ギターでいうなら，それぞれ第 2, 4, 5, 7 フレットに相当する位置である。二胡の場合は弦が 2 本あり，奏者に近いほうを内弦，奏者から遠いほうを外弦というが，内弦は D4 に，外弦は A4 に（5 度音程で）調弦される。2 本の弦は，筒に張られたニシキヘビの皮に立てられるコマの上では 2 弦は少し離れているが，千斤で 1 つの穴にまとめられているので，押弦する部分では近接しており，単音を弾く場合でも 1 本の指で 2 本を同時に押さえる。どちらの弦を弾くかは弓の角度で決める。三胡（調弦は相対調弦で 5 度と 8 度）で中央の弦を弾く場合は 3 弦とも弾くことになる。四胡は 2 本ずつ同一音高にして 5 度音程にするので，奏法は二胡とほぼ同じになる。

（**3**） **打弦楽器：ピアノ**　ピアノはイタリア語ではピアノフォルテである。ピアノ（イタリア語では「小さい」の意の形容詞）だけでも通じるが，それは広範に流布している英語からの逆借入語としての理解である。ピアノにはグランドピアノとアップライトピアノがある。どちらも音名ごとに 1〜3 本ずつ張った弦をフェルトで巻いた木製のハンマーで叩く打弦楽器で，ハンマーの操作はどちらも鍵盤で行うが，弦を水平面内に張るか鉛直面内に張るかで，楽器の形と大きさがかなり異なり，見えないところでは打弦機構が異なる。音の余韻が必要なら残し，不要になった段階で演奏上の操作によって弦振動を奏者が意識的に抑えるという制御が簡単にできるダンパー機構を備えている。

グランドピアノはイタリア語ではピアノフォルテ・ア・コーダ（しっぽのピアノ），アップライトピアノはピアノフォルテ・ヴェルティカーレ（縦型ピアノ）である。この 2 種のピアノの相違点を列挙しておく。

（**a**） **グランドピアノとアップライトピアノ**　グランドピアノとアップライトピアノの相違について以下に記す。

(a.1)　相違 1：形状　まず，グランドピアノは弦を水平に張り，ハンマーは弦を下から叩き，ダンパーは弦を上から自重で抑えるのに対して，アップライトピアノの弦は鉛直面内に張り，ハンマーはそれを水平方向に叩く。ダンパー

もハンマーと同じ水平方向に抑えることになる。いずれの場合でも，ピアノの響板は弦を張ってある面に平行に置かれるため，弦を水平面内に張るか鉛直面内に張るかによって，またグランドピアノの場合は低音用にどの程度長い弦を使うかによって，楽器全体の平面的な占有面積が大きく異なる。

グランドピアノの専有面積を抑えるために，弦の面をその大きさのまま鍵盤の後ろで鉛直に立てることによって奥行きを縮めた背の高いジラーフピアノも過去にはあった。アップライトピアノはピアノの背面を矩形にして弦を張る面の一部を 2 重にして長い弦を斜めにすることによって，弦を張る面積を抑えている。グランドピアノも平面的な占有面積を抑えるのと，フレームにかかる張力の方向の分散を図って，弦を張る方向が異なるように弦面を 2 重にしている。グランドピアノ，ジラーフピアノ，アップライトピアノの外形を**図 E.58** に示す。ジラーフピアノに追加されたペダルはドラムやベルの音を出すためのものである。



図 E.58　左から，フルコンサートグランドピアノ（ヤマハの HP から），ジラーフピアノ（フレデリック・ブッフホルツ，1820 年ころ），アップライトピアノ（スタインウェイの HP から）

(a.2)　相違 2：打弦機構　　グランドピアノとアップライトピアノは「アクション」と呼ばれる打弦機構が異なる。グランドピアノの弦は水平に張られているので，ハンマーは離弦に重力を利用するために弦を下から叩き，ダンパーは弦を抑えるのに重力を利用して上から自重で抑えるようになっているが，これ

に対して，アップライトピアノとジラーフピアノでは鉛直面内に（通常，少し斜めに）張られた弦を，この鉛直面と垂直に交わる鉛直面内を円弧状に動くハンマーでほぼ水平方向に叩き，ダンパーはそれと同じ方向に弦を横から水平方向に抑える。つまり，アップライトピアノとジラーフピアノでは打弦・接弦時のハンマーヘッドとダンパーヘッドはともに動きが水平方向なので，ハンマーを元の位置に戻すのにハンマー自体に働く重力を直接的には利用できない。したがって，これらのピアノではハンマーを元の位置に戻すのにスプリングを使用するという点がグランドピアノとのメカニズム上の大きな違いである。ジラーフピアノのアクションはブッフホルツ（Friedrich Buchholtz, 1792-1837）によるが，ブッフホルツは後には生産をグランドピアノに限定した。

グランドピアノはハンマーの戻りに重力を利用したダブルエスケープメントを採用していて，レペティションレバーというパーツの働きによって，キーが元の位置まで戻らなくても次の打鍵で打弦動作に入れるが，アップライトピアノはスプリングを使ったシングルエスケープメントで，キーがいったん元の位置まで戻らないと次の打鍵に反応できない。このため，同一キーの連続高速打鍵の許容速度がアップライトピアノはグランドピアノよりも少し劣る。

(a.3)　相違 3：左ペダル　もう 1 つの違いは，左側のペダルの機能である。グランドピアノの左ペダルは「**ウナコルダ**（1 本弦）**・ペダル**」あるいは「**シフトペダル**」と呼ばれ，これを踏むと（踏み込みの深さに応じて）鍵盤全体がハンマーを含めて少し右へシフトする。通常は 1 つのキーでハンマーは，ごく低域を除いて，弦を 3 本ないし 2 本同時に叩くようになっているところを，このペダルを踏んでおくと鍵盤全体が（したがってハンマーも）位置が定位置から少し右へずれて，弦を 1 本だけしか叩かないようになり，音の立ち上がりが柔らかくなる。

現在のピアノでは，中・高域の弦の数は 1 つのキーについて 3 本になっているが，この機構が開発されたころは 2 本だけで，その内の 1 本だけを叩くということであったので，「1 本弦」という名称になったが，3 本になってからはそのうちの 2 本を叩くようになった。音をソフトにするという本来の目的からは，

キーあたりの弦が 3 本になってもそのうちの 1 本だけを叩くようにすればよいと思われるが，低音域はキーあたりの弦が 1 本しかないので，鍵盤をシフトしてもそれをハンマーヘッドの端で少しは叩くようにしなければならないという構造上の制約から，シフト量を大きくとることができず，やむを得ず 2 本を叩くことになったと思われる。アップライトピアノのソフトペダルと同じ機能をもつペダルをもった Fazioli などのグランドピアノの 4 本目のペダル（E.2.1 項 (3) の (b.5) の 1.）は，この難点を補うためのものと考えられる。

ウナコルダ・ペダルを踏むと音が柔らかくなることの理由は，ハンマーが打つ弦の数が少なくなることによる効果もあるが，ハンマー速度が同じであれば，打弦時点でハンマーが弦に垂直に当たるとするなら，その時点でのハンマーの運動エネルギーは同一なので，それが 3 本の弦に分割されて移って 3 本の弦の振動に変わるか，1~2 本だけに集中的に移って 1~2 本だけの振動に変わるかで，励振エネルギーの合計は損失がなければ同じである。そう考えると，同一の打鍵強度に対して，通常であれば 3 本の弦を叩いて出すところを，1~2 本の弦だけを叩いて出すことによって音の大きさを下げる効果よりも，ハンマーの位置が横にずれることによって，ハンマーのフェルトの使用履歴の少ない柔らかい部分が弦に当たるようになることのほうが影響が大きいとも考えられる。

固有周波数がほとんど同一の弦は，その周波数の振動をそれ自体の振動として取り込む作用をもつので，固有周波数がほとんど同一の弦が複数あれば，その内の 1 本が振動すると，その振動エネルギーの一部は固有周波数がほとんど同一の別の弦へ徐々に移って，その弦も振動を始める。

固有周波数がほんの少しだけ異なる複数の弦が同時に振動するようになると，それらの周波数の差の速さの「うなり」が生じる。ただ，ウナコルダ・ペダルを踏んだ場合にこの状態になるには，ペダルを踏まずに弾いた場合よりも少し時間がかかる。

いずれにしても，このペダルを踏んで打鍵すると，打鍵直後に振動を始める弦の数が少なくなり，音の立ち上がりが少しソフトになるので，このペダルは**ソフトペダル**と呼ばれることがある。このペダルを踏んで打鍵するのは音をソ

フトにしようとする場合なので，打鍵そのものもソフトになり，ハンマーの打弦エネルギーが通常よりも小さくなるという効果が大きい。

アップライトピアノの左ペダルを踏むと，全キーのハンマーの定位置が少し弦に近づき，ハンマーのストロークが短くなって，ハンマーが通常の打弦速度に達する前に打鍵してしまうことになるので，同じ強さの打鍵でもハンマーの打弦強度が通常よりも弱くなる。したがって，このペダルはソフトペダルとは呼べるが，「ウナコルダ・ペダル」でも「シフトペダル」でもない。機構を表す名称にするなら，ハンマーの定位置を弦に近づけてストロークを短くするという意味で「ショート・ストローク・ペダル」，あるいは打弦速度を抑えるという意味で「ヴェロシティ・リダクション・ペダル」とでも呼ぶべきであろう。音をソフトにするという意味では弦を 1 本だけ打つウナコルダ機構よりもハンマーを弦に近寄せておくという方法のほうが効果は大きいと考えられるが，演奏での打弦速度のコントロールが難しい可能性がある。

（b） 各部の説明　以下，基本的にグランドピアノを想定して説明する。

(b.1) 弦　弦は低音用と中高音用の 2 群にわけられ，交差して 2 段に張ってある（**図 E.59**）。これには，低音用の長い弦を斜めに張ることによってスペースを削減するためということの他に，フレームにかかる張力負荷の方向を分散させるという意味もある。フレームの支柱が，低音弦群の方向と中域音弦群の方向の張力に抗する方向に付けられているのが図 E.59 からわかる。



図 E.59　弦の低音側 1/4 ほど（上段）が，その他の弦（下段）と交差して張られているのが見える。
低音側の下から 8 本ほどが単弦，その他は 2 弦 1 組，中・高音側は見える範囲では 3 本 1 組になっている。

大部分のグランドピアノでは，極低音（図 E.59 では 8 本）を除いて 1 本のピアノ線を奥側のヒッチピン †1で折り返して，1 往復ずつ張られており，低音域のハンマーは 1 往復の 2 本を，中・高音域のハンマーは 1 つのキーに対して 3 本（1 往復と片側）の弦を叩くようになっている。

図 E.60 に B 社 215 型の中音域の弦とその音域のアグラフ †2とチューニングピン †3 を示す。図の右側が低音側で奥が鍵盤側である。中音側では 1 つのキーに対応する弦が 3 本 1 組でアグラフを通っているのがわかる。アグラフがスピーキングレングスの鍵盤側の端点になる。手前左隅にダンパーヘッドが 3 つほど見えて，その右上の弦の下に白く見えるのがハンマーヘッドのフェルトである。



図 E.60　B 社 215 型の中音域の弦：3 本ずつ 1 組で 1 つのキーに対応するアグラフに通されている。

図 E.61 は高音側で，このピアノでは高音域の 2 オクターヴほどにはダンパーがないことがわかる。また，このピアノでは，この音域にはアグラフが使われておらず，スピーキングレングスの端点を決めるためには，その代わりに，弦振動の端を固定するためのカポ・ダストロ・バー（図 E.70 で「カポ・ダストロ」

†1　奏者から見てブリッジよりも遠い側で，弦を折り返して張るために引っかけるピン。

†2　弦を通す孔をもち，キーごとに複弦をまとめるとともに振動の鍵盤側の端点を決める小さな部品（図 E.71）で，フレームに埋め込まれている。これの代わりに多数の弦の端点を一挙に決める部品としてカポ・ダストロ・バーを使う場合もある。

†3　弦ごとに張力を調整して，音高を既定の高さにするためのピン。調律の際に操作しやすいように鍵盤側に並んでいる。

と書かれている部品の下の突起がその断面）が使われているが，それは画面手前のフレームの下側に取り付けられているので写真では見えない。

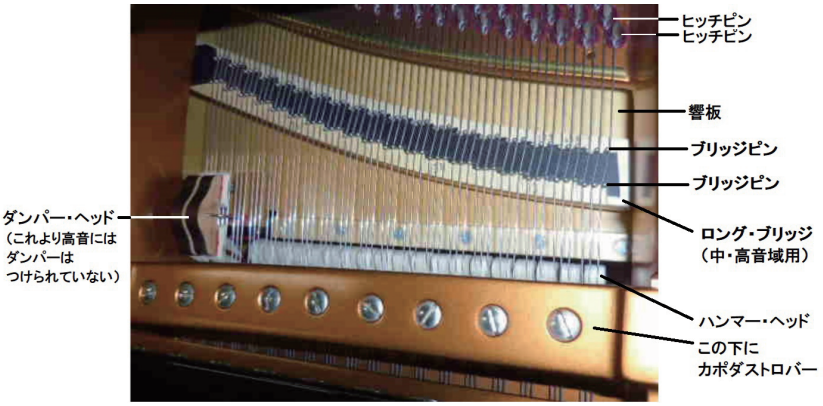


図 E.61　B 社 215 型の高音域の弦：アグラフを使わずに，画面下方のフレームの下に隠れているカポ・ダストロ・バーで，数十本の弦をまとめて押さえ，振動の端点としている。高音は減衰が速くダンパーは不要なので設置されていない。

メーカーや型番によっては，音色の調整のために弦の共鳴を利用することを目的に，弦のブリッジよりも外側の部分を共鳴しやすい長さにするための構造として，ブリッジを弦ごとに独立にしたり，ブリッジピンを可動にしたり，ヒッチピンの手前に調整用の枕状の部品を置いたりしたピアノや，低音域以外の各音高について打弦されない共鳴用の 4 本目の弦をもつものもある。

(b.2)　響板　　ピアノの発音体は弦であるが，ピアノの音は弦の振動音そのものではない。グランドピアノの場合は，弦を張ってある面の下に弦面にほぼ平行に面積の大きい板が張ってあり，弦の振動がその板の上に配置された駒（ブリッジ）を経由してその板に伝わり，その板がそれに接している空気を振動（圧縮・膨張）させて出る音である。この板は**響板**と呼ばれ，天板（反射板）を開ければ弦の間から響板の上面 (**図 E.62**) を見ることができる。弦は響板の上の鋳鉄製のフレームに張られ，その振動は長短 2 本の駒（ブリッジ）を介して響板に伝えられるが，響板はフレームから浮かせてある。ピアノのブリッジは 2

つに分けられており，ショートブリッジ（短い駒）は低音域弦用，ロングブリッジ（長い駒）は中高音域用で，後者のほうが受けもつ弦の数が多いので長い。

筐体の下から覗くと，**図 E.63** に示すように，ピアノの外枠は支柱によって支えられていて，響板はその木目と交差する方向に張られた響棒に張り付けられているのがよく見える。



図 E.62　反射板 (天板) と前板を外した状態のピアノ

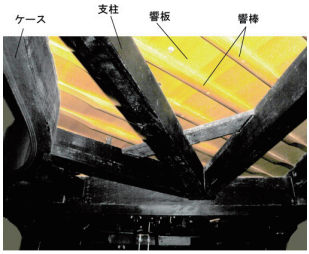


図 E.63　筐体の下から見た響板と響棒および支柱（放射状の黒い部分）。響棒は響板の杢目に垂直な方向になっている。

(b.3)　打弦機構　　打鍵による鍵（キー）の押し下げをハンマーの打弦運動に換える機構で，**図 E.64** にグランドピアノとアップライトピアノの打弦動作の違いを図示する。上が打鍵直後（打弦前），下が打弦時点で，上図にハンマーとダンパーの動く方向が矢印で示されており，下図ではダンパーが弦から離れ，ハンマーが弦を打っている（詳細は「ピアノの音響学」[34) 2.3 節,2.5 節] 参照）。

現在ではグランドピアノの離弦には重力を利用することができるダブルエスケープメント機構，アップライトピアノの離弦にはスプリングを利用したシングルエスケープメント機構が使われており，1 秒間の同一音の最大連打数は，グランドピアノで約 14 回，アップライトではほぼその半分である。

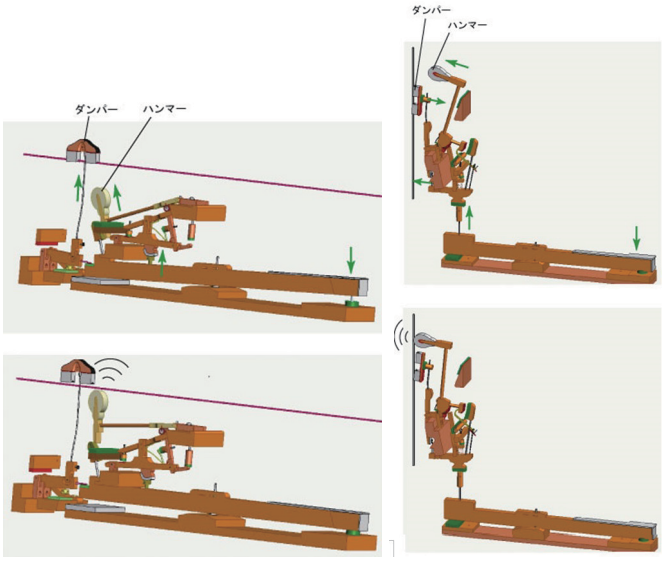


図 E.64　グランドピアノとアップライトピアノの打弦動作の違い (「楽器の科学」[22]p.125,p.127)

(b.4)　ペダル　　**図 E.65** に示すように，ピアノには通常，ペダルが 3 つあり，右はダンパーペダル，左はウナコルダ・ペダルあるいはシフトペダルもしくはソフトペダル（アップライトピアノの場合），中央はソステヌートペダルと呼ばれる。ただし，ソステヌートペダルがないものもある。



図 E.65　グランドピアノの標準的な 3 本ペダル。右からダンパー，ソステヌート，ウナコルダ（シフト）。

最も多用されるのは右の**ダンパーペダル**で，これを踏むと全弦のダンパーが弦から離れ，指をキーから離しても，ペダルから足を離すまで音が延びる。し

たがって次に打鍵する音と重ならないようにするには，いったんペダルを離す必要がある。またダンパーペダルを踏んでいる間，弦間で共鳴しやすい弦が共鳴する。

ソステヌートペダルは，いくつかのキーを叩いた後でキーから指を離す前にこのペダルを踏み込むと，踏み込んだ時点でのダンパーの位置が，ペダルを離すまで保たれるペダルである。つまり，踏み込んだ時点でダンパーが上がっていた弦の音は，指がキーから離れても，ペダルを離すまでそのままも続するようになっている。したがって，ペダルを踏んだ時点でキーが押し込まれた（ダンパーが上がっている）状態であった音は延びるが，踏み込む前に指を離したキーや踏み込んでから叩いたキーにはこのペダルは関与しない。

左側のペダルについては付録 E.2.1 項 (3)(a)「グランドピアノとアップライトピアノ」の（a.3）相違 3：左ペダルを参照されたい。

(b.5)　第 4 のペダル　　メーカーによっては通常の 3 本のペダルのほかに 4 本目のペダルを備えたグランドピアノがある。

1. **ソフトペダル**

   ハンマーの定位置を弦に近づけておくと，ハンマーのストロークが短くなって，本来のハンマー速度に到達する前にハンマーは弦を打つことになるので，音がソフトになる。これは，通常なら 3 本あるいは 2 本の弦を打つようになっているのを，それぞれ 2 本あるいは 1 本だけを打つようにして立ち上がりをソフトにするウナコルダ・ペダルとは効果が少し異なる。ウナコルダ・ペダルではハンマーによる打叩対象の弦の数を減らすだけであって，打鍵速度が変わらないなら，打弦速度は同じはずである（タッチによって変えられるという人もいる）ので，弦が受けるエネルギーの合計は叩かれた弦の数が変わっても同じである。これに対して，ハンマーの定位置を弦に近づけておくと，打鍵速度が同じでも打弦速度は遅くなるので，音をソフトにする効果を容易に得られる。Fazioli 社製の一部のモデルはこのために第 4 のペダルをもつ (**図 E.66**)。

   ダンパー・ペダルやウナコルダ・ペダルと同じように，踏み込みの深



図 E.66　Fazioli F308 の 4 本ペダル（Fazioli の HP より）左から：ソフト，ウナコルダ，ソステヌート，ダンパー

さによってハンマーの定位置を制御できるようにしておけば，演奏に慎重さは要求されるが，強弱の表情付けがウナコルダ・ペダルよりも付けやすくなる。最近，ショパン・コンクールで Fazioli が使用楽器の候補に採用されたのは多分このためであろう。

2. **ハーモニックペダル**

4 番目のペダルとして，完全に踏み込むと普通のダンパーペダルのように働くが，半分だけ踏み込むと，すべてのダンパーがいったん弦から離れるが，以後の打鍵については離鍵されたキーのダンパーだけが弦に落ちる「ハーモニックペダル」と名付けたペダルをもつピアノがある。

ソステヌートペダルは弦から浮いたハンマーをその位置に保持して弦振動を持続させる機能をもつが，ハーモニックペダルの機能はいわばその逆で，打鍵した音の中で離鍵したキーの音だけをダンパーで減衰させる。他のキーのダンパーは上がった状態が続くので響きが残る。

打鍵されていない大多数のキーのダンパーはペダルを離すまで上がったまま保持されるので，打たれたキーと共鳴関係にある弦を主とした多くの弦の共鳴効果・残響効果が得られる。**図 E.67** に示すように，フォイリッヒ（Feurich）

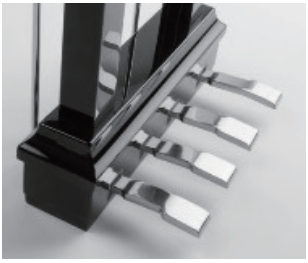


図 E.67　共鳴・残響のコントロールのための 4 本目の「ハーモニックペダル」(最右側)【Feurich Piano】

の一部のモデルはこのペダルをもつ。

(b.6)　ベル・共鳴弦・アリクォート　ピアノの最高域（G7 辺りより上）の音は低域や中域の音と比べて余韻が短く，金属片を叩いているようで，楽器の音でない感じがする場合がある。そこで，いくつかのメーカー（スタインウェイ：Steinway, ファツィオリ：Fazioli など）のピアノには「**ベル**」と呼ばれるコーン（円錐）型の鉄の鋳物が側板（リム）の内側に取り付けられているものがある（**図 E.68**）。ベルの円錐の先端は，響板にあけられた穴を貫通する長いボルトでフレームに止められている。

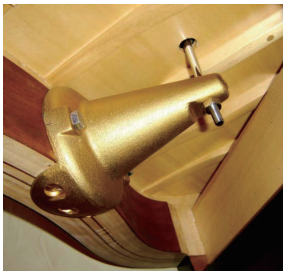


図 E.68　高音の音色調整のためのベル

これは共鳴によって高域の音を豊かにするためのものであるが，いったん取り外すと，それ以後メーカーによる品質保証が失われる（製造過程での取り付けは弦を張る前にリムにルースに仮止めしておき張弦時にフレームのゆがみによって締まるようになっている）という事情があって，これの有無を実際に比較した研究はない。もちろん，付けているメーカーは，開発の際に比較検討したはずであるが，公表されていない。

高音域の音の改善のために，ベルの代わりにハンマーで叩かない共鳴用の 4 本目の弦を張るメーカー（ブリュートナー：Blüthner）もある。4 本目の弦を張る代わりに，ブリッジよりも奥のヒッチピンの手前に枕状のものを置いて，ブリッジピンからその枕までの長さをその部分の弦が共鳴しやすいようにスピーキングレングスの整数分の 1（アリクォート：aliquote）にするピアノ（ヤマハ）もある。この方式の共鳴部の振動はダンパーで止められないので，度を越すと無用な響きになる。

(b.7)　その他　　**図 E.69** に，反射板を取り除いて上から見たピアノ全体とフレーム示す。構造的な大きな部品として，弦の張力から筐体を守る支柱（ストレスバー）が目につく。図の鍵盤側でほぼ水平に走っているバーの右側 2 区画分の下側にカポ・ダストロ・バーがある。図で赤く見える部分は振動を抑えるためのフェルト布である。図の上部で山型に湾曲して見えるのは低音域用のブリッジ，その下の谷型に湾曲しているのが中・高音域用のブリッジである。鍵盤の近くの湾曲した領域にたくさん並んでいるのが調律用のチューニングピン，防振用の赤い布の上方にアグラフが並ぶ。黒く見えるのがダンパーの上側で，最高音域にダンパーが付けられていないのが見える。ハンマー（見えない）はアグラフとダンパーの間を下から叩くようになっている。

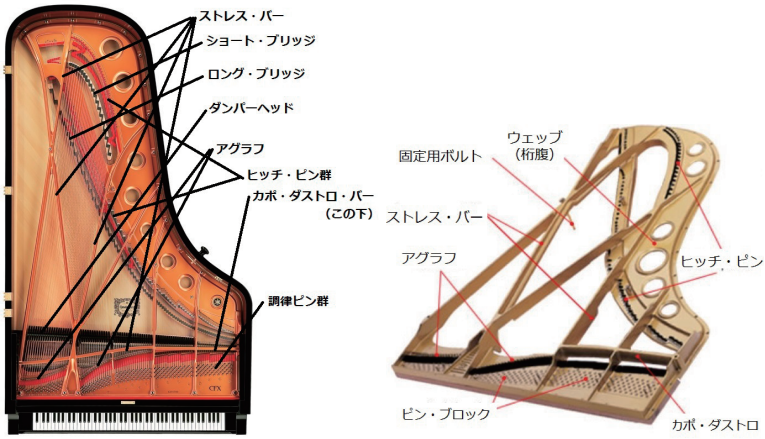


図 E.69　反射板を外したピアノとフレーム関連部品

カポ・ダストロ・バーで振動の端点を決める場合の弦の張り方の模式図を**図 E.70** に示す。カポ・ダストロ・バーは図のカポ・ダストロ（断面が描かれている）の下で，画面に垂直な方向に延びる棒（図では断面が突起のように描かれている）である。アグラフを使う場合は，カポ・ダストロ・バーの位置にアグラフの孔が来ることになる。

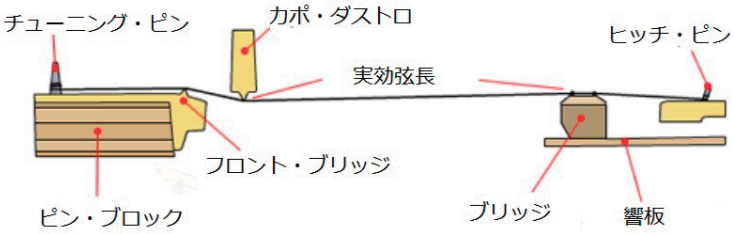


図 E.70 弦の張り方（実効弦長はカポ・ダストロ・バーあるいはアグラフからブリッジまで。ハンマーはその間のカポ・ダストロ・バー，あるいはアグラフ寄りを下から打つ）

1. アグラフ

弦振動の端点を固定するための孔空きのピンで，フレームにねじ込まれている。弦をこの孔に通して張ることによって弦振動の手前側の端点を固定する。**図 E.71** に示すように，孔の数が 1 個のもの，2 個のもの，3 個のものがある。1 つのキーに対してどれか 1 つのアグラフが使われるが，**図 E.72** に示すように，そのキーのハンマーが叩く弦の数と同じ数の孔をもつアグラフが使われる。アグラフを使わない弦についてはカポ・ダストロ・バー（図 E.70 参照）が使用される。



図 E.71 アグラフ 3 種（実効端留め具）

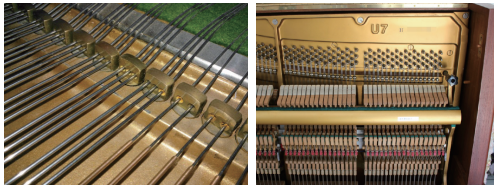


図 E.72 弦のアグラフの通し方。左：グランドの 3 穴，2 穴。（鍵盤は右上），右：アップライトの総アグラフ （鍵盤は手前）

2. ピン

ピンにはピアノの弦の固定端をフレームに留めるためのエンドピン，弦を折り返すためのヒッチピン，調律のためのチューニングピン，ブリッジを経由させるためのブリッジピンがある。**図 E.73** にエンドピン，ヒッチピン，ならびにブリッジピンを示す。

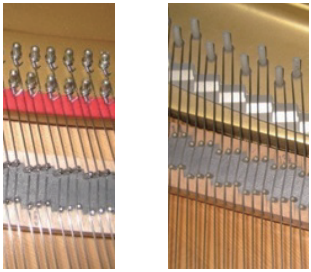


図 E.73　ピン 3 種。左上方：各 1 本張り型のエンドピン，右上方：折り返し型のヒッチピン。ともに下で（灰色の上下で）少し曲げて引っ掛けてあるところがブリッジピン

図 E.73 左図の上方の赤い布の上に 2 列に並んでいるのが 1 本張り型の弦のエンドピンで，1 本ずつピンに巻いてある。2 列に並んでいるが，3 本ずつで 1 つのキーに対応している。これは 1 往復と隣接する左または右の片側の計 3 本で 1 つのキーに対応する。その下の赤い布は弦のブリッジ外の振動を抑えるためのものである。

右図の上方に 2 つずつ並んでいるのが折り返し用のヒッチピンで，ピンの下に見える白いものは制振用のフェルトである。左右の図ともに，下方の灰色部分の上下で左右に少し曲げて引っかけてあるところ 2 箇所がブリッジピンで，これらの 2 つの図では下側のブリッジピンよりも下が弦の振動部分になる。

グランドピアノの場合，調律の際に打鍵しながら弦の張りの強さを調整できるように，チューニングピンが鍵盤側になっており，1 つのキーに対して弦を 1 本だけ張る超低音 1 オクターヴほどについては，エンドピンは鍵盤から遠い側になる。1 本のピアノ線を往復で張る場合には，チューニングピンを鍵盤側にするために，ヒッチピンを奥にして，チューニングピンと他端の固定ピンをどちらも鍵盤側する。1 つのキーでハンマーが 3 本の弦を打つようになっている音域では，往復で異なる音高を作る弦が 1 往復おきに出てくることになる。すべての弦を独立に張るピアノでは，すべてのエンドピンが奥になる。アップライトピアノの場合も，打鍵しながら弦の張りの強さを調整できるように，チューニングピンが上になっている。

弦振動を響板に伝えるためのブリッジに弦を留めるのがブリッジピンで，少し幅のあるブリッジの上の 2 箇所にピンを打ち，弦を左右に引っかける。

E.2.2　弦を伝わる波の方程式

流体はせん断応力をもたないため，流体内には縦波（振動が波の進行方向と一致）しか生じないが，弦は圧縮伸長に対する弾性だけでなく，固体と同様にせん断応力や曲げに対する剛性をもち，縦波の他に横波（振動が波の進行方向に対して垂直）も生じ得る。

弦を伝わる横波は張力による静止位置への復元力によるものであるが，両端を固定されて張られた弦に横波が生じるためには長さ方向にいくらか伸びざるをえないので，縦波も生じ，かつ弦振動では弦上にキンク（曲がり角）が生じるので曲げ剛性による効果も表れる。これらは横波に影響するので，弦の剛性の大きいピアノの音色には縦波が大きく関係している。本節では，弦を伝わる波の方程式として，まず横波について説明し，その後，縦波について説明する。

（**1**） **横波の波動方程式****　　**図 E.74** のように，張力 T（N）で引っ張られている線密度 μ（kg/m）の一様な弦を考える。弦に沿って x 軸をとり，その左端を座標の原点（$x = 0$）とし，そこから距離 x 離れた点の，x 軸と直交する平面内での変位（横振動の振れの大きさ）ξ を位置 x と時間 t の関数と考え，$\xi(x,t)$ とする（弦の縦振動（長さ方向の振動）については後述する）。

ここで，位置 x にある弦の微小部分 Δx に対して，高校の物理に出てくるニュートンの第 2 運動法則

$$F\,(\text{力}) = m\,(\text{質量}) \times \alpha(\text{加速度}) \tag{付.113}$$

を考える。張力 T は接線方向に働くので，位置 x で弦を元の平衡位置に引き戻そうとする力の ξ の負方向（紙面では下向き）成分 T_1 は，位置 x での弦の傾きを θ_1 としたとき，$T\sin\theta_1$，位置 $x + \Delta x$ での力 T_2 は，ξ の正方向に $T\sin\theta_2$ になるので，弦の Δx 部分に働く力は，その差で，ξ の負方向に

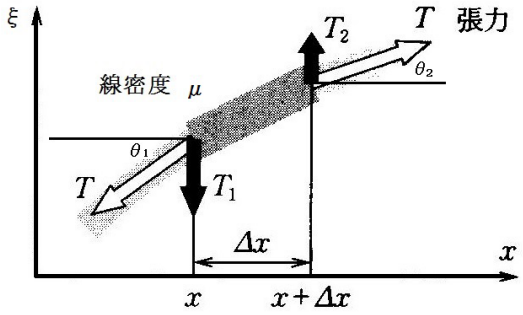


図 E.74　弦の微小部分にはたらく力

$$F_\xi = T_1 - T_2 = T\sin\theta_1 - T\sin\theta_2 = T(\sin\theta_1 - \sin\theta_2) \tag{付.114}$$

となる。

したがって，質量 m として微小線分 Δx の質量

$$m = \mu\Delta x \tag{付.115}$$

を入れ，さらに ξ 方向の加速度 α として

$$\alpha = \frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} \tag{付.116}$$

を入れると，次の運動方程式を導くことができる。

$$-T(\sin\theta_1 - \sin\theta_2) = \mu\Delta x\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} \tag{付.117}$$

θ が小さい場合は

$$\sin\theta \approx \tan\theta \tag{付.118}$$

としても構わないので，位置 x での $\sin\theta$ は，$\tan\theta$ すなわち，その位置での ξ の x による偏微分に相当し，θ_1，θ_2 は，それぞれ位置 x，$x+\Delta x$ での ξ の x に関する微分値であるので，その差 $\sin\theta_2 - \sin\theta_1$ は，Δx が小さい場合，ξ の x に関する 2 階偏微分 $\dfrac{\partial^2\xi}{\partial x^2}$ に x 方向の区間長を乗じたものに相当する。したがって

$$T\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2}\Delta x = \mu\Delta x\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} \tag{付.119}$$

したがって

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} = \frac{T}{\mu}\,\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2} \tag{付.120}$$

となり，この式は変数がスカラーになっているが，流体中での波動方程式 (付.45) あるいは (付.46) とまったく同じ形になっている。(付.46) では 3 次元空間を扱うために場所に関する 2 階偏微分がナブラ 2 乗で表され，流体の体積弾性率 κ がここでは弦にかかる張力 T に，流体の密度 ρ が弦の線密度 μ になっているだけである。

$$c = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \tag{付.121}$$

とおくと

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} = c^2\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2} \tag{付.122}$$

となり，ここの ξ はスカラーであるが，式の形は左右が入れ替わっているだけで式 (付.67) と同じなので，その解は (付.67) の解 ϕ と同じ形のダランベール形式で書くことができる。この式に弦の長さは入ってこない。関係するのは弦の張力と線密度だけである。弦の長さは境界条件を書くときに入ってくる。

（a） 両端固定の場合の境界条件から決まってくる固有振動

式 (付.122) の解は式 (付.67) の解と同じ形のダランベール（d'Alembert）形式で次のように書くことができる。

$$\xi(x,t) = f_1(ct-x) + f_2(ct+x) \tag{付.123}$$

これが式 (付.122) の解であることは，これがその式を満たすことから確認できる（付録 C.2 節「ダランベール解が波動方程式の解であることの確認」参照)。

式 (付.67) の説明に書いたように，c は波が伝わる速さで，式 (付.122) の場合は，弦を伝わる横波が x 軸方向に進む速さで，式 (付.123) の右辺第 1 項は x

軸の正方向へ進む波，第 2 項は x 軸の負方向へ進む波を表している。ただし，その 2 つの波がどのような形になるかは，**初期条件**によって決まる。

式 (付.123) の右辺は式 (付.122) を満たす解が速度 c で x 軸の正方向に進む波 f_1 と負方向に進む波 f_2 の和で表されることを示しており，それは伝搬速度を規定しているだけで，周波数については何も言っていない。ただし，振動媒体中では「伝搬速度＝波長×周波数」の関係が成立するので，弦の張力と線密度とで弦を伝わる横波の伝搬速度が式 (付.121) で規定され，弦の振動部分の長さから基本モードの波長が決まると基本周波数が決まる。その周波数で弦が振動すると，その基本周波数で表板あるいは響板の振動が起き，同じ周波数で空気の伸縮運動が起きる。それによる大気中の縦波の波長は大気を媒質とした波についての「伝搬速度＝波長×周波数」の関係から決まる。常温 1 気圧の大気中の音の伝搬速度は約 340 m/s（気温 T （°C）で，約 $331.5{+}0.61\,T$ m/s）で，空気の伸縮運動の周波数は弦の振動周波数と同じなので，大気中の音の波長はそれに対応して約 340 m/周期となり，弦の振動部分の長さと直接の関係はない。

固定端の場合，一方の端（$x = 0$ の位置）が時刻にかかわらず常に $\xi = 0$ に固定されているとして，$\xi(0,t) = 0$ を一般解に入れると

$$f_1(ct-0) + f_2(ct+0) = 0 \quad \rightarrow \quad f_1(ct) = -f_2(ct) \qquad \text{(付.124)}$$

つまり，固定端では波形の上下が逆になって反射することがわかる。

任意の区間の波形はそれを整数周期とする正弦波と余弦波の荷重和（無限級数の和）で表すことができる（フーリエ級数展開）ので，それらの成分を $\sin\frac{\omega}{c}(ct \pm x)$，$\cos\frac{\omega}{c}(ct \pm x)$，それらの振幅を未知として，$\xi(x,t)$ を次のように表し，係数を決めていくことを考える。

$$\begin{aligned}
&\xi(x,t)\\
&= A\sin\frac{\omega}{c}(ct-x) + B\cos\frac{\omega}{c}(ct-x) + C\sin\frac{\omega}{c}(ct+x) + D\cos\frac{\omega}{c}(ct+x)\\
&= A\sin(\omega t - kx) + B\cos(\omega t - kx) + C\sin(\omega t + kx) + D\cos(\omega t + kx)
\end{aligned}$$

ただし，$k = \dfrac{\omega}{c} = \dfrac{2\pi f}{c} = \dfrac{2\pi}{\lambda}$ は，ラジアン単位での波数である。

定在波（定常波）を考えると，いかなる t についても $\xi(0,t)=0$ であるという条件から

$$(A+C)\sin\omega t+(B+D)\cos\omega t=0 \tag{付.125}$$

つまり，いかなる t についても

$$\sqrt{(A+C)^2+(B+D)^2}\sin\left(\omega t+\tan^{-1}\frac{B+D}{A+C}\right)=0 \tag{付.126}$$

より

$$(A+C)^2+(B+D)^2=0 \tag{付.127}$$

したがって

$$C=-A,\quad D=-B \tag{付.128}$$

が要請され，これらを式 (付.104) に代入して

$$\begin{aligned}
&\xi(x,t)\\
&=A\{\sin(\omega t-kx)-\sin(\omega t+kx)\}+B\{\cos(\omega t-kx)-\cos(\omega t+kx)\}\\
&=A\{(\sin\omega t\cos kx-\cos\omega t\sin kx)-(\sin\omega t\cos kx+\cos\omega t\sin kx)\}\\
&\quad+B\{(\cos\omega t\cos kx+\sin\omega t\sin kx)-(\cos\omega t\cos kx-\sin\omega t\sin kx)\}\\
&=-2A\cos\omega t\sin kx+2B\sin\omega t\sin kx\\
&=2(B\sin\omega t-A\cos\omega t)\sin kx\\
&=2\sqrt{A^2+B^2}\sin\left(\omega t+\tan^{-1}\frac{A}{B}\right)\sin kx
\end{aligned}$$

これに，他方の端点に関する境界条件 $\xi(L,t)=0$ for $\forall t$ を入れると

$$\sin kL=0 \tag{付.129}$$

すなわち

$$kL=\frac{2\pi}{\lambda}L=m\pi \tag{付.130}$$

つまり

$$\lambda_m = \frac{2L}{m} \quad (m = 1, 2, 3, \cdots) \tag{付.131}$$

周波数で言うなら

$$f_m = \frac{c}{\lambda_m} = m\frac{c}{2L} \quad (m = 1, 2, 3, \cdots) \tag{付.132}$$

という離散的な値しか取りえないことになる。これが両端固定の弦の横振動の**固有周波数**（固有振動の周波数）である。

ただし，現実には弦は完全に均質ではありえないので，振動は断面内で回転し，また，両端の固定方法によっては弦の太さ・硬さによる影響などによって，基本波の正確な整数倍から少しずれ，またブリッジが弦の振動によってわずかではあるが動くので，両端が完全固定ではないというようなことなどから，複雑な効果が生じる。

（b） **撥弦の場合の初期条件と横波の時間推移**　　撥弦の場合，弾（はじ）く位置が初期条件としての最大変位点になり，そこから同じ形の波が左右に伝わっていく。振動中の弦をはじくのでない限り，初期状態での弦の変位形状は，最大変位点を頂点，平衡位置を底辺とする不等辺（中央をはじく場合は 2 等辺）三角形の山型を形成し，初速度はすべての点でゼロであると仮定できる。

周期関数がフーリエ級数で展開できることを考えると，弦の変位形状はどんな形であっても，弦長を整数周期とする正弦波と余弦波の級数（荷重和）で表すことができるということになるので，撥弦時点での弦の変位形状を三角関数の荷重和で表しておくことにすると，式 (付.123) の右辺の 2 項はともに波形を形成する個々の周波数成分の振る舞いを表すと考えると理解しやすい。端から $\frac{1}{n}$ の点をはじいた場合，その位置は最初に最大振幅点になるので，振動の節にはなりにくく，以後の振動においてもその変位形状は第 n 高調波とその整数倍の周波数成分を含みにくいことになる。例えば中央をはじくと，基本周波数の偶数倍の周波数成分を含まないことになる。

付録 D.1.1 の項で F7 として説明するが，第 7 高調波は基本周波数を主音とする音階のどの階名音からも外れており，協和性の観点からは楽器の音として

は第 7 高調波を出さないほうが綺麗な音になる。このことから，弦楽器を弾く場合，はじく場合も擦る場合も叩く場合も，端から $\frac{1}{7}$ の位置を弾くようにすれば，少なくとも励振時点ではそこが節点にならないので，協和度の低い第 7 倍音を抑えることができる。

波が弦を伝わって端点に達すると，前述のように端点で波形の上下が逆になって反射し，反射後は進行と後退が逆になり，各位置では進行波と反射波が足し合わされることになるが，はじく位置が弦の中央でない限り，左右での反射は時間的にずれて起き，弦の形状の時間的変化を見ると，山と谷の 2 つの角が一組になって一方向への進行を繰り返すように見える。弦の振動エネルギーの一部は空気を押しのけるのに消費されたり，弦の振動で共鳴板，ひいては空気を振動させるエネルギーとして，あるいは弦そのものの伸長・圧縮や変形によって内部で熱になって消費されるので，徐々に振動は減衰する。減衰の様態は弦の材質や張力，端点の止め方や媒質の粘性などによって異なる。

弦振動のシミュレーション（I）

【シミュレーション】撥弦の場合の弦振動（減衰は考慮していない）：
⬇：弦振動アニメーション\1. 撥弦（ギター）
1a_撥弦 FDTD 法：
\(a) 時間刻みの幅の効果\FDTD(撥弦位置固定，時間刻み幅 2 種).mp4
\(b) 撥弦位置の効果\FDTD(撥弦位置可変，時間刻み幅固定).mp4
1b_モード法：
\撥弦位置固定 (20 %点)\modal(撥弦位置，次数).mp4
\最大モード次数固定 (30 次)\modal(撥弦位置，次数).mp4

（**c**） **打弦の場合の初期条件と横波の時間推移**　打弦の場合，普通，弦は叩かれる前はすべての点が静止位置（平衡状態）にあって，突然打弦位置に初速度を与えられるものと考える。ただ，厳密に言えば，$t = 0$ でハンマーで弦を叩いても，$t = 0$ で初速度が生じるわけではない。弦が初速度を得るまでにほん

の短い時間ではあるが，ハンマーが弦を押す時間があって弦を叩き出した後，ハンマーは弦の反発力で弦から離れる。ピアノのように打弦のための機構がある場合もダルシマーのように奏者が手にもったマレットで叩く場合でも，楽器としては通常，弦の 2 度打ちを避けなければならない。

ハンマーあるいはマレットが弦に接している時間はハンマーやマレットの重さ・硬さや打弦時の速度ならびに弦の張力や柔軟性など，多数の要素が複雑に絡むので多数の研究がある。

打弦振動の時間的な変化の様子の例を**図 E.75** に示す。弦は叩かれた点（図では左端から 20%の位置）を中心にして，変位が二等辺三角形の山となって成長し（左 1〜3 番目），静止位置を保っている部分との境界に変位の勾配が生じ，三角形の高さがある値（弦が静止状態に戻ろうとする張力とハンマーの運動エネルギーが釣り合った位置）に達した（左 3 番目）あとは，三角形の左右の辺（変位の勾配）が等速で台形が広がる（左 3〜4 番目）。台形の底辺の一方（図

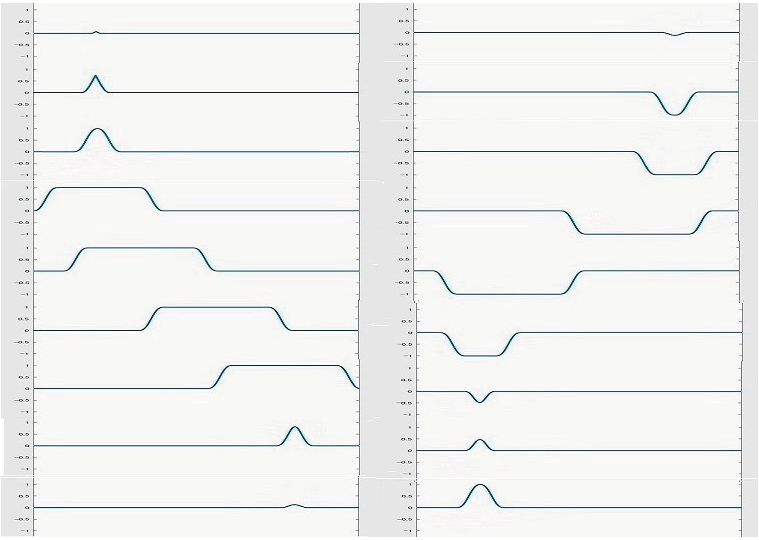


図 E.75　打弦のシミュレーション（FDTD 法）。左端から弦長の 20%の点を打弦した場合の弦振動について，打弦直後から約 1 周期の間の弦の形の時間変化を不等間隔の 18 時点で示す。

では左側）が端に達する（左 4 番目）まで広がり，端に達した側（図では左側）は端で反射して，再び台形の底辺の角になり，他方の角と同じ速度で同一方向に揃って移動する。

台形の右端が右の端点に達すると，台形の幅が減少するように変形し，二等辺三角形にまで縮まった後は，三角形の高さが低くなるように変形し，高さは 0 を通り越して，慣性によって反対側の山（図では谷）になり，（減衰がなければ）以前と同じ高さ（弦の中央に関して打弦点と対称の位置で）の二等辺三角形にまで成長し（ここまでで打弦時点から半周期），その後は高さを保ったまま 2 つの等辺が広がって平衡位置の反対側で再び台形になって左右の辺が等速で広がり，底辺の一方が端にぶつかると幅の拡大は止まって，水平移動になる。水平移動によって台形の底辺が端にぶつかると，幅の拡大は止まり，その幅のまま台形の他方が端にぶつかるまで，台形は水平移動を始めるという周期的な変動を繰り返す。

減衰を無視すれば，打弦の直後（どれだけ後かは端からの打弦位置による）から 1 周期ごとに打弦位置で変位の最大が生じるので，ハンマーやマレットを打弦点よりも弦から離しておかないと，弦がハンマーやマレットに 1 周期（A4 なら約 2.2 ms）ごとに接触するというような現象が起きる。楽器ではこれを避ける必要がある。打弦後にハンマーやマレットを弦から離すのに，打弦の際の弦からの反発力を利用することができる。弦を下から打てば重力も利用できるので，グランドピアノではハンマーは下から打弦するようになっている。アップライトピアノでは，ハンマーの離弦に重力をそのまま使うことができないので，スプリングを使う。ダルシマーでは，弦の反発力を利用して，奏者自身がマレットを弦から離すような気持ちで打叩する必要がある。

打弦によって弦は打弦位置でその時点でのハンマー速度で強制的に変位させられることになる。ハンマーは速度が 0 になるまで弦を押すことになるが，接触点においてハンマーと弦はニュートンの第 2 運動法則を満たすというモデルが使われ，ハンマー速度はハンマーの質量を M，弦の張力を T とすると，時定数 $\tau = \frac{Mc}{2T}$ で減速し，周波数スペクトル包絡はハンマーの質量と弦の質量の

比で決まるある次数以上では，オクターヴあたり 6 dB/高調波番号で減衰するという研究[66] がある。

図 E.75 は FDTD（時間領域有限差分）法による打弦のシミュレーションを示すもので，左端から 20%の点を下から打叩した場合における打叩から 1 周期の弦の振動の様子で，時間は左の上から下へ，続いて右の上から下への順で，減衰は無視している（図 2.28 は打弦位置が 10 %点の場合の打弦後約 0.6 周期の弦振動の推移図であった。）。

図 E.76 は左端から 20%の点を下から打叩した場合における打叩の少し後の半周期後の弦の形を，50 次までを計算したモード法† によるシミュレーション

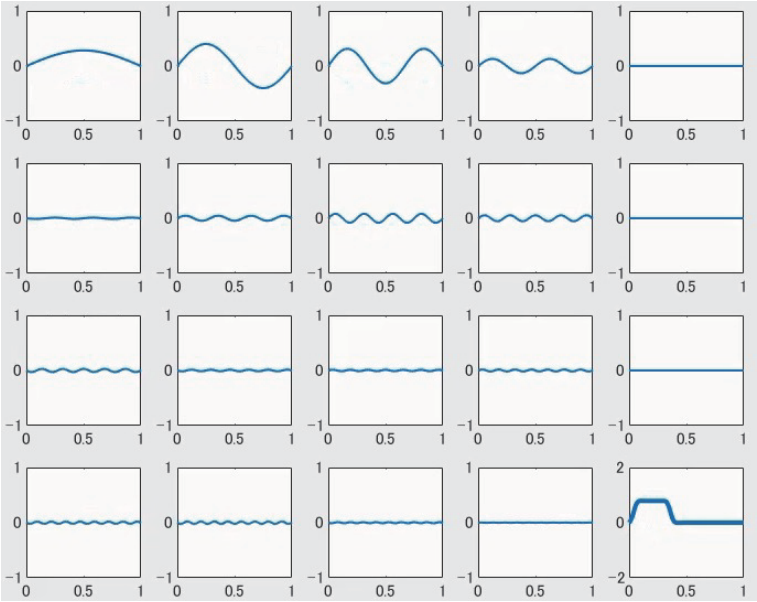


図 E.76　打弦のシミュレーション（モード法）。左端から弦長の 20 %の点を打弦した場合。最下段右端：弦の振動波形（第 1〜50 固有振動で計算），その他は，荷重に比例した振幅の第 1〜19 固有振動。最上段：第 1〜5 固有振動，第 2 段：第 6〜10 固有振動，第 3 段：第 11〜15 固有振動，最下段：第 16〜19 固有振動，最下段右端：弦の形の時間変化図（図 E.75 の左列上から 4 番目に相当）。

† 現象を表す微分方程式を解析的に解き，解を固有モードの荷重和の形で表し，位置と

結果で，ここでも減衰は無視している。最下段の右端の図がその弦の形であるが，これは第 1 固有振動から第 50 固有振動までの合計として求められている。これは図 E.75 の左上から 4 番目に相当する。端から $\frac{1}{5}$ の点を励振しているので，理想状態では励振点は不動点にはなりにくい。したがって，そこが振動の節になる振動は起きにくいということになり，5 の倍数の固有モードは起きていないということが理解できる。

弦振動のシミュレーション（II）

【シミュレーション】打弦の場合の弦振動

⬇：/弦振動アニメーション/2. 打弦（ピアノ）

2a 打弦 FDTD 法：

\(a)FDTD(分割数可変，打弦位置 20%固定)

\Hammered_FDTD(50~1600,20).mp4

\(b)FDTD(分割数 100 固定，打弦位置可変)

\Hammered_FDTD(100,5~50).mp4

2b 打弦モード法：

\(a) 打弦位置 20%固定，最大モード次数 3~200 \modal(20,3~200).mp4

\(b) 打弦位置 5~50%，最大モード次数 50 に固定 \modal(5~50,50).mp4

弦の中央（x 座標が 200 の点）を打弦位置として指定すると，両側へ伝わった波は両端で同時に反射して再び中央で合わさって最大変位になる。（中段の図は，左端から 1/4 の位置の変位での変位を示すが，中央を打弦すると，変位が最大になる時点と最小になる時点が等間隔に並ぶことがわかる。）端から弦長の $\frac{1}{n}$ の位置を打弦すると，第 n 高調波が抑えられることがわかる。高調波の構成や大小によって音色が変わるので，打弦位置によって音色を変えられることが理解できる。また，上記シミュレーションの 2b の (b) で，打弦位置が弦長の「1 ／整数」の場合には，そこが節になる固有振動は起こりにくいことを確認してほしい。例えば，振動部分の端から 20%の点（1/5 の位置に相当）を励

時間の関数として表された解を出力するシミュレーション手法

振した図 E.76 を見ると，励振点が節になる第 5 モードおよびその整数倍の第 10 モード，第 15 モードも出ていない（振幅が 0 になっている）ことがわかる。

（d） 擦弦の場合の定常振動の発生条件　弓で擦った弦の振動が**図 E.77** のように，三角形の頂点状に直線的に折れ曲がった点（キンク）が弦の両端点を結ぶ円弧（実際には放物線）上を周回すること（これは「ヘルムホルツ運動」と呼ばれる）を，Helmholtz は今から 140 年ほど前に示した。最近はストロボカメラで撮影した映像でこれを見ることができる。弦が円弧状の形で上下に振動するのではないことに注意してほしい。

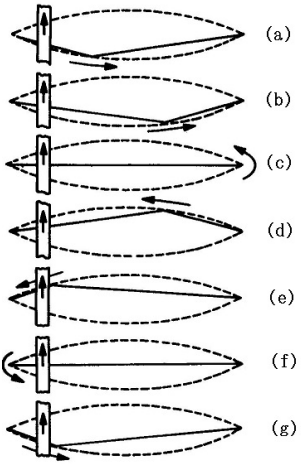


図 E.77　ヘルムホルツ運動（弓で擦られた弦の定常振動）

図 E.77 はアップボウ（左の矢印が弓の動く方向）の場合を示しているが，(a)〜(e) は弦が静摩擦で弓に引っかかって上へ引き上げられている過程で，(e) の段階で弦が平衡位置から大きく離れたので張力が強くなり，摩擦力がそれに負けて，弦が弓について行けなくなって弓の動きとは逆に下へスリップして平衡状態である (f) を通り越して (g) の状態まで下がり，その段階で弓の動きと弦が平衡位置に戻ろうとする動きが一致して，静摩擦によって弦が弓の毛に引っかかり，再び (a) の状態に戻って，弓にくっついて引き上げられるようになる。

このような状況の弓の毛と弦の関係は “stick and slip” と呼ばれている。この間，弦は実線で示されているような形をとり，その頂点が破線で示した上下

の放物線上を一定方向に回る（ダウンボウとアップボウで逆回り）ことになる。破線の外側の矢印は円弧上を回る頂点の運動方向を示している。“stick” 状態では弦は弓の毛に静摩擦でひっかかっており，“slip” 状態では弦と弓の毛は動摩擦になっている。弓の毛には松ヤニが塗ってあり，静摩擦は大きいが，接触面の相対速度の非線形関数である動摩擦は静摩擦に比べて非常に小さい。

音の出し始めには “stick and slip” が始まるように弓の速度と弓で弦を押す力をコントロールしなければならず，“stick and slip” が始まった後も，弓の速度と弓で弦を押す力によってその状態を続けるためのエネルギーを安定的に供給し続ける必要があるので，擦弦楽器が発音を開始し，持続的に音を出すには，運弓速度と圧弦力がある範囲内でないといけないという条件がある。弓はフロッグ（毛の張り具合を調節するためにネジで毛の固定部を弓の木部に沿って移動させる装置）が付いた端のほうを持って，弓をやや外側へ倒すようにして，毛と弦の接触面の広さを変えながら弾くが，圧弦力を弓の端で弓を動かしながらコントロールするのは習熟するまでは難しい。弓の先のほうで弾く場合は多少強めに弓を弦に押し付けても右手から接弦部までの長さが緩衝機構として働くので，右手のコントロールにそれほど神経質にならなくても済むが，弓のフロッグに近いところで弾く場合は，右手の硬さが圧弦力に直接響くのでコントロールが非常に難しい。

弦振動のシミュレーション（III）

【シミュレーション】擦弦の場合の弦振動：

⬇：弦振動アニメーション/3. 擦弦（ヴァイオリン）

通常位置（10％点，アップボウ）：　\Bowed-String(10)

スル・ポンティチェーロ（5％点，アップボウ）：　\Bowed-String(5)

スル・タスト（30%点，アップボウ）：　\Bowed-String(30)

コーヒーブレイク

音速＝波長×周波数?

波が進む速さは「波長（1 周期の空間的な長さ）× 1 秒あたりの振動数」である。音波での 1 秒あたりの振動数　スル・タスト（30 %点，アップボウ）：\Bowed-String(30) は基本周波数（音の「高さ」とも言える）なので，音速＝波長×基本周波数のはずである。ところが，弦の振動についていうなら，振動している部分は，ギターやヴァイオリンなどではブリッジ（コマ）から押弦フレットあるいは押弦位置まで，ピアノならブリッジからアグラフあるいはカポ・ダストロ・バーまでの長さである。それで，例えばヴァイオリンで A4 は開放弦なので波長≒ 328 mm あるいはその 2 倍の 656 mm のどちらとしても，A4 の基本周波数 440 をかけると，144.672 m あるいは 288.64 m となって，大気中の音速 340 m とかけ離れた値になるのを不思議に思う読者がいるかもしれない。

音として聞こえる弦楽器の音波は弦の振動 (横波) そのものではなく，その振動が板や膜に伝わってその振動が空気を振動させた結果生じる空気中を伝わる縦波で，その伝搬速度は弦を伝わる横波の伝搬速度とは無関係で常温 1 気圧では約 340 m/s である。こう言うと，弦振動による音の高さ（基本周波数）はそれによって決まる基本波の波長と反比例（掛け合わせると音速になる）の関係にあるはずなのに，音速が一定値なのなら，楽器のサイズ（弦長）が決まった段階で，その高さ（振動数）は固定的に決まってしまって，調整できないではないか，という錯覚を起こす読者がいるかもしれない。その素朴な疑問に次のコラムで答えておこう。

（e） **振動の減衰**　空気中で弦が振動すると，弦はわずかに粘性をもつ空気を押しのけながら動くことになる。そのため，空気は弦の振動から，ごくわずかずつではあるが振動エネルギーを奪う。また，弦鳴楽器では弦の振動そのものは空気を振動させる効率が悪いので，弦の振動を響板や共鳴箱の表板などの振動に変えて空気を振動させるようになっており，それらの駆動のためにエネルギーを消費する。さらに，弦の振動は弦そのものの高頻度の曲げ変形を伴うので，振動エネルギーの一部は弦の内部で熱になって失われる。これらによるエネルギー損失によって，弦の振動は，外部からエネルギーを補充しない限り，徐々に減衰する。撥弦や打弦では，発音の最初の時点で一度エネルギーを与えるだけで，その後はエネルギーの補充がされないので，振動は徐々に減衰

する。

撥弦や打弦の場合，弦の振動は励振直後が最も大きく，以後は時間経過に伴って減衰していく。そのため，撥弦らしさや打弦らしさは音の減衰状態に大きく表れ，時間軸を逆転すると撥弦音らしさや打弦音らしさは失われてしまう。擦弦の場合は，安定して弦を擦っている間，弦は定常的な振動を続けるので，時間軸を逆にしても弓をどちらの方向に擦るか程度の違いしかない。ただし，擦弦でも “stick and slip” ごとの立ち上がりや減衰を含めて演奏音全体を逆転再生すると，演奏音の時間変化が逆転するので，多少変な音になる。時間的に順方向の波形と逆方向の波形は短区間で切り取って周波数スペクトルを見ると位相が逆転しているだけでパワースペクトルは同じであるにもかかわらず音はまったく異なって聞こえる。

4 種の楽器（ギター，ピアノ，サクソフォン，ヴァイオリン）の音の時間軸逆転音を入れておいた。減衰音の代表としてギターとピアノの音，持続音の代表としてサクソフォンとヴァイオリンの音をとり上げた。

⬇ ：第 1・2 章関係/5. 時間逆転音/a. 減衰音　にギターとピアノ，/b. 持続音にアルトサクソフォンとヴァイオリンの時間逆転音を入れてある。ヴァイオリンについては演奏音の時間逆転も入れておいた。ギターとピアノの音はコーヒーブレーク（p.158, p.184）で触れたように，逆転再生すると元の楽器が何かわからなくなってしまうが，サクソフォンとヴァイオリンの音は逆転しても持続的な音なので一応それらしく聞こえる。

ヴァイオリン演奏の逆転音は探しにくいので，\音のファイル \第 3 章関係 \2. 弦鳴楽器 \ b. 擦弦（ヴァイオリン属）\図 3.57 \Stradivari \Joachim 逆転にも同じものを入れておいた。譜面は図 3.56。

コーヒーブレイク

発音体の振動の波長とその振動による音の波長は別モノ

媒質中を伝搬する波に関する「波長×基本周波数＝伝搬速度」という式における伝搬速度は発音体（弦の振動なら弦，マリンバなら木，管楽器なら管内の空気）を伝わる波の速度であって，発音体が空気でない場合は音として聞こえる「空気中を伝搬する音波」の伝搬速度ではないのである。

つまり，管楽器なら振動するのが空気なので，発音体の振動がすなわち伝搬媒質の振動となり

$$\text{波長 } \lambda_0 \times \text{基本周波数 } f_0 \ = \ \text{大気中の音速 } c \ (\approx 340\,\mathrm{m/s})$$

の関係が成立するが，弦楽器や膜鳴楽器，体鳴楽器などの場合は，発音体の振動と音として聞こえる空気振動に関して，その振動の基本周波数は共通であるが，波が伝わる媒質が異なるのである。弦振動の場合，波長として弦振動の波長を使うなら右辺は弦を伝わる横波の伝搬速度になる。基本周波数は弦振動の周波数スペクトルの調波構造の周波数間隔（通常は基本モードの周波数）で，その基本周波数での弦の振動がコマを経由して板を揺らし，それに接している空気はその動きに応じて圧縮伸長運動するので，空気振動（縦波）の基本周波数はそれに一致する。ところが弦振動としての横波の伝搬速度は，弦の横波が弦の上を進む速度であって，空気中を伝わる縦波の速度ではない。つまり，弦振動の場合

$$\text{波長 } \lambda_{0\mathrm{S}} \times \text{基本周波数 } f_0 \ = \ \text{弦を伝わる横波の速度 } v$$

となる。ここで波長 $\lambda_{0\mathrm{S}}$ は振動体を伝わる波の波長で弦振動の場合はスピーキングレングスの 2 倍になる。音として聞こえる波動に対して最初の式を想定するには，波長 λ_0 として空気中の縦波の波長を使わなければならない。気柱の振動であれば振動する発音体と音波の伝搬に関与する媒質がともに空気なので λ_0 と $\lambda_{0\mathrm{S}}$ を同一視できるが，弦振動による音の伝搬では発音体が弦で音波の伝搬媒質は大気なので，λ_0 と $\lambda_{0\mathrm{S}}$ が異なるのである。

（**2**） **縦波の波動方程式****　弦には横波が起きることによって縦波も起きることを，**図 E.78** で説明する。

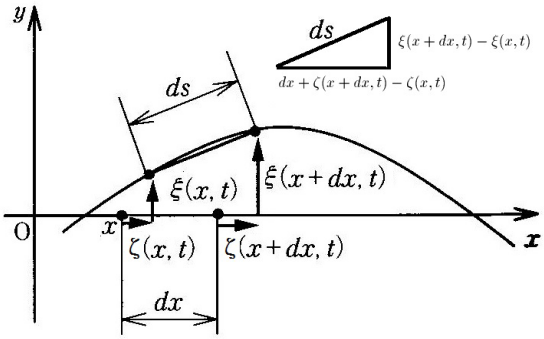


図 E.78　弦の長さ方向の伸び

両端が固定された弦を x 軸にとり，一方の端を原点 $x = 0$ とし，他端を $x = L$ とする。y 軸を横波の振動方向とし，平衡状態で位置 x にあった点が時刻 t で平衡位置から変位した y 座標を，前節と同じく $\xi = \xi(x,t)$ とし，長さ方向の縦振動によって位置 x にあった点が時刻 t で $\zeta = \zeta(x,t)$ に変位するとする。このようにすると，平衡状態で位置 (x,y) にあった点の時刻 t での長さ方向の変位量は $\zeta(x,t)$ となり，y 方向の変位量は $\xi(x,t)$ になる。

弦の線密度を μ，張力を T とすると，横波の方程式は式 (付.120) から

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{T}{\mu}\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \tag{付.133}$$

となる。弦の微小部分に働く長さ方向の力は dx 部分の左右の張力の差なので，$\frac{\partial T}{\partial x}dx$ となり，T が x と t の関数になると考えて，縦波の方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = \frac{1}{\mu}\frac{\partial T}{\partial x} \tag{付.134}$$

弦の位置 x，時刻 t での張力 T は，平衡状態での張力 T_0 よりも，弦の縦弾性係数 $E\times$ 断面積 A に伸長率 $\frac{ds-dx}{dx}$ をかけた値だけ大きくなるので

$$T = T_0 + EA\frac{ds - dx}{dx} \tag{付.135}$$

となる。一方，平衡状態で dx であった微小部分は図の ds となり，その長さは図 E.78 の右上の図から，三平方の定理によって

$$\begin{aligned}
ds &= \sqrt{\{dx + \zeta(x+dx,t) - \zeta(x,t)\}^2 + \{\xi(x+dx,t) - \xi(x,t)\}^2} \\
&= \sqrt{\left\{dx\left(1 + \frac{\zeta(x+dx,t) - \zeta(x,t)}{dx}\right)\right\}^2 + (dx)^2\left(\frac{\xi(x+dx,t) - \xi(x,t)}{dx}\right)^2} \\
&= dx\sqrt{\left(1 + \frac{\zeta(x+dx,t) - \zeta(x,t)}{dx}\right)^2 + \left(\frac{\xi(x+dx,t) - \xi(x,t)}{dx}\right)^2} \\
&\overset{\text{def}}{=} dx\sqrt{\left(1 + \frac{d\zeta}{dx}\right)^2 + \left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2} \\
&= dx\sqrt{1 + 2\frac{d\zeta}{dx} + \left(\frac{d\zeta}{dx}\right)^2 + \left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2} \\
&\approx dx\sqrt{1 + \left\{2\frac{d\zeta}{dx} + \left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2\right\} \cdots\cdots \left(\frac{d\zeta}{dx}\right)^2} \quad \text{is negligible small} \\
&\approx dx\left(1 + \frac{d\zeta}{dx} + \frac{1}{2}\left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2\right) \cdots \text{テイラー展開}: \left(\left\{2\frac{d\zeta}{dx} + \left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2\right\} << 1\right)
\end{aligned}$$

したがって

$$\frac{ds - dx}{dx} = \frac{d\zeta}{dx} + \frac{1}{2}\left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2$$

なので，これを式 (付.135) に入れると

$$T = T_0 + EA\left\{\frac{d\zeta}{dx} + \frac{1}{2}\left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2\right\} \tag{付.136}$$

したがって

$$\frac{\partial T}{\partial x} = EA\left\{\frac{\partial^2\zeta}{\partial x^2} + \frac{1}{2}\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2\right\} \tag{付.137}$$

これを式 (付.134) に入れると

$$\frac{\partial^2\zeta}{\partial t^2} = \frac{EA}{\mu}\frac{\partial^2\zeta}{\partial x^2} + \frac{EA}{2\mu}\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{d\xi}{dx}\right)^2 \tag{付.138}$$

となる。これが弦の縦波の波動方程式であるが，変数は軸方向の変位なので，これの右辺第 1 項は通常の縦波を表す項で，第 2 項が縦波との連成振動を表す項である。本文の 2.2.2 項 (3) で述べたように，ピアノの音の周波数成分の系列は弦の曲げ剛性により，非調和性あるいはインハーモニシティと呼ばれる性質を持つが，Bank らは，この第 2 項によりインハーモニシティの程度が小さい別の系列（2 次系列あるいは phantom partials と呼ばれる）が生じるとしている[67]。

E.3 膜 鳴 楽 器

E.3.1 奏法による膜鳴楽器の分類と代表的な楽器

膜鳴楽器は一般に「太鼓」と呼ばれるが，これは奏法によって分類すると，2.3.1 項に示したように，打奏，摘奏，擦奏，歌奏に分けられる。これは膜の励振方法による分類でもある。本節では，上記の 4 種の奏法をごく簡単に説明し，個別楽器の奏法については付録 F に譲る。

（1） 打奏太鼓 打奏は，手やバチなどを用いて叩くなどの動作（打奏）によって膜の一部に初速度を与えることで膜を自由振動させる奏法である。打奏太鼓は，打叩によって直接打奏される (struck directly) ものと，振る動作などにより「おもり」を膜面に当てて間接打奏させる (struck indirectly) ものとに分類されるが，発音原理に関して，直接打奏であるか間接打奏であるかはそれ程大きな違いを持たないので，以下の説明では特に区別しない。膜の励振で言うなら，打奏は平衡位置にある膜の一部（通常 1 カ所）を手や桴（枹あるいは小固体などによって叩いて強制的に変位させ，打叩と同時に解放するものである。打叩の方向は必ずしも膜に垂直とは限らない。

膜は空気と大きな面積で触れていることから効率良く音響放射されることはすでに述べたが，これは同時に膜が空気の振動に大きく影響されることを意味する。共鳴胴の有無や形状は膜の振動にも大きな影響を与え，楽器の振動は膜の振動モードと空気の振動モードが結合した連成振動系となる。共鳴胴はその

形状により「ケトル」あるいは「シェル」などと呼ばれる。

共鳴胴を持つ膜鳴楽器には，膜が 1 枚のみの場合と 2 枚の場合がある。膜が 2 枚ある場合には共鳴胴の中にある空気を介して 2 枚の膜の振動が結合した連成振動となる。膜が 1 枚の膜鳴楽器の例を**図 E.79** に示す。



団扇太鼓　ティンパニ　コンガ　ボンゴ　タブラ・バーヤ

図 E.79　単膜の膜鳴楽器

（a） 胴なし（枠のみ）1 枚膜

- 団扇太鼓

  胴がなく，枠に膜を張っただけのもの。日蓮宗などが使用。

（b） 胴あり 1 枚膜

- ティンパニ

  半球状のケトルを持ち，ケトルドラムとも。特定の音高感を出せる。ペダルで音高可変。数個セットで使う。ティンパニは，イタリア語ティンパノ（timpano：鼓膜）の複数形。

- コンガ

  アフリカ起源。長い樽型胴で底は細く絞られている。大きさが 3 段階あり，小さいほうからキント（quinto）, コンガ（conga），トゥンバドーラ（tumbadora）と呼ばれ，その 3 つから大きさが 1 段階異なる 2 つを一組にして使う。立って両手で叩く。胴の裏は開いており，キューバ系音楽に使用。

- ボンゴ

  アフリカ起源。短い胴で，座って両脚で挟み 2 音高（5 度音程が多い）を一対で，キューバ系音楽に使用する。径がやや小さく高い音を出すほう

をマチョ（macho），径の大きいほうをエンブラ hembra）と呼び，エンブラを利き手で叩く。胴の裏は開いている。

- タブラ・バーヤ

  短い胴で，座ってタブラ（tabā：音高用）を左手で，バーヤ（bāyā：低音用）を右手で使う。本来はインド音楽用。ティンパニと同様に胴の裏側は閉じている。

（c） **2　枚　膜**　　軽音楽に使われるドラムセット（**図 E.80**）に使われるドラム類は 2 枚膜（胴の両側に膜を張ったもの）のものが多い。

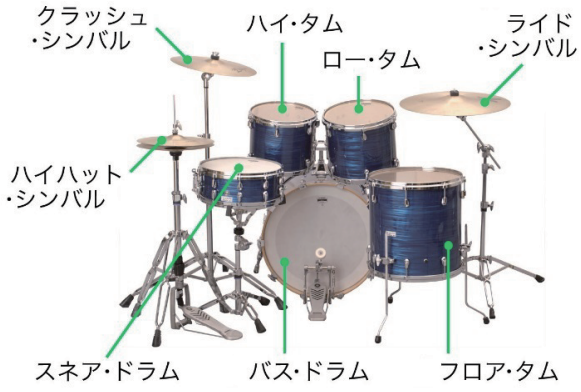


図 E.80　ドラムセットの例 (アルコ・ミュージック・スクールの HP より)

- スネアドラム（**図 E.81**(a)）

  径 13~14 インチ，深さ 3.5~6.5 インチ。スティック使用。裏膜に金属製のスネア（さわり線）が張られている。表皮を叩けば裏皮も振動してスネアに触れて膜の振動に金属性の音が混じる。図 E.81 のスネアドラムは裏側が見えるようにしてある。

- トムトム（図 E.81(b)）

  径 8~17 インチの 8 サイズの中から隣接 2〜3 サイズを組にして使う。タムとも呼ばれる。単膜のものもある。ティンバールで代用可。



(a)　(b)　(c)　(d)

図 E.81　ドラムセットの中の 2 枚膜の膜鳴楽器 4 種。左から：(a) スネアドラムの裏側（“Rogers”社），(b) トムトム（タム，“Drum Works”社），(c) フロアタム（“Drum Works”社），(d) バスドラム（”Pearl”社）

- フロアタム（フロアトム）（図 E.81(c)）

  床置き型のトムトムで，スルド（ブラジル音楽用）で代用可能なので，ブラジルではフロアタムをスルドと称する場合があるが，サンバで用いるスルドはドラムセットのフロアタムとは別の楽器である。

- バスドラム（図 E.81(d)）

  右足でペダル操作によってマレットで打叩する。径 20~26 インチ，深さ 14~16 インチ程度のものが多い。

(d) 邦楽器の膜鳴楽器

- 和太鼓（**図 E.82**(a)）

  紐で膜の張りの強さを変えられる締め太鼓と製造段階で張りが鋲で固定される鋲留め太鼓に分かれる。



(a)　(b)　(c)　(d)

図 E.82　和楽器の膜鳴楽器。(a) 和太鼓（鋲留め），(b) 小鼓（締め太鼓），(c) 鋲留め平太鼓，(d) 平締め太鼓

- 鼓（図 E.82(b)）

  胴の細い締め太鼓であるが，締める強さを変えて音高を変えるという特徴をもつ。高音用の大鼓（胴口径約 11cm）と低音用の小鼓（約 10cm）がある。なぜか，口径の大小が，音高の高低と逆にしてある。

（2） 摘奏太鼓　膜に紐の一端を取り付け，取り付けた紐を引っ張っておいて弾くことにより紐を振動させ，膜を振動させる。膜は紐の振動によって駆動され振動する。紐を張る力を変えて高さを変えることができる。紐を発音体と考えれば弦鳴楽器であるが，音になっているのは膜の振動なので，弦鳴とは考えにくい。紐が励振体，膜が発音体でその振動が空気振動に変えられると考える方が自然で，それなら膜鳴楽器ということになる。ホルンボステルとザックスによる分類では摘奏太鼓は弦鳴楽器とされていたが，ここでは上の考察と「太鼓」という分類名称から紐（弦）は膜を振動させる励振体で，音になる振動の主体は膜であると解釈し，膜鳴楽器に入れておく。

膜の張力と面密度（単位面積あたりの重量）ならびに紐の張力と線密度（単位長あたりの重量）などによって膜の振動周波数や音色が変わるが，音色は紐を膜のどこに付けるかによっても変わる。摘奏太鼓の例としては，インドのカマク，バングラデシュのエクターラ（イクタラ，エクタラなどとも）などがある。**図 E.83** の左にカマク，右にエクターラを示す。



図 E.83　左：カマク，右：エクターラ

カマクは底に皮の幕を張った胴を左脇に抱えて，紐を胴から引き出してその先に付けた金属の取っ手を左手で引っ張っておき，右手に持ったプレクトラムで紐をはじくもの。紐を引っ張る力を変えて高さを変える。

エクターラは植物の球形の実の殻や木で作った胴の底に張った膜に一端を貼り付けた紐を入口から引き出して他端を 2 本の竹の腕で支持した形のネックに

引っ張ってペグで止めておき，2 本の竹を左手で握って紐の張りの強さを調整して高さをコントロールすることによって音高を変え，右手で紐をはじいて音を出す。

（3） **擦 奏 太 鼓**　擦奏は，摩擦により持続音を発生させる奏法であり，膜に取り付けられている棒や紐を摩擦するものと，膜自体を直接摩擦するものとがある。擦奏用の太鼓は摩擦ドラム（friction drum）とも呼ばれ，打奏太鼓や摘奏太鼓の音が減衰するだけなのに対し，擦奏太鼓では摩擦を続ける限り音が持続する。

なお，コンガのグリッサンド奏法のように，打奏を基本とする楽器であっても，摩擦により発音させる擦奏を用いる場合もある。膜に取り付けた紐や棒を湿らせた（あるいは松ヤニを付けた）手で緩く握って滑らせながら引っ張ることによってほぼ周期的な stick and slip 状態を起こして膜の 1 カ所をほぼ周期的に強制変位させるものが多い。「通常は打奏される膜」を擦る場合は，湿らせた指などで膜を直接擦（こす）って，膜との間で stick and slip を生じさせて，その垂直成分を励振とする。

（a） **打奏用ドラムの擦奏**　通常は打叩によって音を出すドラムの皮面を指先などで擦って音を出す。

（b） **摩擦ドラム**　もっぱら摩擦ドラムとして使用することを想定して作られたもの。多くはドラム内側の膜面に棒あるいはヒモが付けられており，それを湿らせた手あるいは松ヤニを付けた手で握って stick and slip で膜を振動させながら引く。



図 E.84　クイーカ

・クイーカ（図 E.84）

胴付き 1 枚膜の太鼓の膜の胴側中央付近に膜に垂直に細い握り棒を取り付け，それを軽く握って滑らせながら引き，stick and slip を起こすことによって膜を振動させる。

・ライオンズロアー

皮面を上にしてクイーカを高いところから吊し，棒の代わりに長い紐を付けたようなもの。ライオンの吠え声のような音が出ることからこの名称が付けられた。ドイツ語ではベーレンブルンメン（Bärenbrummen：クマのうなり声）あるいはブルントップ（Brummtopf：うなりバケツ）。片手だけで発音可能で，両手を交互に使えば長い音を連続で生じさせることが可能。

（4） 歌奏太鼓 歌奏は，声や唇による空気の振動によって膜を振動させる奏法である。膜が張られているものという意味ではここまでに説明した太鼓と同じ構造を持つが，膜は声による空気振動によって強制的に振動させられるので，膜の張り方としては必ずしも張力を必要としない。普通の意味での太鼓（打奏太鼓）のイメージとはかけ離れているが，膜が発音体として使われているので膜鳴楽器に分類される。

- **カズー** (Kazoo)（**図 E.85** 上）

  筒の途中に穴が開けられており，その穴には膜が張られている。他の膜鳴楽器と異なり，膜には張力がかけられておらず，膜の周辺に空間をあけておいて膜の周辺を上下から挟み，空間中で膜はある程度自由に動



図 E.85 歌奏太鼓 2 種。上：カズー，声の吹込口は右側，下：ユーナックフルート，声の吹込口は管中央の孔

ける状態にしてある。声による空気の圧力変動（音圧）が膜を振動させる駆動力となる。膜は周辺の固定部に衝突しながら振動し，衝突時には膜には鋭いパルス状の加速度が発生するため，声の波形に同期した広帯域のパルス音を発生する。これは声をひずませる役目を果たす。

- **ユーナックフルート** (Eunuch Flute)（図 E.85 下）

  構造は，管の一方の端に取り付けた中空の球に孔をたくさん開け，それぞれの内側に薄い膜を張力をかけずに張ったもので，管の他方の端は少し広がり気味になっている。歌口は球から少し離れた管壁に開けてあり，そこへリップリード楽器のように唇を震わせて振動する気流音を入れると，球の薄い膜が震えてひずんだような音が出る。音高は唇の振動の速さで変えられる。声を入れてもそれが変歪された音が出る。一種のおもちゃであるが，フルートのように横に構えて持つ。音は，コーム・ミュージック（櫛の歯を上に向けて紙を折って掛け，リップリードで歌う）の音とよく似ている。“eunuch”は「去勢された男」，昔の中国の「宦官（かんがん）」の意。球の形から玉葱（ねぎ）フルート (onion flute) とも呼ばれる。

E.3.2　膜 の 振 動**

（**1**） **式の形の上での説明** **　膜の振動の場合，それを表す方程式は，膜の張力による平衡位置への復元力と膜の動きによる慣性力が釣り合うことから導かれるが，その導出は E.3.3 項に回し，ここでは見通しをよくするために先に結果の式を示す。

平面的に張られた膜の一部が打叩によって強制的に変形を受けて変位し，以後，膜の張力による平衡位置への復元力とそれによって生じる膜の動きの慣性力によって膜は振動するが，膜上の座標点 (x, y) の時刻 t での平衡位置からの変位 $\xi(x, y, t)$ は，ξ の位置に関する 2 階偏微分をベクトル演算の書き方で $\nabla^2\xi$ で表すと，次式で表される。

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} = c^2\nabla^2\xi \qquad \text{(付.139)}$$

これは 変数が ξ になっているが，式 (付.60) と同じ形なので，弦を伝わる横波のように空間が 1 次元座標で表せる場合には，式 (付.67) あるいは式 (付.122) と同じ形になる。∇（「ナブラ」と読む）は空間微分で，1 次元の場合は $\dfrac{\partial}{\partial x}$ で，∇^2 は 2 階微分で $\nabla^2 = \dfrac{\partial^2}{\partial x^2}$ であるが，2 次元では $\boldsymbol{i}$，$\boldsymbol{j}$ をそれぞれ x, y 軸方向の単位列ベクトルとすると

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x}\boldsymbol{i} + \frac{\partial}{\partial y}\boldsymbol{j} = \left[\begin{array}{cc} \dfrac{\partial}{\partial x} & \dfrac{\partial}{\partial y} \end{array}\right]^{\mathrm{T}} \tag{付.140}$$

で，2 階空間微分はベクトル記法で Δ（ラプラシアン）によって表現されることもある（微小部分を表す Δ と紛らわしいので注意）。空間が 2 次元直角座標の場合，2 階空間微分（∇^2）は次のようになる。

$$\nabla^2 = \nabla^{\mathrm{T}}\nabla = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \tag{付.141}$$

張られた膜の上の 1 点を叩く場合の膜の振動を表すには，無限に広い膜の上での振動の対称性を考えれば，打叩点を原点とする 2 次元極座標を使う方が現象を記述しやすいことは明らかである。2 次元極座標の場合，座標変換

$$x = r\cos\theta, \quad y = r\sin\theta \tag{付.142}$$

あるいは逆に

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \theta = \tan^{-1}\frac{y}{x} \tag{付.143}$$

より，∇^2 は次のようになる（式 (付.65) では Δ として示した）。

$$\nabla^2 = \Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \tag{付.144}$$

したがって，2 次元での波動方程式は，E.3.3 項で説明するように，通常のデカルト座標（直角座標）では式 (付.149) の形であるが，2 次元極座標では次のようになる（この式は，後に式 (付.153) としても出てくる。）。

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} = c^2\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \theta^2}\right)\xi \tag{付.145}$$

（**2**） **励振と境界条件**　膜鳴楽器の発音はほとんどの場合，平衡位置にある膜に対する手あるいは桴（ばち）による打奏によって行われる。打奏の初期条件は，膜はすべての点において平衡位置から始まり，膜上のどこか 1 点（ないしは 1 点で近似できる狭い領域）を硬い桴あるいはやわらかい手などで打叩することによって，膜上の打叩点に初速度を与えるということになる。周囲の枠への膜の留め方には鋲留めや緒締めなどがあり，いずれの方法でも厳密には張力を完全に均一にすることができないが，解析では簡単化のために通常，張力の均一性を仮定する。

膜が無限大の広さをもつなら，打叩による振動の横波は打叩点を中心として円形に広がるが，周囲の留め枠に到達すると位相反転して反射するので，膜の形・広さ・張力に依存した固有振動モードがあり，どこを打叩するかによって，各固有振動モードの相対的な大きさが決まる。また，固有振動モードによって減衰の速さが異なり，打叩以後の時間経過に従って固有振動の相対的な大きさが変わっていくので，音色が変わっていく。膜振動の固有周波数は一般には特定の周波数の整数倍になっていないので，通常はピッチ感が乏しいが，胴の形や膜の張り方を調整することによって，固有周波数を特定の周波数の整数倍に近い周波数に持って行ってピッチ感を持たせることがある。

膜鳴楽器に対する打奏以外の奏法として，膜に取り付けた紐を指やピックなどではじく摘奏と，膜に取り付けた紐や棒を握って摩擦で引っかけながら滑らせるとか膜を叩く代わりに湿らせた指で膜を擦るなどによる擦奏がある。**摘奏**では，膜に取り付けた紐（弦）をはじくことによる弦の振動が膜を励振する。弦の主たる振動である横波の振動方向は膜を振動させる方向と垂直であるが，弦の弾性によって横波の振れによる長さ方向の不足分によって膜は弦の振動に同期して引っ張られると考えられる。摘奏の場合の初期条件は，紐の取り付け部で紐によって膜が平衡位置から少し引っ張られた状態で，撥弦によって弦が緩んで膜がその張力によって平衡位置へ戻ろうとする状態から始まる。**擦奏**では平衡位置にある膜上の擦る点を，擦る方向への stick and slip によって擦奏動作中断続的に膜を励振する。この stick and slip は膜に垂直な成分ももつので，

それが膜の励振になる。初期条件としては，平衡位置にある膜に対して，擦奏開始時点から，stick and slip によるほぼ周期的な強制変位が励振として働くことになる。

E.3.3　膜鳴楽器の物理**

（1）　波動方程式の導出

（a）　湾曲した膜にかかる復元力　　**図 E.86** に示すように均一な張力 T のかかった膜上の座標点 (x, y) が膜の法線方向に ξ で表される高さに変位している場合を考える。ξ は時間 t の関数でもあるので $\xi(x, y, t)$ で表しておく。このとき膜の微小部分にかかる鉛直方向の力を考える。まず x 軸に沿った湾曲について考えると，図に示すように微小部分は右側から斜め上に張力 T で引かれるとともに，左側からは斜め下に張力 T で引かれている。このとき微小部分にかかる x 方向の湾曲に起因する鉛直方向の力 F_x は

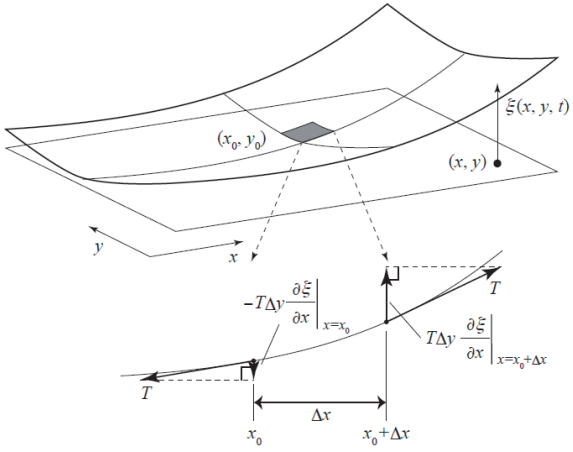


図 E.86　理想膜の微小領域に働く力

$$\begin{aligned} F_x =& T\Delta y \left.\frac{\partial \xi}{\partial x}\right|_{x=x_0+\Delta x} - T\Delta y \left.\frac{\partial \xi}{\partial x}\right|_{x=x_0} \\ =& T\Delta y \left(\left.\frac{\partial \xi}{\partial x}\right|_{x=x_0} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}\Delta x \right) - T\Delta y \left.\frac{\partial \xi}{\partial x}\right|_{x=x_0} \\ =& T\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2}\Delta x \Delta y \end{aligned} \tag{付.146}$$

もしも膜が湾曲していなければ，カッコ内の第 2 項は 0 となり左側と右側の力は釣り合うことになるが，図のように下に凸の場合には上向きの復元力が働く。y 軸に沿った湾曲についても考慮すると，結局微小部分にかかる復元力の合計は

$$F = F_x + F_y = T\left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} \right) \Delta x \Delta y \tag{付.147}$$

となり，張力と曲率に比例する。

（**b**） **慣性力との釣り合い**　膜の単位面積あたりの質量 (面密度) を ρ とすれば，慣性力と前述の復元力が釣り合うので

$$T\left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} \right) \Delta x \Delta y = \rho \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \Delta x \Delta y \tag{付.148}$$

が成り立つ。微小区間を無限小とする極限をとり，$c = \sqrt{\dfrac{T}{\rho}}$ と書けば

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \xi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \tag{付.149}$$

となる。これは 2 次元座標系における波動方程式である。

（**2**） **波動方程式の解**

（**a**） **平　面　波**　簡単のため，まず膜の周囲に境界はなく無限の広がりを持つと仮定する。y 方向に一様な変位 (平面波) を仮定すると式 (付.149)　で表される波動方程式のうち，y 方向に関する微分値は 0 になり

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \tag{付.150}$$

となる。これは，弦振動と同じ 1 次元の波動方程式である。すなわち平面波は弦振動と同じように，任意の波形が x の正方向および負方向に一定の速度で伝搬するという解を持ち

$$\xi(x,y,t) = f_{\mathrm{F}}(x-ct) + f_{\mathrm{B}}(x+ct) \tag{付.151}$$

と書ける。$f_{\mathrm{F}}(x)$，$f_{\mathrm{B}}(x)$ はそれぞれ，x 軸に沿って正方向，負方向に伝搬する波動の波形を表す関数である。

極座標表示

y に一様な変位という仮定は外し，ある 1 点の近傍に軸対称に力を加える場合は，加振点を中心に軸対称な場となる。これは，打奏太鼓においては自然な仮定であろう。また，多くの膜鳴楽器に見られるように膜の周囲が円形の枠で固定されている場合は，極座標表示を用いるのが便利である。

$$x = r\cos\theta,\ y = r\sin\theta \tag{付.152}$$

の関係を用いて，式 (付.149) を極座標に変換すると

$$\left(\frac{\partial^2\xi}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\xi}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\xi}{\partial\theta^2}\right) = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} \tag{付.153}$$

のように，2 次元波動方程式の極座標表示が得られる。この一般解を時間の関数の形で求めるのはなかなか難しいので，ここでは単一の周波数成分のみをもつ正弦波駆動による応答を考える。ただし，フーリエ変換を用いれば任意の時間波形は正弦波の足し合わせで表現できるので，正弦波駆動の応答を考えれば任意波形駆動の解も求められる。正弦波駆動では

$$\xi(r,\theta,t) = R(r)\Phi(\theta)\exp(j\omega t) \tag{付.154}$$

を解として仮定すると，θ が方位角であることを考えると，$\Phi(\theta)$ は方位（水平方向の角度）に関して整数倍すると 360 度になる角度を周期とする角周期関数であるべきで

$$\Phi(\theta) = A\exp(jm\theta) \qquad m\text{: 整数} \tag{付.155}$$

と表すことができる。m は周方向の次数であり，$\Phi(\theta)$ が一周を何周期とする形状であるかを表す。式 (付.155) を式 (付.154) に入れて，その ξ を式 (付.153) に代入すると

$$\frac{d^2R}{dr^2}+\frac{1}{r}\frac{dR}{dr}+\left(\frac{\omega^2}{c^2}-\frac{m^2}{r^2}\right)R=0 \tag{付.156}$$

$$\frac{d^2\Phi}{d\theta^2}+m^2\Phi=0 \tag{付.157}$$

が得られる。式 (付.156) は未知関数を $f(z)$ としたベッセル型の微分方程式の形

$$\frac{d^2f(z)}{dz^2}+P(z)\frac{df(z)}{dz}+Q(z)\,f(z)=0$$

をしており，その解は m 次のハンケル関数（円筒関数）を用いて

$$R(r)=H_m^{(1)}(kr)+H_m^{(2)}(kr) \tag{付.158}$$

と与えられる。ただし，k は波数 ($k=\omega/c$) である。ハンケル関数は第 III 種ベッセル関数とも呼ばれ，第 I 種ベッセル関数 J_m および第 II 種ベッセル関数 Y_m の線形結合として

$$\begin{aligned}H_m^{(1)}(x)&=J_m(x)+jY_m(x)\\ H_m^{(2)}(x)&=J_m(x)-jY_m(x)\end{aligned} \tag{付.159}$$

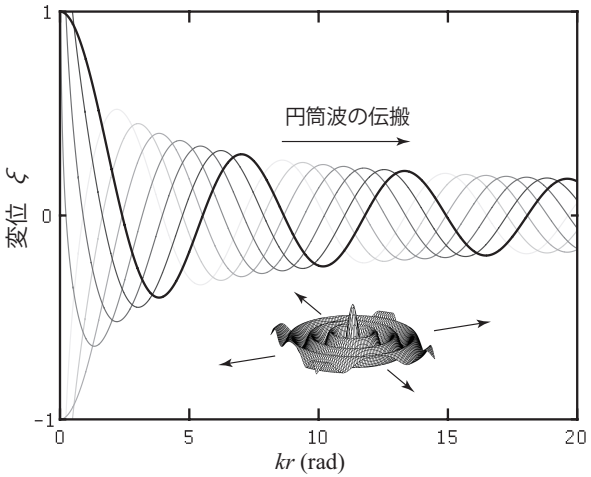


図 E.87　円筒波の伝搬

のように定義される。これらは，それぞれ原点に向かって内側に，あるいは原点から外側に伝搬していく波動に相当する。特に，無限に広い理想膜のある点の近傍を軸対称に振動させた場合，$m = 0$ となり，**図 E.87** のように振幅が減衰しながら外向きに伝搬する円筒波となる。

（b） 円形膜の固有モード　2.3.4 項「膜鳴楽器の物理」(1) で概念的に説明したが，膜の周囲が半径 a の円形境界で固定されているときの固有振動は，境界条件 $R(a) = 0$ を満たすものとなる。すなわち式 (付.159)　の第一項である第 I 種ベッセル関数 J_m のうち，$J_m(ka) = 0$ を満たす波数 $k(= \omega/c)$ を与える角周波数 ω により固有周波数が決まる。第 I 種ベッセル関数を次数 $m = 0$ から $m = 6$ まで求めたものを**図 E.88** に示す。関数の値が 0 になる kr がちょうど円形境界に一致するとき境界条件を満たしていることになる。また，境界条件を満たすように求めた円形膜の固有モードの例を**図 E.89** に示す。次数 m が大きくなるほど，振動分布が外周に寄っているのがわかる。

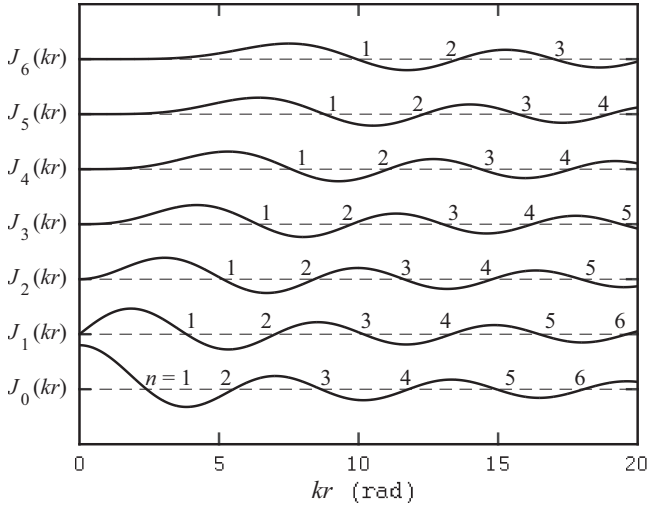


図 E.88　第 I 種ベッセル関数 J_m の概形

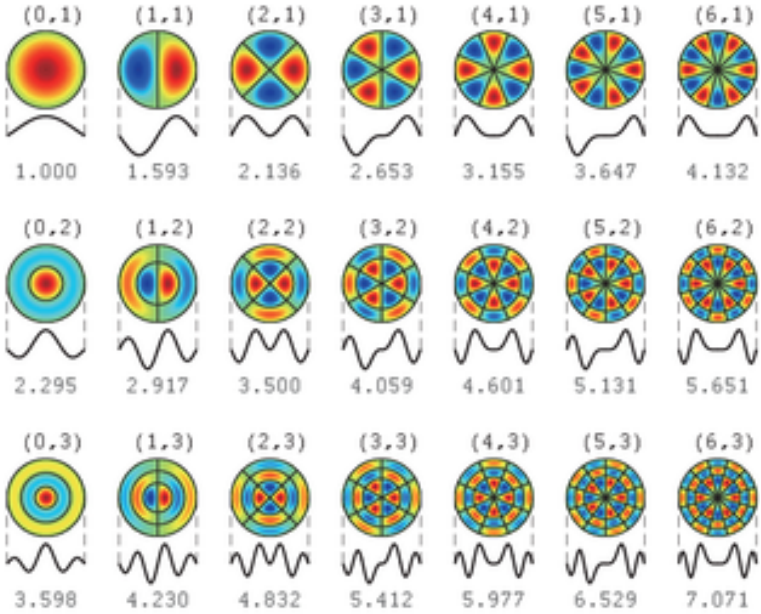


図 E.89　理想膜の固有モード形状　括弧内はモード次数 (m,n)，下の数字は (0,1) モードの固有周波数を基準としたときの固有周波数比，円形膜の下のグラフは直径上の振幅分布

E.4 体 鳴 楽 器

E.4.1 多様な素材・形状・奏法

体鳴楽器は，膜や弦を用いるのではなく楽器そのものが振動して空気振動を起こす楽器で，打楽器と呼ばれるものの中で膜鳴楽器以外のものがほぼこれにあたる。

（**1**） **音高感による分類**　　体鳴楽器は，特定の音高を感じさせる「定音高（**定ピッチ**）楽器」と，音高が不明瞭な，あるいは音高を感じさせることを意図したものでない「**不定ピッチ**楽器」がある。

（a） **定ピッチ楽器：マリンバ，チェレスタなど**　**定ピッチ**の体鳴楽器としては，マリンバ，グロッケンシュピール，ヴィブラフォン，チェレスタ，親指ピアノ（サンザ，イリンバなど），ハンドベル，編鐘（図 F.10(d)）などがある。

ほとんどの定ピッチ体鳴楽器は発音体が音高ごとに用意されているが，**スティールパン**（図 F.10(a)）のように定ピッチの体鳴楽器でも，発音体は単一の連続体で，打叩位置を音高によって離散化したものもある。発音体が単一の場合は，このように励振位置を離散化したものを除いて，音階音を作りにくいことから，ほぼ必然的に不定ピッチになり，通常は旋律楽器になりにくいが，ミュージカル・ソー（図 F.10(b)）は単一の発音体で奏者が音高を変えることができるので，旋律楽器になり得る。ただし，とり得る音高は連続的なので，適切な音高を取るためには発音前に音高を調整せざるを得ず，無音状態から適切な音高を突然立ち上げるのには相当の熟練を要する。**フレクサトーン**は振ってマレットを鋼板に当てるので，打叩時点をコントロールしにくいので，高さは変えられるが旋律を奏するのには適さない。このことから，定ピッチの体鳴楽器は，スティールパンやミュージカル・ソー等を除いて，ほとんどの場合，奏法に関わらず発音体が音高別に用意される。

（b） **不定ピッチ楽器：カスタネットなど**　**不定ピッチ**のものとしては，シンバル，トライアングル，カスタネット，銅鑼，クラッパー，カウベル（牛鈴），マラカス（maraca は瓢箪の意．中に入れる種の大きさで高低 1 対）などがある。

（2） **発音体の素材による分類**　発音体の素材，楽器の形状，奏法などが多種多様で，いろいろな分類方法が可能である。発音体の**素材**としては，木，金属，石，ガラス，植物の実や種などがある。

（a） **木：**　マリンバ，カスタネットなど
（b） **金　　属：**　ヴィブラフォン，ミュージカル・ソーなど
（c） **石：**　編磬など

（d） **ガ ラ ス：**　グラスハープなど

（e） **植物の種：**　マラカスなど

（3） **発音体の形状による分類**　**形状**で分類すると，棒または管状のもの，板状のもの（平面，浅い皿状），箱状のもの，つりがね状など，実に多様である。

例えば，**棒状**のものでは拍子木，チューブラーベル，トライアングルなど，**板状**のものではマリンバ，チェレスタなど，**皿状**のものではシンバル，スチールパンなどがある。**箱型**のものでは，最近はカホンがよく話題に上る。これは語源的にはスペイン語のカハ（箱）に由来する「大きな箱」の意であるが，孔をあけた空箱（通常は木製）の上にまたがったり，両脚に挟んだりしてその1面を手で叩いて発音する。**つりがね状**のものでは，内部に舌（【英】tongue）をもつハンドベル，チャーチベルなどの各種の鈴や外部から撞木で撞く梵鐘などがある。変わり種として，水滴が水面に衝突したときの音を利用する水琴窟も一種の楽器といえよう。これは日本庭園などに設置されるもので，演奏によって発音するのではない。風で音が出るエオリアンハープのように，自然現象によって音が出るものなので，楽器というよりは「音具」であるが，楽器とみなして発音体で分類するなら，水や空気を発音体とした体鳴楽器と言える。

（a） **直　　棒：**　チューブラーベルなど

（b） **曲　　棒：**　トライアングルなど

（c） **板　　状：**　マリンバ，チェレスタなど

（d） **皿　　状：**　シンバル，スティールパンなど

（e） **箱　　状：**　カホンなど

（f） **釣 鐘 状：**　ハンドベル，編鐘など

（4） **奏法による分類**　**奏法**に着目すると，素手やマレットなどで叩くもの，手に持って振るもの，楽器どうしを打ち合わせるもの，指ではじくもの，鍵盤をもつものなどに分類できる。指ではじく体鳴楽器としては，共鳴箱に取り付けられた数本の金属片あるいは竹片などを指ではじくサンザまたはイリン

バあるいはカリンバ，ムビラなどと呼ばれる親指ピアノの類，竹や金属の枠に一端を固定した板ばねのような板を付けて，口にくわえて板を指などではじいて振動させ，口腔の形を変えることによって音を変化させる口琴の類がある。

鍵盤機構を持つ体鳴楽器としてチェレスタ（別名：鍵盤グロッケンシュピール）がある。チェレスタの鍵盤機構による打叩は，通常はピアノと逆にハンマーが上から金属片を叩くが，これは木琴や鉄琴を手で叩くときに上から叩くことからの自然な模倣的動作であるが，ハンマー（マレット）の 2 度打ちを防ぐためには，グランドピアノと同じように下から叩くほうが合理的なので，10 年ほど前に下から叩くタイプがヤマハから発売された。チェレスタ単独のための曲はほとんどないが，最近は「ハリー・ポッターの不思議な世界」がチェレスタを使った曲として TV でよく流れている。

鞭（むち）を模した音が楽曲中で使われることがあり，例えば日本では 1964 年の NHK 大河ドラマ「赤穂浪士」での芥川也寸志作曲のテーマ音楽や，1959 年から米 CBS 系で制作され日米同時期にＴＶ放映された「ローハイド」のテーマ曲などがある。鞭の音には slap stick という，2 枚の木の板を打ち合わせる楽器が使われることが多い。これは，打ち合わせたときに生じる木の板の振動音と，それらの間に挟まれた空気が急激に逃げることによる衝撃音が生じるが，板の振動音に着目するなら打奏体鳴楽器と分類することができる。なお，slap stick ではない鞭（ウイップ）については，その先端が空気を切る風切り音（カルマン渦などによる）に着目し，ホルンボステル＝ザックス分類では自由気鳴楽器の例として挙げられている。

E.4.2 発音体とその振動

（1） まっすぐな棒の振動 まっすぐな棒の形をした体鳴楽器には，ウィンドチャイム，チューブラーベルなどがある。管の中身が空である場合は厳密には棒とは異なるが，共通する性質も多いのでここでは区別しない。棒の振動モードの種類には，曲げ振動，伸び振動，ねじり振動などがある。棒の曲げ振動は，見た目が弦の振動に似ているがそのメカニズムには大きな違いがある。

弦の振動では弦そのものの弾性（ばねのような性質）による効果は小さく，張力による復元力が支配的であったのに対して，棒はそれ自体の持つ弾性による「曲げに対する復元力（**図 E.90**）」で振動する。同じ材質の棒であれば太いほど復元力が大きい。これは，太い針金と細い針金を手で曲げてみればすぐに確かめることができる。

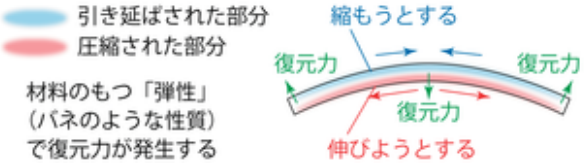


図 E.90　弾性棒を曲げたときに生じる復元力

棒を叩いた時に起きる振動すなわち打叩音の周波数は，棒の長さあたりの重さと曲げに対する復元力によって決まり，棒が重いほど低く，復元力が大きいほど高くなる。同じ材質の棒を考えると，棒が太い場合は長さあたりの重さが重くなるので，重さの効果は周波数を低くする方向になるが，棒の曲げに対する復元力については太さによる効果のほうが重さの効果よりも大きいので，太さの効果は周波数を高くする方向に働く。非常に細長い棒においては，太さが等しければ振動の周波数は長さの 2 乗に反比例し，長さが等しければ周波数は太さに比例する。ただし，実際の楽器においては十分に細長いとはみなせないことが多く，正確にこのとおりになるわけではない。ここで振動の周波数という表現をしたが，棒を叩いた時に起きる振動の周波数は 1 つではなく，色々な周波数を持つたくさんの振動モード（**図 E.91**）が一度に起きる。このときのたくさんの振動から起きるそれぞれの音の成分は部分音 (partials) と呼ばれる。

弦楽器の場合には部分音の周波数は簡単な整数比となりピッチ感のはっきりした音になるが，棒の場合には部分音が簡単な整数比にはならないことから，弦楽器ほどピッチ感のはっきりした音にはならない。

ただしマリンバなど，はっきりとしたピッチ感を必要とする楽器では，**図 E.92** のように音板の厚みに場所による変化をもたせることによって，部分音の周波数が簡単な整数比に近くなるように調整する。

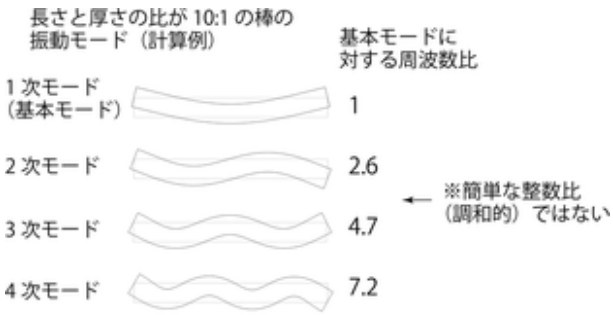


図 E.91 棒の振動モードの例

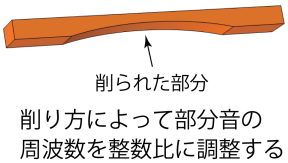


図 E.92 部分音の調整

（2） **曲がった棒の振動** 棒を輪切りにしたときの断面（横断面）が正方形や円形など，ある種の対称性を持つ場合，**図 E.93** に示すような垂直方向の振動と水平方向の振動は周波数も等しく，まったく同じ種類の振動モードの組になり，これを縮退モードと呼ぶ。しかし，縦と横の寸法のずれや，棒が少し曲がっているなど，対称性が少しだけ崩れると，これらの振動モードの組は周波数がずれることになる。すると周波数が少しだけ異なる音が同時に発生し，音が周期的に大きくなったり小さくなったりを繰り返す，「うなり」と呼ばれる

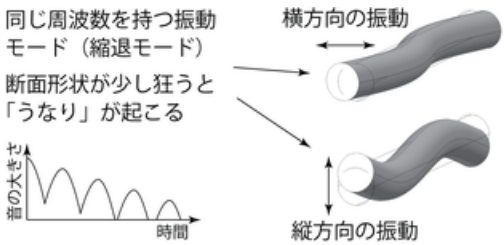


図 E.93 曲がった棒の縦方向の振動と横方向の振動

現象が発生する。このような「うなり」は，棒に限らず，対称な形状を持つ板やつりがね（ベル）形の打楽器にも多く見られ，音に広がり感やうるおいを与えるなどの効果がある。

断面が円形の棒は真っ直ぐであれば上で述べたように同じ周波数を持つ複数のモードが一組になって 1 つのモードに縮退するが，棒を曲げると振動の方向によって周波数が大きく変わる。**図 E.94** は断面が円の棒を少しずつ曲げた時の振動モードの周波数変化を表す。グラフ中で実線は横方向に振動する振動モード，破線は縦方向に振動する振動モードの周波数を示している。棒の中心で棒を曲げると，もともと同じであった周波数が，1 次モードと 3 次モードにおいて離れていくことがわかる。

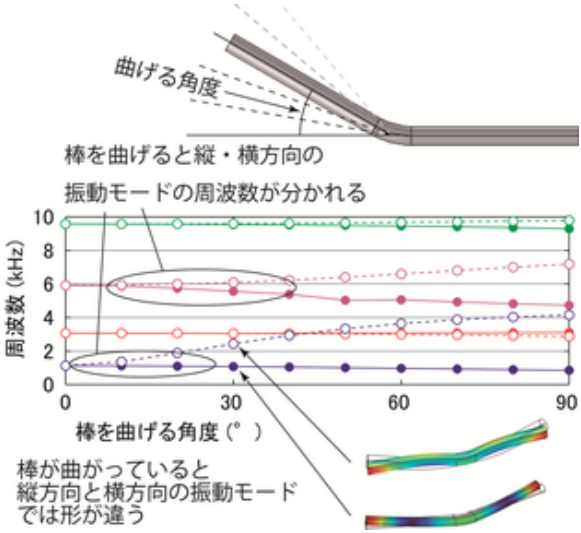


図 E.94　曲がった棒の振動モード

この例では，特に縦方向の 1 次モードの固有周波数が顕著に高くなり，曲げる角度が 40 度を超えるあたりから，2 次モードの固有周波数を追い越してしまっている。ここで示したように，棒の振動において棒を途中で曲げると，まっすぐな棒とは振動の様子が変わることがわかる。棒を 2 か所で曲げて正三角形を作るとトライアングルの形になる。

トライアングル　トライアングルはオーケストラなどでもしばしば使用されるが，他の楽器の音が消えた静かな状態で適切なタイミングと繊細な音色を要求されることが多く，恐らく多くの人が抱いているであろうイメージとは裏腹に，なかなか奥が深く，簡単な楽器とはいえない。トライアングルに限らず，多くの打楽器は演奏において，バチの種類，叩く場所，叩く角度などを変えることによって，音色を選択的に使用することができる。**図 E.95** の上部には，トライアングルを叩いた時に生じるさまざまな振動モードのうち，8 種類を抜粋して示す。

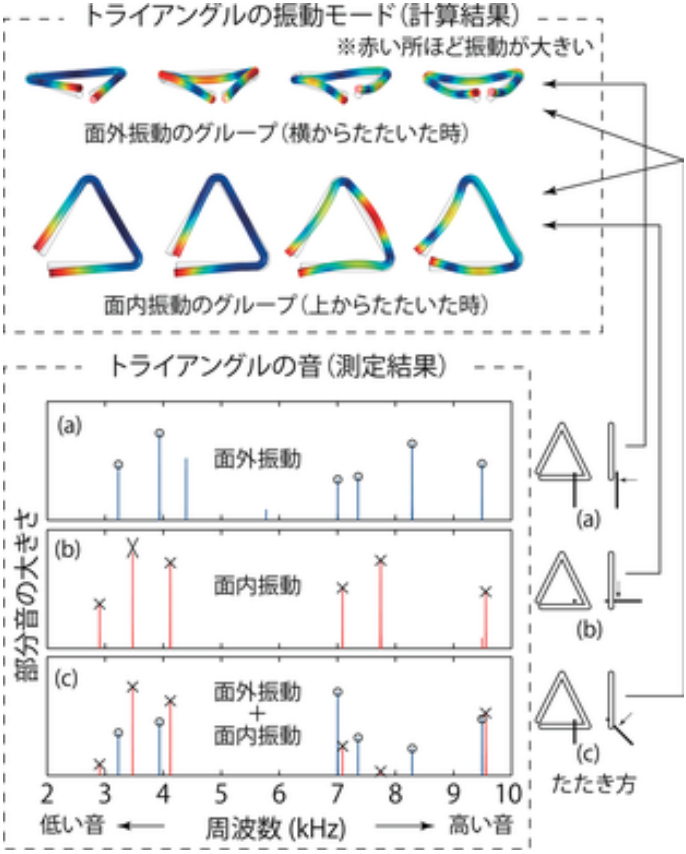


図 E.95　トライアングルの振動モード

ここで，青い部分は振動が小さいこと（振動の節），赤い部分は振動の大きさが大きいこと（振動の腹）を表す。叩く場所が振動の腹になっている場合，その振動モードは発生し，反対に振動の節になっているとその振動モードは発生しない。叩く場所を変えるとそれぞれの振動モードに対応する部分音の重なり方が異なるので音色が異なる。トライアングルにおいて，振動モードは大きく 2 つのグループに分けることができる。1 つは振動のおもな方向が三角形を含む平面に対してほぼ垂直になっている面外振動，もう 1 つは振動の方向が同じ平面に対して平行になっている面内振動である。

これらのうち，面外振動はトライアングルを (a) のように平面に対して垂直に叩く場合，反対に面内振動は (b) のように平面に対して平行に叩く場合に，それぞれ発生する。これらの振動モードの周波数はたがいに異なるため，(a) と (b) の叩き方では異なる音になる。また，(c) のように斜めに叩くと，面内と面外の両方のグループが発生することから，両方の音が混ざり合う。右下のグラフは実際にトライアングルを (a)〜(c) の 3 種類の叩き方で鳴らして，音を分析したもので，(a) と (b) では面外もしくは面内の振動だけが発生するため，部分音の数が少ないのに対して，(c) の叩き方では両方の振動モードが同時に発生し，部分音の数も多くなる。実際の演奏では，叩く場所や角度を変えながら望ましい音が鳴る叩き方を試行錯誤で探すことになる。

（3） 板（平板，皿状，つりがね状）の振動　板の振動は膜の振動と似ているが，周囲が固定されていないこと，変形に対する復元力が張力ではなく材料の剛性による（弦と棒の関係と同様）という点で異なる。棒の振動と同じ理屈で，厚い板のほうが薄い板よりも高い音がする。円形で平らな板を叩いた時に発生する振動モードを，図 E.89 で示した膜の振動と同じ表示法で **図 E.96** に示す。中心が振動の腹になる振動モードと中心が振動の節になる振動するモードがあるが，円盤のように対称な形の場合，中心が節になる振動モードには同じ周波数を持ち振動の分布を回転させると重なり合う縮退モードの組がある。

板がふくらみのある皿状になると，平らな板に比べて，特に中心付近が振動するモードでは，顕著に固有周波数が高くなる。これは振動に伴って板は曲げら

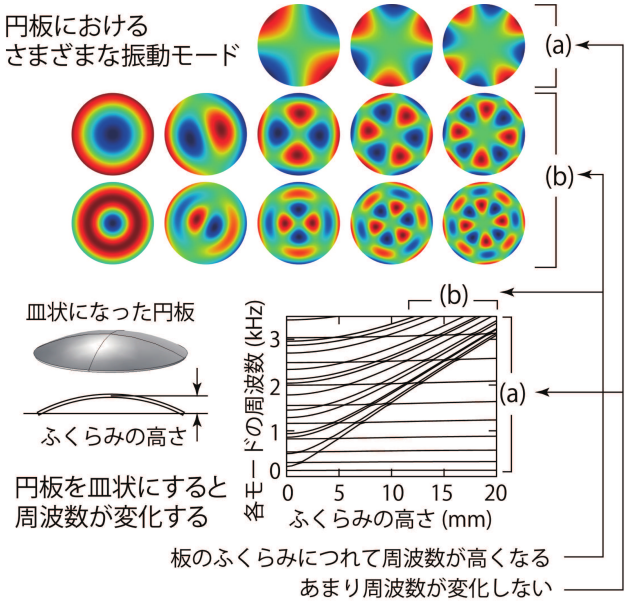


図 E.96 円板の振動モード

れるだけでなく板の伸縮が伴うようになるからである。曲げるより伸縮させるほうが大きい力が必要なので，このような振動モードに対しては復元力が大きく周波数が高くなる。また，板の振動においては，板の変形に対して振動モードが影響を受けるので，楽器の振動そのものによる変形に対しても振動モードが変化し，もともと与えた振動よりも周波数が高く複雑な振動が自然に発生する。これはシンバルや銅鑼（どら）を強く叩いた時に特に顕著であり，例えば銅鑼を強く叩くと遅れて音色が変化する。

つりがね状の板では，効率よく音が放射される振動モードは中心に節があるようなモードで，これは円周が径方向に振動するが，中心から周りを眺めるとある瞬間に径方向に遠ざかる部分と近づく部分が同じだけあるので，ちょうど中央では音が打ち消し合う（**図 E.97**）。お寺で他人に鐘をついてもらうチャンスがあれば，ぜひ中央で音を聴いてみれば，中央は意外にうるさくないことがわかる。

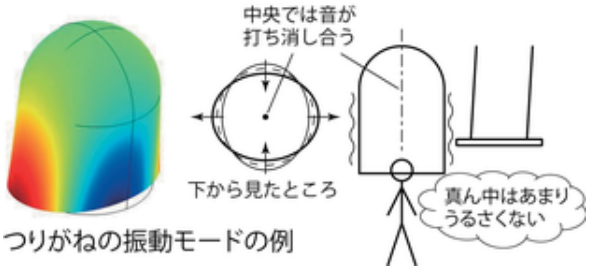


図 E.97　釣鐘の振動

（4） **板を曲げて音を変える楽器**　　板は曲げると平板とは異なる性質が現れる。その性質の 1 つに曲げ具合によって特定の振動モードの固有周波数が変化するというものがある。フレクサトーンという打楽器は**図 E.98** 左に示すような外観で，テーパーをつけた鉄の板に，板ばねを介しておもりが付いており，振ることによっておもりを板に打ち当てて音を出す。

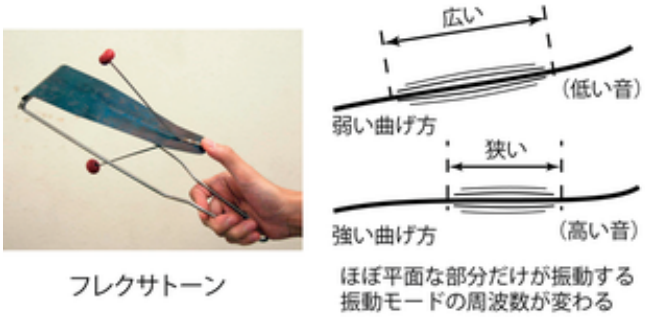


図 E.98　フレクサトーン

音が出ている時に板を曲げることによって音のピッチを大きく変化させることができる。板にはたくさんの振動モードが存在するが，平らな板が途中から曲がっているとき，ある程度以上曲がっている部分には振動が伝わらず平らに近い部分に振動が閉じ込められるような振動モードがある。フレクサトーンは，図 E.98 右に示すように，はじめから板の両端を曲げて S 字にした状態になっているが，比較的広い範囲が平らな部分になっていて，その部分だけが振動す

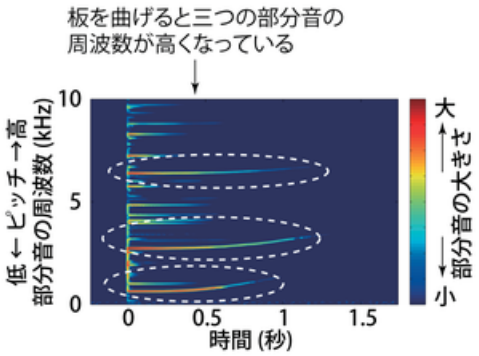


図 E.99 フレクサトーンの振動様態と周波数

る振動モードがある。**図 E.99** にフレクサトーンの振動様態と周波数（ピッチ）の関係を示す。

演奏しながら板の曲げ方を変えることによって，振動する部分の大きさが変わり，振動している部分の大きさが小さくなるほど音のピッチが高くなる。同じ原理で音を変えるミュージカル・ソーという楽器もある。ミュージカル・ソーは，のこぎりの柄のほうを膝にはさみ，先端を手で曲げながら弓で弾く楽器である。

これもフレクサトーンと同じように板の曲げ方で音のピッチを変えることができるが，ミュージカル・ソーは多くの場合叩くのではなく，ヴァイオリンやチェロなどの擦弦楽器に使われるのと同じような弓を使って，板の縁をこすることによって音を出す。

（5） 鍵盤型体鳴楽器について 短冊形の音板をピアノなどの鍵盤と同じように音高順に並べたさまざまな楽器があり，これらは音板を叩くことによって振動させ音を鳴らす。この種の体鳴楽器は，音板がピアノの鍵盤と同じように並べられていることからもわかるように，ピッチ（音の高さ）がはっきりとわかる音色が必要であるが，単純な棒の音は部分音の周波数がきれいな整数比にはなっておらず，ピッチ感がはっきりしない。そこで，シロフォン，マリンバ，ヴィブラフォンなどは，音板の裏側を削って曲面にすることで，明瞭なピッ

チ感が得られるよう調律されている。ところで音板は膜鳴楽器などに比べれば面積が小さく，特に低音部では音量が不十分な場合がある。そこで音板の背後に共鳴管を設けることによって十分な音の大きさを確保しているもの（マリンバなど）がある。またヴィブラフォンは共鳴管の入り口に回転できる羽根があり，この羽根を回転させることによって音の大きさがなめらかにに変化する。音量の周期的変動はトレモロであるが，ゆっくりとなめらかに変化するトレモロは知覚的にはヴィブラートに聞こえるので，楽器名はヴィブラフォンになっている。

シロフォン，マリンバの音板は木製で，グロッケンシュピール，ヴィブラフォンの音板は金属製で，いずれも奏者がマレットで叩くが，チェレスタは鍵盤による打叩機構をもつので，リードオルガンのような外観を持つ。ただしチェレスタの打叩は，在来型のものではピアノと逆に上から音板を叩くのが標準であったが，1990 年代前半にヤマハが下から叩くタイプのものを開発した。このほうが，打叩後ハンマーヘッドを音板から早く離すのに有利である。

E.4.3　固体の振動に関する補足

固体は弾性をもつ物体として扱う。流体（気体と液体）にも弾性があるが，それは圧縮や膨張に対する反発であって，変形に対する反発ではない。媒質中を波を伝わる速さは反発力が大きいほど速くなるが，圧縮・膨張をほとんどしない液体中はそれを許す気体中よりも圧縮・膨張に対する反発力が強く，音が速く伝わる。固体は液体よりもさらに体積弾性率が大きい（圧縮・膨張に対する反発力が強い）ので，固体中の音波の伝播は液体中よりも一般に速い。

体積弾性（圧縮・膨張に対して元の状態に戻ろうとする性質）は縦波（振動方向が波の進行方向と一致）しか生じないが，変形に対する復元力をもつ弾性体は横波（振動方向が波の進行方向に垂直）も生じる。固体は一般に圧縮・膨張に対する反発とともに曲げやねじりなどの変形に対する反発力も持っているので，固体の中には縦波の他に横波が生じ得る。

弦でも，金属製などでねじれや曲げに対する復元力を持つ場合には，付録

E.2.2 項 (1)「横波の方程式」で説明した単純な横波の他に，同 (2) で説明した波の進行方向の圧縮伸張による縦波，ならびにねじれや曲げに対応する振動方向の回転や材質の剛性などに起因する複雑な振動を生じることがある。金属弦を使うピアノでは，これらの効果によって高調波に非調和性（インハーモニシティ）が現れ，これがピアノの音の特徴の 1 つにもなっている。

E.5 電 鳴 楽 器

E.5.1 20 世紀以降の音楽に使われた音

（1） 初期のヘテロダイン合成音 ド・フォレストによる 3 極真空管の発明に基づいて開発された発振回路と増幅回路を使って，1910 年代にエーテロフォン（後に開発者の名を取ってテルミン (Thermin) と改称），1920 年代にその楽器としての発展・改良型と位置づけられるオンド・マルトノが発明された。これらはいずれも周波数の高い 2 つの正弦波発振器の出力を加えることによって生じる「うなり」波形の包絡線の振幅の増減頻度がそれらの周波数差になることを利用し，それが可聴音域になるようにして音として聞かせる電気楽器で，出力は純音に近い単音であり，複数の音の同時合成はできなかった。

（2） ミュージック・シンセサイザの音 現在でも使われている PCM 音源が開発されるまでのおもな合成方式として，加算合成と減算合成ならびに FM 合成がある。加算合成の代表的なものは H. Olson の RCA Mark-II (愛称 “Victor”，1957 年)，減算合成の代表は R. Moog によるモーグシンセサイザ (1964 年)，FM 合成の代表はヤマハの DX-7(1982 年) である。メモリーの低価格化が進んだ 1980 年代後半にサンプリング音源とも呼ばれる PCM 音源が音質の高さで人気が出た。これは合成対象の楽器の色々な奏法の生音（なまおと）をいくつかの高さについて種（たね）データとしてディジタル収録してメモリーに入れておき，演奏情報に基づいてそれを選択的に編集・加工・増幅して出力する方式で，安くなったメモリーをふんだんに使って合成音の品質を上げていった。ただこれでは，種データとしての実際の音を収録できなければ合成ができないという欠点

があった。最近ではコンピュータの処理能力の向上で，必ずしもこの手法によらず，楽器の物理モデルに基づく物理モデル合成によって，仮想的な楽器までを含めた音の合成が可能になってきている。

これらの合成方式のうち，RCA Mark-II は合成のためにパラメータの事前の入力とコンパイル作業が必要であり，かつ出力は磁気テープへの出力であって，その場ですぐに音として出すことができなかったので普通の意味での楽器とは呼びにくく，また，PCM 合成は，極端な言い方をすれば収録した音の編集作業による方式なので，厳密な意味では電鳴とは言いにくい。

（3） そ の 他

（a） テープ音楽　1940 年代の末期にピエール・シェッフェル（Pierre Schaeffer, 1810-1995）がマイクで採って磁気テープに収録した音を加工・編集して音楽を作り上げる具体音楽（musique concrète，**ミュージック・コンクレート**）を提唱してパリのスタジオで活動を始め，1950 年代初頭にシュトックハウゼン（Karlheinz Stockhausen, 1928-2007）がケルンのスタジオで放送用の機器（発振器，変調器，濾波器など）を使って**電子音楽**（elektronische Musik）を始めた。これらはどちらも最終的には音を磁気テープに固定するので，後には「**テープ音楽**」としてまとめられてしまったが，作曲の出発点としての概念的根拠は遠く離れている。

シェッフェルはパリ音楽院でブーランジェ（Nadia Boulanger, 1887-1979）の薫陶を受け，芸術集団「若きフランス（Jeune France）」の設立メンバーに加わるなど，ドイツに占領されていたフランスで新しい音楽を創るという流れを汲むが，シュトックハウゼンはパリ音楽院の教員であったメシアンやミヨーに私的に就いたものの，パリ音楽院には入学できなかった。ドイツ人であることの自意識からか，シェーンベルク（Arnold Schönberg, 1874-1951）の 12 音音楽（Dodekaphonie，ドデカフォニー）あるいはそれをセリー技法 (Reihentechnik) に発展させたヴェーベルン（Anton Webern, 1883-1945）による対象拡大 (Integral Serialism) の流れを継いだ汎セリー指向（Total Serialism）のリーダー的な存在であった。シェッフェルが素材として使った音は日常的な

音で，シュトックハウゼンが使ったのは放送用の機器による音なので，それらの生成源は普通の意味では楽器と言いにくい。

(b) テープ音楽，その後 テープ音楽のその後について，以下に記す。

(b.1) その後のシュトックハウゼン 大戦後復活したドナウエッシンゲンの現代音楽夏季講習などで，メシアン（Olivier Messiaen, 1908-1992）によって 12 音音楽のセリー（列，当初は「音高」列）の対象は音高だけでなく音の強さや音価に拡張されたが，Stockhausen は音色や音の到来方向などにも拡張して汎セリーの方法に向かった。その過程で音列の区切り方に関してトロンソン（tronçon：区間）分割を提唱し，部分的な音列に対する作用素を O（原型保存：そのままで何もしない），I（反行：音高変化を反対方向にする），R（逆行：音符単位で時間進行を逆にする），IR（反逆行：反行の逆行）の 4 つとすると，それらは群をなすことから「群論の音楽」を提唱して 3 群のオーケストラのための「グルッペン」を書き，変形のモデュラー化を図った「モメント形式」で「コンタクテ」,「モメンテ」などを書いた。

シュトックハウゼンは 1970 年の大阪万博で会期中毎日午後に 1 時間程度ずつ，電子音楽の発展形としての「**空間音楽**」† の生演奏を西ドイツ館の球形のアウディトリウムで行った。この場合は音場を作るアウディトリウム全体が楽器であると見ることができる。

編者は大学院生の時にシュトックハウゼンの生演奏の前座としてのテープ音楽再生プログラムのミキサーを，このアウディトリウムの設計者からの依頼で務めたので，このアウディトリウムについて，以下に少し詳しく説明する。

† Raummusik.「空間音楽」はセリー手法の延長線上の音楽で，音の到来方向をセリーの対象として組み込んだもの．ボール型のスピーカー切替え器（図 E.103 右の写真の右奥）は多分これの即興的な演奏に使わせる予定で Prof. Winckel が試作したものであるが，これは出力スピーカーをランダムに選択使用するには適しているが，連続的に水平回転的にボタンを順次押さえるのは難しい。編者は Stockhausen がこれを試しているのを見ただけで，実演奏に使ったのは見たことがない。多分，Stockhausen は「シュピラール（螺旋）」では，音の到来方向を回転させたかったので，同写真左下隅に映っている接続を回転させるハンドル式のほうがよいと考えたのであろう。回転式のスピーカー切替器では切り替えの際に水平方向には音が飛ばないように音像が連続的に移動するように設計されていた。

設計は Neo-Bechstein の開発にも寄与したベルリン工大の故 Fritz Winckel 教授であった。音響設備の操作法をミキサーであった編者らに説明するために Winckel 教授とともに日本へ来ていた当時准教授の Manfred Krause は，Winckel の没後，2000 年にその研究室を引き継いだが，2003 年に亡くなったということを編者は奥さん Hanna からの手紙で知った。その後，バルセローナでの国際シンポジウム（2007 年）で，その研究室の学生であった Esther Zanetti から，死因が白血病であったことを聞いた。

シュトックハウゼンが Expo'70 で使った機器は，ケルンのスタジオ以来の正弦波・鋸歯状波・矩形波・白色雑音などの発生器，各種変調器，可変濾波器，増幅器などの放送用の機器と，球形の演奏会場用に書いた「シュピラール（螺旋）」のために Winckel が作った多 ch のラインと 50 群のスピーカーユニットの接続マトリックスおよびそのリアルタイム操作システムならびに「テレムジーク（遠隔音楽）」や「クルツヴェレン（短波）」で使用した短波のラジオ受信機などである。ただし，万博会場では「シュティムング（調律）」などに弦楽器や管楽器など通常の楽器や声も使っていた。

編者は，崩壊寸前のセリー主義の最後のあがきの現場を見ているような感傷に襲われたのを覚えている[68)]。蛇足ながら，この前座のテープ再生プログラムで紹介した作曲者の一人 Bernd Alois Zimmermann は万博期間中の 8 月に没した。

図 E.100 に西ドイツ館関係者（アウディトリウムを設計した Prof. Fritz Winckel, そこで再生するための曲を書いた Boris Blacher, Winckel の弟子で機器の操作説明に来た准教授 Manfred Krause），**図 E.101** にアウディトリウムの断面図およびコントロール・ステージから演奏ステージ方向を見たアウ



図 E.100　西ドイツ館関係者（立っている 3 人は左から Prof. Fritz Winckel, 作曲家 Boris Blacher, Ass. Prof. Krause）

ディトリウム内部を示す。

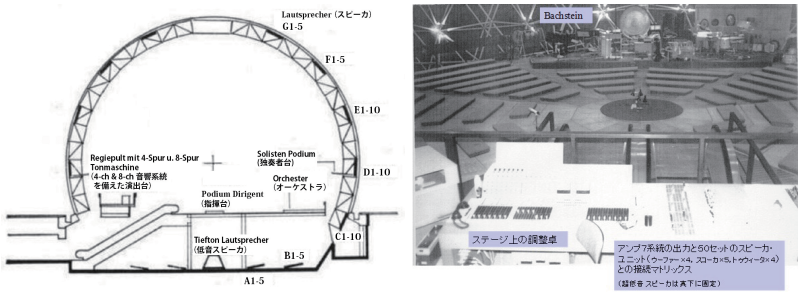


図 E.101 左：アウディトリウムの断面図，右：ステージから見た内部

図 E.102 にアウディトリウム内のステージ上のコンソールと展示棟の地階に置かれた遠隔操作テープ再生機を示す。プリアンプはラインが 7 系統＋超低音 1 系統とマイクが 7 系統で，メインアンプは 2 段になっており，中間アンプは超低音 1 系統を含めて 8 系統あった。スピーカーはウーファー，スコーカー，トゥイーター計 13 個を組み合わせて 1 ユニットとして外壁ユニットと同形の三角形の枠に埋め込んだもの 50 ユニットを，球形ドームの内面にほぼ均一に（ドーム中心から仰角・俯角ともに約 22.5 度間隔に設定した 7 レベルの水平面内に 10 ユニットあるいは 5 ユニットずつ配置されていた。中央付近 3 段は 1 周あたり 10 ユニット，その上 2 段は 1 周あたり 5 ユニット，下の 2 段は俯角 45

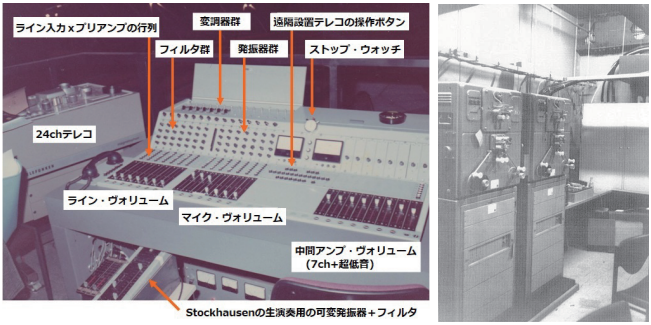


図 E.102 左：シュトックハウゼンが Expo'70 での生演奏に使ったステージ上のコンソール，右：Klang-Film 社製の改造 2 連テープ再生機

度の水平面に切ったドーム底面上に同心円状に）設置してあった。サブ・ウーファー（超低音域スピーカー）は底面中央に設置され接続は常時固定。

7 系統のアンプと 50 ユニットのスピーカは 7 × 50 のマトリックスで自由に接続できるようになっていた。各系統の中間アンプ出力をどのスピーカー・ユニットにつなぐかは特殊な 6 ピンの接続プラグを行列の交点のソケットに差して接続するようになっていた。最終段の出力アンプは各スピーカー・ユニットに置いて，接続マトリックスで 1 つの系統に複数のスピーカー・ユニットを並列につないでも，メインアンプの前段が過電流で壊れるということが起きないようになっていた。

図 E.103 左に，生演奏中のシュトックハウゼンと，その取り巻き（若き日のペーテル・エトヴェシュ Péter Eötvös がいる），および右写真の左手前にハンドルを回して球形のアウディトリウム内で音を水平方向に回すためのスピーカー切替え器（「シュピラール（螺旋）」などで使用）とスピーカーの手動リアルタイム切り替えのためのボール型の接続器（試作機で実演には使わなかった）が見える。これらはどれか 1 系統の接続先スピーカーの選択器として使用するようになっていた。ライト用のボールも見える。背景にアウディトリウムの外壁を内側から支える四面体の立体トラス構造が見える。

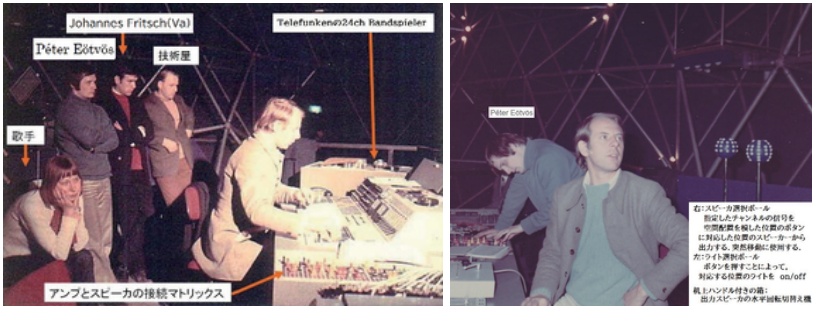


図 E.103　Expo'70 西ドイツ館でのシュトックハウゼン　左：生演奏中のシュトックハウゼンとその取り巻き音楽家，右：生演奏用の音の回転用スピーカ切替え機（調整卓の上）とリアルタイム・スピーカー切替えボール（右遠景に並んだ 2 つのボールの右側：ボタンを押している間だけ ON）

コーヒーブレイク

Expo'70 西ドイツ館での編者のアルバイト

編者は，ハンブルクで活動していた作曲家の松下眞一氏を通じて，ベルリン工大から所属大学経由で万博期間中のシュトックハウゼンの前座プログラムのミキサーの依頼を受けた。ただ修士 2 年前半 6 か月の午前中を毎日ミキサーとして働くことは不可能であったので，同級生 7 人でチームを編成して，曜日によって交替でアルバイトとして務めるように交渉し，7 人交替で全期間中のミキサーを務めた。仕事は再生のための仕様書に従って曲ごとに機器を設定してテープ再生機を遠隔操作し，午前のプログラムが終了すれば，午後のシュトックハウゼンの生演奏のための準備をしておくことであった。

テープ再生には Klang-Film 社製の映写機を音響用に改造したもの 2 台を機械的に連動させるもの（図 E.102 右）を地下室に置いて，コンソールから遠隔操作するようになっていた。具体的な作業は，スプロケット付きのかなり硬くて幅の広い磁気テープ 2 本を 2 台の再生機にかけて位置合わせをして，2 台のシャフトを機械的な機構で連結させてから，アウディトリウムへ戻ってコンソール横のスピーカー接続マトリックスを曲ごとに決められたようにピンで設定し，各チャンネルのレベルを調整しておいて案内嬢のアナウンスに従って遠隔再生ボタンを押すということの繰り返しであった。

(b.2) その後のフランス音楽 第 2 次大戦後のフランス作曲界はブーレーズ（Pierre Boulez, 1925-2016）が牽引していたが，ブーレーズは，1969 年までド・ゴール (Charles de Gaulle, 1890-1970) 政権下で文化相を務めた作家アンドレ・マルロー（André Malraux, 1901-1976）との確執で，ドイツに自宅を置き，米国でニューヨーク・フィルの音楽監督をして長くフランスから離れていた[69]。それで，Expo'70 でのフランス館はどうするのかなあと思っていたら，パリで活動していたギリシャ系のクセナキス（Ιάννης Ξενάκης, Iannis Xenakis，1922-2001）を使って数回の講演をさせていた。

クセナキスは 1950 年代から IBM7090 を使ったミュージック・ストカスティーク[70] †（確率音楽）を作成したが，これも出力は磁気テープであった。クセナキスが多チャンネル 360 度の音場での再生を想定して書いた日本語の題を持つ

† 統計的確率に基づく音楽

「ヒビキ・ハナ・マ」は Expo'70 鉄鋼館の音楽プロデューサーであった武満徹によって，武満自身の「クロッシング」，高橋悠治の「エゲン」などとともに鉄鋼館で上演された。クセナキスは建築家でもあり，曲をグラフ用紙に書くこともあり，コンピュータ・プログラムそのものが楽譜であった場合もある。合成音を多用したが現実の音を使ったり通常の楽器を使う場合もあった。

ブーレーズは，クセナキスと同じようにメシアンに師事し，レイボヴィッツにもついてノーノやシュトックハウゼンらとは異なる路線でミュージック・セリエール[†1]を前進させ，後に偶然性に行きついた。ブーレーズはケージの偶然性[71]を「怠惰な偶然性」として排斥し，「アレア（aléa）」（管理された偶然性）を主張した[72]が，音には在来楽器を通常の奏法で使用した。

(b.3)　北米の音楽　米国とソ連は Expo'70 では宇宙技術の展示に主眼を置いていたので音楽関係は軽視していたようである。アメリカは音楽に関する歴史が浅くて，ジャズやポピュラー音楽以外には見るべきものがないというのが一般的な見方であったが，大戦前からシェーンベルクやヒンデミットが渡って新しい音楽[73]の芽を育んでいたようで，大戦直後の 1950 年代初頭にケージ（John Cage, 1912-1992）が始めた「偶然性の音楽」[†2]は「4 分 33 秒」を経て 1960 年代には多地点での偶然性まで発展し，「実験音楽」[†3]と呼ばれる分野が一挙に広がった感がある。またケージが始めた弦間に異物を挟んで音色を変える「プリペアードピアノ」は現代音楽における常套手段になったといえる。続いてミニマルミュージック[†4]がラ・モンテ・ヤング（La Monte Young, 1935-）やテリー・ライリー（Terry Riley, 1935-），スティーヴ・ライヒ（Steve Reich, 1936-）らによってはじめられた。これは単純な音の反復使用（例："in

---

[†1] 音列技法（serial technique）を音高だけでなく音価・強度・音色・方向性などにまで拡張し，組織的に構造化した音楽。

[†2] 作曲や演奏の際に，楽曲の素材や部分の選択，あるいは行われるべき演奏のあり方を積極的に偶然性に任せる音楽。不確定性の音楽とも。

[†3] 在来の作曲手法によらない手法で作られた音楽。第 2 次大戦後の米国のものを指すことが多く，通常はセリー技法も在来手法とみなされる[74]。

[†4] 「素材を極度に切り詰め，限定して扱う音楽。特に 1960〜70 年代のアメリカにおける長い持続音や反復による音楽を指す[23]。」

C”）や類似音の不規則な反復（例：“It’s gonna rain”）を典型例とし，さらには，時間間隔が微妙に異なる音列の重ね合わせによって生じる時間差の変化による音列間位相差の可聴化としてヨーロッパにも部分的に影響を与えた（例：Ligeti(1923-2006) の “Poème Symphonique”）が，発想の単純さ（音楽を創るための概念が浅い）のためか，それ以上には発展せずに消滅したように見える。プリペアードピアノやミニマルミュージックは音楽の発展過程での方式・考え方としては意味があったが，音の生成方式としては現在では歴史的な意味しかない。ケージが始めた不確定性の音楽は一柳慧(1933-2022) や高橋悠治 (1938-) が日本へ伝えた[75)]。

(b.4) 日本の状況とそこで使われた音 1950 年代半ばに，日本でもケルンやミラノの放送局の電子音楽スタジオを見て回った諸井誠や黛敏郎らが NHK に電子音楽スタジオを立ち上げて発振器とフィルターや変調器を使った音楽を作り始めた[39)]。この時期の NHK 電子音楽スタジオの作品はそこの技術者として制作に協力した塩谷宏・佐藤茂らによって CD 化されている[40)]。Expo’70 大阪では，日本の作曲家では武満徹が鉄鋼館の音楽プロデューサーを務め，太陽の塔のために黛敏郎が「生命の賛歌」，一柳慧が「生活空間の音楽」を作り，湯浅譲二が電気通信館のために声を使ったコラージュ「ヴォイセス・カミング」，松村禎三が松下館のために弦楽オケと合唱のための「飛天」，箏と尺八のための「詩曲」を書いた。その少し前から武満徹や三木稔，諸井誠，広瀬量平らによって邦楽器を使う音楽が書かれ，それには明治の初めまで法器であった尺八がその奏法・音の多様さから多用され，箏は標準の十三絃よりも低音弦を持つ十七絃や二十絃が用いられることが多かった。1960 年前後から邦楽器奏者の集団「邦楽四人の会」や「日本音楽集団」などによる純邦楽や現代邦楽の演奏活動も活発になった。武満の曲では，邦楽器（尺八と琵琶）だけの「エクリプス」よりも，同じ邦楽器を西洋型のオーケストラと組み合わせた「ノヴェンバー・ステップス」のほうが特に日本以外で人気があったのは西欧の耳に入り込みやすかったのと組合せの面白さからであろう。大阪出身の松下眞一がハンブルクで活動していたが，ドイツが松下をドイツの音楽として Expo’70 に出すことは

なかった。

(b.5)　その他の国の音楽　1960 年代後半には欧米の音楽は発散気味になり，思いつく手法はすべてやりつくして，純音楽の進むべき方向が見えなくなって行った。Expo'70 大阪はそのような状況の中で開かれ，ドイツとフランスは西欧音楽の伝統を担う国としての面目を保つために音楽を前面に出した。イタリアはノーノ（Luigi Nono, 1924-1990）やベリオ（Luciano Berio, 1925-2003）を擁していたが，イタリアとしては彼らが書いていたドイツ・オーストリアにルーツを持つミュージック・セリエールを自国の音楽として出すわけにはいかなかったようで，カンツォーネ†で誤魔化していた。

ポーランドは現代音楽の分野では先進国に属し，ルトスワフスキー（Witold Lutosławski, 1913-1994）や，グレツキー（Henryk Górecki, 1933-2010），ペンデレツキー（Krzysztof Penderecki, 1933-2020）などを擁していたので音楽を主題にした展示が可能であったと思われるが，まだソ連の従属国でもあり，ソ連の他の従属国と共同でパヴィリオンを出すにとどまっていた。それらの国ではソ連の意向によって国勢誇示が要請されていて，それを無視して音楽を主テーマにすることはできなかったと思われる。

フィンランドは直前までシベリウス（1957 年没）の存在が非常に大きく，展示のテーマを音楽とする場合はそれを出しておけばとりつくろえるが，いくら 10 年ほど前まで生きていたとはいえ，すでに亡くなったシベリウスを出すのでは現状を示すことにならず，かといって前面に出せる他の作曲家がいなかったのであろう。サーリアホ（Kaija Saariaho, 1952-）は 1970 年にはまだ出てきていなかった。

（c）　1970 年以後の音楽とそこで使われた音　1960 年前後にヴェンチャーズ，ローリング・ストーンズ，ビートルズなどが現れ，ロック，ポピュラー音楽界は賑わったが，それに反比例して純音楽は一般から離れて行った。ビートルズは 1970 年に解散したが，ローリング・ストーンズとヴェンチャーズはメンバーの入れ替えを繰り返しながら現在も活動している。彼らの楽器はエレキ

† イタリア語で「歌」の意。一般的には歌詞を持ったイタリアのポピュラー音楽を指す。

ギター，エレキベースとシンセサイザ類に固定されている，という意味で，ステージでの演出としては色々なことをしているが，使用楽器の観点からは保守的である。音楽的な観点からもすべてヨーロッパ起源の調性音楽の枠内のものなので，きわめて保守的であると言わざるをえない。ヴェンチャーズが来日に合わせて書いた，いわゆる「ヴェンチャーズ歌謡」（二人の銀座，京都慕情，雨の御堂筋など）は欧米のポピュラー音楽と日本の歌謡曲との折衷音楽の域を出ないし，1970 年の大阪万博で武満徹が企画した鉄鋼館での演奏会でキャシー・バーベリアン（作曲家ルチアーノ・ベリオの奥さんで，前衛歌曲を歌うことが多い）がビートルズの曲（イエスタデイ，ミシェルなど）をピアノ伴奏で普通に（ベル・カントで）歌っていたので，これらは古典的な歌唱法で歌うべき音楽とみなしていたのであろう。

クラシック系の音楽（純音楽）は 1970 年ころまでに「できることはやり尽くした状態」になっており，シュトックハウゼンもブーレーズもペンデレツキも 1960 年代までは活発に活動していたが，1970 年ころ以降は 3 人とも活動が鈍った感がある。ジャズ以外は音楽不毛の国と見なされていたアメリカでは，ジョージ・ガーシュウィン（1898-1937）やアーロン・コープランド（1900-1990）の時代を経て，ケージ（1912-1992）の不確定性や，テリー・ライリー（1935-），スティーヴ・ライヒ（1937-）らによる音列間のフェージングやなど，それまでのヨーロッパになかった概念に基づく音楽が生まれた。ケージは芸術と生活が別ものでないことを説き，それに共感した後継者が既成の音楽に収まらないものを音楽として創作し始め，それらは演劇的な要素を積極的に入れたフルクサス[76] に発展した。ただそれらは，宇宙から来る電磁波を無理やり音に変えたり[77] や植物内に起きている事象によって出てくる信号を音に変換する[78] などがでてきて，音楽とは無関係の変な方向に発散しそうになったが，21 世紀に入ってそのような方向は是正されてきており，アメリカの音楽界の層の厚さを感じさせるようになってきた。何をするべきかが見えずに狼狽していた 20 世紀末とは少し違って，何かをやってみようという機運になって来たが，音楽と他の芸術との境界がぼやけてきたとも言える。クラシック系以外の音楽の愛好

者が増え，学術論文や研究会などでの研究対象としての音楽の分野をクラシック系のものだけでなく，ジャズやロック，ゲーム音楽などを含めた音楽全般に広げるべきであるという認識も広がってきた。

E.5.2　音合成法・音源駆動法

ここでは，手廻しや電気駆動による機械的な自動演奏装置も含めたので，厳密には電鳴楽器というよりも Electro-mechanophone(電機楽器) としてもよいが，昔の自動演奏装置は駆動が機械的でそれに人力あるいはゼンマイあるいは電気を使うだけで，楽器そのものは在来楽器を流用するので，発音体による部類では気鳴/弦鳴/膜鳴/体鳴のどれかに入る。

（1） ヘテロダイン方式

（a） テ ル ミ ン　3 極真空管がド・フォレストによって 1906 年に発明され，増幅回路や発振回路が作れるようになり，それを使ってレフ・テルミン（Lev Termin，あるいは Lev Theremin など）が 1919 年に電気楽器として最初に作ったのが**エーテロフォン**で，これは楽器本体から突き出たアンテナと奏者の身体（主として手）部分との間の静電容量が距離によって変わることを利用したものであるが，後に発明者の名前を採って**テルミン**と呼ばれるようになった。発明当初の名称は，当時大気中に電磁波を伝える媒質として存在すると言われていたエーテルからとったものであるが，エーテルと言うようなものは存在しないということがわかってからは，その名称はまずいということになり，改名されたものである。

当時，発振回路で発振させやすい周波数は数十 kHz 程度以上であったので，そのままでは音として聞こえない。このため，テルミンは周波数の異なる 2 つの正弦波を同時に発振させて出力を加えることによって，差周波数が可聴周波数になるようにしておけば，音として聞くことができると考えてこの楽器は開発された。これは，周波数の異なる 2 つの正弦波を加えると，波形の振幅がそれらの周波数の差の周波数の正弦波で変化する（振幅包絡が変動する「うなり（ビート：beat)」を生じる）ことによる（高校レベルの詳しい式の変形は付録

I 用語集「うなり」参照)。

振幅がほとんど同じで周波数が角周波数で少しだけ異なる正弦波の和は，角周波数の差を $|\Delta\omega|$ ($<<\omega$) は可聴域，振幅の大きさを $|\Delta A|<<|A|$ として，$t=0$ での位相差を ϕ とし，結果だけを示すと

$$
\begin{aligned}
&A\sin\omega t + (A+\Delta A)\sin\{(\omega+\Delta\omega)t+\phi\} \\
&= A\sin\omega t + A\sin\{(\omega+\Delta\omega)t+\phi)\} + \Delta A\sin\{(\omega+\Delta\omega)t+\phi\} \\
&\approx 2A\cos\left(\frac{\Delta\omega}{2}t+\frac{\phi}{2}\right)\sin\left[\left(\omega+\frac{\Delta\omega}{2}\right)t+\frac{\phi}{2}\right] \qquad \text{(付.160)}
\end{aligned}
$$

振幅が ΔA の項（2 行目の第 3 項）は 2 つの波の大きさの差による残存（節の部分でも振幅が 0 にならないで残る）項で，大きさの差が振幅に比べて小さければ無視できる。知覚的には振幅変動がわかるだけで，節の部分で 0 まで落ちるかどうかは気にならない。

cos の部分は角周波数 $\frac{\Delta\omega}{2}$ のゆっくりした変動でこれが振幅包絡を決めるが，振幅変動は 1 周期に 2 度最大になるので大きさの変化は cos 部分の周波数の 2 倍の速さで聞こえ，うなりの角周波数は $\Delta\omega$ になる。テルミンの場合はこのうなりがピッチとして聞こえる。sin の部分がその中での速い振動（ω が可聴域ならピッチに対応）を表すが，テルミンの場合，その角周波数 $\omega+\frac{\Delta\omega}{2}$ は ω と $\omega+\Delta\omega$ の平均値であるが可聴域を超えるので音としては聞こえない。位相のずれ $\frac{\phi}{2}$ は聴覚が位相不感なので知覚されない。

コーヒーブレイク

テルミンの楽器としての欠点

テルミンなど，2 周波の加算によるヘテロダイン式の合成器では f_1 も f_2 も可聴域を超えているので $\frac{f_1+f_2}{2}$ は聞こえず，1 秒間に $\Delta f = |f_2 - f_1|$ 回の振幅変化の回数が音の高さとして聞こえる。うなり（付録 I 用語集「うなり」参照）の振幅変化は正弦波状であるので，音として聞こえるのは純音である。

テルミンやオンド・マルトノは 2 つの発振器のうちの一方の周波数を固定し，他方の可変周波数発振器の発振周波数を演奏によって変えるようにしたもので，テルミンでは奏者から楽器に向かって右に立てたロッドアンテナと右手の間の静電容量を手の上下動や形によって変えた。ただ，手の移動量が音高の変化幅と感

覚的に違和感がないように回路を設計するのは難しかったはずである。音量は装置の左側に出たループアンテナと奏者の左手の間の静電容量によって制御した（**図 4**）。したがって，音高の境界ごとに音量を 0 にして，音の立ち上がりの音量変化を急峻にすることが困難で，音高が連続的に変化する傾向があるので，常にポルタメントのかかった弾き方になってしまうという難点があった。

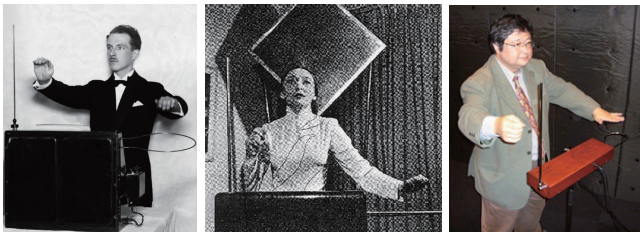


図 4　初期の真正電鳴楽器 1。左：テルミンを演奏する開発者 Lev Thermin（浜松市楽器博物館 2016 年 8 月 3-31 日開催の特別展より），中：ほとんどただ一人の奏者 Clara Rockmore. 右：現在市販の IC 化されたテルミン（奏者は山田真司氏）。

（b）オンド・マルトノ　テルミンは適切な音高をとれたとしても，奏法が全部ポルタメントになってしまうという欠点があった。それを克服し，音を聞く前から音高を許容範囲内に収めておいて音量ゼロからの立ち上がりも実現できるようにし，音色にも幅をもたせたのが，モーリス・マルトノ（Maurice Martenot, 1898-1980）が開発したオンド・マルトノである（「オンド」は波・電磁波の意）。

コーヒーブレイク

初期のオンド・マルトノ

オンド・マルトノはテルミンと同じ原理で作られたもので，1928 年の初代機は音高を紐でヴァリコンの容量を変えることによって変え，音量は左手で可変抵抗器を操作した。1931 年版は鍵盤の絵を描いて音高の位置の目安を示したが，音高はヴァリコンの回転角度ときれいな関係にはならなかったはずなので，ダミー鍵盤上の距離と音高の差は比例関係にはなっていなかったと思われる。1932 年版から鍵盤でも弾けるようになったが，リュバンと紐は残され，鍵盤かリュバンかをティルワール（引き出し：【英】ドロウワー）内の clavier/ruban の切り替えスイッチでどちらかを選択して使用した。

発音原理はテルミンと同じくヘテロダイン方式で，発振器は 2 つしかもっていなかったので，同時に発音できる音は 1 つのままであったが，音高制御はヴァリアブル・コンデンサ（可変容量コンデンサ）の容量操作用の紐をループにして，それに結びつけた輪（「リュバン」と呼ばれる。**図 E.104** 左）に人差し指を差し込み，絵に描いた鍵盤を頼りにして，リュバンを左右に動かすことで高さを取るようになっていた。これによって，適切な音高を発音前からとれるようになった。音量の制御は，左手で操作できるボタン（「トゥッシュ」と呼ばれる）のオンで音量を 0 から瞬時に立ち上げられるようになった。

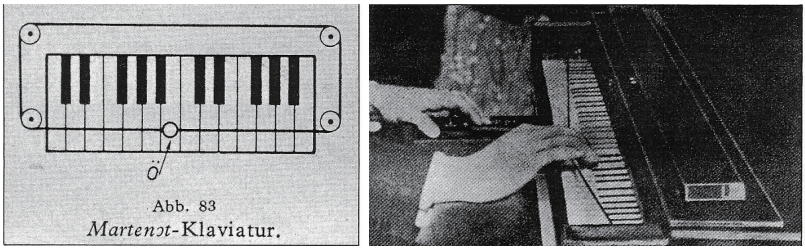


図 E.104　オンド・マルトノ　左：鍵盤図とリュバンの説明，右：リュバンの操作

図 E.104 に，開発当時のリュバンの説明の一部と操作の様子を示す。右手の指をリュバンにはめて音を聞かずに音高を許容範囲内の値にしておいて，左手でトゥッシュを押し込むことによって音量ゼロからの立ち上がりを可能にした。これによって，常時ポルタメントにせざるを得なかったというテルミンの欠点から逃れることができた。音響出力には，個性的な音響効果を持つスピーカ（「ディフューザ」と呼ばれる）が数種類用意され，選択できるようになっている。

コーヒーブレイク

テルミンの最大の欠点を解決したオンド・マルトノ

テルミンは実際に楽器として使うには音高を聞いて右手の位置を微調整する必要があったので，速い立ち上げの音については適切な高さの獲得が難しく（急に音を出すと音高の微調整ができない），どうしてもポルタメントがかかったような弾き方になるという大きな欠点があったので，テルミンのための曲はほとんど作られなかったが，オンド・マルトノではそれらの欠点が解消されたので作曲家からも楽器として認知され，メシアン（Olivier Messiaen, 1908-1992）の有名な「トゥーランガリーラ交響曲」(1946-48) をはじめ，ジョリヴェ（André Jolivet, 1905-1974）の「オンド・マルトノ協奏曲」(1947)，オネゲル（Arthur Honegger, 1892-1955）の「火刑台上のジャンヌ・ダルク」(1934-35）などで使われた。

奏者としてはジャンヌ・ロリオ（Jeanne Loriod。メシアンの後妻となったピアニストの Yvonne Loriod の妹）が著名で，メシアンの指揮，姉のピアノ，妹のオンドで録音を残している。パリ音楽院にも 1947 年（院長がデルヴァンクール Claude Delvincourt のとき）に，オンド・マルトノのクラスが設置され，日本人でも原田節（たかし）などがそこを出て演奏活動をしている。原田に師事した市橋若菜はロリオの最後の弟子ということになっている。

図 E.105 中央に現在の IC 化されたオンド・マルトノといくつかのディフューザ，右図にリュバンと鍵盤（手前に位置の目安としての浅い凹みが見える）および左手用のティルワール（引き出し）式の操作盤を示す。

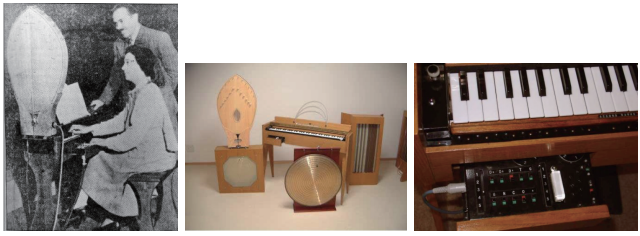


図 E.105　初期の真正電鳴楽器 2。左：オンド・マルトノとその開発者 Maurice Martenot, その妹 Ginette, 中：IC 化されたオンド・マルトノ本体といくつかのディフューザ（左上：パーム，手前：メタリック，本体の右後：レゾナンス），右：左手の操作用ティルワール（引出し．wikipedia より）．白いボタンが人差し指で操作するトゥッシュ。

コーヒーブレイク

改良が重ねられたオンド・マルトノ

オンド・マルトノは何度も改訂版が出たが，1950 年版までは真空管回路で作られ，説明なしでオンド・マルトノという場合には，1950 年版を指していることが多い。鍵盤は 72 鍵（C1〜B6）であるが，切り替えスイッチによって 1 オクターヴ上まで出せる。鍵盤上のキーを 2 か所以上押した場合は，下のキーの音になるので，トリルは上のキーを押したまま，下のキーを on/off する。トリルボタン（トゥッシュの右側にある小さなボタン）はトリルやトレモロを奏する場合の 2 音の音程を微分音（通常 4 分音）から 5 度まで変えられる。ヴィブラートを奏する場合はキーを左右に揺らす。

標準ディフューザは，D1=プリンシパル（通常のスピーカ），D2=レゾナンス（金属ばねによる可変残響），D3=メタリック（ドラを吊るして電極にしたスピーカ），D4=パーム（24 本の弦を張ったシュロの葉型の共鳴スピーカ），ということになっている。

1974 年版から回路が IC 化され，1980 年代からはディジタル版が出ており，高調波を操作して和音出力が可能になり，5 ピンの DIN コネクタ（MIDI ケーブル）で MIDI 機器との接続も可能になっている。左手を鍵盤操作に使いたい場合には，トゥッシュの代わりにペダル操作で代用できる。

現在のオンド・マルトノは，鍵盤で弾くことが可能になっており，リュバンを使う場合でも白鍵に対応する位置には浅いくぼみ，黒鍵に対応する位置には小さな突起があって，音を聞いて微調整しなくても指をほぼ適正な音高が出る位置に持って来やすいようになっている。

（**2**） **加 算 合 成**　高さを感じさせる音は，調波構造スペクトル（基本周波数の整数倍の周波数に成分をもつ）の音であるということは古くからわかっていた。

高さ（基本周波数 f_0）を感じさせる音は，単純化するなら，t を時間として，次式のような形で合成することができる。

$$s(t) = \sum_{n=1}^{N} A_n \sin(2\pi n f_0 t + \phi_n) \qquad \text{(付.161)}$$

ただし，f_0：基本周波数，n：高調波番号，A_n：第 n 高調波の振幅，ϕ_n：第 n 高調波の $t = 0$ での位相。加算合成は原理的にはこのような式に基づいて音を作る方法である。

この方式で実際に作られたものとしては。世界初のミュージック・シンセサイザと言われる Harry Olson による RCA-Mark II がある。ハモンドオルガンも原理的にはこれに準じるが，各成分はトーンホイールによる周期音で，正弦波ではない。

（a） **ハモンドオルガン**　ハモンドオルガン（**図 E.106** 左）は，加算合成方式の楽器として最初に開発されたもので，機械と電気を組み合わせた楽器で，1934 年に Laurens Hammond（1895-1973）によって開発された。

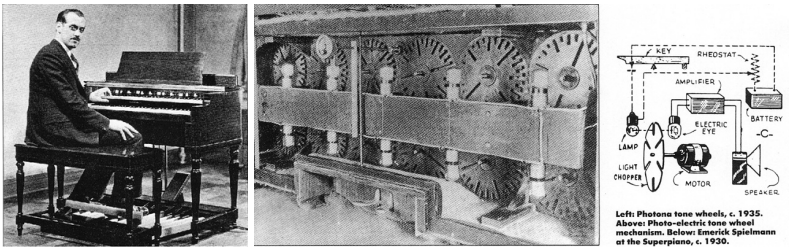


図 E.106　左：ハモンドオルガンと開発者の Laurens Hammond，中央：オクターヴ内の 12 音に対応する 12 枚のトーンホイール。中心からの距離によって，1 周上のスリットの数を 2 倍ずつにすることにより，2 の冪乗の高調波を発生できる。12 枚作って，回転速度を 1 オクターヴ内の 12 音高に対応させる。第 3 高調波の系列を作るには，回転数が基準の 3/2 倍の回転速度のトーンホイールを作る。右：トーンホイールのスリットを通る光によって調波成分としての周期信号を作る概念図。

コーヒーブレイク

機械による高調波の発生とその電気的な加算

ハモンドオルガンの音の作り方は図 E.106 右に示すように，基本的にはオクターヴ内の 12 音に対応する 12 枚の円盤（トーンホイール）を用いるもので，それから得られる高調波を奏者が設定した割合で加算して出力音の音色を調整する。トーンホイールは，中心からの距離によって円周上のスリットの数が 2 の冪（べき）乗で増えるように光のとおり孔を切ってあり，これを回転させると，1 枚のトーンホイールで光がスリットを通過できる頻度を 2 の冪乗で得ることができる。

これで，基本波からオクターヴずつ上の高調波を作ることができる。12 枚のホイールの回転速度を半音の周波数比に設定して 12 通りの速度で回しておけば，オクターヴ内の 12 音を得ることができる。高調波が 2 の冪乗のものだけしかないと，音に潤いを欠くので，第 3 高調波の回転数のホイールも用意しておく。そ

の場合，トーンホイールの数は計 24 枚になる。第 5 高調波の系列のホイールも作るとなると，ホイールの総数は 36 枚になる。

オクターヴ内の 12 音に対応する 12 枚のトーンホイール（図 E.106 中央）を回してそれぞれの高調波が発生するようにしておき，その出力の大きさを設定して加算することによって音色を作るものである。トーンホイールは円盤上に 1 周を $N = 2^n$ 等分（中心からの距離で $n = 0, 1, 2, 1\cdots$ が異なるようにしてある）する位置にスリットを切って音高に対応する回転速度で円盤を回し，スリットを通過する光（図 E.106 右）を使って n オクターヴ上の音（高調波に対応させたつもり）を作り出すようにするものである。鍵盤のキーとオクターヴ位置でトーンホイールと最低次の半径を選んで出力音の高さを得る。音色の調整として，どの高調波をどの程度の大きさで使うかは奏者がドロウ・バー（**図 E.107**）で設定できるようになっていた。



図 E.107 高調波（パイプの長さで表示）を選ぶドロウ・バー。バー前面の数値は仮想パイプの長さをインチ単位で表し，引き出し量が成分の大きさを表す。

トーンホイール方式のハモンドオルガンは電子オルガンと呼ばれる楽器の先駆的なものであるが，その図体の大きさと重さから，1970 年代前半には電子回路での波形合成による小型軽量の「電子オルガン」（商標名：「エレクトーン」など）と呼ばれた鍵盤型のシンセサイザにとって代わられた。

コーヒーブレイク

ハモンドオルガンの音色の設定方法はパイプオルガンと酷似

何番目の高調波をどの程度使うかは鍵盤前面にあるドロウ・バーの引き出し量によって奏者が設定できる。図 E.107 にドロウ・バーの引き出し例を示す。

図の白いバーのアタマ（見えにくいが）に左から 8’，4’，2’，右端に 1’ の字

が見える。これはオルガンのパイプの長さと対応している。黒のバーは左から $\left(2\frac{2}{3}\right)'=\frac{8'}{3}$，$\left(1\frac{3}{5}\right)'=\frac{8'}{5}$，$\left(1\frac{1}{3}\right)'=\frac{4'}{3}=\frac{8'}{6}$，で，それぞれ 8' 管の $\frac{1}{3}$，$\frac{1}{5}$，$\frac{1}{6}$ の長さの管，すなわちそれぞれ 8' 管の第 3，第 5，第 6 高調波を表す。各バーの上面の数字は引き出し量の目安を表す。この音色作りはオルガンのストップの選択によるのと同じ概念であるので，「オルガン」という名称が付けられた。

（b） RCA Mark-II（通称：“Victor”）　式 (付.161) のようなスペクトル構造を持つ音を正弦波発振器出力の加算としてアナログ回路で作り，出力音の音量の時間変化を電圧の時間経過波形で表して，電気回路で成形するという形でミュージック・シンセサイザ「RCA Mark-II」（通称：Victor）が 1957 年にオルソンらによって作られた。これは調波構造のスペクトルを持つ音を正弦波発振器出力の加算としてアナログ回路で作り，出力音の音量の時間変化を電圧の時間経過波形で表して，電気回路で成形するという形のミュージック・シンセサイザである。アナログ機器の駆動装置としてディジタル計算機を使ってオルソンとベラーらによって作られたもので，演奏用の鍵盤は持っておらず，リアルタイム演奏はできなかった。

図 E.108 に RCA Mark-II の概略のブロック図を示す。

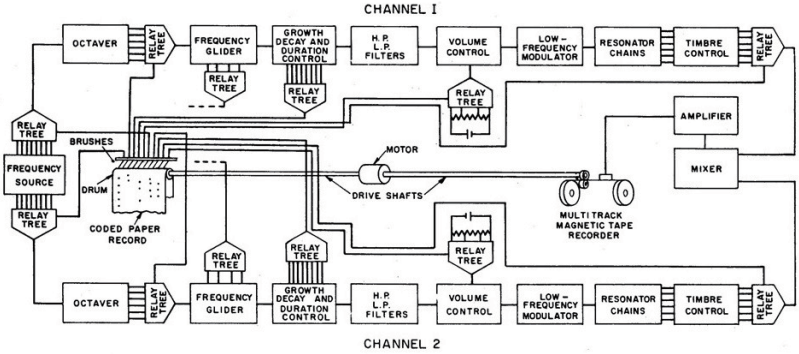


図 E.108　RCA Mark-II ブロック図（H. Olson[79]）

コーヒーブレイク

リアルタイム演奏ができなかった世界最初のシンセサイザ

RCA Mark-II は決められたルールに従って幅の広い紙テープに作り方をあらかじめパンチして入力しておき，それから読み出した情報でアナログの発振器や整形用のフィルターや増幅器を多段のリレー網で操作し，アナログ出力の音は多チャンネルの磁気テープにいったん収録され，演奏時はそれを再生するというもので，リアルタイム性（その場ですぐに音として出力する機能）はなかった。そもそも演奏用の鍵盤は持っていなかった。

図 E.109 左に RCA Mark-II のほぼ全体（部屋いっぱいに広がる）を示す。右は開発に関わった作曲家 Milton Babbit が，デモのために穿孔した紙テープを読み込ませているところである。

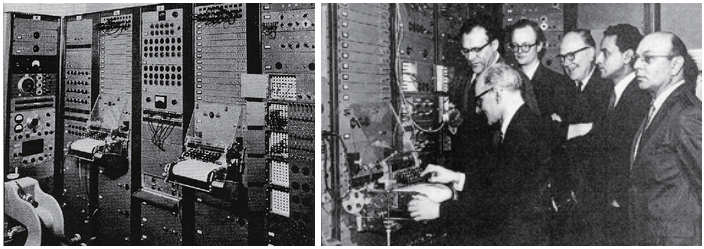


図 E.109 左：H. オルソン H. ベラーが共同開発した壁面いっぱいのサウンドシンセサイザ RCA Mark-II （1957 年），右：穿孔されたロール紙を読み取り機にセットする作曲家の Milton Babbitt。立っている 5 人の左端に，コロンビア―プリンストン電子音楽センターを設立した Vladimir Ussachevsky, 中央に Otto Luening の 2 人が見える。【“Keyboard”別冊】

（**3**） **減算合成**** 加算合成では各成分の信号を個別に作るのに手間がかかる（例えばピアノの音は調波構造が非線形にずれ，各成分の時間減衰の様態が異なる。擦弦楽器はもっと複雑で加算合成の方法ではほとんど不可能）ので，計算の負荷を軽減するために，明瞭な高さ感覚をもち，かつ多くの成分をもった**タネ信号**をまず作っておき，そこから不要な成分を削るという方式が開発された。

コーヒーブレイク

減算合成のための「タネ信号」に対する要請

減算合成のための「タネ信号」に対する要請は，第 1 に明確な音高をもつこと，その次には音色操作の自由度を確保できるために高調波が豊富であること，その他にヴィブラートなど演奏に表情付けができるように音高や強さを揺らそうと思えば揺らすことができることである。その上に，通常は自然な音（実世界で得られたように聞こえる音）が望ましい。強さの時間変化は振幅に時間関数をかければよいので通常は簡単にできるが，高さを揺らすのはそれほど簡単でない場合がある。明確な音高をもつためには周波数スペクトルが調波構造をもてばよいということになるが，音高を揺らせるためには高調波を同期的に揺らせる必要がある。物理的な振動で得られる音の周波数スペクトルは通常右下がり（高域になるほど成分が小さい）なので，高域下がりの調波構造を持つ音で調波構造の間隔を比例的に伸縮できる信号が減算合成のタネ信号として望ましいということになる。

減算合成はこのような特性を持つ信号として鋸歯状波（三角波）や矩形波を用い，フィルターによって周波数特性を調整し，不要な成分を削るなどし，立ち上がりと減衰の特性を付与し，時間波形の包絡線をエンヴェロープ・ジェネレータ（図 E.110 では EG）で記述するなど，種々の調整をすることによって所望の音色を得ることになる。

コーヒーブレイク

ピッチ感をもち，高調波成分が豊富な「タネ信号 1」 **

減算合成用のタネ波形として，明確なピッチ感をもち，高調波成分をたくさんもった調波構造スペクトルを与える波形として，まず鋸歯状波を説明しておこう。

鋸歯状波

周期 2π の鋸歯状波は，例えば区間 $-\pi \le t \le \pi$ で

$$x(t) = \frac{1}{2}(t+\pi) \tag{11}$$

で定義される波形が周期 $T = 2\pi$ で繰り返すとして表せるが，これは次の形でフーリエ級数展開できる。

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n\, e^{jnt} \tag{12}$$

ただし

$$c_n = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} x(t)e^{-jn\omega_0 t}dt \tag{13}$$

計算すると

$$c_0 = \frac{\pi}{2}, \qquad c_{n(\neq 0)} = j\frac{(-1)^n}{2n} \tag{14}$$

したがって，次式となる。

$$x(t) = \frac{\pi}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n}\sin nt \tag{15}$$

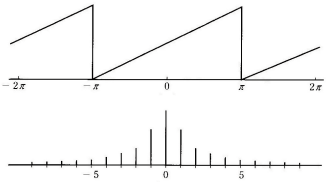


図 5　上：周期 2π（基本周波数 1 Hz）の鋸歯状波，下：その周波数スペクトル

$x(t)$ は周期 T を 2π としたので，ラジアン単位の基本角周波数 ω_0 は $\omega_0 = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}$ rad/s で，Hz 単位での基本周波数 f_0 は 1 Hz である。$x(t)$ は 1 Hz ごとに成分を持つ調波構造になる。

図 5 はその波形と周波数スペクトル（級数展開の成分の表示）である。基本周波数が 1 Hz の高域下がりの調波構造であることがわかる。

コーヒーブレイク

ピッチ感をもち，高調波成分が豊富な「タネ信号 2」 **

減算合成用のタネとなる 2 つ目の波形として，矩形波を挙げておく。これも，鋸歯状波と同じく，明確なピッチ感をもち，スペクトルは高調波成分をたくさんもった調波構造になる。

矩形波

周期 2π の矩形波として，例えば区間 $-\pi \le t \le \pi$ で

$$x(t) = \begin{cases} 0 & \left(-\pi \le t < -\dfrac{\pi}{p}\right) \\ \pi & \left(-\dfrac{\pi}{p} \le t < \dfrac{\pi}{p}\right) \\ 0 & \left(\dfrac{\pi}{p} \le t < \pi\right) \end{cases} \tag{16}$$

で表される矩形波 $x(t)$ を考える。フーリエ級数の形で書くと次のようになる。

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\frac{n\pi}{p} \cos n\omega_0 t \tag{17}$$

図 6 に $p = 6$ の場合の波形と周波数スペクトすを示す。第 p 高調波の大きさが 0 になっている（基本周波数が 1Hz の調波構造スペクトルで，6Hz ごとに包絡が 0 に落ちている）ことがわかる。

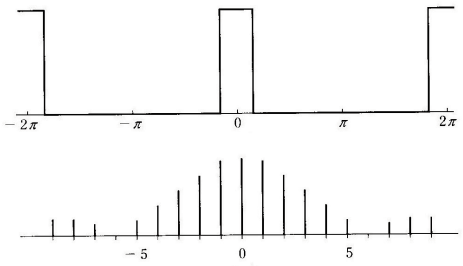


図 6　上：周期 2π（基本周波数 1Hz）の矩形波（$p = 6$ の場合），下：その周波数スペクトル

初期の電気楽器として，鋸歯状波を発振させておいてフィルタで所望の特性を得る**トラウトニウム**が開発され，その後，音楽用の最初の「弾けるシンセサイザ」として**モーグシンセサイザ**が開発された。これも周波数成分をたくさん含みかつ高さ感じさせるタネ信号として，鋸歯状波や矩形波をアナログ回路で

発生させておき，時変フィルタで特性を変化させながら振幅包絡のゆっくりした整形を低周波の電圧制御回路で実現していたので，**電圧制御合成**とも呼ばれる。**図 E.110** にその概念のブロック図を示す。

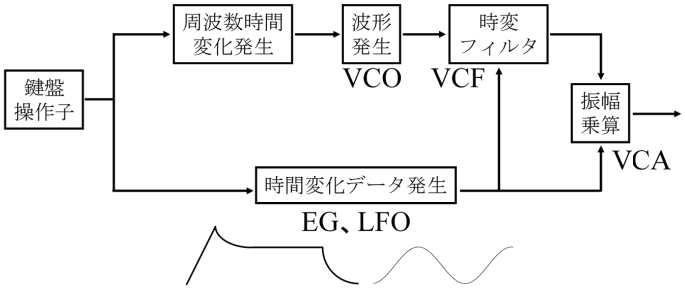


図 E.110　電圧制御型合成器のブロック図[80)p.33]
(VC: 電圧制御型　VCO: 発振器，VCF: フィルタ，VCA: 増幅器，E[G: 包絡発生器，LFO: 低周波発振器)

（**a**）**トラウトニウム**　　トラウトヴァイン（Friedrich Trautwein）によって 1930 年に開発され，大戦後はトラウトヴァインの弟子で，奏者でもあったオスカー・ザラ（Oskar Sala, 1910-2002）によって改良が重ねられた。1931 年以後はテレフンケン社から市販され，最初はネオン管によったが，すぐにサイラトロンにかわり，後にトランジスタになった。サブハーモニックスを出せるものはミクストゥール・トラウトニウムと呼ばれる。後にザラによって，ノイズ生成器と包絡生成器が加えられた。ピアノのような鍵盤はもたず，抵抗線の接触位置（奏者が指を左右に滑らせて決める）によって周波数（音の高さ）を変えられる発振器と，周波数特性付与のための柔軟性の高いフィルター群をもち，多様な音色を生成できた。

コーヒーブレイク

鋸歯状波を発生させておいて加工するトラウトニウム

トラウトニウムは，初期の減算型音合成器として，Friedrich Trautwein（楽器の名称はこの名前に基づく）によって開発されたプリセット型のサウンドシンセサイザである。多数のスイッチとツマミが付いており，それによってどの帯域の高調波を使うかなどを決めて音色を設定してから演奏することになる。演奏操作はピアノのようなキーボードではなく，**図 7** 左のように，金属板の上に張られた抵抗線を押さえて音を出す。抵抗線を押し下げて金属板に接触させることによって発振回路が形成されて音が出るようになっている。金属板は 2 つのスプリングで台から浮かされており，指の圧力を検知するようになっていて，音の大きさは抵抗線を押さえる指の圧力と足ペダルでコントロールするようになっている。指を左右に振らせたり押さえる強さを変化されたりしてヴィブラートなどの感情的な表現ができる。

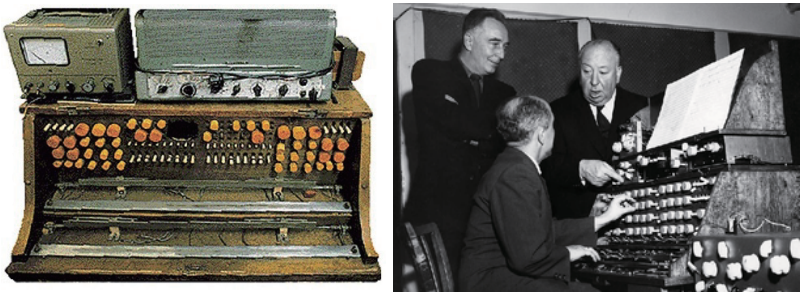


図 7　左：初期のモデル (Technologia Musicale, Word Press)，右：映画「鳥」の音を作るためにミクストゥール・トラウトニウムを操作する Oskar Sala。右は監督のヒッチコック，左は作曲のレミ・ガスマン（1962 年，“Art of the Title”より）

抵抗線の上に多数の舌が出ていて，これは音高の位置（各オクターヴの C, D, G, A の位置）の目安を与えるためでもあるが，下に抵抗線が張られているので実際にこれを押しても音が出る。テレフンケン社から 1933-35 年に約 200 台が発売された初期モデル “Volkstrautonium” は閾値素子としてネオン管を使った緩和発振によったが，後にサイラトロン（熱陰極グリッド制御放電管）を使った発振になり，後年のモデルではトランジスタを使った発振になった。いずれも，高調波を豊富に持つ鋸歯状波（三角波）を発生しておいて，そのスペクトルから不要な高調波をフィルターで削っていくという減算型のシンセサイザである。

コーヒーブレイク

トラウトニウムからミクストゥール・トラウトニウムへ

1930 年に演奏家オスカー・ザラ（Oskar Sala）と作曲家ヒンデミット（Paul Hindemith）によって公開演奏され，ヒンデミットとその弟子ゲンツマー（Harald Genzmer）はこの楽器のための曲を多数書き，Sala は亡くなる 2002 年までこの楽器の改良を続けた。彼の改良は，まず調律を切り替える機能の搭載に始まり，その後ノイズ発生器，包絡発生器，フォルマント・フィルター，サブハーモニック発振器などを追加したミクストゥール・トラウトニウムに発展した。トラウトニウムは多重音のリアルタイム出力が可能で，単音しか出せなかったオンド・マルトノから大きく発展したが，数年後にハモンドオルガンが出現したことによって商業的には衰退した。

初期のモデルは抵抗線の接触盤が 1 段（3 オクターヴ半），足ペダルも 1 つであったが，後年のミクストゥール・トラウトニウムは，図 7 右のように，接触盤が 2 段，足ペダルも 2 つになった。初期のモデルで発振できるマスター周波数の最高値は 4186 Hz（C5）で最低周波数はその 3 オクターヴ半下の 392 Hz（G1）であったが，ミクストゥール・トラウトニウムは周波数分周器によってサブハーモニックとして 392/24=16 Hz まで作ることができた。音としては，ヒッチコックによる映画「鳥」（1963 年）での鳥の集団的な啼き声の合成が有名である。

- サブハーモニック：基本周波数よりも周波数の低い成分
- 周波数分周器：周波数を整数分の 1 に落とす装置

（**b**） **モーグシンセサイザ**　電圧制御合成を使い，キーボードを備えて演奏のリアルタイム性をもたせたシンセサイザとして，1960 年代に華々しく登場したのが**モーグシンセサイザ**で，発売数年後に Walter Carlos（後に性転換して Wendy Carlos）制作の “Switched-on Bach” が発売され，これは。クラシック系のレコードとして空前の売り上げを示した。

図 E.111 左に開発者 Robert Moog とそのシンセサイザを示す。中央に “Switched-on Bach”のジャケット写真，右は LSI 化され MIDI 規格にも対応した現在のミニモーグである。左の写真を見ればわかるように，初期のものは「簞笥（たんす）モーグ」とも呼ばれる大きな図体のもので，それにケーブルを張り巡らせて音作りをしたが，LSI 化された現在のものは小さくなり，ケーブル接続をしなくても音を出せ，接続の失敗はなくなったが，音作りの自由度は大きく

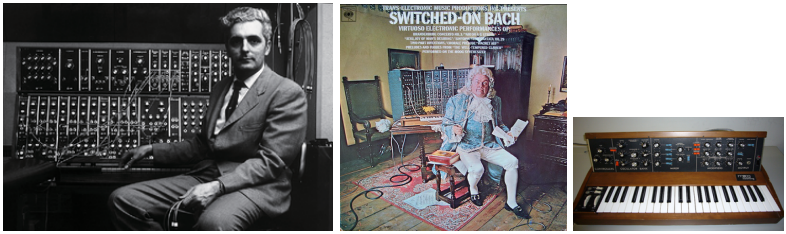


図 E.111　左：モーグシンセサイザと開発者 Robert Moog, 中：“Switched-on Bach” のジャケット，右：IC 化された現在の小型モーグ

制限される。

（4） **MIDI 規格制定後の音合成型シンセサイザ**　　音楽用のシンセサイザは 1982 年の MIDI 規格制定以後，種々の方式のものが開発され，市販されてきた。代表的な型として，FM シンセサイザ，PCM シンセサイザ，物理モデルシンセサイザなどがある。ただし，その中で，PCM シンセサイザは記憶装置に格納されている種々の楽器の波形データを音色（楽器）の設定と音高・奏法などの演奏情報に従って読み出したり，必要な場合には加工・編集して，知覚的にリアルタイムと感じられる時間内に音響出力する方式なので，実際の（楽器などの）音を記録したものが信号源となっており，発音源による分類では電鳴楽器に入れにくいので，本書の分類では「外見的電鳴楽器」としてある。したがって，**図 E.112** では，左右のものは真正電鳴楽器であるが，中央のものは外見的電鳴楽器である。



図 E.112　ヤマハから出された種々のタイプのミュージック・シンセサイザ。左：FM シンセサイザ，中：PCM シンセサイザ，右：物理モデルシンセサイザ　（外見から方式はわからない）

典型的な 3 種のタイプのミュージック・シンセサイザを以下に示す。

（a） **FM 合 成**　　放送のための技術である FM（周波数変調）を利用して音を作るが，放送のためには大きく異なる変調波（音声信号）と被変調波（搬

送波）の周波数を同程度にし，場合によると多重変調にすることによって多様な信号を作る方式で，Stanford 大学のチャウニング（John Chowning）が取った特許をヤマハが買い取って製品化した。

コーヒーブレイク

FM 音源の原理

FM（frequency modulation：周波数変調）は搬送波の周波数を伝送対象の信号で変調するもので，搬送波の周波数を f_c，振幅を A_c として，被変調波の瞬時周波数 $f(t)$ が f_c の上下で振れ幅（変調度）を A_m として周波数 f_m で揺れるとして

$$f(t) = f_c + A_m \sin(2\pi f_m t) \tag{18}$$

とおくと，被変調波の位相 $\theta(t)$ はその積分として Hz 単位で表すと

$$\theta(t) = \int f(t)dt = f_c t - \frac{A}{2\pi f_m} \cos(2\pi f_m t + \phi) + \text{const} \tag{19}$$

となる。積分定数 ϕ と const の値は今は問題でない。これらを 0 とし，変調度を m として，位相を 90 度ずらせる（$\phi = -\frac{\pi}{2}$ とする）と cos を sin に置き換えられるので，FM 信号を

$$s(t) = A_c \sin\{2\pi f_c t + m \sin(2\pi f_m t)\} \tag{20}$$

の形で書くことができる。

図 E.113 にそのブロック図を示す。

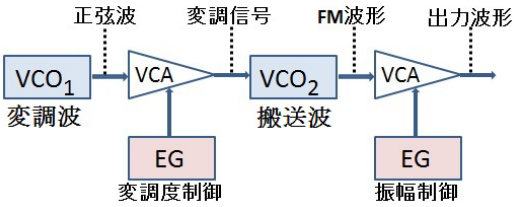


図 E.113　最簡形式の FM 合成ブロック図[80)p.34]。VCO: 電圧制御発振器，VCA: 電圧制御増幅器，EG: 包絡生成器。放送と異なり，搬送波も変調波も可聴周波数。

FM 合成は，簡単なハードで実現できたので，安価で多様な音作りが楽しめるシンセサイザとして一時的に広がったが，音色の制作が試行錯誤に頼らざるを得ず，通常の楽器の音を再現することすら難しいという弱点のために，10 年ほどで PCM 合成に取って代わられた。

コーヒーブレイク

FM で調波構造スペクトルを作るには

式 (20) は，加法定理を用いて次のように変形できる。

$$s(t) = A_c\{\sin(2\pi f_c t)\cos(m\sin 2\pi f_m t) + \cos(2\pi f_c t)\sin(m\sin 2\pi f_m t)\} \tag{21}$$

ベッセル関数の母関数を使うと

$$s(t) = A_c\{\sin(2\pi f_c t)\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m)\cos(n2\pi f_m t) \tag{22}$$

$$+\cos 2\pi f_c t\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m)\sin(n2\pi f_m t)\} \tag{23}$$

と書けるが，$\sum J_n(m)$ でくくって

$$s(t) = A_c\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m)\{\sin(2\pi f_c t)\cos(n2\pi f_m t) + \cos(2\pi f_c t)\sin(n2\pi f_m t)\} \tag{24}$$

ここで，加法定理をもう一度使うと

$$s(t) = A_c\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(m)\sin 2\pi(f_c + nf_m)t \tag{25}$$

これから，変調周波数を搬送波の周波数と一致させると，スペクトルは調波構造になる。つまり音高を感じさせる音が得られることがわかる[80)p.34]。

変調周波数と搬送波周波数の比を非整数にすると調波構造でなくなるので，立ち上がりを急峻にして減衰を適切に設定すると，高さの決まっていない打楽器類の合成に使うこともできる。MIDI 規格制定の翌年の 1982 年にヤマハから MIDI 規格で出された FM 音源搭載の **DX-7**（図 E.112 左）はコストパフォーマンスがよく，爆発的に広まったが，生(なま)楽器の音をきれいには再現できず，PCM

音源にシンセサイザの主方式の座を譲った。ただ，簡便に多様な音が作れるので，現在でも携帯型の機器には広く使われている。

（b） PCM 合成（発音源が電気とは認めにくい）　PCM シンセサイザは種々の楽器の各音高の音響信号を波形データとして記憶装置に格納しておき，コードで指定される楽器名・音名・強さなどを波形データをから読み出し，演奏情報に基づく制御部からの要求によって必要な加工・編集をディジタル信号処理によって施し，知覚的にリアルタイムと感じられる時間内に音として出力する方式のシンセサイザである。物理的な音を記録したものが信号源であり，いわば編集合成なので，音源による分類では電鳴楽器に入れにくい。元の音源の発音体は空気でも弦でも膜や弾性体でもあり得るので，本書の分類では「外見的電鳴楽器」としておく。したがって，図 E.112 では，左右のものは真正電鳴楽器であるが，中央のものは外見的電鳴楽器である。音源信号をサンプリングして持っておくので，音源を「サンプリング音源」，シンセサイザを「サンプリングシンセサンザ」と呼ぶこともある。

録音編集方式による楽器音の生成はディジタル技術によってはじめて実現可能になったように思えるが，実はアナログ時代にもこのアイデアがあり，それを無理やり実現したものがあった。**メロトロン**と呼ばれ，それは，音の記録装置として磁気テープを使い，音を出し終わったら所定の位置に巻き戻しておくというもので，キーの数（35 鍵）に対応したチャンネル数を持ち，押鍵されている間だけキーに対応したチャンネルのテープを再生するようになっていたが，機構の複雑さとテープの伸びの問題があった。各音の長さはテープの物理的制約から通常は最長で 4 秒であった。テープの速度を半分に落として 8 秒まで持続させることはできたが，音高が 1 オクターヴ下がった。

コーヒーブレイク

PCM シンセシスにおけるウェーヴシェーピング

PCM 合成でメモリーに持っていない高さの音を合成する場合に採られていたウェーヴシェーピング法を簡単に説明しておく。

サンプリングレート f_s でもっている原データのテーブルサイズを t_s とする。このとき，所望の基本周波数の音を生成するには，読み出しアドレスをサンプリング点ごとに $t_s \times f_0/f_s$ ずつ進める。ただし，折り返し誤差が生じないように f_s は十分大きくとり，アドレスの変化範囲は mod（t_s）をとって，0〜t_s に収まるようにする。サンプル間の値は補間で求める。メモリーが高価であった時代は，メモリーの大量消費を抑えるために立ち上がり以外は 1 波（1 周期の波形）をループさせる方法（**図 8**）で音を延ばしたが，個々の楽器の全音域を 1 つの波形で賄う形のループ方式は品質が良くなかったので，メモリーの低価格化に伴って高さと強さに応じた音を記憶するようになり，いくつかの音域に分けて編集（振幅の正規化やピッチの補正，音色の調整など）を行うようになった。

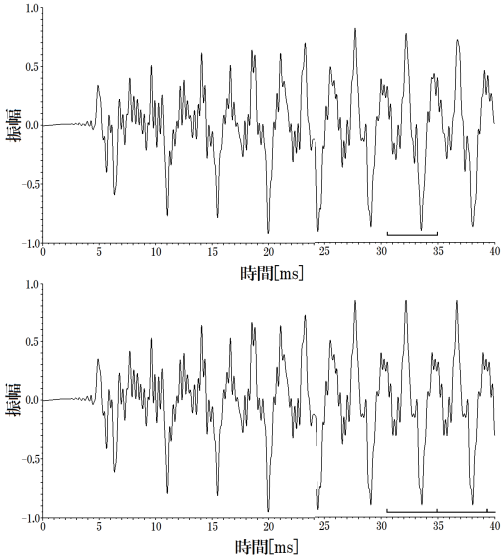


図 8　PCM シンセサイザでのループ処理[80)p.34]。
上図の横軸の 31〜35 ms 付近の区間は 1 周期の区間長を示す。下図の 31〜40 ms 付近の区間はそれを 2 回繰り返した 2 周期の区間長を示す。

（c） **物理モデルシンセサイザ**　PCM 方式では元になる音を録音しないと音を作れないため，音の創作という観点からは後ろ向きなのではないかというような意識がメーカーに芽生え，その後，パソコンの処理速度の飛躍的な高速化によって，仮想的な楽器についても，モデル化が可能であれば物理モデルとシミュレーション技術によって，その音を実時間で生成できる「物理モデル」に基づく合成方式が登場した。

物理モデルによる楽器音の合成は，古くはコンピュータによる「イリアック組曲」（作曲はコンピュータ，演奏は弦楽四重奏）の作曲者として著名な L. Hiller らによる波動方程式の固有解の合成[81] に始まり，1980 年代に M.E.McIntyre らによって，楽器音の生成は，励振過程の非線形要素，音のピッチ（あるいは発音周波数）を決定する線形の共鳴部分，および音の放射から構成されるというモデルが提唱され[19]，これを効率よく実現する合成方式として J.O.Smith らによってディジタル導波管と名付けられた方式が開発され[82]，実用化が促進されて，ヤマハによって VL-1 として商品化された。

シミュレーションの手法として, 現在では有限要素法（FEM），境界要素法（BEM），時間領域有限差分法（FDTD），モード法などがある。前 3 者は，空間と時間を微小領域に分けて波動方程式を微小時間ごとに空気や振動体あるいは響板などの振動動作状況を記述する差分方程式に書き直して計算するもので，領域区分化の細かさの不足による誤差の蓄積などの問題がある。モード法は Hiller らによって提唱された波動方程式の固有解の合成による方法であるが，微分方程式の解が解析的に得られている場合に，指定したモード次数までの解を固有値で荷重加算して解を求めるもので，解析的な解が求まっている必要があり，かつ何次モードまで使えば所望の精度で解を求められるかは簡単な問題ではない。

コーヒーブレイク

物理モデルってなに？　どんなことができるの？

金管楽器のモデルとそれに対応する McIntyre[19] らのモデルおよび Smith ら[82] のウェーヴガイドモデルを**図 9** に示す。

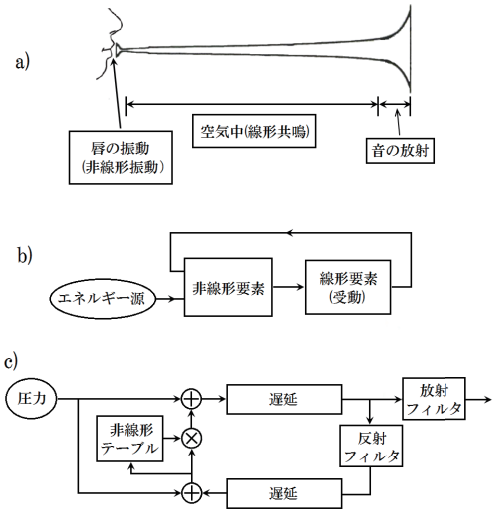


図 9　物理モデル音源のブロック図[80) p.35]

空間と時間を微小領域に分けて，波動方程式を差分方程式に書き直して計算するが，現象をどこまで厳密に表せるかという根源的な問題とともに，領域区分化の細かさの不足による誤差の蓄積などの問題がある。誤差は低周波数領域に関しては小さいが，高周波数領域になるにしたがって計算量が増え，誤差も大きくなる。物理モデルを実現できるプログラマブル LSI が開発され，1990 年代以降はこれを用いてシンセサイザを作る手法も確立されている。副産物としてこれらを用いてヴィンテージ物のシンセサイザをディジタル的にシミュレートすることも行われた。実際には現物を作ることが難しいような楽器も仮想的に作って，その音を聴いてみるというようなことも可能になっている。現在では CPU の性能が著しく向上したのでほぼ実時間（リアルタイム）でソフト的に楽器音を合成することが可能となり，1 台のコンピュータで色々な方式の発音方式をもつ楽器を同時に鳴らすことが可能である。

（5） 自動演奏装置

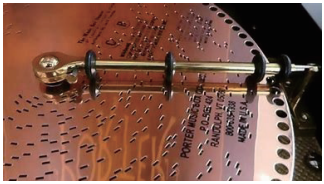
（a） 機械的自動演奏装置　機械的自動演奏装置について以下に記す。

(a.1)　オルゴール　簡単な自動演奏機として現在でもゼンマイ式のオルゴールがおもちゃとして生き残っている。時計が電子化されるまでは，目覚まし時計はほとんどすべてゼンマイ方式で，アラームの音としてベル以外ではオルゴールが使われた。目覚ましのように，毎回同じ曲で構わないなら演奏情報は固定でよいが，曲を変えるためには演奏情報を入れ替える必要がある。

目覚まし時計のオルゴールはシリンダー型が多いが，それは曲を変える必要がないからで，曲をいろいろ変えて演奏させるにはディスク型（**図 E.114**）のほうが収納性の点で優れており，曲を聴くためのオルゴールは次第にディスク式に移行して行った。これはエディソン社のシリンダーレコードがベルリナー社のディスクレコードよりも音質はよかったにもかかわらず，収納性が劣ったのでディスクレコードに駆逐されたのと同じである。



(a)　20 世紀初頭のディスク型



(b)　現代のディスク型 (市販品)

図 E.114　ディスク型オルゴール

昔は大型のシリンダーに 6〜12 曲を入れて，曲ごとにシリンダーをシフトさせるものもあった（**図 E.115**）が，入れることのできる曲数の制約がきつかった。シリンダーの回転速度を調整できない限り，シリンダーの 1 回転に要する時間は同じなので，演奏時間長が同じ曲しか入れられないことも大きな制約であった。シリンダーで 1 周に 2 曲入れる型もあった。以上のような事情で，自動演奏装置としてのオルゴールはディスク式に移行して行ったが，ディスク式



図 E.115　オーケストリオンで使われている大型シリンダーオルゴール。上段左に，シンバルとスネアドラム。シリンダーの上にコーム（櫛の歯状に発音体のリードを並べた部品）

の場合，ディスクの内側は線速度が遅いので，ピン打ちの位置と高さに外周よりも精度が要求された。

オルゴールの駆動にゼンマイを使う場合には，再生速度をできるだけ一定に保つために機械式の**ガヴァナー**を用いることが多い。回転速度の一定性がそれほど求められない目覚ましやおもちゃの場合は，製造コストを抑えるために空気抵抗を利用する簡単な回転羽根が用いられることが多いが，それは余りにも性能が低いので，もう少し頑張る場合（20 世紀初頭の蓄音機など）には，回転軸から重心までの距離が回転速度によって変わるようにスプリングで支持された錘（おもり）に働く遠心力を利用して回転モーメントを変え，回転が遅くなると回転

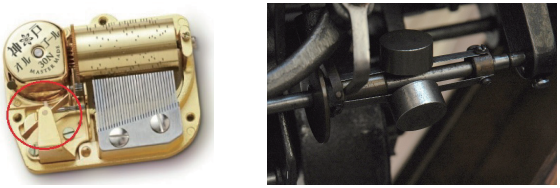


図 E.116　回転速度を一定に保つためのガヴァナー 2 種
左：オルゴール用の簡易型（神戸オルゴールの HP から）　赤丸で囲った羽根が回転する。空気抵抗によってゼンマイの復元力が大きい状態での回転を抑える。
右：蓄音機（Edison 社 “Standard Phonograph”）用のもの（The Antique Phonograph Society の HP から）　軸の回転速度が落ちるとスプリングで錘が軸に近づいて速く回転できるようになり，回転速度はそれほど落ちない。

モーメントが小さくなる（回転速度が落ちてくると錘が回転軸に近寄って回転しやすくなる）ガヴァナーとして用いられた。錘を使ったガヴァナーは錘の位置を変えることができたので，ゼンマイが劣化しても，それに応じて調整することができた。オルゴール用の簡易ガヴァナー（空気抵抗利用）と蓄音機用の錘を使ったガヴァナー（回転モーメント利用）を**図 E.116** に示す。

(a.2) ストリートオルガン ヨーロッパには**ストリートオルガン**と呼ばれる自動演奏機械の文化がある。笛・撥弦楽器・打楽器などを機械的に演奏する機械で，完全に手動による機械的なものから動力や制御に電気を使うものまである。演奏情報（音高と発音タイミング）の記録と再生には紙に穴を開けたロール紙（電動の場合）や折りたたみ式の長い厚紙（手動の場合）で，それを取り替えることによって演奏する曲を変える。

路面電車ほどもある大型のものから，手押し車に乗せられる程度の小型のものまであり，小型のものは**オルガニート**（「オルガン」に縮小辞を付けた語形）と呼ばれる（**図 E.117** 左）。音楽に合わせて動く人形が付属しているものが多い。



図 E.117 左から：手廻しオルガニート（小型ストリートオルガン），ストリートオルガン（現代のもの，オランダ，A C Pilmer 社），ヴィオリーナ（ヴァイオリンの自動演奏機械。Expo'70 の西ドイツ館に展示してあったもの）。

(a.3) 自動演奏機械 ヨーロッパでは 19 世紀末からストリートオルガンができて，いろいろな楽器の機械的な自動演奏機が作られた。動力は電気が使えるようになるまで手廻しハンドルであった。打楽器と撥弦楽器が最も早くからでき，ふいごで空気を送る笛もあった（図 E.117 左，中）が，擦弦楽器の自動演奏はこれらよりも遅れ，最初にできたのは 1920 年代であった。Expo'70 に西ドイツが持ってきていたヴァイオリンの自動演奏機「ヴィオリーナ」を図

E.117 右に示す。これはネックを下に弦を外向きに倒立状態で，ヴァイオリン 4 本を外向きに保持しておき，円形に張った弓を外側で回しておいて，押弦は圧搾空気で行い，擦弦は弾くべき弦が円形弓に触れるようにネックを軸にしてボディを回転して弦を決めてから，回転する円形の弓に弾くべき弦が触れるように，ヴァイオリンのテール部を外側へ倒し，ヴァイオリンを外側へ傾ける。ただこの方式では毛を真円形に外周から保持して張るのは難しいので，擦弦を均一にするのは難しいはずである。実動機の音を聞くと，アタックなどに問題がありベターッとした音になっているが，強弱の周期的な変動はなく擦弦は少なくとも聴感上はほぼ一定にできているようである。これは自動演奏機ではあるが，音を出しているのはヴァイオリンである。オーケストリオン（多数の自動楽器を寄せ集めて作られたオーケストラの機械的な代用品のようなもの）という名称で 1920 年代までドイツやアメリカで発展し，コインを入れれば動くコイノーラというジュークボックスのようなものまで現れたが，蓄音機やレコードの発達によって衰退した。

ヴィオリーナの機構部分の拡大（圧搾空気による押弦機構と円形弓が見える）と，オーケストリオン 2 種を**図 E.118** に示す。ヴィオリーナはピッツイカートも可能で，擦弦状態を変えるために，円形弓の回転速度を変えるようになっている。ただし，円形弓の位置は固定なので，スル・ポティチェロとかスル・タストはできない。弓圧（弓を弦に押し付ける力）を変えられるようになっていのかは動作からはわからなかった。自動ピアノと組み合わせた型（Hupfeld Phonoliszt Violina Model A）も作られている。動作状態は「Hupfeld Violina」で検索すると，動画で数種見ることができる。ウェーバー (Weber) 社（ドイツ）のオーケストリオン「マエスト (Maesto)」では右上に金属パイプ群，左上に打鍵機構が見え，中段にロールペーパーの読み取り機構がある。下段はモーターを使ったふいご（ベローズ）である。アルブーロ社（ベルギー）1928-29 年製のオーケストリオンは，湾曲した鍵盤をもつアコーディオンが正面の窓から見えるように筐体が作られており，その後ろから右へ笛（木製パイプ）が並んでいる。左上にベースドラムとその下にトライアグルがあり，ベースドラムの右



図 E.118 左から：ヴィオリーナの機構部分 (Bayernhof Museum)，オーケストリオン (Weber “Maesto”，リンツ音楽博物館)，内部の例（Arburo 社 “Dansorgel” Hoboken 工場製）

に支柱に一部が隠れた状態でスネアドラムが見え，下段にはモーターの軸とベルトで結ばれた大きなベローズが見える。中段の中央に白く見えるのは演奏情報が穿孔されたロール紙である。“Weber Maesto”で検索して音を聞くことができるが，動作の詳細は見えない。

(a.4) 演奏ロボット **図 E.119** 左は 1985 年の早稲田大学による ‘WABOT-2”「楽譜を読んで鍵盤演奏をするロボット」で，楽譜の読み取りまでは大照研が担当し，楽譜情報から両手の運指（10 指）と両足（左：バス鍵盤，右：音量ペダル）の動作は加藤研が担当した。指の自由度は $(3\times4+2\times1)\times2=28$，腕の自由度は $(2+2+3)\times2=14$，脚の自由度は $(2+1+1)\times2=8$ との説明があった。人間とのコミュニケーションのための音声認識と音声合成は白井研が担当した。

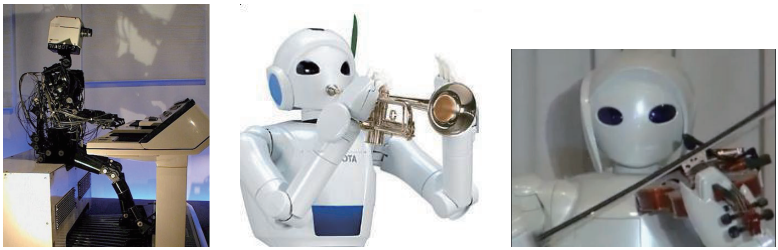


図 E.119 演奏ロボット（左：譜面を読んで鍵盤楽器を弾くロボット（早稲田大：1985 年科学万博)。右 2 枚：トヨタ記念館 2018 年）

右 2 つは，トヨタの展示館においてあった最近の演奏ロボット（トランペットとヴァイオリン）で，これらは汎用の人型ロボットを利用したものである。筑波万博のものは配線がむき出しの武骨なものであったが，最近のものは配線や内部の機構は隠して，見た目がずいぶんスッキリしたものになっている。リップリードでの吹鳴や運弓動作は単なる打鍵よりも機械的にかなり難しいことをやっていることになる。

（b） **自動ピアノ**　自動ピアノについて以下に記す。

(b.1)　ロール紙式自動ピアノ　自動演奏機械にまだ電気が使われていなかったころ，オーケストリオンの製作者であった Michael Welte がシュヴァルツヴァルトからフライブルクに進出し，その長男の Emil が 1865 年に米国へ移り，それまでのオーケストリオンの壊れやすかった木製のシリンダーピン方式をロール紙方式に替えて特許を取り，ニューヨークとモスクワに支店を作って，Welte 社は世界中に知れ渡った。Emil が 1904 年に作った自動ピアノ “Welte-Mignon”（ヴェルテ＝ミニョン）もロール紙式で，強弱とペダル操作も可能であった。その**自動ピアノ**の機構は 1906 年までにシュタインヴェーク（“Steinweg”，スタインウェイの元の名称）とフォイリッヒ（“Feurich”）のピアノに組み込めるようになった。**図 E.120** は “Welte -Mignon”で，鍵盤右端に小さく機種名が見える。



図 E.120　Welte-Mignon（鍵盤とロール紙読み取り部）

演奏情報の記録についてはダイナミックス（強弱）や微妙なペダリングの再現が難しく，ロール紙への手直しがいくらか必要であったが，一応記録再生ができたので，多少の問題はあったが，再現は生のピアノの音になるので，当時の録音再生よりも少なくとも S/N の観点からは圧倒的に優れており，多くの作曲

家の自作自演がこの機械によって残されている。“Welte -Mignon Fauré plays Fauré”で検索すると，サン=サーンス，フォーレ，グラズノフなど，当時の作曲家による自作曲のピアノ演奏（強弱やダンパーペダルの情報も記録されている）を聞くことができる。

一方，純粋な演奏家は，収録後の勝手な手直しを嫌ってか，作曲家による自作曲の演奏に比べて，ロール紙に演奏を残している著名な演奏家は，パデレフスキー程度で数が少ない。

(b.2) PC 制御の演奏再現機能付き自動ピアノ ヴェルテ＝ミニョンは収録後に収録ミスを手作業で修正する必要があったということで，演奏の再現装置としては満足できるものではなかった。オーディオ技術のディジタル化によって録音再生の S/N や周波数帯域は何とでもできるようになり，コンヴェンショナルな仕様の CD でも，ダイナミックレジは 96dB で音楽聴取に十分な S/N を確保でき，周波数帯域は可聴域を十分カバーしたので，再現精度と音質がそれと同等レベルの簡便な演奏再現方法として MIDI 規格の制定後ではその使用が想定されるが，MIDI 情報としての Note-ON の時点でピアノを打鍵したのでは精度の高い演奏再現ができないという，ピアノ特有の問題がある。

ピアノは，打鍵機構の特性として，打鍵されてからハンマーが弦を叩くまでの所要時間が打鍵強度によって異なる。それは，キーを強く叩くとハンマーが速く動くので，打鍵からハンマーが弦を打つまでの時間が短くなるからである。演奏再現システムはこのことを打鍵タイミングに関する補正として組み込んでおかないと，出力音の IOI（音の立ち上がり時点間の時間間隔）を正確に再現できないことになる。後述する Neo-Bechstein は，リアルタイム演奏のためのもので，演奏再現を目的とするものではないということもあって，この補正は考えていなかった。人間の奏者は打鍵してから音が出るまでに時間がかかるということがわかると，発音に必要な準備のための動きを本能的に事前に始めるようになるからである。

コーヒーブレイク

ピアノは打鍵と同時に音が出るのではない

ピアノはキーを強く叩くと，弱く叩いた場合よりもハンマーが速く動いて，打鍵から打弦までの時間が短くなる。MIDI の Note-ON は発音時点（実際には直前の MIDI コマンドからの時間差）とキー番号とヴェロシティの情報を持っているが，Note-ON 時点は通常 MIDI 音源の駆動を想定しており，Note-ON 時点は本来なら発音すべき時点を意味しているのであって，打鍵時点を指しているのではない。

打鍵から打弦までの所要時間の打鍵強度による違いは最大で 50 ms 程度である。ピアノを MIDI で駆動する場合，打弦するためには，ソレノイドで代替打鍵することになるので，演奏を再現する場合に，Note-ON 情報（発音のタイミングと強さ）に基づいて演奏を忠実に再現するには，ソレノイドの駆動タイミングの決定に際して，遅延時間が打鍵強度によって異なることを考慮しなければならない。

ベーゼンドルファー社は 1984〜86 年に演奏再現用の自動演奏システム SE を Imperial，290，275，225 などのモデルについて出したが，開発当初は演奏情報を磁気テープに記録するものであった。その後，その後継システムとして，Windows ver.3 上で動作する “**CEUS**”（本来なら “ZEUS” のはず）が開発された。筆者の研究室にベーゼンドルファー “CEUS-225” とヤマハ “C-3 サイレントアンサンブル” があったので，以下これらの機能と性能などを対比させてやや詳しく説明する。

CEUS は時間精度を通常は 2 ms（速い動きに対しては 1 ms）として，キーの速度，キーの沈み深さ，ハンマーの位置と打弦直前の速度（ヴェロシティ値に対応），各ペダルの沈み深さを，8bit（MIDI のデータ長より 1 bit 多い）の精度で記録し再生に使用している（**表 E.2**，**図 E.121**, **図 E.122**）。

表 E.2 ベーゼンドルファー・セウスの符号化の数値の範囲

		値の範囲	
データの種類	内容	16 進数	10 進数
ハンマー情報	ハンマーヘッド番号	80〜FE	128〜254
	ハンマーヴェロシティ値	00〜FA	0〜250
キー情報	キー番号	00〜7F	0〜127
	キーの沈みの深さ	00〜FA	0〜250
ペダル情報	ペダル番号	6D〜6F	109〜111
	ペダルの沈みの深さ	00〜FA	0〜250



図 E.121 Bösendorfer 225 CEUS の表示部とセンサー部。左から：鍵盤と CEUS 表示，キー深さ検知基盤，ハンマー速度検知部

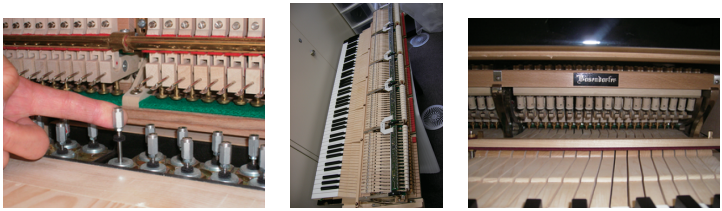


図 E.122 Bösendorfer 225 CEUS のアクチュエータ部。左：アクチュエータとしてのソレノイドの頭，中央：引き出された鍵盤（配線は 4 群に分かれている），右：鍵盤を挿入した状態での停止位置調整のためのシリンダー（鍵盤全体を挿入するとソレノイドの上にキーの奥側が来て，左図で指で持ち上げているソレノイドの頭がそれを突き上げるようになる）

ヤマハのサイレントアンサンブルは，MIDI コマンド † を受け取れば，サイレントモードの場合には打鍵してもハンマーが弦を叩かないようにして MIDI

† MIDI はリアルタイム演奏に使えるように，Note-ON コマンドの時間は直前の MIDI コマンド発出時点からの経過時間で符号化されている。

音源を駆動し，ノーマルモードの際には MIDI 音源の駆動を切り，ピアノ自体の打弦機構を活かして，また自動演奏モード（MIDI コマンドでのピアノ駆動を想定）の場合にはソレノイド駆動によってハンマーが弦を叩くようになっているので，ソレノイド駆動は打鍵強度依存の打鍵タイミング補正を最初から組み込んであり，Note-ON で指定された時点に，指定された大きさの音を出すように，時間マージンをとって，ソレノイド駆動のタイミングを補正してある。したがって，自動演奏モードでの Note-ON として流されるソレノイド駆動による発音時点と初期の発音時点の誤差は小さく抑えられている。

一方，ベーゼンドルファー社の自動ピアノ CEUS は，本来なら演奏再現のための CEUS 独自形式の*.boe ファイル† を使って駆動するようにしてあるところを，入力が MIDI 形式のファイルである場合は，その Note-ON 情報として指定された時点を発音時点と想定して強度による時間補正をしてソレノイドを駆動する。この場合に時間マージンを見込んでおく必要があることは上と同じである。ただし，ベーゼンドルファーを MIDI コマンドで駆動する場合は，Note-ON コマンドを受け取った段階で，それが送られてくる直前のコマンド受信時点からの経過時間を，打鍵すべきタイミグ（自動演奏開始からの積算時間）に補正してソレノイドを駆動するので，Note-ON 指定時点から打弦までの時間にはハンマー速度が遅いことに起因する打弦までの遅れ時間が含まれることになる。

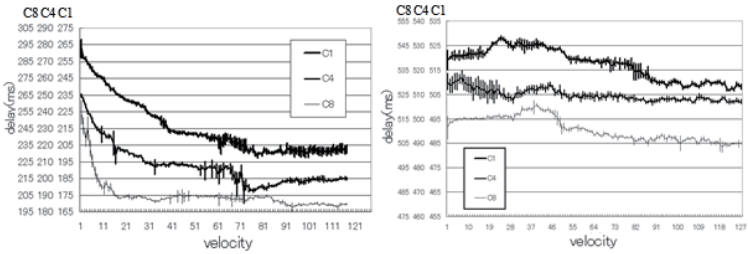
† ベーゼンドルファーの演奏情報ファイルでは，キーの動きが演奏情報記録開始からの経過時間で符号化されるようになっている。したがって，固有の演奏情報データ「*.boe ファイル」でベーゼンドルファーを駆動する場合は，演奏情報をそのまま駆動情報として使えばよいが，MIDI 情報によってベーゼンドルファーを駆動するためには，継時的に送られてくるコマンド間の時間間隔を開始時点からの積算経過時間に変えてしかも打鍵の強さによる打鍵タイミングの補正も行ってソレノイドを駆動する必要がある。

コーヒーブレイク

B 社 と Y 社 のグランドピアノの動作比較 1

Note-ON 信号送出から発音までの所要時間[83)]

MIDI で動作するベーゼンドルファー 225“CEUS”とサイレント機構付きのヤマハ C3（音名ではなくピアノの型名）について，Note-ON 信号が出てからマイクで音を拾うまでの所要時間を C1, C4, C8 の 3 つのキーについてヴェロシティーの関数として測定してみると，**図 10** のようであった。（ベーゼンドルファーとヤマハによって縦軸の目盛りの粗さが異なるので注意）



Bösendorfer 225 “CEUS”　　YAMAHA C3 “Silent Ensemble”

図 10　C1,C4,C8 に対する MIDI の Note-ON から受音までの所要時間

ただし，この所要時間は打鍵から打弦までの時間ではなく，MIDI の Note-ON 信号が送出されてからマイクロフォンで音を受けるまでの時間であり，マージンを含めた設計上の遅延時間と，弦からマイクロフォンまでの直接音の伝搬所要時間を含めた値になっている。弦からマイクロフォンまでの距離は C1 弦のブリッジ付近からのほうが C8 からよりも約 1.2 m 長いので，この遅延時間には，伝搬経路差による時間差（最大で約 3 ms）も含まれる。

ベーゼドルファーの図には打鍵が弱いと打弦までに時間がかかるという現象がそのまま表れているが，ヤマハではそれがほぼ補正されている（遅延時間そのものは大きい）ことがわかる。これは両社とも打鍵から打弦までの時間遅延をヴェロシティの関数として把握した上で，演奏再現に際して，MIDI の Note-ON 指定に基づいて打鍵すべきタイミングを計算してソレノイドを駆動しているためである。

正確な再現演奏をさせるためには，Note-ON のタイミグとヴェロシティの

情報から適切な打鍵開始の（ソレノイド駆動開始の）タイミングを求めておく必要がある。補正量の範囲はカバーすべき打弦速度の幅の広さによって異なるが，ハンマーの動作時間の差を十分にカバーする時間幅を見ておかなければならない。

ベーゼンドルファーは，独自符号化による演奏情報に基づいて演奏再現する場合はキーの動きをそのまま再現すればよいが，MIDI の Note-ON 指定タイミングは発音（打弦）時点を表しているので，ヴェロシティ値が小さければハンマーの動きが遅くなるので Note-ON 受信時点から発音までの所要時間が長くなる。このため，ベーゼンドルファーでは，図 10 左のように，ヴェロシティ値が低くなると所要時間が大きくなっている。Note-ON を発音開始時点として自動演奏させるためには，逐次的なコマンドとして Note-ON を直前のコマンドからの時間差のまま処理していたのでは正確な再現演奏ができないので，ベーゼドルファーでは，再現演奏の開始を少し遅らせてハンマーの動きによる所要時間の差をこの遅れ時間内に収めるようにして，対処している。

これに対してヤマハは，サイレントモード（鍵盤を叩いても打弦せず，MIDI 音源を駆動するモード）の場合には，キーを叩くとその打鍵強度（ヴェロシティ）に応じた時間遅れをもって MIDI 音源を駆動することになる。ところが，MIDI の Note-ON 情報は MIDI 音源駆動とソレノイド駆動による再現演奏とに共通に使う必要がある。したがって，MIDI モード（MIDI 情報に基づいてピアノを駆動するモード）でもこの機能を使うことになるので，MIDI モードでは打鍵強度が弱い場合にはそれに応じて MIDI の Note-ON で指定される時点よりも早くソレノイドを駆動するように設計されている。ただ，この機能を実現するには，MIDI 駆動の場合は，MIDI の Note-ON コマンドを受信する前にソレノイド駆動を始める必要があるため，時間軸全体を少し遅らせてマージンをとっておき，仮想的にコマンド受信前に駆動を始めることができるようにしてある。これによって，ヤマハの Note-ON 時点から発音までの所要時間は補正された値になっている。

図 10 を見ると，ベーゼンドルファーは補正可能な遅れ時間のマージンを

200 ms 程度に，ヤマハは 500 ms 程度に設定していることがわかる。ヤマハについては，図 10 右を見ると，ヴェロシティ－所要時間の関係ははほぼ水平になっている（低ヴェロシティで Note-ON コマンドから発音までの所要時間が延びているようには見えない）。

コーヒーブレイク

B 社と Y 社の自動演奏ピアノの設計思想の違い？

Note-ON 指令時点から音の立上りまでの所要時間[83)]

これらのピアノに自動演奏させて，その際の Note-ON 司令を出した時点からマイクで拾った音の立上りまでの所要時間をキーごとに見ると，**図 11** のようになっていた。横軸はノートナンバー（すなわち鍵盤上のキーの並び）で，ヴェロシティをパラメータとして，Note-ON 信号が発せられてから発音までの時間をプロットしたものである。ただし，図 10 の説明にも書いたが，これには弦振動開始からマイクロフォンまでの音の伝播時間（C1 で約 5 ms，C8 で約 2 ms）を含む。ヤマハについては，打鍵速度が極端に遅い状況での補正が十分にできていない部分が残っていることがわかる。

この図から両社の設計思想の違いがわかる。ベーゼンドルファーでは所要時間が 195 ms 付近を下限として，長い側に分布しているのに対して，ヤマハでは 510 ms 付近を上限として，早い側に分布している。バラつきの幅はどちらもほぼ 30ms に収まっている。再現演奏として，ベーゼンドルファーは収録時のテンポより早めに叩くのはよくないと考え，ヤマハは収録テンポより遅れるのはよくないと考えている証拠であるが，この根拠はわからない。

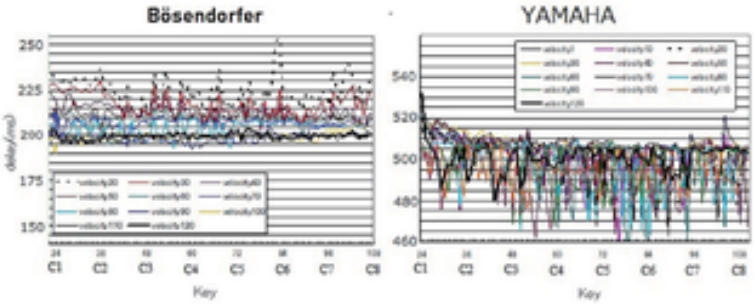


図 11　各キーのヴェロシティごとの Note-ON 指令から発音までの時間遅れ

コーヒーブレイク

B 社 と Y 社 のグランドピアノの動作比較 2

ダイナミックレンジ[83)]

ベーゼンドルファー 225「セウス」と，ヤマハ C3「サイレントアンサンブル」の C1, C4, C8 を velocity 値 1〜127 で MIDI 駆動したときの出力音をマイクで採って測定した結果[83)] を**図 12** に示す。

この調査は，打鍵速度と出力音の大きさの直線性を見るのが目的であったので，音の大きさに関する 2 台のピアノの直接的な比較はしていない。（ピアノそのものおよび反射板の形状・大きさが異なるので，マイクロフォンを鍵盤から見て同じ位置に置いても，同一条件で集音することにならない。）

なお，図の横軸の「velocity」は「動作比較 1」に書いたように，通常の MIDI 用語としてのヴェロシティで，通常は出力音の大きさを表す数値なので，ヤマハの特性の直線性がいいのは当然と言える。一方，ベーゼンドルファーでのヴェロシティは打鍵情報としてのキー・ヴェロシティとみなしているので，出力との線形性が崩れても仕方がない。この場合は強単調増加になっていればよいといえる。C8 の極弱音域と C1 の極強音域以外の実用的な範囲内でこの関係は保たれていると言える。

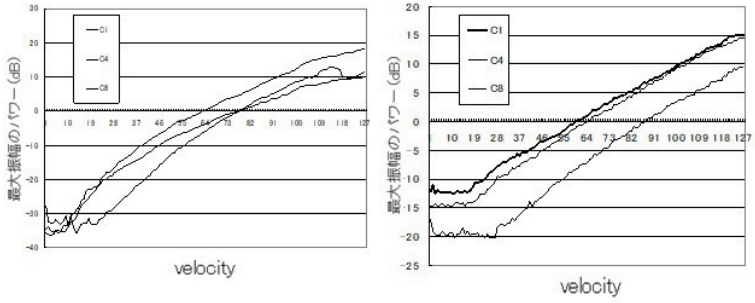


図 12　Velocity 60 での C4 の振幅を 0dB として，C1, C4, C8 の各 velocity 値での音の振幅の 2 乗比を dB 表示[83)]。【縦軸の 1 目盛が左図（ベーゼンドルファー）は 10dB，右図（ヤマハ）は 5dB であることに注意】

ヤマハのほうが直線性はいいが，ダイナミックレンジはベーゼンドルファーのほうが 15 dB ほど広い。ヤマハはある程度のヴェロシティ（velocity）値以下の駆動力では打鍵しないが，それ以上でのヴェロシティ値と出力音の強度の

直線性は綺麗に揃っている。これに対してベーゼンドルファーでは，ヴェロシティ値と出力音の大きさとの比例関係は崩れているが，どんなに小さなヴェロシティ値でもそれ相応の音は出す。人間が弾く場合には，正確な直線性は不要で，ダイナミックレンジの広いほうがピアノとしての表現力は大きいといえる。だたし，打鍵強度の制御を適切にしないと，出力音量が不自然になるので，それを弾きこなすには高い演奏技量が求められる。

打弦のダイナミックレンジを C4 で見ると，ベーゼンドルファーでは 50dB 以上とれているが，ヤマハではせいぜい 35 dB で，この差はヴェロシティの小さい値に対してどこまで反応できるかの差である。ヤマハはヴェロシティ値 20 以下では反応していない（反応しないようにしてある？）が，ベーゼンドルファーではヴェロシティ値 1 でも多少不安定ながら反応できている。

コーヒーブレイク

B 社 と Y 社 のグランドピアノの動作比較 3

高速同音連続打鍵[83)]

同一キーに対する高速連打にどこまで追従できるかは，ベーゼンドルファーでは 4 分音符のほぼ $\frac{1}{7}$ まで正常な設定遅れ時間で打鍵できているが，それを超えるとまったく打鍵しなくなる。これに対して，ヤマハは 4 分音符のほぼ $\frac{1}{16}$ まで一応打鍵できてはいるが，$\frac{1}{6}$ を超えると遅れ時間が増え始め，$\frac{1}{16}$（テンポ 60 なら隣接 2 音間の立上りの間隔は 62.5 ms）では規定の時点より約 200 ms も遅れるので，ちゃんと打鍵できているとはいえない。追随できるのは 4 分音符の $\frac{1}{4}$ までといわなければならない。

(b.3) サイレント機能付き自動ピアノ ヤマハが**サイレントアンサンブル**という商品名で出しているものであるが，これは日本独特の住宅事情に対応するためのもので，通常のグランドピアノに装着して周囲に音をまったく出さない（サイレントにする）機能，あるいはそれを組み込んだピアノである。ハンマーによる打弦そのものを抑止できることが特徴で，そのようにした場合は弾いても音がまったく出ない（鍵盤のカタカタという小さな音は出る）ため，奏者が自分が弾いた音を確認したり，小さな音で出力させるために MIDI 音源

を使った合成音をリアルタイムでヘッドフォンやオーディオ装置を通して聴くことができる。

サイレント機能を使わない通常の使い方では普通のピアノであるが，記録させた演奏情報に基づく演奏再現の精度は MIDI の精度で抑えられ，強度（ヴェロシティ）が 7 bit，時間精度は電気的には最も細かくて（機構的なことを無視してなら）4 分音符の $\frac{1}{480}$ である。打鍵強度（ヴェロシティ）の大きさによるタイミングの補正量（*fff* での打鍵開始に比べて *ppp* での打鍵開始をどれだけ先に開始するか）を調べたところキーによって多少異なるが，最大 500 ms の補正の余裕をとっているが，実際の補正量は最大でも 20 ms ほどである。

ヤマハのサイレントアンサンブルの場合，演奏情報は MIDI フォーマットで記録するようになっているので，MIDI 情報の打ち込みでも自動演奏させることができる。ただし，ヴェロシティ値が小さすぎると打弦せず，大きすぎるとハンマーが強すぎる力で弦を叩き，弦が痛むので，ヴェロシティ値をある程度の範囲内に収めて入力する必要がある。スタインウェイおよびベーゼンドルファーの自動ピアノには打弦を完全に止める「サイレント機能」はない。多分，国の住宅事情がそれを要求しないからであろう。

（**6**） **信号ピックアップ型電気楽器**　元の振動体は電気でなく物理的なもので，それを電気的にピックアップし，それを電気信号にして加工・増幅するものなので，真の電鳴楽器とは言いにくい。

（**a**） **電磁ピックアップを使うもの**　電磁ピックアップを使うものを以下に記す。

(a.1)　ネオ・ベヒシュタイン　電気を使えるようになって，ベヒシュタイン（“Bechstein”）社から**ネオ・ベヒシュタイン**（“Neo-Bechstein”）が 1931 年に市販された。それはグランドピアノではあったが，奥行きが 1.4m しかなく，通常のものよりもかなり小さかった。響板を持たず，電気ピアノと呼ばれるものの最初のものであった。

打弦がピアノ本来のハンマーではなく，本来のハンマーの先に別に追加した小さなハンマーでキーごとに 1 本ずつ張られた短く細い弦を叩くもので，音作

りに響板を使わず，弦の振動を電気的に拾ってフィルターで加工してから増幅してスピーカーから出力した。音が普通のピアノとはまったく違っていたことと，ベヒシュタイン社がナチから援助を受けていたということがあって，戦後は売り上げが伸びず，150 台ほど作ったとされる[84] が，ネルンストがジーメンスとベヒシュタインから得た特許料は 15〜20 台分ほどであるという記事もある[85]。

電気的な機構はフンボルト大学の Walther Nernst 教授が開発し，ジーメンス社が製品化したので，このピアノは「ベヒシュタイン-ジーメンス-ネルンスト・フリューゲル† とも呼ばれる。宣伝として，「奏者はこれ単独でも，組み込まれているラジオやレコード再生機に合わせてでも弾くことができる」としている。

弦振動のピックアップは**図 E.123** を見る限り弦 5 本に 1 個の割合で設置されているように見え，説明でもそうなっている（Aus Platzgründen wurden jeweils fünf Saiten unter einem Tonabnehmer zusammengeführt. ）。



図 E.123 Neo-Bechstein の振動センサー

弦はハンマーから遠い側でほぼ 5 本ずつ 18 群（計 88 本）にまとめられ，弦の振動は，群ごとに 1 個ずつ設置された計 18 個のピックアップで拾うようになっている。キーごとに弦は 1 本だけであったので，複弦にすることによるうなり効果はなく，期待できるのは，弦の異方性による縮退の分離によって生じるうなりくらいである。弦の振動ピックアップは弦ごとに設置せずに，何本かの弦をまとめて振動を拾っても，その中で振動している弦の振動がピックアップされるので，多少他の弦の振動が雑音として混入しても，主要な振動を増幅して出力すれば問題ないと，設計者は判断したようである。

† “Flügel”は「翼」であるが，天板を開けた形からグランドピアノを比喩的に意味する。

叩かれなかった弦を制振するダンパーがあったのかどうかの説明はないが，ダンパーを外すためのペダルがないので，あったとしても叩かれたキー以外の弦は常時ダンパーが効いた状態であったはずで，それなら音を延ばすためにはキーから指を離せなかったのではないかと心配になる。ペダルは 2 つあったが，その機能は通常のピアノのものとは違って，右ペダルは音量制御に使い，左ペダルを踏むとフィルターが切り替えられて，チェンバロに似た音になったらしい。振動ピックアップは「膜をもたないマイクロフォン」と書かれているが，エレキギターのピックアップと同じ原理の電磁ピックアップである。フィルターは真空管とコンデンサ―と抵抗などからなる電子回路と書かれている，アンプは 3 極真空管を用いたものであった。

どのキーが押されたかの情報は拾うようにはなっていないが。再現演奏をさせるのでなければ，その情報は不要である。このような電気楽器の音は当時としては時期尚早だったようで，世間一般には「奇妙な音」という印象を与え，しかも開発の時期が世界恐慌の時期と重なったなどのいくつかの悪条件が重なり，商業的には失敗であったとされる。この数年後に出たハモンドオルガンは電子オルガンや電子ピアノが出現するまで使われたことを考え併せると，ナチの援助を受けずに，かつあと数年後に売り出していたらもっと売れていたかも知れないと思われる。

(a.2)　電気ギター　　電気ギター（エレクトリックギター，俗称エレキギター）と呼べる最初のものは 1931 年に製作されたロー・パット・イン・コーポレ－ション（Ro-Pat-In Corporation. Rickenbacker 社の前身）の通称フライングパン（日本語のフライパン）と呼ばれるモデルであった。この通称は長いネックをもったアルミニウム製の円形のボディによるが，楽器そのものは当時流行していたハワイアン音楽に使われていたスティールギターと同様に，台の上に置いて弾くものであった。これを考案したビーチャム（George Beauchamp, 1899-1941）は，当初アコースティックギターを横置きにして音を大きくするつもりで，ピックアップをとり付けて弦振動を電気信号として取り出し，アンプを通して増幅した。

図 E.124 に，電磁ピックアップによる正弦波的な弦振動の位置と速度の水平成分とそれによってコイルに生じる電流の位相関係を示す。横軸は時間で，1 周期を 2π として描いてあり，縦軸は任意スケールである。

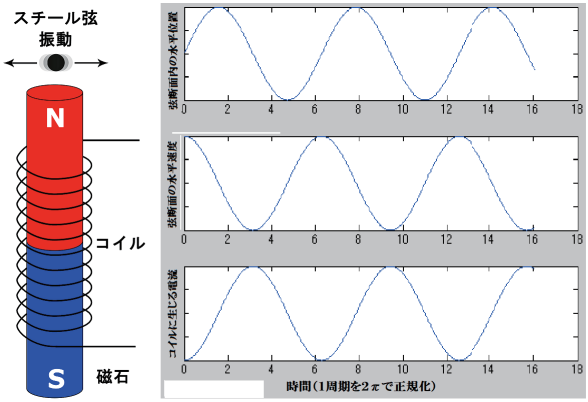


図 E.124　電磁ピックアップの動作原理。左：マグネットとコイルと弦の位置関係，右：弦の振動断面内の位置と速度とコイルに発生する電流の位相関係

ビーチャムは弦の振動を電磁ピックアップで拾って，それを音としてスピーカーから流すことはできたが，スピーカーからの音を大きくするとギターのボディがそれに共鳴し，正帰還がかかって発振状態になるので，胴が共鳴するのはまずいと考えるようになり，胴を小さくして金属製にした。

ハワイアン音楽に用いられるスティールギターには膝の上に乗せて弾くラップスティールギターからヴォリュームペダルや調を変えるペダル，ピッチ・ベンド（音高を滑らかに変化させる，エレキギターのチョーキングのような奏法）のためのニー（膝）レバーなどを備えた，大型のペダルスティールギターまである。スティールギターの電磁ピックアップの例を図 3.108 の最左に示す。

肩からベルトで吊るして脇に抱えて弾く型の現代のエレキギターは，ボディの空洞の状態によって大きく次の 3 つのタイプに分けることができる。

- フルアコースティックタイプ

  元は，ビーチャムが最初にやってみたように，普通のギターあるいはフォークギターのようなタイプのスティール弦のギターに電磁ピックアップを付けたもので，電気を使わなくても普通のギターのようにして弾くことが可能。電気を使う場合も，ボディの特性が弦の振動に作用するので，単なる弦だけによる弦振動よりもボディの特性が加わった音になる。ただし，ボディに大きな空洞があるので，スピーカーからの音を大きくすると，ボディが共鳴してハウリングを起こしやすい。

- セミアコースティックタイプ

  ボディの共振を抑えるために空洞を小さくしたタイプで，通常はネックを延長したような形で胴の中央をテールピースまで木製のセンターブロック（空洞を左右にブロック化するように中央を貫く）が通る。ハウリングは抑えられるが，電気を使わないと音が出ない。

- ソリッドタイプ

  ボディに空洞がまったくないタイプ。ボディ形状の自由度が上がるので，さまざまな奇抜な形状のものがある。よほどギターをスピーカーの前面に近づけて音量を上げない限り，ハウリングの心配はない。

エレキギターとして代表的な，フェンダー社のストラトキャスター（ソリッド）と，ギブソン社のレスポールモデル（原型はソリッド）を**図 E.125** に示す。通常，ストラトキャスターにはシングルコイルのピックアップが 3 つ，レスポールモデルにはハムバッカータイプのピックアップを通常 2 つ付ける。

写真中央のものはピックアップを 3 つ付けたソリッドタイプのレスポールモデルである。写真右のものはセミアコースティックにした（f 字形の響孔を持つ）レスポールモデルである。ストラトキャスターには弦の張力を変えてピッチを変えるトレモロアームが付いている。

エレキベースは弦の数や音域がエレキギターとは異なるが，機構の点からは電気ギター類に含めていい。電気ギターは，弦の振動を電磁ピックアップで拾う必要があるため，弦はすべてスティール製である必要がある。電気を使うよ



図 E.125 代表的なエレキギター。左：ストラトキャスター（フェンダー社），中：ソリッドタイプのレス=ポールモデル，右：セミアコのレス=ポールモデル（ギブソン社）

うになるまで，ギターは音量が小さかったので，ジャズやロックで旋律楽器として使われることがなかったが，電気を使うことによって音量が十分大きくなったため，主旋律楽器としても使われるようになった。ただ，まだクラシックの分野でエレキギターが使われたという話は聞かない。エレキギターが生まれてきた環境はクラシック音楽とは異なる世界なので，どちらからも歩み寄りがしにくいのかも知れないが，出生が少しクラシックに近く，育ったジャンルがジャズ分野であるサクソフォンはクラシックの分野でも使われるようになった。エレキギターもサクソフォンと同じように「エレキギター協奏曲」とか，エレキレキント，エレキギター，エレキギタロン，エレキベースで，「エレキギター四重奏曲」というようなものが生まれるかも知れないと考えると楽しい。

（b） **圧電素子を使うもの**　圧電素子を使うものを以下に記す。

(b.1)　電気ヴァイオリン，電気チェロ　電気ヴァイオリン・電気ヴィオラ・電気チェロなどはコマの高音側の脚とボディの間に圧電素子を挟んでコマの振動をピックアップする。ヤマハがサイレントヴァイオリンとして売り出しているものを**図 E.126** に示す。



図 E.126　ヤマハのピエゾ電気ヴァイオリン（商品名：「サイレントヴァイオリン」）

薄いフィルム状の圧電素子がコマの下に挟んであるが，この写真では見えない。ボディがないので異様な印象を与えるが，奏法は普通のヴァイオリンと同じである。電気を使わなければ，小さい音しか出ないので，深夜でも練習ができる。ただし，MIDI コトローラ―ではないので，MIDI 音源を駆動することはできない。

ヴァイオリンとチェロのコマ振動のピックアッ図 3.108 の左から 2 つ目と 3 つ目に示す。

(b.2)　電子ドラム，ディジタルパーカッション　　MIDI 規格の制定前から，リズムマシーンのようなものがあった。それは，いくつかの打楽器によるリズムパターンを繰り返すだけのもので，初期のものの可変要素は音量とテンポだけであった。圧電素子の導入によってトリガー信号として取り込めるようになり，MIDI 規格制定後は MIDI 音源の制御信号としても使えるようになり，電子ドラムやディジタルパーカッションでは多様な打楽器音を使えるようになった。打楽器の形状の打叩場所に膜状の圧電素子を貼り付けておく。

（c）マイクロフォンを使うもの　　マイクロフォンを使うものを以下に記す。

(c.1)　サイレントブラス　　サイレントブラスと呼ばれる楽器群は弱音器

（ミュート）の中にマイクロフォンを組み込んであり，音として出力する場合は，弱音器の中で拾った音を弱音器をつけない音に戻すように音質を変換するようになっている。マイクロフォンを内部に組み込んだブラスミュートを付録 I　用語集「ミュート」の項の図 I.16 に示す。

(c.2)　マイクを楽器に取り付けるもの　　特に音を加工したりする必要がなく，単に音を大きくするだけで目的を達せられる場合は，マイクロフォンを使うこともある。ただ，据え置き型のマイクロフォンでは奏者が動くと楽器とマイクロフォンとの相対的な位置関係が変わって音量が不本意な変わり方をするので，楽器の音を損ねないように楽器に固定することが多い。チェロの音のピックアップおよびトランペットの音のピックアップとしてのマイクロフォンの例を図 3.108 の右から 2 つ目と最右に示す。

（7） MIDI コントローラ　　MIDI 音源を駆動するための機器で，演奏情報（音高，発音タイミング，強度，ヴィブラートの深さ・速度，など）を演奏入力から検出して MIDI 符号（ノートナンバー，ヴェロシティなど）にして駆動対象の MIDI 音源に送るもので，これだけでは音が出ないので楽器とはいえない。ただし MIDI 音源に接続すれば演奏情報入力装置として使える。音源を組み込んで楽器にしたものもある。

（a） トリガーコントローラ　　MIDI 規格が制定される以前から，リズムマシンとして数社が発売していた。いくつかのリズムパターンを指定されたテンポで出力するシステムが開発されたもので，用意した固定の信号波形をトリガー信号によって出力するだけなので，システムとしては単純である。リズムマシンの場合はシステム自体が発生する内部トリガーによって動作させることになる。MIDI 規格の制定後もドラム類の音はどの音色の音源をいつどのような強度で起動するかの情報だけでよく，音高の指定は不要なので，音色（チャンネル番号）の選択とトリガー信号の処理だけで済む。ただし，リズムマシンと違って，トリガーは奏者の演奏情報によって外部トリガーとして働く。16 台まで接続可能な MIDI 機器の中のどれを使うかを MIDI のチャンネル・メッセージの下 4 ビットで指定し，その音源の中でどの音色を使うかは音源側で指定し

ておく。MIDI へ流すステータスバイトの情報は，基本的には 3 ビットの ON 情報と 4 ビットのチャンネル番号だけである。入力装置としての打楽器型のセンサーの出力を MIDI の時間精度で伝えることになる。入力装置のどこを叩くかや打叩強度よって音色を変えるようなものも開発されている。電子ドラムやディジタルパーカッションの MIDI 音源を駆動するのに用いられる。

（b） **標準キーボード**　ピアノと同じ 88 鍵で，鍵盤楽器（ピアノ，チェンバロ，オルガン，チェレスタなど），あるいは鍵盤的な打楽器（マリンバ，ヴィブラフォンなど）の音色の MIDI 音源を駆動するのに適している。左手で操作できるヴィブラートホイールとピッチベンドホイールがついているが，それらが有効に機能するのはせいぜい撥弦楽器までで，擦弦楽器や管楽器の MIDI 音源の駆動には取り込める演奏情報が足りない。

音源を組み込んだものにはキーの数を削り，その代償としてオクターヴ単位で上下に音域を拡張できるものが多い。

（c） **ウィンドコントローラ**　標準キーボードが管楽器の MIDI 音源駆動に有効でないことに対する対策として開発されたもので，管楽器の演奏の際に使われる演奏情報（アンブシュールの多様性や息の吹き方，リードの咥(くわ)え方など）にも対処できるように，管楽器と同じような奏法ができて，その演奏情報を MIDI 情報として取り込める入力装置として開発された。管楽器の指使いや吹鳴方法がリップリード楽器とそれ以外で大きく異なることに対応して，**シュタイナー型**：リップリード型（トランペット型）と**リリコン型**：木管型（リコーダー型，サクソフォン型）がある。

Akai のもので書くなら， 初期に出た EWI-1000（リリコン型），EVI-1000（シュタイナー型）には音源がついていないので，これらはコントローラであるが，EWI-4000sw，EWI-5000 などには物理モデル音源や PCM 音源が搭載されている。オクターヴキーは左手親指で，ヴィブラートキーは右手親指で操作するようになっている。リリコン型のものはリードを持つが，これは発音のためのものではなく，唇の圧力をピッチベンドの情報として MIDI 音源に伝えるためのものである。シュタイナー型はピッチベンドのための機構（左手で操作す

るホイールなど）を備えている。どちらの型も息の強さをブレスセンサーで検出し，音の強さ情報として MIDI 音源に伝えることができる。ヤマハの EZ-Tp は唇を震わせる代わりに歌を歌うことによって発音させることができる。

以上より，E.5.2 項の各項目に関する留意事項をまとめておく。

1. 自動演奏機械には奏者の概念がないので楽器とは言いにくい。
2. 自動ピアノは，電気で打鍵機構を駆動するが，楽器そのものはピアノなので，電鳴楽器とは言えない。
3. 振動ピックアップ型電気楽器は，振動のピックアップと信号の加工や増幅に電気を使うが，最初の発音源は電気ではなく，物理的な振動体（弦や膜，弾性体あるいは空気）なので，発音体で分類するなら真の電鳴楽器とは言いにくい。
4. MIDI コントローラは演奏情報の取り込み装置であって楽器ではない。音源を組み込めば楽器になるが，その分類は音源ユニットの音合成法（E.5.2 項 (4) 参照）に依存する。

E.5.3　電鳴楽器の分類まとめ

個々の電鳴楽器については前節までに説明したので，本節では分類だけを示し，必要な場合には簡単なコメントを付記するにとどめる。本来の電鳴楽器は，真正電鳴楽器に分類されるものだけであるが，一般に「電気楽器」あるいは「電子楽器」もしくは「ミュージック・シンセサイザ」と認識されているものまでを電鳴楽器として挙げておく。電気を使う代表的な楽器（擬楽器および MIDI コントローラを含む）を**表 E.3** に一覧表の形でまとめる。

（**a**）**真性電鳴楽器**　（分類が直和分割でないので，複数の分類項目に現れるものがある。）

1. ヘテロダイン合成器
   - **テルミン**
   - **オンド・マルトノ**
2. 加算型合成器

表 E.3　電気楽器（電気を使う楽器) の分類

下線：「電鳴楽器」と呼べない理由，＊：シンセサイザと呼べるもの，
＋：音楽用プログラミング言語，†：音源振動ではなく演奏制御情報)

正統性	実時間	発音源	信号生成方式	例
電鳴楽器	可能	電気	2 正弦波によるうなり	テルミン オンド・マルトノ
			鋸歯状波発振器とフィルタ	トラウトニウム
			トーンホイール	ハモンドオルガン
			減算合成	モーグシンセサイザ＊
			FM 合成	DX-7 ＊
			物理モデル合成	VL/VP シリーズ＊
			DSP	Max+，C-sounds
		吹奏 †	物理モデル合成	Akai EWI-4000SW*
擬楽器	不能	電子回路	加算合成	RCA Mark-II ＊
		プログラム	UG+patch	MUSIC シリーズ +
		日常音	テープに固定	ミュージッ・コンクレート
		放送用機器		電子音楽
	可能		ライヴ演奏	空間音楽
外見的 電鳴楽器	可能	収録された楽器音	磁気テープに録音再生	メロトロン＊
			PCM 編集合成	PCM シンセサイザ＊
		撥弦	電磁 PU・音質調整	ネオ・ベヒシュタイン，エレキギター
			圧電素子・残響付加	サイレントヴァイオリン
		タイミングと強さ	圧電素子・PCM 編集合成	ディジタルパーカッション
		吹奏 †	PCM 編集合成	Akai EWI-5000
非電鳴 (電気を使う)	可能	空気	電動ふいご	パイプオルガン
		フリーリード		電動リードオルガン
		出力構造化シンセ	音源のアサイン	ラジオバトン
		シンセサイザ＊		舞踊と身体動作センサー
		金属音板	体鳴 (電気：ファン駆動)	ヴィブラフォン
制御装置	可能	MIDI 音源	88 鍵＋ホイール×2	標準キーボード
			吹き方・唇圧力	ウィンドコントローラ
		弦振動	ギター奏法を流用	エレキギターコトローラ

- **ハモンドオルガン（トーンホイール使用）**

3. 減算型合成器
   - **トラウトニウム**
   - **モーグシンセサイザ**
4. 電気・電子オルガン
   - **ハモンドオルガン**（当初はパイプオルガンの代用品として開発されたが，今日ではポピュラー音楽用）
   - **電子オルガン**（家庭用。エレクトーン：ヤマハの登録商標）

5. MIDI 制定以後の電鳴型シンセサイザ
    - **FM シンセサイザ** Yamaha DX-7 など
    - **物理モデルシンセサイザ**　Yamaha VL-1 など

(b) 電鳴擬楽器

1. 電鳴だがリアルタイム演奏ができず楽器とは呼び難いもの
    - RCA Mark II　アナログ合成，出力は磁気テープ
      （Harry Olson, RCA）
    - MUSIC シリーズ　プログラミング言語（MUSIC I〜V）
      （Max Mathews, Bell Lab.）
2. 電鳴だが本来の存在目的が楽器としての使用ではないもの
    - 放送用の機器 (電子音楽用)　発振器，変調器，フィルタ，ミキサーなど
      （Karlheinz Stockhausen “Elektronischemusik”, Köln）
    - プログラミング言語
      （Yannis Xenakis, Paris）

(c) 外見的電鳴楽器

1. 電気・電子楽器であるが元の振動体が電気でないもの
    - 磁気録音機とテープ編集機　ミュージック・コンクレート用
      （Piere Schaeffer “Musique Concrète”, Paris）
    - **メロトロン**（磁気テープに録音した音を鍵盤操作で編集再生）
    - **PCM シンセサイザ**（ディジタル録音された楽器音のリアルタイム編集・加工）
2. **振動ピックアップなどを使用する電気・電子楽器**
    - **電磁ピックアップ使用**　ネオ・ベヒシュタイン，電気ギター
    - **圧電素子使用**　電子ドラム，電気ヴァイオリン
    - **マイクロフォンを組み込んだ弱音器**　サイレントブラス
    - **マイクロフォンの取り付け**　管楽器，チェロなど

3. **ピアノの代替品・演奏再現ピアノ**
   - **電磁ピックアップと μ ハンマー（響板なし）**
     例：ネオ・ベヒシュタイン，ヤマハ CP-80
   - **鍵盤型のシンセサイザ (PCM が多い)**
     （通称：電子ピアノ，ディジタルピアノ）
     例：ローランド EP-10，ヤマハ「クラヴィノーヴァ」
   - 演奏再現機能に重点を置いたピアノ
     例：ヤマハ “Enspire”，ベーゼンドルファー “Ceus”，
     スタインウェイ “Spirio”
   - サイレント機能付き
     （消音時のモニター用シンセサイザを装備）
     例：ヤマハ 「サイレントアンサンブル」，Enspire
4. **音源駆動用コントローラ・アクチュエータ，MIDI コントローラなど**
   - **トリガーコントローラ**
     不定音高パーカッションの駆動だけでなく，音高感を持つ音を駆動することもできる。
     例：KORG “DA-20”(アナログのリズムマシン),
     Roland “ハンドソニック”など
   - **標準（88 鍵）キーボード**
     音高と強さだけでなく，ポルタメントやヴィブラートなどの制御もホイールによって可能。
   - **ウィンドコントローラ**（音源モジュールを持たない）
     Akai EWI-1000（**リリコン**：Lyricon 型）：木管型の指使い。
     Akai EVI-1000（**シュタイナー**：Steiner 型）：ピストンバルブ型。
5. **通常楽器の駆動**
   - **オルゴール**　円筒型／円盤型　発音体は櫛歯型金属板
   - **ストリートオルガン**　大型〜小型
   - **自動演奏機**　例：ヴィオリーナ（Vn × 4 本），自動ピアノ
   - **演奏ロボット**　例：鍵盤楽器，管楽器，擦弦楽器など

F

奏　法　概　説

F.1　緩急と強弱，どっちが重要？

奏法の基本的な要素として**アゴーギク**（緩急法：テンポを微妙に変化させること）と**デュナーミク**（強弱法：音の強弱を変化させること）がある。どちらも音楽に表情を与える手段であるが，人間が演奏する際の不可避的なあるいは無意識的な要素も含み，身体の動きや顔の表情と連動することが多い。

音のファイルの「付録関係」に「3. 付録 F.1：緩急・強弱」として，3 様の実演奏と，自然な演奏に聞こえるように試行錯誤によって調整した MIDI 打ち込み，およびその強弱を保ってテンポを固定したもの，ならびに緩急を保存して音の強弱を固定したものを入れてあるので，それらを比較し，緩急あるいは強弱を固定した場合，どちらが不自然さが少ないかを比べてみよう。

曲は Astor Piazzolla（アストル・ピアソラ）が，アメリカ滞在中（1959 年）に父親（呼び名=Nonino：イタリア語で「おとうちゃん」）の死亡の連絡を受けて書いた “アディオス・ノニーノ（Adiós Nonino）” を，後年，Dante Amicarelli のオーディション用に一晩で用意したピアノ用の編曲譜（1969 年）。

⬇ ：付録関係/3. 付録 F.1「緩急・強弱」人間による演奏 3 種と打ち込み演奏

3-1 人間による演奏：3 様の奏者

{Dante Amicarelli, Daniel Barenboim, Gerardo Gandini}.wav

3-2 打ち込み演奏：試行錯誤版，緩急固定版，強弱固定版

{ 打ち込み, Tempo160, Veloc65}.MID

F.2　楽器ごとの固有の奏法

F.2.1　気　鳴　楽　器

管楽器の音は，リップリード楽器（金管楽器）もそれ以外（木管楽器）も，ともに気柱の振動を音源とするものであるが，その奏法は，リップリード楽器では，出したい音の高さのもとになるバズ音（唇の振動によるブーとかプーとかいうような音）を唇で作る必要があり，それを可能にする唇の構え（アンブシュール）を形成するために，マウスピースのカップの形は奏者にとって重要である。エアーリード楽器でもアンブシュールは重要で，エッジに吹き付ける呼気流を薄くエッジに平行な層状の流れにして，エッジの上下に振動させることが必要で，そのために唇の形状や構えと息のコントロールが非常に重要になる。エアーリード楽器の中でもリコーダーのように管にフィップル（詰め木）をはめ込んでエッジに当たる気流を固定気道によって楽器が整形してくれるようになっている楽器ではアンブシュールはあまり重要でないが，フルートのようにエッジがあるだけで，それに当てる呼気流を奏者が作る必要がある場合は呼気流そのものがリードの役割を果たすように，つまり呼気流がエッジの上下に定常的に揺れるように，気流の状態を成長させるのに，アンブシュールの形成がきわめて重要である。

金管楽器（リップリード楽器。俗にいう「らっぱ」）と木管楽器（「笛」の類）では音高の取り方がまったく異なる。リップリード楽器では，ピストンバルブの押し方やスライド管の伸ばし方によって，実効管長が決り，その長さで共鳴する空気振動の固有周波数はいくつかにほぼ限定され，出せる音の高さはその中のどれかに限られ，奏者はその高さのバズ音を唇の振動で作らなければならない。

管が開管であれば，それで出せる音高はその実効管長を L，空気中の音速を c として，$f_0 = \frac{c}{2L}$ で決まる周波数の自然数倍の高さということになり，最も低い音の高さを「移動ド」のドとすると，出せる音の高さは，基本モードがそ

のド，第 2 モードがその 1 オクターヴ上のド，第 3 モードがその上のソ，第 4 モードが元のドの 2 オクターヴ上のド，第 5 モードがそのオクターヴ位置のミ，第 6 モードがソ，第 8，9，10，12，15 モードがそれぞれその上のオクターヴのド，レ，ミ，ソ，シとなる。ただし，リップリード楽器では基本モードの周波数が本来の高さよりも低くなることがあるのでペダルトーンとして通常は使わず，使用する最も低い音は第 2 モードの高さということになっている。ピストンバルブなどで迂回管を生かして，バルブを使わない状態から半音ずつ 6 半音（3 全音）まで元の高さを下げることができるようにしておくと，第 2，第 3 モードを使うことによってどの階名音でも出せるようになる。

リップリード以外の管楽器すなわち木管楽器では，音高は基本的には指孔の開閉によって定まる実効管長で決まる。ある孔から先の孔をすべて開けておくとすると，実効管長は，吹き口から，開いている（指やキーで塞がれていない）最も手前の孔までの長さになる。孔は全長の半分辺りから先にあけてあり，全閉から全開までで 1oct 内の音を半音ステップで出せるようになっており，オクターヴ高い音を出すには呼気を強く（オーバーブロウ）したり，管の裏側に小さな孔[†]があると，そこの気圧が常に管外と同一になって，そこが気圧変動の節（粒子速度分布の腹）になりやすくなり，開管の場合は第 2 モードを使えば気柱の振動の波長が半分になって共鳴周波数が 2 倍になり，全体が 8 度上がる。閉管の場合は孔の位置が閉端側から $\frac{1}{3}$ 付近にあると，そこが粒子速度分布の腹になりやすくなり，その波長は基本モードの 1/3（第 3 モード）になるので，共振周波数は 3 倍（音程では 12 度上）になる。エアーリードの場合は呼気流が共振周波数で気柱を圧縮伸長するように共振状態への「引き込み」が生じる。リードがある場合でも，リードの共振周波数は十分高いので，リードは空気振動の動きに追従して動く。

以下，アンブシュール，オクターヴホール，オーバーブロウ，管楽器でのト

---

† 通常吹き口から全管長の $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{2}$ の間の管裏に開けられる。高次モードの振動が起きやすいようにする孔で，開管楽器の場合はオクターヴホール，閉管楽器の場合はレジスターホールと呼ばれる。

レモロやヴィブラート，トリルなどの音の揺らせ方などについて説明する。

（1） 全般的奏法

（a） アンブシュール　アンブシュール（仏：embouchure）†の意味は「河口」ないしは「進入路」で，管楽器のマウスピースや吹き口を指す語であるが，管楽器の演奏における唇や舌の適切な形のことを言う。層流形成用のフィップル（気道形成のための詰め栓）をもたないエアーリード楽器（フルートなど）とバズ音が必要な金管楽器（リップリード楽器）の演奏に際して特に重要である。

フルートの演奏には呼気を薄い層流のようにしてエッジに当たるようにし，層状の空気流がエッジの上下を反復振動する定常的な状態にもって行くことが求められる。金管楽器の演奏には楽器のピストンやレバーあるいはスライド装置によって管長を所望の演奏音高を出せるようにしておいて（管長によって決まる管の共振周波数のどれかが，出したい演奏音高の周波数に一致するように管長を迂回管やスライド機構で設定しておいて）その周波数で唇を振動させて（所望の音高のバズ音を出して），その音が管の共振特性で拡大されるようにする。エアーリード楽器の場合も金管楽器の場合も，発音前は楽器内に空気の振動は起きておらず，楽器を鳴らすためには管内の空気振動が定常状態になるように共振をうまく立ち上がらせることが必要である。

エアーリード楽器であっても，リコーダーやオカリーナのように楽器そのものが層流形成用の気道をもつ場合は，奏者によるアンブシュール形成の重要度は低い。フルート以外にも，竜笛や篠笛，ケーナ，サンポーニャなど，固定気道をもたない楽器の演奏にはアンブシュールが必要である。

（b） オクターヴキー，レジスターキーの使用　リード木管楽器で，指使いは元のままにして，通常の音域よりも 1 オクターヴ上あるいは 12 度上の高さの音を出すための特殊なキーをオクターヴキーあるいはレジスターキーと呼ぶ。

---

† embouchure はフランス語で，“bouche（口：ブゥシュ）”に接頭語 “en”がついた語。英語でも綴りは同一であるが，発音は外来語としての音になるので一定せず，アン**ブ**シャー，アンブ**シュ**ァ，アンブー**シュ**アーなど。ドイツ語では Ansatz（アンザッツ：開始点），イタリア語では imboccatura （インボッカトゥーラ），スペイン語では embocadura（エンボカドゥーラ）

管楽器の裏側の手前についており，左手親指で操作する。通常は塞がれている小さな穴（オクターヴホール，レジスターホール）をこのキーで開けると，高次モードの振動が起きやすくなり，原理的には，管に孔を開けることによって気柱の振動を 2 分割する開管楽器（オーボエ，サクソフォン）では 1 オクターヴ高い音，3 分割する閉管楽器（クラリネット）では 12 度（1 オクターヴと 5 度）上の音が出る。

（**c**） **オーバーブロウイング**　エアーリード楽器で呼気の流速を速くして高次モードに移る奏法。図 2.4 にフルートの場合のジェットの流速と音高の関係が図示されている。「オーバーブロウイング（over blowing）」だけでは「吹き過ぎ」の意味（適切な程度を超えて強く吹くことによって音が崩れること）に誤解してとられる危険性があるので，「強く吹いて高次モードに移ってオクターヴ高い音を出す」などと，誤解されない表現を添えることが望ましい。

（**d**） **タンギング**　木管楽器の演奏では，音の立ち上がりやフレーズの始まりを明確にするために舌を用いる「**タンギング**（英：tonguing, 独：Zungenstoß, 仏：coup de langue）」と呼ばれる奏法が用いられる。これは，管楽器の演奏において，先行音からスラーで続いていないかぎり，すべての音符に対して採用される一般的な奏法で，フルートの場合は，“T” の音を発声するときのように，上顎の歯茎に圧着させていた舌を歯茎から離して呼気を突然通すことによって，またリード楽器の場合は，舌先をリードに軽く当てがって止めておき，リードに息の圧を与えると同時に舌を引くことによって，音の立ち上がりを明確にする。

（**2**） **個別の奏法**

（**a**） **トレモロ**　トレモロ（tremolo）は同一音高での強さの「振動」を意味する。管楽器でのトレモロは，息の強さを揺らせたり舌を動かしたりして，気流を揺らせるなどによって，発音の強さを変えることになる。リップリード楽器ではアンブシュールを速く変えることによって音量を揺らす。フルートについては**フラッタータンギング**（独：**フラッターツンゲ** ）という奏法がある。

ホルンについては，現代曲以外でトレモロの指定はほとんどないが，F 管 と B♭ 管 をレバーで切り替えるようにして両方の機能をもたせた**ダブルホルン** と

いうのがあって，あえてホルンでトレモロを要求された場合には，それを用いてF管とB♭管を切り替えて同一音高を区切って演奏するという特殊な奏法がある。

ダブルリードのハーモニカやアコーディオンなどは，各音高について少しだけ固有周波数の異なる2枚のリードをもっており，2枚のリードがが同時に励振されるとその固有周波数差の速さで振幅包絡が揺れる「**うなり**」を生じる。これによってトレモロを得ることができる。ただし，この周波数差は製造段階で固定されており，奏者がその速さを制御することはできない。シングルリードのハーモニカでは呼気・吸気量を変化させたり楽器と口の接合状態を揺らせたりする。バンドネオンでは蛇腹を揺らせる。

（b） **ヴィブラート**　現在では，ヴィブラートは音高を揺らすことを指すが，16世紀ころまでは音量を揺らせることも含めて音を揺らすこと全般を指した。ヴィブラートが「音高を揺らせる」という現在の意味で使われるようになったのは，マラン・メルセンヌ（Marin Mersenne）の “Harmonie Universelle” [48] 以降である。

音の高さの揺れは，ネックをもつ弦楽器では簡単に実現できるが，管楽器の演奏音高は唇の振動数や管の長さで決まるので，管楽器で音高を揺らすことは困難なあるいはほとんど不可能な楽器がある。

音量を揺らせば音が揺れている印象を受けるので，音高を揺らすことは難しいが音量を揺らすことならできる楽器については，音量を揺らして知覚的な**ヴィブラート効果** を得るという方法をとるものが多い。

リップリード楽器やエアーリード楽器など楽器にリードが付いていない管楽器ではアンブシュールを速く変えることによって音量を揺らせると，それに伴って気流が揺れるので必然的に音高も少しは揺れる。クラリネットやサクソフォンなど，シングルリード楽器のヴィブラートは，「ワウワウ」と発声するようなつもりで下顎を上下させる方法が多い。ただし，腹筋を使う（別の言い方をするなら，横隔膜の上げ方を震わせる）ほうが安定して音量を変化させることができる。

オーボエやファゴットのようにダブルリードで吹奏抵抗の強い楽器でのヴィブラートは，基本的には腹の力を調節して，息の量をコントロールすることによってかける，つまりアンブシュールを固定しておいて，呼気の量を変える「**腹式ヴィブラート**」がよいとされるが，これも出力へのおもな効果は原理的にはヴィブラートではなく，音量変化である。

フリーリード楽器では音高ごとにリードの振動数が固定しているので，ヴィブラートのためには，シングルリードの場合はリードへの空気の当て方を変えるしかないが，単音ハーモニカはベンド奏法の深さを変化させることによってヴィブラートが可能である。ベンド奏法ができないバンドネオンは蛇腹を揺らすことによって音量を揺らせ，それがヴィブラートのように聞こえるようにしている。ダブルリードの場合（複音ハーモニカ，アコーディオン，ダブルリードオルガンなど）は 2 枚のリードの固有周波数の差によって生じる「うなりによるトレモロ」の知覚的なヴィブラート効果を利用する。

（c）トリル　トリル（英：trill, 伊：trillo）は主として調内の隣接する 2 度音程などの上下の音を高速で反復する奏法で，長 2 度の場合と短 2 度の場合が多く，いずれもネックをもつ弦楽器や鍵盤楽器では容易に実現できるが，管楽器では難しい場合が多い。

唇の振動周波数で演奏音高が決まるリップリード管楽器で周期的にかつステップ状に振動周波数を変化させるのは難しいが，中音域以上の音ならば，バルブ操作なし（バルブは演奏音高の状態を保持したまま）でアンブシュールを変えるだけで半音から全音程度の音高を変える**リップトリル**や，舌を使う**タングトリル**などの手法が用いられる。リップリード楽器であっても，楽器によっては，唇の振動数は不変のままバルブの押／離によって共振周波数を 2 度で反復交替させることによって，気柱振動の共振への引き込み現象によって 2 度音程の反復演奏が実現できる場合がある。

エアーリード楽器やリード管楽器では，実効管長によって演奏音高が決まるので，指孔の開閉（鍵の押／離）によって実効管長を変えて音高を変えられるので，通常，トリルは容易である。ただし，クロスフィンガリング（開けた孔

よりも先に閉じる穴がある）になる楽器（オーボエやファゴットなど）では音域境界でのトリルのために**トリルキー**が付いている場合がある。

（**d**） **ゲシュトップト (ストッピング)**　ゲシュトップト (ストッピング) (英：stopped, stopping) とは，ホルンのベル部分に右手を差し込んで演奏すること。レバーを持たなかったナチュラルホルンのために考えられたピッチを半音下げる奏法であるが，現在では半音下げるのにはレバーを使用するので，ストッピングの現在の使用目的は音色を変化させることになっている。

【独：Gestopft，仏：bouché（ブシェ, 塞がれた），伊：chiuso（chiudere(閉じる) の過去分詞。キウソ，英語の closed）】

F.2.2 弦　鳴　楽　器

（**1**） **ギターの奏法**　ギターの奏法としては，**プレクトラム**（ピック）を使うか使わないかで大きく分かれるが，クラシック系ではほぼピックは使わない。指で弾く場合でも，指の腹で弾くか爪で弾くかの違いがある。弦のどこを弾くかによって弦の振動波形が異なり，音色も変わる。親指で弾くか他の指で弾くかによって弾く方向が異なるということを考慮しなければならない場合もある。

弦を 1 本ずつ弾く場合の基本的な奏法として，弾いた後の指を隣りの弦にもたせかけて止める「**アポヤンド**」(apoyando. 英語直訳は leaning) と，ひき終わった指を空中へ持っていく「**アル・アイレ**」(al aire. 英語に直訳すると “to the air” がある。アル・アイレについてはアポヤンドと対になる表現として「**ティランド**」：tirando=英 pulling）という呼び方もある。フラメンコ特有の代表的な奏法として，右手を軽く握った状態から，小指〜人差し指の順に指を開いて複数の弦をかき鳴らす「**ラスゲアード**」(rasgueado) がある。

（**a**） **音楽ジャンルによる奏法・弦の区分**

上述のように，ピックを使うか使わないかでギターの奏法は大きく分かれるが，奏法が分かれるというよりも，演奏対象とする音楽のジャンルが異なり，ギターそのものの種類が異なると言った方がいいかも知れない。ピックを使う

か使わないかで，スティール弦を使うかナイロン弦を使うかも決まってしまうとも言える。ピック弾きは，大部分のポピュラー音楽やロックとジャズで，エレキギターを含めてスティール弦を使い，指弾きは，いわゆるクラシック系の音楽とフラメンコと中南米音楽の一部にほぼ限られ，ナイロン弦を使う，というようにほぼ色分けされている。

指弾き（dedos）　ピックを使わないで指で弾く場合だけに限定しても，ギターは弦上の撥弦位置と弾き方によって音色をコントロールすることが可能である。まず弾き方では，弦を弾いた後の指を隣接弦にもたれさせるか空中へ持って行くかによって**アポヤンド**（支え弾き）と**アル・アイレ**（空中へ：別名「**ティランド**」＝引き弾き）に分かれる（**図 F.1**）。

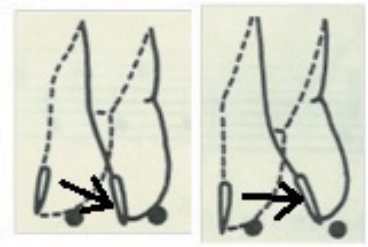


図 F.1　アポヤンド (左) とアル · アイレ (右)。アポヤンドは弾いた指を隣りの弦にもたせ掛けて止める。アル・アイレ (ティランド) は弾いた後の指を空中へもって行く。語義としては後者 (tirar) が普通の弾き方。

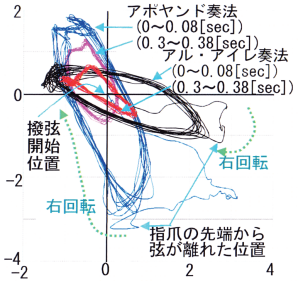


図 F.2　弦に垂直な断面で見たアポヤンドとアル・アイレによる弦振動の軌跡。アポヤンドはアル・アイレよりも弦振動が表板に対して垂直に近い。

アル・アイレとアポヤンドの弦の動きを，弦に垂直な断面で見た軌跡で**図 F.2** に示す。縦軸が表板に垂直な方向の変位，横軸が表板に平行な方向の変位で，原点は静止位置にある弦をブリッジ側からナット方向に見た位置である。

アポヤンドの場合，通常指は表板に対して斜めに近づく方向に動くので，弦の振動面の表板に垂直な方向成分が大きく，また弾いた後に指をもたせかけた隣接弦の共振をその指が抑えるが，アル・アイレの場合は通常，指が表板にほぼ平行に動くので，撥弦直後は表板に垂直な振動成分が小さく，どの弦もフリー

の状態なので，隣りの弦も共鳴する。アポヤンドの場合，弾いた弦が撥弦後に隣接弦で止めた指の爪に当たる（上級者でもあり得る）のを避けるため，あまり強く弾けないが，アル・アイレの場合は振動方向が表板に垂直になっても弦がフレットや撥弦後の指に当たらない範囲で強く引っぱって弾くことができる。このような違いで，アポヤンドとアル・アイレは音色が微妙に異なるが，その聴覚的な差はそれほど大きくない。

爪ではじくか指の腹ではじくかによっても，はじく時点の弦の状態がかなり違い，弦を開放した際の弦の形によって周波数スペクトルが異なる上に，指の腹ではじく場合は余分な雑音は出ないが，ピックではじく場合は，特に巻き弦の場合はピックが金属の被覆を滑る振動がブリッジに伝わるので，撥弦直前に弦の微細振動が始まる。先行音の発音中に新たに撥弦操作を始める場合，撥弦直前の指やピックに振動している弦が振動しながら接触するので，その影響が出力音に現れる。接触する回数は，指やピックを動かす速さと振動中の弦の振動数に依存する。左手の指を弦上で移動させる音も十分大きな音で聞こえる場合があり，聴く者に左手の動きを感じさせる効果がある。

ピック弾き (con plectro)　ピックを使う弾き方についても簡単に説明しておく。指で弾く場合，弾く方向は必然的に親指では上から下へ，親指以外では下から上へはじくようになるが，ピックを使う場合ははじく方向として上から下にはじくダウンピッキングと下から上にはじくアップピッキングの選択の余地がある。これらを交互に速く繰り返す奏法はオルタネイトピッキング（トレモロピッキング，ダブルピッキングとも）と呼ばれる。ダウンピッキングの次にそれよりも高音側の隣接弦を弾くこと，およびアップピッキングの次にそれよりも低音側の隣接弦を弾くことは，無駄な動きをせずに済ませるという意味で，エコノミーピッキングと呼ばれる。

（b）　指弾きにもピック弾きにもある奏法

ハーモニックス (harmonics, 西：armónico)　【フラジオレット (flageolet【英・仏】，flagioletto【伊】，Flageolett【独】)】

英語の「harmonics：調波成分」。スペイン語ではアルモニコ (armónico)，フ

ラジオレットはフランス語 flageolet（昔の縦笛の一種を指すこともある）の英語読み。ハーモニックス奏法は，撥弦・擦弦に共通で，押弦する代わりに，ナットあるいは押弦位置（ギターの場合はフレット）からブリッジまでの $\frac{m}{n}$（n は 2 から 8 程度までの 7 以外の整数。m はそれ未満の自然数で通常は 1）の位置で左手の指を弦に軽く触れて，触れた位置が弦振動の節になる高さの音を出す奏法である。

ナットあるいは押弦フレットからブリッジまでの $\frac{m}{n}$ の位置に指を触れた場合のハーモニックス音の高さは，$\frac{m}{n}$ が既約分数なら，開放弦あるいは当該フレットでの音高の第 n 高調波の高さになり，m の値は音高に関係しない。$\frac{m}{n}$ が既約分数で，n が 2 の自然数冪（べき）乗であれば，開放弦あるいは押弦フレットでの音高と同じ音名で冪数オクターヴ上の高さ，3 の倍数であれば 12 度（オクターヴ＋5 度）上の高さ，5 の倍数なら「2 オクターヴ＋長 3 度」上の高さになる。

【こう書くと，上記の「$\frac{m}{n}$ の位置に指を触れた場合，…m の値は音高に関係しない」は自己矛盾するように見えるが，$\frac{m}{n}$ が既約分数であれば，振動可能部分全体の長さと端から接触点までの長さの比が $n:m$ ということと，端から接触点までの長さが半波長の整数倍になるという条件から，m に自由度はあっても音高には関係しない。】

ハーモニックス奏法には，解放弦に対する**ナチュラル**（自然）**ハーモニックス**と，押弦して行う**アーティフィシャル**（人工），あるいは**テクニカル**（技巧的）**ハーモニックス**がある。$m = 1$ として，$n = 2$ は 12 フレット上，$n = 3$ は 7 フレット上，$n = 4$ は 5 フレット上，$n = 5$ は 4 フレット上の位置になる。

撥弦位置の使い分け　弦のどの位置を弾（ひ）くかによって音を硬くするか柔らかくするかをコントロールできる。擦弦楽器ではイタリア語でスル・ポンティチェーロ（コマの上）／スル・タスト（指板の上）と名付けて通常の励振位置と区別されているが，スペインで発達したギターについてはこのような譜面上の奏法のスペイン語の表現は見当たらず，“sobre el puente”（ブリッジの上で）というようなスペイン語は聞いたことがない。書きたい場合はイタリア語を流用する。

ヴィブラート (vibrato)　イタリア語の「vibrare：振動させる」の過去分詞形「揺らされた（音）」。押弦した指を弦の長さ方向に揺らせて音高を時間的に揺らせる奏法。開放弦ではできない。ギターはフレットがあるので，押弦位置を固定したまま弦の振動部分の長さを変えることはできないが，強く押弦しながら指を弦の長さ方向に揺らせて張力を変えることによって音高を少しだけ変えることができる。弦に生じる横波の周波数は張力の平方根に比例するので，ギターでのヴィブラートはこのことを利用して，張力を揺らすことによって基本周波数を揺らす奏法である。解放弦の音高でヴィブラートを弾きたい場合は，通常はその低音側の隣接弦でのその音高を押弦してヴィブラートをかける。重音になっても構わないなら，その弦（同じ音高でも通常ほんの少しは周波数が異なる）も弾いて，差周波数のうなりを生じさせて，その知覚的なヴィブラート効果を使うこともある。

トリル（英：trill, 伊：trillo，西：trino）　調内音の通常 2 度音程の反復で，押弦フレットの 1 あるいは 2 フレット上の押弦と離弦を繰り返す。2 度よりも広い音程のトリルや重音のトリルもある。後述のハンマリング・オンとプリング・オフの速い繰り返しともいえる。記譜は親音符（トリルの音高として譜面に書く音符）の上あるいは右に ‘tr‘あるいは波線を書く。調性音楽であれば，親音符の音（主要音）と当該調内の 2 度上の音の反復がほとんどであるが，上の音に臨時記号が付くこともある。その場合は，‘tr‘の右肩にその臨時記号を追加する（スペイン語が trillo でないのは，その綴りがすでに「(麦の）脱穀機」として使われているからである。)。

トリルは古典前期（W.A.Mozart ころ）までは上の音から始めるのが普通であったが，それ以降は親音符から始めるのが一般的になった。そのため，現在では上の音から始めることを指示するためには，上の音を短前打音として明示することもある。どちらから始めても，トリルの最後の音は親音符の音である。

ギターで弾く曲は古典期以降のものと考えてよいので，ギターでのトリルは下の音から始めるとしてよい。右手による撥弦は，最初の親音符（下の音）だけで，実際のトリルは上の音のハンマリング・オンとプリング・オフを速く何

度か繰り返し，最後はプリング・オフで終わる。

セーハ (ceja)　スペイン語で「眉毛」の意。フレットをもつ弦楽器の押弦法の 1 つ。ギターの場合はスペイン語の名称になっているが，ヴィオラ・ダ・ガンバなどではフランス語で「barré：バレ」と呼ばれる。指を指板上で弦に直角方向にまっすぐ伸ばして同一フレットのすべての（あるいは一部の）弦を一本の指で一挙に押さえること。第 n フレットのセーハの記譜は C.n。

アルペジオ（arpeggio）　イタリア語の「arpeggiare：ハープを弾く」からの名詞形の派生語。分散和音。コードを押さえた状態で，和音を単一ストロークで弾くのではなく，上または下から順に 1 つずつの音を順次弾く奏法。

グリッサンド (glissando)　通常左手指を指板上で滑らせて，右手は最初の 1 ストロークで弾くが，エレキギターの場合には 1 音ずつ弾弦する場合もある。ヴェンチャーズの「パイプライン」で有名になった「テケテケサウンド」がこの例である。

カッティング (英：cutting，西：cortado)　右（撥弦するほうの）手による方法と，左（押弦するほうの）手による方法がある。右手によるカッティングは，弾いた直後あるいは弾くと同時に，弾いている手のひらの親指側の側面を 6 本の弦すべてに押し当てることによって，音を止める奏法。ストロークごとにカッティングしながら弾き続けることによって，パーカッション的なビート感（グルーヴ感，ドライヴ感，ノリ）が得られる。弾弦の前から右手の手のひらで弦を押さえて弦の振動を抑え，ピッチ感のある太鼓のような音を出す奏法もある。左手によるカッティングは，コードを撥弦した直後にコードを押さえていた手を，弦に接触したまま指板から少し浮かせて弦の振動を抑える奏法。

ブリッジミューティング (bridge muting)　右（撥弦する）手の掌で，ブリッジの近くの弦に触れた状態で撥弦し，音を抑制する奏法。高域成分が抑えられて，低域成分が強調され，余韻の少ない音になる。

ミュート (英：muting，西：sordino, 独：Dämpher)　開放弦は音を出さないつもりの場合でも，音が出てしまうことがある。これを出さないように，左手の空いている指で開放弦に軽く触れて振動を抑えることである。開放弦が

複数ある時にすべての開放弦の不要な振動を空いた指で抑えるのは難しいので，押弦指の先で隣接低音弦に触れてそれをミュートすることもある。

（c） 指弾き限定の奏法

右手ハーモニックス（armónico por la mano derecha） 開放弦あるいは押弦位置から 12 フレット（解放弦の中央）あるいは 19 フレット（ブリッジから 1/3 の点）上の位置の弦に右手人差し指を触れておき，その中指あるいは薬指でそれよりブリッジ側をはじく奏法。17 フレット（ブリッジから 3/8 の点）や 16 フレット（ブリッジから 2/5 の点）上も不可能ではないが，はじく位置がどうしても節点に近くなるのできれいな音にするのが難しい。

タッピングハーモニックス（armónico claqué） ハーモニックス奏法が可能なフレット位置の弦を右手で軽く叩くことによってハーモニックス音を出す奏法で，クラシックギターで和音コードを押さえた上で数本同時に行うと効果的である。例えば，Em コードを押弦して，開放弦になっている第 1~3 弦の第 12 フレット位置の下をタッピングするなど。音はきれいが，振動の節になる所で励振することになるので発音効率が悪く，大きな音は出せない。

ピアノにおけるハーモニックス奏法，ならびにエレキギターでのピッキングハーモニックスについては，それぞれの項を見ていただきたい。

トレモロ (tremolo) イタリア語の「tremare：震える，揺れ動く」から。親指で低音を弾いた後，薬指，中指，人差し指の順に，同一弦をアル・アイレで基本 4 回繰り返す奏法。フラメンコの場合は，通常その前に親指でアポヤンドで弾いた後，移動の必要がない限り，親指はその隣接弦にしっかり固定しておく。タレーガ (Francisco Tarrega:1852-1909) の “Recuerdos de la Alhambra” (アランブラの思い出) はこの奏法の曲として特に有名。

ラスゲアード（rasgueado） フラメンコの基本奏法の 1 つであるが，フラメンコ特有のものではない。左手で和音を押弦しておいて，右手の親指を第 6 弦にかけて固定した状態で，右手を軽く握った状態から，小指から人差し指へ順に指を延ばし，各指で高音側の弦を 2〜3 本ずつ，素早く連続的に爪の表の先の方で，弦に対して直角に（弦上を滑らせないで）弾(ひ)く。1 本ずつを細かく

見ると，爪が当たった直後に爪の表側の先で弾くことになる。“rasgueado”は“rasguear”（「掻き鳴らす」）の過去分詞形で「掻き鳴らされた（音）」の意味。**図 F.3** にラスゲアードの奏法の動作を経時順に示す。



図 F.3　ラスゲアード奏法（左から右へ）

使用頻度は少ないが，親指を下から上へ掻き上げて爪の表面で撥弦するラスゲアードもある。スペイン語の過去分詞形の世俗表現で “d”を落とした形のラスゲアーオということもある。

セコ（seco）　人差し指 1 本（あるいは中指を含む 2 本）によるラスゲアードと考えればよい。左手でコードを押さえ，右手親指を第 6 弦に置いて，人差指（あるいは人差し指と中指など）を丸く曲げた状態から一気に伸ばすことによって，爪の表側でコード音を弾く奏法。“seco”は形容詞「乾いた」の意味。

ピカード (picado)　スペイン語で「刺された」の意。親指を第 6 弦あるいは表板に付けて安定させて，指 2 本（ほぼ人差し指と中指）で，ブリッジに近いところを，アポヤンドでスタッカート的に鋭い音を速く弾くフラメンコの奏法。

ゴルペ (golpe)　スペイン語で「打叩」の意。弦を弾くのとほとんど同時に表板を右手指（主として薬指）で叩く奏法。フラメンコでよく使われる。表板にゴルペによる傷を防ぐための保護板を貼り付けたギターもある。

（d）ほぼエレキギター特有の奏法（クラシックギターでも可能）

ハンマリング・オン (hammering-on)　音を引き延ばすことのできるエレキギターでの奏法として開発されたもので，スペインで育った奏法ではないので，スペインでもハンマー・オンとなっており，スペイン語の名称はない。一部の奏者はアタコ（アタック）とかゴルペオ（叩き弾き）というような表現をしているが，広く受け入れられている表現ではない。本来はレガートで 2 度上向するための奏法で，現在の音よりも 1〜2 フレット上を左手の指で叩くように

押弦することによって音を出す奏法。右手の指をスラーで追加押弦指として使う場合もあるが，撥弦には使わない。記譜は音符をスラーでつなぐ。4 フレット以上離れた音に使う場合は右手も押弦に使う。右手を撥弦に使う必要がなく押弦に使えるので，次項のプリングオフとの併用によって非常に速いレガートフレーズを弾くことができる。記譜は 2 音をスラーで結ぶ。

プリング・オフ (pulling-off)　これも主としてエレキギターでの奏法で，本来はレガートで 2 度下向するための奏法で，次に弾く音のために押弦（解放弦を含む）しておいた状態で，現在の音としてそれよりも 1 あるいは 2 フレット上の音を押弦して弾いたあと，押弦指を弦から引っ張り気味に離すことによってすでに押弦してある音を出す奏法。単に弦から指を離しただけでは音が小さいので，放すときに少しその弦を引っ張り気味ににして離す。ただし，右手ハンマリング・オンの場合は，必然的に右手指の押弦を離すことになる。記譜は 2 音をスラーで結ぶ。

（2） ヴァイオリンの奏法

（a） レガート／デタシェ (legato/detaché)　レガートは 1 ストロークで複数の音を時系列的に切れ目なく弾くことで，奏法とも考えられる。譜面上ではスラー記号が使われる。切れ目なく音をつなげる奏法で，同音の場合はタイになる。これに対して，デタシェでは各音ごとに弓のストローク方向を反転して弾く。デタシェの記譜はダウンボウが ⊓，アップボウが ∨ である。フランス語 “détacher” は「切り離す」の意であるが，現在の奏法としては「切れ目なく弓を返す」を意味することが多い[23)]。

初心者は運弓方向を反転させると，どうしても弓が一瞬停止する。それを避けるために，奏法練習の初期段階では，運弓方向を反転させる代わりに右手で円（楕円）を描くようにして反転を滑らかにするように指導する教師もいる。その場合でも，押弦との同期の必要性は当然残る。

（b） スタッカート／テヌート (staccato/tenuto)　スタッカートは音と音の間に休符を置くような感じで歯切れよく弾く。記譜は譜頭の上あるいは下（符幹のない側）に小さい黒丸を付記する。テヌートは音価いっぱいに音を出

す奏法で，記譜は符頭の上あるいは下（符幹のない側）に短い横線を付記する。

（**c**） **ポルタート (portato)**　スタッカートとレガートの中間。弓を返さずに，しかし軽く切りながら弾く。

（**d**） **ハーモニックス（フラジオレット）(harmonics/flageolet)**　内容については「ギターの奏法」の (b) の「ハーモニックス」を参照されたい。

図 F.4 に G 線（G3）の中央に触れてナチュラルハーモニックスで G4 の高さで振動させた状況のストロボ写真を示す。弦の振動が見やすくなるように写真は弦の長さ方向に縮小し，振動方向に拡大してあるので，弦に触れている人差し指は細長い棒のように見える。弦は指のところが節になって振動していることがわかる。

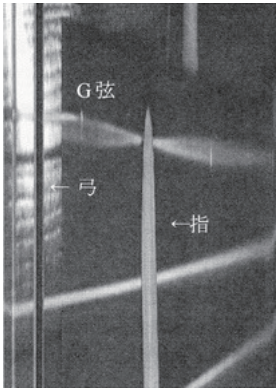


図 F.4　G 線の中央を人差し指で触れてナチュラルハーモニックスで G4 の振動をさせている状態

譜面上の表記法は幾通りかあり，押弦音高に音符を書き，その上方に例えば “harm” と書き，実際に出す音高に菱形や丸印を書いてその中に押弦位置から何フレット分上の位置に触れるのかを数字で記入するが，オクターヴは無視してよい。例えば，押弦位置から 7 フレット相当分上の位置に触れると押弦位置の高さよりも 12 度上の音高になるが，記譜は押弦音高に音符を書き，その 5 度上に菱形を書いてその中に “7” と記入し，五線の上に “harm.” と書いておく。“harm.” の代わりに指番号として “0” とする記法もある。押弦位置から 5 フレット相当分上の位置に触れると押弦位置の高さよりも 2 オクターヴ上の音高になる。

（e） **ピッツィカート (pizzicato)**　弦を弓で擦る代わりに指ではじいて音を出す奏法。右手指ではじく場合と，左手の空いた指ではじく場合がある。開始場所に “pizz.”と書き，弓奏に戻るところには “arco”と書いておく。右手の弓で弾きながら左手の指で撥弦するのは高度な技巧で，パガニーニの「カプリース／カプリチオ (caprice【仏】/capricio【伊】)24 番に頻出する。

ピッツィカートを使うオーケストラ曲として書かれた「ピッツィカート・ポルカ」（Johan & Joseph Strauss 兄弟,1869）が有名であるが，通常の（特にピッツィカートで弾くことを想定されていない）曲をピッツィカートで弾くようにした編曲もある。ここではそのような例として “La Cumparsita”のピッツィカート・ソロの編曲を収録しておいた。

【⬇：音のファイル\付録関係\4. 諸資料\(a)Vn 関係\a-10 ピッツィカート】

（f） **トリル (trill)**　高さの異なる 2 音を速く交代させる装飾的な奏法。長 2 度あるいは短 2 度音程の場合が多いが 3 度以上の場合もある。2 音のうちの低いほうが親音符になり，譜面上では親音符が主音符として記譜され，トリル記号（tr または波線）が付記される。開始音は必ずしも親音符の音（主要音）であるとは限らないが，トリルの最終音は必ず親音符の音である。モーツァルトあたりまでは上の音から始めるのが標準であったが，ベートーベンのころ以後は下の音から始めるのが普通になったので，上の音から始める場合は短前打音で明示されることが多い。通常は単音で行うので，下の音を押弦して擦弦を開始し，その長 2 度あるいは短 2 度上の音を押弦指よりも小指側の隣接指によって押弦／離弦を数回繰り返し，通常は 1 ストロークの内に離弦で終わる。押弦／離弦の回数は奏者に任されるが，通常 4 回程度になる。1〜2 回で終わるのはプラルトリラー†と呼ばれる。2 本を押弦した上でさらに残りの指を使って 2 つの親音符に対するトリルを行う重音トリルは 4 指をフルに使う高度な技巧で，タルティーニの「悪魔のトリル」はこれを連続使用する曲として有名である。

（g） **ヴィブラート (vibrato)**　現在では，ヴィブラートは音高を揺らす

† Pralltriller. C. P. E. Bach による命名[23] “pral”はラテン語で principal の意。

ことを指す。擦弦楽器でのヴィブラートは左手の押弦位置をネックの長さ方向に揺らすことによって実現するが，必然的に楽器と奏者の身体が相対的に揺れるので，それに応じて弦と弓の圧力も揺れて音量の揺れが音高の揺れとほぼ同期して生じる。ヴィブラートをかけるかどうかは奏者に任されることが多いので，譜面上に明記されることは現代のものを除いて少ないが，con vib. と記されることもある。揺れの深さや速さは奏者に任されるが，通常揺れ幅は半音程度以下で，揺れの頻度は 5〜7 回／秒程度である。

（**h**） **トレモロ (tremolo)**　「震え」を意味するが，同一音高での音量の揺れ。擦弦楽器の場合は弓を速く上下させて同一音を弾く。

（**i**） **ポルタメント (portamento)**　ポルタメントは「音を『運ぶ』」で，ある音から次の音に移る際に滑らかに（連続的に）音高を変える奏法。ポルタメントには目標音があって，それに達する直前で変化速度が速く感じる。

（**j**） **グリッサンド (glissando)**　グリッサンドは「音を『滑らせる』」で，ポルタメントとほぼ同じであるが，ポルタメントでは必ず目標音があるのに対して，グリッサンドでは目標音が指定されていない場合があり，移動速度が感覚的に等速である。グリッサンドはヴァイオリン属では 1 ストロークで弾くが，連続と離散のどちらも可能である。重音のグリッサンドもある。

（**k**） **アルペジオ（arpeggio, 分散和音）**　左手各指で短時間内に和音構成音を順次押弦できる状態で，弓で 4 本の弦を順次弾き，残響音を利用して和音を響かせる。メンデルスゾーンのヴァイオリン協奏曲の第 1 楽章の展開部の最後に置かれたカデンツァでアルペジオが連続使用されている。

（**l**） **スル・ポンティチェーロ／スル・タスト (sul ponticello/sul tasto)** それぞれ，「駒の上で」／「指板の上で」の意味。実際には，通常の擦弦位置よりも，それぞれ，駒に近いところ／駒から遠いところを弾いて，音を硬く（高次高調波を多く）／やわらかく（高次高調波を少なく）する奏法。弓奏でもピッツィカートでも可能。譜面上では，それぞれ “s. pont.”／ “s. tasto” と書く。

（**m**） **スピッカート【伊】（サルタート【伊】，ソティエ【仏】，シュプルングボーゲン【独】）(spiccato/saltato, sautillé, Sprungbogen)**　弦の

張りによる反発力と弓の重さと毛の張りとを利用して，擦弦タイミングをコントロールしながら速く弾く奏法。弦と弓の反発力に応じて，擦弦タイミングが弾こうと思っている演奏速度での発音タイミングと一致するように運弓速度と弓の弦への押圧を調整して弾く。弦を変えての押弦での速いスピッカートは難しい。バランスのいい弓でないと弾けないので，トゥルトによる弓の改良以前にはこの奏法はなかった。パガニーニの「カプリース／カプリチオ (caprice【仏】/capriccio【伊】)」に頻出する。記譜はスタッカートと同じ。

【⬇：音のファイル\付録関係\4. 諸資料\(a)Vn 関係\a-6 スピッカートの例】

（**n**） **リコシェ（ricochet）**　弓の弾力性による弦上でのバウンドを利用した奏法。弓の先の部分を使用して，ダウンボウの 1 ストロークで 3〜6 個の音を一気に弾く。同一音の場合と分散和音の場合がある。後者は運弓の速いスピッカートによるダウンボウのアルペジオということになる。パガニ―ニのカプリチオ 7 番に頻出する。

（**o**） **コル・レーニョ (col legno)**　「木で」の意味。弓の木部で弦を打つ奏法。記譜は “col legno”。通常の奏法に戻るには “arco” と書く。Penderecki の弦楽四重奏曲 1 番で多用される。

【⬇：音のファイル\付録関係\4. 諸資料\(a)Vn 関係\a-2 打楽器的奏法】

（**p**） **スコルダトゥーラ (scordatura)**　弾くのが難しい曲を，少し弾きやすくする（標準調弦ならフレット位置の異なるダブルハーモニックスを同一押弦位置で弾けるようにするなど）ための臨時調弦である。三味線の「二上(にあが)り」や「三下(さんさが)り」に相当。演奏中に余分な音を出さずに調弦を変えるのは至難なので，臨時調弦した楽器を別に用意しておくことがある。

（**q**） **多重音奏法，マルチストップ (multi-stops)**　2 本以上の弦を同時に弾く奏法。ヴィオラ・ダ・ガンバは弦の張り方の山がなだらかで，かつ弓の木部が山型で毛を緩めることもできたので，3 弦以上でも同時に弾くことができたが，ヴァイオリンは弦の数が減り，隣りの弦との運弓の角度差が大きくなったので，通常の弓では最大で 2 弦までしか同時に弾くことができない。

弦楽器で協和音を弾く場合，撥弦や打弦であれば短時間で音が減衰するので

各音の周波数が整数比になっていなくてもそれほど気にならないが，擦弦の場合は，音価の長い重音で整数比から外れると高調波間で多重のうなりが持続して音が汚くなる。それを避けるためには，弾く弦の周波数比が整数比に近くなる（きれいにハモる）ように音高に注意して（耳で聞いて）押弦位置を微修正する必要がある。これは中・上級レベルの奏者にとってきわめて重要な訓練項目である。

ヴァイオリンによる 3 重音・4 重音

現在のヴァイオリン属の楽器と弓での多重音は 2 重音（ダブルストップ, double stop，Doppelgriff【独】）, までしかできないが，J. S. Bach が無伴奏ヴァイオリン・パルティータ 2 番の最後の “シャコンヌ”（3 拍子の舞曲の一形式，伊：ciaccona, 仏：chaconne）の楽譜に 3 重音：triple stop や 4 重音：quadruple stop を書いていることを根拠にして，1904 年ころに音楽学者の Arnold Schering が，バロック期の弓なら 3 重音，4 重音が可能であったと言い始めた[86)]。

当時すでにアフリカなどでの医療活動によって高名な医者であり，オルガン奏者でもあったアルバート・シュヴァイツァー（Albert Schweitzer，1875-1965）がこれに悪乗りして，Schering 本人が誤りであったと自説を撤回した後も，ルントボーゲン（Rundbogen：曲がった弓）と称する弓を作って，ヴァイオリン奏者ロルフ・シュレーダー（Rolph Schröder:1900-1980）に実際に演奏させた[87)]。シュレーダーの演奏（1952 年 9 月録音）は LP3 枚組（Columbia SL-189）として残っており，その解説文はシュヴァイツァーが書いている。その後，学界ではバロック期の楽譜は弾くべきように書くというよりも，奏者が楽譜を見て自分の解釈で弾くというものであったということになっており，4 重音を弾けるような弓があったとは考えられないということになっている[88)]。

Boyden は，ヴァイオリンでの 3 重音，4 重音の奏法がイタリアでは 1625 年ころにいったんなくなったが，17 世紀後半からドイツで高度に発達し，イタリアでも 1671 年ころから復活したとして，その記譜法と実際の奏法（**図 F.5**）を示している[45),p.271]。



図 F.5　4 重音の記譜と奏法[45),p.271]

図 F.6 に 2 種の Rundbogen を示す。上の弓は曲がった木部がやや細く，毛は細いフロッグ[†1]の前方下端で留められており，フロッグは前方（親指側）の蝶番で留められていて小指側を浮かすと毛が緩むようになっている。毛を張った状態でロックできるようになっているが，毛を張ると弓の重心が弦から離れるので弓が安定せず，弾きにくいはずである。下の弓（“Vega” bow [†2]も，レバーによって毛の張りをコントロールするようになっているが，見たところ，フロッグが大きく，手元が重くて弾きにくいように見える。



図 F.6　曲がった弓 2 種。上：Arco Curvo【Wikipedia】，左：毛を張った状態，右 2 つ：フロッグ 2 状態，下：Vega bow（毛を張った状態）　【Vonókészés.hu

図 F.7 左は，Schweitzer に Bach bow を聴かせる Termányi で，弓の毛は張った状態。右は Otto Büchner で，毛は緩んだ状態。ビュヒナーが使っている弓はバッハ弓 “Vega”である。

ヴァイオリンの多重音に関する実験的な演奏

その後，Telmányi Emil, Otto Büchner, Rudolph Gähler などが 3 重音，4 重音を使った同曲の実験的な録音を残している。

[†1] 毛を弓に張るための機構部分。現在の通常の弓では木部に埋め込んだ長い棒ネジで木部に沿ってスライドさせるようになっている。

[†2] 製造会社フェスター―ハールト Vestergaard（オランダ語）の 2 音節を繋いで英語読みした “Vega” Bach-Bogen と呼ばれる。“Bach-Bogen(バッハ弓)”は Schweitzer の命名。

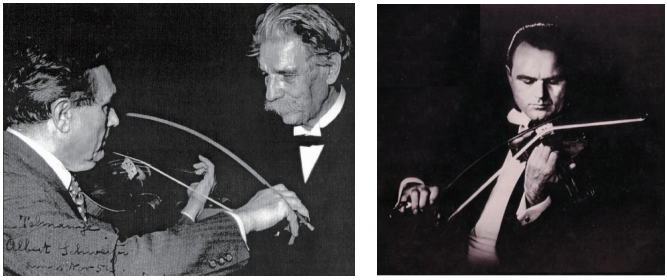


図 F.7　曲がった弓 2 態
左：曲がった弓（毛を張った状態）で Albert Schweitzer に聴かせる Emil Telmányi(1954)
右：毛を緩めた状態で演奏する Otto Büchner（Trio 非売品レコードのジャケットを編者が撮影）

図 F.8 の自筆譜に現れる 3 重音や 4 重音は，現在では，図 F.8 右に示される低音パートを先に前打音（アポジアトゥーラ）的に弾いてから，高音パートを主要音として弾くというようになっている。ヴァイオリン属による 3 重音・4 重音のこの奏法は「分散和音化（アルペジエーション）」（arpeggiation【英】, arpeggiamento【伊】）と呼ばれている。この楽譜は 2 本のヴァイオリンで弾くように書かれた市販の編曲譜（Friedrich Hermann(1828-1907) 編曲，FC Music 版）なので，このままで独奏用の奏譜にはならないが，第 2 ヴァイオリンパートを前打音のように弾くように解釈すれば現在の独奏の奏譜に近い。

比較のために，同曲の冒頭部分を 2 種の弾き方を「音のファイル」に収めて

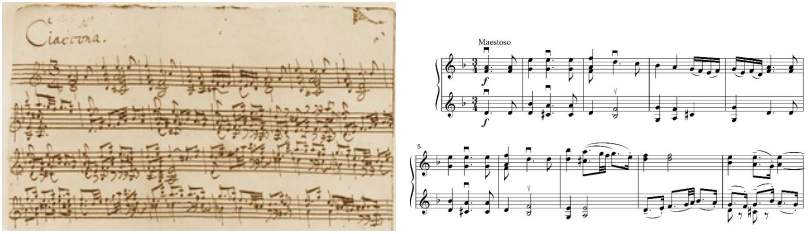


図 F.8　J.S.Bach の “シャコンヌ” の冒頭。左：3 重音・4 重音を含んだ原譜 (Blogspot 11Science)，右：擬似奏譜（下段は先に弾く音符，上段が主要音と振り分けて書かれていると想定。）【F. Hermann 版 ヴァイオリン 2 重奏用編曲 FC Music】【⬇：音のファイル/付録関係/4. 諸資料/(a)Vn 関係/a-3 バッハ弓によるシャコンヌ】

おく。現代の通常の弾き方は CD が多く出ているので，ここでは代表的なものを 1 つだけしか収録していないが，Rundbogen によって 3 重音，4 重音を使った演奏は 3 種入れておいた。

作曲家ニールセン（Carl Nielsen, 1865-1931）の娘と結婚し，後に曲がった弓 “Vega” Bach Bogen の開発でフェスター―ハールト社に協力したテルマニー・エミール（Telmányi Emil：ハンガリア人なので前が姓，1892-1988）のもの（1967 年録音）と，バイエルン国立劇場のコンサートマスターで，かつカール・リヒター（Karl Richter，1926-1981）が率いたミュンヘン・バッハ管弦楽団のソリストでもあったオットー・ビュヒナー（Otto Büchner，1924-2008）のもの（1973 年録音），および比較的新しルードルフ・ゲーラー（Rudolph Gähler, 1941-）のもの（1998 年録音）を収録しておいた。Gähler は永くボンのベートーベン・オーケストラのコンサートマスターを務めた奏者であるが，Schweitzer からの依頼で 1932 年に最初の Rundbogen を作って弾いたロルフ・シュレーダー（Rolph Schröder, 1900-1980）に師事したので，Rundbogen の本家筋の奏者と言える。

比較のための現在の標準的な弾き方（奏譜の下段のヘ音記号譜を先に前打音的に弾き，すぐに（同じストロークの続きで）上段のト音記号譜を弾く「分散和音化」）による演奏をフランコ・ベルギー派（ヴィオッティ Viotti, バイヨー Baillot, ド・ベリオ de Bériot に始まり，ヴュータン Vieuxtemps, イザイエ Ysaye の流れ）のグリュミオー（Arthur Grumiaux，1921-86）の演奏で示す。なお，Otto Büchner の多重音は技術不足のためか，弓が重くてコントロールしにくかったのか，純正律とは言えない協和性の悪い（高調波間の多重のうなりが耳障りな）音になっている。Rudolph Gähler のものは，これよりも協和性がはるかによい。Telmányi は技術不足のようである。

【⬇：Rundbogen を使った演奏 音のファイル/付録関係/4. 諸資料/(a)Vn 関係/a-3 バッハ弓によるシャコンヌ\Gaehler.wav，同\Buechner.wav，同\Telmanyi.wav

⬇：現在の通常の演奏　同\Grumiaux.wav 】

3 重音，4 重音を使うと，オルガンを弾いているように聞こえ，古い型の演奏という印象を受けるとともに，現在の弾き方に馴れている耳には間延びした演奏に聞こえる。現在の演奏として規範的と思われる Arthur Grumiaux の演奏のほうが，メリハリがあって Rudbogen によるものよりいいように思える。

（3） ピアノの奏法

（a） 演奏のコントロール要素　ピアノは，荒っぽく言えば，音を出すには通常の奏法としてはキーを叩くしかないし，キーさえ叩けば音が出る。（弦を指で直接はじくというような特殊な奏法もあるが）極端に言えば，奏者がコントロールするのは打鍵タイミングと打鍵強度およびペダル操作だけである。ペダル操作はしなくても音は出る。打鍵タイミングは複数の音を何らかの順序で経時的に弾く場合や和音のようにほとんど同時に（ただし相対的なオンセット時点を微妙に変えて）弾く場合に問題になるだけで，単独に単音として弾く場合に調整可能な要素は基本的には打鍵強度（打鍵速度）だけであり，それ以外の調整要素としてはペダルによる立上りや余韻のコントロールしかないと考えてよい。自動演奏させる場合のキーに対する制御情報は，打鍵タイミングと打鍵速度だけで，その他はペダル関係になる。コンピュータ制御の自動ピアノの多くはキーの動きとハンマーの動きを観測できるようになっているが，それは調整に使うためであって，自動演奏の際の制御対象は打鍵用のソレノイドであって，ハンマーの打弦動作を直接制御することはしない（できない）。

ただし，人間が弾く場合の感覚としては，打鍵強度以外に，キーの上の打鍵位置（手前か奥か）を変えることや，打鍵の際に指を鍵盤上で手前あるいは奥へ滑らせることなどによって同じ打鍵強度であってもハンマーによる打弦を変えられると考える奏者もあり，ブラインドテストで自分の録音時の弾き方を聞き分けられる奏者もいる † ので，タッチによって音を変えられる可能性はある[89)]。

† 同志社大学山本誠一教授の未発表の小規模な実験（筆者も関与）で，同志社女子大音楽学部のピアノ科 K 教授を被験者として，ベーゼンドルファー・セウスを用いて，特定のキー（C5）を対象とし，打鍵速度を同程度にして，奏者自身が「区別して弾くことができる」とした 20 種程度（実際には 19 種）の弾き方で単音として弾いた演奏情報（*.boe）と音を収録し，最大振幅と持続時間を正規化して奏者を聴取実験の被験者と

ただし，自動演奏のピアノではノート・オンのための制御情報はタイミングとヴェロシティだけであって，打鍵速度と打弦速度を独立に制御することはできない。長期間を経ると打弦機構の経年変化やハンマーヘッドの固化などによる微小な変化はあるが，通常は打鍵速度によって打弦タイミングと打弦速度が確定すると考えてよい。

奏法

（b） ペダル操作（pedalling）

1. ダンパーペダル

　音を延ばしたいとき，打鍵前に踏んでおく。ただし，ダンパーペダルを踏むと，踏んでいる間はすべてのキーのダンパーが弦から離れるので，どのキーを叩いても音が延びることになる。叩いていないキーのダンパーも外れているので，叩かれた弦の振動がブリッジなどを経由してほかの弦を少し振動させたり，高調波間での共振によって和音関係にあるキーの弦が振動を始めたりするので，注意が必要である。

　譜面に操作を書く場合は，踏み込む場所で花文字の “𝔓𝔢𝔡.”，離す場所（センツァ）では星印を書くが，ペダルの使用は基本的には奏者が決めればいいことなので，奏者が自分の譜面に書き込むことが多い。高度な演奏技術をもつ奏者は，ダンパーペダルの操作を踏む／踏まないの間で，いっぱい踏み込む少し手前で止めるというようなことによって，ダンパーによる弦振動の抑制を微妙にコントロールする。

2. ウナコルダ・ペダル

　付録 E.2.1 項 (3) (a.3) の【相違 3】を参照のこと。譜面に書く場合は，“u.c.”，3 本弦（tre corde）に戻るには “t.c.” 高度な演奏技術をもつ奏

してランダムに提示して弾き方を推定してもらったところ，誤り 2 つで奏法を回答できた。立上りと余韻の違いによって，素人でも 4 群に分けることができた（同一群内の音の違いは素人には判別不能）が，各群に 4〜5 種のサンプルが属する試験音に対する奏法推定で，被験者が奏者本人であるので，実験では排除したつもりであるが，音以外に何らかの違いがあってその記憶が推定に使われた可能性がある。

者は，このペダルとダンパーペダルの踏み込みの深さを加減することによって，1 本目の弦の振動をもコントロールする。

3. ソステヌートペダル

音を選択して延ばしたい場合に，打鍵後にこのペダルを踏むと，ペダルを踏んだ時点でのダンパーの位置が保持されるので，打鍵後にこのペダルを踏むと，指をキーから離しても，ペダルを踏んでいる間，その音だけが残り，他の弦の音はダンパーで抑えられるので，澄んだ余韻が得られる。英語でサステインペダルという場合もある。まったく使用しない奏者もいる。記譜は “sosten.”

（c） **グリッサンド（glissando）**　爪を使って鍵盤上を上昇あるいは下降で音を切らずに流れるように速く（ほぼ等速で）弾く奏法。白鍵だけを使う場合と，黒鍵だけを使う場合，両方とも使う場合がある。通常，各時点では単音であるが，2 本の指を使った重音のグリッサンドもある。ピアノの場合は，音高は必然的に離散的な変化になる。ポルタートと違って，最終音を明確にしないことがある。記譜は “gliss.”.

（d） **ハーモニックス（harmonics）**

1. 従来からの方法

音が出ないようにキーを押さえることによって，ダンパーペダルを使わずに，特定のキーだけのダンパーを外した状態にしておいて，他の音を弾いたときに，あらかじめダンパーを外しておいた弦を共鳴させる奏法。例えば，音が出ないように C4 をそっと押さえておいて，G4 を励振音として弾き，すぐに G4 の指を離すと，C4 の弦の第 3 高調波が G4 の第 2 高調波に共鳴した余韻が聞こえる。

和歌山大の松井淑恵助教（現在，豊橋技術科学大学教授）から次の 2 か所がこの奏法の要求される場所として有名であるとのご教示を得た。

1. シューマン「謝肉祭」の間奏曲「パガニーニ」の最後の和音
2. シェーンベルク「3 つのピアノ曲 op. 11」第 1 曲　14-17 小節目

1. は奏者の解釈で使われるが，2. は譜面に “ohne Ped.”（ペダルを使

わずに）と指定されている。

2. ギターやヴァイオリンと同じような方法

現代音楽やジャズ，ロックなどの先鋭的な演奏には，ピアノのハーモニック奏法として，ギターやヴァイオリンと同じように，弦のアグラフあるいはカポ・ダストロ・バーからブリッジまでの長さの整数分の 1 の場所に指を軽く触れて，そこが弦振動の節になるようにしておいて，鍵盤から打鍵することによって，当該弦の特定の高調波を選択的に大きくするという奏法が使われることがある。奏者一人でこれを行うためには，奏者から手の届く範囲内の位置しか触れられないので，出せる音は限定される。ピアノの製造段階ではこの奏法を想定していないので，弦のどの位置に指を触れればいいのかは，自分であらかじめ求めておく必要がある。

（e）**トリル（trill）**　ほぼすべての楽器に共通の奏法であるが，譜面上に書かれる主音符とその調構成音内での何度か上の音との間の速い反復。度数は 2 度の場合が多いが，主音符の調内での位置によって長 2 度の場合と短 2 度の場合がある。記譜は “tr” または波線。

（f）**トレモロ（tremolo）**　ピアノの音は打鍵直後は速く減衰するが，それ以後の減衰は緩慢になり，キーを離さない限り（ダンパーが働くまで）余韻が長く続くので，通常，音を延ばすためにはダンパーペダルを踏むが，それでも足りない時の演奏操作としてのトレモロも奏法としてはある。主として同音反復になるが，同音反復だけでなく，短 3 度以上（8 度，5 度が多い）の速い交替もトレモロと呼ばれる。和音反復の場合もある。2 度（長 2 度／短 2 度）の速い交替はトリルと認識される場合が多い同音反復をトリルとは呼ばないこと以外，トレモロとトリルには速度や長さに特に違いがないようであるが，トレモロは気持ちとしては「音を延ばす」ことを目的とした奏法と言える。

F.2.3 膜 鳴 楽 器

膜鳴楽器はほとんどが打奏楽器で，膜面を素手あるいはマレットやスティッ

クで叩くのが大部分であるが，和太鼓は木製のバチを手で持って，バスドラムは，先端に布を巻何重にも巻いたマレットをフットペダルによって操作する。スネアドラムは両手に持った細いスティックで膜面を叩くが，膜の反発力を利用した奏法がある。ティンパニは膜の張力を調整して，演奏する曲の調の主音と属音をペダルによって瞬時に切り替えられるようにしてマレットで叩く。小鼓は打叩前に握り緒を握って膜の張りを強くしておき，打叩と同時に握り緒を緩めて膜の張力を緩めることによって音高が打叩直後に下がるようにする。演奏では音高変化がほぼ 4 度になるように握っておく。

ライオンズロアーやクイーカなどの擦奏膜鳴楽器は，膜の胴内面に一端を固定した紐や細い棒を湿らせたあるいはヤニを付けた手で握って摩擦させながら滑らせて引いて音を出す。クイーカは左脇に胴を抱えて右手で棒を滑らせながら引くが，ライオンズロアーは通常，吊り下げておいて垂れ下がった紐を滑らせながら引く。同じような構造の楽器の紐を左手あるいは楽器そのもので引っ張っておいて，右手で紐をはじくことによって膜を振動させる奏法（摘奏）もある。コンガやボンゴなど，通常は打奏のものを擦奏する場合は，膜の表面を指や掌でこする。声による空気振動を膜に当てて膜を震わせ，声音の質を変える奏法（歌奏）もある。この場合，膜は張力をかけて張っておく必要はない。むしろ少し緩めて声で振動できるようにしてあるものが多い。

以下，奏法別に膜鳴楽器を説明する。

（1） 打　　奏

（a） 団扇太鼓（うちわたいこ）　　ほぼ円形の枠に単膜を張り，木製の撥（ばち）で膜面を叩く。日蓮宗・法華宗の法具となっている。法具として使う場合は，集団で法華経を唱えて歩きながら太鼓の面が叩きやすい角度になるように，右利きであれば，左手で取っ手を持ち，右手にもった撥で膜面を叩く。

（b） ティンパニ　　膜鳴楽器ではあるが胴（ケトル）の空洞共振の高次共振の周波数が基本共振の周波数の簡単な整数倍に近くなるように，ケトルの形が調整されており，特定の音高を感じさせる音になる。演奏曲が調性を持っていれば，音高をその調の主音と属音に切り替えられるように締めネジで事前に

調節しておき，演奏に際してはペダルで音高を切り替える。打叩は中央よりも縁に近い位置をマレットで叩く。

（c） **バスドラム**　足でペダルを踏めばマレットが膜面を打つようになっている。音色的高さが低くなるように，膜面積を大きくとってあるため，膜面振動の振幅が大きくなり，音量が大きい。立ち上がりを鋭くするために膜面に孔を開けたり，音が大きくなりすぎたり長く残り過ぎるのを抑えるために，毛布などを胴内に入れたりすることがある。

（d） **スネアドラム**　裏膜の表面にスネア（針金）が張られていて，表膜をスティックで叩けば裏膜が針金に触れて音を出すようになっている。両手に1本ずつスティックを持つが，奏法としては基本的なシングルストロークとダブルストロークのほかに，各種のロール（持続効果をもたせる）奏法がある。

- シングルストローク：

  1回の手の動きで打音を1つだけ出す奏法で，打叩後2度打ちしないように，打叩と同時にスティックを膜面から離す必要がある。

- ダブルストローク：

  1回の手の動きで打音を2つ出す奏法で，打叩後スティックがもう一度だけ膜面を叩くようにスティックを押える強さを指でコントロールする必要がある。

- ロール奏法：

  1回の手の動きで2音以上を出す奏法を速く繰り返すことによって連続音のように聞こえさせる奏法で，以下のような奏法がある。

  – オープンロール：

    基本的には左右が2打ずつでかつ2音間と左右間が同一間隔で連続して聞こえるように左右交互に連続打叩する。スティックを多少押し付け気味に保つ。

  – クローズドロール：

    打叩後のスティックの反発を利用して，1回の打叩動作で2音以上の音を出して，左右で連続させる。

– バズロール：

　クローズドロールで 1 回の打叩動作によって 3 音出す奏法。

– プレスロール：

　スティックを膜面に押し付けるロール奏法。

– シングルストローク・ロール：

　シングルストロークを左右で交互に高速で連続させる。

– ダブルストローク・ロール：

　ダブルストロークを左右で交互に高速で連続させる。

（**e**） **コンガ，ボンゴ**　ともに，主として中南米音楽で左右一対で用いられるが，アフリカ起源である。コンガは立って叩くが，ボンゴは座って足の間に挟んで手で叩く。ともに打叩が主たる奏法であるが，湿らせた指先を膜上で擦る擦奏もある。ペレス・プラードの「コンシエルト・パラ・ボンゴ（ボンゴ・コンチェルト）」でコンガやボンゴの多様な奏法が聴ける。ともにアフリカ起源であることを示す「ブードゥー[†] 組曲（Voodoo Suite【英】）」などでもこれらは主楽器である。

（**f**） **和　太　鼓**　鋲留めのものと締め太鼓がある。通常，両手に打棒を持って両手で交互に打つ。大きなものでは先を丸くした太い棒で力いっぱい叩く。膜面でなく胴の縁を叩くこともあるが，この場合は体鳴楽器になる。和太鼓だけの演奏集団もある。

（**g**） **鼓**　大鼓（おおつづみ）（「おおかわ」とも）と小鼓（こつづみ）があり大鼓のほうが膜面が少し広いが，膜の張りが強いので大鼓が高音，小鼓が低音で，能や長唄では通常大小一対で用いられる。毎回分解して組み直すことによって革の張り具合を調整するが，大鼓は組み立て前に炭火で革を乾燥させる。大蔵流・観世流などいくつかの流派があって，左手でのもち方や右手での叩き方に違いがある。

---

† 西アフリカのベナン近辺の呪術・原始宗教。ベナンの国教「ヴォドゥン」が語源。ハイチなどカリブ海諸国では “Vudú”(ブードゥー) と呼ばれる。ヴォドゥンの儀式は太鼓を使った歌やダンスで，クーバ（キューバ）の民間信仰サンテリーアやブラジルの黒人密教「カンドンブレ」，ウルグアイのアフリカ系住民によるドラム音楽の行列「カンドンベ」などにつながる。

・大鼓は左手で「調べ緒」を握り，左膝にのせて右手で打つ。右手の指先に「指革」を嵌め，指の力を抜いて，手が鼓の縁に当たるように叩いて，指先が惰性で革面に当たるようにして奏する。
・小鼓は左手で「調べ緒」を握り，右肩にのせて右手で打つ。指先を惰性で革面に当てるのは大鼓と同じ。

硬い音（甲）と柔らかい音（乙）と強弱の組合せがある。右手の中指と薬指に指革をはめて叩く。甲は左手で調べ緒を握ったまま右手で叩き，乙では打つ瞬間まで調べ緒を握っておいて，打つと同時に緩める。甲で小さな音（「チ」と呼ぶ）にする場合は薬指1本で叩き，大きな音（「タ」）は薬指と中指で叩く。乙で小さい音（「プ」）は人差し指1本で叩き，大きな音（「ポ」）は親指以外の4指で叩く。打叩前に調べ緒を握っておいた状態から打叩と同時に膜の張力を緩めることによって音が下がるが，緩めたときにほぼ4度下がるように握っておく。音高を調べ緒で変えるのは小鼓だけで，大鼓は変えない。

掛け声も重要で，小鼓の打音と掛け声の組合せは「手組み」と呼ばれ，多様な組合せがある。例えば，最初に打つ「一つ頭」は，「イヤーッ」という掛け声と「タ」音の組合せである。

（2）摘　　奏

（a）カ　マ　ク　　インドのベンガル地方の民族楽器である。胴付き単膜の太鼓で，膜の内側中央付近に紐の一端を取り付けて，胴を左脇で抱え，紐の他端を胴内から外へ引き出して左手で張力をかけて引っ張っておき，右手で紐をはじくことによって紐を（したがって膜を）振動させて音を出す。左手でかける張力を変えることによって紐および膜の張力を変えて音高を変えることができる。紐を棒などで擦ることによって連続音を出せるはずであるが，そのような発音方法はどこにも書かれていない。紐の片端を手で引っ張っているので擦弦しにくいのであろう。ベンガル語でのアクセントの位置は「カ」にある。

（b）エクターラ　　カマクとほとんど同じ発音原理であるが，左手で紐を引っ張る代わりに，胴から竹などで2本の腕を立てて先に糸巻きを付けて張力

をかけて張っておき，それを指ではじくことによって膜を振動させて音を出す。2 本の腕を握ることによって張力を変えて音高を変えることができる。元のヒンディー語の発音は「イクタラ」に近い。

（3） **擦　　奏**

（a） **クイーカ**　胴付き単膜の膜鳴楽器の膜に棒の片端を固定してそれを stick & slip で擦りながら引くと膜が連続振動して音が生じる。棒を握る強さや滑らせる速さを調整することによって音の強さや高さを変えることができる。

（b） **ライオンズロアー**　胴付き単膜の膜鳴楽器の膜に紐の一端を固定して膜面を上にして吊るしておき，紐を stick & slip で引くとライオンの吠え声のような音を生じる。紐を湿らせておくか松ヤニなどを塗っておくと stick & slip が生じやすい。両手を交互に使えば長い連続音にすることも容易である。

（c） **打奏膜鳴楽器の擦奏**　コンガやボンゴの膜面を湿らせた指で擦ることによって連続音を生じさせることができる。擦る場所や強さ，速度，擦るものの硬さなどによって音に多様性をもたせることができる。

（4） **歌　　奏**　2 種挙げておくがどちらも声を変形するもおもちゃであり，楽器とは言いにくい。

（a） **カ　ズ　ー**　声を入れると，それによる空気振動が伝わって，ゆるく張った膜が振動し，元の声と混じって変な音声になる。

（b） **ユーナックフルート**　水平に持って管部分にある孔から声を入れると声の音質が変わり，カズーによく似た音になる。

F.2.4　体　鳴　楽　器

（1） **奏法の多様性**　**図 F.9** に体鳴楽器の種々の奏法と，それによる代表的な楽器を挙げておく。この中ではマリンバ，グラスハープ，サンザが定ピッチ楽器である。

（2） **多様な励振法**　図 F.9 では「叩く」「打つ」「打ち合わせる」「多重衝突させる」「振る」「はじく」「擦る」などの表現になっているが，これらを多少詳しく説明しておく。



図 F.9　体鳴楽器の奏法。† 印は定ピッチ楽器

（a）**叩く，打つ（トライアングル，チューブラーベルなど）**　素手，あるいはスティック（バチ），マレットなどの打叩具で発音体を叩く。多くの場合，打叩具は叩く瞬間にだけ発音体に触れ，その直後に発音体から離し，後は発音体自体の弾性（ばねのような性質）で振動する。

（b）**打ち合わせる（合わせシンバル，カスタネットなど）**　発音体どうしを打ち合わせる。叩くのと理屈は大体同様であるが，打ち合わせた両方の発音体から音が出る。合わせシンバルでは打叩面が両側の皿状金属の周囲で，打叩は必ずしも全面同時ではなく，短い時間差ではあるが通常は一部が先に接触してから全周囲の打叩が継時的に起きる。カスタネットの場合は打合点が膨らませてあることが多く，その小さい面積での打叩になる。

（c）**振る（マラカス，シェーカー，ハンドベルなど）**　マラカスやシェーカーのように振ることによって楽器の中にある固い粒が楽器の内壁に当り衝撃音を出すものと，ハンドベルのように，振ると振り子状のクラッパーが楽器本体に当り，叩くのと同じように音を出すものがある。カバーサ（【ポ】cabaça：瓢箪（ひょうたん）の意。中空の木製の筒でもいい）は固い粒を中に入れる代わりに外側に金属の鎖 (あるいは木の実などを糸でつないだもの) を緩く巻き，振ることに

よって接触音を発生させる。

（**d**）**はじく（サンザなど，親指ピアノの類）**　アフリカの各地にサンザ，イリンバ，カリンバ，リケンベ，ムビラな，地域によってさまざまな名称で呼ばれる素朴な楽器がある。弁当箱程度の大きさの共鳴箱にさまざまな長さの竹や金属の小片の一端を共鳴箱に並べて固定しておいて，両手で共鳴箱を保持してフリーになっている端を親指で弾（はじ）くもので，**親指ピアノ**と総称される。使用する音律によって調律は異なるが，全音階的になったものが多い。はじかれた小片は変形に対する復元力で振動し，共鳴箱で音がいくらか拡大される。共鳴箱は面積の狭い 1 面が開口部となっているが，すべての音高について共通なので，大きくなる音高とそれほど大きくならない音高がある。

（**e**）**ひっかく，こする（ギロ，サンドペーパー，グラスハープ等）**　ギロ（元 güiro【グイロ】が便宜上 guiro と書かれた綴りのスペイン語読み）は中空の円筒状容器（元来は瓢箪（ひょうたん））の表面に洗濯板状に何本もの溝が切られており，細い棒で溝を横切るようにこすり，速いガタガタあるいはジャーッというような音を出す。サンドペーパーは表面がざらざらした紙やすりどうしをこすり合わせてノイズ性の摩擦音を出す。また，グラスハープは膜鳴楽器における摩擦ドラムと同じような原理で，こすることによって周期的な振動（自励振動）を発生させ脚つきグラスの容器部分を共鳴器として音を大きくする。ゴム片などでシンバルなどをこすったり，鉄琴類の音板やシンバルの縁などをチェロやコントラバス等の弓で擦ったりして自励振動させる特殊奏法もある。

（**3**）**体鳴楽器の奏法**

（**a**）**打叩具を使う：トライアングルなど**　発音体と打叩具が明確に主従別物になっている。形状の非対称性から，叩く位置や方向で音色が異なる。

（**b**）**発音体を打ち合わせる：合わせシンバルなど**　打ち合わせるタイプのものは合わせシンバルやカスタネットのように，どちらも同等に楽器を構成する。打ち合わせるのに両手が必要なものと，片手で打ち合わせることができるものがある。木の棒を打ち合わせるクラベス（「鍵」の意）の名称はリズムの鍵となる音を発することから来ている。

（c） **多重衝突させる：マラカスなど**　マラカスや，カバーサ，ガラガラ，パロ・デ・ジュビア（雨の棒）のように，小さな粒状のものが励振時点近辺で半ば不規則にぶつかり合う音が目的音になる。振ることによって発音させるものが多い。ただし，ギロ（空洞の容器の表面に洗濯板状に彫った多数の溝を木の棒などで擦る）の音はある程度規則的である。

（d） **吊り下げられた発音体をマレットで叩く：チューブラーベルなど**　発音体を台から浮かせて鍵盤状に並べにくい場合は発音体を吊るすことがある，発音体としては金属や石などがあり得る。編鐘（多数の鐘を吊るしたもの）など，大きい場合は複数の奏者が必要。

（e） **音高ごとの担当者が必要：ハンドベルなど**　音高ごとに発音体（ベルなど）を持ち上げる動作と発音後の制振が必要な楽器で，音高ごとに担当者を割り当てる。

（f） **共鳴しやすいものをこする：グラスハーモニカ**　ワイングラスの縁を濡れた指で擦ると音が出るが，グラスに水を入れてその高さを調整し，音階を作っておけば楽器として使える，水で調整しなくても適切な高さの音が出るガラス器を串刺しにして回しておけば，指で触れたガラス器が発音するので楽器になる。これが**グラスハーモニカ**である。奏法は，回っているガラス器を湿らせた指で触れるということになる。発音体を詰めて作ることができるので，奏者は一人で済むが，通常は制振機能がないので余韻が響きっ放しになる。発音体には音名によって特定の色を付けてある。楽器としてはミュージカル・ソウなどと並んで「奇をてらった特殊な楽器」に属する。

（g） **素手やマレットで発音体を叩く: スティールパンなど**　定ピッチ体鳴楽器は各音高の発音体を立に作って一組の楽器としたものが多いが，一つの発音体にいくつかの音高を出せる部分を作った金属製の底の浅い鍋のような形の**スティールパン**（steel pan）あるいは**スティールドラム**（steel drum）ならびに**ハンドパン**ないしは**ハング** (hang：PanArt 社の商標名) と呼ばれる楽器がある。曲面内に平面的な薄膜のような部分を多数作って，その広さと厚さを調整することによって所望の音高を得るものである。前者は凹面をマレットあるい

はスティックで叩き，後者は凸面を素手で叩く。打叩面は，叩きやすさに従って，スティックやマレットで叩くものは凹面，素手で叩くものは凸面になっている。各音高が製造段階で固定的に作ってあるので，演奏時に奏者が音高を作り出す必要はなく，旋律楽器として使いやすい。

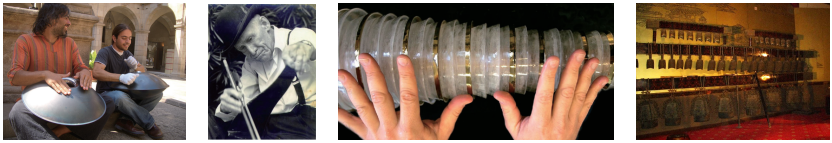
（h）**鍵盤状配置の音板をマレットで叩く：木琴，鉄琴の類**　鍵盤型に並べた音板を両手にもったマレットで叩くようにした楽器として，音板が木で作られた**シロフォン（木琴），マリンバ**，および金属で作られた**グロッケンシュピール（鉄琴），ヴィブラフォン**がある。マリンバとヴィブラフォンは各音板の下に音高に対応する共鳴管をもつ。ヴィブラフォンはさらに共鳴管の中の上端近くに管を開閉する電動の回転羽根をもっていて，共鳴効果を時間的に強制的に揺らせるようになっている。共鳴管は上端（音板裏側）が開端，下端が閉端の閉管であるが，低音側では楽器の高さが足りず管を曲げて底が横あるいは上を向いているものもある。マリンバやヴィブラフォンの中には，聴衆から見た場合の楽器の見映えを考慮して共鳴管の見た目の長さを左右対称にしたものがあるが，実効的な管長は高音で短くなるように管底が設けられている。

音板を木や金属ではなく石で作ったものもある。音板などの発音体を台から浮かせて鍵盤状に並べることが難しい場合には吊るすことが多い。坂出市などで産出されるサヌカイト（「讃岐岩」の意）という固い石でチューブラーベルのように音高ごとの音片を個別に吊るした楽器も実験的に作られている。

（i）**鍵盤・打叩機構を使う：チェレスタ**　体鳴楽器として鍵盤機構をもつ唯一の楽器。グロッケンシュピール（鉄琴）を鍵盤で弾けるようにしたものといえる。当初はグロッケンシュピールのイメージが強かったためか，マレットは金属製の音板を上から叩くようになっていたが，マレットは２度打ちを防止するために，打叩後すぐに音板から離さなければならない。音板を下から叩けば，打叩後のマレットを音版から遠ざけるのに重力を使えるので有利（ただし，打叩は不利）であることに気づき，30 年ほど前に，下から打叩するタイプのものが開発された。チェレスタは音板も共鳴管も筐体の中に格納してあるので，外見はリードオルガンとよく似ている。右足で踏むように，筐体下の少し

右寄りにダンパーペダルが付いている。

（4） 定ピッチ体鳴楽器の奏法　　図 F.9 で挙げなかった定ピッチの体鳴楽器を**図 F.10** に挙げておく。



(a)　(b)　(c)　(d)

図 F.10　種々の奏法による定ピッチ体鳴楽器
左から，(a) ハング（ハンドパン：手叩），(b) ミュージカル・ソー（弓奏），
(c) グラスハーモニカ（湿らせた指先での摩擦），(d) 編鐘（棒による打叩）

ピッチ感をもつ体鳴楽器の奏法を，旋律楽器として使えるものと使いにくいものに分けて略述しておく。

（a） 旋律楽器としての使用

- 鍵盤をもつ体鳴楽器

  鍵盤をもつ体鳴楽器は実験的な物を除けばチェレスタだけであろう。余韻を特徴とする楽器であるが，速いパッセージなどでは余分な余韻を抑えるためにダンパーを使うこともある。鍵盤があるので和音を弾くことも容易である。

- 鍵盤型に並べた音板による体鳴楽器

  鍵盤型に並べた音板をマレットで叩く。いずれも熟達した奏者は両手に複数本のマレットをもって和音も叩く。音価の長い音については同音の高速反復打叩を用いることがある。オーケストラ中で使う場合，打楽器奏者ではなく，専属の奏者が担当することが多い。

- その他

  音板の代わりに様々なサイズの鐘（銅鐸のような形）を並べて吊るした「**編鐘**（へんしょう）」という古い楽器が中国にあり，編者は西安の鐘楼でそのデモを見たが，サイズが異常に大きく（10m ほど），演奏には数人の奏者がバチを持って走り回っていた。

音階の高さの音が出るもの（ベルであることが多い）を個別に作って１組にし，数個の音高ごとに別の奏者を割り当てる楽器として，**ハンドベル**がある。音階内の各音高のベルを揃えておいて，持ち上げれば音が出る状態で抑音性の布の上に並べておき，必要に応じて持ち上げて鳴らすもので，通常数人の奏者を要する。 演奏集団をベルクワイア（Bell choir：旧 quire）と呼んでいることが多い。

ミュージカル・ソー（musical saw）は単一の発音体によってピッチを変えられる体鳴楽器で，取っ手付きののこぎりのような形の金属板を曲げて，通常はチェロ用のような弓で縁を擦るが，マレットによる打奏も可能である。どの程度曲げれば適切な高さになるかを，奏者が聴覚フィードバックで確かめながら，できるだけ早く所定の音高になるように曲げ程度を加減することになるので，無音状態からいきなり適切な高さの音を出すことは難しい。直前に弾いた音の余韻としての振動で現状の曲がり具合での音高が奏者には小さく聞こえるので，これを頼りに金属板を曲げることになる。ただ，高さが振れないように曲げを維持するのは難しく，高さはどうしても多少不安定になり，かつどうしてもポルタメントがかかった弾き方になる。マレットで叩くことも可能ではあるが，適切な音高をとることが弓奏よりも難しくなる。

（**b**） **高さは変えられるが旋律楽器としては使わない場合**　位置固定の打叩具で金属板を叩く**フレクサトーン**（「可変音」というような意味）というおもちゃのような楽器があるが， これは金属板を曲げることによって打叩音の高さを変えることができ，発音中の打叩音を時間的に変えるというような使い方もできるもので，効果音的には使えるが旋律楽器としては使いにくい。マレットが金属板の両側に付いているものを両側のマレットで発音させる場合は金属板の取っ手を持って振ることによって音を出すので音の高さをコントロールできないが，マレットが片面だけに付いている場合は，曲げの深さをコントロールしながら発音させることができる。金属板の曲げを増大させながら打叩すると，打叩音が上昇する。

F.2.5 電　鳴　楽　器

（1） テルミン　電鳴楽器として最初に現れたテルミンの奏法は，右手をロッドアンテナの近くで上下させて音高を変えるので，音高変化が必ず連続的になり，左手をループアンテナの近くで動かして音量を変えるというもので，演奏中に音を完全に切ることが難しく，常にポルタメントがかかり，かつ音高が不安定になりやすかった。奏者としては，Clara Rockmore（1911-1998）が飛び抜けて有名であるが，演奏が余りにも困難であるためか，テルミンのために作られた曲はない。

（2） オンド・マルトノ　次に現れたオンド・マルトノではこの奏法が改善され，音高は水平に張られた紐に結びつけられた輪（リュバン）を鍵盤の絵と凹部への接触によるマーカーを頼りに左右に動かすことによって，また左手前の引き出し型の操作盤（仏：ティロワール，英：ドローワー）のトゥッシュと呼ばれる押しボタンによって音量を調節でき，音を切ることもできるので，ポルタメントを避けることも可能になった。オンド・マルトノは改版を重ね，現在では，トゥッシュの操作をペダル操作に変更することも可能で，鍵盤は絵ではなく実際の鍵盤になり，右手による音高操作をリュバンで行うか鍵盤で行うかも引出し内のスイッチで選択できるようになっている。音色（正弦波，三角波，鋸歯状波，矩形波，三角波からの派生波，ピンクノイズなど）の選択もこの操作盤内のスイッチによって行う。鍵盤の音域は C1~B6 であるが，オクターヴの切り替えで，B7 まで，さらにトリルボタンを 3 つ使って C9 まで出せる。単音楽器なので音は同時には 1 つしか出せず，複数のキーを押すと低いほうの音が出る。したがって，トリルは上のキーを押したまま，下のキーをオン／オフする。操作盤内のトリルボタン（トゥッシュの右に 6 個）は微分音から，組み合わせによって完全 5 度上までの各音程でのトリルができる。オンド・マルトノを使う曲としては，メシアン（Oliviet Messiaen, 1908-1992）の「トゥランガリラ交響曲」が最もポピュラーで，メシアン本人が指揮して，奥さんイヴォンヌ・ロリオ（Yvonne Loriod, 1924-2010）がピアノ，その妹ジャンヌ（Jeanne Loriod, 1928-2001）がオンド・マルトノを弾くという演奏が著名であるが，ア

ンドレ・ジョリヴェ（André Jolivet, 1905-1975）によるオンド・マルトノ協奏曲などもある。第 2 次大戦後パリ音楽院にこの楽器のコースができてからは，奏者が多数生まれ，その出身者に日本人でも原田節（たかし），市橋若菜などがいる。

（**3**） **トラウトニウム**　オンド・マルトノの開発の 2 年ほど後にドイツ人トラウトヴァイン（Friedrich Trautwein, 1888-1956）によって開発されたもので，鍵盤の代わりに，金属板の上に張られた抵抗線を指で金属板に接触させて抵抗値を変えることによってネオン管（後にサイラトロンに変更，さらにトランジスタに変えられた）を用いた鋸歯状波の発振回路の発振周波数を変えた。指を微妙に動かすことによって四分音やヴィブラート，ポルタメントなどによる感情表現が可能で，特に不安を表現する音の生成に適しておりヒッチコックの映画「鳥」などで効果的に用いられた。発振器の出力はペダルで音量バランスを調節するパラレル・フィルターに送られた後に増幅される。奏者は 1930 年 6 月のベルリン・フィルハーモニック・ホールでのヒンデミットの曲による公開演奏以来，ほとんどオスカー・ザラ（Oskar Sala, 1910-2002）に限られる。

（**4**） **鍵盤の使用**　トラウトニウムの改良版コンサートトラウトニウムが開発された後，Lawrens Hammond が 1937 年にハモンドオルガンを発表した。これは発光素子と受光素子の間に孔を開けたトーンホイールを入れて回転させ，光が孔を通過する頻度に応じた高さの音を発生させる。トーンホイールはフォトカップラーと組み合わせて，高さの音の基本波と第 2,4,8,16,・・・高調波を作るためのもので，円周上に半径に応じて 2 のべき乗個のスリットを設け，半径が大きくなるにつれて数を 2 倍にしてオクターヴ高い音および 2 のべき乗番目の高調波成分に使う。オクターヴ内の 12 音用の 12 枚を 1 組にして，それぞれの回転速度は音名によって設定される。回転数を $\frac{3}{2}$ 倍，$\frac{5}{4}$ にして，第 3，5 高調波とその 2 のべき乗の高調波を作ることもできる。どの高調波をどの程度の大きさで使うかをオルガンのストップと同じ表示形式（8’ など）のドローバーで設定するようになっている。演奏そのものは鍵盤で行う。このころからシンセサイザの演奏入力は鍵盤が標準になった。1957 年に Harry Olson が開発した RCA Mark II はリアルタイム演奏を目指していなかったので鍵盤はなかった

が，1960 年に開発されたメロトロンや 1964 年に公開されたモーグシンセサイザは鍵盤をもっており，以後，エレキギターやサイレントヴァイオリンあるいはウインドコントローラーやサイレントブラス，ディジタルパーカッションなどの在来楽器型の奏法を使うもの以外の音源付きのミュージックシンセサイザは標準的な入力装置として鍵盤が定着し，ヴェロシティ情報やピッチベンド情報の入力機能を備えた MIDI 標準キーボードとして発売されている。

（**5**） **在来楽器（の奏法）の流用**　鍵盤も在来型の演奏入力システムと言えるが，ここでは鍵盤以外のものをまとめておく。最もポピュラーでかつ代表的なものはエレキギターの演奏部である。ピックを使い，弦はスティールという点がクラシックギターと異なるが，6 本の弦を平行に張り，調弦はクラシックギターと同じなので，基本的な奏法は弦をはじくという意味ではピックで弾くフォークギターなどと同じで，手の使い方も特殊な奏法を除いてほぼすべて同じである。エレキギターそのものは弦の振動を電気信号としてピックアップしたものを加工・増幅するが，電気信号になった波形から基本周波数とパワーを抽出してそれを MIDI 信号に変換して使うことができる。エレキギターを使わないでも，マイクで音を拾って電気信号に変えておけば，そこから基本周波数とパワーを抽出して MIDI 信号に変えることができる（例：SONUUS G2M）。ギターの弦振動の動きを表す信号あるいはギターそのものの音を入力信号として MIDI 音源の駆動信号を出力するような変換器（波形信号から音名と強さを判定して MIDI 信号に変換する）も市販（SONUUS i2M）されており，それを用いればギターを MIDI 制御装置として使うことができる。MIDI 符号化に要求される程度の精度で音から基本周波数を推定することはそれほど難しいことではないが，処理できる入力は単音に限られている，また音名判定を（オクターヴ位置を含めて）絶対にまちがわないという保証はない。これを使えば，どのような楽器でも（声でも）ピッチがはっきりしていれば MIDI 音源の駆動ツールとすることができる。もちろんギターを MIDI 音源駆動ツールとしてギター以外の MIDI 音を出力させることもできる。ギター型の MIDI コントローラー（**図 F.11** Artiphone 社など）も市販されている。



図 F.11　Artiphon 社製ギター型 MIDI コントローラー

このほかの在来型の奏法で弾くことのできる電気楽器（そのものは単なる電気楽器であってても，前記のような変換器を使えば MIDI 音源駆動装置としても使える）および MIDI 音源駆動装置としては，次のものが挙げられる。

擦弦型：　サイレントヴァイオリン/チェロ（ともにヤマハの登録商標）など

吹奏型：　ウィンドコントローラー（金管型と木管型がある）

打奏型：　電子ドラム，ディジタルパーカッション

このうち，吹奏型と打奏型は MIDI 音源を駆動できるが，擦弦型はコマの脚の振動を電気的に拾って増幅するピックアップ型電気楽器で，吹奏型は呼気流の強さやマウスピースを噛む強さなどをセンサーで拾って演奏情報として MIDI 音源を駆動するもので，打奏型は打叩時点と打叩の強さをトリガー情報として MIDI 音源を駆動するものである。擦弦楽器やスライド式のリップリード楽器は音高値が連続値を取り得るので，音高情報の MIDI 符号化に難しさが増える。

MIDI 音源にはギターの音もある。通常 MIDI 音源は 1 つの楽器について 1 つのチャンネル番号が割り当てられるが，ギターは，1 つの音高に対してどの弦で弾くかによって音色が異なり，かつ奏法（音に対する付加効果の付与に必要な操作）も異なることがあるので，MIDI のギター音源は 6 本の弦の 1 本ごとに独立のチャンネル番号が割り当てられる。これによって，1 つのチャンネルあたり高々 1 つの音しか出せないようになっている。この機能を使うためには，どの弦の音を使うかの情報も必要になる。ギター型の MIDI コントローラではもちろんこの情報もとれるようになっている。

エレキギターはギター型の演奏情報入力装置で音源信号としての弦振動を電磁的に拾って加工・増幅するので，MIDI 音源のコトローラ―ではない。前述のような信号から MIDI 符号への変換器を用いて MIDI 音源を駆動することはできるが，それは個人が私的に行う領域のもので，演奏家が聴衆を前にしてそ

のようなことをしたという状況は聞いたことがない。

エレキギターとはまったく別の仕様の，ギター型のギター専用の MIDI コトローラ（弦なし 図 F.11“Artiphon”など）がある。これは多様な奏法を設定できるので打ち込みには便利であるが，リアルタイム演奏には適しない。

これによって MIDI のモード 4（モノフォニー †1でオムニモード †2・オフ）で，指定したチャンネル番号から上の連続 6 チャネルをギターの 6 本の弦の音に割り当てることになる。

（6） 在来楽器そのものを流用するもの　サイレントブラス（金管楽器のミュートの内部に小型マイクを組み込んだもの），サイレントピアノ（演奏情報の記録と再生）, など。ともにヤマハの登録商標である。「サイレント楽器」は外部に大きな音を出したくない場合に，奏者には音が聞こえるが，奏者以外には音が聞こえないようにするもので，通常の楽器を使うか，少なくとも奏法は通常の楽器と同じになるようにしたものである。ヤマハから擦弦楽器，金管楽器，ピアノが開発されている。

サイレントブラスは金管楽器のベルから音がほとんど出ないようにベルを塞ぐ形のミュート（弱音器）を挿入し，小さくなった音をミュート内の組み込みマイクロフォンで拾って，その音質をミュートを付けない状態のものに近くなるようにフィルターで戻して奏者にフィードバックするものである。サイレントブラスの出力はミュート内に取り付けたマイクロフォンで拾った通常のアナログオーディオ信号で，それを本来の音（ミュートを付けない状態での音）に戻すための装置と組合せて使用することになる。

電気楽器の項で述べたサイレント擦弦楽器は，コマの下に圧電素子を取り付けて振動を拾い，胴を排除したものでヴァイオリンとチェロが作られている。これらは胴をもたないので，外部には音はほとんど出ない。信号はそのままア

†1 1 つの MIDI チャンネルあたり単音でしか出力できない。ピアノなど，1 つの MIDI チャンネルで同時に複数の音を出力する必要がある場合はポリフォニーモードにする。

†2 送られてきたすべてのメッセージを受け容れるモード。言い換えると，チャンネル ID が不一致でも許容するモード。初心者が電源 ON 時にチャンネル ID の不一致に起因する発音不能で困るのを避けるために設けられた。

ンプに送って増幅するだけで，特にフィルターで整形する必要はない。

サイレントピアノは，ピアノそのものを使うが，打鍵してもハンマーが動かないようにする機構を付加しておき，通常は打鍵すればハンマーが動くが，音を止める場合（サイレントモード）には，キーの動きがハンマーに伝わらないようにしておいて，演奏情報（打鍵タイミグと打鍵強度）をセンサーで抽出し，キーが動いた時点を MIDI におけるノート・オンのタイミグとみなして MIDI 信号に変換して MIDI 音源（ピアノ音）を駆動するもので，奏者は MIDI 音源からの音を聞くことになる。MIDI 信号は記録できるようになっており，それでピアノを駆動できるようにもしてあるので，演奏再現装置としても使うことができる。この場合は MIDI 音源を駆動する代わりに，打鍵の代替操作としてソレノイドを動かすようにしてある。ソレノイドの起動タイミングに関しては，打鍵強度（MIDI のヴェロシティ値）が小さい場合にはハンマー速度が遅くなって打弦までの所要時間が長くなることが考慮されている。

（7） 創作的奏法・他の感覚情報との統合　手や足など身体各部あるいは手に持った機器の動きをセンサーによって検出し，それに基づいて音源を起動するというようなシステムが試みられている。

・身体動作（各種センサー使用）：舞踏との融合・統合など

Max Mathers(1926-2011) によるラジオバトン（radio baton）などは演奏をまとめてキーに登録しておくことができるので，いくらでも構造的に複雑な演奏が可能である。「現代の」音楽という視点で音楽を考える場合，コンピュータの使用を念頭に置かざるを得ないが，コンピュータを使う芸術表現はそのマルチメディア性が重要で，音楽は聴覚情報を主（しゅ）にした芸術であるが，奏者の動作や表情というような視覚情報も，また音楽を享受する場の環境条件も音楽の受容には重要な要素となり得る。そう考えるなら，音楽は聴覚情報を「含んだ」（あるいは「それを主とした」）メディアアート[90] へと進んでいくと思われる。もっと技術が進展すれば，聴覚情報や視覚情報以外の感覚情報（味覚，嗅覚，触覚，体性感覚など）も音楽に絡んでくるかも知れないが，差し当り音以外で音楽に関与するのは視覚情報であろう。聴覚と視覚の統合芸術が意識され始めて

から久しく，映像と音を融合させる試みや，感覚心理に基づいた実験的な音が作られたりしているが，技術的な面だけが先行して進み，芸術的な面では真の芸術的統合というレベルにはまだ達していないようである。

G 楽器雑談

G.1 管楽器関係

G.1.1 ゴールドのフルートは普通の (洋銀の) フルートよりもいい音がするの？

(1) 話の発端　フルートの練習を始める人が最初に使うのは，通常，洋銀（銅とニッケルと亜鉛の合金）製である。ところが，半世紀ほど前に，「フルートはゴールドのものがいいのではないか，プロを目指すならゴールドをもつのが当然で，アマチュアでもいい音のフルートが欲しいならゴールドを買うほうがいい」というような話がまことしやかに話題に上ったことがあった。これは，大の親日家で 1964 年の初来日以来，亡くなる直前まで 30 回以上も来日し，国内の各地で演奏会を行った名手ジャン＝ピエール・ランパル（Jean-Pierre Rampal, 1922-2000）のフルートがゴールドで，その音がすばらしかったということが話の発端であったようである。

もちろん，ゴールドでないフルートを使うプロ奏者もおり，ランパルよりも先輩格にあたり教育者でもあったマルセル・モイーズ（Marcel Moyse）は終生洋銀製のものを使っていたが，そんなことは吹き飛んでしまうほど，ランパルのゴールドフルートの音はすばらしかった。確かに，ゴールドは手入れがしやすいということもあって，プロの奏者の大部分がゴールドを使うということは事実でもあったので，上のような話が出てきたものと思われる。

(2) 現　　状　現在，フルートの材質としては，木，洋銀，銀，金，プラチナなどが用いられるが，ネットでの意見を見ると，最初は洋銀製（リップ

プレートだけ銀製で，他は銀メッキ）で練習し，2 本目は頭部管が銀製のもの，次に総銀（と言っても，純度 900〜950/1000）のもの，それでうまくなって，もっと上を目指すならゴールド（K5〜18）をと思っている人が多いようである。

洋銀製は重量が軽く吹きやすいが傷みやすいので，「一部銀製」と称して，リッププレートだけは銀製にして，他は銀メッキを施しただけのものもある。銀製は変色しやすいので美観を保つために日常的な手入れに手間が掛かり，いくら手入れをしても変色を防げず，ときどきオーバーホールとして磨きに出さなければならないという欠点がある。金製は純度が低くても手入れが簡単という利点があるが，純度が上がるにしたがって重くなるので演奏には体力が必要になる。プラチナ製はもっと重くてパワーが必要な割にいい音を出しにくく，価格が高いにもかかわらず特段の長所がないのでステータス誇示用と考えられる。木製の場合，材質はほぼグラナディーラ（p.294 脚注）で，管厚の薄いアメリカタイプは金属管と同じように吹けるが，管厚の厚いドイツタイプは吹くのにコツが必要でかつ古風な音がすると言われている。

「高価な金やプラチナの楽器のほうが銀製のフルートよりグレードが高いわけではない」と明記してあるサイト（http://flutesaloon.com/select/material.html）でも，「ゴールド製は K5〜10 でも，立ち上がりの良い輝かしい音が簡単に出せ，銀に比べてシャープな音が遠くまで届く」とか「銀は他の金属と比べて柔らかな音色をもち，音色の変化をつけやすい材質だが，音のキレがやや悪く，フォルテ側の余裕は金やプラチナほどはない」，あるいは「K14 以上は密度とパワーを感じさせる音色をもち・・・，K18 になるとより気品のあるパワフルな音になる」など，「価格と楽器としてのグレードは無関係」という話とは矛盾する記述が見られる。

（3）実　際　は　Coltman による種々の材質で作った管の単純な笛を使った聴取実験では，管の材質は聴いただけではわからないという結果になっており[91]，実際にキーの付いた材質の異なるフルートの間での音質の相違をもたらす可能性の最も高い要因は，頭部管と歌口の形状における些細な差にある[92]

と考えられている。D. Miller[93] は，管壁は中の気柱† の振動の振る舞いに影響を与え，その程度は内部壁面のなめらかさに依存するが，管壁の材質が何であってもその熱容量は空気よりもはるかに大きいので，管壁が 0.1mm 程度より薄い場合以外，材質は音色に通常関係しない。それにもかかわらず壁の材質が気柱の振る舞いに違いが現れるというのであれば，それは材質による機械工作上の違いとしか考えられないとしている。

（4） **最近の研究**　2019 年の 2 月に音楽音響研究会で「フルートの材質で音は変わるのか」という題で，フルートの材質によって演奏者の知覚する「吹奏感」と「音色」に関する研究[94] が発表された。プラスチック製の頭部管を用いて，管体材料を銀／銅／木として，フルートを吊り下げることによって重量差による影響を除き，各サンプルを 2 本ずつ計 6 本を用意し，16〜62 歳のフルート奏者 30 名（内，プロは 1 名）を被験者として，任意に 2 本ずつ 12 小節を目隠しをして演奏し，シェッフェの一対比較法で 5 段階評価したところ，奏者による「吹奏感」と「音色」では巷間言われている序列（全管銀＞頭部と主管が銀＞頭部が銀＞リッププレートが銀＞洋銀に銀メッキ＞洋銀）で並んだが，定常部の周波数分析では特段の差異を認められなかったとしている。

G.1.2 トランペットにリードを付けたらどうなるの？

笛とラッパは何が違うかといえば，励振方法と演奏音高の決まり方である。ただ，どちらも気柱の共振を使うという点では共通である。笛は楽器の部品としてのリードの有無に関係なく，1 つの音の発音中に呼気を連続的に吹き込んで管内空気の圧縮膨張変化をエッジ上下の気流の振り分け振動やリードの振動によって作り出す。ラッパでは管の共振周波数のどれかに合わせて唇を振動させて呼気流を断続することによって空気の圧縮膨張変化を作り出し，管の共鳴でそれを大きくする。

† 断面が一定形状の柱状の容器に入れられた気体の柱。通常，壁面は剛体と考える。端は開放と閉鎖があり得る。「断面と同じ面積を与える円の直径 ≪ 波長」で，かつ長さ方向の断面の変化が滑らかであれば，曲がっていても直管として扱える。

演奏音高は，笛もラッパも実効管長によって決まる共振周波数のどれかになるが，笛では，基本的に，ある孔から先の孔はすべて開ける（そこから先は管がないとみなせる）ようにして，歌口から開いている最も手前の孔までの長さがほぼ実効管長になるのに対して，ラッパでは，基本的な長さにバルブによって追加される迂回路やスライド管を引き出して伸ばす長さを加えた長さが実効管長になる。

共振には基本共振を第 1（基本）モードとして，その上に第 2，第 3，・・・と多数の共振モードがあり，どのモードを使うかは，エアーリード楽器ではエアージェットの速度を上げることによって，またリードをもつ楽器ではレジスターホール（オクターヴホール）を必要に応じて開けることによって高次モードが起きやすくするようにできる。（粒子速度の腹がレジスターホールの位置の近くにできるモードが起きやすくなる。）基本モードの状態でレジスターホールを開けると開管のリード楽器（オーボエ，サクソフォンなど）では 1 オクターヴ上がり，閉管のリード楽器（クラリネットなど）では 12 度上がる。リップリード楽器の場合は，基本モードは通常使わないで，第 2 次モードを最も低い使用モードとするので，そこから 1 つ上のモードに移ると 5 度上がることになる。もう 1 つ上がると最初の第 2 モードの 1 オクターヴ上になる。開管楽器（閉管でも，共振周波数が開管的になるように調整したものを含む）の場合，管長の半分よりも手前に孔を空けておけば，そこが開端と同じように圧力変動の節（粒子速度の腹）になりやすくなるので，1 オクターヴ高い音が出やすくなる。これは笛もラッパも同じでなので，トランペットにもオクターヴホールをもつものがある。

笛とラッパにはこのように違いがあるが，共通点もある。誰しも笛をラッパのように吹いても音を出せるのではないかとか，笛のリードをラッパの管体に付けたらどうなるだろうかとか，考えるのではないだろうか？

そのような楽器が存在するのである。まず，歴史的にはラッパのように吹く笛があった。俗に「角笛（つのぶえ）」と呼ばれるもので，原始的なものは狩猟に使われ，コルノ・ダ・カッチア（狩猟ホルン）という動物の角（伊：コルノ）で作った

リップリード楽器があった。これは管体に指孔が開けられ，指で開閉することによって吹きながら実効管長を変えられるものであった。

Agricola は ゲムゼン（カモシカ）の角を使ったクルムホルン（図 H.12 左）を，指孔があるにもかかわらず「指孔のない楽器」の最後に挙げ，それと紛らわしい楽器としてゲムゼンホルン（図 H.12 右）を並べている。

その後，その管材がゲムゼンから木に替わって長くなり，前面に 6 個，裏に 1 個の指孔をもつようになったのがルネッサンス期の「コルネット」（独：ツィンク，図 G.1 右上）で，プレトリウスの「音楽大全」にはポザウン（トロンボーンの前身楽器）やトロンメット（トランペット），郵便ホルンなどと同じページ（指孔のない管楽器：金管楽器類のページ図 H.41 ）の左上に挙げられている。木製で直管になったツィンク（ゲラーダーツィンク）は指孔を持つ管楽器の図 H.40 の右下に挙げられている。

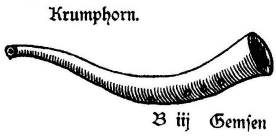
現在のコルネットはトランペットと似た形をしているが，これは軍隊用のビューグル（金属製で管長固定の信号用ラッパ）と似たポストホルン（郵便馬車のホルン。伊：コルネッタ・ディ・ポスティリオーネ）にバルブが 2 個付けられたものがパリに現れ，それが現在の形になっていったものである。

アドルフ・サックス（Antoine Joseph Adolphe Sax, 1814-1894）によって開発されたサクソフォンは笛の管体を金属にしたもの，あるいはラッパ（金管楽器）にリードを取り付けたものと考えてよい。共振周波数は管体に設けた大きな孔の開閉で決まる実効管長で決まり，リードはそれによって起きる空気振動で駆動されて，振動するリードを通過した空気流が音圧に変化し，管の共振で大きくなるというものである。リードは小さく軽いので，その固有周波数は非常に高い。したがって，それよりも十分遅い振動数でリードを動かす力が外からかかるとリードはそれに追随して動く。

G.1.3 コルネットって昔は角笛だった

現在のコルネットは金属製であるが，発祥の最初の段階では，その名前が示すように角笛であった。最初は実効長を変えるためにカモシカの角に指孔をい

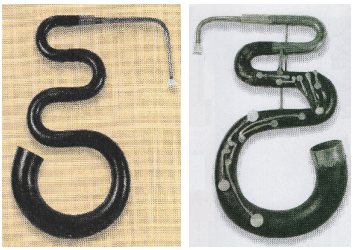
くつか開けたもの（アグリコラは「ゲムゼで作ったクルムホルン」としていた）であった。それがトランペットに似た現在の形に至る過程を**図 G.1** に示す。



ゲムゼ (カモシカ) の角で作ったクルムホルン
（アグリコラの本での記述）



ツィンク (最下は木製直管)



セルパン（指孔式）セルパン（キー式）



郵便ホルン



ビューグル　フリューゲルホルン　コルネット

図 G.1　コルネットの変遷。
上段左：カモシカの角で作ったホルン＝コルネットの原型【Agricola】。
　指孔 (実効管長を変えるため) があるがリップリードで，指孔の位置は木管型。
上右：ツィンク（伊：cornetto，独：Zink）：6 孔で形は多様。【Wikipedia】。
中段左 2 つ：セルパン【仏：「ヘビ」の意】
　（【独】黒いツィンク，【英】バスコルネット）。
右：ポストホルン（固定長, 伊：Cornetta di Postiglione）。
下左：固定長の信号ラッパ（Gabriel BG-81EL）
下中央：ビューグルにピストンバルブを付けたもの。
下段右：現代のコルネット（ヤマハ）。

日本語ではツィンクもコルネットと呼ぶが，ドイツ語ではセルパンまでの角製あるいは木製のものと金属製のものを区別するために，セルパンまでを Zink，金

属製のものを Kornett としている。それらを英訳本ではイタリア語で cornetto, cornetta として，英語では cornett，cornet として区別しているようであるが，イタリアやイギリスでこの細かい区別の仕方が一般に認識されているかどうかは疑わしい。

音域を下へ広げるために管が長くなったが，手が届くようにするために何度も曲げたセルパンがフランスに現れた。「セルパン」（フランス語で「ヘビ」）はバス音域のコルネットで，木製で黒い革で覆われているので，ドイツ語圏ではシュヴァルツァー・ツィンク（黒いツィンク）」と呼ばれた。このころ，固定長のラッパとして郵便馬車が使うポストホルン（伊：コルネッタ・ディ・ポスティリオ－ネ）」や，軍隊が使うビューグル（信号用で，ド・ミ・ソだけ出せればいい）などがあったが，これらは調を変えるためには管の一部を取り換える必要があった。このような「替え管」（【伊】リトルト，【独】ドゥルヒラウフェンデ・ボーゲン（直訳：通過円弧），【英】クルック）に代わってバルブ機構が考案されてフリューゲルホルンができ，それが発展して現在の型のコルネットができた。カナで書くと同じコルネットであるが，金属管のコルネットが，なぜツィンクの別名でもあったコルネット（語源は角（つの））の名称を引き継いだのかは定かでない。

ピストンバルブは現在ではトランペットでも採用されているが，ピストンバルブはトランペットよりもコルネットで先に完成した。スライドによって管長を変える方式は 16 世紀からあったが，長さを 1/5 ほどしか伸ばせなかったようで，長 3 度までしか下げられなかったので，オクターヴ内の音をすべて出せる楽器としては完成できなかった。1820 年代から 1830 年代にかけて，バルブ機構が次々に発明されたが，トランペットのバルブ機構には問題があったようで，ベルリオーズやワグナーはトランペットはナチュラルのものを使用した。その理由は，バルブをつけたトランペットでバルブを使うと音色が損なわれるという状況を避けたかったからであろうと思われる。旋律的な部分についてはトランペットの代用としてコルネットが用いられている。これには，コルネットではゲムゼ（カモシカ）の角で作ったホルンの時代から，実効管長を指孔で変え

るという概念があったが，トランペットは本来固定長のもので，長さを変えるには替え管を使うという意識が強かったということが影響したと考えられる。

コルネットと名付けられた楽器について，プレトリウスの「音楽大全」(1618-1619）で紹介されているのは図 G.1 上段右の少し曲がった木製のコルネットまでで，この時代にはセルパン（英語では Black Cornett）はフランスですでに出現していたようであるがドイツではまだ一般化していなかったのか，楽器名の対応表図 H.33 左列 L.10 にシュヴァルツァー・ツィンク（外部が黒い皮で覆われた「黒いツィンク」）として名称が挙げられているだけで，まだツィンク（ドイツ語としてのコルネットの旧称）と呼ばれていた状態で，図としては図 H.41 5~9 にその前身楽器が描かれているだけである。名称の対照リスト（図 H.33 中列 L.10）から，ツィンクがイタリアではすでにコルネット（cornetto）あるいはブッチーナ（buccina）などと呼ばれていたことがわかる。

このように，セルパンまでのコルネット類は発音原理はリップリード型で，指使いは木管型であったので，リップリード楽器（金管楽器）とリード楽器（木管楽器）のハイブリッドである。17 世紀初頭ではコルネットを除けば，指孔をもつ管楽器は非リップリード楽器（木管楽器），指孔をもたない管楽器はリップリード楽器（金管楽器）という状況であった。

G.1.4　バルブを組み合わせて使うと下り方が足りない？

リップリード楽器の項で，トランペットやコルネットなどはバルブを使って管の実効長を延ばすことによって共振周波数を下げるようになっている，という説明をしたが，一定のモードで吹いている状態でバルブを押すと，押されたバルブに対応した長さの迂回路が追加されることになって管の共振周波数が下がるが，個々の迂回路の長さはバルブを使っていない場合の管長（基本管長）との比で決まっているので，同時に複数のバルブを使う場合は追加れる長さが所望の音に必要な比に足りないという不都合が起きる。

第 1 バルブは全音下げ，第 2 バルブは半音下げ，第 3 バルブは 1 全音半下げるので，例えば 3 つとも押すと 3 全音下がるはずであるが，基本管長を L とし

て，迂回路の長さを原理的に考えると，純正律で調律してあるとするなら，実効的な迂回路の長さは第 1 バルブが $\frac{L}{8} = 0.125L$，第 2 バルブが $\frac{L}{15} = 0.066\dot{6}L$，第 3 バルブが $\frac{L}{5} = 0.2L$ であるので，例えばバルブを 3 つとも押すと，管長の合計は約 $(1 + 0.125 + 0.066\dot{6} + 0.2)L = 1.3916\dot{6}L$ にしかならない。ところが，共振周波数を 3 全音下げるためには，管長は純正律では $\frac{5}{4} \times \frac{9}{8}L = 1.40625L$，あるいは $\frac{4}{3} \times \frac{16}{15}L = 1.422\dot{2}L$，平均律では $\sqrt{2}L \approx 1.4142L$，とならなければならない。

それにもかかわらず，バルブを 3 つとも押しても管長は約 $1.3916\dot{6}L$ にしかならないので，長さが足りない。すなわち，共振周波数が本来の周波数よりも高くなるので共振周波数が十分下がらないことになる。これは，音高が半音ごとに等比的に掛けなければならないのに，バルブ機構では個別の補正をした迂回路を加算的に積み上げるだけで，重ねて使用する場合の補正は考慮されていないからである。これによって，バルブを組み合わせて使うと共振周波数の下がり方が足りなくなるということになる。実際の音高は唇の振動数によって決まり，管は共振・共鳴によってその音を大きくするだけなので，唇の振動数さえきっちり規定の振動数で振動させれば，それが管の共振点から多少ずれていても音は十分大きくなるので実用上の問題は起きない。

G.2 弦 楽 器 関 係

G.2.1 ネックをもつ弦楽器の歴史的経緯

（1） ギターやヴァイオリンはどこから来たの？ ここでの「弦楽器」は「ネックをもった弦鳴楽器」に限定しておく。弦を張って音を出す楽器の発祥は早かったと思われる。狩猟用の弓の弦をはじけば小さな音が出るので，それを大きくするための工夫は狩猟時代のごく初めからあったはずである。一方，弦を擦(こす)って音を出すには，擦るものが必要で，しかも音が安定して持続するためには一定の条件が満たされることが必要なので，擦弦による発音は撥弦による発音よりもかなり遅れた。

（a） 古代ギリシャの弦楽器はキタラーやリュラーだった　　**図 G.2** 左端はISMA(音楽音響国際シンポジウム)2007-Barcelona でアフリカからの参加者がデモとして弾いていた楽弓（ミュージカル・ボウ）で，張力を左手で調節しながら弦を棒で擦り口腔で共鳴させる原始的な擦弦楽器である。



楽弓　　古代ギリシャのリラ　　原始リラ　　原始ラバーブ

図 G.2　左から：アフリカの原始的な「楽弓」，古代ギリシャの撥弦楽器リラ（竪琴）の絵（共鳴胴に亀の甲羅が使われている），原始的なリラ（アフリカ）【Musica mais presente, Ensino Uniforme】，原始的なラバーブ（エジプト）【pinterest】

その右は，古代ギリシャの壺に描かれたリラ（【古ギ】リュラー：$\lambda\acute{\upsilon}\rho\bar{\alpha}$，【英】ライアー：lyre）の絵で，共鳴箱から出た 2 本の腕で支えられた渡し棒へ音高別に独立に弦を張ったもので指板はない。古代ギリシャのリラは専門奏者用のキタラー（図 E.41 (b)）の簡易型に相当する。その右はアフリカの原始的なリラである。これも音高ごとに独立に弦を張ってあり指板はない。弦が共鳴胴の表面と平行に張られていて，ブリッジ（コマ）をもつのがリラの特徴である。

（b） 腕がなくてもブリッジをもつならリラ属　　リラは上記のように共鳴胴から出した 2 本の腕の間に渡した棒と共鳴胴の間に弦を張る形の楽器で，初期のものは撥弦（「竪琴」のイメージ）だけで，弓奏のものが出現したのはかなり後になってからである。リラは弦を共鳴板と平行に張るので必然的にコマが必要になる。弦を共鳴胴の板に垂直な面内に張るもの（コマは不要）はハープと呼ばれる。ハープは現在でも弦を音高別に独立にもつが，リラは指板をもつようになってからは音高ごとに独立の弦をもつ必要がなくなって弦の数が減った。それでも，弦を音高別に独立にもつかどうかはハープかリラかの分類の条件には入れない。リラは，ネックができて弦を張るための腕が不要になり腕がなく

なっても（したがって，「竪琴」から想像される形から変わってしまっても），コマ（ブリッジ）を備えていればリラと呼ばれ続けた。ギターやヴァイオリンはネックをもった（言い換えると，両腕がなくなった）リラ属（少し絞った表現では「リュート属」）である。ピアノや箏もリラ属（もう少し絞るならツィター属）に入る。

（c） リラには撥弦と擦弦があった　図 G.2 右端は原始的な単弦のラバーブで，共鳴胴はなく皮の膜に駒を立てて弦を 1 本張っただけである。ラバーブはレベックに繋がっていく擦弦楽器でイスラム圏では現在でも小さな共鳴胴をもった 2〜3 弦のもの（付録 I 用語集「ラバーブ」の図 I.18 ）がカマンチェあるいはケマンチェというような名称で使われている。リラから発展した形の楽器として撥弦のものと擦弦の民族楽器 2 つを**図 G.3** に示す。図 G.3 の左端は現在では「リラギター」というような名称で古楽器の復元として市販されているもので，古代ギリシャでは音高ごとに張られていた弦を，指板にフレットを付けることによって少なく済ませるようにしたもので，共鳴箱から 2 本の腕が出ていてそれに渡した棒に弦が留められ，弦が響板に平行でコマをもつので，これはリラ属である。その右は民族楽器の擦弦楽器で，フィンランドのヨーヒッコとウェールズのクルースである。クルースは現在でも使われているもので，



リラ・ギター　ヨーヒッコ　クルース　クルースの保持法 1　クルースの保持法 2

図 G.3　リラ系の楽器。左から：リラギター（撥弦，弦を中央の指板上にまとめてフレットを付けた形），ヨーヒッコ（Rauro Nieminen 作）【Wiki】，クルース（弓奏，フレット付き，奏弦 5 本＋ドローン弦 2 本。ブリッジの低音側の脚は裏板に立つ），クルースの弾き方 1【「中世とルネサンス期の楽器」[95], p.30】クルースの弾き方 2【Wales Music, BBC Music】

これらは撥弦リラから生まれた原始的な形を保存したものである。これらも弦を中央に集めて指板にフレットを付けることによって，弦の数を減らしている。保持法として両膝の間に置く方法と，紐を使って首にかける方法がある。

（2） ヴァイオリンが生まれる前にはどんな弦楽器があったの？

（a） キリスト教圏の楽器とイスラム圏の楽器の混在　7 世紀にイスラム教が興って以後，アメリカ大陸が見つかる 15 世紀までのほぼ中世と呼ばれる期間，ヨーロッパ人にとっての「全世界」は，宗教的にみて，ユダヤ・キリスト教圏としての西欧から中央ヨーロッパと，イスラム圏としてのアラビア半島＋アフリカ北部から中東とインド付近（現在のパキスタン辺り）までに，気質的に何となく 2 つの世界に色分けされていたと思われる。その接触領域が 2 つあり，1 つはエルサレム奪回のための十字軍運動があった地域（現在のイスラエル近辺）で，もう 1 つは，アラブに占領された土地を取り戻す（アラブを追い出す）ためのレコンキスタ（国土回復運動）が起きたイベリア半島である。十字軍の遠征は 11 世紀末から約 200 年であったが，レコンキスタは侵入直後の 8 世紀初頭から 15 世紀末期まで続いた。

ギリシャ・ローマを根底にもつキリスト教系の文化とアラブのイスラム文化は，融合して東ローマ帝国の首都であったコンスタンティノープル（現在のイスタンブール）でビザンティン (Byzantine) 文化として開花し，音楽ではビザンティン聖歌として現在まで伝えられているものがある。一方，スペインではレコンキスタ以後はムデハル (Mudéjar) 様式として建築では融合したようであるが，楽器ではそうはならず，スペイン人は国土がアラブに占領されていた期間に伝わってきたアラブの臭いのするリュートを毛嫌いし，アラブは微分音を使うために半音刻みのフレットしかないヨーロッパの楽器では用をなさず，微分音を弾ける（フレットを付けない）ウードを現在でも使用し，後には演奏しながら音高を 4 分音単位で変えられるカーヌーン †を作った。

イベリア半島では胴裏が丸みを帯びたアラブを感じさせる楽器は嫌われたが，

† 不等辺 4 角形のツィター属の撥弦楽器。左右の人差し指に義甲をはめ，右手で旋律，左手で伴奏音を弾く。各弦の左側に音高を 4 分音単位で変えるためのレバーがある。

イベリア半島以外のヨーロッパでは胴裏が丸くても広く使われた。ルネサンスの中心地イタリアは胴裏が丸いリュートやレベックを受け入れて，撥弦楽器マンドーラ †1を産んだが，イベイア半島のスペイン人は胴裏の丸い楽器を嫌って胴裏が平らなビウエラ †2を作った。ただ，ヨーロッパの中央部にはネック付きで胴裏が平らな撥弦楽器もあった。それは英語でシターンと呼ばれ，ドイツ・オーストリアではツィターと呼ばれた †3 が，これは映画「第三の男」で使われたツィター（ネックを持たない撥弦楽器）とは別種の有棹撥弦楽器である。

1. 擦弦楽器：フィドルとレベック

   15~16 世紀は擦弦楽器の大変革の時代で，ルネサンス前後のヨーロッパの文化の中心イタリアでは，擦弦楽器として中世以来のキリスト教文化のフィドル（表裏平行な胴にネックを取り付ける形の擦弦楽器）とアラブから来たレベック（ネックが胴に向かって徐々に広がって連続的に胴になり，胴裏は丸い）が混在し，これにスペインから 14~15 世紀に伝わってきたビウエラ・デ・アルコの前身楽器が加わって，擦弦楽器に多様なヴァリエーションが生まれた。フィドルの中で在来のものとその影響を受けたイベリア半島由来のものを区別するのは難しいので，総称的に「中世フィドル」という場合はビウエラ・デ・アルコへの発展過程のものやその派生楽器も含むと考えていい。

   中世フィドルの一部は誕生前のビウエラ・デ・アルコの影響を受けながらヴィオラ・ダ・ガンバへ発展していったもの（図 G.16 左）とドローン弦を付けてリラ・ダ・ブラッチオ／ガンバ（図 G.6 右 3 枚）へ向かうものに分かれた。ただ，フィドルとレベックは明らかに形が異なる。**図**

---

†1 これの小型がマンドリーノ（【英】マンドリン）になる

†2 6 コースでフレット付き。撥弦タイプと擦弦タイプがあり，撥弦タイプはギターの祖型

†3 シターンもツィターも，語源はギリシャの *κιθάρᾱ*: キタラー（リラの共鳴胴を箱型にしたものと考えればよい。図 E.41 左から 2 枚目）印欧語では “c”と “z”は音素 [s] として部分的な等価性をもつ。例：場=place(英) ／ place(仏) ／ Platz(独) ／ plats(へ) ／ plaza(西) ／ piazza(伊), シマウマ=zebra(英) ／ zebra(古西) → cebra(西) ／ sebra(Sw), ゼロ=zero(英) ／ cero(西), 熱意=zelo(伊) ／ celo(西), 鉛=zinc(英) ／ Zink(独) ／ zinco(伊) ／ cinc(西) ／ tsink(へ), 声=voice(英) ／ voz(西) → voces(西複) ／ voce(伊), 回=vez(西) → veces(西複), 光=luz(西) → luces(西複)

G.4 に，中世フィドルと総称されるものとレベックを区別するために，横から見た特徴を模式図と写真で示す。図 G.4 のフィドルの模式図のペグは裏側から刺しているので古い型であるが，写真のフィドルは少し後の型の復元楽器で，ペグは表から刺してある。正面から見た胴形状も初期は写真のように小判型であったが，少し後にはギターのように中央が徐々にくびれてきた（図 G.6 左の 2 枚）。



図 G.4　フィドルとレベックの違い。左 2 枚：中世フィドルとレベックの違い，（中世フィドルは垂直ペグで裏は平板，レベックは水平ペグで梨型胴）を示す。中央上下：中世フィドルの復元楽器，右：レベック

フィドルは表板・裏板ともに平板で，正面から見ると初期のものは小判型であるが，弓で弾きやすいように少しずつ中央の側面が絞られてくる。ペグは初期のものは板の裏側から刺して表で弦を巻いたが，後のものは図 G.7 左のように弦を板の裏側へ通してペグを表から刺すようになった。

レベックは洋ナシを縦に半分にした形で，ペグは横から水平に刺す。弦は通常 3 本である。レベックの前身楽器にクレタ・リラやビザンティン・リラがあり，それらはペグが垂直刺しで，撥弦型と弓奏型があった。フィドルとリラ，およびレベックの例を**図 G.5** に示す。

キリスト教の大聖堂のファサード（【仏】façade：正面）にフィドルが石で彫られているものがある（図 G.5 (2),(3) など）が，レベックは見当たらない。イスラム教が偶像崇拝を排するからか，モスクは幾何学模様ばかりで具体物の絵や彫刻がない。



図 G.5 左から:(1) ビザンティン・リラ（石棺の象牙彫刻 (10-11c)，フィレンツェ美術館　カランド・コレクション No.26)，(2) 中世フィドル（モワサック（トゥールーズの北西約 80km）の修道院入口)，(3) 中世フィドル（スペイン北西のサンティアーゴ・デ・コンポステーラの大聖堂入口の石の彫刻，1188 年)，(4) 右上：クレタ・リラ，ビザンティン・リラ，(5) 右下：レベック

リュートやレベックは古代ギリシャの撥弦楽器キタラー（図 E.41 (b)）やその簡易型のリュラー（図 E.41 (a),(c)）に源を発するが，ネックをもたない弦楽器としてはプサルテリオン（ほぼ三角形の枠に弦を平行に張った撥弦楽器。図 H.24 中央, 図 H.66 ）があった。中世のリラ（リュラー）には撥弦と擦弦があり得るが，古代ギリシャでは擦弦楽器はなかったと思われる（後述の CD「古代ギリシャの音楽」[96] でも擦弦楽器は使われていない)。

レベックは Agricola の “Musica Instrumentalis deudsch” （1528-1545）では 2 大擦弦楽器群の 1 つ “Kleine Geige”（小さい擦弦楽器）として大きく扱われているが，Praetorius の “Syntagma Musicum”(1618-1620) では，一応名前だけは挙げておくという程度の扱いになっていて，擦弦楽器はほぼヴィオラ・ダ・ガンバ属とヴァイオリン属だけになってしまっている。現在レコードや CD でも，レベックのための音楽とかフィドルのための音楽というのはバロック期の音楽としてもルネサンス期の音楽としても聞いたことがないので，多分譜面としては残っていないと思われる。(記譜法が未発達であったということと，おそらく，ダンスのための音楽や歌の伴奏を即興的に弾いただけだったので，それでは楽譜としては残らない。)

【参考】　古い音楽として，「古代ギリシャの音楽」というタイトルの

CD[96] が出ていて発売当時は話題になったが，これはオクシリンコス・パピルス[†1]やセイキロスの墓碑[†2]などの解読に基づいて推定された曲を復元楽器で演奏したもので，制作者の創意が入っている。「古代ギリシャの音楽」で使われている弦楽器は撥弦のものだけ（40 弦のエピゴネイオン，7 弦のキタラー，7 弦のリュラー，13 弦のフォルミンクス，13 弦のサンピュケ，13 弦程度のプサルテリオン，3 弦のパンドゥーラ，など）で，持続音はすべて管楽器（アウロス，プラギアウロス，サルピンクス，シリンクスなど）である。エピゴネイオンは古代ギリシャの最大の撥弦楽器，キタラー，リュラー，フォルミンクスはリラ属，サンピュケは腕が 1 本の小型ハープ，パンドゥーラは長いネックの撥弦楽器，プサルテリオンは三角形ないしは台形の枠に弦を平行に張ったツィター状の撥弦楽器，アウロスは双管のダブルリードの古代ギリシャを代表する楽器，プラギアウロスはその単管のもの。サルピンクスは固定長のトランペットのようなリップリード楽器，シリンクスはパンフルートである。これらの楽器は海上交通によって地中海沿岸に広がって行った。

2. 撥弦楽器：リュートとシターン

ルネサンス期のヨーロッパの撥弦楽器の代表はリュートである。ただし，形状からわかるように，これはアラブのウード[†3] が発展したもので，ウードとの違いは弦の数（したがって調弦も）とフレットが付いたことくらいである。ヨーロッパでは微分音を使わなかったので，半音間隔のフレットを付けたほうがとりあえずは弾きやすいということもあっ

[†1] Oxyrhynchus Papyri：1882 年にイギリスの考古学調査団によって，エジプト中部（カイロの南南西約 50km のナイル西岸）のオクシリンコス（現：Baphnasa バフナサ）にある古代のゴミ捨て場で発見された大量のパピルス断片。

[†2] Seikilos Epitaph：エフェソス（トルコ）の近くのアイディン (Aydin) で発掘された詩と旋律の上下記号が書かれた墓石

[†3] 洋梨型の木製の胴にほぼ直角に後ろに折れた糸倉をもった，ペルシャのバルバットを起源とする撥弦楽器。弦は通常 5 コースの複弦で，フレットはなく，ロゼッタ（装飾的な響孔）をもつ。調弦は地域によって異なるが，標準的には下から G3-A3-D4-G4-C5。ウードはアラビア語で「木」の意。（英語の “wood”）

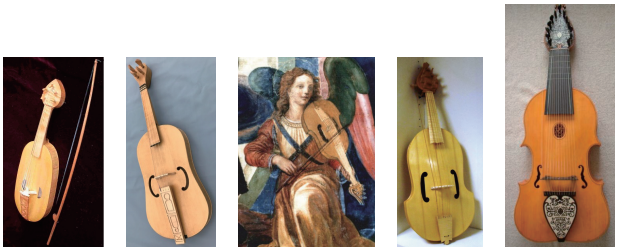
て，フレット（ガットを巻いた）をもつリュートが歓迎されたと考えられる。ウードは押弦で弾く場合に弦振動の一方の端が指に触れるので振動の減衰が速いが，リュートはフレットを付けることによって振動の端点の固定状況が改善された。撥弦であっても持続時間が多少延びたリュートは地中海経由でイタリアへ伝わった可能性が高いが，イベリア半島経由で中部ヨーロッパへ伝わった可能性もある。ただ，アラブに国土を占領されていたスペインでは，ウードやリュートはアラブの楽器として嫌われ，イベリア半島では定着せず，このルートは通ったとしても素通りしただけになった。

リュートの弦は当初複弦 4 コースで C3-F3-A3-D4 であったが，15 世紀に高音側に 1 コース（単弦），さらに 16 世紀に低音側に 1 コース（複弦）が追加されて 6 コース（標準的には下から G2-C3-F3-A3-D4-G4）になったとされる[23)]。歌弦（最高音弦）を除いて複弦で，下 3 コースは複弦の内の 1 本を 1 オクターヴ上に調弦した。さらに低音側に 1 コース（複弦）D2 が追加されることもあった。ただし，この場合は複弦はすべて同一音高としたようである[23)]。リュートの頭部の糸倉が後ろへほぼ直角に折れるのはウードと同じで，この形はシルクロード経由で中国や日本の琵琶にまで残る特徴である。バロック期（17 世紀初頭から 18 世紀半ば）には通奏低音（Basso Continuo. 伴奏的な和音）専用に「テオルボ」と呼ばれる大型の低音用撥弦楽器も作られた。

リュートの頭部を折らずにほぼネックから伸ばし，胴裏を平らにして金属弦を張ったシターン（英：cittern, cithern, 独：Cither）と呼ばれる楽器が 17 世紀の Praetorius の本に現れる（16 世紀前半の Agricola の本にはない）。胴裏は平らで金属弦・金属フレットで，ルネサンス末期に現れたようであるが，弦数・調弦は多様で，16〜17 世紀に流行した[23)]。Praetorius は「音楽大全」[5)] で「ドミニコ」と呼ばれる 12 弦シター（Cither）と「6 声合奏用のシター（Cither）」を同書の図 VII に挙げているが，別のページの図 XVI では同じような楽器を「6 コース・イ

ベリアの合奏用ツィター（Zither †）」として挙げている（図 H.45 撥弦楽器 I にリュートとマンドリン，図 H.46 撥弦楽器 II にシターンと擦弦のリラ・ダ・ガンバ）。「イベリアの合奏用ツィター」と書かれている楽器は，現在，ファドの主楽器として使われるポルトガルギターがまだ他と同じようにペグを差し込む方式のヘッドであったころのものである。現在，ファドでは第 2 ギターとして普通のギター（ギターラ・エスパニョーラ）が使われる。これらはすべて，胴裏は平板であるが，よく見ると，胴の厚さがネックの取り付け部で厚く，下部で薄くなっている。シターとツィターはドイツ語で同じものを指していると考えてよい。「ドミニチ（Dominici）」はイタリア語複数形の流用であるが，「主（支配者）の」の意味で，キリスト教系の楽器であることを表している。敬虔なカトリック信者の多いスペイン・ポルトガル地域では，胴裏を平板にすることで，ウードやリュートとの違い，ひいてはアラブとの違いを強調したかったのであろう。

（b）**フィドルからリラ・ダ・ブラッチオへ**　今日「中世フィドル」とまと



フィドル（初期）　フィドル（中期）　Lira da Br. (Raffaellino)　Lira da Br. (M.Salerno)　リローネ (I.Watchorn)

図 G.6　最左：典型的な中世フィドルの復元品（ペグは平板ヘッドに垂直刺し。左腕に乗せて弾く），2 枚目：左よりも少し後の中世フィドル（中央部分が　少しくぼみ始めている。表裏ともに平板。）3 枚目：Raffaellino del Garbo によるリラ・ダ・ブラッ　チオの絵（16 世紀初頭），4 枚目：リラ・ダ・ブラッチオ（左の絵に基づく復元　by Marco Salerno。表板隆起，ドローン弦付き）5 枚目：13 弦リラ・ダ・ガンバの復元 by Ian Watchorn

† 印欧語族での “c” と “z” の等価性を考えると，シターとツィターはドイツでは同じ意味で使われていると考えてよい。

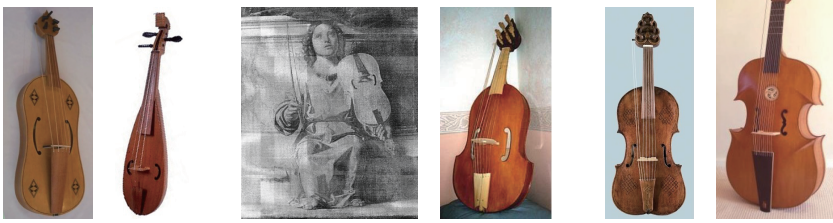
めて呼ばれる，胴裏が平面の擦弦楽器の一部は，**図 G.6** 左の 2 枚に示すように，弓で弦を擦りやすくするように胴の中央部が絞られるようになった。図 G.6 は，左から 12~13 世紀ころの典型的な中世フィドルの復元品，および Raffaellino del Garbo(1466-1527) によるリラ・ダ・ブラッチオの絵とそれに基づく Marco Salerno によるリラ・ダ・ブラッチオの復元楽器，および Ian Watchorn による 13 弦の装飾的なリラ・ダ・ガンバ（リローネとも）の復元品である。弓で弦を擦りやすくするために，表板を隆起させたりコマを山型にすることなどによって，図 G.6 の左から 3 枚目の絵あるいはその復元楽器である**リラ・ダ・ブラッチオ**（腕のリラ）になり，大型のものは最右のような脚に挟むリラ・ダ・ガンバ（脚のリラ）（リローネとも）になっていった。これらのリラ類は，ペグボックスは木の葉型のままにして，ペグはそれに垂直に刺すという中世フィドルの特徴を色濃く残していた。

図 G.7 は木の葉型のペグボックスの表と裏を示す。これらは同一のペグブックスの表と裏ではないが，左の図より，ドローン弦以外はすべてナットのすぐ上でペグボックスの表から裏側へ貫通させていることがわかる。裏側から見て右に飛び出しているペグはドローン弦用である。



図 G.7 ペグボックス (左＝表，右＝裏)

図 G.8 の最左 (1) は「**中世フィドル**」と総称される擦弦楽器の復元（市販品）で，胴は表板・裏板ともに平板で響孔をもち，弓を使いやすくするために，図



1. 中世フィドル　2. レベック　3. コネリアーノの絵の中のリラ・ダ・ブラッチオ　4. 左を復元したリラ・ダ・ブラッチオ　5. リラ・ダ・ブラッチオ　6. リラ・ダ・ガンバ（リローネ）

図 G.8　ヴァイオリン属の擦弦楽器の変遷
左から：1=中世フィドル (MrCaseyHistory)，2=レベック (Musikinstrument.se)，3=チーマ・ダ・コネリアーノによる絵（Cima da Conegliano “Pala(祭壇画) Montini”(1506-07)，祭壇下でリラ・ダ・ブラッチオを弾くこども）【Galleria Nazionale di Parma】，4=Marco Salerno によるその楽器の，復元，
5=ヴァイオリン発祥後約 30 年のリラ・ダ・ブラッチオ (Francesco Linarol 作，1563 年, Rawlins Gallery)，6=リラ・ダ・ガンバ Gasparo da Salò 16 世紀作の大型リラ・ダ・ブラッチオ (リラ・ダ・ガンバ，リローネとも) の複製）

のものは胴の中央が少しくびれているが，初期のもの（図 G.5 の石の彫刻や図 G.6 最左など）には胴のくびれはない。ヘッドは木の葉型でペグはそれに垂直に刺すようになっている。初期のものはペグを裏側から刺したが，図 G.7 左のものでは弦をナットの上方でヘッド板を貫通させて，表側から刺すようになっている。図 G.8 の最左 (1) は奏弦 4 本，ドローン弦 1 本であるが，15 世紀ころには 5+2 本が多くなった。その右 (2) はアラブ圏の擦弦楽器**レベック**で，ペグはペグボックスに横から刺すようになっている。レベックはアラブ圏で生まれたもので，胴は洋ナシを縦に半分に切ったような形で 3 弦の擦弦楽器であるが，形の類似性から，明らかにクレタ・リラあるいはビザンティン・リラと呼ばれるもの（図 G.5 右上）の後継楽器で，15~16 世紀にはヨーロッパでも広く使われた。ヴァイオリンの水平ペグと 5 度調弦はこれからの継承とされる。

図 G.8 の (2) レベックの右 (3) はコネリアーノ（Cima da Conegliano, ca.1459-1517）による「幼な子キリストを抱く祭壇の聖母」（1506-07）（元：パルマ大聖堂，現：パルマ国立ギャラリー）の祭壇下で楽器を弾いているという，当時の典型的な構図の絵の「楽器を弾くこども（天使？）」の拡大，(4) はその楽器（リラ・ダ・ブラッチオ）の Marco Salerno による復元楽器である。(5) は Francesco

Linarol によるリラ・ダ・ブラッチオ（1563 年）で，ヴァイオリン出現の約 30 年後でもまだ 2 世代前（1 世代前は，リラ・ヴィオーラ† と考える）の楽器が営々と作られていたことがわかる。1619 年作のリラ・ダ・ブラッチオが現存するので，ヴァイオリンが出現してから 80 年経ってもまだ作られていたことになる。響孔の形は “f” に見えるが，中央の切れ込みがないので “$\int$” である。図 G.8 最右 (6) はリラ・ダ・ガンバ（脚のリラ）で，リローネ（大型リラ）とも呼ばれる。楽器の構造からリラ・ダ・ブラッチオ（腕のリラ）属ではあるが，弦の数が非常に多く楽器が大きいので腕には載せられず，両脚で挟んで弾く。通奏底音用の楽器で，旋律を弾く必要はなく，和音を弾きやすいようにガットでフレットを巻くが，ハイポジションを使う必要がないので，第 5 フレット（開放弦より 4 度上）までしか巻いていない。写真は初期のヴァイオリンの製作者として知られる Brescia（Milano の東約 100km）の Gasparo da Salò の 1592 年作の 9+2 弦のものの模作品 (Owen Morse-Brown 作) である。

（c） **リラ・ダ・ブラッチオのヴァリエーション**　リラ・ダ・ブラッチオのヘッドは木の葉型を分厚くして裏板のないペグボックスとし，ペグは表板面に垂直に刺すようになっている。胴形状については，ネックの付け根部分が，装飾的なものを除くとヴァイオリン型（肩部分の左右の輪郭線がほぼ円弧としてつながっている）になっているが，ボディ底部は尻割れ型である。現存のリラ・ダ・ブラッチオは後年のものが多いので響孔の形はヴァイオリンの響孔の形（f 字形）が多いが，絵画からは古いものでは C 形あるいはその変形が多かったことがわかる。ドローン弦を 2 本もつものが多い。

弦の数は標準サイズ（アルト）では奏弦 5+ドローン弦 2 の 7 本，低音域用のリラ・ダ・ガンバ（リローネとも呼ばれる）では 9+2 あるいは 11+2 で計 11 本あるいは 13 本のものが多いようである。弦数の多いものは多弦同時奏の通奏低音用で，旋律を弾くことはなかった。調弦はサイズや弦数によって異なったが，奏弦は基本的に 5 度調弦の偶数番目をオクターヴ下げるので，開放弦の

† リラ・ダ・ブラッチオのペグボックスが木の葉型から箱型になり。ペグが水平刺しになったもの。ドローン弦は保持したまま。

音高は並んだ順には上下する。ドローン弦は奏弦の最低音の音高およびそのオクターヴ下というようなものが多い[54]。

弦楽器について，これまでに色々な楽器名が現れ，それらの間で継承された特徴などを説明してきたが，数が多くてわかりにくくなっているので，ここで**図 G.9** に系統図としてまとめておく。大雑把に地域を分けてあるが，スペースの制約から本来の位置に書けなかったものもある。

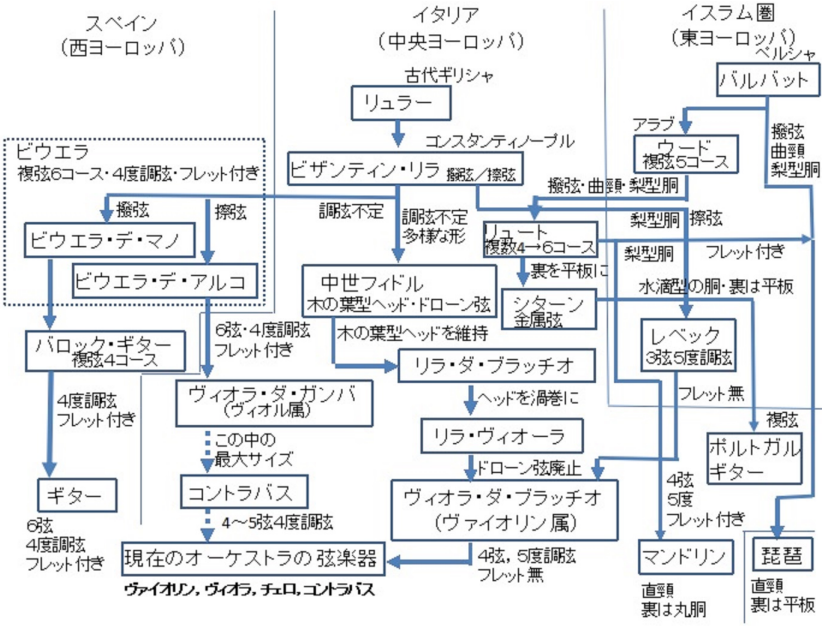


図 G.9　弦楽器系統図（地域的な記載位置は不正確）

図 G.10 にこれまでに記録や現物から作成年がわかっているリラ・ダ・ブラッチオおよびリラ・ダ・ガンバ（大型のリラ・ダ・ブラッチオ。リローネとも）の概形（サイズは比較できない）を，またその中のいくつかのサイズの詳細を文献[54] から抜き出して**図 G.11** に示す。

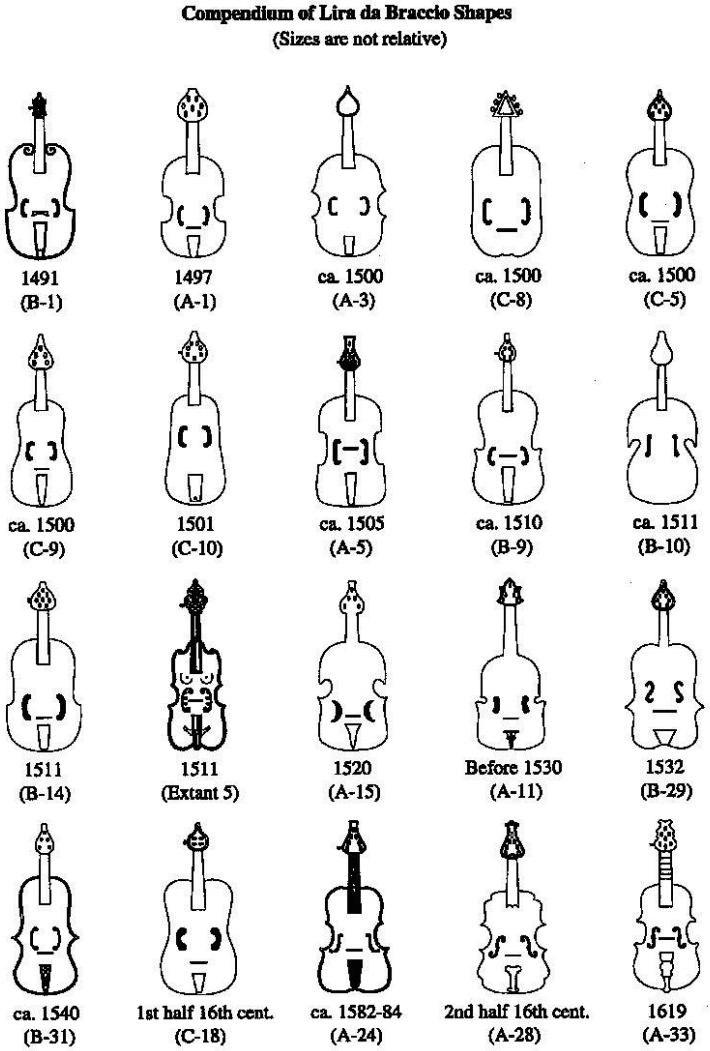


図 G.10 記録があるリラ・ダ・ブラッチオとリラ・ダ・ガンバの概形[54]（サイズの比較はできない）
“Extant 5”と書かれているものはウィーンの工芸史博物館所蔵の Giovanni d’Andrea 作のもの（図 G.11 の右から 2 つ目，図 G.12 に詳細）

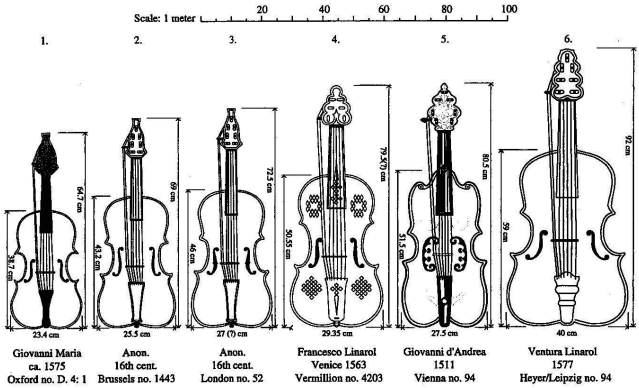


図 G.11　現存するいくつかのリラ・ダ・ブラッチオのサイズ[54] 木の葉型ヘッドに垂直ペグ，ドローン弦付き。（右から 3 つ目は図 G.8 の右から 2 つ目のもの）右から 2 つ目は図 G.12 に詳細図

図 G.12 は，図 G.11 の右から 2 つ目の装飾的なリラ・ダ・ブラッチオの詳細図で，ウィーンの工芸史博物館に展示されているブレッシアのジョヴァンニ・ダンドレアの 1511 年の作である。リラ・ダ・ブラッチオに関しては，これほどの装飾的な彫刻を施したものがこれ以外には見つかっていない。この楽器はバスバーも魂柱ももっていない（“The Lira da Braccio”[54] p.11 5.）。



図 G.12　装飾的なリラ・ダ・ブラッチオ（1511 年）Giovanni d’Andrea（Brescia）作。Wien Kunst-Historisches Museum(ウィーン工芸史博物館) 所蔵。図 G.10 の 3 段目左から 2 つ目，図 G.11 右から 2 つ目のもの

リラ・ダ・ブラッチオがドローン弦を廃し，レベックの「水平（横刺し）ペグ，フレットなし，3 弦 5 度調弦」を取り入れて，3 弦のヴィオラ・ダ・ブラッチオ（ヴァイオリン）属になっていくことになる。

（d） **リラ・ヴィオーラ**　リラ・ダ・ブラッチオの木の葉型のペグボックスを箱型にしてペグを水平刺しにして，ヘッドをスクロール（渦巻き）にした楽器が「リラ・ヴィオーラ」(ヴィオラ的なリラ) で，記録があるいくつかのサイズを文献[54] から抜き出して**図 G.13** に示す。

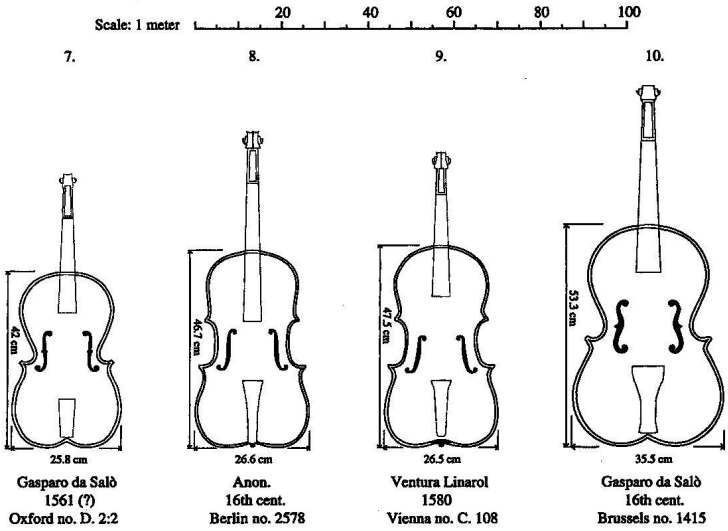


図 G.13　現存するリラ・ヴィオーラ 4 本のサイズ[54]。ペグ（描かれていない）が水平刺し，ヘッドがスクロールに，ボディ下は尻割れのままでドローン弦も残っていることに注意（リラ・ダ・ブラッチオは木の葉型ヘッドに垂直ペグであった）

付録 I 用語集の「リラ」の項の図 I.19 の右から 3 つ目のリラ・ヴィオーラの詳細を**図 G.14** に示す。これは元イエール大学にあった Hieronymus（別称：Girolamo） Amati 作のもので，サントリー財団が買い取って大阪音楽大学に寄贈したもので，イエール大学にあったころから「リラ・ダ・ブラッチオ」として紹介されていた[97] が，ペグボックスの形状から，Scott Jones の本[54] で



図 G.14　リラ・ヴィオーラ (Hieronymus(Girolamo) Amati, Cremona, 1607) 上段左：Yale 大学にあった時の Yale 大学の HP より。その他：松田氏による大阪音大の調査報告書[97] より。どちらにもリラ・ダ・ブラッチオとして紹介されている.

は「リラ・ダ・ブラッチオ」とは明確に別扱いされている「リラ・ヴィオーラ」である。写真のものは楽器としての発展途上のものではなく，Andrea Amati (ca1501- ca1570) が最初のヴァイオリンを作ってから 70 年あまり経った頃に，その息子が作ったものである。

G.2.2　バロック期の弦楽器の華「ヴィオラ・ダ・ガンバ」

ヴァイオリンの系統から外れるが，バロック期の主要な擦弦楽器であったヴィオラ・ダ・ガンバ（脚のヴィオラ，英語では「ヴァイオル (viol)」ないしはそれをイタリア語的に読んで「ヴィオル」）について触れておく。ヴィオラ・ダ・ガンバ属は外形がヴァイオリン属と似ているが，これらは起源が異なる楽器である。ヴィオラ・ダ・ガンバはスペインで生まれたビウエラの弓奏タイプのものがイタリアへ流れてきてイタリアで完成した楽器である。ビウエラの撥弦タ

イプのものがスペインでギターになったので，ヴィオラ・ダ・ガンバとギターはどちらも 6 弦，4 度調弦，フレット付きの兄弟楽器ということになる。中世以来，ヨーロッパでは撥弦楽器としてリュートが広く用いられており，リュート製作者（luthier †）が弦楽器製作者一般を意味していて，撥弦楽器も擦弦楽器も作っていたので，「リュート製作者」がヴィオラ・ダ・ガンバをも作っていたことになる。

（1） ヴィオラ・ダ・ガンバって，どんな楽器？ ヴィオラ・ダ・ガンバ（脚のヴィオラ）の「ヴィオラ」は 16〜17 世紀では擦弦楽器という意味で，いくつかのサイズのものがあり，標準サイズと言えるバスサイズのものは椅子に座って両脚でボディをはさんで，アルトサイズおよびそれよりもサイズが小さいものは左膝の上に立て，バスよりも大きいサイズのものは立って，左手でネックを持ち，右手に持った弓で弾く。押弦はギターのようにフレットの間を押さえるのではなく，弦の振動を妨げないようにしてほぼフレットの上を抑える。特殊なもの（最低音域のコントラバスや最高音域のパルデュッシュ，高度な演奏用のヴィオラ・バスタルダ）を除いて弦の数は 6 本である。弦の数に関わらず隣接弦間の音程は基本的に 4 度で，中央に 1 箇所だけ長 3 度音程をもつので，6 弦の場合はボルドーネ（最低音弦）とカンティーノ（最高音弦）の間の音程はどのサイズもちょうど 2 オクターヴである。

ヴィオラ・ダ・ガンバは開放弦から少くとも 5 度上までをガットで巻いた 6 弦 4 度調弦の，フレットをもった擦弦楽器で，スペインの**ビウエラ・デ・アルコ**（弓奏弦楽器）がイタリアへ伝わった後，ヴァイオリン発祥より約半世紀前（15 世紀後半）に祖型が生まれ，ヴァイオリンの誕生よりも数十年早く，多分 15 世紀末までに定着した。以後 17 世紀後半まで，擦弦楽器といえばほぼヴィオラ・ダ・ガンバ属を指した。

---

† 英語・仏語の表現。イタリア語ではリュートが “liuto” なので，リュート製作者は “liuteria”，スペイン語でリュートは “laud”【ラウ（ド）】であるが，弦楽器製作者は英語と同様にフランス語 “luthier” を流用する。ドイツ語ではリュートが “laute” であるが，弦楽器製作者は “Lautenbauer” とは言わず，日本語と同様に逐語的に “Saiteninstrumentenbauer” というようである。

ヴィオラ・ダ・ガンバは約 2 世紀あまりヴァイオリン属と共存したが，バロック末期（18 世紀半ば）に衰退し，最後の名手フリードリッヒ・アーベルの死（1787 年）によって完全に消滅[45] したとされ，現在ではコントラバス以外は古楽器として使われるだけである。

標準サイズのヴィオラ・ダ・ガンバは形状が一見チェロに似ており，小型のものはヴァイオリンやヴィオラに似ているが，弦の数と響孔の形や胴のくぼみの深さとコーナーの角の角度がヴァイオリン属とは異なること，ガットでフレットが巻かれていること，裏板が平板であることなどによって，少し注意して見ればすぐにヴァイオリン属との違いがわかる。6 本弦でフレット付き 4 度調弦と聞くと，ギターをご存知の読者はその類似性にすぐ気づかれるであろう。ヴィオラ・ダ・ガンバはギターと非常に近い関係の楽器である。これらは，スペインで「ビウエラ†」と呼ばれた 6 弦 4 度調弦でフレット付きの楽器から生まれたものである。単に「ビウエラ」といえば，通常は撥弦楽器ビウエラ・デ・マノ（手のビウエラ）を指し，それは後にスペインでギターになって行くが，擦弦楽器としてビウエラ・デ・アルコ（弓のビウエラ）というのがあって，それがイタリアへ伝わってヴィオラ・ダ・ガンバになった（図 G.16 ）のである。どちらも 6 弦 4 度調弦，フレット付きである。

ヴィオラ・ダ・ガンバはビウエラから「6 弦・4 度調弦・フレット付き」を引き継ぎ，ペグを横から刺すもので，サイズ（音域）は標準的にはバス，テノール，アルト，ディスカント（メゾ・ソプラノ ~ ソプラノ，【英】トレブル）の 4 サイズであったが，その下にグランドバス，コントラバス，フランスではデュッシュ【仏】（ディスカント【伊】）の上にパルデュッシュ【仏】があった。ヘッドはスクロール（渦巻き）が標準であるが，人の顔（頭）の彫刻をもつものも多い。

独奏用として，バスより少し小さくて 7 弦にして種々の調弦をとる「ヴィオ

† イタリア語の「ヴィオラ」に対応するが，15~18 世紀のスペインでは撥弦楽器も含んだ。現代でも，ブラジル（ポルトガル語）では “viola” が普通のギターを指す。スペイン語でも，ルンファルド辞典[98] では，“guitarra” となっている。歌詞での “viola” はギターを指すと考えてよい。

ラ・バスタルダ」【伊】(「多様な調弦」あるいは「異型」のヴィオラ)，別名「リラ・ヴィオル」【英】(リラ的なヴィオル))や，イギリスで音符を通常よりも音価の小さい音符に分割して装飾音を増やした即興演奏に特化した「ディヴィジョン・ヴィオル【」英】と呼ばれたものもある。低域用のヴィオラ・ディ・ボルドーネ【伊】(別名：バリトン【Baryton: 伊】とも)などもあった。最も人気が高かったのはバス・サイズで，調弦は下から D2,G2,C3,E3,A3,D4 で，ここから 1 サイズ小さくなると最低音弦の音高が 4 度上がった(大きくなると 5 度下がる。基本的には 2 サイズ・アップでオクターヴ上がる)が，ソプラノを使う場合のディスカントとの開き(メゾソプラノとソプラノの間)は長 2 度であった。弦がガットであったので，あまり強く張ることができなかったからであろうと思われる。

外見はヴァイオリン属と似ているが，板が薄く，オーバーハング(表板・裏板の横板からのせり出し)がなく，ヴァイオリン属がもっていたバスバー(表板裏の低音弦側のコマ脚の支持兼表板の補強材)や魂柱(コマの高音弦側の脚下近くの表板と裏板の間に接着剤なしで立てる木製の支柱)が少なくとも 17 世紀まではなかった。ヴィオラ・ダ・ガンバ属はヴァイオリン属と似た音がするが，音量が小さかった。弓はアンダーハンド(親指以外の指を下から回す)で持ち，演奏しながら毛の張りを指で変え，擦弦方向は強拍を「押し」で弾いた。ヴィオラ・ダ・ガンバの奏法に関しては，ガナッシ(Sylvestro di Ganassi)による教則本 “Regola Rubertina(レゴーラ・ルベルティーナ)”(1543) がある。

ヴィオラ・ダ・ガンバ属の音は同じ音域のヴァイオリン属の楽器の音とそれほど変わらないが，運弓方向が逆なので，聞いた感じでは奏法による立上りの違いによって区別がつく。ヴァイオリン属の音を聴き馴れている現代人には少し締まりのない演奏に聞こえる。

現在ではヴィオラ・ダ・ガンバを弾く場合でもヴァイオリン属の弓で代用することがあるが，3 重音以上の多重音を弾く場合はバロック弓(毛の張りを演奏中に指で調節できる)を用いなければ難しい。

ヴィオラ・ダ・ガンバ属は前述のように，後のヴァイオリン(当時の名称は

「ヴィオラ・ダ・ブラッチオ」）属の出現以後，2 世紀以上にわたってヴァイオリン属と共存したが，バロック期の擦弦楽器の代表とされる楽器である。**図 G.15** 左にギターのような外輪郭の胴形状をもつヴィオラ・ダ・ガンバを示す。これは，ヴィオラ・ダ・ガンバの前身楽器ビウエラ・デ・アルコがギターの前身楽器ビウエラ・デ・マノと 6 弦 4 度調弦フレット付きの兄弟楽器であったことを示すものとして注目に値する。その右にヴィオラ・ダ・ガンバ属の標準 4 サイズと Carleen Hutchins(1911-2009) による実験的なヴァイオリン属 8 サイズを対比させて示す。



図 G.15　左：胴の外形がギター型のヴィオラ・ダ・ガンバ（Paolo Antonio Testore, Milano, 1717 年作），中央：ヴィオラ・ダ・ガンバ属の標準 4 サイズ（手前からバス，テノール，アルト，ディスカント），　以上はオルフェオン (Orpheon) 財団の HP より。右：C.Hutchins による「ヴァイオリン 8 重奏」プロジェクトでの実験的なヴァイオリン属 8 サイズ（小さなものから順に，ピッコロ，ソプラノ，ディスカント，アルト，テノール，バス，グランドバス，コントラバス）

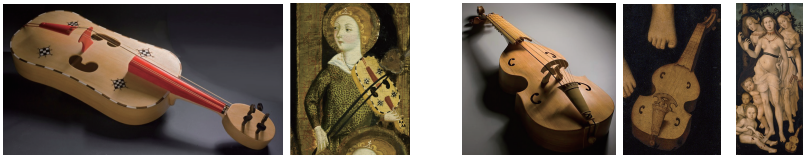
（2）　ビウエラ・デ・アルコがヴィオラ・ダ・ガンバに　　状況を理解するための予備的な話をしておこう。ルネサンス期以降 18 世紀半ばころまでのヨーロッパの文化の中心であったイタリアでは，撥弦楽器としてはアラブ起源のリュートがもてはやされており，擦弦楽器としては古代ギリシャのリュラー由来のリラがあり，それには撥弦型と擦弦型があったが，イタリアではネックをもつ撥弦楽器としてはリュートがあったので，ネックをもった撥弦型のリラは広がらず，リラとしては弓奏型のものが種々の形態で，楽器史上「中世フィドル」と総称されるようになった楽器群として多様化した。決定打がなかなか産

まれなかったとも言える。弓奏型のものとしては中世フィドルと並んでアラブ起源のレベックも使われていた。つまり，ルネサンス後期から，イタリアでは弦楽器としてはアラブ・イスラム圏起源の撥弦楽器としてはリュート，弓奏楽器としてはレベックが使われ，バロック期にリュートから通奏低音用のテオルボとマンドリン属の祖型（図 H.45 の 5）が生まれた。ユダヤ教・キリスト教圏の弦楽器としては，ネックをもつ撥弦型ではシターン，擦弦型では種々雑多なフィドルが使われていた。ネックをもたない撥弦楽器としては，古代ギリシャ以来のプサルテリオン（図 H.24 中央）とハープ系のものがあった。ただ，イベリア半島（スペイン）は 8 世紀にアラブに占領されて以来，アラブ系の楽器（胴裏が丸い）は毛嫌いされ，裏板が丸くない（アラブを感じさせない）楽器が望まれていた。その状況で，スペインで生まれたのがビウエラで，それには撥弦型と弓奏型があった。

ビウエラの弓奏タイプのもの（ビウエラ・デ・アルコ）がイタリアへ伝わって 15 世紀にできたものがヴィオラ・ダ・ガンバであるとされる[23)]。別の表現をすると，胴裏が平らな（つまり，アラブを感じさせない）リラや中世フィドルが 12 世紀ころにスペインへ流れ込み，そこで独自の発展を遂げ，アラブ起源のリュートの代替楽器としてできたビウエラの弓奏型がイタリアへ伝えられ，それが多様な中世フィドルの一形態として徐々に入り込み，それが 15 世紀後半にイタリアで広まったともいえる。

図 G.16 に，初期（14 世紀末期）の中世フィドルの一形態としてのビウエラ・デ・アルコと，ヴィオラ・ダ・ガンバになる前（15 世紀末期〜16 世紀初頭）のビウエラ・デ・アルコの復元楽器，およびそれらの元になった絵画を示す。

14 世紀の絵からの復元楽器は中世フィドルと呼ばれるものに近く，木の葉型のペグボックスに垂直ペグで，奏弦 4 本にドローン弦を 1 本もち，フレットはもっていないが，16 世紀前半（3 弦のヴァイオリが 4 弦になり始めたころ）の絵（図 G.16 最右）では，弦が 6 本になり，ペグが横刺しになって，ガットのフレットが 9 本巻かれており，響孔の形がまだヴィオラ・ダ・ガンバの標準の「C」にはなっていないが，楽器全体としてはほぼヴィオラ・ダ・ガンバと言える。



中世フィドルに近い　　ヴィオラ・ダ・ガンバに近い

図 G.16　ビウエラ・デ・アルコ。左：中世フィドルに近いビウエラ・デ・アルコの復元楽器とその元になる絵【ハイメ・セーラ (Jaime Serra) 画「Resurrección de Santo Sepulcro（聖セプルクロの復活）」(1381-82)。サラゴーサ美術館】ⓒFundación “la Luz de Imágenes”(「映像の光」財団)。右：ヴィオラ・ダ・ガンバに近くなったビウエラ・デ・アルコの復元楽器とその基になる絵およびその全体【Hans Baldung Grien:“Armonía”「調和」(1541-44) の足元, プラード美術館】。

（3）バッハにとってのヴィオラ・ダ・ガンバ　J.S.Bach（1685-1750）の活動期間は完全にヴィオラ・ダ・ガンバ属とヴァイオリン属の併存期間に含まれる。バッハはヴィオラ・ダ・ガンバ（とチェンバロ）のためのソナタを 3 曲残している。これらについては，ケーテンにいた時代（1717-23）に書いたという説と，晩年のライプツィッヒ時代（1723-50）の作とする説がある[99] が，その 3 曲目 BWV1029 はブランデンブルク協奏曲第 3 番 BWV1048（1721 年）と曲想が非常によく似ている。ガンバ・ソナタは 1 番・2 番が 4 楽章構成なのに対して，3 番だけは 3 楽章構成になっており，構成上からもブランデンブルク協奏曲と似ていて，第 6 番までしかないブランデンブルク協奏曲の「第 7 番」と呼ばれたりすることがある。

BWV † ではガンバ・ソナタのほうが若いが，作曲年代をケーテン時代で同時期とすると，後にブランデンブルク協奏曲としてまとまられる中の 1 曲としてヴァイオリン属のための曲を書いていたが，バッハと同時期にケーテンの宮廷音楽家でガンバ奏者でもありチェロ奏者でもあった Ferdinand Abel（Carl Friedrich Abel の父）が，ガンバ好きであったレオポルト王子にガンバ演奏を教えていたこともあって，バッハは作曲中のヴァイオリンのための曲をアーベ

† Bach-Werke-Verzeichnis：バッハの曲の整理のためのに Wolfgang Schmieder が 1950 年に発表したカテゴリ別の作品番号[100] で，以後広く使われている。

ルのためにガンバ用に書き直したということが考えられる†。あるいはガンバ用に書いた曲をもっと音色の明るいヴァイオリンで弾くようにしたほうがいいと考えて，同時並行的に書いたという可能性も考えられる。

ライプツィッヒ時代の作という説[99] に立つなら，バッハは年齢を重ねた後に，聖トーマス教会の礼拝のための宗教曲を書く傍ら，20 年ほど前に書いたヴァイオリン属用の曲を昔懐かしいヴィオラ・ダ・ガンバ属でも弾ける落ち着いた音の曲に書き直したということになる。

【⬇: 音のファイル/付録関係 4. 諸資料/(b)Viola da Gamba 系/b-1 Viola da Gamba　の中の b-1a_Bach_BWV1029.wav と b-1b_Brandenburg3.wav】。

（4） **コントラバスはヴィオラ・ダ・ガンバの生き残り**　ヴィオラ・ダ・ガンバはヴィオラ・ダ・ブラッチオとの長い併存期間（1750 年頃まで）の末に，18 世紀後期にはほぼヴァイオリン属にとって代わられ，現在のオーケストラで使われる擦弦楽器はヴァイオリン（ヴィオラ・ダ・ブラッチオ）属のヴァイオリン，ヴィオラ（バロック期の「擦弦楽器一般」から意味が変わり，現在ではヴァイオリンより 5 度低いヴァイオリン属の楽器を指す），チェロと，ヴィオル属の生き残りのコントラバスの 4 種になっている。コトラバスが生き残った理由は，その音域ではメリハリの利いた音を出す必要がないので，その音域のヴァイオリン属の楽器は必要がなく，作られなかったからである。

コントラバスのフランス式の弓の持ち方はヴァイオリン属と同じでオーバーハンドであるが，ドイツ式の弓の持ち方はアンダーハンド的である。これがヴィオラ・ダ・ガンバ属の弓の持ち方の名残りなのか，単にフロッグ（毛を弓の木部に取り付ける手元側の部品）の形状的な理由に起因するのかは不明である。

現在のコントラバスの運弓はドイツ式の弓でもヴァイオリン属と同じように強拍をダウンボウで弾く。コントラバスは，現在でも基本的にはヴィオル属であるが，古楽器という意識は普通はない。現在，新しく作るコントラバスにつ

† ヴィオラ・ダ・ガンバとヴァイオリンは調弦が異なるのと，音の質や奏法が異なるので，それぞれに適した音楽が異なるということもあって，そのまま楽器だけを入れ替えるということは作曲家としては避けるのが普通。

いては，バスバーを付け魂柱を立て，フレットを付けないのが普通で，響孔はほぼ「f 字孔」で，ほとんどの場合，裏板は隆起している。そういう意味ではかなヴァイオリン化しているが，なで肩が多く，4 度調弦は必ず守っている。図体が大きいので気づきにくいが，表板・裏板はオーバーハング（側板から少しはみ出し）になっているし，ネックの付け根の胴体部分がヴァイオリン的な肩になっているものもときどき見かけるが，5 度調弦のコントラバスは見たことがない。

（**5**） **ヴィオラ・ダ・ガンバのヴァイオリン化**　ヴィオル（ヴィオラ・ダ・ガンバ）属とヴァイオリン（ヴィオラ・ダ・ブラッチオ）属は，バスバーと魂柱の有無，板の厚さ，ボディの厚さなどの違いによって，音響特性がかなり異り，ヴァイオリンのほうが大きい音を高音まで出せる。16〜17 世紀はほとんどのヴァイオリン製作者がヴィオラ・ダ・ガンバも製作していた（というよりも，むしろヴィオラ・ダ・ガンバやリュートの製作者がヴァイオリンも作り始めた）こともあって，16 世紀後半になるとヴァイオリンの利点をヴィオラ・ダ・ガンバに取り入れる楽器製作者が現れ，バスバーや魂柱をもつヴィオラ・ダ・ガンバが出現した。ただ，板の厚さやオーバーハング（表板・裏板が横板よりもせり出している形）あるいは裏板の隆起などを取り込むということはしなかった。5 度調弦ももち込まれなかった。多分これは 6 弦 5 度調弦というような音域が必要なく，和音を重音で弾くためには 4 度調弦のほうが押弦しやすいし，もしやろうとしても，高音弦の張りの強さに薄いボディの板が耐えられなかったのであろう。ただ，現在ヴィオラ・ダ・ガンバを作る場合は，コントラバスを除いて，楽器としての機能の向上よりも古楽器の音の再現に重点が置かれるので，魂柱やバスバーは入れないはずである。

（**6**） **18 世紀になっても，まだヴィオラ・ダ・ガンバの奏者がいた**　J. S. バッハはヴァイオリンのための曲を多数書いたが，ヴィオラ・ダ・ガンバのための曲も少しだけ書いている。バッハが死んだのが 1750 年であるので，このころにはヴィオラ・ダ・ガンバはほとんど衰えていたと考えられるが，18 世紀に入ってからも，ヴィオラ・ダ・ガンバを弾く著名な奏者がいた。

1. マレーとフォルクレイ

   特にフランスは独自にパルドュッシュ・ド・ヴィオル（ディスカントよりも高音域のヴィオラ・ダ・ガンバ）を産み出したくらい，ヴィオラ・ダ・ガンバに熱を入れていたので，1782 年にヴィオッティがストラディヴァリウスをもってパリで演奏会を開くまで，ヴァイオリンのよさに気づいていなかったのか（わかっていても，必ずしも乗り替える必要はないが），ヴァイオリンが広まった後にもヴィオラ・ダ・ガンバを弾き続けた名手がいた。マレー（Marin Marais, 1656-1726）とフォルクレイ（Antoine Forqueray, 1671-1745）である。優しい弾き方をしたマレーに対して，フォルクレイの弾き方は激しかったので，「天使のようなマレー」，「悪魔のようなフォルクレイ」として対比される。

2. アーベル

   ドイツにはこの二人よりもさらに 1 世代ほど後の時代に，まだヴィオラ・ダ・ガンバ専門の奏者がいた。ヴィオラ・ダ・ガンバ最後の名手と呼ばれるアーベル（Carl Friedrich Abel, 1723-1787）である。父は J. S. バッハと同時代にケーテンの宮廷楽団のヴィオラ・ダ・ガンバとチェロの首席奏者であった Christian Ferdinand Abel で，その息子フリードリッヒはバッハの推薦でドレスデンの宮廷楽団に入り，10 年ほど後に，イギリスの王妃の室内楽奏者になり，そこで演奏会を頻繁に開いたとされる。J. S. バッハの 11 番目の息子ヨハン・クリスチャン・バッハとのロンドンでの定期的なコンサートの共同運営でも知られる。ドローン弦をもった低音域のヴィオラ・ダ・ガンバ属の楽器バリトン（ヴィオラ・ディ・ボルドーネ）も弾いたらしい。ヴィオラ・ダ・ガンバはアーベルのロンドンでの最後の演奏会以後，20 世紀前半に古楽器復興運動が興るまで失われていたとされる。

（**7**） **アルペジオーネ：ヴィオラ・ダ・ガンバの亡霊？**　シュタウファー（Johann Georg Stauffer）という楽器職人が 1824 年にビウエラ・デ・マノ（バロックギターの前身楽器）とビウエラ・デ・アルコ（ヴィオラ・ダ・ガンバの前

身楽器）のハイブリッドのような楽器を作った。それは，ヴィオラ・ダ・ガンバの亡霊のような楽器で，ギターのような胴形状でフレットを備えた 6 弦 4 度調弦の擦弦楽器であった。19 世紀初頭は，パガニーニが派手な演奏で脚光を浴びていて，擦弦楽器としてはヴァイオリンが隆盛をきわめていた時代であった。

それまでヴァイオリン製作者として最高の評価を得ていたシュタイナー（Jacob Stainer）や，ニコロ・アマーティ (Nicolò Amati) が作ったヴァイオリンに代わって，アマーティの弟子であったストラディヴァーリ作のものの評価がそれらを凌駕するようになってきた時代であり，ヴィオラ・ダ・ガンバが廃れてから半世紀ほど経っていた。1824 年はナポレオンが退位してからちょうど 10 年後で，貴族社会が徐々に市民社会に変貌を遂げつつあった時代であるが，まだ貴族は芸術面では勢力を保っており，画家や音楽家の活動支えていた。

バロック時代から貴族は自分で楽器を弾くことを好んだ。ヴィオラ・ダ・ガンバはフレットがあったのでとりあえずは弾きやすく，貴族が一家でいろいろな音域のヴィオラ・ダ・ガンバを使って合奏を楽しめた。ところが，ヴィオラ・ダ・ガンバは流行遅れの楽器になり，世はヴァイオリン属が幅を利かせるようになってきた。当時はまだ現在のヴィオラのサイズが標準音域であったが，徐々に高音域が好まれるようになり，ヴィオリーノ・ピッコロ（通常のヴァイオリンより 4 度上）も作られていた。ヴァイオリンはフレットがないため特に高音域の音高を正確に弾くのは難しく，素人にはとっつきにくい。さらに，ヴィオラ・ダ・ガンバでは簡単に弾けた多重音が特に難しくなり，かつヴィオラ・ダ・ガンバでは 6 重音まで弾くことができたのに，ヴァイオリンでは 2 重音までしか弾けなくなくて，かつそれでさえ難しくなっていた。

シュタウファーは多分この状況を察知して，演奏家として素人の貴族が弾きやすい，ヴィオラ・ダ・ガンバに代わる擦弦楽器を作ろうとしてビウエラに注目したのであろうと考えられる。ビウエラは撥弦型も弓奏型もヴィオラ・ダ・ガンバと同じ 6 弦 4 度調弦で，高齢の貴族で昔ヴィオラ・ダ・ガンバを弾いた経験があるという者が多く，なじみがあったので受け入れられやすかったはずである。表板は隆起しているが，裏板は隆起がなく，胴の外輪郭はギター型で

響孔の形は直線に近い C 形であり，指板は擦弦用に山型になっていて，フレットは金属製の固定型で第 24 フレットまでついている。音はヴァイオリンなどよりも小さいようで，魂柱やバスバーはついていない。板はギター的で，ヴァイオリンよりも薄いようである。チェロのように左手で立ててもって，右手で弓を使うが，強拍がダウンボウかアップボウかは，調べた限りではどこにも書かれていない。バロックボウの毛を少し緩めておけば，少なくとも 4 弦くらいは同時に弾くことができたはずである。ただし，3 弦を同時に弾くと多分中央の弦が上下の弦よりも強く弾かれることになる。調弦は現在のギターと同じ 4 度調弦で，E2-A2-D3-G3-B3-E4 なので和音のアルペジオは弾きやすい。楽器の名称はここからきている。

（a） **アルペジオーネはなぜ広がらなかった？** アルペジオーネのフレットは金属製のものが指板に埋め込まれており，通常は位置の微調整ができないので，和音を奏する場合に高さの微調整がしにくい。ギターやピアノでは発音直後は音が大きいがすぐに減衰するので，和音を弾いたときに基本周波数が簡単な整数比になっていなくてもそれほど気にならないが，擦弦楽器のように音が大きいまま持続する場合の和音がきれいに響くためには，その基本周波数が簡単な整数比になっていないと，高調波間のうなりが多数発生して音が濁る†。アルペジオーネは固定フレットであるので演奏しながらの音高の微調整が難しく，純正律で和音を弾くことが困難なので，ほぼすべての和音が純正律にできなかったはずで，少し耳のいい奏者・聴衆ならイライラしたはずである。アルペジオーネが開発後ほとんど広まらないうちに衰退してしまった理由は，音が小さいという難点以外に，このような大きな欠点があったからであろうと考え

† ヴァイオリンによるこの例を，Rundbogen を使った演奏で音とアニメーションのファイルに入れておいた。Otto B̈127 uchner の演奏による “Ciaconna”に入っている。ほぼ純正律で弾いている Rudolph Gähler の “Ciacone” と比べると，和音が濁っている。華やかな音に聞こえるともいえるが，きれいなハモりになっていない。Otto B̈127 uchner はベルリン・フィルのコンサートマスターを務めた奏者で，演奏技術は高いはずである。3 弦で純正律のきれいな和音を弾くのは，それほどの奏者をもってしても難しいほどの技術を要するもので，素人奏者には 2 弦でも押弦での重音は難しく， フレットがないとほとんど不可能と言える。

られる。

この欠点をなくすために，後になって，フレットの位置を弦ごとに個別に調整できるアルペジオーネが開発された。ところが，ちょっと考えればわかるように，フレットの位置をどんな和音にも簡単な整数比に固定するのは不可能で，弾こうとする曲の調とその関係調の和音を純正律で弾けるというようにするのが関の山で，それも厳密にはできない 。平行調（例えばハ長調とイ短調）のレは共通にできない）【付録 D.1.4 項 (3) 参照】からである。

この楽器は現在では復元楽器以外ほとんど存在しないので，この楽器のために書かれたシューベルトの「アルペジオーネ・ソナタ」【⬇: 音のファイル \付録関係 \4. 諸資料 \(b) Viola da Gamba 系の中の b-3 Schubert-Arpeggione-Sonata の Arpeggione.wav】は，現在では通常チェロで演奏される。この曲は 1824 年に書かれたが，楽譜が出版された 1871 年には楽器はすでに過去の楽器として葬り去られていた。イタリア語の arpeggione という楽器名は，上記のようにアルペジオが弾きやすいからであろう。その他の言語では，形状から英語では guitar violoncello，ドイツ語では Gitarre-Violoncell，フランス語で guitare d'amour と呼ばれる。

シューベルトの友人で，アルペジオーネ・ソナタはこの人のために書かれたとされるシュスター（Vincenz Schuster：ca.1787 - ca.1863）が 1825 年に教則本「シュタウファー氏の新開発ギターチェロ習得の手引書」を出版[64] している。Stauffer の作った 1824 年製の楽器は Leipzig の Grassi 楽器博物館に保管されている。

（b） エレキ・アルペジオーネ？　2011 年の楽器フェア（横浜）で，エレキギターを擦弦にした楽器を見た（**図 G.17**）。エレキギターのように肩からベルトで吊して保持し，エレキギターのようなボディー形状で，フレット付きで，右手で弓を上下に擦るようになっていた。不注意にしてその楽器名を見ておくのを忘れたが，調弦はギターと同一で，ヴィブラートは，ギターでできる程度のことは可能である。右手の動かし方が不自然で，あの姿勢での演奏は無理があるように思えたが，ギターを弾く姿勢をとらなくていいのなら，あれをヴィ



図 G.17 擦弦エレキギター

オラ・ダ・ガンバのように立てて弾くようにすれば，その問題は解決できると考える。つまり，エレキ・アルペジオーネにすればよい。

G.2.3 ヴァイオリンは結局何から生まれたの？

（1） 基になったのはリラ・ダ・ブラッチオとレベック ヴァイオリンの前身楽器の 1 つリラ・ダ・ブラッチオは中世フィドルが進化したものであるが，その前は 10 世紀ころのビザンティン・リラ（石棺の彫刻に残っている）にまで遡ることができ，リラ・ダ・ブラッチオは西アジア経由でヨーロッパに伝わったリラが，現在「中世フィドル」と呼ばれる多様な擦弦楽器に発展したものの一形態である。ヴァイオリンのもう 1 つの前身楽器レベックは，胴形状の類似性からビザンティン・リラよりも前のクレタ・リラ，さらにはラバーブにまで遡ることができるが，これはアラブ圏で広まった擦弦楽器で，地中海経由でヨーロッパにも伝わって行ったと考えられている。

レベックはリュートとともに 16 世紀半ばまでにヨーロッパで広く使われ，Praetorius の “Syntagma Musicum”（1614~1620）にはかろうじて名前が残っているが，バロック期には消滅している。

（2） ヴァイオリン誕生直前の状況 リラ・ダ・ブラッチオが，レベックの横刺しペグでフレットなしという特徴を取り入れ，ドローン弦をもち水平ペグでフレットなしの**リラ・ヴィオーラ**† になった。リラ・ヴィオーラからドロー

† 「ヴィオラ（ヴィオラ・ダ・ガンバを指す）的なリラ」の意（イタリア語の形容詞は名詞を後ろから修飾する）で，ペグが水平刺しになり，ペグボックスが木の葉型から箱型になってそのアタマにスクロール（渦巻き）を彫るようになったのを「ヴィオラ的な」と呼んだもの。図 G.14 に写真がある。これは Girolamo(Hieronymus) Amati 1607 年（最初のヴァイオリンが生まれてから半世紀以上後）作のきれいなもので大阪音楽大学のサントリー楽器コレクションのものであるが，残念なことに「リラ・ダ・ブラッ

弦を廃し，レベックの 3 弦 5 度調弦取り入れた試作的な 3 弦のヴァイオリン † などに描かれている。が 1530 年より少し前にできた。3 弦では高ポジションまで使わないと音域が足りないことが多いので，すぐに 4 弦になったが，これが最初の真の**ヴァイオリン**である。ヴァイオリンとヴィオラ・ダ・ガンバは同じような形をしていて同じような音を出し，リラまで遡れば同根であるが，上記のように発展の経緯が異なるので，別系統の楽器である（付録 I の「リラ」の項を参照。　ヴァイオリンとヴィオラ・ダ・ガンバの対比は表 2.1 を参照）。

表 2.1 の「響孔の形」では，ヴィオル属が「C」でヴァイオリン属が「f」としてあるが，「f」字型の響孔はリラ・ダ・ブラッチオの時代から現れていた。現存のものでは，1511 年の Giovanni d'Andrea のものでは飾り付きの「C」であるが，1525 年の Giovanni Daria のもの（Ashmolean Museum 所蔵）は「f」になっている。1563 年の Francesco Linarol のもの（Rawlins Gallery, Ex Coll. W. E. Hill, London）は「f」のように縦に長いが中央に切れ込みのない「$\int$」である。Andrea Amati による最初の 3 弦ヴィオラ・ダ・ブラッチオ（ヴァイオリンと認定された最初の楽器）は 1530 年頃の作とされ，4 弦のものができたのは 1550 年以前と考えられている[45] が，1561 年に Gasparo da Salò が 4 弦でコーナーが 2 つしかないリラ・ヴィオーラ（図 E.54(e)。リラ・ダ・ブラッチオからヴィオラ・ダ・ブラッチオへの過渡的な楽器）を作っているとか，フレットをガットで巻き，表板のコーナーがつまんだような彫り方で，響孔の形が「C」の 5 弦リラ・ヴィオーラが残っているなど，長い過渡期間には図 G.10 に示すようなさまざまなヴァリエーションが存在した。

（3） 16〜17 世紀の弦楽器つくり　バロック期には，擦弦楽器としてヴィ

チオ」と説明されている。この誤りは，前の所有者であった Yale 大学以来の間違いである。リラ・ヴィオーラをリラ・ダ・ブラッチオの一変種と呼べないこともないが，リラ・ダ・ブラッチオは通常，「ペグボックスが木の葉型でペグが垂直刺し」のものを指し，大阪音大のものは「渦巻きヘッドに水平ペグ」なので，明らかに別種である。

† Gaudenzio Ferrari(ca.1471-1546) による Vercelli（ミラーノの西南西約 50 km）の San Cristoforo 教会の「オレンジの聖母」や Saronno（ミラーノの北西約 20km）の Santa Maria del Miracoli（奇跡の聖マリア）大聖堂 のフレスコ画「Coros Celestiales（天上の合奏）」（図 H.24)

オラ・ダ・ガンバ属（「脚の擦弦楽器」属。英：ヴィオル属）が，柔らかい音を出すということで，主として王侯・貴族の間で好まれていたが，1530 年ころにリラ・ダ・ブラッチオ（腕のリラ）から発展して作られ始めたヴィオラ・ダ・ブラッチオ属（「腕の擦弦楽器」属。後のヴァイオリン属）のほうが同質できれいな高音がでて，奏者に技術さえあれば重音をきれいにハモらせやすいことから，徐々にヴィオラ・ダ・ガンバにとって代わるようになった。ヴァイオリンと呼べる楽器[†1]は，5 度調弦をレベック（3 弦 5 度調弦）から取り入れたということと，ヴァイオリン型の 3 弦の楽器を描いた 1530 年頃の絵（図 H.24）があることなどから，1530 年頃に作られた最初のものは 3 弦で，次項で詳しく述べるが，多分アンドレア・アマーティ[†2]（Andrea Amati：ca.1505-ca.1580）が作ったと推定され，これが 1540 年ころに 4 弦のものになったとされる[45)]。

（4） **最初にヴァイオリンを作ったのはどこの誰？** ヴァイオリンが生まれる前の弦楽器（主としてリュートやヴィオラ・ダ・ガンバ）の製作の拠点としては，イタリアのブレッシア（Brescia, ミラーノの東約 50 km），ボローニャ，マントーヴァ，ヴェネチア，ドイツのフュッセン（Füssen, インスブルックの北西約 50 km），フランスのリヨン，ミルクール（Mirecourt, ナンシーの南約 20 km），などが挙げられるが，3 弦のヴァイオリンを最初に作った人物については，残された楽器の調査や時代考証が進んだ結果，従来の定説[†3]は否定され，クレモナ（Cremona, ミラーノの南東約 80 km）のアンドレア・アマーティ（Andrea Amati, ca1505-ca1580）が消せない候補[58)pp.32–36,45)p.19]として残っているというのが実情である。

最初の 3 弦ヴァイオリンを作った可能性のある楽器作成者が種々検討され

---

†1 魂柱・バスバーをもち，フレットなしの擦弦で 5 度調弦。真のヴァイオリンは 4 弦であるが，黎明期のごく短期間は 3 弦であった。

†2 クレモナ派の始祖で，ストラディヴァーリの師匠となるニコロ・アマーティ（Nicolò Amati）の祖父

†3 20 世紀の半ばころまでは，最初に 3 弦のヴァイオリンを作ったのはティーフェンブルッカー（Kaspar Tieffenbrucker, ca1514-ca1570）か，もしくはブレッシアの東約 10km ガルダ湖畔の小さな町サローに生まれたガスパーロ・ディ・ベルトロッティ（Gasparo di Bertolotti, 通称 Gasparo da Salò，1540-1609）であろうと言われていた。

ては消えていった。19 世紀に候補の筆頭に挙がっていたのはフランスで擦弦楽器を作っていたティーフェンブルッカー †1 であるが，その根拠は，モンテヴェルディの「オルフェオ（L'Orfeo, 1607）」のスコアに「Violino piccolo a la Francese（フランス風の小さなヴァイオリン）」という楽器の指定があり，かつティーフェンブルッカーのラベルの付いたヴァイオリンがかなり多数あったからからであったが，ティーフェンブルッカーのラベルが付いた楽器はティーフェンブルッカーが作った他の楽器をヴィヨームがヴァイオリンに作り直したものであることが判明し，ティーフェンブルッカーは 4 弦のヴァイオリンを 1 本も作っていないと結論付けられた[45)p.39] ことから，最初のヴァイオリ製作者としては否定された。次に候補に挙がっていたガスパーロ・ダ・サローは生年が 1540 年であったことが判明したので否定された。その後，アンドレア・アマーティ（1511 以前 ~1580 以後）のラベルのある 3 弦ヴァイオリンが 2 本発見された[45)p.19] ということから，アンドレア・アマーティが最初のヴァイオリンを作っ人物と推定される最大の候補となっている。

アンドレア・アマーティは，フランスの宮廷（シャルル 9 世）からの大量[45),p.35] の注文 †2 を受けるなどで徐々にヴァイオリン製作はクレモナを中心に，ブレッシアなどの周辺の都市を含めて成長した。

（5） 弦　の　数

（a） 最初は 3 弦だった　ヴァイオリンは，形状についてはリラ・ダ・ブラッチオを継承したが，弦の数や調弦，ペグを刺す方向，フレットを付けない

†1 ドイツの弦楽器製作の 1 つの拠点であったフュッセン（Füssen：オーストリアとの国境の町。インスブルックの北西約 60 km）で生まれて，フランスのリヨンで大きな工房をもちリュートやヴィオラ・ダ・ガンバを作った大物の弦楽器製作者。フランス名風にしたカスパール・ドュイフォプルッガー Caspard Duiffopruggar，あるいは ギャスパール Gaspard Duiffoprugcar など異綴り多数。

†2 Jean Benjamin de La Borde "Essai sur la musique", Paris, 1780, p.356 によると，12 本の大きなヴァイオリン（ヴィオラ・ダ・スパラか？），12 本の小さなヴァイオリン（いわゆるヴァイオリン），6 本のテノール・ヴァイオリン（現在のヴィオラとチェロの中間のサイズの楽器），8 本のバス・ヴァイオリン（チェロ）の計 36 本の楽器。これらはヴェルサイユ宮殿に保存されていたが，フランス革命の過程で 1790 年 10 月に失われた[58)p.46]。そのうち 1564 年のヴァイオリン，1574 年のヴィオラなど，一部は Oxford の Ashmolean 博物館に残っている[45)p.35]。

など，多くの点をレベックから取り入れた。弦の数は，1529-30 年と 1535-36 年の絵（図 H.24）から，最初は 3 弦であったことがわかっている。

絵にはヴァイオリン属の 3 サイズ（ディスカント，アルト，バス）の楽器が描かれているが，どれも 3 弦であり，これらとは独立に 1542 年，1546 年と推定される Andrea Amati の 3 弦ヴァイオリンが現存する † （1546 年のものは 19 世紀初頭に 4 弦に改造された）ことから，最初に 3 弦のヴァイオリンを作ったのは Andrea Amati であろうと考えられている。ただし，バスサイズのもの（“violon da braccio ou violone ”）が 1520 年代には普通に使われていたという記述が Giovanni Maria Lanfranco の “Scintille di musica”（音楽の輝き，1533 年）にあると Boyden は書いている（Boyden[45)p.23]）。小型の楽器に関する Lanfranco の記述は “Violette da Arco senza tasti（フレットのない「弓の小ヴィオラ」）”で，5 度調弦で腕に載せて弾くとなっている。当時，擦弦楽器としてはヴィオラ・ダ・ガンバが一般化しており，その中でバス・サイズのものが最も人気があったので，試作的な楽器としてはバス・サイズが先に作られたのであろうと考えられるが，高音をきれいに出せる楽器を作ろうとして，先にディスカントサイズが試みられた可能性もある。

ヴァイオリン属は当初，ヴィオラ・ダ・ガンバ（脚のヴィオラ）属と区別するために，ヴィオラ・ダ・ブラッチオ（腕のヴィオラ）と呼ばれていたが，その中のディスカント音域のものが「ヴィオリーノ」（小型のヴィオラ。英語でヴァイオリン）と呼ばれた。「ヴィオリーノ」は 1550 年ころまでは 3 弦のものの指したが，それ以後は 4 弦のものを指したとされる。Boyden は 3 弦のものを “three-stringed violin（3 弦ヴァイオリン）”，4 弦のものを “true violin（真のヴァイオリン）”と呼んでいる (Boyden[45)p.29])。

（b） 4 弦になったのはいつ？ 1550 年ころまでに，3 弦ヴァイオリンの高音弦の 5 度上に 4 本目の弦が追加され (Boyden[45)p.29])，以後これが標準になった。16 世紀半ばにヴァイオリンの構造はほぼ決まったが，そのころか

† 1542 年のものは 1898 年にはミラノにあった（Giuseppe Strocchi:“Liuteria”, 1937, p.117）。1546 年のものは Cozio di Salabue 伯爵のコレクションのもの。

ら，楽器全体の大きさや細部にわたってさまざまな実験が試みられた。これに寄与したのがクレモナの Andrea Amati(ca1505-80)，ブレシアの Gaspao da Salò(ca1540-1609)，フュッセン－リヨンの Kaspar Tieffenbrucker(Gaspard Duiffoprugcar など異綴り多数。ca1514-71) などのリュートやヴィオラ・ダ・ガンバ製作者である。

数十年前までは最初にヴァイオリンを作ったのは Gaspao da Salò であろうとされていたが，年代考証が進むにつれて，それはあり得ないということになって，現在では 3 弦ヴァイオリン，4 弦ヴァイオリンともに，最初に作ったのは Andrea Amati であろうということになっている。Tieffenbrucker は多作の弦楽器製作者で，多種多様な弦楽器を作っているが，4 弦ヴァイオリンが 1 本も残っていないことから，3 弦ヴァイオリンも作っていないだろうと推定されている。Tieffenbrucker の作った楽器は 19 世紀にパリでヴァイオリンの製作と修理をしていた名工ヴィヨーム（Jean-Baptiste Vuillaume, 1798-1875）の工房から多数発見されたが，ヴァイオリンは修理の手が入れられたもの以外 1 本もなく，おもにリュートとヴィオラ・ダ・ガンバを作っていたと推定されている。

（6）「ヴァイオリン」のイタリア語「ヴィオリーノ」は早くから使われた

「ヴィオリーノ」の呼称はかなり初期からあったようで，Boyden[45] によると，神聖ローマ帝国のカール V 世（スペイン国王としてはカルロス I 世，フランスではシャルル V 世）とフランスのフランソワ I 世の間のイタリア戦争に関するニースでの 1538 年の講和会議にローマ教皇パウロ III 世が調停に来た際の式典の公式な記録に，ミラノからのヴィオリーノ奏者という記述があるとされている。これは，ヴィオラ・ダ・ブラッチオのアルト・サイズが（ヴィオラ・ダ・ガンバが衰退してガンバかブラッチオかの区別が不要になり，「ダ・ブラッチオ」抜きで）単に「ヴィオラ」と呼ばれるようになるよりも 200 年以上早い。なぜ，元は女性形であったヴィオラに対して男性形の縮小辞 “-ino” を付けたのかはわからない。ヴィオラ・ダ・ガンバの教則本 “Regola Rubertina” (直訳は「盗んできた規則」) を書いたガナッシ（Sylvestro Ganassi）は，ヴィオル属を “ヴィオラ・ダ・ガンバ”，ヴァイオリン属を “ヴィオラ・ダ・ブラッチオ” と名付け

て区別しようとしている。

この時期の擦弦楽器の名称に関する混乱について Boyden は，16 世紀初頭の “violin”[英], “violino”[伊], “violon”[仏] は一般にヴァイオリン属の小型のものを意味し，イタリア語では “Lira”, “violetta” もヴァイオリン属の楽器を意味し, さらには “rebecchino” までもが特定の文脈の中では小さいヴァイオリンを意味し，一方 “viola da braccio” はヴァイオリン属全体を意味したとし，さらに，“violino”[伊], “violon”[仏] は 1525 年ころから 1550 年では初期の「3 弦ヴァイオリン」を，1550 年以後は 4 弦の「真のヴァイオリン」を意味した，としている（Boyden[45] p.29）。

“violon” が 4 弦の「真のヴァイオリン」を指すと指摘したのは Jambe de Fer の “Epitome musical”(「音楽梗概」，1556 年) である。

（**7**） **魂柱やバスバーのアイデアはどこから？** ヴァイオリン属がレベックから継承したのは 5 度調弦と水平ペグで，その他，多くの特徴はリラ・ダ・ブラッチオ属（大型のものはリラ・ダ・ガンバ）から継承した。Brescia のジョヴァンニ・マリア・ダラ・コルナ（Giovanni Maria dalla Corna）1525 年作のラベルが貼ってある（1575 年ころのものと推定されている）リラ・ダ・ブラッチオが Oxford 大学の Ashmolean 博物館のヒル・コレクションにあり，これにはバスバーはないが魂柱がある。1525 年なら最初の 3 弦ヴァイオリンよりも数年前であるが，1575 年ならヴァイオリンが 4 弦になってから 30 年余り後である。中世フィドルですでにコマの脚が表板を貫いているものがあり，実験的にも裏板を振動させる試みは古くからあったようで（**図 G.18**），クルースもコマの低音側の脚（ドローン弦の下）が響孔を貫通して裏板に立ててある。低音弦側の脚を立てるべきか高音弦側の脚を立てるべきかは，試して検討したはずである。ヴァイオリンで魂柱になる「コマの脚」をコマから切り離したのは，コマの脚を延ばすのではコマが不安定になるという状況を避けるためであろう。バスバーは，当初は表板を補強するという意味合いのほうが，コマの回転運動のセンターを固定するためというよりも強かったはずで，想定外の効果があることを経験的に知ったのであろう。

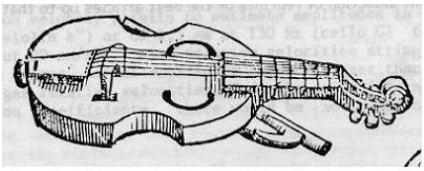




図 G.18　表板を貫通するコマの脚。左：ヴィオラ・ダ・ガンバらしき楽器のコマの高音側の脚が表板を貫いている絵。Universitätsbibliothek von Reutterliedlin, printed by Christian Egenolph, Frankfurt am Main(1535) cited by Ephraim Segerman:“The Development of European Bowed Instruments”。中：コマの高音側の脚が，表板を貫いて裏板に立ててある。歌弦が不安定になるので，バスバーを付けるか表板を厚くしないと音は弱くなる，との説明がある。右：クルースのコマの左脚は表板を貫通している。“vihueladearco.blogspot.se”

ガナッシ（Sylvestro Ganassi）は 4 弦 5 度調弦をヴィオラ・ダ・ガンバで試してみる方法を 1543 年の “Regola Rubertina”で示しており，ヴィオラ・バスタルダは 7 弦なので，そのコマおよびナット（ペグボックス側の弦の位置を決める枕状の部品）はそのままで溝を切り直すことなく 1 か所おきに使えば 4 本張ることができるとしている。ただし，ヴィオラ・バスタルダはバスサイズしかないので，4 弦 5 度調弦はチェロ音域の調弦のシミュレーションしかできないことになる。（弦はそれでいいが，魂柱とバスバーがないので，音質はもちろんヴィオラ・ダ・ガンバのままである。）

通常の 6 弦のディスカント・サイズ，アルト・サイズについては，少なくともコマの溝を彫り直す（新しい駒を使う）必要がある。ペグは 6 本あるので，その内の適当なもの 4 本を使えばよいが，ナットとコマの溝は 6 本の内の 4 本を使うことになり，内側の 4 本を使うと弦間隔が詰まりすぎ，他にどのように使っても偏ったり，弦間距離が不均一になるので，都合が悪い。

（8）**初期のヴァイオリンとそれを取り巻く状況**　16〜17 世紀の貴族社会では擦弦楽器として低音域のヴィオラ・ダ・ガンバが好まれており，ヴァイオリン属は当初それを弾くことによって生計を立てる下級階層の楽士が弾くダンス音楽演奏用の下賤な楽器とみなされていた。これには，ルネッサンス後期か

らバロック期にかけて，次のような社会的な状況があったからであろうと考えられる。

1. まだ中世の延長で，封建制の下で，貴族階層が社会を支配していた。
2. 音楽は時間を過ごすためのもので，食べるためのものではない。
3. ヴァイオリンを弾く者は，通常それで生計を立てる職業楽士。

図 G.19 に当時の状況を表す絵画を示す。貴族には「自分で弾ける（ないしは家族で合奏できる）楽器が好ましい」という願望があったが，ヴァイオリンを弾くにはヴィオラ・ダ・ガンバを弾くよりも技術を要したので，「ヴァイオリンを弾くのはそれで生計を立てなければならない下賤の輩」という貴族の見方はヴァイオリンを弾けない貴族の負け惜しみともとれる。

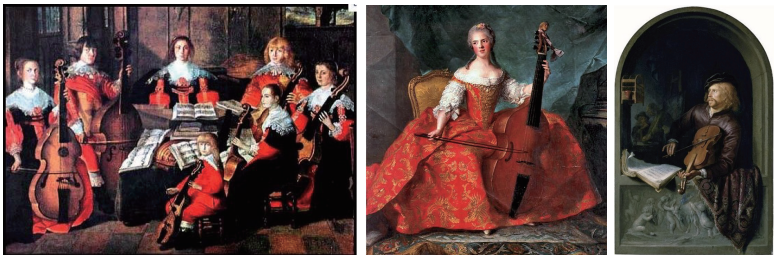


図 G.19 17〜18 世紀の状況を示す絵画。左：アルベール・フレイゼ「小アウグスト公とその家族（部分）」1645 年，中：ジャン=マルク ナティエ「フランスのマダム・アンリエット」1754 年。右：ヘラルド・ドウ（レンブラントの一番弟子）「ヴァイオリン弾き」1653 年

（9） 現存する最古のヴァイオリン譜　ヴァイオリンが世に出てきたとき，貴族社会では邸宅内で家族で種々のサイズのヴィオラ・ダ・ガンバを使った合奏を楽しむことが一般化しており，ヴィオラ・ダ・ガンバ属の中ではバス音域のものの人気が高かった。その状況は，フレットがあることによって，とりあえずは誰にでもとっつきやすいということと，音楽はゆったりとした気分で楽しむものという認識があったからと思われる。ヴィオラ・ダ・ガンバは音をあまり大きくできないが，邸宅内のそれほど広くない部屋で弾くには十分な音量であった。ただし，高音が少しザラつくという欠点があった。

そこに大きな音を出すことができて，高音もきれいというヴァイオリンが出てきたが，フレットがないので，最初の障壁が少し高いというのが，演奏に関して素人である貴族にとっては難点であった。一方，巷にはダンス音楽の演奏や歌の伴奏をする辻音楽士のようなものが現れて，金をとってヴァイオリンを弾くという形ができてきた。それで，貴族は自分で演奏できないという負け惜しみもあってか，「音楽は余った時間をつぶすためのもので，それで生計を立てる道具ではない」というような表現で，上流音楽階層としてはヴァイオリンを見下していた。そのような状況で，ヴァイオリンはちゃんとした音楽を弾くための楽器としてなかなか認められず，その楽器のための音楽として楽譜に残すような音楽がなかなか出てこなかった。

フランスの宮廷では 1555 年にイタリアからヴァイオリンのダンスバンドが来て以来，ヴァイオリンに合わせて踊るのが一般化し，病弱だったフランソワ二世（在位 1 年で 1560 年没）の母親（Medici 家のカトリーヌ）と，スコットランドから来た女王（フランソワ二世の妻）メアリーが共にダンス好きで，1573 年にカトリーヌはフランソワ二世の跡を継いで王になったシャルル 9 世の代理として，ポーランド大使をバレー「ポロネーズ」（フランスの 16 州を代表する 16 人のダンス）でもてなした。記録によると，30 丁ほどのヴァイオリンで奏でられたその音楽は「聴いたことがないほどメロディアス（“la plus melodieuse qu’ on eust sceu voir”）」であったらしいが，楽譜は残っていない。

ダンスによるエンターテインメントはカトリーヌの 3 男アンリ 3 世の治世（1574-1589）に最高潮になり，この時代で最も有名な「女王のバレー “Circé ou le ballet comique de la reine” （「キルケー」：ギリシャ神話「オデュッセイ」に出てくる魔女の名前）が 1581 年 10 月 15 日にルーブル宮に隣接するブルボン家の大ホールで催された。これは王の寵臣であった公爵アンヌ・ド・ジョワイユーズ（Anne de Joyeuse）と女王の妹ヴォーデモン（Vaudemont）の結婚披露宴であるが，これには王家の結婚式というよりもフランスの財力を誇示するという政治的な意図で莫大な金が使われたとされ，総監督バルタザール・ド・ボージョワイユー（Balthasar de Beaujoyeulx，ヴァイオリン奏者，振付師）

の下に，ランベール・ド・ボーリュー（Lambert de Beaulieu，歌手）とジャック・サーモン（Jacques Salmon，ヴァイオリン奏者）が作曲を担当し，詩，音楽，ダンス，美術，服飾，などを包含する芸術祭のようなものであった。現存する最古のヴァイオリン譜とされる「女王のバレー」の冒頭部分を現在の記譜法で書いたもの（Boyden[45)p.56]）を**図 G.20** に示す。

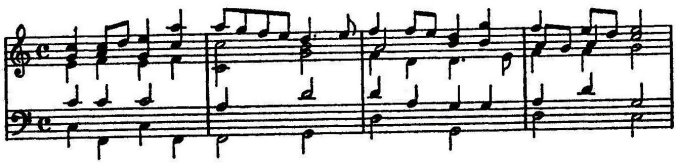
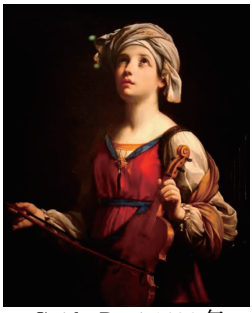


図 G.20 「女王のバレー」(1581) の冒頭部分（Boyden[45)p.56]）

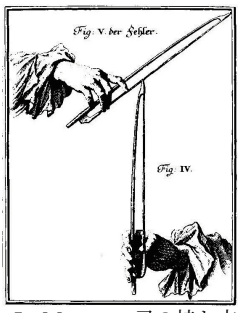
(10) 在来楽器としてのヴィオラ・ダ・ガンバと新しい楽器ヴァイオリン

16 世紀後半から在来楽器としてのヴィオラ・ダ・ガンバと新しい楽器ヴァイオリンの長い共存期間が始まったが，ヴァイオリンのほうがヴィオラ・ダ・ガンバよりも高音をきれいに出せたので，ヴィオラ・ダ・ガンバを弾いていた人がヴァイオリンに乗り換えるという状況が起きた。ヴィオラ・ダ・ガンバとヴァイオリンでは楽器の保持方法や弓の持ち方・使い方が異なるが，ヴィオラ・ダ・ガンバの保持方法（両脚で挟む，あるいは膝の上に立てて持つ）や弓の持ち方（弓を下から持って毛の張りを薬指で調節する）さらには運弓法（強拍はアップボウ）を引きずる人が 18 世紀に入ってもまだ多かったことが，音楽の聖人サンタ・チェチリアを描いた絵画（**図 G.21** 左 2 枚）からもわかる。

ヴィオラ・ダ・ガンバから乗り換える人が多かったらしく，ヴァイオリンの奏法が浸透するのには長い年月がかかったようで，18 世紀の半ば（ヴァイオリンの発祥から 2 世紀以上，クレモナの全盛期が終わった後）になっても，音楽教師であった L. モーツァルト（アマデウスの父親）はヴァイオリンの教則本[59)]でヴィオラ・ダ・ガンバとの構え方や弓の持ち方，運弓法の違いを絵入りでクドクドと説明しなければならなかった（図 G.21 右）。


Guido Reni 1606 年


Bernardo Cavallino 1645 年



L. Mozart：弓の持ち方

図 G.21　ヴァイオリン出現後約 70〜110 年の「聖チェチリア」の絵 2 枚と教則本での弓の持ち方の注意
左：ヴィオラ・ダ・ガンバの持ち方になっている。中：右手親指で毛を持っている。右：L.Mozart の教則本 (“Violinschule”, 1756 年)（「Fig.V はダメで Fig.IV のように持て」としている）

(11) ヴィオラとチェロの間の楽器は忘れ去られた　現在のヴィオラの音域はヴァイオリンの音域よりも 5 度下，チェロの音域はヴィオラの音域の 1 オクターヴ下である。音域からわかるように，ヴィオラ・ダ・ブラッチオ属（ヴァイオリン属）には，現在のヴィオラとチェロの間のサイズの楽器があったが，現在では使われていない。その存在すら忘れられてしまったと言える。現在のヴィオラはヴァイオリンと同様に左肩と顎の間に挟んで弾くが，チェロはヴァイオリン（腕のヴィオラ）属ではあるが両脚の間に立てて弾く。

現在のヴィオラとチェロの間のサイズのヴィオラ・ダ・ブラッチオ属の楽器はヴィオラ・ダ・スパラ（肩のヴィオラ）あるいはヴィオロンチェロ・ダ・スパラと呼ばれたものであろうとされ，現存する楽器にある紐掛けのためと考えられるパーツから，それは紐で首に掛けて弾いたと考えられている。

図 G.22 に復元楽器の研究家・奏者の S. Kuijken 氏のヴィオラ・ダ・スパラを示す。写真ではわかりにくいが，この楽器はヴィオラよりも横板がかなり高く，肩と顎で挟むのは無理なので紐で首に掛けている。弓はバロックボウを使っている。ヴァイオリン属がヴァイオリン，ヴィオラ，チェロだけになったのは，チェロの指板を延ばしたことによって高域まで弾けるようになり，チェロとヴィオラの間の楽器の必要性がなくなったからであろうと思われる。



図 G.22　ヴィオラ・ダ・スパラの復元楽器。奏者は Sigiswald Kuijken 氏

チェロよりも低音域の擦弦楽器として，洋楽オーケストラはヴィオル属の最低音域楽器であったコントラバスを用いているが，その理由はそれでその音域の音は十分出すことができ，かつ通常は最低音域ではそれほどメリハリを付けた速い演奏をする必要がないからである。コントラバスは新しく作られるものについては，フレットを付けず，裏板が隆起し，響孔は f 字形になり，外部から見えない所では魂柱やバスバーをもつなど，種々の点でヴァイオリン化されている。ただし，ボディ上部がなで肩であることと 4 度調弦であることでヴィオル属であることを維持・主張している。通常，コントラバスは 4 弦で最低音は E1 であるが，下に B0 あるいは C1 弦を補った 5 弦のものもある。「音楽大全」にも 5 弦のものが出ている（図 H.54 右）。

この 17 世紀前半の図のコントラバスでも，外形はヴァイオリン型で，響孔はすでに「f」になっている。ただし，5 弦でフレットはまだ残っており，ネックの付け根は「なで肩」である。弓は，ヴィオラ・ダ・ガンバやヴァイオリン用のバロックボウ（次項で説明）を大きくしたようなものが描かれている。

(12) ヴァイオリン作りの最盛期の状況　ここで，4 弦になってからのヴァイオリンの製作者のことを述べておこう。**図 G.23** に 16〜18 世紀にヴァイオリンを作っていた都市の地図を示しておく。

(a) クレモナとブレッシア，アプサム　Andrea Amati は 1564 年にシャルル 9 世からの注文を受けていくつかのサイズのヴァイオリンをセットで作った[†]。当時は製作者の数も少なく，製作者一人あたりの製作ペースはせいぜい 1 本／週程度なので，総製作数は少なかったはずで，試作品を近在の奏者に評

[†] そのうちのいくつかは現在 Oxford 大の Ashmolean 博物館にある。

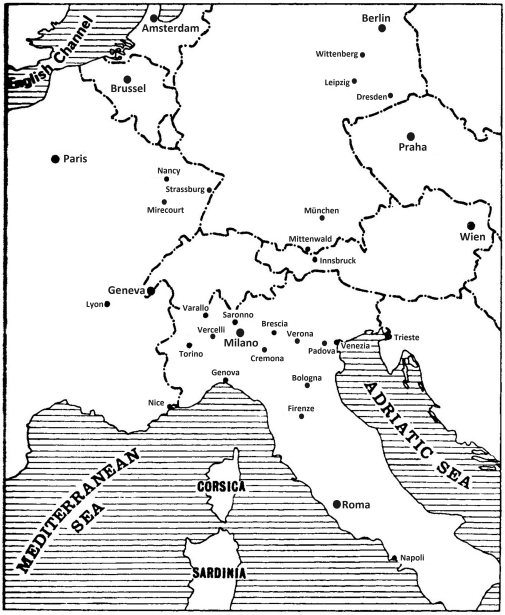


図 G.23　16~18 世紀にヴァイオリンを作っていた都市 (D. Boyden 著 “The History of Violin Playing from its Origins to 1761”[45] p.27 より 都市名表記を修正)

価してもらう程度で，4 弦ヴァイオリンを作る工房が増えて楽器商にある程度まとめて渡せるようになったのは 16 世紀後半以降と考えられる。

17 世紀になると, ヴァイオリンが 4 弦に定着してから半世紀以上経ち, ヴァイオリン製作の拠点も増えて生産態勢は整ってきた。クレモナでは Andrea の孫ニコロ (Nicolò Amati：1596-1684) が 1620 年代に父親ヒエロニムス (Hieronymus) から工房を引き継ぎ, アンドレア・グアルネリ †1 (Andrea Guarneri：1626-ante 1698) やフランチェスコ・ルッジェーリ †2 (Francesco Ruggieri：ca.1630-1698),

†1　ストラディヴァーリと並ぶ名工ジュゼッペ・グアルネリ (Bartolomeo Giuseppe Guarneri, 通称「グアルネリ・デル・ジェスー」) の祖父。晩婚だった師匠ニコロの結婚 (1645 年) での証人としての署名が残っているとされる。

†2　ニコロ・アマーティの工房を永く支えた。作風がニコロと似ていたのでニコロの晩年はニコロのラベルを貼って売ったものが多い。

ストラディヴァーリ† (Antonio Stradivari：ca.1644-1737)，などを徒弟として抱えて工房を大きくし，楽器製作のギルドの長となり，クレモナをヴァイオリン製作の中心地とした。ただ，まだヴァイオリンの改良のための試行錯誤は続き，形やサイズが微妙に異なるヴァイオリンが試され続けた。ニコロ自身も通常は少し小さいサイズを作っていたが，後に大きなサイズも試みている。ヴァイオリン作りの工房の多くは元はリュートやヴィオラ・ダ・ガンバを作っていた工房で，それらの多くはヴァイオリン作りが隆盛になってからもリュートやヴィオラ・ダ・ガンバを作り続けた。

現在，ネックをもつ弦楽器の製作者を意味するようになっている “Luthier” は，元は「リュート製作者」の意味で，それが拡大解釈されて弦楽器製作者になったもので，「リュート製作者」がヴィオラ・ダ・ガンバやヴァイオリンを，さらに現代ではマンドリンやギターまでも作っていることになるが，さすがにソリッド・タイプのエレキギターの製作者を “Luthier” とは呼びにくいようである。

弦楽器の工房はイタリアではミラノの近くのブレッシア，クレモナ，サロンノ，ヴェローナ，パドーヴァ，ボローニャ，南ではナポリ，ドイツとオーストリアとの国境近くのドイツ側のフュッセン（アウグスブルクの南南西約 80km の国境の街）やオーストリア側のアプサム（インスブルックの東北東約 10km)，フランスではナンシー，ミルクール（ナンシーの南約 80km)，パリ，リオンなどにあった。ブレッシアの Giovanni d’Andrea の工房のように，リラ・ダ・ブラッチオを作っていた時代から続いていた工房もある。ストラディヴァーリの

† ヴァイオリン製作の最高の名工とされる。1630 年のペストの流行後に生まれた Antonio を，父親 Alessandro がニコロ・アマーティの工房に 11 歳で徒弟として入れ，徒弟期間（12 年）の終了後，1667 年から自分単名のラベルを貼るようになった。自分の満足できる楽器ができたのは 1704 年作の “Betts” 以降とされる。以後，93 歳までほぼ 1 本／週のペースで作り続けた。よい材木を使った 1714-16 年のもの（“Messiah”, “Cremonese”, “Joachim”, “Lipinski”, “Dolphin”, “Duranti”, “Monasterio”, など）が最高とされる。ストラディヴァーリの子どもは誰もヴァイオリン作りを嗣がなかったので，工房は後妻の次男パオロがアントニオの弟子カルロ・ベルゴンツィ（Carlo Bergonzi, 1683-1747）に譲ったが，ベルゴンツィは譲り受けた数年後に死んだので，Stradivari 一族のヴァイオリン作りはそこで途絶えた。

工房があったクレモナは，始祖 Andrea Amati がブレッシアで修業した後に工房を開いたので，楽器製作都市としては比較的後発組である。

ヴァイオリンが開発され，4 弦のものが標準と決まると，各工房はこぞって新しい楽器の製作を始めたが，従来の楽器（リュートやヴィオラ・ダ・ガンバ，場合によってはリラ・ダ・ブラッチオ，リラ・ヴィオーラなど）を止めてしまったわけではなく。需要に合わせて（あるいは製作者の意思で）作り続けたはずである。

現在でもリラ・ダ・ブラッチオなどの古楽器を作っている製作者がいる。**図 G.24** の写真は，楽器フェアに出展されていた楽器群をバックにした無量塔(むらた)蔵六氏 (1927-2020) である。



図 G.24　楽器フェア 2011 での無量塔蔵六氏とその製作楽器群（手前にリラ・ダ・ブラッチオなどが見える）

アンドレア・アマーティ（ca1505-ca1580）が 1530 年の少し前に最初の 3 弦ヴァイオリンを作り，それを 4 弦にしてから，クレモナでは 4 弦ヴァイオリンの作成が軌道に乗り，多数の注文を受けるようになったと考えられている。最大の注文は前述のフランス王室からのもので，これによってもともと裕福な家系であったアマーティ一族はさらに潤ったはずで，工房を大きくすることができた上に，二人の息子アントニオとジロラモが跡を継いでアマ－ティ家は隆盛に向かうことになる。その後，ジロラモの息子ニコロ・アマーティ (Nicolò Amati,

1596-1684) が工房を大きくし，17 世紀半ばからグァルネリ・デル・ジェスー [†1]（本名は Bartolomèo Giuseppe Guarneri，1698-1744）が死んだ 1744 ころまで，クレモナがヴァイオリン製作拠点として全盛期を迎える。

ブレッシアは，クレモナが台頭してくる前は弦楽器つくりの中心的な都市であったが，ガスパーロ・ダ・サロー [†2] の弟子で，大きな音の出るヴァイオリンを作ったマッジーニ（Paolo Maggini, ca1580-1632）が死んだあと，急速に衰退した。

17 世紀前半から，アブサム（ティロル地方の小さな町）でシュタイナー（Jacob Stainer, 1617 or 1619-1683）が独自のヴァイオリンを作り始め，シュタイナーが作る隆起の高いヴァイオリンはその音の良さによって室内演奏に適しているということで，製作者本人の死後も高い評価を保っていたが，後継者がいなかったという事情もあって，シュタイナーの工房は一代で消滅した [†3]。

（b） アマーティ一族（クレモナ） 前記のアンドレア・アマーティを始祖とするアマーティ家は，アンドレアの 2 人の息子アントニオ (Antonio, 1540-) とジロラモ（Girolamo. ヒエロニムス Hieronymus とも。1561-1630）が跡を

[†1] 本名は Bartolomeo Giuseppe Guarneri（1698-1745）。Stradivari と並ぶ名工。ラベルに “IHS” という記号とともに十字架を描いたので,「イエス（キリスト）のグアルネリ」“G. del Gesù” と呼ばれる。作った楽器の数（現存は約 200 丁）がストラディヴァーリのものよりも圧倒的に少ないので, 希少価値が高い。Paganini が使った “Cannone”(1743) が特に有名。Stradivari が勤勉実直な努力家であったのに対して，わがままで怒りっぽく，自制心がなく，酒のみの女たらしだったそうであるが，突然気が狂ったようにヴァイオリン製作に励むという変わった性格の人間であったという[58)p.75]。

[†2] ガスパーロ・ダ・サローはブレッシアのヴィルキ（Girolamo Virchi, ca1523-1574?）から楽器つくりを学んだということから，生没年が不明であった 19 世紀の一時期，最初の 3 弦ヴァイオリンを作った人物である可能性があるとされたが，ガスパーロ・ダ・サローが 1540 年生まれであると推定されたにもかかわらず 3 弦のヴァイオリンが 1530 年には存在したということが判明して，ガスパーロ・ダ・サローがヴァイオリンの発明者である可能性は消えた[45)p.18]。

[†3] 詐欺師に何度もだまされて資産を失い，晩年は精神に異常を来たして狭い部屋に監禁されて死んだ[58)]。シュタイナーのヴァイオリンは音がよかったので小人数の部屋で弾くには最良であったが，大きなホールでの演奏に大きな音が求められるようになってからは評価が落ちた。

継いだ[†1]が，弟のジロラモのほうが腕がよく，その長男のニコロ[†2](1596-1684)が工房を大きくして多くの徒弟を擁してギルドの長となり[58)p.76]，クレモナをヴァイオリン製作の中心にした。

ニコロ・アマーティの工房に最初に弟子入りしたのはルッジェーリ（Francesco Ruggieri, ca1620-1698）であったが，住み込みではなかったので住民調査には載っておらず，名前はストラディヴァーリへの後年の聞き取りによる。このため，ニックネームは “Il Per”ではっきりしているが，姓は不明確でいくつかの表記があり，弟子入りの年もストラディヴァーリよりも先なので正確にはわからず，1630 から 1632 年の間に始まったのだろうとしかわかっていない。徒弟期間は，当時の慣例では最短で 6 年であった。

（ c ） **アマーティの工房**　ストラディヴァーリの評価が上るまでは，間違いなくニコロ・アマーティ（Nicolò [†3]Amati，1596-1684）が最良の製作者であった。18 世紀になると，アプサム（ティロル地方）のシュタイナー（Jacob Stainer 1617-) 作の一部のものが Nicolò Amati 作のものよりも高額で取引されることがあった程度で，製作者としての影響力などから，総合的な評価は Stainer よりも Nicolò Amati のほうが上であった。Stradivari 作のものは 18 世紀末までそれらよりもはるかに評価が低かった。Amati の工房の製作者ということで，ニコロの長男のジロラモ II 世[†4](Girolamo Amati, ca1649-1740)，アンドレア・グァルネリ[†5]（Andrea Guarneri, ca1626-1698）, ロジェーリ（Giovanni

---

[†1] 1580 年に兄弟共同で工房を相続したが，1588 年に Girolamo が Antonio の部分も買い取った（Carlo Bonetti: “La Genealogia degli Amati-Liutai e il Primato della Scuola Liutistica Cremonese” in *Bollettino Storico Cremonese*, Series II, 1938.)。ロンバルディア地方で 1630 年 1 月から 4 月に蔓延したペストによって，ジロラモは妻とともに死亡した。ストラディヴァーリの両親もペストを避けるために，一定期間クレモナを離れていたとされる[29)p.7]。

[†2] 1620 年ころ以前の Nicolò Amati のラベルの付いた楽器はジロラモ作である可能性が高い。

[†3] Nicola となっている文献もある[45)] が，多くは Nicolò なのでそれに従う。

[†4] Nicolò の父 (1561-1630) も Girolamo であったが，これは通常 Hieronymus と呼ばれている。

[†5] 通常グァルネリ・デル・ジェスーと呼ばれている Giuseppe Guarneri(1698-1744) の祖父で，グァルネリ一族の始祖。

Battista Rogeri, 1642-ca1710), ルッジェーリ（Francesco Ruggieri, 1630-1698), グランチーノ（Paolo Grancino), そしてストラディヴァーリ（Antonio Stradivari, 1644?-1737）も師匠 Nicolò の徒弟としてのラベルを付けたヴァイオリンを作った。

他の徒弟としては, グランチーノ（Paolo Grancino, 1655-1692), ガリアーノ（Alessandro Gagliano, 1665-1732), などがいた。ニコロは 70 歳ころ（1665 年ころ）を過ぎると腕の上がってきた弟子に仕事を手伝わせた（ただし, ストラディヴァーリには手伝わせなかった）ので, ニコロ・アマーティ作というラベルが貼られている楽器には弟子の手が入ったものが多い[52)p.48]。Farga は, ニコロにはこどもが 9 人いて, その中の一人ジロラモ II 世（Girolamo II）だけが楽器を作ったが, 父親ほどの楽器を作ることができなかったと書いている[58)p.49]が, W. E. Hill は, ヒエロニムス（ジロラモ II 世）の能力は過小評価されていたと注意している[29)p.32]。Boyden の著書には “Girolamo II” という名前以外

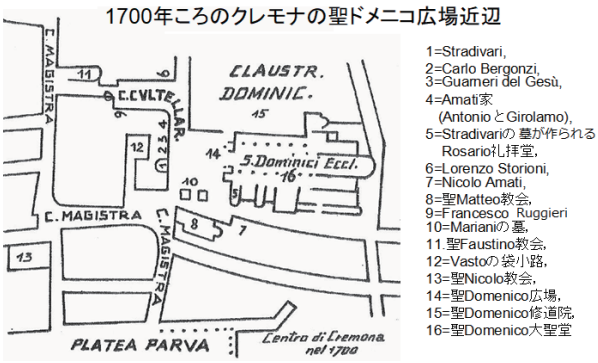


図 G.25 クレモナのヴァイオリン製作者が住んでいた地区（1700 年ころ）[29)]
図の中央付近：ストラディヴァーリの家 (1) と仲のよいベルゴンツィ (2) は隣り合わせで, その隣家 (3) がグァルネリだったようである。アマーティ一族の住居は (4) で, (7) はニコロ・アマーティの住居兼工房。ストラディヴァーリは 1729 年に聖ドミニコ聖堂 (16) の敷地内左下 (5) に自分の墓地を確保し, 墓石を作っていた。聖ドミニコ聖堂はその後取り壊された[29)p.20]。

にこの人物に関する記述はない。

Amati 姓で Pietro, Luigi, Francesco など，存在しない個人名がラベルに書いてある「アマーティウス（アマーティ作の楽器）」はもちろん作者名が偽物であるが，偽物でも音はよい楽器が多いようで，当時のクレモナの技術レベルの高さがわかる。**図 G.25** に 1700 年ころのクレモナのヴァイオリン製作者が住んでいたドミニコ広場周辺の地図を示す。

（d） **ストラディヴァーリ（クレモナ）**　ヴァイオリン製作の最高峰とされるストラディヴァーリも 1666 年までニコロ・アマーティの弟子（12 歳で弟子入りし年期は 6 年）で，徒弟期間明けの翌年に結婚し，その年からは自分の名前だけの（「ニコロ・アマーティの弟子」という記述なしの）ラベルを貼った（**図 G.26**）。



図 G.26　ストラディヴァーリの 3 つの時点でのラベル
上：ニコロ・アマーティの徒弟であった最後の年の作
中：徒弟期間満了後の最初の年の作
下：没年（Salabue によるメモが貼り付けてある）

ストラディヴァーリは師匠の死（1684 年）後も 1680 年代後半までは師匠の作り方に近いヴァイオリンを作った。ストラディヴァーリのヴァイオリン製作

期間を大きく 3 つに分ける[58)p.60] と，師匠のやり方を踏襲した（師匠の死の数年後の）1680 年代後半[†1]ころまでが第 1 期になる。その後，マッジーニのヴァイオリンを見て，いい音をマッジーニのように大きく出すための実験的な製作の期間になり，「ロングモデル」あるいは「ロングパターン」と呼ばれる長細い形を試す期間を経て，1704 年の “Betts” で満足できる作り方を確立した[45)p.198] とされる。

Stradivari が自分の型を確立したのは 1704 年の “Betts” と言われているので，1700 年ころ（“long pattern” を作っていた）までは彼にとってはまだ試行錯誤の期間であった。Stradivari は 1700 年ころに良質の木を手に入れ，それが乾いて使えるようになった 1710 年ころから 10 年間ほどが「黄金時代」と言われる[45)p.317,58)]。

ストラディヴァーリはマッジーニが裏板の厚さ分布を上下バウトの中央線上で $\frac{1}{8}$ ~ $\frac{11}{64}$inch の間で中央に向かって徐々に厚くし，縁（横板にあたる部分）では $\frac{5}{64}$inch になるように，またセンターバウトでは中央線上を $\frac{7}{64}$ ~ $\frac{11}{64}$inch の間で調整し，縁では $\frac{1}{8}$ ~ $\frac{5}{64}$inch と薄くなるように変化させていることを知り，自分で板厚計測器具を工夫して板厚分布を細かく調整するようになった。

図 G.27 にストラディヴァーリが使った板厚計測具を 2 種示す。師匠の影響から脱皮して試行錯誤を重ね，“Betts” に至るまでの期間が第 2 期[†2] である。第 2 期にはストラディヴァーリの経済状態がよくなって，いい材料を使うことができたようである[58)p.63]。“Betts” 以後は第 3 期に入り，もはや改良のために実験的なことを大胆にする必要がなくなり，1720 年以後は少し大きい型になったが，1730 年ころまでほぼ週に 1 本程度のペースで作り続けたとされる[58)p.66]。

ストラディヴァーリの黄金期は “Betts” 以後 1720 年ころまでで，表板に杢目の揃った松材を，内部の付け木には非常に軽い柳材を用いた非の打ちどころ

[†1] Farga はマッジーニが作った力強い音のヴァイオリンを知った 1686 年としている[58)p.62]。

[†2] Farga はロングモデルを作った期間 1686~1694 年を第 2 期としている[58)p.62] が，そうするとロングモデルをやめて “Betts” に至る数年の追加の実験期間が抜けてしまう。Boyden のように，ロングモデルを作った期間に追加の実験的なものを作った数年をまとめて第 2 期としたほうが合理的である。

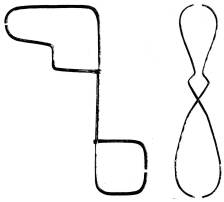


図 G.27 ストラディヴァーリの板厚計測具 2 種。左：スライドさせて，右：挟んで手前で間隔を採寸する[29)p.183,187]。

のない楽器を作った。Farga は黄金期の最も良いものとして，“Betts”(1704), グレッフュール “Greffuhle”(1709), エルンス “Ernst”(1709), “Viotti”(1709), アラール “Alard”(1715), メサイア “Messiah”(1716) を挙げている[58)p.65]。“Greffuhle”は装飾入りで，1997 年にスミソニアン博物館の所蔵となったが，同年博物館が Stradivarius で揃えた四重奏楽器として Axelrod 四重奏団が使っている。“Messiah” † は現在も未使用の状態で Oxford の Ashmolean 博物館に保管されている。

この時期のストラディヴァリウスで上記以外で著名なものとして次のものがある。David Oistrakh が 3 本目（1966-74）の Strad として使っていた

† “Messiah”は蒐集家サラブエ伯爵がストラディヴァーリの遺児パオロから 1775 年に買った[58)p.65] 楽器類の中の 1 つで，古い弦楽器に異常な執着をもつ奇人とも言えるタリシオ（Luigi Tarisio, 1796-1854) がそれを 1824 年[58)p.151](1827 年[29)p.270] とも) に買い取り，死ぬまで誰にも見せずに箱に入れて保存していた Stradivarius である。フランスの名工ヴィヨーム（Jean-Baptiste Vuillaume, 1798-1875）に「見せる」と言っておきながら見せず，ヴィヨームが「ユダヤ人が救世主メシアを待つように，いつまでもそのヴァイオリン待たせるつもりか」と言ったことがパリの業者間で噂になったことに由来すると言われる[58)p.144]。タリシオが死に（楽器で埋め尽くされたミラーノの家の屋根裏部屋のソファでヴァイオリンを抱えて死んでいたのを発見された），楽器の価値を知らない町の役人が札束と金貨を当局に保管して部屋は封印し，相続人を求める公告を出したところ 2 人の姪が現れた。役人が管理していた遺産をこの姪 2 人で分けたが，この 2 人には残された楽器の価値は分からなかった。そこで，比較的きれいに見えた 6 本を 2 人で相続したフォンタネット（ミラーノの西南西約 80 km）の家（タリシオから相続）に持って来ていた。パリに店をもつミラーノの織物商からタリシオの死を聞いたヴィヨームが，有り金をかき集めてタリシオの姪の家に行き，ガラクタ類として置いてあった 6 つの箱入りの楽器を見ると，2 本がグァダニーニ，もう 1 本がベルゴンツィで，残り 3 本がストラディヴァリウスで，その中のベルトのかかった箱の 1 本が “Messiah”であった。翌日，6 本の楽器をすべて荷車に積んで，タリシオの姪たちと一緒にミラーノの家へ行き。屋根裏にあった合計 144 本の楽器を見つけた。当時の相場で合計 200 万フラン以上の楽器をヴィヨームは 8 万フランで買い取ったとされる[58)p.151]。

“Ex-Marsick”（現在は “Marsick-Ex-Oistrakh”と呼ばれている。1705 年製), Oistrakh が最初に使った Strad は “Ex-Berou-Ex-Thibaud”(1714) で，ティボーが使っていた楽器である。ティボーが使っていたもう 1 本の Strad“Ex-Thibaud”(1720) は本人と共に 1953 年の飛行機事故で失われた。ヴィオッティ（Giovanni Battista Viotti, 1755-1824）は 1709 年製のストラディヴァリウスを 2 本もっていた。1 本は “Viotti-Ex-Bruce”と呼ばれているもので，Viottti の後，名工 Vuillaume, 楽器商 W.E.Hill, Knoop 男爵などを経て，Lewis Bruce と J.F.L.Bruce が所有したので, その名前が追加されている。もう 1 本は Viotti の後に Marie Hall(1884-1956) が使ったので，その名前が追加されており，現在は台湾の奇美 (Chi-Mei) 博物館の楽器部門に展示されている。1710 年製の “Ex-Vieuxtemps”は名手ヴュータンが使ったもので，最近までシカゴ交響楽団のコンマス Samuel Maggard に貸与されていた。1710 年製のものとしはこれの他に江藤俊哉が使用していた “Dancla-Milstein”がある。これは名称からわかるように，ダンクラ（Charles Dancla, 1817-1907）が使い，その後，最近までミルシテイン（Nathan Milstein, 1903-1992）が使ったものである。1711 年製の “Lady Inchiquin”（スコットランドの小さな島の名前）はクライスラーがもっていたものである。クライスラーは 1925 年に上記のメサイアおよびアラールと一緒にイングランドのプリムス子爵邸の倉庫で発見された “Earl（子爵）of Plymouth”と呼ばれた Strad を 1928 年に買い, 1946 年に LA フィルに売っているが，これも 1711 年製であった。1711 年製の Strad としては，もう 1 本有名なものがある。晩年日本に住んだ Szymon Goldberg が持っていた “Liegnitz”である。Paganini(1782-1840) が使った唯一の Strad は 1712 年製の “Le Brun”で，皇帝ナポレオンの財務長官になったル・ブリュン侯爵（Charles-François Le Brun, 1739-1824）が一時所有したので，ニックネームは “Le Brun”となっている。ツィゴイネルワイゼンで有名なサラサーテが使ったヴァイオリンは，1712 年製の “Boissier”（ボアシエール）であったが，以後は “Boissier-Sarasate”と呼ばれるようになった。ハイフェッツ（Jascha Heifetz, 1901-1987）が使った 1714 年製の “Delfino”はハイフェッツの死後，日本音楽財団が買い取って，諏訪内晶

子に長期貸与されている。同じく 1714 年製の “Soil”はメニューイン（Yehudi Menuhin, 1916-1999）の後，パールマン (Itzhak Perlman, 1945-) が使っている。19 世紀半ばから 20 世紀初頭にかけけての大物ヨアヒムが使ったヴァイオリンは 1715 年製の Strad で，“Joachim”と呼ばれ，これも日本音楽財団が貸与用に使っている。タルティーニ（Giuseppe Tartini, 1692-1770) が使った 1715 年製の “Lipinski”はミルウォーキー交響楽団のコンマス Frank Almond に貸与され，Almond がタクシーで盗まれたが，すぐに発見された。千住真理子が買った “Duranti”は 1716 年製である。ルッジェーロ・リッチ（Ruggiero Ricci, 1918-2012）が使った “Monasterio”も 1716 年製であった。アッカルド（Salvatore Accardo, 1941-）は，以前 Saint Exupery（“Le Petit Prince”邦題：「星の王子さま」の作者）がもっていた 1718 年製の “Firebird”を所有している。

ストラディヴァーリは 1730 年ころに目が弱くなり，以後の楽器には象嵌が不規則になったり，f 孔の切れが悪いというようなもの（例：“Muntz”, 1736 年など）が出てくる。

ストラディヴァーリは弟子を採らない方針であったようであるが，ベルゴンツィ (Carlo Bergonzi) とガリアーノ（Alessandro Gagliano）だけは「特別な関係」によって[58)p.57] 弟子として面倒を見た。ただし，師匠とは違って仕事を手伝わせることはしなかった。

ストラディヴァーリはヴァイオリン以外にも同じヴァイオリン属のヴィオラ (テノール・ヴァイオリン), チェロ (バス・ヴァイオリン)[29)p.226] の他, ヴィオラ・ダ・ガンバやキターラ（chitarra: 現在では「バロックギター」と呼ばれる）やマンドロン属なども作った。ネジで張りを調節できる弓[29)p.208Fig.58,45)plate28 上] や，装飾入りのコマ[29)p.98] も作っている。

ストラディヴァーリと最初の妻フランチェスカ・フェラボスキ (Francesca Ferraboschi, 1640-1698) との間には息子が 3 人おり，3 男フランチェスコ (Francesco, 1671-1743. 同名の次男フランチェスコは生後すぐに死亡）と末子オモボーノ (Omobono, 1679-1742) はヴァイオリン製作の技術をもってい

た。オモボーノはストラディヴァーリの死後，工房に残った作成途中の約 70 丁の楽器を急いで完成させた。フランチェスカは 1698 年に死に，その後再婚した 20 歳年下のアントニア・ザンベリ (Antonia Zambelli, 1664-1737) との間には息子が 4 人いたが，誰もヴァイオリン作りを継がなかった（周辺住民や市会議員がヴァイオリン作りの成功者を羨み，妬み，製作者たちに対する顕彰の事業計画はすべて潰され，遺族は嫌がらせを受けたようである[58)ps.88,91]）。末子パオロ (Paolo, 1708-1776) は織物商になっていて，ストラディヴァーリの死後，その工房を一時織物店に改造したが，1746 年にはストラディヴァーリと親しかったベルゴンツィ（Carlo Bergonzi, 1683-1747）に譲り渡した。ところがベルゴンツィは譲り受けた 1 年後に死んでしまい，工房は衰退した。パオロはクレモナを憎み，父親の思い出になるものをクレモナに置きたくないという思いで，オモボーノから引き継いだ父親の形見以外のものをすべて蒐集家のサラブーエ伯爵（Cozio di Salabue, 1755-1840）に売っている[58)p.92]。

（e） **グァルネリ一族（クレモナ，マントーヴァ，ヴェネツィア）**　クレモナのグァルネリ一族のうち，前記（p.602 L ↑.2, 脚注 1）のアンドレアの長男ピエトロ＝ジョヴァンニ（Pietro-Giovanni Guarneri, 1655-1720）はイタリアのマントーヴァ（ミラーノの東南東約 120km）で工房を開いたので「マントーヴァのピエトロ」と呼ばれ，次男ジョヴァンニ＝バッティスタ（Giovanni-Battista Guarneri, 1666-1740）は Giovanni “Filius Andreae”：「アンドレアの息子」ジョヴァンニ, 1655-1720）と呼ばれた。その長男ピエトロ (Pietro Guarneri, 1695-1762) はヴェネツィアで工房をもったので，「ヴェネツィアのグァルネリ」と呼ばれる。次男バルトロメーオ＝ジュゼッペ（Bartolomeo Giuseppe Guarneri, 1698-1744）はクレモナに残り，ラベルに花飾り付きの十字マークと “IHS†” と書いたことから “Guarneri del Gesù”（グァルネリ・デル・ジェスー：イエスの Guarneri）と呼ばれた。グァルネリ・デル・ジェスーはストラディヴァーリと並ぶ名工で，通常 Guarnerius と呼ばれるヴァイオリンはこの

† ラテン語による “Iesus Homininum Salvatore.”（人類の救い主イエス）の各語頭の 3 文字。

“del Gesù”のものを指す。

ストラディヴァーリは製作期間が長く勤勉でもあったので，生涯に渡って約2000本を製作したと言われる（現存は約600本）が，グァルネリ・デル・ジェスーは製作期間が短く気まぐれでもあったので約200本ほどしか作っておらず†，希少価値という点ではグァルネリウスのほうが高い。

古今の名手はストラディヴァリウス以外にグァルネリウスをもつことが多い。パガニーニが音の大きいグァルネリ・デル・ジェスーの “Il Cannone”（大砲）を使ったことは有名である。現在，“Il Cannone”はジェノヴァ市の所有になっているが，Salvatore Accardoが使っているようである。音楽史上に名を残した名手も，グァルネリを使ったケースが多い。有名なところではフェルディナンド・ダヴィッド，ヴュータン，ウィエニアフスキー，イザイエ，クライスラーなどで，クライスラーはグァルネリウスを4本もっていた。現在に近いところでは，ハイフェッツは上記のフェルディナンド・ダヴィッドが使っていたグァルネリウスを使った。その楽器は現在はギドン・クレーメルが使っている。ヴュータンが使ったグァルネリウスはメニューインが使い，その後，現在はパールマンが使っている。イザイエが使っていたグァルネリウスはアイザック・スターンが使った後，ズーカーマンに渡っている。現在でもパールマンとズーカーマンはどちらもグァルネリウスを3本もっているようである。日本人では，江藤俊哉がグァルネリウスを使っていたし，現在では前橋汀子，堀米ゆず子，古澤巌，竹澤恭子などがグァルネリウスを使っており，五嶋みどりは林原共済会から2000年まで貸与されていた1722年製のストラディヴァリウス「ジュピター」に代わって，2001年からは1734年製のグァルネリウス「エクス・フーベルマン」を終身貸与されている。

グァルネリ・デル・ジェスーにはこどもがなく，グァルネリ一族のヴァイオリン作りはヴェネツィアのピエトロの死（1762年）で途絶えた。クレモナは後半生に裕福になったストラディヴァーリに対する地域住民からの妬みなどがあっ

† Guarneri del Gesù の年間最大製作数は1735年の16丁[52)p.99]

て，クレモナ派のヴァイオリン製作者は住みづらくなり，その後イタリア各地に分散し，ストリオーニ[†1]（Lorenzo Storioni, 1744-1816）を最後にクレモナのヴァイオリン作りは一時壊滅状態になった。

（f） **グランチーノ一族（ミラーノ，クレモナ）**　イタリアでは，18 世紀以後，クレモナと共に，いくつかの町でヴァイオリンが製作された。ミラーノにアンドレア・グランチーノを始祖とするグランチーノの一族がおり，その息子でアマーティに師事したとされるパオロ[†2]（Paolo Grancino，1655?-1692?）がミラーノに戻り，そこでその息子ジョヴァンニ・バッティスタ（Giovanni-Battista Grancino, 1673-c1726）（およびフランチェスコ（Fraancesco Grancino）[†3]）との共同でアマーティ型のヴァイオリンを作った。

（g） **テストーレ一族**　元クレモナのカルロ・ジュゼッペ・テストーレ(Carlo-Giuseppe Testore, 1665-738(Wiki) or 1660-1716 or 1665-1716）を始祖とするテストーレ一族（「双頭の鷲 (Aquila Bicipite)」をマークにしている）は，カルロ・ジュゼッペの長男 Carlo-Antonio Testore（1687-1765 or 1693-1765(Wiki)）と次男 Paolo-Antonio Testore（1690-1760）および Paolo-Antonio の子 Pietro Testore（1732-1800(Wiki)）がミラーノでヴァイオリンを作った。テストーレ一族の中では Carlo-Antonio が最も評価が高い。よく鳴る楽器が多いようで，Carlo-Antonio のラベルが付いた（真贋の証明はない）ものが「極上のテストーレ」として 200 万以下で出ている。著者のある知人の娘さんが芸大の学部生だったころに無理を言えば親に買ってもらえる程度の価格で，気に入っていた楽器がテストーレであったということを聞いたことがある。

（h） **グァダニーニ一族（クレモナ，ミラーノ，トリーノ）**　ロレンツォ・グァダニーニ（Lorenzo Guadagnini, 1695-1745）はピアチェンツァ（Piacenza：クレモナの西約 20km）出身で，クレモナでストラディヴァーリに就いた後，ミラーノでヴァイオリンを作り始め，グァダニーニ一族の始祖となった。その

[†1] いくつかの点でグァルネリ・デル・ジェスーを手本にしたとされる[52)p.97]。

[†2] 楽器が存在しないことから，存在を否定する文献[52)p.19] もある。

[†3] Farga は Giovanni-Battista の兄弟としている[58)p.51] が，Boyden は Grancino family としているだけで Francesco には触れていない[45)p.198]

子ジョヴァンニ＝バッティスタ（Giovanni-Battista Guadagnini, 1711-1786）はクレモナで生まれ，父ロレンツォとストラディヴァーリの 2 人から教えを受け，パルマで製作を始め，その後，ピアチェンツァ，ミラーノ，クレモナ，パルマ，トリーノと拠点を変えて製作を続け，グァダニーニ一族での最良の製作者となった。一般には，ストラディヴァーリとグァルネリ・デル・ジェスーに次いで評価が高い。後年のパルマとトリーノ以外は 10 年未満の居住なので，いい材料を十分乾燥させる期間もなく移住しており，材料に関わらず音のいいヴァイオリンを作ったということになる。「グァダニーニ」（日本のマスコミでは「ガダニーニ」）は「芸大ヴァイオリン事件」[†1]で一般にも知られるようになった。

（ｉ） **カミーロ（カミッロとも）（マントーヴァ）**　マントーヴァには，カミッリ (Camillo Camilli, ca1704-1754) はマントーヴァのザノッティ（Antonio Zanotti, 1695-1734）に師事したとなっており，楽器そのものは外見的にはピエトロ・グァルネリ（Pietro Guarneri, 1655-1720. 通称「マントーヴァのピエトロ」）の影響を受けているという記述がある[52)p.45]。ファミリーの記述はないので，一族で製作していたのではないようである。同質で基本周波数（f_0）がほぼ簡単な整数比の関係を保って推移する 2 音の f_0 追跡実験のためにヴァイオリンのドゥオ（2 重奏）を勤務校に隣接する女子大の音楽学部の学生に依頼したところ，その一人が「私のはカミーロなんですが，○○ちゃんのはグァダニーニなので羨ましい。ときどき弾かせてもらってます。」と言っていたときに初めて聞いた製作者名であった。個々の楽器に依存するが，グアダニーニのヴァイオリンは，想像を絶する値段[†2]が付くグァルネリやストラディヴァーリについで評価の高い製作者ということになっており[†3]，最近のオークション

[†1] 1970 年代後半に，当時東京芸大のヴァイオリン科教授がヴァイオリンの購入を同大学と学生に斡旋し，その見返りに楽器輸入業者から 80 万円相当の弓と現金を受け取っていた事件。

[†2] 東日本大震災のチャリティー事業として日本音楽財団が購入したストラディヴァリウス “Lady Blunt”は，12 億円を越えた。”蒐集家の Salabue 伯爵から一時変質的な楽器商タリシオ（Luigi Tarisio）に渡り，現在は新品同様で Oxford の Ashmolean 博物館に置いてあるストラディヴァリウス “Messiah”(1716 年) や，パガニーニの所有であったグァルネリウス “Il Cannone”(1743 年) などは「値段が付けられない」と言われる。

[†3] 上級者に対しての推薦楽器として，「ストラディヴァーリをもてないならグァダニーニ

でイタリア製の高級なスポーツカー程度に収まっているようである（弦楽器のオークション会社 “Tarisio” の HP）。プレッセンダ†やカミーロは，それらよりもほぼ 1 桁下がる。

（j） **ヴェネツィア派（ゴフリラーとモンタニャーナ，セラフィン）**　ヴェネツィア派の創始者とされるゴフリラー（Mattio Goffriller，1659-1742）は生まれはドイツであるが，1685 年にヴェネツィアに来て楽器製作者カイザー（Martin Kaiser）の工房に弟子入りし，その娘と結婚して，弦楽器を作った。チェロの製作に優れ，ゴフリラーのチェロは，カザルス，シュタルケル，フールニエー，ビルスマなどの著名な奏者によって使われている。ゴフリラーは，ヴェネツィアで楽器を作っていたモンタニャーナ（Domenico Montagnana, 1686-1750）やゴベッティ（Francesco Gobetti, 1675-1723），および 5 人の息子の内のフランチェスコ（Francesco Goffriller, 16951-1745）に弦楽器作りを伝えた。モンタニャーナは，そこで「モンタニャーナ型」と呼ばれる幅広の特徴的なチェロなどの擦弦楽器を作った。モンタニャーナの死後，その工房はセラフィン（Georgio Serafin, 1726-1775）が跡を継いだ。

（k） **トノーニ一族（ボローニャ）**　ボローニャにはジョヴァンニ・トノーニ（Giovanni Tononi, ca1640-1713）が工房をもって，その子 Carlo Annibale Tononi（1675-1730）とヴァイオリンを作った。Giovanni の死後，Carlo Annibale は 1717 年に工房を Venezia へ移したが，同年 Pietro Guarneri も Venezia へ来たことにより，併せて「ボローニャ派」ができた。Carlo Antonio Tononi（1721-1768）という名前も見られる，そのラベルを張ったヴァイオリンは存在するが，Carlo Antonio という人物の存在は確認されていない。

（l） **ガリアーノ一族（ナポリ）**　ナポリにはアレッサンドロ・ガリアーノ（Alessadro Gagliano, ca1700-1735 or 1665-1732）を始祖とするガリアーノ一族が製作者の数を増やした。アレッサンドロの長男ニコロ（Nicolò Gagliano, 1730-

---

を求めよ，グァルネリをもてないならテストーレを求めよ」と言われる。

† Giovanni Francesco Pressenda(1777-1854), クレモナ派の最後の名工とされる Lorenzo Storioni（1744-1816）に就いたとされる。芸大事件で学生に斡旋された楽器の製作者。

1787[Wiki]or 1710-1785[Tarisio]) と次男ジェナーロ（Gennaro(Jannuarius) Gagliano, ca1740-1780 or 1705-1790(Tarisio) は父親にならってストラディヴァーリ型のヴァイオリンを作り，彼らの息子たちもそれに続き，一族でヴァイオリン製作集団をなした。例えば，ニコロの 4 人の息子の一人フェルディナンドは叔父ジェナーロに師事した。ガリアーノ一族は 19 世紀には弦の製作に専念するようになり，ヴァイオリンの製作をやめた[58)p.88]。

（m） **ドイツ・オーストリア（シュタイナー，クロッツ，アルバーニ）**　シュタイナーについてはこの節の最初に書いたが，ストラディヴァーリ以前では最良の音色との評価を得たヴァイオリンを作った名工で，シュタイナーのヴァイオリンは 18 世紀の後半まではニコロ・アマーティと並ぶ（楽器によってはそれより高い）価格が付けられた †。シュタイナーの出生年 (1617 年[45)p.109]) はニコロ・アマーティとストラディヴァーリのちょうど中間くらいで，生まれた場所はインスブルックの東北東約 10 km のティロル地方の小さな町アプサム（Absam：当時は岩塩の産地として栄え，多数の彫刻師がいた。現在はオーストリア）である。シュタイナーがどこでヴァイオリン作りの技術を身につけたのかはわかっていないが，17 歳で工房を開き 18 歳の時には近くの町ハル（Hall：Absam から南へ約 2 km）で自分が作ったヴァイオリンを売っていた[58)p.95] という。インスブルックにはイタリアでヴァイオリン作りを習ったリュート職人が数人いたようで，シュタイナーはそういう人たちからヴァイオリン作りを教えてもらった可能性が高い。当時のインスブルックには宮廷楽団があって，ヴァイオリンが使われていたので，ヴァイオリン奏者であったシュタイナーがクレモナで作られたヴァイオリンを弾かせてもらった可能性は非常に高い。シュタ

† 18 世紀後半までは，シュタイナーのヴァイオリンのほうがアマーティやストラディヴァーリのものよりも評価が高く，18 世紀前半の最大の奏者ヴェラチーニ（Francesco Maria Varacini, 1690-ca1750）はシュタイナーのヴァイオリンを使い，ロカテッリ（Pietro Locatelli, 1696-1764）はアマーティ兄弟（Andrea の長男 Antonio, ca1540-1607, と次男 Girolamo(Hieronymus), 1561-1630：Nicolo の父）のヴァイオリンとともに，1667 年製のシュタイナー作のヴァイオリンをもっていたとされる。また，J. S. Bach もシュタイナーのヴァイオリンをもっていたとされ，L. Mozart の名著 “Violinschule”(1756 年) の口絵で著者が弾いているのはシュタイナーであるとされる。

イナーが作ったヴァイオリンは岩塩を運ぶ商人によって安く買い叩かれ，ヨーロッパ各地へ運ばれて高く売られていた。

当時，パリのオペラ座のバレー振付師のガルデル（Maximilien Gardel:1741-1787）がシュタイナーのヴァイオリンをもっていて，その音がパリのヴァイオリン奏者の間で話題になっていたと言われる[58)p.97]。1658 年にシュタイナーはティロルのカール・フェルディナント大公から宮廷楽団のヴァイオリン製作者に任命され[58)p.98]，製作者として一時期は順調な製作を行ったが，詐欺師に訴訟で負けて投獄され，出獄後は教会から異教徒として訴えられて精神に異常を来たし，凶暴性を帯びてきて小さな部屋で家族に縛りつけられて悲惨な死に方をした[58)p.102]。

シュタイナーのヴァイオリンは 18 世紀初めにはストラディヴァーリのものの 4 倍以上の値段で取引されたので，偽物が多数作られた。また，「Jacobus Stainer Cremonia fecite 1642」と書いたラベルが貼ってあるヴァイオリンがあったため，シュタイナーはクレモナでヴァイオリン作りを習得したと一時言われていたが，1642 年にはシュタイナーはアプサムにおり，そのラベルは偽物であることが判明した[58)p.107]。シュタイナーは誰からも教わることなく自分で音の美しいヴァイオリンを作ったので，ドイツ・オーストリア地域での最高の名工とされている。

ドイツの作曲家で理論家でもあった Georg Simon Löhlein（1725-1781）は「オーボエのような音のストラディヴァリウスよりもフルートのような音のシュタイナーやアマーティのヴァイオリン」を好み，事実 Löhlein 自身はシュタイナースとアマーティウスをもっていて最大の敬意をもって弾いたと Boyden は書いている[45)p.196]。英国の作家 Sir John Hawkins(1719-1789) は，「クレモナのヴァイオリンは，ドイツのシュタイナーにだけは負ける」と “General History”(1776), Vol.II, note on p.688　に書かれていることを引用している[45)p.196]。Boyden は，「通説には反するが，シュタイナーはある期間徒弟奉公をしたが，誰に就いたのかは不明」としている[45)p.196]。シュタイナーのヴァイオリンは，ニコロ・アマーティのヴァイオリンと「アーチが高い」という共通

の特徴をもっているが，細部の寸法は異なっており（例えば，ネックの長さは当時の標準よりも長く，モダンヴァイオリンとほとんど同じ），シュタイナーがニコロ・アマーティの徒弟であったことを示唆する証拠は 1 つも見つかっていないし，彼がイタリア語を話せたという記録もない。シュタイナーのヴァイオリンにはヘッドがスクロール（渦巻き）ではなくてライオンや怪獣の頭部が彫ってあるものがある[45)p.197]。これには，シュタイナーの生地アプサムと近くの町ハルに彫刻師が多数住んでいたこと[58)p.95] が関係しているように思う。

ドイツのボーゼン（Botzen, 現イタリア北部のボルツァーノ Bolzano:Isbruck の南約 80km）にシュタイナーとほぼ同じ年代のアルバーニ（Matthias Albani, 1621-1673）がおり，シュタイナーと仲が良く，2 人は絶えず行き来していたらしく[58)p.109]，アルバーニはシュタイナーのヴァイオリンとアマーティのヴァイオリンに基づいたモデルで作ったとされる[45)p.199]。

ドイツ南端のオーストリアとの国境近くのミッテンヴァルト（インスブルックの北西約 20km）で生まれたマティアス・クロッツ（Matthias Klotz, ca1653-1743）は，少年期にフュッセンで修行し，その後はパドーヴァのライリック（Giovanni Railich）の工房で徒弟として働き，1680 年代にミッテンヴァルトに工房を開き，がその子セバスティアン（Sebastian Klotz, 1695-1775）を従えてヴァイオリンを作った。クロッツはイタリアで修行したが，イタリア型よりもシュタイナーなどのティロル型に近いアーチの高いヴァイオリンを作ったとされる。

ミッテンヴァルトには，クロッツ以外にも，18 世紀のホルンシュタイナー（Joseph Hornsteiner）一族に続き，19 世紀にはノイナー（Mathias Neuner, 1831-1890）一族が現れ，その工房には後継者が 15 人も出てヴァイオリン作りの技術が引き継がれ，ミッテンヴァルトは現在では多数の弦楽器製造会社 † が集まっていて，クレモナやパリと並んでヨーロッパの弦楽器製作の中心地とみなされている。ミッテンヴァルトには “Geigenbaumuseum”（ヴァイオリン製

† Anton Sprenger, Joachim Roy, Anton Maller, Rainer Leonhardt, Thomas Wörnle, Josef Kantuscher, Florian und Maria Sandner など

造博物館）もある。

（**n**） **フランス（リュポ，シャノー，ヴィヨーム）**　少し後になってフランスではナンシーに工房をもっていたクロード・メダール（Claude Médard, ca1575-1628）の長男でクレモナでストラディヴァーリに師事したフランソア（François Médard, 1647-1720）がミルクール（Mirecourt, ナンシーの南）でヴァイオリンを作った。後にパリで工房をもつことになるリュポ，シャノー，ヴィヨームら（後述）はすべてミルクール出身である。ミルクールにはこれら以外にもトレヴィヨ（Claude et François Trevillot），シャピュイ（Nicolas Augustin Chappuy），ベルナルデル（Leon Bernardel），クレモナの後継者と言われたピク（François-Louis Pique, 1758-1822）などがいたが，すべてパリに出て工房をもった。弓を改良したトゥルト（François Tourte）の工房がパリにでき，ニコラ・リュポ（Nicolas Lupot, 1758-1824）が質の高いヴァイオリンを作るようになり，その後，シャノー（François Chanot, 1788-1825）や名工ヴィヨーム (Jean-Baptiste Vuillaume, 1798-1875) が現れ，ヴァイオリン製作の中心はイタリアからフランスへ移って行った。

（**o**） **その他の地域**

- **オランダ：**Hendrik Jacobs(1630-1699) はアマーティのグランドモデルの模倣楽器を作った。イタリアで作り方を修得したといわれていたが，アマーティ作のものを見て模作したと推測されている。
- **イングランド：**Barak Norman(1651-1724) 1689~1723 年作のラベルの楽器（ヴィオラ・ダ・ガンバ，ヴァイオリン，チェロ）が残されている。
- **ノルウェー：**Boyden はその著書[45] の 1650-1700 年の章でノルウェーのハーディンガー・フェーレ（図 E.57 最左）（ハルダンゲル・フェールとも）をローカルな民族ヴァイオリンとして紹介している。知られている中で最も古いものは 1651 年製で，通常の 4 本の奏弦の他に 4 本の共鳴弦をもち，最低音弦は A3 あるいは C4 で，調弦は離接弦間を下から 5-4-5 度，あるいは 4-5-5 度にして，いずれにしても，最低音弦とその 2 本上はオクターヴ開いており，象嵌などで装飾されているとしている。

TV でハルダンゲル・フェーレがノルウェーの民族音楽の楽器として紹介されていた。奏者によるのかもしれないが，いかにもヨーロッパの地方の音楽というような素朴な弾き方であった。

(**13**) **初期のヴァイオリン奏者が使ったヴァイオリン**　初期の奏者が使用したヴァイオリンについて，少し例を挙げておく。Boyden は次のように書いている[45)p.195]。18 世紀初頭の最高の名手ヴェラチーニ (Francesco Maria Veracini, 1690-ca1750) はシュタイナーの最良と思われたものを 2 本（San Pietro, San Paolo）使っていたが，1745 年に乗っていた船の難破で 2 本とも失ったとされる（Charles Burney:“An Eighteenth-Century Musical Tour in France and Italy”, London, 1959. Vol.I. p.103 を引用)。Boyden の著書の表紙になっている Veracini の絵のヴァイオリンはこれらのどちらかのはずである。同時代のもう一人の名手ロカテッリ（Pietro Locatelli, 1695-1764）も 1667 年のシュタイナーを使っていたが，ロカテッリは，死んだときにはアマーティ兄弟（Antonio e Hieronymus Amati）のものももっていたとされる[45)p.195]。ヴェラチーニもロカテッリもストラディヴァーリの黄金期以後数十年活動しているが，ストラディヴァリウスをもっていたという記録はない[45)p.195] としている。

これに対して，コレッリはアンドレア・アマーティのものを他のどれよりも好んでもっていたが，それ以外にもストラディヴァリウス†とマティアス・アルバーニ（ティロル派）のものももっていた。このアルバーニの楽器はイギリスのヴァイオリン奏者 William Corbett(1668-1748) が 1710 年に Bolzano（旧名:Botzen）で確認したもの[52)p.109] とされる。

L. モーツァルト（アマデウスの父）がその著書 “Violinschule” の口絵に使った絵に描かれているヴァイオリンは愛用のシュタイナーであるとされ（Hervé van der Staeten の “The History of the Violin”)，ザルツブルクで演奏活動をしていたドイツの名手ビーバー（Heinrich von Biber, 1644-1704）もシュタイナーを使っていた[45)p.195] とされる。J. S. Bach がシュタイナーをもってい

† 中澤[104)p.103] は引用元を示さずに伝聞形で「1693 年製のストラディヴァリウスを所有していたようです」としている

たことは周知のことであった（Philipp Spitta：“The Life of Bach”, Vol.III, p.352, 1899）ようである。

「悪魔に魂を売って超絶技巧を教えてもらって作曲した『悪魔のトリル』（**図 G.28**）」で有名な初期の技巧派の演奏家タルティーニ（Giuseppe Tartini, 1692-1770）は少なくとも 2 本のストラディヴァリウス “Lipinski” (1715, タルティーニの死後，ポーランドの高名な奏者リピンスキーに渡り，その後，その奏者の名前がこの楽器の通称になった）と “Ex-Vogelweith”(1711) を使っていた[45)]が，Tartini の時代の弓はバランスが悪かったので，Tartini は超絶技巧とは言ってもリコシェやスピッカートのように弦の上で弓を跳ねさせる奏法はやりにくかったはずである。きれいな音が出るシュタイナーが高い評価を得ていた時代に Tartini がストラディヴァリウスを使ったのは，大きな音を出したかったからであろう。



図 G.28 Tartini が夢で悪魔からヴァイオリンの超絶技巧を教えてもらっている絵（Lucienne Boyer, 1824）

この “Lipinski” は Stradivari の最もよい時期のもので，現在はミルウォーキー交響楽団の Frank Almond に貸与されていているようで，数年前に Almond が演奏後に車に戻る際に強奪されたが，FBI がその楽器の重要さに気づき，使われた銃を手がかりにして数日後に屋根裏から無事発見したというような記事[†]を見た。

[†] https://www.fbi.gov/news/stories/the-case-of-the-stolen-stradivarius, Milwaukee Wisconsin Journal Sentinel, 6, Feb., 2014.

コーヒーブレイク

18 世紀でのヴァイオリンの評価

ヤーコップ・シュタイナー（1617-1683）は音量よりも音色重視で作ったが，ストラディヴァーリは音色と音量の絶妙なバランスを実現したと言える。ただ，ストラディヴァーリの存命中はまだ演奏会場がそれほど大きくなかったので，シュタイナーのヴァイオリンのほうが評価が高かった。ストラディヴァリウス（ストラディヴァーリ作の楽器）の評価が上がってきたのは，本人の死後 40 年以上経ってからで，名手ヴィオッティがパリの大きな会場でストラディヴァーリ作の楽器で大成功を収めた 1780 年代以降であった。シュタイナーのヴァイオリンを横から見ると一方の f 孔から反対側の f 孔が見えるほど隆起が高かったが，ストラディヴァーリのものはそれほど隆起が高くない。

ストラディヴァーリの師匠であったニコロ・アマーティ（1596-1684）は 1775 年の段階ではシュタイナーに次ぐ 2 番人気であったが，ストラディヴァーリのヴァイオリンのイタリアでの値段は師匠のヴァイオリンの $\frac{1}{4}$ であった。比較はしにくいが，1792 年の記録では，ストラディヴァーリのヴァイオリンの値段はシュタイナーのものの約 6 割程度に上がってきている。別の記録では，最もよかった時期（1704-1720 ころ）のストラディヴァーリの「ドルフイン (1714)」（ハイフェッツが使用していたもので，現在は日本音楽財団が所有し，諏訪内晶子に貸与されている）のイギリスでの取引価格は，1868 年から 1882 年の 16 年でポンドのインフレ率を含めてちょうど 5 倍（£ 200 →£ 1000）になっていた[58)]。

技巧的な演奏の極端な例がパガニーニ（Nicolò Paganini, 1782-1840）であるが，一般大衆は音楽的な深さよりも表面的な演奏効果やアクロバティックな演奏を求めた。パガニーニは Stradivari の “Le Brun”(1712) と音の大きな Guarneri del Gesù の “Il Cannone”(1743) を使い分けた。

G.2.4　ヴァイオリンはなぜ古い名器が珍重されるの？

(1)　現役の機能的美術品に履歴価値が上乗せされて

ヴァイオリンやヴィオラあるいはチェロなどについて，昔の名工が作った楽器がとてつもない高額で取引されたというニュースがマスコミでよく見られる。音だけのブラインドテストでは，少し良い楽器とクレモナなどの 1700 年前後に作られた名器は，ほとんど識別できないと言われるが，クレモナの 17 世紀後半

から 18 世紀中ごろまでの楽器はすでに木の寿命が来ているなどと言われながらも，いまだに演奏家の垂涎の的であり，名のある演奏家はほぼすべてこの時代に作られた楽器をもって（使って）いると言っていい。ただ，これらの名器は必ずしも使っている演奏家の所有物であるとは限らず，有期／無期で貸与されたものであることも多い。師匠から弟子に譲られたものである場合もある。

特に日本では日本音楽財団が 1994 年からヴァイオリンやヴィオラあるいはチェロの名器の取得と無料貸し出しを事業化しており，そのほかに企業や大学あるいは個人からの貸与もある。いずれも対象者は演奏コンクールの入賞者や音楽大学の上位卒業者のようである。そのため，名器を使っていることが奏者のステイタスに通じるというようなこともあって，一人でリサイタルを開けるような奏者，特にヴァイオリン奏者は，評価の高いクレモナ全盛期あるいはその近辺の楽器を使用したいという願望が生じるようである。それには，いい音を出せないのを楽器のせいにできない（自分がちゃんと弾けば絶対にいい音で弾けるはず）という状態にしておきたいという条件充足の意味もあるが，もっと個人的な，いわば情緒的な願望として，有名な奏者の誰それが使っていた楽器を自分が弾いているという幸福感をもちたいということも大きいであろう。ちなみに，2022 年 10 月に行われた Wieniawski コンクールで優勝した前田妃奈さんが日本音楽財団から貸与を受けて使った楽器は，ストラディヴァーリ 1715 年作の「ヨアヒム」で，これはヨアヒムの助言を受けて書かれたブラームスのヴァイオリン協奏曲をヨアヒム自身が初演で使った楽器であるらしいという話をコンクール参加者から聞いた。

現在では著名な奏者はほぼすべてクレモナ全盛期の Stradivari か Guarneri del Gesù のものをもって（使って）いるが，18 世紀ころの状況は現在とはかなり異なる。例えば，G.2.3 項 (12)(m) の脚注に書いたように，Boyden[45] の著書「1761 年以前のヴァイオリン奏法」での記録では，J. S. バッハ（1685-1750）は 18 世紀後半まで最も評価の高かったシュタイナー（Jacob Stainer，アプサム派）のものを使っていたらしい[45]。音楽教師で Stradivari の死の約 20 年後にヴァイオリンの教則本[59] を書いた Leopold Mozart（1719-1787，アマデウス

の父）もシュタイナーを使っていたとしている[45)]。このころはまだ Stradivari よりも Stainer のほうが評価が高く，もつことができる奏者はシュタイナーをもっていたようである。

一口に名器と言ってもピンからキリまであり，現在ではオールドヴァイオリン（ほぼ 18 世紀までのもの）は安いものでも通常は 1 千万程度以上の価格がついていると考えてよいであろう。中でも Stradivari と Guarneri del Gesù が双璧で，Guarneri del Gesù のものは作られた数が少なく製作期間も短いので品質が安定しているようであるが，Stradivari には作られた時期によって品質にかなりの開きがある。1704 年以前の Stradivari のものは試行錯誤の時代であり出来不出来があるはずで，1600 年代のものは名前によって価格は吊上げられているであろうが，楽器としてはそれに値しないものである可能性がある。1704 年の “Betts”以降は作り方が安定し，1714〜1716 のものが材木もいいので最上の期間とされる。

Ashmolean 博物館（Oxford）に誰にも弾かれずに新品同様に保管されている “Messiah”(メサイア，1716) や，クレモナの市役所の博物館に置いてあったが，現在は日本音楽財団が所有し，2022 年の 8 月から前田妃奈に貸与されている “Joachim - il Cremonese”（元：ヨアヒム，現：クレモネーゼ，1715），あるいは Heifetz が使っていて，現在は日本音楽財団が所有し，諏訪内晶子に長期貸与されている”Dolphin（Delfino）”(ドルフィン，1714), 元メニューインが使い，現在はパールマンが使っている “Perlman”(1714)，アードルフ・ブッシュが使っていた “Ex Adolf Busch”(1716)，ミルシテインが使っていた “Milstein - ex Goldman”(1716)，ルッジェーロ・リッチが使っていた “Monasterio”（モナステリオ，1716)，千住真理子が買った “Duranti”（デュランティ，1716)，あたりが製作時期としては最上の時期のものとされる。パールマンは上記の他に同じ 1714 年の Strad“Soil”と”Sinscheimer”ももっている。マルシックが使った後，オイストラッフが使っていた “Ex-Marsick, Ex-Oistrakh”（1705 年）も作り方を完成したとされる Betts(1704) の直後のもので，最盛期の初期のもの

として すぐれた楽器とされる。

価格が高い楽器は通常，楽器オークション「タリシオ」にかけられることが多いが，最近では日本音楽財団が東日本大震災に対する支援事業として，1721年製のストラディヴァリウス「レディ・ブラント（Lady Blunt: 詩人バイロンの孫)」を 2011 年 6 月 20 日に £ 9,808,000(12 億円余り) で落札している。

落札額には楽器としての価値の上に美術品としての価値や，上記のように過去に誰が使用していたとか誰の所有物であったかなどの履歴が上乗せされる。ほとんど弾かれずにきれいな状態で長期間展示あるいは保管されていたものよりも，使用による傷が付いてでもよく使われていたもののほうが楽器としては望ましい。そのため，例えばクレモナの市役所 2 階にあるヴァイオリン展示室にはクレモナの名器が数本展示されているが，市の音楽院のヴァイオリンの教授が週に一度弾きに来ている。展示を入れ替えて，コンクールの入賞者などに順次貸し出しているところもある。特別に有名な名器をコンサートや録音のために使う場合もあり，パガニーニが使っていた Guarneri del Gesù の “Cannone”(1743) をジャズヴァイオリンの Regina Carter が，貿易センタービル激突テロの犠牲者追悼のためのリンカーン・センターでのコンサートで使ったことは有名である。

オールドヴァイオリンに対する奏者の願望は学生でも相当なもので，同志社で 2 重奏の無響室録音をしたくて，当時非常勤講師をしていた同志社女子大音楽学部の学生に募集をかけたところ，応募してきた学生の一人がグアダニーニ（Giovanni Battista Guadagnini, Torino, 1711-1786）を，もう一人がカミーロ（Camillo Camilli, Mantova, 1704-1754）をもっていたのに驚いた経験がある。カミーロはともかくとして，グアダニーニはストラディヴァーリ，グアルネリ・デル・ジェスに次ぐ名工で，本物だとすると，かなりの額であったはずである。

もう一人，筆者の元同僚だった人の娘さんで東京芸大のヴァイオリン専攻で国際コンクールでの入賞経歴のある人の場合は，企業からテストーレ（Carlo Antonio Testore,Milano, 1693?-1765）を貸与されていた時期があって，その

音をとても気に入っていた。その人は，現在はガリアーノ（Nicolò Gagliano, Napoli, ca.1730~1787）を貸与されていると聞いた。

（2） オールドヴァイオリンと新作ヴァイオリンでは音や弾き心地が違うの？

Stradivari や Guarneri del Gesù が作ったヴァイオリンは本当に今でもいい音がするのか，という問題はこれまで何度も問いかけられた。同一の研究グループによって行われた 2 つのブラインドテストについての報告がネットに上げられていたので，簡単に紹介しておく。パリ大学 CNRS の Claudia Fritz と弦楽器製作者の Joseph Curtin らの研究グループによるもので，次の 2 つである。

（a） インディアナポリスでの実験（2010 年）　詳しくは NAS の HP [†] を見ていただきたい。

ヴァイオリンのコンクールの際に行われたもので，

【被験者】さまざまなレベルの奏者 21 人（内訳は重複カウントで，コンテスト出場者 4 人（内 2 人は入賞），同審査者 2 人，オケ団員 19 人，音楽学博士号所有者 10 人）で，視覚を使えないように溶接用のメガネを着用

【試供楽器】嗅覚を使えないように臭い付きの顎当てを装着したヴァイオリン 6 本（Strad.2 本，Guarneri del Gesù 1 本，新作 3 本）

【第 1 部】（「20 本の楽器がある」と偽って）ホテルの部屋で，新旧 1 本ずつの全組合せ 3 × 3=9 対を一対ずつランダムに弾かせ，一対比較で優れているほうを選ばせ両側信頼区間を考慮して 6 本の序列を求めたところ，結果は，N=新作，G=Guarneri, S=Strad.（17**は製作年）として

N2 ＞ N3 ＞ G1740 ＞ S1715 ＞ N1 ＞ S1700

【第 2 部】6 本を自由に試奏できる状態で並べ，Q1:「次回コンサートに使うために自宅へもって帰りたい」のはどれかを訊き，同時に Q2:「音色」「演奏し易さ」「反応のよさ」「音の放射性」の各項目について，上位数本を選ばせ，否定的な評価はマイナス点として，結果は Q1 に対して

[†] “pnas”で Claudia Fritz を検索。201114999. “Player preferences among new and old violins”, PNAS Vol.109, no.3, pp.760-763, Jan. 17, 2012. （PNAS=Proc. of the National Academy of Sciences：米国科学アカデミー会議録）

N2 > G1740 > N3 > S1715 > N1 > S1700

Q2 に対して 4 項目合計で

N2 > N3 > G1740 > S1715 > S1700 > N1

が得られたとしている。

（b） パリのヴァンセンヌ劇場での実験（2012 年） “Solist evaluation of six Old Italian and six new violins”, 詳しくは，HP†を見ていただきたい。

【被験者】10 人の著名な演奏家（チャイコフスキー／シベリウス／パガニーニ／ロン=ティボー各コンクールの優勝者 2+1+1+3 人，エリザベート・コンクール銀メダリストなどで，日常的に Stradivari, Guarneri del Gesù, Carlo Bergonzi, Gagliano, Lorenzo Storioni, Jean-Baptiste Vuillaume などを使っている演奏家（年齢は 20~62）である。

【試供楽器】12 本のヴァイオリン（イタリアのオールド 9 本から実験者が選んだ Strad.5 本と他の 1 本，新作 15 本から選んだ 6 本，結果に個別楽器は同定できないようにして発表することを条件に借用）を上の実験と同様に，臭い付きの顎当てを装着し，必要な人には肩当ても使用してもらった。各楽器に同一の弦（E 線にはスティール弦，他の 3 本には合成樹脂の芯線に金属巻きのもの）を装着。弓は奏者自身のものを使用。

【手続き】リハーサル室（Session1）と演奏ステージ（Session2：客席数=300 でステージと客席は音響的に透明なスクリーンで遮蔽，客席には関係者ら数人が着席。ステージではピアノ伴奏可能）で試奏は各 75 分ずつ，

P1：自分のヴァイオリンと好きなように比較できる状態で弾き比べる。

P2：50 分（標準偏差 30 分）後に【使いたくなくて排除した楽器】と，【最も気に入った楽器上位 4 本】を順序付きで示してもらう，

P3：最後の 12 分で，自分の楽器，最も気に入った楽器，それと反対の新旧カテゴリーに属する未知の（被験者には知らされていない）楽器を弾いてもらい，Q3 に答えてもらう。

Q1：P2 後，次のコンサートツアーに自分の楽器の代わりに持って行きたくな

† PNAS, May 20, 2014 Vol.111, No.20, pp. 7224–7229

い楽器（あれば複数）と，使ってみたいもの上位 4 本を重み（1st=4, 2nd=3, 3rd=2, 4th=1, rejected=-1）付きで選んでもらう。

Q2：P2 後，被験者が選んだ上位 2 本について「音量」「放射性」「弾きやすさ」「音質」「明瞭さ」「総合評価」を 30 秒／本で 0~10 の線上で数値化してもらう。

Q3：P3 後，提示された楽器がオールドヴァイオリンと思うか新作と思うかを 3 択（オールド／新作／不明）で回答してもらう。

【結果】Q1：4 人の奏者が，ある新作ヴァイオリンを 26 点で最上とし，それを他の 4 人が 2 位としたが，残りの 2 人はその楽器にマイナス点をつけた。最低評価を受けたのはあるストラディヴァーリで「-9」，それに最も近い新作は「-7」。結局，トップ 2 本が新作で，3 位がストラディヴァーリの黄金期のものであった。4 位もストラディヴァーリであった。

したがって，コンサートで使いたい楽器としてはストラディヴァーリよりも新作のほうが上ということになった。

Q2：評価項目ごとに自楽器／オールド／新作をグループに総スコアで見ると，リハーサル室での評価とステージでの評価に違いがあるものがある。自分の楽器は音量の評価がステージのほうが高いが他の項目は差がない。オールドヴァイオリンはステージでのほうが演奏しやく少し明瞭度が高くて放射性がいいがその他の項目では差がない。新作ヴァイオリンについては放射性はステージのほうがいいが，音質はリハーサル室のほうが少しいい。という結果になっているが，有意差検定がされていない。

Q3：1 人あたり 6〜8 本についての総計 69 回答で，誤答：正答：判断不応が 33:31:5 で，誤答のほうが正答よりも多かった。細かく見ると，オールドヴァイオリンでは回答が正答に偏るものと誤答に偏るものが 1 本ずつあったが，新作では 1 本だけ誤答に偏るものがあった。他の 5 本に偏りはなかった。

オールドか新作かはプロでもわからなかったということになる。

（**3**） **ヴァイオリンはなぜ偽物が出回るの？**　ヴァイオリンは 19 世紀初頭から 20 世紀半ばにかけて，大きな音を出せるように変革を遂げた，具体的には，弦を強く張れるようにネックの角度を深くし，バスバーを大きく太くし，

また高音まで弾けるように指板の高音側を延ばし，かつ高音を弾く場合に薬指が指板の奥まで届くようにネックのボディへの取り付け部の親指を当てる位置を少しボディに近づけられるようにネックの根元を細くし，さらに弦が大きく振動しても指板に触れないようにナットとコマを高くした。

このようなヴァイオリンを**モダンヴァイオリン**と呼び，これ以前のバロック期の仕様で作られたヴァイオリンを新しく作られたものも含めて**バロックヴァイオリン**と呼ぶ。実際にバロック期†に作られたいわゆる「オールドヴァイオリン」はモダンヴァイオリンが広まる過程で，モダンヴァイオリンへの改造も進んだ。これらの改造のうち，ネックの取り替えにはネックをボディから外し，バスバーの取り替えのためには，表板をいったん外す必要があるが，共鳴胴そのものは元のものを使うことができる。ヘッド部分（ペグボックスとスクロール）も元のものを使える。

1740 年前後に Stradivari と Guarneri del Gesù が死んだ後，Cremona は急速に力を失い，Lorenzo Storioni（1744-1816）を最後に衰えてしまい，ヴァイオリン製作の中心はフランス（パリとミルクール，およびナンシー）に移って行った。フランスは 1700 年代後半に名手ヴィオッティ（Giovanni Battista Viotti, 1755-1824）の助言を得ながら弓を改良したフランソア・トゥルト（François Tourte，1747-1835）や，フランスのストラディヴァーリとも呼ばれる二コラ・リュポ（Nicola Lupot, 1758-1824）や変形ヴァイオリンで有名なフランソワ・シャノー（François Chanot，1783-1825）の伝統を継ぐ工房があった。

この時期に大量の名器の改造に携わったのが，ミルクール（ナンシーの南約 30km）で工房をもっていたジャン＝バッティスト・ヴィヨーム（Jean=Baptiste Vuillaume，1798-1875) で，彼はニコラ・リュポの弟子で，自分の名前のヴァイオリンも作ったが，むしろ名器の模作に長けていた。ただ，Vuillaume の模作は金儲けのために贋作を作るのではなく，純粋に製作技術の向上を目指しての模作であったが，金儲けをたくらむ悪徳商人らがヴィヨームが作った大量の模作品

† 通常，J. S. Bach の没年である 1750 年までであるが，ヴァイオリンの場合はクレモナ派最後の Lorenzo Storioni の没年まで広げて 1816 年までとする。

に偽のラベルを貼って，本物の名器（例えば Stradivari や Guarneri del Gesù などの）と偽って売ったので，大量の質のよい偽物が出回った。ヴィヨームの模作の優秀さは，Paganini が Garneri del Gesù の “Il Cannone” の修理をヴィヨームに出し，ヴィヨームがその修理完了品の引き渡しの際に，修理品とともにその模作を Paganini に見せたところ，Paganini は模作品を先にとって弾いてみて，修理の完璧さに感謝したという話が，蒐集家として有名な Salabue 伯爵の手記に書かれているとされる[58)]。Paganini はその模作品を大いに気に入って以後演奏会に使い，最後は一番弟子のシヴォーリ（Camillo Sivori, 1815-1894）に譲ったとされる[58)]。現在でも名器の贋作はヴィヨーム作のものが多いと言われるが，それはヴィヨームの責任ではなく，それで儲けようとした楽器商の罪である。

（4） いいヴァイオリンを新しく作ることはできないの？　ヴァイオリン製作者は常にいい楽器を作ることとともに，自分が作った楽器が奏者や聴衆（専門家を含む）からどのように評価されているかを意識し，楽器製作技術の向上を目指している。

ヴァイオリンの演奏について国際的なコンクールがあるように，ヴァイオリン製作に関しても国際的なコンクールがイタリア，ドイツ，フランス，チェコ，ポーランドなど，昔からヴァイオリン製作が盛んであった地域で演奏コンクールと併催などで数年ごとに開かれている。コンクールによって評価基準に多少の違いがあるようであるが，だいたいどれも予選的な段階で外見（見た目）が審査される。そこでは，伝統的なスタイルを継承しているかということが条件になっているようで，構造的な改良を図ったり，斬新なデザインで作ったというようなものは門残払いを食らうことになり，音は評価してもらえない。そのようなものは製作コンクール以外の場で評価してもらえるようにしなければならない。外見審査の段階ではニスの美しさもかなりの比重をもつと思われる。

外見審査を通過した楽器が音の審査に進むが，まず 1 本ずつの試奏がされ，音量・音質・演奏しやすさなどが評価される。この段階で約 10 本程度に絞られ，最終審査では奏者を隠した（したがって，審査員から楽器は見えない）状

態でオーケストラをバックにした演奏によって評価される。

ヴァイオリン製作のコンクールの評価は評価者の主観的な評価尺度によると思われ，客観性が保証されない可能性があり，評価者クルーに伝統重視の人が多ければ，楽器の改善が阻まれる恐れがある。また，評価対象の楽器を弾く試奏者の技術あるいは演奏に際しての偶然的な巧拙が関係しないかが少し気になる。

製作者の中には，新作をオールドヴァイオリンと同列で比較しないでほしいという人がいる。これには，オールドヴァイオリンは作られてから長期間経っていて十分乾燥しているのに対して，新しく作ったヴァイオリンは乾燥が十分でないということがあり得るのと，試奏者が楽器を持った時の奏者としての心理状態が新しい楽器とオールドとでは異なるので，それが弾き方に表れる可能性があるからということであった。新作のヴァイオリンばかりのコンクールではこの心配はないが，試奏者が対象楽器の製作者を認識しているかどうか (もてばわかる場合があるらしい) が弾き方の差となって現れる可能性は否定できない。2006 年の Wieniavski コンクールと併催された製作コンクールで優勝した菊田浩氏は，「50 年後・100 年後にいい楽器として高く評価されるようなものを作っている」という言い方をしていた。

G.2.5 ヴァイオリン奏者の系譜

(1) コレッリとイタリア楽派 よく「ヴァイオリンはコレッリ[†1]（Arcangelo Corelli, 1653-1713）から始まった」と言われる[†2]が，実際にはコレッリはボローニャで 2 人の教師ベンヴェヌーティ（Giovanni Benvenuti) とブルニョーリ（Leonardo Brugnoli）から，それぞれ 2 年ずつヴァイオリンと，音楽一般（作曲など）を学び，ローマに出て演奏と作曲と教育活動で名声を挙げたとされる（Boyden[45)p.217]）。

[†1] 「コレルリ」となっている場合もある[101)pp.28–35]が，最近の伊和辞典（小学館「伊和中辞典」2007 年，同「ポケット プログレッシブ伊和・和伊辞典」2001 年など）では「コレッリ」となっているので，それに従う。

[†2] Loviko Toussait:“Iconic point of reference” in the program notes to *Italian Violin Concertos*(Veritas, 2003)

初期のヴァイオリン曲や，作曲家あるいは演奏家の名前があまり残っていないのは，当時，ヴァイオリンを弾く場面の多くがダンスのための音楽の演奏で，その場で即興で弾けばいいという状況であったので，楽譜として残したり，奏法を教えるほどのものではない，というような雰囲気であったのと，まだ奏法そのものが確立しておらず，ヴァイオリン特有の奏法やその教え方に揺れがあったというようなことが原因であると思われる。これには，当時の主要な擦弦楽器であったヴィオラ・ダ・ガンバと新規参入のヴァイオリンでは楽器の保持方法がまったく異なり，運弓方向が強拍と弱拍で完全に逆であったということが関係していると思われる。

そのような状況で，後にまで続く「楽派」と言えるようなものを最初に作ったのがコレッリであったということであろう。弟子に作曲家・理論家・奏者として大成するジェミニアーニ（Francesco Geminiani, 1687-1762）や作曲家・奏者として名を残すロカテッリ（Pietro Locatelli, 1695-1764）などがいたことが大きいと思われる。

（a）**コレッリ**　ベンヴェヌーティとブルニョーリの薫陶を受けてローマに出たコレッリは1681年ころから立て続けに器楽作品を発表し始め，枢機卿（カルディナーレ）のオットボーニ（Pietro Ottoboni，1667-1740. ローマ教皇アレキサンダー8世 (在位：1689-1691) になった同姓同名のオットボーニ (1610-1691) の弟の孫）の寵愛を受け，1687年にスウェーデンの女王クリスティーナ (Christina, 1626-1689) の祭典の音楽を統括し，2本のヴァイオリンと通奏低音[†1]のためのソナタ[†2]集（12曲）を献呈している。

これは現在では「教会ソナタ」と呼ばれている型の器楽曲で，緩・急・緩・

[†1] バロック期の合奏音楽で，伴奏用の低音声部に使われる音，およびその譜面上の略記法。「数字付き低音」とも呼ばれ，根音（ルート）からその上の音までの度数を表す数字で表される。例えば，第1転回（六の和音）は“6”で，第2転回（四六の和音）は“46”で，四和音（七の和音）は“7”と記される。現在の日本の音楽大学ではこのような記法に基づく即興的な奏法を「鍵盤和声」というような名称で教科に取り入れている。

[†2] Sonata：文法的には suonare【(楽器を）奏でる】の過去分詞（受動態）で，独奏あるいは室内合奏のための多楽章の「器楽曲」を意味し，歌われる音楽」の「カンタータ」と対をなす。

急の 4 部から構成され，20 世紀以降では通奏低音楽器としてチェロとヴィオラを使い，弦楽四重奏によって演奏されることもある。コレッリは 3 声の器楽曲としての「トリオ・ソナタ †1 」，ソロ楽器のための「ソロ・ソナタ †2」，器楽合奏のための「コンチェルト・グロッソ †3」などのバロック音楽の形式を完成させたとされる。ヴィヴァルディ（Antonio Lucio Vivaldi, 1678-1741）の「四季 (Quattro Estagioni)」を含む「調和の霊感 (L'estro armonico, 1711)」もコレッリのスタイルを継承している。

コレッリは特に技巧的な奏法を開発したとかではなく，使う奏法はせいぜいヴィブラートとトリル程度で，スタッカート／レガートとデタシェの使い分けなどの基本的な運弓法を確立したとされる（Boyden[45] p.312)。コレッリは奏法の基礎には厳格で，例えば弦楽合奏のリハーサルで一人でもダウンボウとアップボウを間違えると，演奏を止めたとされる[45)p.257]。

コレッリの弟子ジェミニアーニは長くロンドンで活動し，作曲と並行して多数の著作を残しており，英語で書かれた “The Art of Playing on the Violin” (1751 年出版) については，その出版の 5 年後にそれを読まずに L. モーツァルトが出版した「ヴァイオリン教程（“Violinschule”)」の中で，これまでヴァイオリンの教則本はなく，自分のものが最初の教則本であると言っている[45)p.357]が，M.Campbell は「ヴァイオリン演奏へのジェミニアーニの最大の貢献はこの著作である」としている[101)p.34]。

コレッリはヴァイオリンが 4 弦に定まってから 100 年以上も経ってから生まれているので，それまでにヴァイオリンを弾いたり，ヴァイオリンの奏法を開発したりした人はコレッリの師匠であった上記の 2 人以外にもそこそこいたは

---

†1 Trio（3 声部）によるソナタ。2 つの旋律楽器と通奏低音による器楽曲。通奏低音が単一楽器とは限らない（例えばヴィオラ・ダ・ガンバとチェンバロなど）ので，奏者が 3 人という意味ではない。

†2 1 つの旋律楽器と通奏低音による器楽曲。旋律楽器はヴァイオリンやフルート，あるいはヴィオラ・ダ・ガンバなど，通奏低音はチェロあるいはヴィオラ・ダ・ガンバとチェンバロあるいはオルガンの 2 つの楽器が使われるので，奏者は 3 人になる。

†3 Concerto Grosso：コンチェルティーノ（独奏楽器群）とリピエーノ（ripieno：英語の “full”。トゥッティ，総奏）が交互に現れる器楽曲。

ずである。ところが，前項で述べた「女王のバレー」(1581 年) の総監督として記録されている振付師のバルタザール・ド・ボージョワイユー（Balthasar de Beaujoyeulx）や作曲を担当したジャック・サーモン（Jacques Salmon）はどちらもヴァイオリン奏者であり，当時としては著名な奏者であったはずであるが，現在では名前さえも一般には多分ほとんど知られていない。（筆者も調べるまで名前を聞いたことさえなかった。）

（**b**） **コレッリ以前**　　最初に名を上げたのは，重音やピッツィカートを入れた「曲芸的なヴァイオリン演奏の名人」として知られるマントーヴァのファリーナ（Carlo Farina, 1600 頃-1639）で，現在の意味でのトレモロ奏法を始めたとされる。ファリーナはドレスデンやボンの宮廷楽団のコンツェルト・マイスターを務め “Capricio Stravagante（風変わりな奇想曲）” を残しており[45)p.130]，この中でコル・レーニョやスル・ポンティチェーロを使っている[45)p.132]。

その他，コレッリ以前のイタリアでヴァイオリン関係としてかろうじて知られているのは，楽譜が印刷された最初のヴァイオリン曲集で，12 曲からなる「独奏ヴァイオリンと鍵盤楽器のためのソナタ集」（1610 年）を書いたチーマ (Giovanni Paolo Cima，ca1570-1630), オルガン奏者ではあるが「3 本のヴァイオリンとバスのためのソナタ」が死後（1615 年）出版されたガブリエーリ (Giovanni Gabrieli, 1554?-1612)，その他，フォンターナ（Giovanni Battista Fontana, ca1589-1630）は死後（1641 年）に出版された 6 曲からなる「ソロ楽器（ヴァイオリンあるいはリコーダーやコルネット † など）と通奏低音のためのソナタ集」と，12 曲からなる「合奏楽器と通奏低音のためのソナタ集」で知られる。

フォンターナはイタリア北部の弦楽器の生産拠点の 1 つであったブレッシアで生まれたことと，パドーヴァでの死亡記録から没年が 1630 年で 50 歳で死んだということくらいしかわかっていないが，ブレッシアで工房をもっていた最

† 当時のドイツ語ではツィンク。角笛（ゲムゼンホルン）を祖先とする木製のリップリード楽器。後に低音用がフランスでセルパン（ヘビの意。くねくねと曲がり黒い皮で覆ったので，イタリアでは「曲がったコルネット」と呼ばれた）になる

初期のヴァイオリン製作者ガスパーロ・ダ・サロの弟子のマッジーニ（Giovanni Paolo Maggini, 1589-ca1632）と出生地と生年が同じなので，若い時期にヴァイオリンの製作者と奏者という関係で交流があった可能性がある。ただし，フォンターナは以後ローマ，ヴェネツィア，パドーヴァと居を移しており，またヴィオラ・ダ・ガンバ奏者でヴェネツィアのサン・マルコ寺院の当時の楽長でこの時代を代表する作曲家であった大御所モンテヴェルディ（Claudio Monteverdi, 1567-1643）が「ヴァイオリンはブレッシア製よりもクレモナ製のほうが比較にならないほどいい[†1]」と言っていたらしい[†2]ので，同年齢の同郷人というだけで繋がりはなかったかもしれない。その他，モデーナの宮廷楽長を務めたウッチェリーニ (Marco Uccellini, ca1603-10 - 1680) は第 6 ポジションまで使う曲を書いた奏者として特記される[45)p.110]。

ルネサンス末期からバロック期の間の大作曲家とされるモンテヴェルディの門下のマリーニ（Biagio Marini, ca1597-1665）がヴァイオリン奏者としては重要で，マリーニはブレッシアの生まれで，スコルダトゥーラを開発し[45)p.130]，ドレスデンとドュッセルドルフでドイツ楽派から特にダブルストップ（ドイツ語では「ドッペルグリフ」: Doppelgriff）を学んだとされる[45)p.135]。

その他 Boyden がコレッリより前のイタリアのヴァイオリン関係として名前を挙げているのは，器楽による俗謡をソナタ化したカステッロ（Dario Castello, ?-1630?)，作曲もしたヴァイオリン奏者ロッシ（Salomone Rossi, ca1570-ca1630)，ボローニャの聖堂のカペル・マエストロを務めたカツァッティ（Mauricio Cazzati, 1616-1678）くらいである[45)pp,134–135]。

（ **c** ） **コレッリ以後**　コレッリから少し遅れて，イタリアでは「シャコンヌ」[†3] を作曲したとされる[45)p.217] ヴィターリ（Tomaso Antonio Vitali, ca1663-

---

[†1] 音のいいシュタイナー（Jacob Stainer, 1617-1683）のヴァイオリンが出回ってきたのは 1650 年ころ以降。

[†2] クレモナ製のヴァイオリンが 12 ドゥーカであったのに対して，ブレッシアのものは 4 ドゥーカ以下。[45)p.109]

[†3] 「シャコンヌ」という舞曲の形式名をタイトルにもつヴァイオリンのための曲として，J. S. Bach のヴァイオリン・パルティータ 2 番第 5 楽章と双璧をなすともいえるもので，現在では Ferdinand David による編曲が用いられることが多い。

ca1745）や，「四季」でポピュラーになったヴィヴァルディ（Antonio Lucio Vivaldi, ca1678-ca1741）が現れ，コレッリとヴィヴァルディの 2 人に就いたソミス（Giovanni Battista Somis, 1686-1763）がタルティーニ (Giuseppe Tartini, 1692-1740) に代表されるパドーヴァ派とプニャーニ (Caetano Pugnani, 1731-1798) に代表されるピエモンテ派の分岐点になった。タルティーニの門下からナルディーニ（Pietro Nardini, 1722-1793）が，プニャーニの門下からヴィオッティ (Giovanni Battista Viotti, 1755-1824) が出て，ヴィオッティの弟子（特に 3 人のフランス人，クロイツェル，バイヨー，ロード）が，現在でも脈々と続いている各楽派の始祖となってそれぞれの楽派を発展させていくことになった。Campbell の表現[101)p.36] によると，イタリア派はこのころまでにバロック様式から新しい形としてカデンツァ（無伴奏のソロ）を伴ったコンチェルトやその構造としての「ソナタ形式」に適するような奏法に発展したが，フランス派はダンスへの固執からハッキリとしたアクセントをもったリズムに適合した運弓法を完成させた。一方，ドイツ派は音域を広げ，重音やスコルダトゥーラ（変則調弦）を使うなど演奏技術の高度化を指向するようになっていった[101)p.36]。

タルティーニ（Giuseppe Tartini, 1692-1770）は重音のトリルを多用したソナタ「悪魔のトリル」で有名であるが，音楽の理論家として，重音を弾いた時に聞こえる音[†] を「Terzo suono（第 3 の音）」と名付けて論文を 1754 年に “Trattato di musica”, Padova に書いている[45)$p.385–386$]。

タルティーニはヴェラチーニ（Francesco Maria Veracini, 1690-ca1750）の演奏を聴いて自分の演奏技術の未熟さを感じ，そのことが以後引き籠って何年も練習に励むきっかけになったという逸話があるが，事実は少し違って，1716 年にドイツのザクセン州の選帝侯の訪問を記念してヴェネツィアで当時のイタリアで名声の高かったフィレンツェのヴェラチーニをタルティーニと演奏で競

† 現在では「差音 (differential tone)」と呼ばれているもので，基本周波数が異なる 2 つの音が同時に響いている場合，それらの基本周波数の差を基本周波数とする音が聞こえる現象（例えば，重音で E5(660Hz) と C5(528Hz) を弾くとその周波数差 (132Hz) に対応する高さの音 C3 が聞こえる）で，その現象については，タルティーニよりも 9 年前に G.A.Sorge が述べている。

わせる企画が持ち上がり，タルティーニへも招請状が来たが，タルティーニはそれ以前にヴェラチーニの演奏を聞いていて，「あいつのほうが腕が上だ」と感じていたので，招請に応じなかったということらしい。このことで妻に愛想をつかされて別れ，アンコーナへ移り，自室に閉じこもって，1721 年にパドヴァ大聖堂のコン・マスとしてお呼びがかかるまで腕を磨いたというのが事実らしい[101)$p.39$]。

ヴェラチーニは叔父の Antonio からヴァイオリンの手ほどきを受けたことになっており，Antonio は，音楽学校を経営し自らもヴァイオリン教師であった父 Francesco Nicolo Veracini から奏法を習い，父の引退後はその音楽学校を引き継いたということになっている。イタリアのヴァイオリン奏法はドイツの影響もあり，大衆迎合的な面が出てきて徐々に技巧に走るようになり，タルティーニに至る。

フランス楽派を育てたヴィオッティ（Giovanni Battista Viotti, 1755-1824）はイタリア出身であり，後世に大きな影響を与えた弟子をフランスで育てることになる。ヴィオッティがパリで多くの門下生を育てた後のヴァイオリン演奏の中心地は，パリになる。これには，ヴィオッティの助言を入れて弓を改善したトゥルト（François Tourte, 1748-1835）がパリに工房をもっていたことやストラディヴァーリやグァルネリ，ベルゴンツィなどの名匠の死後，クレモナが急速に衰えたのに対して，リュポ（Nicolas Lupot, 1758-1824）やシャノー (François Chanot, 1787-1833) などがフランスでいいヴァイオリンを作ったことや，ヴィヨーム（Jean-Baptiste Villaume, 1798-1875）がヴァイオリンの修理やモダン化への改造に貢献したことが大きい。ヴィオッティが抜けた後のイタリアはパガニーニ（Nicolò Paganini, 1782-1840）を生むことになる。パガニーニはシヴォーリ（Camillo Sivori, 1817-1894）という優秀な弟子をもっていたが，自身が余りにも突出した存在で，奏法を公開しなかったためか，流派というような流れを形成するには至らなかった。

現代では，少し前まで非常にイタリア的な名前のフランチェスカッティ（Zino Francescatti, 1902-1991）がいて，その父は Sivori に就いていたのでイタリア

系であるが，フランス人との結婚で一家はパリに移り，ジーノはヴァイオリンをティボーに就いた。大戦中に戦火を避けるためにアメリカへ移って定住したが，引退後はフランスに戻った。フランチェスカッティはアメリカで演奏活動したフランス派と見られており，イタリア派とは言えない。生育環境とヴァイオリンに関して受けた教育やこれまでの演奏活動を考慮すると，イタリア楽派の代表は，パガニーニの曲をよく演奏し，イ・ムジチのプリモでもあったアッカルド（Salvatore Accardo, 1941-）であろう。

（2）ドイツ楽派とその影響　コレッリより前でイタリアのファリーナに続いて名前を上げたのは，初見での即興演奏がうまく，スウェーデンの女王に仕えた後にイギリスのチャールズ 2 世のお抱え楽団「王の 24 のヴィオロン（ヴァイオリン）」のコンサートマスターになったドイツ人のバルツァー（Thomas Baltzer, ca1630-1663）である。

ドイツにはコレッリと同じ時代で名を残している有名な奏者が 2 人いる。ビーバー（Heinrich Ignaz von Biber, 1644-1704）とヴァルター（Johann Jakob Walther, 1650-1717）である。ともにドイツ人で，コレッリとは正反対に技巧的な奏法を始めたとされる。ビーバーは高音域への音域拡大，重音奏法，シュプルングボーゲン（飛ばし弓），スコルダトゥーラ（変則調弦）などを，ヴァルターは右手で弾きながらの左手ピッツィカートなどの高度な演奏技法を導入した。ただ，この二人は，技術面での進歩に関する貢献はあるが，その演奏技術の難しさほどの価値はないとされる[45)]。

その後，ドイツのヴァイオリン演奏家として，多数のヴァイオリン協奏曲を書いたシュポーア（Ludwig (Louis) Spohr, 1784-1859）や，メンデルスゾーンのヴァイオリン協奏曲の作曲に際して奏法上の助言を提供し，その初演をしたことで知られるダヴィッド（Ferdinand David, 1810-1873），「G線上のアリア」として知られるバッハの組曲第 3 番の第 2 楽章の編曲で有名なウィルヘルミ（August Wilhelmj, 1845-1908）などがいるが，その後，その流れを継ぐ突出した奏者は出ていないようである。

現在，ドイツ・オーストリア系のヴァイオリン奏者というのはハッキリしな

い。クライスラー（Fritz Kreisler, 1875-1962）はウィーン生まれで，特例として 7 歳で入ったウィーン音楽院でブルックナーに作曲を学び，ドイツ語で題を付けられた小曲を多数残しているが，ヴァイオリンに関しては幼少期にウィーン音楽院でヘルメスベルガー（Joseph Hellmesberger, 1828-1893）の指導を受けたので，ロードからベーム（Joseph Böhm, 1795-1876）へと引き継がれて生まれたウィーン派とも言える。ただし，パリ音楽院でクロイツェル門下のマサール（Joseph Lambert Massart, 1811-1892）の指導も受けているので，フランス派の影響も受けていると言える。第 2 次大戦でナチによってオーストリアがドイツに併合された際にクライスラーはフランスへ移り，その後米国へ移って米国籍をとって死ぬまでそこに住んだので，ドイツ・オーストリア楽派とは言いにくい。

大戦後のドイツではベルリン・フィルとカラヤンに縛られていたと言っていいクリスチャン・フェラス（Christian Ferras, 1933-1982）がいたが，フェラスはフランス人で，ニース音楽院，パリ音楽院で指導を受け，ルーマニア人のエネスク（George Enescu, 1881-1955）に師事しているので，これもドイツ楽派とは言いにくい。ドイツとスイスの境界付近の町で産まれたアンネ＝ゾフィー・ムッター（Anne-Sophie Mutter, 1963-）は，カール・フレッシュに指導を受けたエジプト人ピラッチーニ（Aida Stucki=Piraccini, 1921-2011）に師事しているので，訓練過程の環境は雑多に見えるが，子ども時代にカラヤンに認められ，ベルリン・フィルと共演し，新ウィーン楽派の曲を取り上げるなど，活動はドイツ・オーストリア的である。

（**3**） **フランス楽派など**　フランスはヴィオラ・ダ・ガンバの二人の名手マレー（Marin Marais, 1656-1726）とフォルクレイ（Antoine Forqueray, 1671-1745）がいたことや，ヴァイオリンはダンス用の音楽を即興で演奏する楽器という意識が強かったからか，正統派的なヴァイオリン奏者が現れるのが遅かった。数学者でもあったメルセンヌ（Marin Mersenne, 1588-1648）がおり，メルセンヌは弦楽器の調弦や純正律との関係，弦楽器での重音等について書いている[48] が，ヴァイオリンの演奏をした記録はない。

イタリア生まれでフランス国籍を取ったリュリ（Jean-Baptiste Lully, 1632-1687）はルイ 14 世の宮廷楽士長になり，フランス王室の「24 本のヴィオロン」楽団を率いたこともあり，演奏よりも作曲面での業績が大きいが，ヴァイオリンに関しては弱音器の使用を譜面に書き込むことを始めたとされる。コレッリとヴィヴァルディに師事したソミス（Giovanni Battista Somis, 1686-1763）の弟子ルクレール（Jean-Marie Leclair, 1697-1764）がフランス王室専属の音楽教師になるが，宮廷楽団の監督権をめぐるゴタゴタでそこを辞任して，ハーグ（ネーデルラント王国）の宮廷楽長に移り，これがベルギー派の源流となった。フランスでは “Intrada”(1712 年) を残したデュプラーヌ（Jean-Antoine Desplanes, 1678-1757）も初期の奏者として知られる。

フランスでヴァイオリンに人気が集まったのは，ヴィオッティ（Giovanni Battista Viotti, 1755-1824）が 1782 年にパリへストラドをもって来て演奏会で大成功してからで，教則本を共著したその 3 人の弟子クロイツェル（Rodolphe Kreutzer, 1766-1831），バイヨー（Pierre Baillot, 1771-1842），ロード (Pierre Rode, 1774-1830) がフランス楽派の基礎を作った。

シューマンから「小パガニーニ」と言われたヴュータン（Henri Vieuxtemps, 1820-1881）はヴィオッティの直弟子ド・ベリオ（Charles de Berio, 1802-1870）の薫陶を受けてブリュッセルをベースに活動したが，ヴィオッティを祖とするフランス派の 3 人とヴュータンの流れはまとめて**フランコ・ベルギー楽派**と呼ばれ，これがヴァイオリン演奏の本流となった（Boyden[45] p.315）。

同楽派は来日途上の航空機事故で死亡したティボー（Jacques Thibaud, 1880-1953）や音がきれいなグリュミオー (Authur Grumiaux, 1921-1986) を経て，現在はオーギュスタン・デュメイ（Augustin Dumay, 1949- ）になっている。

（4）その他　メンデルスゾーンに師事し，ブラームスよりも 2 歳年上だったハンガリー出身のヴァイオリン奏者ヨアヒム（Joachim József, 1831-1907）は，ベルリン高等音楽学校の校長を務めるなどで，19 世紀後半から 20 世紀初頭にかけてのヨーロッパの音楽界に君臨し，その門下からフーバイ（Hubay Jenö, 1858-1937）やアウアー（Leopold Auer, 1845-1930）などの大物が育った。

バッハの「シャコンヌ」での多重音の項（図 F.7 左）で述べたテルマニー（Emil Telmányi, 1892-1988）はフーバイの弟子である。フーバイの門下生には，この他に日本に馴染みのあるヨゼフ・シゲティ（Szygeti J94 ozsef, 1892-1973）がおり，グァダニーニ事件で逮捕されて東京芸大を辞め，一時フランスに移ったが，数年後に日本へ戻って，2005 年から 6 年間東京音大学の学長を務めた海野義雄はシゲティの弟子なのでフーバイの孫弟子ということになる。

アウアーはペテルスブルク音楽院で，エフレム・ジンバリスト（Efrem Zimbalist, 1889-1985），トーシャ・ザイデル（Toscha Seidel, 1899-196），ミッシャ・エルマン（Mischa Elman, 1891-1967），ヤッシャ・ハイフェッツ（Jascha Heifetz, 1901-1987），ナタン・ミルシテイン（Nathan Milstein, 1903-1992）などを育て，ロシア楽派を形作った。オイストラッフ（David Oistrakh, 1908-1974）は，アウアーの弟子であったストリャルスキー（Pyotr Stolyarsky, 1871-1944）にオデッサ音楽院で，またコーガン（Leonid Kogan, 1924-1982）もアウアーの弟子であったヤンポルスキー（Abram Yampolski, 1890-1956）にモスクワ音楽院で就いているので，ソ連時代のこの 2 人はアウアーの孫弟子と言える。オイストラッフは長男イーゴリ（Igor Oistrakh, 1931-2021）の他にクレーメル（Gidon Kremer, 1947-）を育てたが，イーゴリの名はなぜか聞かなくなった。主としてタンゴを弾いていたシモン・バジョウル（Simòn Bajour: クラシック界では Szymsia Bajour, 1928-2005）はオイストラッフのモスクワ音楽院での門下生である。アウアーはロシア革命を機にアメリカに渡り，アメリカでの演奏活動を始めるが，1926 年にニューヨークの音楽院（後のジュリアード音楽院）に移り，さらに 1928 年にはカーティス音楽院でも教えるようになったが，1930 年に死んだので，アメリカでの教育成果（著名な門下生）は聞かない。

アウアーがモスクワにいたころの門下生であったイヴァン・ガラミアン（Ivan Galamian, 1903-1981）が大戦後ニューヨークのジュリアード音楽院のヴァイオリン科主任教授になり，その門下から多数の名手が出てジュリアードのヴァイオリン科は上級奏者養成機関としての大きな存在となった。ジュリアードのヴァイオリン科の主任はガラミアンの後，その門下生であったドロシー・ディ

レイ（Dorothy Delay, 1917-2002）の時代を経て，現在はイツァーク・パールマン（Itzhak Perlman, 1945-）が上級者の指導にあたっている。

ガラミアンの教え方は誰にでも自分の奏法を強制する強引なやり方であったようで，ジュリアードという名前を聞くと，ハイフェッツの特別の推薦でガラミアンに就いた神童と言われた渡辺茂夫（1941-1999）の不幸[102)]が脳裏をよぎるのは筆者だけであろうか。ガラミアンと対照的なヴァイオリン教師がルイス・パーシンガー 1966（Louis Persinger, 1887-1966）で，メニューイン（Yehudi Menuhin, 1916-1999），アイザック・スターン（Isaac Stern, 1920-2001），ルッジェーロ・リッチ（Ruggiero Ricci, 1918-2012）などを育てたが，少年メニューインの演奏を聴いた時に，「教えることは何もない」と言ったという話は有名である。ただし，ほとんど指導しなかったためかメニューインは後年，腕に故障を発生し，芸術性にも困難を感じていたという[103)]。

ブカレスト，アムステルダム，ベルリン，さらにはフィラデルフィアのカーティスなど，多くの名門音楽院で教鞭をとり，名著「ヴァイオリン演奏の技法」を残したカール・フレッシュ（英：Carl Flesch, 本来は Flesch Károly，1873-1944）はハンガリー生まれであるが，パリ音楽院で教育を受け，マルシック（Martin Pierre Marsick, 1847-1924）に就いたので，実質的にはフランコ・ベルギー楽派と言える。カール・フレッシュは航空機事故で夭逝したジネット・ヌヴー（Ginette Neveu, 1919-1949）や，ヘンリク・シェリング（Henryk Szeryng, 1918-1988），イヴリー・ギトリス（Ivry Gitlis, 1922-2020），ジャワで日本軍の捕虜になり，晩年は立山の近くに長期滞在するのを常としたシモン・ゴールドベルク（Szymon Goldberg, 1909-1993）など多くの著名な演奏家を育てた。

G.2.6 弓 の 進 化

中世フィドルやレベックの弓は，木部が狩猟具の弓のようにわずかに曲がっていて，（原始的なものでは）毛は弓の先の下側に留められており，手元まで引っ張って簡単な留め方で固定するだけ（**図 G.29**）になっていた。

バロック期の弓からトゥールトによって改良された後までの弓の変遷を**図**



図 G.29 レベックと初期の弓

G.30 に示す。図は特徴を強調するように長さ方向を短縮した図になっている。バロック期の典型的な形の弓とトゥールトによって改良された弓と現代の弓を比較できるようにした写真を図 E.46 に示してある。現代のものは，毛をよほど強く張らない限り，木部は本来の弓型とは反対側に反った状態に留まる。

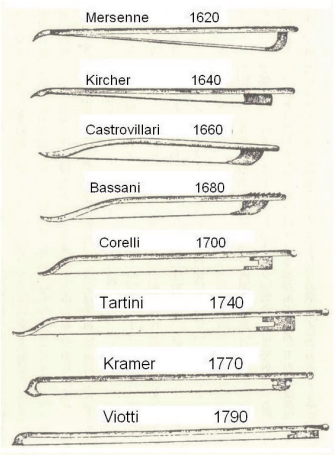


図 G.30 17~18 世紀の時代別の弓の概型[45)]
最上：17 世紀初期（メルセンヌ）
最下：18 世紀末（トゥールトによる改良後）

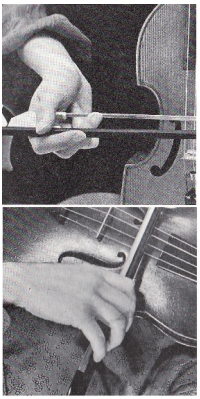


図 G.31 弓の持ち方
上：ヴィオラ・ダ・ガンバ
（中指で毛の張りを調節する）
下：ヴァイオリン
（弓の木部をヘッド側に倒しており，毛が木部の左側に見える）

ヴィオラ・ダ・ガンバの場合，図 G.30 の 1700 年ころまでの図のように，弓の木部の先端は現在のヴァイオリン用のもの（図 E.46 最下）よりも細く尖っており，弓の長さ方向の重心が現在のヴァイオリン用のものよりも手元に近く，弓の断面で考えた場合，断面内での重心は毛の重さを入れても毛よりも木部に近く，弦を擦っている点を中心として木部と毛を含む弓面が擦弦方向に不安定

であった。その不安定さを抑えるためということもあって，持ち方はアンダーハンドで，**図 G.31** 上図のように右手の掌を上に向け，上になった親指と下になった人差し指で弓の木部と毛を挟んで（人差し指の第一関節を木部の下から向こう側に回して，親指と人差し指でフロッグを挟む形になる），弓面の傾きをコントロールできるようにして弓を保持し，毛の張りの強さは中指で毛を奏者方向へ押しつける（木部との間隔を広げる）ことによって調節した。毛を緩く張っておいて，中指で木部と毛の間隔を広げると，毛を多数の弦に触れさせることができる（図 G.36 は極端な例）ので，多弦を同時に擦ることができる。

ヴィオラ・ダ・ガンバの運弓はヴァイオリン属と逆で，強拍はアップボウで弾き，弱拍をダウンボウで弾く。木部が少し山型に湾曲している（緩めている状態ではほとんど直線的で，先端は毛との間隔が狭く手元で広くなっており，毛を強く張ると木部が少し山型になる）ので，弓の擦弦点での断面内の重心が擦弦点（毛）よりも木部に近く，弓の傾け方（毛の弦への接触幅の制御）に関する安定性が悪かった。また，木部の先端が小さくて軽いので，長さ方向の重心が手元に近くなり，手元側での擦弦のコントロールが難しかった。さらに，張りの強さを演奏中に中指でコントロールできるように多少緩めに毛を張るので，毛の張力による反発を積極的に利用する奏法（速いスピッカートなど）は困難であった。

ヴァイオリンの弓も当初はヴィオラ・ダ・ガンバと同じような弓を使っていたが，演奏技術が発展するに連れ，1780 年ころに当時の著名な演奏家 Viotti の協力を得てフランソワ・トゥールト（François Tourte）が，弓の先端での木部と毛の間隔を広げ，毛を緩めた状態での木部をそれまでとは逆方向に（弓の木部の中央が毛に近づくように）湾曲させて，毛を緩めた状態では木部が毛と中央付近で接近し，弓の断面重心を擦弦状態での弦に近づけ，毛を強く張ると木部の先端とフロッグが引き寄せられる（木部は直線に近づき毛から離れる）ようにして，弓の傾きに関する安定性を向上させ，かつ先端の木部を重くして長さ方向の重心を手元から遠くすることによって，リコシェなどの技巧的な奏法がしやすくなった。このような弓を「モダンボウ」という。これに対して，こ

の改良前の型の弓を「バロックボウ」と呼ぶ。

楽器本体とは違って，バロック期の弓をモダン型に改造して使うということはないので，製造年代が古い弓という意味のオールドボウはバロックボウであると解釈される。ヒストリカルボウなどという場合もある。新しく作ったものでも，バロック期の仕様で作られた弓であればバロックボウと呼ぶ。バロックボウからモダンボウへの弓の進化は奏法に大きな影響を与えた。

Boyden の著書「The History of Violin Playing from the Origins to 1761（ヴァイオリン奏法の歴史－その誕生から 1761 年まで－）」[45] の「書名に出す西暦年」としては細かすぎる値 “1761”は，L’Abbé le fils によるモダンボウでの奏法の教則本 “Principes du violon（ヴァイオリンの基礎知識）”が出版された年で，ヴァイオリン作りの中心がイタリアからフランスへ移ったころでもある。トゥールトの新しい弓の完成は 1780 年頃であるが，左右の手への技術的な要求はバロック期の終わりとされる 1750 年頃から生じ（Boyden[45] p.312），1782 年には従来の弓やその持ち方は完全になくなったとしている。“Principes du violon”にはアーティフィシャルハーモニックスやダブルストップ，各種のボウストローク，第 10 ポジションまでの使用など，パガニーニによって越えられる以前の奏法がすべて書かれている。

G.2.7 モダンヴァイオリンって何？

コンサートが大きな演奏会場で開かれるようになると，金管楽器の大きな音に対抗して弦楽器やピアノにも大きな音が求められるようになった。ヴァイオリンが大きな音を出すためには，強く（弓を強く弦に押し付けて）弾けるようにしなければならない。そのためには弦が大きく振動しても指板に当たらないように，静止状態の弦を指板から離さなければならない。また，そのためにはナットとコマを高くして弦を強く張る必要があるが，弦の張力を強くするとネックを弦側へ曲げる力が働き，ボディへのネックの取り付け部にかかる負担が増えるので，それに耐えられるようにする必要がある。ネックを弦側へ折り曲げる力を軽減するための方策として，ボディへのネックの取り付けに角度をつけ，

ボディ強度を増すために表板の裏の補強材としてのバスバーを太く長くした。

18 世紀になると社会は王侯貴族による支配が徐々に崩れてきて，ギルド制度などによって職人・商人が権力と財力をもつようになり，従来はほぼ貴族のものであった音楽が「金を出せば誰でも聴ける」状態になり，大衆の一部はそれを享受できるようになってきた。次第に一般大衆が聴衆の大部分を占めるようになり，作曲家や演奏家も一部はそれに迎合するようになって，派手な曲やアクロバティックな演奏が求められるようになり，高音を出せるようにという要求が加わってきた。これに対する方策が指板の延長と，延ばした指板の高音位置まで中指・薬指を伸ばせるようするために，ネックの付け根を細くして楽器を支える親指を少しでもコマ側へ近づけられるようにすることであった。ヴァイオリンに関するこの仕様の変更は 18 世紀末期から 19 世紀初頭に一般化し，それ以後に作られるヴァイオリンは初めからその仕様で作られ，それ以前に作られたヴァイオリンも，展示用などのごく一部を除いて演奏に供するものはほとんどがこの仕様に改造された。

この仕様を満たすヴァイオリンは古いものを改造したものも含めて「モダンヴァイオリン」と呼ばれる。これに対して，この仕様ができる以前の仕様のままに保たれたものは「バロックヴァイオリン」と呼ばれる。古い時代（16 世紀からほぼ 18 世紀末まで）に作られたものは「オールドヴァイオリン」ないしは「アンティークヴァイオリン」と呼ばれる。オールドヴァイオリンも，現用器は大きなコンサートホールでの使用に耐えるように改造されている。古い仕様で作られて新しい仕様に改造されたものは，「モダンに改造されたオールドヴァイオリン」というややこしいものになるが，現在使用されているストラディヴァリウスとかグアルネリウスなどの名器はすべてこれになる。作られたままの状態で展示するためにモダンに改造されていないものも少しある。図 E.49 上の “Metropolitano” のように，一度モダンに改造された後に元のバロックヴァイオリンの状態に戻された特殊なものもある。

（a） **具体的な改造点**　大きな音を出せるようにするおもな改造点は，太い弦を強く張ってもネックのボディへの取り付け部分が耐えられるように取り

付け角度を深くし，表板の裏に貼り付けるバスバーを太く長くすることと，弦の振動振幅が大きくなっても弦が指板に触れるのを防ぐためにナットとブリッジを少し高いものに取り換えることである。音域を拡張するための改造は，指板を長いものと取り換えることと，ネックをボディ側に行くにしたがって元の太さよりも少し細くし，ボディへの取り付け角度を少し下向きにすることである。コマと弦は消耗品なので「モダン化」のためのボディの改造とは別に対処できる。高音まで押弦できるようにするためには指板を延ばし，左手の中指・薬指ができるだけコマ近くまで伸ばせるようにすることが望ましい。つまり，親指をできるだけネックの取り付け部の深いところまでもって来られることが望ましい。このために，ネックを少し細くしてボディへの取り付け部分を薄くするという手段が採られた。

この「モダン化のための改造」を大量に手掛けた名工がフランスのジャン＝バッティスタ・ヴィヨーム（Jean=Baptiste Vuillaume, 1798-1875）で，改造するとともに，名器（パガニーニが使用中であったグアルネリ・デル・ジェスの「カノン」，収集家タリシオがもっていたストラディヴァーリの「メサイア」など）の優れたコピー楽器を大量に作った。ヴィヨームによるコピー楽器の製作は純粋に名工の技術を吸収するためで，金儲けのために偽物を作ったのではない。これらに偽ラベルを貼って金儲けを企んだのは悪徳楽器業者である。

（b） 弦 の 素 材　バロック期の擦弦楽器の弦はすべてガットであった。これは羊の腸を乾燥させて細く割いたものを撚り合わせたものである。その後，大きな音や低い音を出すために，ガット弦を複数本にして編んだり，液体にした重金属をガット弦に浸み込ませて線密度（単位長あたりの質量）を上げた時代を経て，ガット弦に細い金属を巻いた弦が開発され，この時代が長く続いたが，20 世紀に入って金属の加工技術が進展し，金属の芯線に金属を巻いた「スティール弦」や，さらにナイロンを初めとする合成繊維の発明によって合成繊維を芯線にしてそれに金属をを巻いた「ナイロン弦」が開発され，高性能で耐久性の優れた弦を安価に作れるようになり，調弦が狂いやすく耐久性の劣るガット弦はほぼ使われなくなった。

ただし，現在でも古楽器（ヴィオラ・ダ・ガンバやバロックヴァイオリン，リュート，バロックギターなど）には，当時の音を再現するためにガット弦を用いることが多い。

G.2.8 StradivariusとGuarneriusの聞き分けはできるの？分析でわかるの？

Stradivarius と Guarnerius それぞれ 5 本ずつの計 10 本† を同一奏者（Ruggiero Ricci）が同一条件で集録したデータ[44] があり，編者らは 1980 年にその中の G 線開放弦の音について，周波数スペクトルの差と一対比較による聴感上の差を比較した[105),106)]。**図 G.32** は，聴覚の特性を考慮した周波数スペクトルの差に基づく 2 次元空間配置と，一対比較聴取試験による聴感上の差に基づく 2 次元空間配置との比較を，k-NN クラスタリングの結果とともに示したものである。

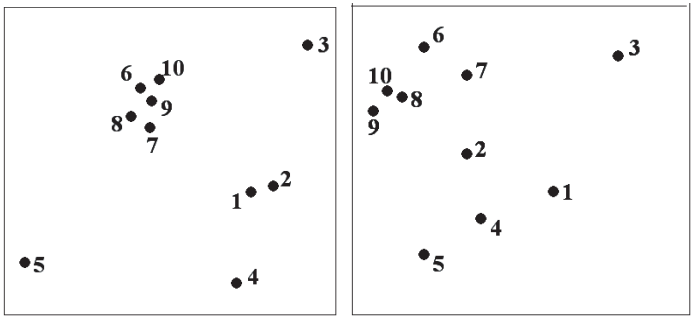


図 G.32　2 次元空間配置
サンプル：No.1-5=Stradivarius, No.6-10=Guarnerius,
MDS 3-NN によるクラスタリング結果:
スペクトルで＝ (1,2,3,4),(5),(6,7,8,9,10),
聴覚で＝ (1,2,3,4,5)(6,7,8,9,10)

† **Stradivarius：** 1=“España”(1677), 2=“Ernst”(1709), 3=“Joachim”(1714), 4=“Monasterio”(1719), 5=“Madrileño”(1720),
Guarnerius： 6=“Gibson”(1734), 7=“La Font”(1735), 8=“Plawden”(1735), 9=“Ex Vieuxtemps”(1739), 10=“De Beriot”(1944)

2 つの 2 次元空間配置はよく似ており，クラスタリングの結果は，きれい Stradivarius グループと Guarnerius グループに分かれている。ただし，これは一対比較で G 線開放弦の音を聞いて，その差の聴覚上の大きさを 2 次元配置すると Stradivarius グループとと Guarnerius グループに分かれたということであって，個別の音を聞いて製作者を判別できるということではない。

【⬇：音のファイル/付録関係/4. 諸資料/(a)Vn 関係/a-9 クレモナの・・・の中のファイル名が “V”で始まる wav ファイル】

一般に，Stradivarius と Guarnerius の聴き分けは難しいと考えられているが，この結果によると，少なくとも G 線開放弦の音で，周波数スペクトルの差ならびに聴感上の差としてグループ間の差がグループ内の差よりも大きいと言えることがわかる。特に，Guarnerius5 本が近い関係にあることが，2 次元空間配置からわかる。Guarnerius とくらべて，Stradivarius5 本がばらついているが，これは，Stradivarius5 本の製作時期が離れており，作り方を確立したとされる Betts(1704 年) 以後も小さな試行錯誤を続けていたからと考えられる。

G.2.9 ウルフトーンはどうして起きるの？

特にチェロに起きやすい不都合な現象にウルフトーンがある[108)]。これは，基本周波数で半音あるいはそれより狭い特定の範囲で起きる弦の主振動の「どもり（stuttering)」のような弓の避け難い周期的な揺れで，いい楽器にでも起こり得る。この現象が起きている間は，楽器のボディも正常の域をこえた振動を起こし，奏者は音を安定に保つことができなくなる。

この現象は，うなり（beating）あるいは回路の結合を連想させるもので，その現象が周期的であったことから，まず G. W. White が，弦の振動周波数とボディの共振周波数が近い場合にうなりが起きるという「うなり説」を唱えたが，その解釈は問題が多くて否定され，続いて V.C.Raman が，コマに重い弱音器を取り付ければウルフトーンの周波数が下がることや，ウルフトーンの周波数の 1 オクターヴ下の高さで弾いてもボディの振動が起きることなどから，弦の振動とボディの共振の間のエネルギー遷移によるとの説明[109)] を与え，現

在ではこれにSchellengが回路論的な観点からの解釈を補足したもの[110]が通説となっている。

ウルフトーンはG線で弾くF3からF#3付近で起きるが，その範囲はきわめて狭く，重りをどこかに取り付けてその周波数を演奏音高からある程度外れるようにすれば起きにくくすることができるので，そのための重りのようなものが「ウルフキラー」として市販されている。これは，弦にゴムのパイプを弦に通してその外から金属製の管状のものをネジで止めるようになっており，通常G線のコマとテールピースの間の駒に近い位置に付ける。ウルフトーンが起きるのはF3からF#3の間辺りであるが，何らかの方法でシステムの共振周波数を変えればこれを抑えられるので，ウルフトーンが起きるG線に付けることが多い。最適な取り付け位置は個々の楽器によって異なるので調整が必要である。

G.2.10　木製の楽器には塗料を塗らないほうがいい？

ヴァイオリン属は表面に何度もアルコールニスが塗られる。ニスは見た目の美しさと木の表面の経年による劣化を防ぐのがおもな目的で，ニスを塗らなければ身体の脂ですぐに汚れ，表面からの乾燥によって劣化は激しくなる。クレモナに工房をもっている前述の菊田氏によると30回以上塗るそうである。ニスによってヴァイオリンの重量は約10%増加し，これによって音響インピーダンスは12%増大し音響レスポンスは1dBほど低下する。ニスには着色材を混ぜるが，これにはドラゴンブラッド（アマゾン流域に自生するヤシ科の高木の樹液）などが使われる。昔の名器にどのようなニスが使われているかについての調査もあるが，多くは経年変化によって「わからない」に陥っていることが多い。

ヴァイオリンのニスは基本的には薄いほうがいいという考え方がある[107]。これは，楽器の振動部分は軽いほうが振動しやいのでいい，ということに基づくが，オールドヴァイオリンのニスをはがすと音響特性はよくなったという報告（L. Condax）がある一方で，ニスの効用として，超高域の共振を抑えるとい

う報告もある。ニスによって表板の木目方向とそれに直角方向のスティフネスは大きくなり，共振の鋭い山をなだらかにして特定の周波数での暴れを抑えると解釈されている。ニスは低域の特性にはほとんど作用せず，板の厚さや表板の隆起，バスバーの強さ，魂柱の位置などに比べて音響特性への効果は小さいので，楽器の保護のためには厚すぎない程度で塗ればよいというのが結輪である[107]。

G.2.11 3D プリンターでヴァイオリンを作れる？？？

ヴァイオリンは，伝統的に手作業によって作られるのが普通で，表板・裏板の隆起（アーチ）も切り出した木材から削ってふくらみをもたせる。平板を高温加湿して表板・裏板を成型して作るヴァイオリンは「プレスヴァイオリン」という呼称で蔑視される。ところが，X 線 CT と 3D プリンター技術の高精度化によって，樹脂（ナイロン）を材料としたヴァイオリンの一体成型の試作品が東京都立産業技術研究センターによって公開されている[111]（**図 G.33**）。【URL:http://www.youtube.com/c/TIRICHANNEL】



図 G.33 3D プリンターによるヴァイオリンの製作（東京都立産業技術研究センターの HP から）。透明な素材と不透明な素材を試みている。

ただし，ヴァイオリンを作るのが目的ではなく，3D プリンター使用の応用例の提示らしい。編者は学会で現物を触らせてもらった。音は粗削りであり，少しこもった音のように聞こえた。音量は計測されていないが普通のヴァイオリンと同程度に出ていたように思う。

3D プリンター技術の応用の PR ということで，テイルピースやあご当て，さらにはテイルピースに取り付ける弦の張力アジャスターやあご当ての固定具などの付属品も 3D プリンターで作っている。アジャスターやあご当ての固定具

の素材はステンレススティールだそうである。素材はナイロンもステンレススティールも粉末状態のものから成型するそうで，仕上げとしては表面を研磨している。ボディ本体とネック部分は個別に作ったものを木槌で指板側を叩いて嵌め込んである。ペグとコマは本体やネック部分とは別に作っている。ボディ部分を手で作る場合は，表板・裏板・横板・コーナーピース・バスバー・魂柱は独立に作って，表板・裏板・横板・コーナーピース・バスバーはニカワで接着したあと，別に作った渦巻き付きのネックに指板を張り合わせて，本体に組み込んでから，f 孔から魂柱をはめ込むが，3D プリンターによる作成では，バスバーと魂柱は表板・裏板・横板とコーナーピースからなるボディー本体と一体化した状態で作る（魂柱の機能が変わることになる）ことが可能だそうである。表板については，杉やスプルースのような異方性をもたせることも可能である。

形状計測したヴァイオリンはヤマハの市販品ということであるが，全体の重さを 500g 以下に抑えるために材料の厚さは計測対象の楽器よりも薄くなっているそうである。また，軽量化のために，ネックやあご当てや金属部品は中空になっており，魂柱は通常のものよりも細い。弦や弓は強度の問題があるので，3D プリンターで作るということはしていない。3D プリンターによる製作は，モデルを入れ替えることが可能で，音響特性を調整することも可能であるので，音の向上が期待できるが，現状では塗装されておらず，樹脂そのものの一様な色であるので木製のような深みがない。耐久性は不明であるが，同一のものを容易に製作できるので耐久性は不要なのかもしれない。

G.2.12　こんな弾き方もある

（1） **ペンデレツキにおける弦楽四重奏**　ポーランドはショパンを生んだ国として知られるが，20 世紀に入ってからは新ウィーン派の広報係としてのルネ・レイボヴィッツ（1913-72），後期ロマン派と言っていい貴族出身のシマノフスキ（1882-1937），ポーランド独自の楽派を作ったルトルワフスキー（1913-94）を経て，先鋭的なグレツキ（1933-2010），ペンデレツキ（1933-2020）の世代に入る。ペンデレツキにはこれまでに弦楽四重奏曲が 3 曲あるが，その最初の

1960 年のもの（**図 G.34**）が彼の先鋭さを表すものとしてよく取り上げられる。第 2 番（1968 年），第 3 番（2008 年）は 1 番を最初に聴いた時ほどの先鋭さは感じられなくなっている。

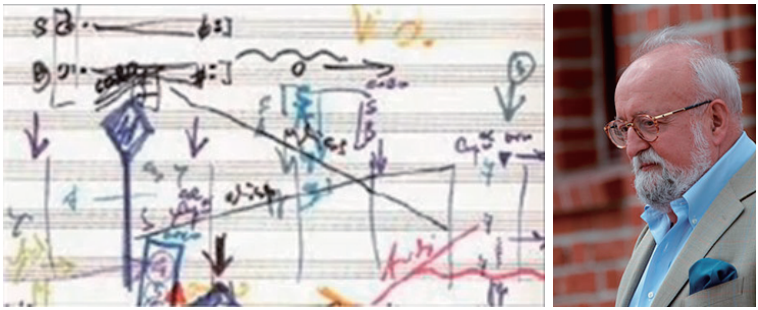


図 G.34　現代の弦楽四重奏曲の例の譜面の一部　作曲者ペンデレツキー【⬇：：音のファイル/付録関係/4. 諸資料/(a)Vn 関係 a-2 Penderecki-SQ1.wav】

1 番第 1 楽章の冒頭は 4 本の擦弦楽器がすべて打楽器として使われている斬新な音で始まる。途中でピッツィカートも混じるが最初はすべてコル・レーニョ（弓の木部で弦や胴を叩く奏法）で，骨董的美術品のような古楽器を使う場合はどうするのだろうかと心配するほどである。（多分，この曲の演奏にはそのような楽器は使わないのであろう。）弓を普通の奏法で使う状況は最後まで出てこない。

（2） ルントボーゲン（曲がった弓）の使い方

（a） 古楽器の弓として　　J. S. バッハがヴァイオリン曲の楽譜に 3 重音や 4 重音を書いているので，「バッハのころのヴァイオリンは 3 重音や 4 重音を弾くことができたはず」と，高名な医者でオルガン奏者でもあった Albert Schweitzer が考え，3 重音や 4 重音を弾くことのできる弓（ルントボーゲン：曲がった弓。Rundbogen. 英語では Curved Bow）を作らせ，それを使える奏者を見つけて特訓し，公開演奏までさせた。

ルントボーゲンは学術的には後に否定されたが，後年これを使ってバッハの曲を演奏する奏者が何人か現れた。ヴァイオリン自体は**バロックヴァイオリン**

(図 E.49 参照。ネックが現代のヴァイオリンよりも少し太くネックのボディへの取り付け角度が浅くて，指板とネックの境界線を横から見ると表板の周囲の面の延長上にあり，指板の高音部が短い）を用いるとは限らないが，弓については 4 重音を弾けるようにするためにいくつかの方式があるようで，4 弦を同時に擦るためにたるませた毛で単弦を弾くのに，指で毛を上へ押し上げて張る方式（図 G.21 中央の絵の右手と右の絵の上図）と，現在の市販品では小指でレバーを上げて毛を張る方式（図 F.6 ）がある。後者はフロッグ（弓の手元の可動式のつまみ部で弓の木部に毛を張る蝶番(ヒンジ)機構が組み込まれている）を小指で操作して演奏しながら毛の張りを制御できるようになっている。

【⬇：音のファイル/付録関係/4. 諸資料 (a)Vn 関係/a-3 /Buechner/Telmanyi}.wav】

Otto Büchner のものはルントボーゲンの演奏として初期のもので，まだ奏法の習得が完成していないようで，和音で高調波間の多重唸りが生じており，和音が汚い状態である。多分，音を聴いてからの押弦位置の微調整をせず，最初に押弦した位置のままで弾いている。これに対して Rudolph Gähler の演奏は純正律和音の訓練を十分経た上での録音のようで，和音がすっきりとしていてきれいな音である。テルマニー(▾)は少し技量が足りないようでモタモタした演奏になっている。

（b） 現代曲用の弓として　古楽器による古い型の音楽の再現とは関係なく，素材音としてルントボーゲン（**図 G.35**）で弾いた音を使う作曲家がいる。ピアノでもそのままでは使わず，弦の間に消しゴムやピンポン玉など種々の物体を挟んだりして弾く「プリペアードピアノ」として使った J. ケージ (1912-92) は，one[8](1991 年) でチェロにルントボーゲンを使った。**図 G.36** はそのレコードジャケットであるが，ルントボーゲン（カーヴドボウ）がよくわかる【⬇: 音のファイル \付録関係 \4. 諸資料 \(a)Vn 関係 \a-4 Cage-One8.wav】。



図 G.35　ルントボーゲン。上：毛を張った場合，下：緩めた場合

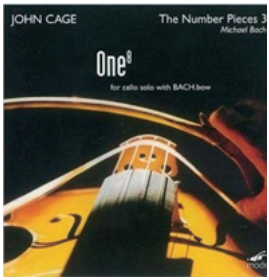


図 G.36　ジョン・ケージ「One[8]」のレコードジャケット

（3） 小鳥の鳴き声　パブロ・カザルスが国連の会場で故郷カタルニア地方では小鳥たちが「Peace, Peeace,・・・」とさえずりながら飛んでいる，という説明入りでチェロで弾いた「鳥の歌」が有名であるが，この演奏には，鳥の鳴き声を模した演奏音が入っているワケではない。ヴァイオリンで小鳥の鳴き声を模した音を演奏中に入れた「夜明け（El Amanecer：エル・アマネセール)」という古典タンゴ（Roberto Firpo 作曲，1914 年）がある。ピアニスト，カルロス・ディ・サルリの楽団による演奏の中で，エルビーノ・バルダーロとシモン・バジョウル（D. オイストラッフの弟子で，クラシック界で活動する場合はシムシア・バジョウルと名乗る）がヴァイオリンで小鳥の鳴き声を模しているので，その部分を音のファイルに入れておく。

【⬇：音のファイル\付録関係\4. 諸資料\(a)Vn 関係\a-5\El_Amanecer.wav】

G.3 ピ ア ノ 関 係

G.3.1 ピアノの発展の歴史

ピアノの出現以前で，弦を発音体とする楽器で鍵盤をもつものは，クラヴィコードとチェンバロであった。クラヴィコードは鍵盤でヴィブラートが可能であったが，何としても音が小さかった。チェンバロは音の大きさは十分であっ

たが，音の大きさをほとんど変えられなかった（弦を 2 本同時に引っ掻くか 1 本だけにするかを選択できたが，音量としてはほとんど変わらなかった）。

打弦楽器という意味でピアノの源を辿るなら，ダルシマー（図 2.21）ということになる。指やプレクトラムではじくプサルテリウム（古形は図 H.24 中央）を除外するためには，ハンマー・ダルシマーと言うほうが誤解を排除できる。ドイツ・オーストリアの手ではじく型のツィターがあったためか，ドイツ語ではそれとの区別を考慮して，シュラーク（叩く）ツィターと言っている。ただしドイツ語ではハックブレット（中世ドイツ語ではハッケブレット）という表現もある。ハンガリーなど東欧ではツィンバロン（語源はイタリア語のチェンバロと同じ）と呼ばれている。ただし，イタリア語ではサルテリオ・テデスコ（ドイツのプサルテリウム）と呼ばれ，フランス語ではテンパノン（イタリア語のティンパニと同語源）である。

ルネサンス期まで，あるいはバロックの中期ころまでは，鍵盤楽器でヴィブラートが必要ならクラヴィコードを，音量が必要ならチェンバロを使えばよかった。それで，バロック期の通奏低音（和音のための低音で，楽器は指定されない）用の楽器としては，オルガンやチェンバロあるいはバス音域のヴィオラ・ダ・ガンバ，テオルボ（低音域用の大型リュート）などが使われた。バロック期の演奏では，あまり感情移入をしないのが普通であったが，バロックの後期から古典期に入るころには，演奏に感情を入れ込むように徐々に変わってきて，音に強弱をつけることが求められるようになってきた。

擦弦楽器や撥弦楽器で音に強弱をつけるのは容易であったが。鍵盤楽器ではそれが困難であった。オルガンにはスウェルという機構があり，パイプ群を箱に納め，可動式の鎧戸をペダル操作で開閉し，音量を変える。チェンバロはレジスターによって引っ掻く弦の数を 1 本にするか 2 本にするかは切り替えられたが，弦を固定位置で固定の深さで引っ掻くようになっており，引っ掻き方に強弱を付けられなかったので，音量はそれほど変えられなかった。クラヴィコードは強弱を付けられたが，励振の効率が悪く音量が絶対的に足りなかった。

そこで，鍵盤楽器で強弱表現のできる楽器が求められ，鍵を強くたたけば大

きな音が出る鍵盤楽器が求められ，弦をはじく代わりに打つことによって弦を振動させる方法が考えられた。ところが，打弦にすると打弦後に弦がハンマーへ跳ね返ってくるので，ハンマーを打弦後素早く退避させる必要がある。打弦時点までハンマーに打叩力を加えていると，弦からの反発力をハンマーの退避に利用できないので，打弦時の弦の反発をハンマーの退避に有効利用するためには打弦直前にハンマーをフリーにすることが望ましい。かつ，次の打鍵に対処できるように，早くハンマーを次の打鍵が受け付けられる状態に復帰させることが要請される。

（**1**） **打弦機構の発明**　これらの条件を満たす打弦機構を発明したのが，メディチ家（ルネサンス期のフィレンツェの実質的な支配者で，後にトスカーナ公国の君主となった一族）の楽器庫の管理人であったクリストフォリ（Bartolomeo Cristofori, 1655-1731）である。発明の年は，メディチ家の 1700 年の記録に”Arpicembalo di Bartolomeo Cristofori col piano e forte di nuova inventione（バルトロメオ・クリストフォリによる新発明の小さい音も大きな音ももつハープチェンバロ）”との記述があることから 1700 年とされる[34)]。この発音機構は「小さい音も大きな音も出せる大きなチェンバロ（gravicembalo col piano e forte)」として作家のマッフェイ（Scipione Maffei）によって 1711 年に紹介された。現物としては，クリストフォリが 1720 年代に作ったものが 3 台現存する。これらは，ハンマーの 2 度打ちを防ぐ突き上げ式の打弦機構を備えており，各音高について弦を 2 本ずつ張り，レジスターによってハンマーが 2 弦を同時に打つか，1 弦だけしか打たないかを選べるようになっていた。このレジスター機構はチェンバロのレジスター機構の延長上のものであろう。

（**2**） **改 良 過 程**　この新しい楽器（イタリアでは pianoforte と略され，ドイツでは Hammerklavier ハンマークラフィアー「ハンマー鍵盤」と呼ばれた）が現代のピアノになるまでには音量の増強を中心として数え切れないほどの改良が施された。まず，音の無用な延びを抑えるためのダンパー機構が必要であったが，これはジルバーマン（Gottfried Silbermann, 1683-1753）によって解決の道が付けられた。大工の子として生まれたジルバーマンは，兄が開い

ていたオルガン作りの工房で修業し，ザクセンの宮廷オルガン職人にまでなって，50 基ほどのオルガンを作ったが，その後，クリストフォリの楽器を模倣して**フォルテピアノ**（ピアノが現在の構造になる以前のものを指す）を作るようになった。J.S. バッハはをジルバーマンのフォルテピアノを試奏して，「キーが重く，高音域が弱い」というような指摘をしたと言われる。その後，バッハは 1747 年にサンスーシ宮でプロイセンのフリードリッヒ 2 世から示された主題によってフーガを即興で御前演奏することになり，これをジルバーマンのフォルテピアノ（多分，バッハの指摘を受けて改良されたものといわれる）で行った。「音楽の捧げもの（“Musikalisches Opher”, BWV 1079）」はこの即興演奏を基にして献呈されたとされる。）その後，ダンパーについては膝で操作する方法などが試みられたが，最終的には現在のピアノに見られるように，右足で操作するダンパーペダルになった。同様に，クリストフォリの楽器に備わっていた打弦の数を選択するレジスター（チェンバロの機構の継承）に関しても，チェンバロと同じようにストップによって手で操作するようになっていたものが，後年には左足で操作するようになり，ウナ・コルダ・ペダルになった。

現在のピアノは，グランドピアノもアップライトピアノもフレームが鋳鉄製になっているが，鋳鉄フレームの特許はかなり古くて，1825 年にバブコップ（Alpheus Babcock）がとっている。エラール（Sebastian Erard）によるダブルエスケープメント（これによって，キーが完全に元に戻らなくても再打鍵ができるようになり，同一キーの高速連打が可能になった）の発明が 1821 年で，ダブルエスケープメントの導入とフレームの鋳鉄化が同じような時期にメーカーによってバラバラに始まったので，旧型から新型への製造工程の切り替えが複雑な状況になったが，19 世紀後期には旧型（フレームが鋳鉄でなく，打弦機構がダブルエスケープメントでない）の生産はほぼなくなった。

フレームの鋳鉄化とダブルエスケープメントの採用やダンパーと単一打弦のペダル化以外の大きな改良点は以下である。

1. 低音部の長い弦を高音部の上に斜めに張る交差弦によって，低音弦用のブリッジを響版の中央に寄せて，ブリッジの響板励振効率を改善した。

2. 響版の周囲を少し薄くし，ヴァイオリンの表板のアーチのように「むくり（中央の盛り上がり）」をもたせ，ブリッジからの圧力に対抗し振動しやすくした。
3. 低音用の弦の単位重量を大きくするために，芯線に金属線を巻き付ける巻き線が開発された。
4. 大きな音を出せるようにハンマー質量を増大させた。
5. 演奏中に余韻を延ばしたい音とダンパーで抑えたい音が併存する場合に，思ったように操作できる機構として，ソステヌートペダルが追加された。

（**3**） **ペリオド楽器による演奏コンクール**　演奏のコンクールは，複数種の楽器のコンクールが並行して行われるエリザベート王妃コンクール，チャイコフスキー・コンクールもあるが，単一種の楽器の演奏を対象に行われるものが多い。ピアノに関するものとしては，1927 年に始まり大戦中を除いて 1955 年以降は 5 年ごとに開催されているショパン・コンクールが最もポピュラーで，課題曲はすべてショパンの曲で，応募は 30 歳以下に制限される。用意される公式ピアノも限定されている（現在はスタインウェイ，ヤマハ，カワイ，ファツィオリの 4 種で，ベーゼンドルファーは今世紀に入って外された†）。

ちょっと特殊なコンクールとして，2018 年に歴史的な楽器を使って，ショパンが活躍していた時代の奏法を競うペリオド楽器の演奏コンクールがショパン研究所の主催で開かれ，同研究所が所有する歴史的な楽器（エラール，プレイエル，ブロードウッドなどの現物や，ブッフホルツの復元楽器など）が使われた。

使用されるピアノは現在のものとはタッチが異なり，その演奏には現在の楽器を使う演奏とは違った技術が要求され，かつ評価基準が，ショパンの時代の演奏をいかに表現するかというものなので，奏者も評価する側も難しかったはずである。

† スタインウェイは初回 1927 年から，ヤマハとカワイは 1985 年から，ファツィオリは 2010 年から公式ピアノとして採用されている。ベーゼンドルファーは 2005 年から資金難によって外れている。公式認定されるには協賛金を求められるようである。ベヒシュタインは多分ナチとの関係によって第 2 次大戦後に外されたと思われる（未確認）。

G.3.2 ピアノメーカー

（1） 御　三　家　世界でのピアノメーカーの御三家としては，伝統的にスタインウェイ，ベーゼンドルファー，ベヒシュタインとされている[†1]が，第3章では，代表的な3社として，スタインウェイ，ベーゼンドルファー，ヤマハをとりあげた。これは生産台数[†2]と日本での普及率を考慮しての選択である。

ヤマハは明治以降に欧米の先発メーカーのもの（当初はベヒシュタイン，のちにスタインウェイ）を手本にして，基本性能の向上を重ね，品質管理の徹底によって，「基本的な品質が高く，当りはずれがない」という評価は勝ち取ったが，「個性・特徴のないピアノ」というレッテルを貼られているようで，ヤマハから分かれたカワイはそれを打破するべく，独自性を模索しているようである。ヤマハも2007年末にベーゼンドルファーを経営的に傘下に入れ，ヨーロッパの精神を汲み取ろうとしているように見える。

（2） 各社の特徴　機構的な面で改良策を出したメーカーとして，古くはダブルエスケープメントを開発したエラール（仏），ダンパー機構を開発したプレイエル（仏），フレームを鋳鉄にしたシュタインヴェーク（独：現スタインウェイ），音質の改良策として，ヒッチピン経由での弦の往復張りを避けてすべてを一本張りにしたベヒシュタイン（独），下にエクストラ・キーを9鍵追加して共鳴を豊かにしたベーゼンドルファー（墺），共鳴用のアリクォート弦を

---

†1　四天王（？）の場合はこれにブリュートナー（Blüthner）が加わり，5大メーカーという場合はさらにファツィオリ（Fazioli）が加わるようである。

†2　ピアノの生産台数としてはヤマハがダントツで1位，カワイが2位であるにもかかわらず，どちらも「御三家」には入っていない。これは，創業がヤマハは1897年，カワイは1927年で，ショパンやリストなど，歴史上の名手に好まれたというような歴史がないことと，他社に先駆けて搭載した画期的な機構やアイデアというようなものがなく，これといった独自性ももたないからである。ドイツで最大のピアノメーカー「シンメル (Schimmel)」も創業が1885年で歴史が浅く，御三家には入っていない。
生産台数に関して，最近はかなり状況が変わってきて，ヤマハとカワイがインドネシアと中国での生産を増やしており，例えばヤマハは2007年には国内生産のほうが多かったが，2010年には中国杭州での生産（3.7万台）が国内生産（2.5万台）を上回り，2013年には。インドネシアでの生産（3.6万台）が国内生産（1.8万台）を越えている（ヤマハの2013年3月の営業パワポ）。欧米のメーカーは生産拠点を中国にもっていないようで，ドイツのメーカーの生産台数が日本の約1/4程度という状況は変わらないようである。

追加したブリュートナー（独），ウナコルダのためのシフト機構以外のソフト化機構を追加したファツィオリ（伊），極高音の響きを改善するアリクオートベルを付けたスタインウェイ（独・米），などがある。機能面での最近の改良としては，1992 年創業のスチュアート＆サンズ（豪）が，低音側にベーゼンドルファー・インペリアルと同様に 9 鍵追加し，さらに高音側も 11 鍵を追加して音域を C0-H8 にした 108 鍵総一本張りの “Beleura”を出している。

このような機構的な面に加えて，「ショパンに愛された」プレイエルとか，「リストの強い打鍵に耐えた」エラール，ドビュッシーに「ピアノ音楽はベヒシュタインのために書かれるべきだ」と言わせたドイツの名門ベヒシュタイン，オーストリアの魂と言われるベーゼンドルファー，ワグナーが楽劇に使ったバイロイトのシュタイングレーバーなどという歴史的な名声が偉大なピアノと呼ばれるには求められているように思う。

ただし，このような輝かしい歴史をもつメーカーも経営的には難しくなっているようで，スタインウェイはともかくとして，ピアノのストラディヴァリウスとも評されるベヒシュタインは 1962 年にアメリカのボールドウィン社の傘下に入ったのち，1986 年にドイツに経営権が買い戻され，以後東西ドイツの統一を機に資本を増強し，ツィンマーマン社やホフマン社を吸収合併して存続している。ベーゼドルファーはブランド名は残ったが経営的には 2007 年にヤマハの傘下に入った。プレイエルは経営難で 1961 年に同じフランスのエラールと合併し，2008 年にはアップライトの生産を止め，2013 年にはグランドの生産も停止して，現在は修理のみになっている。

G.3.3 ピアノの調律

（1） 音律の問題　ギターの調弦を適正にできる人なら，頑張ればピアノの調律もできるのではないかと思う読者がいるかもしれないが，ピアノは純正律やピタゴラス音律に基づいて調律することができないのである。5 度に基づいたピタゴラス音律ではピタゴラスのコンマと呼ばれる誤差（$(\frac{3}{2})^{12}$ と 2^7 の違いによる誤差）が生じて都合が悪く，純正律にすると平行調間でさえも長調と

短調でそれぞれの和音の周波数比を統一するのに問題があり，さらに特定の調に合わせるとほかの調で和音の周波数比が破綻する。そこで，どの調でも大きな不都合が生じないような音律で妥協せざるを得なくなり，平均律に近い音律に調律することになる。

ただし，厳密に平均律で調律すると，ほぼどの調でもそれほどおかしくはないが，注意して聴くと和音の響きが濁るという不都合がどの調にも現れる。調にはよく使われる調とあまり使われない調があるので，よく使われる調，あるいはそのピアノを使用する人がよく使う調の和音がきれいに響くようにすればよいが，それをどのように選ぶかは使う人と調律師の考え方による。

（**2**） **低域・高域の音程感覚**　ヒトの高さ知覚は可聴域の中央部分（数百〜数千 Hz）ではほぼ周波数の対数に比例するが，極端に低い音域や極端に高い音域では高さの差の知覚がほんの少し鈍くなるという特性がある。ピアノは音域が広く，ピアノの最低音域や最高音域ではオクターヴを 2 倍よりもほんの少し広く取らないと，適正な音高に聞こえないので，それも考慮した調律が求められる。ただし，知覚的に適正と感じられる高さに調律すると高調波間のうなりの速度が速くなって音が濁るので，適当な妥協点を探ることが必要になる。これをどのようにするかも，本来は奏者と調律師の間で決めることが望ましいが，よほど神経質な奏者でない限り，普通は調律師に任せてしまう。調律は，最初の音（通常は A4 あるいは A3）だけは音叉や周波数カウンターで合わせるが，以後は基本的には調律するピアノの弦間の高調波間に生じるうなりによって行う（そのようにするほうが，1 本ずつカウンターで合わせるよりも細かく調整できる。カウンターを頼りにして調整する場合は基本波の周波数で合わせることになるが，高調波間のうなりを使うと，精度がそれより数倍よくなるからである）。

（**3**） **複　　弦**　ピアノは低音域を除いて 1 つのキーに対して 3 本あるいは 2 本の弦が張ってあるが，調律ではその内の 1 本以外は音が出ないように布で抑えておいて，各キーについてまず 1 本だけ調整し，残りの 2 本あるいは 1 本については適当な「うなり」が得られるように，あとでそれに基づいて調

整する。1 つのキーに対応して弦が複数張られている場合，それらはそのキーの対応する周波数で振動するように張られているが，それらが同時に励振されると，それらの周波数の差の速さの「うなり」が生じる。このうなりは音が長く続いた場合の音高に時間的な揺れを与える効果がある。複弦の調弦は，一本が適切な周波数に調弦されている状態で，その他の弦とのうなりが適当な速さになるように調整する。

（4） **オクターヴ内の 12 音の調律例**　まず中域の 1 オクターヴ分（例えば，最初の音が A3 なら，F3〜E4）を 5 度や 4 度の関係を使って調律しておき，そこから上下にオクターヴ関係で拡げていく。最初の音は音叉や周波数カウンターを用いて確定しておく。その他の音高の調整には目標の音律の各音高を純正律から特定の高調波間で何 Hz ずらせるかの情報を使う。この 1 オクターヴ分の調律については 5 度あるいは 4 度とそれらに相当する目標の音律（平均律に近い）の音高の高調波間のうなりとオクターヴの周波数関係を使う。

例えば A3 に基づいて D4 を合わせる場合なら，A3 と D4 の音程は 4 度（周波数比は 3:4）なので，純正律なら A3 の第 4 高調波は D4 の第 3 高調波と一致するが，平均律なら D4 の第 3 高調波は A3 の第 4 高調波よりも約 1Hz 高い。したがってこれらの間のうなりが 1Hz（1 秒に 1 回）になるようにすればよい。D4 を確定できれば，D4 を基にしてその 4 度上の G4 を同様にして調弦できるので，その 1 オクターヴ下の G3 を調弦できる。G3 を確定できれば，同様に G3 を基にしてその 4 度上の C4 を調弦できる。

A3 に基づいて E4 を合わせる場合なら，A3 と E4 の音程は 5 度（周波数比は 2:3）なので，純正律なら A3 の第 3 高調波は E4 の第 2 高調波と一致するが，例えば平均律なら E4 の第 2 高調波は A3 の第 3 高調波よりも約 0.7Hz 低い。したがって E4 を合わせるにはこれらの間のうなりが 0.7Hz（2 秒にほぼ 3 回）になるようにすればよい。調整の方向は調整対象の弦の張力を少し変えてうなりが速くなるか遅くなるかで判断できる。

E4 を確定できれば，E4 を基にしてその 5 度上の B4(【独】H4) を同様にして調弦できる。B4 を確定できれば，同様に B4 を基にしてその 5 度上の $F^{\#}4$

からその 1 オクターヴ下の $F^{\#}3$ を調弦できる。このようにして A3 から 4 度ずつおよび 5 度ずつ上がってオクターヴ内に押し込むことによって F3〜E4 の 12 音を確定できることになる。各音間の音程を純正律からどれだけズラせるべきかは，調律師が個人ごとに自分固有の調律情報としてもっている。

（5） 上下オクターヴへの拡張　オクターヴ関係で合わせる場合でも，基本周波数の比をちょうど 2 にして調律すると，ピアノの場合は弦の曲げに対する抵抗力に起因するインハーモニシティ（非調波性）によって高次高調波の周波数が基本周波数の整数倍からずれ，高調波間にうなりが生じる。これを耳障りにならないように抑えるためにはオクターヴの周波数比を 2 よりも少しだけ広くする。ただし，広げすぎると低次高調波間のうなりが生じるので，実際の調律ではオクターヴも高調波のうなりが耳につかない程度に拡げる。これをどの程度にするかは調律師に依存するが，奏者からの要望・希望があればそれを加味する。

G.3.4　ピアノの音はタッチによって変わるの？

同じ強さで打鍵されたピアノの音がタッチ（打鍵の仕方）によって変わるのかという議論が昔からあり，研究は数えきれないほどある。代表的なものだけを挙げてみても，鈴木はシャンクのしなりや打弦時の変形による打撃力の変化を解析し[112)]，Askenfelt はハンマーヘッドの速度と加速度を種々のタッチについて測定し[113)]，Koornhof はレガートとスタッカートの音質への効果を調べ[114)]，長沼は先行音との関係を調べた[115)]。また，Goebl は押すタッチと叩くタッチの差によるアクション機構の動作の違いを調べ[116)]，木下は奏法として同一と考えられる弾き方による音の音響効果を計測し[117)]，Vyasarayani はタッチによる音質への影響をシャンクの曲げ剛性から検討し，アクションから弦振動までをモデル化した[118)]。このテーマに特化した書籍も日本で出版されており[89)]，「ピアノの音響学」[34)] の中でも，5.1「キーアクションとタッチ」でかなりの紙面を割いている。

工学的に考えるなら，打弦部分を一点としてハンマーヘッドが剛体で変形しないと単純化し，さらに弦は完全にしなやか（曲げ剛性がない）で，長さ方向には伸縮せず，振動は長さ方向に垂直な面内だけとすると，弦振動の微分方程式の形から，弦の振動はハンマーヘッドの打弦速度だけで決まるので，静止状態からの打鍵であれば，打鍵からハンマーによる打弦までの動作は打鍵速度で決定され，それ以外の要素は弦の振動に影響しないはずである。それでも，シャンクのしなりの程度が打鍵の仕方によって（言い換えればハンマーに対する加速の時間変化の違いによって）変わるなら，ハンマーヘッドの打弦速度が同じでも，打弦後にしなりがどのように戻るかによってその後（ハンマーが弦を押している間）の励振様態が変わる可能性があり，この状況は音に違いを起こす可能性がある。

また，同一タッチでの発音であっても，以下のことを考えれば，状況によっては音質に違いが生じることがあり得る。つまり，同一キーの連続打鍵であれば，定位置に戻ったハンマーが次の打鍵によって駆動される際には完全静止の状態からの打弦とは状況が異なるとか，ダンパーが上がっているキーがあれば，ほかの弦の振動がブリッジやカポ・ダストロ・バーなどを経由して，わずかに励振を受けて振動する可能性がある。

編者もこの「ピアノの音はタッチによって変わるのか」には興味をもっており，日ごろ「タッチによって音色が異なる」と主張している演奏家に訊いたところ，打鍵強度とペダルが同一の状態で 5〜6 通りのタッチを使い分けているということであったので，そのように弾き分けてもらった音を収録し，音量を正規化した後に，提示順序をランダムにしてそれらを聞き分けることができるかを，奏者本人に対して聴取テストしたところ，予備実験では 5 種類のタッチでの正答率は 70〜80 %であった。チャンスレベルの正答率は 20 %程度なので，かなりの程度で聞き分け可能な弾き分けができていると考えられる。（このミニ実験（付録 F.2.2 項 (3)「ピアノの奏法」脚注）での試験音の数は 5 タッチ× 4 試行＝ 20 と非常に少ない）

被験者になっていただいた奏者によるピアノ（弱音）でのタッチについての

奏者自身による言語表現は，「普通に（特に意識しないで）」以外に次の 4 種である。

1. 指先の関節を曲げて指の重さだけでゆっくり真下に下げる。
2. 指を奥へゆっくりした動きで滑らせる。
3. ゆっくりと腕を使って手前に滑らせる。指は伸ばし気味。
4. ゆっくりと腕を使って向こうに滑らせる。指は伸ばし気味。

G.3.5　自動ピアノってどういう仕組みなの？

人間による演奏なしでピアノを駆動するというアイデアはかなり昔からあった。初期のものはロールピアノと呼ばれるもので，19 世紀末に Melville Clark が初めて作り，後に創業 1857 年の Story 社と協同して，Story & Clark 社となった。幅が 30cm ほどの分厚いロール紙に長さ方向に時間軸をとって，幅方向にピアノの各キーに対応する位置を決めておいて，そこに穴があいていればその位置に対応する弦をハンマーで叩くというようにして，ロール紙を読み取っていき，穴の情報に従ってハンマーが打弦するようになっていた（**図 G.37** 左）。動力はコイルスプリングで軸の回転速度安定化のためにガヴァナー（図 G.37 右の右端）がつけられている。



図 G.37　ロールピアノ　ベヒシュタイン＝ヴェルテ「ミニョン」。左：前面，右：前板を開けたところ（右側にガヴァナー（回転安定機）が見える）

自動演奏できるということで，いろいろな曲の演奏のロール紙が売り出され，1920 年代にアメリカのバーなどでかなり広く使われたようである。ただし，この方法ではどの弦をどの時点で叩くかの情報は記録できたが，打弦の強さに関

する情報は記録できなかったので，自動演奏は強さが一定（というよりも制御不能）のものであった。

これは当時すでにあったストリートオルガンの変形のような装置としていくつかの会社が作っていた。電気が使えない時代は手回し，あるいはゼンマイが駆動源であったが，電気が使えるようになってから，Bechstein 社がロール紙の送りと打弦を電気で行うヴェルテ＝ミニョン（Bechstein-Welte “Mignon” 図 G.37）を出した。

これに続いて開発されたものがベヒシュタイン社が 1930 年に出したネオ・ベヒシュタイン（**図 G.38**）で，打弦のためのソレノイドが強すぎた（弱くたたけなかった）ため，ピアノのハンマーとは別に小さなハンマー（マイクロハンマー）を新たに追加して，それで打弦し，その振動を増幅してスピーカーから出力した。このため，普通のピアノとはまったく異なった音だったのが原因で販売は伸びず，また会社がナチから援助を受けていたため，ナチの上層部とつながっているのではという噂も立って，第 2 次大戦後も含めて販売総数は約 150 台にしかならず，経営的には破綻した。



図 G.38　世界初の電気ピアノ　ネオ・ベヒシュタイン
左：内部全体，右：ピックアップ部

これに続いて自動ピアノを出したのは Bösedorfer 社で，1980 年代であったので技術が進んでおり打弦強度を調整できるソレノイドも開発され，モデル SE では十分広いダイナミックレンジで弦を叩けるようにはなったが，打鍵強度によってハンマー速度が変わることに対する補正が不十分であった[119)]。次のモデル CEUS ではこの補正はほぼ適切なレベルになったが，補正量をマニュアル

で調整する必要があるようで，これを自動的に修正できるように改良する余地があるように思う[120)]。

MIDI 制定後の自動ピアノは MIDI との互換性を考慮せざるを得なくなり，自社の符号化方式を採用するにしても，世界共通の符号化形式としての互換性が求められるという状況になっている。**図 G.39** の自動演奏システムは MIDI よりも 1bit 細かい記述精度をもっているが，最下位の 1bit を削ることによって，MIDI 規格との互換性を確保している。

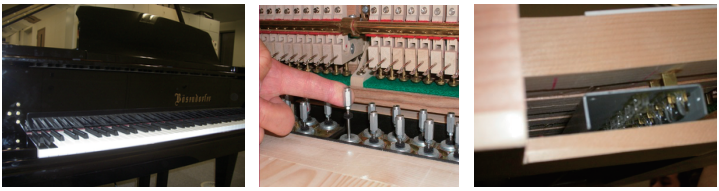


図 G.39　左から，ベーゼンドルファー・セウスの押しボタン・スイッチ (左側に 4 つ)，キー奥の突き上げ用ソレノイドヘッド，キーセンサーとスリット（写真の上部はキー奥の側面）

G.3.6　アップライトピアノの改良

アップライトピアノの改良として，弦の総一本張りの導入や，弦の並びを整えるために弦をまとめて押さえるカポ・ダストロをやめてキーごとに弦を整える総アグラフにしたり，アップライトでの左ペダル用の常套的な代替手段である「ハンマーの静止（打鍵待機状態の）位置を弦に近づける」代わりに鍵盤を右へシフトさせるなど，グランドピアノの仕様をアップライトピアノへもち込んだ改良が試みられている。

大量生産でないほうが 1 台ずつに手間をかけることができるということと，日本では平均的な住宅事情からグランドピアノを置くスペースがないということもあって，日本国内では中小規模のピアノメーカーによるアップライトピアノで特徴をもつものが多い。例えば，弦をヒッチピンでの折り返しでなく 1 本ずつエンドピンで留めて 1 本ずつ独立に張った型（俗称：一本張り）のディアパソン社（アップライトの 132 シリーズなど)。アップライトではあるが総ア

グラフにしたディアパソン（132GW, 132DW），アポロ社など，手間をかけて作るモデルがある。アップライトピアノは大戦後の高度成長期の日本でよく売れたが，ドイツでもシンメル社はアップライトモデルの販売で業績を伸ばした。

アップライトでありながらグランド並みの連続高速打鍵が可能なアクション機構をもち，左ペダルがグランドピアノと同じようにウナコルダ・ペダル（ペダルを踏むと鍵盤が右へシフトしてどのキーについてもハンマーが打つ弦の数が少なくなる）になっているアポロ SSS などもある。この機種は「グランドピアノに最も近いアップライトピアノ」をキャッチフレーズにしている。

G.3.7　こんな弾き方もある

（**1**） **プリペアードピアノ**　　ピアノで従来のピアノの音ではない音を出す方法として，米国の作曲家ジョン・ケージ（1912-1992）は**プリペアードピアノ**と名付けたものを考えた。それはピアノの反射板を開けて，水平に張ってある弦面にスプーンやピンポン玉を置いたり弦の間に消しゴム挟んだりして，通常の弦振動以外の音を生じさせたり，弦振動を抑制したりして，普通のピアノの音とは違う音を得る奏法である。使うものに制限はないが，弦の上に置くことができるもの，あるいは弦の間に挟むことができるもので，そうしてもピアノの弦にダメージを与えないものが使われる。演奏中に，このような前準備をしてある弦と，何もしていない弦の音が混じると違和感があるので，前準備をしてあるキーを覚えておくか，演奏中に使うキーすべてに何らかの事前準備をしておく。ケージがこれを始めたのは 1940 年代後半である。

（**2**） **タチェット**　　“Tacet”は音楽用語で，長い休止を意味する（楽器はピアノに限らない）が，英語で “tacit”。イタリア語の元の形は “tacito”（タチト）。ラテン語およびイタリア語の動詞 “tacere(黙る)”の過去分詞形による形容詞で「静かな」を意味する。ケージは，上記のプリペアードピアノの他に**無音の音楽**「4 分 33 秒」を発表している。この曲に関しては楽器の指定はないがピアノが使われることが多い。それはこの曲に使う楽器として，各楽章の始まりと終わりが明確に聴衆（視衆？）にわかる必要があるからで，ピアノは蓋の

開閉でそれを明確に表すことができるからである。楽譜では，各楽章の内容は“**Tacet**（休止）”となっている。ピアノの場合，演奏音を出すには鍵盤の蓋を開けなければならない。したがって楽章の開始はふたを開けることによって示され，楽章の終わりはふたを閉じることによって示されるが，この曲の場合は各楽章の開始で閉め，終了で開け，奏者は楽章が進む間，何もしない。ただ，3 つの楽章の合計時間は 4 分 33 秒と指定されている。Woodstock での初演（1952 年）でも，ピアニストの David Tudor が第 1 楽章を 33 秒，第 2 楽章を 1 分 40 秒，第 3 楽章を 1 分 22 秒で（楽章間の時間も入れて）合計 4 分 33 秒で「演奏」したので，「4’33”」が曲の通称となっているが，『作曲者の告白』では本来の名称は「Silent Prayer（無音の祈り）」のつもりであったと書いてある。この曲でケージが問いかけたかったのは，「音楽は音として奏者が演奏すべきものでなければならないのか」という『音楽に対するアンチテーゼ』で，奏者は楽章の開始と終了を示して，その間は何も演奏しないで楽章を終え，次の楽章に移る。合計時間は 273 秒で，これは絶対 0 度を表すのかも知れないと言われているが，本人には確認されていない[74)]。

（**3**）**内部奏法**　現代音楽でよく使われる奏法として，グランドピアノの反射板を開けて，手（通常利き手）を内部に突っ込んで弦を直接指ではじくという奏法（**図 G.40**）がある。この奏法ではハープのような柔らかい音が得られるが，この奏法場合，どの弦がどの高さのものなのかをわかっておく必要がある。同じような操作で，やはり手（通常非利き手）を内部に突っ込んで，弦の可振動部分の全長の手前から整数分の 1 の位置に指を軽く当てておいてその弦に対応するキーを叩くと，ギターやヴァイオリンなどにおける**ハーモニックス**奏法と同じことができる。

この場合はどの弦がどのキーに対応するかをわかっておくことの上に，その弦のアグラフ（あるいはカポ・ダストロ・バー）からブリッジまでの長さの整数分の 1 の位置が弦の上ではどこになるのかを覚えておくか，印をつけておくかしなければならない。



図 G.40 左手で鍵盤を弾きながら，右手で弦を直接はじく
奏者：故辻井英世氏

G.4 そ の 他

G.4.1 和楽器も進化している

(1) 箏

(a) 古墳時代からあった箏 日本には，現在**和琴**（かつては倭琴）と呼ばれる 6 弦可動フレット（琴柱）のものが，古墳時代からあったということが多数の出土品からわかっている。厳密には，可動式の柱で音高を決めるものを「箏」，柱をもたないものを「琴」として区別するが，ほとんどの場合混同され，一般語としては楽器は「琴」と呼ばれ，曲は箏曲と呼ばれる。

和琴は 6 弦で柱をもち，手前から順に 3 弦 1 組で D4, A3, D3, B3, G3, E3 と調弦され，奏法は現在のように箏爪を指にはめるのではなく，右手にもった琴軋と呼ばれる 7〜8 cm ほどの鼈甲あるいは水牛角製のヘラ状の撥）で弦をはじいたとされる[121)]。

箏は 13 弦が標準で，これは「十三絃」とも呼ばれる。内部が空洞の不完全筒型のツィター属の撥弦楽器で，裏板の両端近くに響孔が開けてある。雅楽などに使われる「楽箏」と地唄用の一般的な「俗箏」に分かれる。楽箏は全長が約 190cm，俗箏は約 180cm で，ともに表板は長さ方向にわずかに反りをもち，断面はなだらかな山型になっているが，裏板は両端近くに穴を開けた平板である。楽器全体を竜に見立てた名称が付けられており，表板は竜甲，裏板は竜腹，

弾く側は頭部，余った弦を巻いて置いておくほうを尾部と呼んでいる。本体には通常桐材を使う。頭部のブリッジに相当する部分は竜角と呼ばれる。

楽箏は俗箏に比べて磯（側面）が浅いので薄く見えるが，俗箏よりも太い弦を使い，現在の生田流あるいは山田流の箏とは異なる形状・大きさの爪を用いる。現在でも宮内庁楽部が伝統儀式などでは楽箏を使用する。伝統的奏法では，生田流は箏の中央を向いて斜めに座って弾くが，山田流は正面に向かって座る。流派による箏の違いは，1800 年頃に山田検校が起こした山田流が，頭部・尾部・側面の装飾性を排除した素箏を始め，竜角に固い材料を用いることによって，生田流で使用していた枕糸（竜角の摩耗抑止のために竜角の上に置く糸，ギターのサドルに相当する）を廃止した。生田流から山田流への箏の改革は，その他にも竜尾の糸の雲角へのまとめ方が 3 群であったのをひとまとめにしたとか，爪の両角が尖っていたのを中央だけにしたなどであるが，現在では山田流的なものが主流になっている。

通常は右手の親指，人差し指，中指に義爪（通常は単に「爪」。生田流は角型，山田流は丸型）をはめて弾く。爪は，現在では合成樹脂製になっている。通常，親指は手前から外側へ弦をはじくが，逆方向にはじく「返し爪」もある。奏法は楽箏の奏法を踏襲し，親指で弾く（手前から外側へはじく）のが中心になるため，伝統的に下降旋律の曲が多い。リズム的には 8 拍子が多いが，現代曲では伝統奏法にこだわらない弾き方（義爪を使わず両手で弾くなど）もある。左手は素手で柱よりも左側を抑えて半音から 2 全音を上げて必要な音高を作る。柱よりも左側の弦をゆすって（張力を時間的に揺らせて）ヴィブラートをかけることができる。

（b）**箏の調弦**　箏の調弦は相対的に決められており，最も標準的な**平調子**では，弦番号で 1（第 1 弦：奏者から最も遠い弦）の音高を基準として，2 は 1 の 5 度下，3 は 1 の 4 度下，4 は 3 の半音上，5 は 1 と同じ高さ，6 は 5 の半音上，7〜13 はそれぞれ 2〜8 の 1 オクターヴ上である。平調子は俗箏の標準的な調弦法で，八橋検校の創案と言われる。臨時記号を使わずに済むようにして（主音を平調 E として）書くなら，第 1 弦から順に，E4, A3, B3, C4,

E4, F4, A4, B4, C5, E5, F5, A5, B5. であるが，実際の調弦では壱越調（D が主音。高調子）ならすべて平調より 1 全音下げ，双調（G が主音。低調子）ならすべてを平調より長 6 度下げる。

楽箏の調弦は，神楽[†1]および久米歌[†2]用では律調弦とし，東遊び[†3]や大歌[†4]用には呂調弦とする。

（**c**） **箏の改良**　現在標準の 13 弦の箏（**十三絃**）は一般語としては琴と呼ばれ，奈良時代に唐から伝来したものの影響を受けて改造され，江戸時代に楽箏（雅楽用）から別れて発展したもので，**生田流**のものと，江戸時代後期に起こった**山田流**のものがある。生田流は 1945 年ころまで楽箏の形態や装飾性を多く踏襲していた（ブリッジに相当する「竜角」の上の枕紐など）が，徐々に山田流の形態に簡素化されていった。

江戸期での楽箏からの形態的な変化としては，表板のソリ（長さ方向のカーヴ）が大きくなり，ソリの中心が頭部寄りになり，むくり（断面のカーヴ）が大きくなった。その他，琴柱の脚の開きが狭くなり，頭部の装飾が豪華になった。1800 年頃に山田検校とその弟重元房吉によって，それまでの装飾の多い飾り箏に対して，装飾性の少ない素箏が作られ，これが山田流の箏となり，義爪は角を排除して先を丸くヘラ状にした部分で弾くようになった

（**d**） **絃数の拡大**　大正時代後半から昭和初頭にかけて，当時の箏の第一人者であった宮城道雄（1984-1956）が，弦数の多い箏をいくつか考案開発した。その中でも八十絃の箏（**図 G.41**）は試作機の発表会（昭和 4 年 11 月）での種々のトラブルもあって世間に知れ渡ったが，演奏が難しいということもあって楽器そのものの評価は低く，試作発表会に使われた楽器はその後に演奏会も

---

†1 日本神道の神事において神に奉納される歌舞。

†2 大和政権の久米部（古代日本の軍事的な職業部の 1 つ）が出陣や戦勝時に歌い踊ったとされる歌舞。「記紀」（「古事記」と「日本書紀」）の，ともに神武天皇の条に記載される。14 曲あるとされ，奈良・平安時代には宮廷の歌舞になったとされる。

†3 東国地方の風俗歌に合わせて行われる民族舞踊で，平安時代からは宮廷・神社などでの神事舞になっている。和琴以外に笛，篳篥なども使用する。

†4 日本古来の楽・歌で，大歌所で管理で伝承された神楽や催馬楽など。

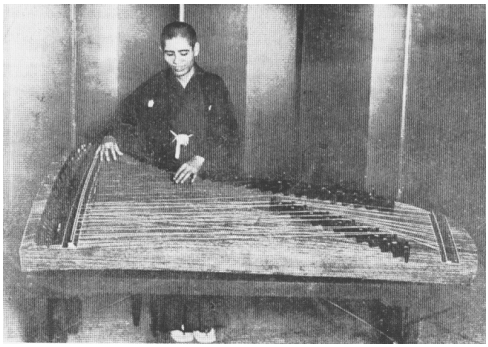


図 G.41　八十絃を弾く宮城道雄（昭和 4 年, [121] p.23）

なく第 2 次大戦で消失した。以後，復元品が作られたという話は聞くが，演奏会が開かれたという話は聞かない。それはピアノほどの大きさがあり，ピアノでは不可能なヴィブラートや撥弦位置を変えることによる音色の変化，演奏中のスコルダトゥーラ（臨時調弦変更）など，機能的に期待される面は多々あったが，演奏が難しすぎたので，以後の改良や商品化もなく試作機 1 台限りで消滅した。これに対して，通常の十三絃に低音弦を追加した「**十七絃**」をはじめ，それを参考にして野坂恵子が創始した「二十絃」，宮下秀冽が考案した「三十絃」は，現代邦楽の分野では一般化しているといっていい。

（2） 尺　　八

（a） 尺八は「一尺八寸」のものだけを指す？　尺八は唐代初頭に中国で生まれ，7 世紀後半に日本へ伝来し，その後，日本で多様なヴァリエーションができた。雅楽に使われる古い型のものは雅楽尺八あるいは古代尺八と呼ばれ，正倉院に 8 管（内，石製が 1 管，象牙製が 1 管，ともに竹を模した節が作られている），法隆寺に 1 管の計 9 管が残されている（現：東京国立博物館蔵）。すべて 6 孔 3 節のもので，「源氏物語」に「さくはちのふえ」として登場するが，演奏伝承は「今鏡」での記述を最後に 12 世紀半ばで絶えた（「日本の楽器」[121] p.196）。

現在の尺八の前身楽器としては，大きく分けて 2 種類あったようで，1 つは

室町時代後期から武士階級で愛好された「**一節切**（ひとよぎり）」と呼ばれる 5 孔（前面 4, 背面 1）・1 節の笛（**図 G.42**）で，竹を切り出して，歌口として上端を斜めに切り落としただけの 33cm 前後の直線的なもので，歌口に「はめ込み」がない。織田信長から秀吉を経て家康へ譲られたものや水戸徳川家伝来のものなど，歴史的なものがかなり残っている。 節は前面 4 孔よりも手前にある。



図 G.42 一節切[121)]
左：信長から秀吉を経て家康に渡ったもの，
右：水戸徳川家伝来のもの

もう 1 つは民間芸能で使われた 45〜55 cm で，節を 3 つ使った 5 孔・3 節の「三節切（みよぎり）」で，多数の実例や絵から現行の尺八はこの流れのものであるとされる。3 つの節のうち，中央の節は全面の 4 孔を上下 2 孔ずつに分ける位置にあり。標準は 55 cm 前後の一尺八寸管であるが，種々のサイズのものがある。

薩摩に伝わる天吹（てんぷく）は長さ 30cm ほどで下端に間隔の詰まった節をもたないが，三節切の一種と言える。

（b） 法器からの解放　　江戸時代には普化（ふけ）宗の虚無僧寺院を拠点にして，現在「**古典本曲**」と呼ばれている独奏曲が演奏された。普化宗では尺八を宗教的な法器として扱い，武家出身の虚無僧以外が尺八をすることを禁じ，また尺八を箏や三味線との合奏に使用することを禁じていたが，実際には町人への奏法の教授や箏・三味線との合奏が行われていた。

南北朝時代に，「平曲」（「平家物語」を琵琶の演奏に乗せて語る音楽）を専業とする男性盲人の職業保護を目的として生まれた幕府公認の盲人組織として

「当道（とうどう）」と呼ばれた組織があり，地歌・箏曲などの演奏から鍼灸分野までをカバーする組織として明治初期まで存続した。当道は，検校（けんぎょう），勾当（こうとう），座頭（ざとう）以下の厳格な師弟関係を軸とした階級制度に支えられ，京都の職屋敷にいた総検校が治外法権的な特権をもって，箏・尺八・鍼灸界を全国支配した。明治 4 年に当道制度が廃止になるまでこの組織は存続し，それと同時に普化宗も廃止になり尺八は法器ではなく単なる楽器とみなされることになり，一般庶民も宗教とは無関係に尺八を演奏しても構わないことになった。

（c） 洋楽器との協奏のための地塗り尺八　現行の尺八は「普化（ふけ）尺八」あるいは「虚無僧尺八」と呼ばれるものの現代版で，普化宗という禅宗の一派の属する虚無僧が法器として用いたのでこの名がある。歌口と管尻部分を含めて 7 つの節をもつ 5 孔（前面 4 孔背面 1 孔）7 節のもので，「1 尺 3 寸管」（約 40cm）から「3 尺管」（約 91cm）まであり，「1 尺 8 寸管」（約 55cm）は「標準管」とも呼ばれる。（「日本の楽器」[121)p.196] では，「ここでいう 1 尺は唐代の長さの単位で 43.7cm」とあるが，通常通りに 30.3cm と考えたほうが数値が整合する。）

管材としては真竹（まだけ）が使用され，竹の根に近いほうを管の下端とする。1 本の延べ竹で作られるものの他，中央付近（通常，上から 2 節目と 3 節目の間）で上下 2 つに分けて継ぎ足すようにしたものが多い。管内の節は貫通され，頭端は歌口として，奏者から遠いほうは斜めに切り落とされる。息を吹き付けるエッジ部分には水牛の角などの硬い材料がはめ込まれている。左手で背面 1 孔と前面の下 2 孔，右手で前面の上 2 孔を扱う。管表に文様がや銘文が装飾されるものもある。

法器としての尺八は節を抜くだけで管内を調整しない「**地なし尺八**」である。これは，法器としての尺八は独奏ができれば十分で，合奏などのために他の楽器と音高を揃える必要がなく，それ自体で音階の高さの音を出せればよいので，できるだけ竹を自然のまま活かし，人の手を加えないようにする，という考え方に基づく。これに対して，洋楽器との合奏にも使えるようにするには，他の楽器と絶対音高を合わせる必要がある。このためには，製作時に音高・音色を

整えるために管の内壁に漆と砥粉(とのこ)を混ぜたものを塗って調整しておき，演奏時に差し込みの深さで全体の高さを調整できるように作られる。これを「**地塗り尺八**」という。地塗り尺八と地なし尺八の違いは管内の壁だけなので，外見だけでは見分けが付かないが，この「地なし／地塗り」の違いは，その精神性がまったく異なり，地なし尺八と地塗り尺八は似て非なる楽器と考えなければならない[122)] とされる。

G.4.2 和歌や俳句は七五調じゃなくて 4 拍子！

楽器とは関係ないが，「七五調」ということばについて編者が日ごろ感じている違和感について書いておく。

（1） **七五調とか十七文字って，なにを数えるの？** 日本で初等教育を受けた人なら，「短歌の文字数（正確に言うと**モーラ**† 数）は五七五七七，俳句なら五七五が定型」ということは小学校以来の知識として，頭に叩き込まれていると思う。ところが，ちょっと注意して観察すると，七も五も**空拍**を考慮して 4 拍子と考えることによって統一的に扱えることがわかる。「注意して観察すると」というのは，音に出すときに，文字を連続して読まずに，リズムとして休みを置くべきところには無音の空拍を置いて読むことである。この空拍を音楽における均一リズムでの休符と考えて，モーラごとに拍を割り当てれば，短歌も俳句も俳諧や川柳も **4 拍子 8 拍**が基本になっていることがわかる。真の「字余り・字足らず」は「5 文字・7 文字」からの逸脱ではなくて，空拍を考慮しての 4 拍子・8 拍からの逸脱と解釈するのが妥当であるというのが，この項の主

† 日本語に関する音節に近い概念であるが，他の言語における音節はすべて単語の語頭に第 1 節として立つことができるのに対して日本語のモーラ音素（モーラを構成する音素）には語頭に立てないもの（長音の「う」で表される部分，および撥音「ん」と促音「っ」）があるという点で，音節とはかなり異なる。
逆説的に言うなら，モーラは短歌や俳句において 1 拍に数える音の単位で，
母音は 1 文字で 1 モーラ，「1 子音＋ 1 母音」で合わせて 1 モーラ，
拗音（「きゃ」「ぴゅ」「ぎょ」など）は「大きな文字＋小さなゃ，ゅ，ょ」で 1 モーラ，
促音「っ」および撥音「ん」はそれぞれ 1 モーラ，
長音（「う」，カタカナの長音符号「ー」）はその部分だけで 1 モーラ。
（長音の前の先行音を含めると 2 モーラ。）

張である。

いくつか例を挙げる。以下,「・」を 1 モーラの長さの空拍として,「／」で 8 拍境界,「__」で 4 拍境界を表し,「|」は 4 拍境界・8 拍境界と一致しない語境界あるいは形態素境界を表すとする。「空拍を考慮すれば 4 拍子・8 拍子から逸脱していない」ということが「字余り・字不足感」を生じさせないことを見ていこう。「8 拍境界が文節境界になっていること」は必須条件である。「4 拍境界が単語・形態素を内部分割していない」ことも拍感覚を向上させる要素であるが，これは必須ではない。

（2） 4 拍子でのカウント例

1. 「古池や　蛙飛び込む　水の音」
   8 拍ごとに「／」を，4 拍の境界に「__」を入れると，8 拍単位の境界は文節境界になっている。
   「ふるいけ__や・・・／・かはず__とびこむ／みずのお__と・・・」。
   第 3 節目で単語の途中に 4 拍境界が入るが，8 拍境界がすべて文節境界になっているので，気にならない。
2. 「痩せガエル，負けるな一茶ここにあり」
   「やせがえ__る・・・／まけるな__いっさ・／ここにあ__り・・・」
   第 1 節目と第 3 節目で 4 拍境界が単語の途中になるが，8 拍境界がすべて文節境界になっているので，気にならない。
3. 「花の色は移りにけりな，徒（いたづら）に我身（わがみ）世に振る眺めせし間（ま）に」（小野小町）
   「・はなの__いろは・／うつりに__けりな・／いたづら__に・・・／・わがみ__よにふる／・ながめ__せしまに」
   第 1 節目が 6 文字なので，普通に考えると「字余り」であるが，空拍を入れて 8 拍単位で数えると，8 拍境界はすべて文節境界になっているので，4 拍子でカウントするなら字余りになっていない。とはいえ，第 1 節目は冒頭が空白で始まるので多少の違和感がある。
4. 「秋の田の刈穂の庵の苫をあらみ，わが衣手は露に濡れつつ」（天智天皇）
   「あきのた__の・・・／かりほの__いおの・／・とまを__あらみ・／わ

がころ__もでは・／・つゆに__ぬれつつ」

第 3 節目が 6 文字なので，表面上は字余りであるが，空拍を入れて 8 拍で考えると，8 拍境界はすべて文節境界になっているので，字余りになっていない。第 4 節目では 4 拍境界が単語の途中になるが，これはなぜか気にならない。それよりも，第 3 節目で 空拍が全半のアタマと後半の最後に入るのでリズム感が少し悪くなっている。

5. 「御垣守衛士の焚く火の夜は燃え，昼は消えつつものをこそ思へ」（大中臣吉能宣朝臣）

「みかきも__り・・・／・えじの__たくひの／よるはも__え・・・／・ひるは__きえつつ／ものをこ__そ | おもへ」

第 1 節目，第 3 節目，第 5 節目で 4 拍境界が 2 モーラの形態素を途中で切ることになるが，8 拍境界は文節境界と一致している。

この短歌の第 1 節目と第 3 節目のように，従来型の五七調で数えて 5 文字の節の最後の 2 文字（2 モーラ）が 4 拍境界の前後に分かれる例は多いが，その場合でも，その後ろに空拍が 3 つ続き 8 拍境界が文節境界になっていれば違和感はまったく感じないようである。この歌の第 5 節は 4 拍の境界が 2 モーラでできている単語を途中で分割していて，その後ろが空拍でないので，違和感が消えない。第 5 節をの拍節感を改善するには，「ものこそおもへ」として 4 拍境界を単語境界に一致させればいいと思うが，拍節感を犠牲にしてまで「を」を入れたのには理由があるのであろう。

6. 「田子の浦ゆ打ち出てみれば白妙の富士の高嶺に雪は降りつつ」（山部赤人）

「・たごの__うらゆ・／うちいで__てみれば／しろたえ__の・・・／・ふじの__たかねに／・ゆきは__ふりつつ」

第 1 節目の字余りは，8 拍を単位とすると字余りではないが，4 拍を単位とすると「たごのうら」が境界を跨ぐ。4 拍境界が 1 つの形態素を途中で分けることにはなるが，／たごのう__ら・・・／としておけば，「みか

きも__り・・・」と同様に後ろに空拍が 3 つあるので字余り感はなくなるが，「ゆ」は「〜を通って」の意味なので，詠んだ場所の状況から，これは何としても外すことができず，多少の字余り感はあっても，「ゆ」が必要と考えたのであろう。

第 2 節目は，意味を考えれば「うちいでて__みれば」と切るべきであるが「うちいでて」が 4 拍境界を越える，／うちでて__みれば・／とすれば字余り感はなくなるが，昔の読み方はそれを許さない。形態素境界を無視して／うちいで__てみれば／と読むと，後ろに空拍がないので，次の「しろたえの」とすぐにつながないと調子が崩れる。第 1 節の「ゆ」を軽く読み，第 2 節の「出て」を「(ぃ) でて」と「い」を前打音的に読んで，「たごのう__ら (「ゅ」)・・／うち (ぃ) でて__みれば・／しろたえ__の・・・」とすれば，リズム感はよくなる。

7. 「巡り逢ひて　見しやそれともわかぬ間に　雲隠れにし　夜半の月かな」(紫式部)

「・めぐり__あひて・／・みしや__それとも／わかぬま__に・・・／・・くも__がくれ｜に｜し・／・よはの__つきかな」

この歌が特異的な点は，第 4 節のアタマに空拍が連続して 2 つ入ることである。第 4 節は 7 文字なので，表面的には字余りでも字足らずでもないはずである。ところが，この「くもがくれにし」の 7 文字は始末が悪い。

「雲隠る」を 1 つの動詞と見るかどうかで「くも」と「かくれ」の間が単語境界なのか単なる形態素境界なのかがあいまいで，かつ「かくれ」と「に」の間に語境界がある感覚が希薄である。「に」が完了の助動詞「ぬ」の連用形で，「し」は過去の助動詞「き」の連体形，「くも」の 2 モーラはこれ以上分けられないし，「かくれ」の 3 文字も分けられない。したがって，拍境界で形態素を分割するのを避けるなら 4 モーラ境界をもってくることができるのは「くも」と「かくれ」の間になる。そうすると，「くも」の前に空拍が 2 つ必要になり，「くもがくれにし」は 7 文字なのに「し」が 8 モーラからはみだしてしまう。これが冒頭の両端が空拍の

6 文字と重なって，この歌の字余り感を増長している。

以上，区切りと空拍は文節境界と形態素境界および韻律を考慮して入れた。最後の 2 首はともに冒頭が 6 モーラで字余り的な感じを与えるが，最初に空拍を入れて詠むと，4 拍子としては字余りにはなっていない。4 拍ごとの区切りが文節境界・語境界・形態素境界（「_」で示す）と一致していると収まり感がいいので，空拍はそれを考慮して入れてある。8 拍境界はすべての場合で文節境界になっていることがわかる。

平家物語の最初の部分もほぼいわゆる七五調であるが，これもほとんどの部分が 4 拍子で解釈できる。

「祇園精舎の鐘の音，諸行無常の響きあり。沙羅双樹の花の色，盛者必衰の理を表はす」

→「・ぎおん，しょうじゃの／かねのお__と・・・／・しょぎょう，むじょうの／ひびきあ__り・・・／・・さら，そうじゅの／はなのい__ろ・・・／・しょうじゃ__ひっすい｜の／ことわり__を，あらはす」

長音と拗音が多いのでカウントが多少難しくなるが，第 6 節目までは完全に 4 拍子で解釈できる。

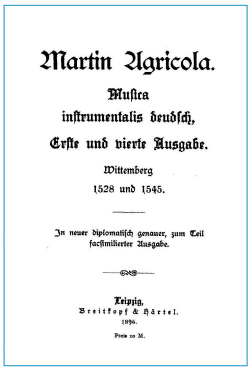
最後の第 7〜8 節目の「盛者必衰の理を表はす」はどう考えても字余りであるが，これが完全に七五調の形式でない（4 拍子のリズムから外れる）ことから，語り物であることを意識させていると考えられなくもない。ここでも 2 モーラ語の中に 4 拍境界が入る所が 3 か所（お__と，あ__り，い__ろ）あるが，いずれも後ろに空拍を 3 つ入れると 8 拍境界は守れているので，違和感はない。

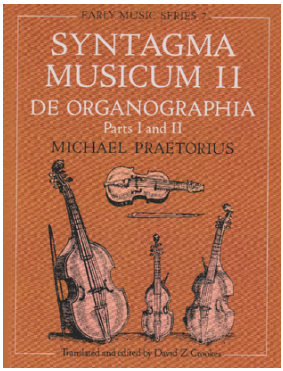
このように短歌や俳句の七五調を 4 拍子で解釈しようという考え方は古くからあったはずであるが，文献としては比較的新しい川本皓嗣のもの[123] しか見つからなかった。それは十分に説得力があるにもかかわらず，いまだに「和歌や俳句は七五調」として説明されているのは 4 拍子信奉者として歯がゆい。

H

楽器に関する歴史的文献

洋楽器全般に関する歴史的な文献として, Agricola の “Musica Instrumentalis deudsch” と Praetorius の “Syntagma Musicum” の 2 つが突出して重要である。**図 H.1** にそれらの復刻版の表紙を示す。





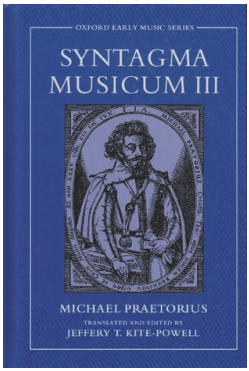


図 H.1　歴史的な文献の復刻版の表紙
左：Martin Agricola 著 “Musica Instrumentalis deudsch”
初版 1528 年，第 4 版 1545 年　復刻版（1896 年）の表紙,
中央：Michael Praetorius 著 “Syntagma Musicum”　(1618-1620)
第 II 巻 “De Organographia”（楽器構造学）の英訳 (by David Crookes)
抄本, Oxford 大, 1986, 復刻版（2005 年）の表紙,
右：同 “Syntagma Musicum III”(1619) の英訳本　(by Jeffery Kite-Powell),
Oxford 大，復刻版（2004 年） の表紙。

Martin Agricola：“Musica Instrumentalis deudsch”
(初版：1528, 第 4 版：1545 年　「ドイツの器楽」)

当時の著名な音楽学者であり，作曲家でもあったアグリコラ（1486-1556）が書いたドイツの「歌を伴わない音楽」と「楽器」に関する理論書。初版出版 1528

年の 17 年後に改訂版が出された[23)]。「ドイツの器楽」という題になっているが，楽器に関する記述が多い。楽器のイラストが入っているが，縮尺が示されていないので正確な大きさはわからないし，いい加減に描いたと思われる絵も混じっている。弦楽器に関しては調弦が，管楽器に関しては指使いが示されている。これが書かれたルネサンス後期には，その中のいくつかの楽器について，ディスカント（ソプラノないしはメゾソプラノ）/アルト/テノール/バスの 4 サイズで全音域をカバーし，同属楽器で音色をそろえて合奏する「コンソート」が一般化した。

1896 年に復刻版（図 H.1 左）が出され，そのコピーを集めたリプリント版が，ミシガン大学から 2011 年に出されたが，適切な編集・校閲作業を経ていないので重複部分が非常に多い。中世ドイツ語で書かれているため，現在のドイツ語辞書に載っていない単語が多く，かつ表記にゆれがあり，しかも，字体がフラクトゥールなので非常に読みにくい。“deudsch”は “deutsch”の中世ドイツ語綴り，あるいはラテン語化。

Michael Praetorius：“Syntagma Musicum”（1618-20）
【邦題：「音楽大全」】

ヨーロッパの楽器についての初めてのしっかりした文献であるとされる。プレトリウス（1571-1621）は音楽に強い興味をもち，12 歳でフランクフルト大学のオーデル校に出入りし始め，2 年後にはそこで，哲学と神学の勉強を始め，その 2 年後には大学のオルガニストになっている。その後，ブルンスウィック公爵などに仕え，1603 年には公爵家のカペルマイスター（楽長）になっている。その後，ドイツ・プロテスタントの音楽指導者として名声を上げ，言語に長け，博学で，オルガニストとしても，作曲家としても一級であったので，生きている間からスーパーマンのように思われていたという[23)]。“Praetorius”は，現在の正書法では “Prätorius”となる。

1614 年から 1620 年の間に大著 “Syntagma Musicum”を書いた。それは 3 巻からなるが，第 I 巻は教育のある人のための教会音楽関係の内容なのでラテン

語で，第 II・III 巻は楽器職人やオルガン製作者あるいは各種楽器の奏者のためのものということでドイツ語で書かれている。その第 II 巻 “De Organographia”（楽器機構学）は楽器の手引き書で，その付録の “Sciagraphia”（スケッチ集）には木版で 42 種の楽器がスケール併記で詳細に描かれており，楽器の変遷を知る上できわめて重要であるとされる。第 III 巻は様式や作曲のための理論が 9 章に分けて書かれている。1986 年に第 2 巻のおもな部分の英訳（図 H.1 中央）が Oxford 大学から出版され，2005 年にその復刻版が出た。また 2004 年に第 III 巻の英訳（同図右）が出版された。

本項では，Agricola の本と，Praetorius の “De Organographia”から楽器に関係する部分を取り上げて概説する。これらの他に，ここでは内容の紹介はしないが，楽器音響ならびに奏法関係の重要な歴史的文献として下記のもの（近年のものを含む）もよく取り上げられる。内容別に列挙しておく。

- 全般的なもの
  - Giovanni Maria Lanfranco: “Scientille di Musica”, 1533.
  - Philibert Jambe de Fer: “Epitome Musical”, Lyon, 1556.
  - Marin Mersenne: “Harmonie Universelle”: 1636-7.
- フルートに関するもの
  - Joseph-Henri Altès:“Célèbre Méthode pour Flûte”, Leduc, Paris, 1880. Eng.Transl. by Paul de Ville, Carl Fischer, NY, 1918.
- トラペット・サクソフォンに関するもの
  - Guillaume Balay: “Méthode Complète de Cornet à Piston ou de Trompette ou de Saxhorn”, Leduc, Paris, 1914.
- ギターに関するもの
  - Matteo Carcassi:“Classical Guitar Method”, Schott, Mainz, 1836.
  - Andrés Segovia y George Mendoza: “Mi Libro de la Guitarra -guía para principiantes-” （初心者のための「私のギター教則本」）, Collins, Cleveland, 1979.
- ヴィオラ・ダ・ガンバに関するもの
  - Sylvestro di Ganassi: “Regola Rubertina”（赤本）, 1542-3. Ch.1 Viola da Gamba，Ch.23 Viola da Braccio, Reprint: 1924.
- ヴァイオリンに関するもの

  - Francesco Geminiani: “The Art of Playing on the Violin”, 1751.
  - Leopold Mozart: “Violinschule”（ヴァイオリン教程）, 1756.
  - L’Abbé de Fils: “Principes du Violon”, 1761.
  - Leopold Auer: “Violin Playing As I Teach It”(Revised Ed.) Frederick Stokes Company, 1921. Reprint by Dover, 1980.
  - Carl Flesch: “Die Kunst des Violinspiels”(ヴァイオリン演奏の技法), Verlag Ries und Erles, Berlin, 1923.
  - Ivan Galamian: “Principles of Violin Playing and Teaching”, Prentice-Hall, 1962.
- ピアノに関するもの
  - Bartok-Reschofsky: “Klavierschule”, Musica Budapest, 1913.
  - Alfred Cortot: “Rational Principles of Pianoforte Technique”, Maurice Senart, 1928.
- スネアドラムに関するもの
  - George Stone: “Stick Control: for the Snare Drummer”, Alfred Pub., 1935.

H.1　Agricola の「ドイツの器楽」(16 世紀前半)

書かれたのがルネサンス後期（バロック期に入る前）で，その時代にどのような楽器が使われていたのかがわかる。当時の記譜法や作曲についての説明もあるので，ルネサンス期の音楽を知る貴重な資料になっている。楽器の分類は特殊な方法によっている。Agricola による分類を**図 H.2** に示す。そこでは最上位の分類が気鳴楽器かそれ以外かになっており，気鳴楽器は**第 I 種** (Erste Geschlecht) 楽器として，それ以外は「**その他の種類** (Andere Geschlecht)」としてひとまとめにして扱われている。

気鳴楽器は “menschlichen wind”（人間の風：息）による**第 1 類**と，“durch blasbelge geblasen，werden”（「ふいご」によって吹かれるもの）とされる，つまり何らかの方法によって溜めた空気を送り出すことによって音を出す楽器を**第 2 類**というように分けている。記載順序から察するに，「人間の風」による楽器は指孔がある楽器とない楽器に細分してあるようで，これはたまたま木管楽

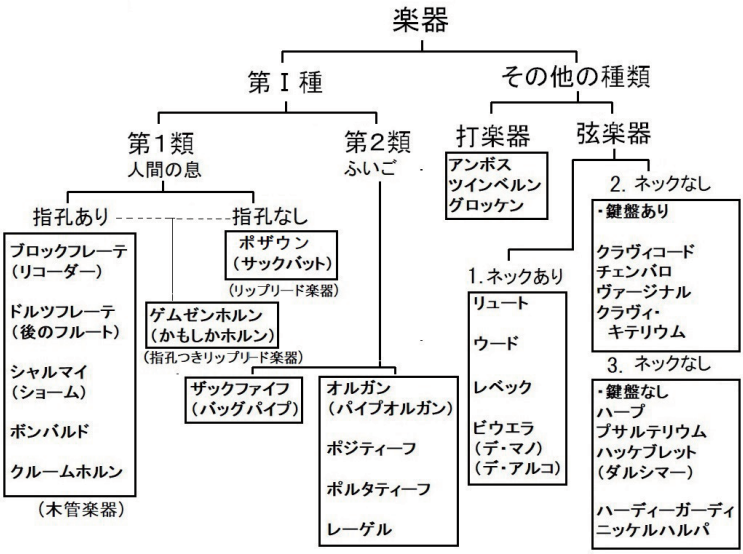


図 H.2　Agricola による楽器の分類

器と金管（リップリード）楽器への分類と一致する。ただし，カモシカの角に指孔をあけたリップリード楽器とエアーリード楽器がどちらもあることも（特記事項として？）紹介されている。

「**その他の種類**」は弦楽器類と打楽器類になっている。弦楽器については，まず**第 1 類**としてネックのあるものを挙げており，**第 2 類**はネックをもたないもので，それは鍵盤をもつものともたないものに分かれている。鍵盤をもつ弦楽器は，チェンバロについてはイタリア語の「クラヴィチェンバロ」という名称がドイツでまだ浸透していなかった時代の本なので，「クラヴィシンバル」（「鍵盤付きで音が出るもの」というような意味）と名付けられて弦楽器第 2 類に入れられており，その他の弦楽器第 2 類としては，クラヴィコード，スピネット（チェンバロの簡易型），ヴァージナル（スピネットのイギリスでの呼称）が挙げられている。

これに対して**第 3 類**の弦楽器として，本来打弦楽器であるダルシマーを撥弦で弾くようなツィンバロンないしは板型ツィター（中世ドイツ語でハッケブレッ

ト，現代ドイツ語ではハックブレット）が，ギリシャ時代からの生き残りとも言えるプサルテリウムやハープと並んで挙げられている。また，擦弦楽器にレバー式の鍵盤を付けたようなライアー（ハーディーガーディー）とシュリュッセル・フィデル（ニッケルハルパ）も第 3 類に入れられている。Agricola がどのような基準で弦楽器の第 2 類と第 3 類を分けたのかは明記されていないが，第 2 類はオクターヴが等間隔の鍵盤機構をもつもので，キーの間隔が対数的な鍵盤のものは第 3 類に入れてある。

打楽器としては，アンボス（鉄床）がハンマーと共に描かれており，これとツィンベルン（小鈴型シンバル）およびグロッケン（内部に打舌（クラッパー）をもつ鐘）がこの本における不定ピッチの打楽器のすべてであるが，16 世紀でももちろん打楽器はもっとたくさんあったはずなのに，なぜこれだけしか取り上げなかったのか不思議である。Agricola はこのような打楽器にあまり興味がなかったと思われる。

奏法や記譜法についての説明もある。このころ，まだキリスト教の三位一体の思想に基づく 3 拍子系のリズムパターン記法も残っているが，**図 H.3** の音符記号の音価体系図を見ると，2 分法に基づく音価による時間記法が芽生えつつあったことがわかる。また，**図 H.4** の鍵盤に書かれた階名から，現在のアメリカ式の音名 “B”はドイツ階名では，このころすでに “H”とするようになっていた（字体の関係で h は読みにくいが，h♭ が b になっている）ことがわかる。

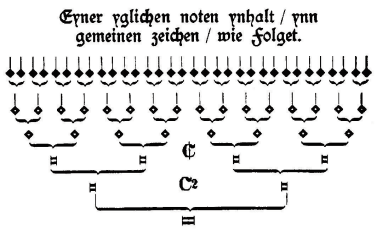


図 H.3　音符の形による音価の説明

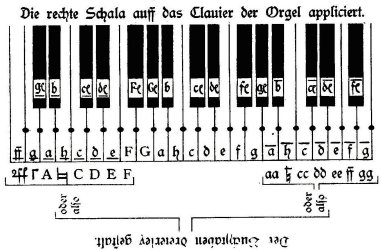


図 H.4　鍵盤の各キーの音名

図 H.5 に，Agricola が描いた指孔をもつ楽器の運指を示す。右端列は全孔閉塞をドとした場合の音高の階名をテトラコード（4 本弦）の積み重ねとして書いているので，「ソ」を再度「ド」としてあって，その上は「レ」である。最下段の階名は “do” の原始の名称 “ut” となっている（付録 D.2 冒頭の脚注参照）。右から 2 列目の数字は開ける指孔の番号である。右から 3 列目は C 管の場合の音名で，「シ」はナチュラル記号 “♮” で書いてある。“all zu” は全閉で「ド」。指孔 1 を開けると「レ」，1 と 2 を開けると「ミ」になる。ミとファの間は半音のため，ファは 1 と 3 だけを開け，2 は閉じておく。1~4 を開けると「ソ」。全部開ける（“all auff”）と，オクターヴ上の「ド」。それより上は串刺し記号が付いていて，オクターヴ孔を開けることになっている。6 孔笛や 4 孔笛の運指図も示されているが，指孔のない管楽器については「根拠不明」として，詳述を避けている（Agricola[4)p.31]）。

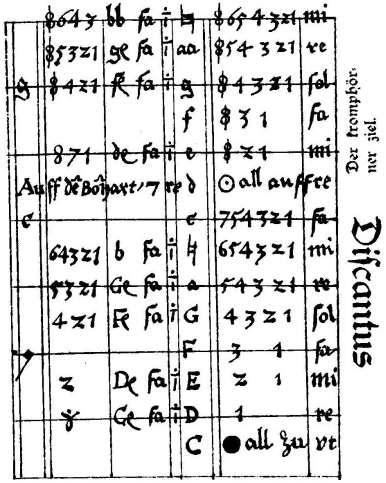


図 H.5　ディスカント音域の笛の運指

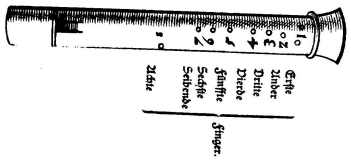


図 H.6　笛の指孔番号

図 H.6 の指孔番号を見ると，管先のほうから順に，第 1 孔，第 2 孔，… と呼んでいたようであるが，第 2 は「第 2」と言わず，意味的には「他の」を表す “Ander” になっている。8 番目の孔は高次モードの音を出しやすくするため

のオクターヴホールで，通常は裏側にある。Fraktur 体で書かれているために，“A” がわかりにくく，“D” と “V” が似ており，“s” が “f” のように見える。

図 H.7 に，当時のリュートの調弦の説明，**図 H.8** に，単声部楽器のタブラチャーの例を示す。図 H.7 の下部の “Quart（4 度）”と “Tertz（3 度）”の記述から，隣接弦間の音程は下から 4,4,3,4,4 度となっていることがわかる。具体的な音高は，下から G2, C3, F3, A3, D4, G4 である。

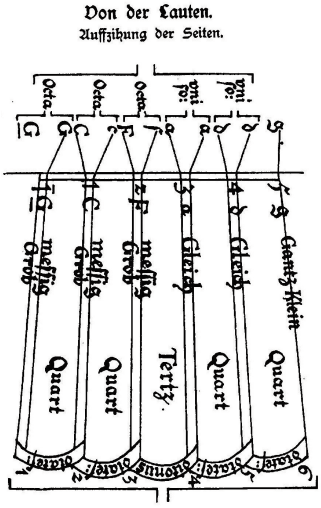


図 H.7　リュートの調弦
隣接弦間音程は 44344 度。
【注】
Quart=4 度，Tertz=3 度，
Gantz(=Ganz) klein 非常に細い，
Gleich=同音高，
messig=mässig ：正確に，
grob：オクターヴ下でも可
Ausszihung=Ausziehung：調律，
Seiten=Saiten：弦 (pl.)

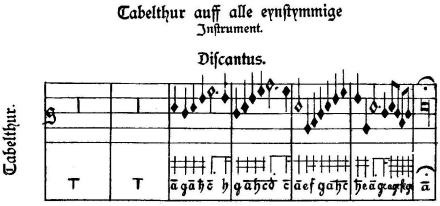


図 H.8　単声楽器のタブラチャー例
(タブラチャーから五線譜への移行期)
上半分：五線譜的 (中央が G)，
下半分：使用弦 (押弦位置表示なし)
【注】
Tabelthur：(現独：Tabulatur)，
auff=auf:on, alle：all
eynstymmig=einstimmig：単声部の
Instrument：楽器
Diskantus=discanto(It)：高音域楽器

この 44344 度の調弦は中世からバロック期にかけての 6 コースの弦楽器の標準的な調弦で，楽器や音域に関わらず 6 コースならこの音程関係になっていた。リュートもギターやヴィオラ・ダ・ガンバの前身楽器であるビウエラも，デ・マノ（手弾き）かデ・アルコ（弓弾き）かに関わらず，44344 であった。6 コースの弦楽器の調弦が現在のギター（ビウエラ・デ・マノの発展形）のように下

から 44434 になったのは 19 世紀である。いずれにしても，6 コースの弦楽器はボルドーネ（最低音弦）とカンティーノ（歌弦：最高音弦）の開放弦の音程がちょうど 2 オクターヴになる。リュートはカンティーノだけが単弦で，他の 5 コースは複弦になっており，下 3 コースの複弦は同一音高かオクターヴ音程で，その上の 2 コースは同一音高で調弦される。

図 H.8 に示されているタブラチャーは，本来のタブラチャー（楽器依存の奏法譜）と五線譜記法を併用（混用？）した形になっており，この時期がタブラチャーから五線譜への転換期であったことを示している。本来のタブラチャーでは，6 コースの楽器用ならコースに対応した 6 本の線を引き，その線の上に押さえるべきフレットの番号を数字で書くが，図 H.8 では使用する弦に対応した線とその上の 5 本の水平線を五線譜の線のように解釈して，音高を表している。 本来のタブラチャーであれば押弦位置を書くが，ここではそれは「必須情報ではない」（省略可能情報）として表記されていない。図 H.8 の最初の音の高さは（五線譜から）A で，下欄に）G 線を使って弾くことが示されている。2 つ目の音は G なので G 線の開放弦を使い，3 つ目の音は再び A なので，G 線上でフレットを押さえることを示す。以下，4 つ目は H なので，G の隣の H 線の開放弦を使い，5 つ目は C で，H 線上でフレットを使う。2 つ先の小節は最低音が E なので D 線の第 2 フレットを使うことになる。

併用譜の利点はタブラチャーで書けなかった音価を書けることである。この例では初めの 4 つの音が四分音符で 5 つ目の音が付点 2 分音符であることを表せている。タブラチャーではどの弦のどのフレットを押さえればよいかは表せたが，音価の表示は別の方法に依らざるを得なかった。本来のタブラチャーではそれをリズムパターン記号で書き，調弦が決まっていない楽器に関しては譜面の冒頭に調弦も書いてどの線がどの高さに対応するかを明確にしておく必要があった。

H.1.1　第 1 種楽器（空気楽器）

第 1 種楽器は本書の分類で言うなら気鳴楽器である。Agricola は，これをま

ず人間の息によって音を出す楽器と，溜めた空気によって音を出す楽器に分類し，ついで人間の息によって音を出す楽器を指孔をもつ楽器ともたない楽器に細分類している。

（**1**） **第 1 類：人間の息によって音を出す楽器**　第 1 種楽器の第 1 類として，奏者の息によって音を出す楽器を取り上げている。これは指孔をもつ管楽器ともたない管楽器に分けられている。この分類は音響的に言うなら，木管楽器（エアーリード楽器とリード木管楽器）と金管楽器 (リップリード楽器）という分類と等価である。

（**a**） **指孔のある管楽器（実質的には「木管楽器」）**　指孔のある管楽器には，ブロックフレーテ，グロースファイフ，クルムホルンがある。

(a.1) ブロックフレーテとスイス管（ドルツフレーテ）　まず，本書でエアーリード楽器としている楽器が挙げられている。4 声域（ディスカント，アルト，テノール，バス）の**ブロックフレーテ**（英語でリコーダー，イタリア語でフラウト・ディリット：縦笛）と**ドルツフレーテ**（イタリア語でフラウト・ドルチェ。後に現在のフルートに発展する楽器。Agricola は**シュヴァイツァー・ファイフ**「スイス管」と書いている）が指使いとともに描かれている。4 サイズのブロックフレーテとスイス管を**図 H.9** に示す。

「スイス管」は横に構えて吹くのでドイツでは “Querpfeiff”（**クヴェールファイフ**：横管) とも呼ばれていたようである。なぜスイスなのか，なぜこの型 (リードを実際にはもたない「エアーリード」）の笛として，まずケーナや尺八のような縦笛でなくて横笛が先に出現したのかは不明である。

それまでのブロックフレーテがフィップル（詰め栓）付きの固定気道で 7 孔＋裏 1 孔であったのに対して,「スイス管」はフィップルなしで表 6 孔だけの横笛で音域は 15 度と 4 つのファルセット音で，歌口は奏者がエッジに息を平たく吹きつけなければならない。「スイス管」は，約 1 世紀後の “’Syntagma Musicum” ではドイツ語でドルツフレーテとも記されているが，これがキーとして右手小指用のものを 1 つだけもつ 1 鍵フルートの**フラウト・トラヴェルソ**（イタリア語で「横笛」の意）になり，その後，8 鍵フルートの時代を経て，テオバルト・

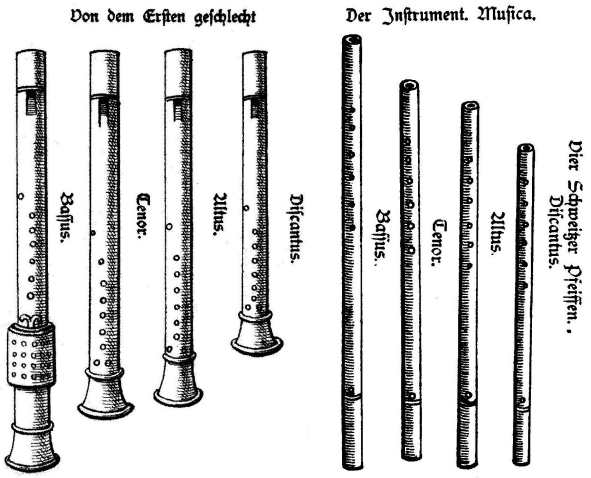


図 H.9　ルネサンス期のエアーリード楽器
左：4 サイズのブロックフレーテ（リコーダー），
右：4 サイズの「スイス管」（後に独：ドルツフレーテ，
伊：フラウト・ドルチェ），
それぞれ左からバス，テノール，アルト，ディスカン
ト（ソプラノ／メゾソプラノ） の 4 音域

ベーム（Theobald Böhm, 1794-1881）によって音孔が拡大され，キー機構が改良されて，現在のフルートに発展していくことになる。

以下，リードをもった木管楽器が挙げられている。

(a.2) グロースファイフ（ショーム類，ツィンク）　**図 H.10** で「グロースファイフ（大きな管）」として描かれているのはシャルマイ，ボンバルト（最後の “d” の発音には [d] か [t] かの揺れがあったと思われる），シュヴェーゲル，ツィンクである。この中で，シャルマイとボンバルトはダブルリード楽器，シュヴェーゲルはフィップル付きのエアーリード楽器，ツィンクは木管型指使いのリップリード楽器である。

管楽器としてサイズの大きいものを集めたと思われるが，名称が少し混乱しているので整理しておく。シャルマイは英語で**ショーム**と呼ばれるダブルリードの管楽器で，オーボエの前身楽器である。これのディスカントとアルトをドイツでは**シャルマイ**と呼び，テノールサイズはバセット，バスはポンマーと呼

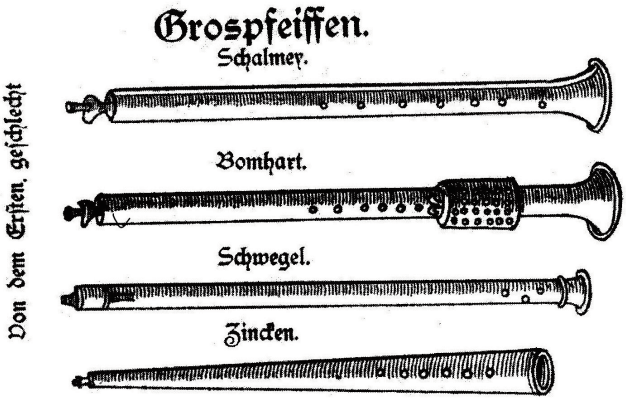


図 H.10　グロースファイフ（大きい管）としてまとめられている楽器。上から：ダブルリードのシャルマイ（ショーム）とボンバルド（原本は語尾の “d”を “t”としている。ドイツ語では同音）。ブロックフレーテ型のシュヴェーゲル，木管型指使いのリップリード楽器ツィンク（複数形で表示されている）

んだが，イタリアではディスカントをピッファーロ，アルトを**ボンバルド**，テノールをボンバルドーネ，バスをバッサネッロと呼んで区別し，イタリアで 4 サイズをまとめて呼ぶ場合の名称としてはチアラメーラ (ciaramella) を用いた。中国の（屋台のラーメン屋の）「チャルメラ」）はこれからきている。フランスでは英語と同様に 4 サイズを区別することなくまとめてシャルミー (chalemie) と呼んでいる。

「ボンバルト」や「ポンマー」はショームと同様に前に音域名をつけて 4 サイズを共通に表す汎用の表現語として使われることもあったようで，大型のバス・ショームはバス・ボンバルト，小さいものはディスカント・シャルマイとかクライン・シャルマイなどとも呼ばれている。したがって，図 H.10 に描かれているシャルマイもボンバルトもいずれかのサイズのショームで，ボンバルトはイタリア語名「ボンバルド」を「ショーム」の代用として使い，その末尾の “o”を削った形を（“d”のままでもドイツ語読みでの音は [t] なのに）“t”に変えたものである。いずれもかなり強く吹かなければ音が出なかった。現代ドイツ

語としては，オルガンで “Bombarde”がこの楽器の音色を表すストップに使われている。

シュヴェーゲルはフィップル（詰め栓）をもったリコーダー型の笛で，指孔3つが先のほうに集中しているので，音域が狭いように思われるが，使う音域を変えて1オクターヴ半あったようである。片手で太鼓などを叩きながら，空いた手で持って吹いた笛である。Praetorius による図 H.36 では，シュタメンティーンファイフ（別名「太鼓管」英：Tabor pipe）となっている。

ツィンクは元は動物の角で作った狩猟ホルンの一種のゲムゼンホルン（図 H.14 右）であったものを，木で作ってまっすぐな円錐管にしたものである。左手4孔，右手3孔をもつ。イタリアでは語源的にコルノ（角）に基づいたコルネット（cornetto）と呼ばれた。指孔によって実効管長を変える（選択する）という点からは木管的であるが，発音は唇の振動によるリップリードである。

現在英語（ないしは日本語）でコルネットと呼ばれる楽器は管長をバルブ機構によって変えるようになっているが，現代のイタリア語ではこれを，上記コルネット cornetto の女性形コルネッタ (cornetta) で表している。

(a.3) クルムホルン　傘の柄のような形のクルムホルン（krumm=「曲がった」ホルンの意）と呼ばれるダブルリードの楽器があった。4サイズのク

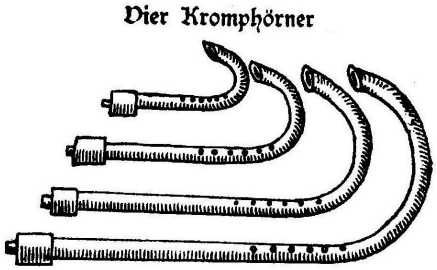


図 H.11　ルネサンス期のリード木管楽器　円筒管にダブルリードのクロムフォルン（クルムホルン）の4サイズ。上からディスカント（ソプラノ／メゾソプラノ），アルト，テノール，バスの4音域 “kromm”は “krumm”（曲がった）の間違い．“Phorn”=現代ドイツ語では “Horn”

ルムホルンを**図 H.11** に示すが，16~17 世紀のイギリスでは同属楽器の合奏形態である**ホール・コンソート**が盛んになり，クルムホルンはそれによく使われた。指孔は，前面に 6 つ，裏に 1 つとなっている。どう見ても，指孔は全長の半分付近よりも手前に空けられているようで，オクターヴ・ホールを設けて第 2 モードの固有周波数を操作するようになっているように見えるが，それなら半分よりも先の部分は専ら低音域用ということになるので，ダブルリードであればそのような孔の位置で笛が作れるのか不思議である。

ショームやクルムホルンはダブルリード楽器であるが，一般にダブルリード楽器はリードのくわえ方に微妙な調節が必要で，音を出すのが難しいとされているが，ショームやクルムホルンには，息を吹き込むだけで音が出るように**ウィンドキャップ**と呼ばれる小道具が開発された。

図 H.12 の左に，ウィンドキャップを装着したバセット・ニコロ（テノール・ショーム）と外した場合，ウィンドキャップを装着したバス・クルムホルンと外した場合を Praetorius の “Syntagma Musicum” の図 XIII から抜き出して示す。

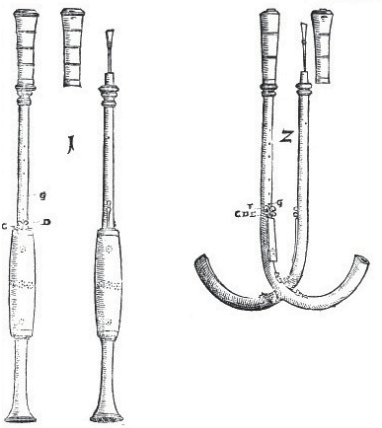


図 H.12　左：ウィンドキャップを装着したテノール・ショームと外した場合，右：ウィンドキャップを装着したテノール・クルムホルンと外した場合（「音楽大全」[5] より。原図から関係部分だけを抜粋。）

（b） 指孔のない管楽器（実質的には「リップリード楽器」）

ポザウネ，トルンメット，クラレータ，テュルマー・ホルン　リップリード楽器（Agricola の著書にはこの表現はない）に関しては，さまざまな管（ファイフ。現代ドイツ語ではファイフェ（Pfeife）であるが，Agricola の時代は，複数形が Pfeiffen で現代と同じであるが，単数形は Pfeiff であった）として，固定長でベルの開きの小さいポザウネ（**【英】サックバット**：トロンボーンの前身楽器），フェルト（Felt になっているが，Feld の中世ドイツ語ならば「屋外用」）・トルンメット（軍隊用のもので，トランペットの前身楽器），クラレータ（他の文献には見当たらないので，不詳。ここではこれだけがイタリア語らしいが，絵だけでは他の同様な楽器との違いがわかりにくい。クラリネットは現代ドイツ語でも Klarinette で，この図のクラレータとはまったく別物である。）およびテュルマー・ホルン（塔のホルン：見張り番用のホルン？）が描かれている。Agricola の著書に描かれているこれら 4 種のリップリード楽器を**図 H.13** に示す。

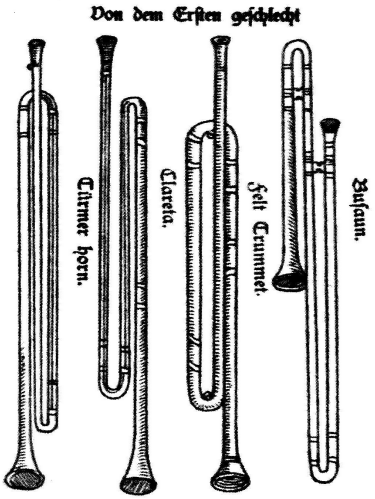


図 H.13　指孔をもたない管楽器。右からプザウン (ポザウネの誤り。英：サックバット)，フェルト（野外の？）・トルンメット（英：トランペット），クラレータ，テュルマー（塔）・ホルン

(c) 折衷楽器　指孔をもつリップリード楽器　そのほか, 動物の角を使った楽器として, ゲムゼ (カモシカ) の角を使ったクルムホルンと**ゲムゼンホルン** (かもしかホルン) が並べて描かれている (**図 H.14**)。「カモシカの角を使ったクルムホルン」(左) は,「クルム (曲がった) ホルン (角)」とは呼んでいるが,「ゲムゼン (カモシカの) 角を管材に使ったクルムホルン」であって, クルムホルンというからにはリードをもっているのかもしれないが, 音の出し方としてはリップリード楽器で, **ツィンク**とも呼ばれた。そのころまでのリップリード楽器は管長が固定でその長さ固有の調の調固有音しか出せず, 別の調を吹くには長さの異なった管を使ったり, 延長管を挿入したりしなければならなかったのを, この楽器は管体に開けた孔を使って実効管長を変える (選択する) ことができた。

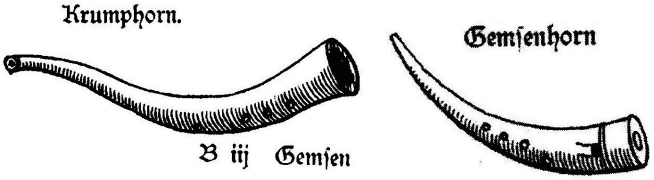


図 H.14　カモシカ (下に「ゲムゼン (カモシカ)」の記述) の角で作ったクルムホルン (左) とゲムゼンホルン (右)

リードは付いていたが, その固有周波数は十分高いので, 管の共振に合わせて唇を震わせて空気を振動させるとリードは十分その速さに追随できた。指孔の開閉状態を固定すると, その状態での気柱の基本固有振動やその上の振動モードも決まったので, 唇で呼気流をそのどれかに近い周波数で振動させるとその高さの系列の音を出せる。指孔の開閉状態を変えるとそれに応じて, 別の高さの系列の音を出せる。つまり, これは基本モード可変のリップリード楽器にリードが付いたものとみなせる。生じやすいモードの高さは唇を振動させなくても吹き方を調整するだけで出せたと思われる。

これに対して右側に少し曲がり方の異なったものが「ゲムゼンホルン」として示されているが, 角の形状の違いは問題ではなく, 本質的な違いは息の吹き込

み口である。右の楽器は，細くなった方の端が閉じられ，広い開口側にフィップル（詰め栓）が嵌められていて，管体の一部にエッジが切ってあり，口の広い方に小さく開けた固定気道から息を吹き込むようにした角笛で，エアーリード楽器である。

「クルムホルン」と名付けられた別のポピュラーな楽器があるにもかかわらず，Agricola が左の楽器を「ゲムゼで作ったクルム（曲がった）ホルン（角）」と呼んだのは，右側のゲムゼンホルンと明確に区別したかったからであろう。

「ゲムゼで作ったクルムホルン」という名称は一口で言えないので，この楽器は Agricola よりも約 100 年後の Praetorius の時代には，ドイツでは**ツィンク**（Zink），イタリアでは**コルネット**（cornetto：小さな角）と呼ばれるようになり，木で作られるようになってからは，曲がったものの他に直管のもの（ゲラーダー・ツィンク： 図 H.41 下中央 8）ができた。木製になって音が柔らかくなったものは「静かな」という修飾語を付けて，コルネット・ムート【伊】，シュティラー・ツィンク【独】とも呼ばれる（図 H.40 右下, 図 H.41 下右 9)。

「ゲムゼで作ったクルムホルン」は発祥当初から実効管長を選択するための指孔をもっていたので，一応「指孔をもつ管楽器」に入れられてはいるが，Agricola はそれがその他の「指孔をもつ管楽器」とは吹き方が異なる管楽器で，発音様式からは「指孔をもたない楽器」に入れるべき楽器であることを認識していた。

その後，この楽器はコルノ・ダ・カッチア（Corno da Caccia：狩猟ホルン）を経てホルンや現在のコルネットに発展していった。低音サイズはフランスで**セルパン**（serpent：ヘビ）と呼ばれる黒い皮で覆った曲がりくねった木製のリップリード楽器（図 G.1 中段左）になり，現在の低音用の金管楽器に繋がっていく。

（2） 第 2 類：溜めた空気を送り出すことによって音を出す楽器　人間の息で音を出す楽器以外では，溜めた空気を送り出すことによって音を出す楽器として，オルガン類の他にスコットランドの民族楽器であるバッグパイプ（イタリアでは**ザンポーニャ**，ドイツ語で**ザックファイフ**）が挙げられている。

（a） ザックファイフ　バッグパイプには空気を口で風袋（動物の革や胃

や膀胱で作った袋）に吹き込むものと，ふいごを押して空気を溜める方式のものがある。どちらにしても左脇に抱えた風袋に溜めた空気を腕で押すことによって袋に取り付けた複数の管に空気を送るようになっている。通常，旋律を奏するチャンター管はダブルリードで，持続低音を奏するドローン管はシングルリードになっており，それぞれの本数は地域や時代によって異なる。

脇に抱えた風袋を腕で押して空気を管へ送るようになっている点が口で吹くリード楽器と異なるだけで，発音のメカニズムはリード木管楽器と同じである。チャンター管には通常 6 個の指孔が空いており，基音を主音とした調固有音を出せるが，ドローン管はチャンター管の主音か 4 度下あるいはオクターヴ下の高さに固定されている。**図 H.15** の左上の Agricola の本に描かれているものは，息を袋に溜めるタイプで，チャンター管 1 本，ドローン管 2 本のものである。

コーヒーブレイク

ザンポーニャとサンポーニャ

バッグパイプはスコットランドのものが有名であるが，それと同様のものが北イタリアにもあり，これをイタリアでは**ザンポーニャ**（Zampogna）と呼んでいる。ところが，ザンポーニャと同じ語源のスペイン語で**サンポーニャ**（Zampoña）という楽器があって，それは中南米のパンパイプで，まったく別の楽器である。元々アイマラ語でシーク，ケチュア語でアンターラと呼ばれていたところに，スペインが中南米を征服した後，無理やりスペイン語の名前をつける際に，ともに複数のパイプをもつことから，イタリア語の上記の楽器名との混乱が生じたものと思われる。

サンポーニャは奏者から見て右側に低音管を持って吹く。元は全音階楽器で偶数番目の階名音の管だけのものと奇数番目の階名音の管だけのものを一組にして 2 人で吹いたが，現在はそれらを上段と下段にまとめて一人で吹けるようにしたものや，黒鍵に相当する音管を 3 段目にもつ半音階型も現れた。

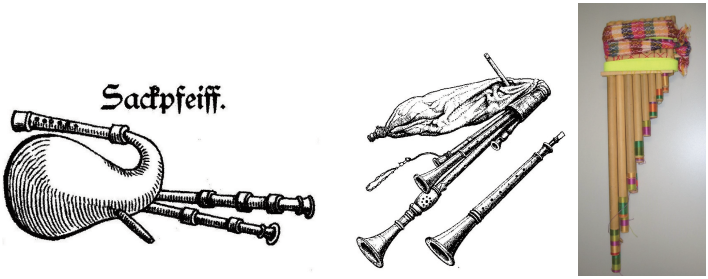


図 H.15　左：ザックファイフ（バッグパイプ。Agricola），中央：ザンポーニャ（イタリアのバッグパイプ。皆川達夫監修「楽器」マール社より），右：サンポーニャ（中南米のパンパイプ，原地語ではシーク，アンターラ。井上暁氏（タンタナークイ）提供）

（b）**オルガン類**　　溜めた空気を送り出すことによって音を出す楽器として，ヨーロッパでは古くから**オルガン**があった。鍵盤をもつ気鳴楽器として，Agricola の本ではオルガン類が紹介されている。大聖堂などの建物と一体化して作られる大型のものから，聖書台に載せて弾く小さなレーガルまで規模はさまざまであるが，発音原理は共通であり，ふいごで送った空気を風箱（ウィンドチェスト）に圧縮して貯め，鍵盤で指定したパイプに空気が流れるようにして音を出す。大型のものはストップ（栓）によって**スライダー**を動かしてどの列のパ

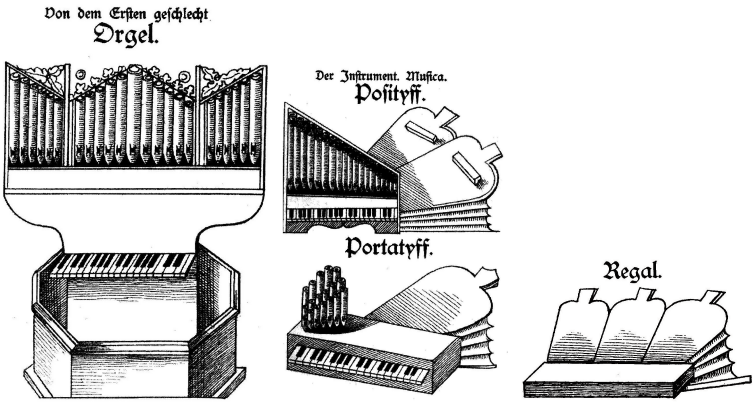


図 H.16　オルガン類　左：オルガン（通常，建物に組み込まれている），中央上：ポジティーフ，中央下：ポルタティーフ，右：レーガル

イプ群を使うかを選択しておけるようになっているが，小型の**ポジティーフ**や**ポルタティーフ**あるいは**レーガル**ではその選択の余地がないか少ない。Agricola の本に描かれている図を**図 H.16** に示す。

モーターで送風できるようになるまで，ふいごは人力（図 H.43 右）や水力で動かした。図 H.16 ではそれぞれの大きさと演奏の仕方がわかりにくいので，それがわかる図を皆川編「楽器」[33] から抜粋して**図 H.17** に示す。

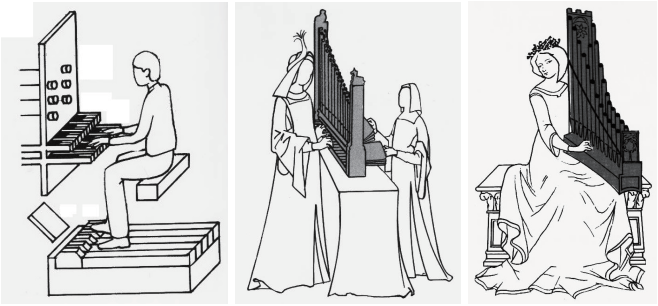


図 H.17　左：オルガンの演奏台，中央：ポジティーフの演奏，右：ポルタティーフの演奏（皆川達夫編『楽器』マール社より）

ポジティーフは小型のオルガンで，後ろで奏者以外の人がふいごを操作するようになっており，ポルタティーフは携帯型で奏者の膝の上に載せて，左手でふいごを操作し右手で鍵盤を弾くようになっている。レーガルはさらに小型のもので，ふいごを聖書の形にして聖職者が聖書台で使えるようにしたものなどがある。

オルガンのパイプ

大型のオルガンは 3〜6 段の手鍵盤と足鍵盤をもち，どの鍵盤にどの音色のパイプ群を割り当てるかをストップ（音栓）で選択し，演奏台（コンソール）で演奏する。

楽器としてはリコーダー型（固定気道）の**フルーパイプ**と呼ばれる笛（開管と閉管がある）と，シングルリードのリード木管楽器型の**リードパイプ**と呼ばれる型の 2 種（3 型）に大別されるパイプを鍵盤のそれぞれのキーの数だけもっており，どの鍵盤を使えばどの型のパイプ群に空気を送るかをストップによっ

てスライダーで振り分け，ふいごから送られて来た空気をいったん風箱に溜めて常時圧力をかけておき，鍵盤上のキーで指定された弁（**パレット**）を開けて対応する音高のパイプ（笛）に空気を送って笛を鳴らすものである。**図 H.18** に 2 種（3 型）のパイプと，ストップ（音栓）の操作に関係する内部機構を示す。グレートは主鍵盤（最下段あるいは下から 2 段目）用のパイプ群で，スウェルパイプは音量を可変にするために鎧戸式のシャッター付きの密閉箱（スウェル）に入れられたパイプである。

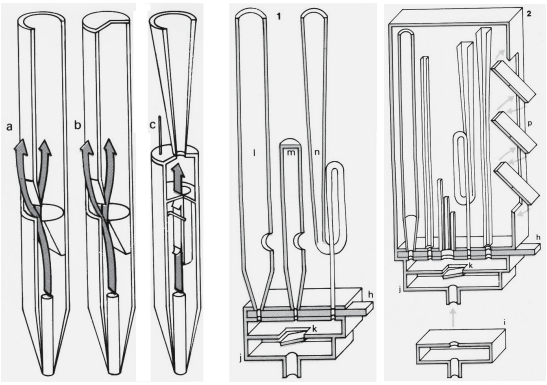


図 H.18　左 3 本：オルガンの 3 つの型のパイプ（左から開管のフルーパイプ，閉管のフルーパイプ，リードパイプ），中央：グレートパイプ群，右：スウェルパイプ群（皆川達夫編『楽器』マール社より）

スウェルは種々のパイプ群を収納した部屋で，19 世紀以降のオルガンにはこれに開閉度を調節できるシャッター（**ジャルジー**，図 H.18 では右の図の右側に描かれている）が付けてあり，これを演奏台の下のペダルで操作することによって音の強弱を調節できるようになっている。演奏台のストップを操作することによって中央の図の各パイプへの空気の吹き込み口の下で “h” で示されるスライダーを動かして，各鍵盤毎にどの型のパイプ群を使うかを決めるようになっている。

コーヒーブレイク

足踏みオルガン

日本で単に「オルガン」というと，大戦後の物資欠乏期に小学校の教室にピアノの代わりに置いてあった足踏み式のオルガンを思い起こす読者がいるだろうが，その発音はリードの振動によるもので，パイプオルガンとは異なりフリーリード楽器である。ふいごを足で駆動するものが多いが，電動タイプもあった。パイプオルガンのように音色を変えるためのストップをもつものも開発され，ふいごで空気を引く型が**リードオルガン**として米国で，ふいご側を加圧する型が**ハーモニウム**としてヨーロッパで広がったが，シンセサイザ（電子オルガン）の出現後はどちらも衰えた。

H.1.2　その他の種類（弦楽器と打楽器）

弦楽器と打楽器類をまとめて「その他の種類」としている。弦楽器については，まずネックをもつもの（第 1 類）ともたないものに分けて，ネックをもたない弦楽器を鍵盤楽器（第 2 類）とそれ以外（第 3 類）に分けている。

（**1**）　**弦楽器第 1 類：ネックをもつ弦楽器**　　撥弦か擦弦かを度外視してネックをもつかもたないかで弦楽器を分類するということは現在ではほぼ行われないが，現在でもネックをもつ弦楽器を「**リュート属**」と呼ぶことがある。これは撥弦楽器だけでなく擦弦楽器も含む。

（**a**）　**撥 弦 楽 器**　　Agricola のころのヨーロッパのネックをもつ撥弦楽器としては，リュート，クヴィンターがある。

(a.1) リュート（独：ラウテ，伊：リウト）　　中世から 18 世紀にかけてヨーロッパでは撥弦楽器としてアラブ起源の**リュート**（洋梨型の胴，後折ヘッド，フレットつき，6 コース 11 弦，4 度調弦：基本的に隣接弦間音程が 4 度で 1 箇所だけ長 3 度）が大流行していたが，それはアラブのウード（洋梨型の胴，後折ヘッド，フレットなし，6 コース 11 弦，4 度調弦）から派生したものである。標準的な調弦は G2,C3,F3,A3,D4,G4 であるが，最低音弦を全音下げる調弦も示されている。下 3 コースは各コースの複弦の低音側を 1 オクターヴ下げたようで，最高音コースだけは歌弦として単弦である（**図 H.19** 左）。本来，弦

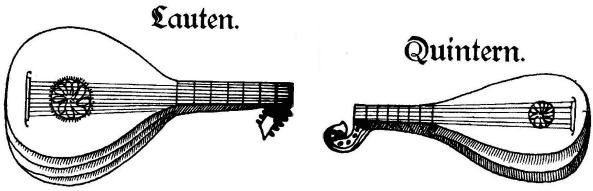


図 H.19　左：ラウテ（リュート），右：クヴィンター（【英】ギターン）

は 11 本あるはずであるが，図 H.19 左では 9 本しか描かれていない。リュートは発祥当初 4 コースであったが，15 世紀に上に 1 コース，16 世紀に 1 コース追加された[23] ので，図はその途上のものであろうと思われる。

リュートの出現後もアラブ圏にはウードが残っていて，ヨーロッパでも一部では使われたが，西欧音楽には 4 分音がなく，すべてリュートで弾くことができたので，フレットのない（初心者には押弦がリュートよりも多少難しい）ウードはヨーロッパでは一般化しなかった。

リュートはプレクトラムを使う弾き方と指弾きがあり，元はウードのようにプレクトラムを使っていたが，16 世紀ころに指弾きが確立してからは指弾きが主流になっている。

(a.2) クヴィンター（英：ギターン）　　撥弦楽器として，ドイツにはラウテ（リュートのドイツ語）のほかに，それよりも古いクヴィンター【独】（スペイン語でキンテルナ，英語ではギターン:gittern）があり，「ドイツの器楽」にはそれが示されている（図 H.19 右）。ネックが胴と一体化して作られ，13 世紀後半にアラブからヨーロッパに伝わったが 16 世紀末にはリュートにとって代わられた[23]。リュートをひとまわり小さくしたような形の楽器で，胴の裏は丸いが，ヘッドの後ろへの反りはリュートほど長くなく，ヘッドの先端は前向きになっており，何らかの木彫の装飾があるものが多い。当初は複弦 3 コースであったが，5 コースになった[23]。図 H.19 右のものは 6 弦なので，3 コースのものである。“Quint-”は「5」を表すが，名称が，5 弦になってからのものを指すのか，5 度調弦の楽器であることを表すのか，標準的な楽器よりも音域が 5 度高いという

ことを表すのかは不明である。Praetorius の “Syntagma Musicum”(1618-20) には，その図 XVI（本書では図 H.45）にその発展型（ネックが本体と一体でなく取り付けられるようになり，ローズの位置がネック寄りに上がり，胴裏が平らになっている）が「シターン」あるいは「イギリス小型ツィター」として出ている。クヴィンターとしては胴がギターのように絞られたものが示されている。

（b）擦弦楽器　「ドイツの器楽」の初版が出版されたのは 1528 年で，その執筆は Andrea Amati がヴィオラ・ダ・ブラッチオ属（ヴァイオリン属）と認められる最初の 3 弦の楽器を作ったとされる 1530 年ころよりもほんの少し前で，最終版が出版されたのが 1545 年であるので，それよりも 15 年ほど後であるが，Agricola の最終版執筆時でもヴィオラ・ダ・ブラッチオはまだ 4 弦にはなっておらず，またドイツへは十分に流れていなかったようである。

もう少し詳しく言うと，Andrea Amati によって作られたとされる現存する最古の 3 弦のヴィオリーノは 1542 年作，2 番目に古いものは 1546 年作のものである[45] が，3 弦のヴァイオリンの 1529 年の絵が Vercelli(Torino の東北東約 20km) の教会に残されており，3 弦のヴァイオリン属の 3 サイズの楽器のフレスコ画が 1535 年に Saronno(Milano の北北西約 20km) の聖堂の丸天井に描かれていることから，3 弦の最初のヴァイオリンが作られたのは，遅くとも 1530 年よりも数年前と考えられる。

当時，ヴィオラ・ダ・ガンバはイタリアではすでに広く普及しており，その音の改良も含めて，古い時代のフィドルやその延長上のリラ・ダ・ブラッチオ，リラ・ダ・ガンバの改良が多くの弦楽器工房で試みられていた。新しい 3 弦 5 度調弦でフレットをもたない楽器開発の話を聞きつけた S. Ganassi は，ヴィオラ・ダ・ガンバのフレットを取り外して，弦の数を 3 本あるいは 4 本にして，5 度で調弦するという実験的な試みについて，1543 年出版のヴィオラ・ダ・ガンバに関する著書 “Regola Rubertina”[124] の第 II 部の最後に書いている。

要するに，Agricola が “Musica Instrumentalis deutsch” を出版したのは正にヴァイオリンの発祥時点，すなわち擦弦楽器の大変革の真っ最中だったのである。

(b.1) クライネ・ガイゲとグローセ・ガイゲ　以上のような状況で, Agricola の時代にヨーロッパの中心（イタリア，フランス，ドイツ・オーストリア）で使われていた擦弦楽器としては，従来からあったアラブ起源の**レベック**（洋梨型胴裏，フレットなし，3 弦 5 度調弦，糸巻き箱に水平ペグ）と，スペインから伝わってきた**ビウエラ・デ・アルコ**（フレット付きで初期は 4 弦 4 度調弦，後に 6 弦 4 度調弦）を元にして，15 世紀末期にできた**ヴィオラ・ダ・ガンバ**（6 弦 4 度調弦，フレット付き）と，昔からの**フィドル**（中世フィドルの生き残り）と，それがレベックのいくつかの特徴を取り入れてヴァイオリン（ヴィオラ・ダ・ブラッチオ）へ変身する直前の**リラ・ダ・ブラッチオ**（低音用はリラ・ダ・ガンバ，別称：リローネ）があったということになる。

上述のように，初版出版時点にまだ誕生していないヴィオラ・ダ・ブラッチオについて，Agicola がドイツの楽器として書けないのは当然であるが，イタリアに 15 世紀末期に出現してから数十年経過したヴィオラ・ダ・ガンバについて，Agricola がその存在を知らなかったはずがない。ところが，Agricola の本で絵になっている擦弦楽器は，「クライネ・ガイゲ（小擦弦楽器）」と説明されているレベックと「グローセ・ガイゲ（大擦弦楽器）」と説明されている楽器（**図 H.20**），および「フレット付きの 3 弦のクライネ・ガイゲ」と名付けられた楽器（図 H.23。グローセ・ガイゲとまったく同じ形で描かれており弦数が少ない）だけである。

Agricola の「ドイツの器楽」で「クライネ・ガイゲ」と説明されている洋梨型胴に 3 弦水平ペグでフレットなしの楽器がレベックであることは絵から明かである。UC バークレー校の元音楽学科長で米音楽学会の会長を 2 度務めた D. Boyden（1910-1986）も「1761 年までのヴァイオリン奏法の歴史」[45)p.28] にそのように書いている。ところが，「グローセ・ガイゲ」については，同書 p.24 に「rather strange-looking viols」と表現しているように，実際に見て描いたとは思えない奇妙さがある。「グローセ・ガイゲ」は 4 弦の楽器として描かれているが，「3 弦のフレット付きのクライネ・ガイゲ」とともに，表裏ほぼ平板のように見える胴に水平ペグでフレットをもった楽器として描かれている。

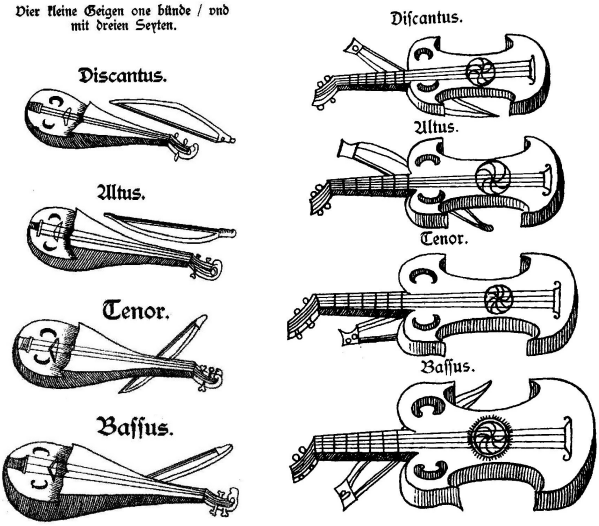


図 H.20　左：4 サイズのクライネ・ガイゲ（小擦弦楽器：説明文から，フレットなし，3 弦），右：グローセ・ガイゲ（大擦弦楽器：図から，フレットあり，4 弦）上からディスカント，アルト，テノール，バス。クライネ・ガイゲには駒が描かれているが，グローセ・ガイゲには駒が描かれていないことから，これは現物を見ずに，バレンシア大聖堂のビウエラ・デ・マノなどを見て，「その弓奏型」として描いたと推察される。

これらは胴の外輪郭が楽器としてきわめて不自然な形で，響孔がとんでもない場所に開けられているように描かれている。しかも，現物を観察して描いたと思われるレベックにはコマがちゃんと書き入れられているにもかかわらず，グローセ・ガイゲや 3 弦のフレット付きクライネ・ガイゲにはコマが描かれていないのである。

コマについて，Agricola はリュートやクヴィンターでは弦を止める表板の部分に低いブリッジを描いており，レベックを意味するクライネ・ガイゲについてはテールピースの他に弦を支える形のブリッジを描いているが，グローセ・ガイゲについてはそのような部品が描かれていない。後述するように，グローセガイゲの絵は他人が描いた撥弦楽器の絵を見てその擦弦タイプとして描いた

と思われる。Agricola が擦弦楽器についても撥弦楽器と同じような低いブリッジでよいと考えて，グローセガイゲにコマを書き入れなかった可能性が高い。もしそうなら，撥弦楽器のコマは低くても構わないが，擦弦楽器ではコマを高くしなければならないということに，Agricola は気づかなかったのであろうか。

グローセ・ガイゲおよび「3 弦のフレット付きクライネ・ガイゲ」は水平ペグであることから，中世フィドルと総称される楽器ではなく，リラ・ダ・ブラッチオやリラ・ダ・ガンバでもない。また，絵でも説明でも「フレット付き」となっていることとともに，初版の出版が 1528 年であることを考慮すると，1530 年直前にイタリアで初めて作られて，後にヴィオリーノと呼ばれるようになるヴィオラ・ダ・ブラッチオのフルセット 4 サイズがたとえ試作的なものであったとしても執筆時にすでにドイツにあったとは考えにくい。また，ヴァイオリンを「大きな擦弦楽器」と呼ぶのはどう考えても不自然である。

(b.2) グローセ・ガイゲに関する推察　グローセ・ガイゲ」として描かれている楽器が何なのかを考えてみよう。その時期の楽器で，水平ペグでフレット付きという条件を満たものとして，これはヴィオラ・ダ・ガンバしかあてはまらない。ただ，絵では弦数が 6 でなくて 4 なので，そのように断定するのは少し危険で，図の弦数とフレットの有無のどちらを信用するかによって，結論が異なってくる。ヴィオラ・ダ・ガンバの前身楽器のビウエラ・デ・アルコという可能性もあり，16 世紀前半はまだビウエラ・デ・アルコからヴィオラ・ダ・ガンバへの過渡期が継続していたとも考えられるが，どちらにしても弦数は 6 で，弦数に関する不都合の程度は同じである。ビウエラ・デ・アルコは 6 弦ということになっているが，出現当初は 4 弦で後に音域拡大のために低音側に 1 弦拡張し，弾きやすさを改善するために高音側にも 1 弦追加して 6 弦になったとされる[23] ので，初期のものを描いたとすれば 4 弦であってもおかしくはない。他の可能性としては，発祥直前のヴィオラ・ダ・ブラッチオに試験的にガットでフレットを付けてみた試作品という見方ができなくはないが，試作品が 4 サイズ揃っているというのは少し可能性が低い。

上述のように，Boyden はこの楽器を “rather strange-looking” という修飾

句付きで “viol”と書いており，viola は当時のイタリア語で擦弦楽器一般を意味するが，“viol”は「1761 年まで」での使用言語から英語であると考えるならヴィオラ・ダ・ガンバを指すので，Boyden は Agricola がヴィオラ・ダ・ガンバを意図して描いたと推測したようである。ただし，ヴィオラ・ダ・ガンバもビウエラ・デ・アルコも 6 弦で，第 7 フレットまでガットを巻く。Agricola のグローセ・ガイゲの絵は 4 弦であるが，第 5 フレットまでしかガットが巻かれておらず，この数を信用するならこの楽器は 4 度調弦の楽器である可能性が高い（5 度調弦であれば，少なくとも第 7 フレットまで巻くはず）。Agricola の本が執筆された時期がヴァイオリンの黎明期であったことを考慮すると，ヴァイオリンが小型のヴィオラ・ダ・ガンバと非常によく似た形であったことと，当初は 3 弦であったことを考え合わせれば，「3 弦のクライネ・ガイゲ」は初期の 3 弦ヴァイオリンである可能性がある。ただし，これがヴァイオリンの絵であるとするなら，フレットがついているはおかしいし，第 5 フレットまでしか巻いていないということは 4 度調弦であると推定されるので，その点からも 3 弦ヴァイオリンである可能性は低い。

Agricola によるグローセ・ガイゲの絵は，響孔の位置を除いて，バレンシアの聖堂の丸天井に描かれたビウエラ・デ・マノ（**図 H.21** 左）とほぼ同じと言える。Agricola によるグローセ・ガイゲの絵のアッパー・バウトに描かれてい



図 H.21　バレンシア（カタロニア語圏バレンシア方言使用）大聖堂丸天井のフレスコ画（ca 1474）　左：ビウエラ・デ・マノ，右：ビウエラ・デ・アルコ Paolo de San Leocadio(1447-1520) i Francesco Pagano(1471-1506). ARS MAGNA-Universitat de Valencia

る響孔の位置は，響孔の位置として不自然ではあるが，図 G.16 右のビウエラ・デ・アルコの絵（1541-44 年で，ほとんどヴィオラ・ダ・ガンバに見える）と整合するので，この楽器の擦弦型と言われて楽器を見ずに絵を描いたとすれば納得できる。

図 H.21 右の擦弦楽器はビウエラ・デ・アルコ（バレンシア方言では “Viola de Arco”）である。聖堂が建てられたのは 1238 年であるが，絵は 1474 年ころに描かれたとなっている (ARS MAGNA-Univ. Valencia)。絵ではフレットが巻かれているが，第 5 フレットまでしかないので，4 度調弦と推察できる。ただし，第 5 フレット（開放弦の 4 度上）は本来ならナットからコマまでの $\frac{1}{4}$ のはず（singing length が開放弦の $\frac{3}{4}$）のところが，それよりもかなりブリッジ寄りに描かれているので，あまり現物に忠実な絵にはなっていない（絵なので，これは仕方がない)。弦は 5 本のように見えるが，4 弦のものに低音弦 1 本を追加した段階で，6 本になる前の段階のものであるとするなら 5 本でもおかしくはない。

Agricola が絵を描くに際して擦弦楽器として図 H.21 右側の擦弦の楽器を写さずに左側の撥弦のものをグローセ・ガイゲ（大きな擦弦楽器）として描いた理由は，たぶん，Agricola が「レベックよりも大きい新しい楽器がイタリアにあるらしいが，それはスペインで人気の高いビウエラと呼ばれている楽器をムーア人（アフリカ北西部に住むイスラム教徒でアラビア語を使う人々）が弓で弾くようにしたものを基にしてできた楽器である」というような情報を得て，ビウエラ・デ・マノとして描かれていたバレンシア大聖堂にあった絵を模写したものと推察される。ヴィオラ・ダ・ガンバはビウエラ・デ・アルコの発展型である（図 G.16 右）にもかかわらず，Agricola が同じ大聖堂の丸天井に描かれているビウエラ・デ・アルコを描き写さなかったもう 1 つの理由は，ビウエラ・デ・アルコの絵が当時ドイツにもあった中世以来のフィドル（図 G.16 左）を描いてあるように見え，かつ聖堂のビウエラ・デ・アルコの絵の楽器はコーナーをもっておらず，「新しい楽器はボディにコーナーを 4 つもっている」という伝聞情報に反するので，ビウエラ・デ・アルコとされている絵を書き写しても従

来のフィドルと変わり映えがせず，新型の楽器ヴィオラ・ダ・ガンバと見てもらえないと考えたからであろうと思われる。

以上の考察から，Agricola がグローセ・ガイゲとして描いている楽器は，バレンシア大聖堂のビウエラ・デ・マノとして描かれている楽器で，このようなリラ型の擦弦楽器はコマが必要であるにもかかわらず，グローセ・ガイゲの絵にコマが描かれていないのは，現物の楽器を見ずに撥弦のビウエラの絵を書き写した際にコマを書き入れる必要があることを認識し（でき？）なかった結果であると考える。当時はビウエラ・デ・アルコからヴィオラ・ダ・ガンバへの過渡期で，さまざまな形の楽器が混在し，名称も定まっていないそれらを代表するものとして「グローセ・ガイゲ」という名称を使ったとするのが妥当であろう。

ただ，この解釈では，Agricola が本に入れる絵を描くにあたって，ヴィオラ・ダ・ガンバだけは実物を見ないで書いたことになるということと，ヴィオラ・ダ・ガンバを執筆時までに見たことがないということになるので，若干の疑問は残る。

音楽中辞典では，ヴィオラ・ダ・ガンバの発祥は 15 世紀後半で，現在の形になった（形が完成した？）のは 16 世紀初頭とされているので，Agricola の執筆時点（たぶん 1520 年代）でヴィオラ・ダ・ガンバを作っていた工房はそれほど多くなかったという状況は十分あり得る。残された絵などから推察すると，イタリアでのヴィオラ・ダ・ガンバの発祥は 1480 年代後半と推定され，Agricola の「ドイツの器楽」の初版の出版は 1528 年で，ビウエラ・デ・アルコとしてバレンシアの聖堂の天井に 1474 年に描かれた楽器がイタリアへ伝わり，胴の形状がギター型から現在知られているヴィオラ・ダ・ガンバの形になって大量に作られるようになるには少し年数がかかる。1520 年にはヴィオラ・ダ・ガンバはドイツにもあったと思われるが，まだ珍しい新型の楽器であったはずである。

ビウエラ・デ・アルコがイタリアでヴィオラ・ダ・ガンバと呼ばれる楽器になったのはたぶん 1480 年代後半であるが，リュートやフィドル，リラ・ダ・ブラッチオなどを作っていた弦楽器工房でヴィオラ・ダ・ガンバが現在見られる

確定した形で作られるようになって，広く行きわたるようになるにはもう少し年数がかかったと思われる。

1520 年以後に作られたリラ・ダ・ブラッチオが多数残っていることから Agricola の執筆時点でヴィオラ・ダ・ガンバを作っていた工房はそれほど多くなかった可能性がある。1474 年の段階（バレンシア大聖堂のフレスコ画が描かれた年）には，ビウエラ・デ・アルコはまだヴィオラ・ダ・ガンバにはなっていなかったと考えられる。

筆者は，Agricola によるグローセ・ガイゲの絵は，中世フィドルからビウエラ・デ・アルコやヴィオラ・ダ・ガンバへの過渡的な混沌状態で，試作的なものが多数あった状況で，レベック以外のものの代表として，新しい楽器を描くつもりでビウエラ・デ・アルコを描こうとしたと考える。そのためにはバレンシア聖堂の擦弦楽器のほうを描けばよかったはずであるが，それでは古くからあったフィドルを描くのとあまり変わらないので，「撥弦のビウエラ・デ・マノを擦弦楽器にしたビウエラ・デ・アルコという新しい楽器があるらしい」という情報に基づいて，バレンシア聖堂のビウエラ・デ・マノ（弦は不明瞭で数えられないが，ペグは 4 本に見える）を擦弦楽器として描いたのだろうと推察する。ただし，図 G.16 右からわかるように，ビウエラ・デ・アルコはヴィオラ・ダ・ガンバになって行くのでその移行期に多種多様にあったものを現物を見ずに代表的な形状で描くという状況では，弦の数はともかくとして，どのように描いても多少いい加減な絵を描くことになったと考える。

(b.3) 発祥前後のヴィオラ・ダ・ガンバ　ビウエラ・デ・アルコからヴィオラ・ダ・ガンバへの過渡的な楽器として，バレンシア大聖堂のビウエラ・デ・アルコのような，まだ胴の形が今日知られているヴィオラ・ダ・ガンバの形として完成していないものが多数試みられ，それらは回顧的な嗜好も手伝って 17 世紀後半になっても作られた。弦の数もビウエラでは 6 であったがそれ以外も試されたようである.

ヴィオラ・ダ・ガンバはビウエラ・デ・アルコの発展型であるので標準的には 6 弦であるが，最大サイズのコントラバスは通常は 4 弦であり，これは現在

でも踏襲されている。(5 弦のコントラバスもある。)

後にできた独奏用のもの (ヴィオラ・バスタルダ。英称：リラ・ヴィオル) は標準が 7 弦で，多様な調弦法があったことから「バスタルダ（多様な)」という形容詞が付けられた。イギリスにはバス・サイズのものを少し小型にしたディヴィジョン・ヴィオルと呼ばれるタイプのものも現れた。これは音符を細かく分割して奏する独奏用のものであることからこの名称が付いた。

初期のヴィオラ・ダ・ガンバの胴形状は中世フィドルの形（ビウエラ・デ・マノの形と言ってもいい。センター・バウトをギターのように曲線的に絞った，コーナーなし）のものもあった。均整がとれた形のヴァイオリンを見慣れている現在の目には不格好に見える胴形状もあった。発祥当初のヴィオラ・ダ・ガンバの弦の数の状況を感じ取っていただくのと，胴にコーナーをもたないギター型や，輪郭がヴァイオリンの外形に似てはいるが何となく不格好なヴィオラ・ダ・ガンバがあったことなどを**図 H.22** に示しておく。



図 H.22　胴形状や弦数が固定するまでのヴィオラ・ダ・ガンバ。左：6 弦ギター型の胴のもの (Gasparo da Salò, 1570 年, Orpheon Foundation)，中央：6 弦バス：リローネ (Gasparo da Salò, 1580 年, Ashmolean Museum, Oxford Uiv.) , 右：3 弦ギター型胴のもの (作者不明 “Vivaldi Collection”, Museo della Musica, Venezia)。

左は初期のヴァイオリン製作者として著名なブレシア派の Gasparo da Salò(1540-1609) による 1570 年ころのギター型の胴をもつテノールサイズの 6 弦もの (Orpheon 財団が古楽器演奏に現役使用)，中央は同じ製作者による 1580 年のバスサイズのもの（Oxford 大学の Ashmolean 博物館所蔵)。右は作者不明ではあるが 1580 年の 3 弦バスサイズ（Venezia 音楽博物所蔵館）のギター型胴の 3 弦のヴィオラ・ダ・ガンバである。

3 弦のヴィオラ・ダ・ガンバは弦張力の左右不均等に対処するためかネックとヘッドが傾けてある。中央の楽器のアッパー・バウト（ボディ上部）は図 H.21 の左の図に似ているような印象を与える。

(b.4) 3 弦のクライネ・ガイゲ　Agricola の本には，もう 1 種の別の擦弦楽器が描かれている（**図 H.23** に転記したもの）。それは図 H.20 のグローセ・ガイゲをそのまま少し小さくした絵で描かれており，「フレットつき，3 弦のクライネ・ガイゲン」との名称で 4 サイズ描かれていることから，4 弦で描いた上述のグローセ・ガイゲよりも小さい 3 弦のものを描いたと思われる。「クライネ・ガイゲ」は Agricola がレベックを表すのに用いた仮の名称で，レベックはフレットなしの 3 弦であるので，それとは別物であることを明確にするために後ろに「フレット付きの」が付いている。

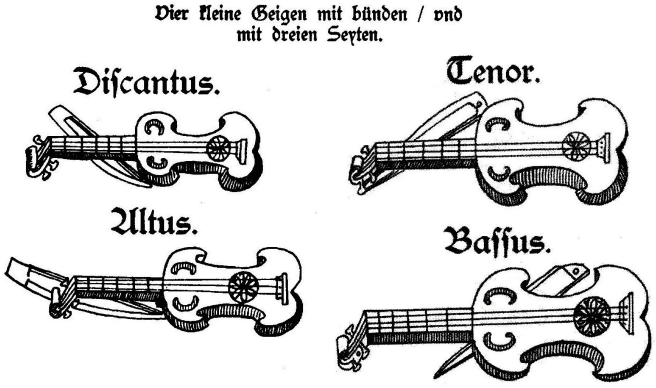


図 H.23　「フレットつき，3 弦のクライネ・ガイゲ 4 本」との説明がある絵

「3 弦のクライネ・ガイゲ」については次の 3 つの可能性がある。

1. ビウエラの簡易型

   ビウエラは撥弦型にも擦弦型にも弦を 4 本にした簡易型があったので，ヴィオラ・ダ・ガンバあるいはビウエラ・デ・アルコの絵として使ったのと同じ絵で，弦の数だけを減らしてその簡易型を表した可能性

   ・・・・弦の数が合わない。簡易型は標準型より小さかったはず。

2. 3 弦ヴァイオリンにフレットを巻いた
   ヴィオラ・ダ・ブラッチオ（後にヴィオリーノと呼ばれるようになるヴァイオリン）が 4 弦に定着する前の数年 ~ 十数年間の 3 弦の時代のものにフレットを巻いたように描いた可能性
   ・・・・「フレット付き」を満たさない。フレットはその有無の得失を比較するために試験的に巻いてみたもの？
3. ヴィオラ・ダ・ガンバで 3 弦ヴィオリーノをエミュレート
   Agricola としては，3 弦のクライネ・ガイゲとして本来なら 3 弦ヴィオリーノを描きたかったところを，その現物がなかったので，Ganassi が “Regola Rubertina” で説明しているように，3 弦ヴィオリーノをエミュレートする方法として，対応するサイズのヴィオラ・ダ・ガンバの弦数を 3 弦に減らしたものを描いた可能性
   ・・・・「小さい」を満たさない。グローセ・ガイゲと同じ絵が描かれていることは納得できる。ビウエラ・デ・アルコのつもりの楽器のフレットを外す前の図と考えるならフレットが付いていてもおかしくない。

筆者としては 3 番目の可能性が最も高いと考えている。当時まだ新しい楽器であったヴィオラ・ダ・ガンバの名称は確定しておらず†，ヴァイオリンが出現するまで，イタリアでは，擦弦楽器として，フィドル系の古い型の楽器リラ・ダ・ブラッチオとスペインのビウエラ・デ・アルコを前身とする新しい楽器ヴィオラ・ダ・ガンバおよびアラブ系のレベック（伊：リベーカ ribeca）があったが，16 世紀にはヴィオラ・ダ・ガンバが隆盛を極め，リラ・ダ・ガンバやレベッ

† Boyden は「1761 年までの・・・」の p.15 で，Ganassi は 1542-43 年出版の “Regola Rubertina” で現在「ヴィオル属」とされている楽器群を「ヴィオローネ」と呼んでいたが，Jambe de Fer が 1556 年の “Epitome Musical” で初めて「腕に乗せて弾く 4 弦のものを『ヴィオリーノ』と呼び，これと同じ型の楽器を『ヴィオラ・ダ・ブラッチオ(腕のヴィオラ)』と呼ぶ。これと対比するために，脚に挟んで，あるいは膝の上で弾く擦弦楽器を『ヴィオラ・ダ・ガンバ』と呼ぶ」とした，と書いている。
　これに対して，Boyden はチェロは両脚間に立てて弾くのにもかかわらず「腕の・・・」と呼ばれ，トレブル・ヴィオルは脚で挟まないのにもかかわらず「脚の・・・」と呼ばれるのは名称としてよくない。別の区別としては，弓の持ち方がヴァイオリン属はオーバーハンド，ヴィオル属はアンダーハンドという違いがある，としている。

クはほとんど使われなくなっていた。

後にヴィオラ・ダ・ガンバと呼ばれることになる楽器は 16 世紀に入ると単に「ヴィオーラ（擦弦楽器）」で済んだはずで，サイズの大きいものを「ヴィオローネ（大きいヴィオラ）」として区別することで済ませていた。そこへ 1530 年の少し前ころにアルト・サイズのヴィオラよりも小さい擦弦楽器が現れたので，それを「ヴィオリーノ（小さいヴィオラ）」と呼んでいた。これは英語でヴァイオリンと呼ばれるようになる。それは，最初は 3 弦であったが，1550 年以降になるとそれは 4 弦になった。3 弦から 4 弦になった際に名称は変わらなかったが，ヴィオル（これは英語）属と区別できるイタリア語の名称が必要になり，Jambe de Fer が考えたのが素人にわかりやすい「ヴィオラ・ダ・ガンバ」と「ヴィオラ・ダ・ブラッチオ」であった。これには，ヴィオラ・ダ・ガンバの中心的な楽器はバス・サイズで脚に挟んで弾いたが，ヴィオラ・ダ・ブラッチオの代表楽器は腕に乗せて弾くディスカント・サイズであったということが大きく関係している。

Agricola はサイズによって，レベックをドイツ語で「クライネ・ガイゲ（小さい擦弦楽器）」，ヴィオラ・ダ・ガンバになりつつあったビウエラ・デ・アルコを「グローセ・ガイゲ（大きい擦弦楽器）」としたようである。それには，ヴィオラ・ダ・ガンバになる直前のビウエラ・デ・アルコで人気が高かったのはバスサイズでレベックはそれよりも小さいという事情が，楽器の大小表現に関係したと思われる。そこへディスカント・サイズのヴィオラ・ダ・ガンバに似た 3 弦の小さい擦弦楽器（ヴィオリーノ）が現れ，それは小さいサイズのヴィオラ・ダ・ガンバの弦を減らせば同じようなものができるという Ganassi の本を読んで，グローセ・ガイゲの絵を流用して「3 弦のクライネ・ガイゲ」としたのであろう。

3 弦のヴァイオリンは Gaudenzio Ferrari が描いた 2 つの絵（**図 H.24** に示す「オレンジのマドンナ」の下部と「天上のコーラス」の一部）に残っている。この絵の 3 弦ヴァイオリンは，ヴィオラ・ダ・ガンバを流用したエミュレーション楽器ではなく，本来の 3 弦のヴァイオリンである。

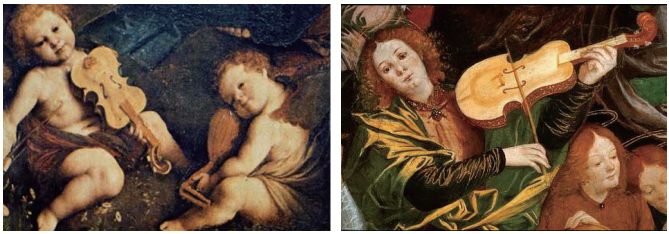


図 H.24　フェラーリ (Gaudenzio Ferrari) による 3 弦ヴァイオリンの絵
左：天使の二重奏：“La Madonna degli Aranci”「オレンジの聖母」の下部(1530 年ころ, 聖クリストファー教会, Vercelli, Italia。Doppiozero, Wikipedia “History of the violin” より) 右：3 弦のヴァイオリンを弾く天使：“Coros Celestiales”「天上のコーラス」の一部 (1535 年ころ，Saronno 大聖堂，Italia。Wikimedia) どちらも弦は不鮮明であるが，ペグが 3 つしかないのが見える。

ヴァイオリンはきれいな和音を得るために最終的にはフレットなしになったが，フレットがついていたヴィオラ・ダ・ガンバ全盛時代であった当時の開発・試作段階ではフレットを付けたものも検討したはずで，開発者以外から見ると，フレットなしは未完成品で，フレットを付けたものが完成品に見え，「フレット付き 3 弦のクライネ・ガイゲ」が描かれたのかもしれない。

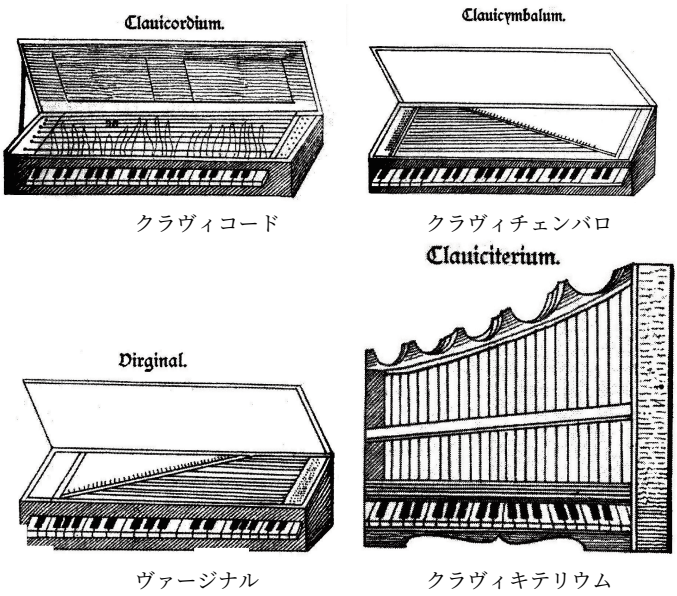
「フレット付き 3 弦のクライネ・ガイゲ」は初版にも出ているので 1528 年以前に存在していた楽器であるはずである。この時代に存在していた可能性のある 3 弦のフレット付き擦弦楽器というと，フレット付きということと形状からレベックではありえず，執筆時期を考えるとヴィオラ・ダ・ブラッチオ（後のヴァイオリン）の可能性も低い。残る可能性は中世フィドルの生き残り，あるいは 3 弦のリラ・ダ・ブラッチオにフレットを巻いたもの，あるいは 3 弦リラ・ヴィオーラあるいはヴィオラ・ダ・ブラッチオがフレットなしの楽器として確立する直前にフレットを巻いてみた試作的なものくらいである。いずれにしても，「フレット付き 3 弦のクライネ・ガイゲ」は，リラ・ダ・ブラッチオからヴィオラ・ダ・ブラッチオへの過渡期の多種多様なヴァリエーションの 1 つであろう。ただし，4 サイズが揃っているということから，試作的な楽器とは考えにくい。

これには，Ganassi の “Regola Rubertina”（1542 年）に書かれているヴィオラ・ダ・ガンバの 6 本の弦を 4 本にするとか 7 本あったヴィオラ・バスタルダの弦を 3 本にして 5 度調弦を試すということが行われていたこと（p.418 脚注 2）も関係している可能性がある。

「ドイツの器楽」から約 100 年後に出版された Praetorius による “Syntagma Musicum” の “Sciagraphia” には擦弦楽器としては 15 世紀後半に生まれたヴィオラ・ダ・ガンバ属および 16 世紀前半に新しく生まれたヴィオラ・ダ・ブラッチオ（ヴァイオリン）属が中心的な楽器として描かれており，レベックとリラ・ダ・ブラッチオは一部のサイズのものだけが「こんなのもある」という程度に紹介され，ビウエラ・デ・アルコに至っては現役楽器としてではなく，キリスト教関係のいろいろな楽器のページ（図 H.55）に「昔のイタリアのフィドル」として，Agricola がグローセ・ガイゲとして描いていたのと同じ形の 5 弦（ペグは 6 個）のものが，現実には使われていない楽器のように描かれている。

（2） 弦楽器第 2 類：ネックをもたず鍵盤をもつ弦楽器　ネックをもたない弦楽器として，まず鍵盤楽器 4 種が挙げられている。クラヴィコルディウム（クラヴィコード），クラヴィシンバルン（チェンバロ），ヴァージナル，クラヴィキテリウムである（**図 H.25**）。“clav” は「鍵盤」の意味で，後ろに続けるときは “i でつなぐ。“cord” は「弦」。ピアノはまだ出現していない。

クラヴィコードは 14 世紀ころからヨーロッパで使われていた端点突き上げ型の鍵盤をもった弦楽器で，キーを押すとテコの原理で反対側に付けられたタンジェントと呼ばれる金属の小片が，両端固定で張られた弦の一点を突き上げ，そこが振動の一方の端点となって弦が振動するようにした楽器。振動させない側の弦はフェルトなどで抑振してある。響板をもっていたが弦の励振効率が悪いので音が小さかった。ただ，キーを抑える強さを揺らすことでヴィブラートができた。チェンバロが生まれるまではオルガン以外の唯一の鍵盤楽器として広く使われた。チェンバロ発祥後も，チェンバロは音の大きさを変えられないという欠点があったため，クラヴィコードを使用し続ける奏者もあった。



クラヴィコード　クラヴィチェンバロ

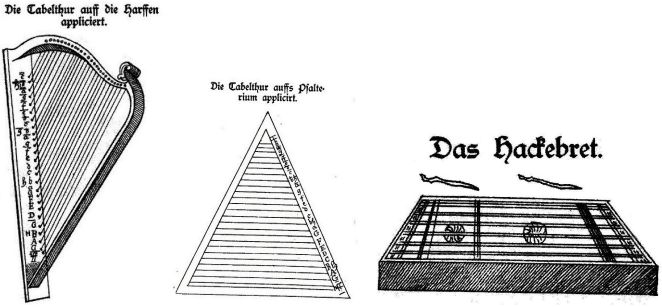
ヴァージナル　クラヴィキテリウム

図 H.25　鍵盤をもつ弦楽器

（**3**） **弦楽器第 3 類：ネックも鍵盤ももたない弦楽器**　ネックをもたず鍵盤ももたないものとして，ギリシャ時代からあった**ハープ**および**プサルテリウム**（現独：プサルター。古代ギリシャのプサルテリオンから）と並べて**ハッケブレット**（現独：ハックブレット，英：**ダルシマー**）を挙げている。

図 H.26 を見ると，ハッケブレットの上に弦を叩く棒が 2 本（両手用）書いてあるが，通常バチで弦を叩くダルシマー系の打弦楽器ハッケブレットないしはシュラーク・ツィター（ハンマー・ダルシマー）を撥弦楽器として指ではじくこともあったようである。

キーレバーを付けたことによってネックが縮退した弦楽器（弦楽器第 3 類に入れてある）　鍵盤をもつがネックは縮退した弦楽器として，**ハーディーガーディー**と**ニッケルハルパ**がドイツ語でそれぞれライヤーおよびシュリュッセル・フィデルとして挙げられている（**図 H.27**）。



ハルフェ（ハープ）　プサルテリウム　ハッケブレット（ダルシマー）

図 H.26　ネックも鍵盤ももたない弦楽器

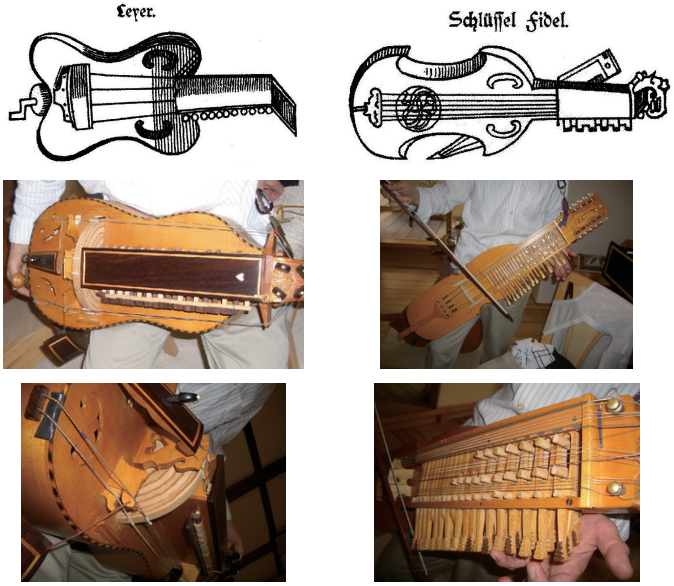


図 H.27　ライアーとシュリュッセル・フィデル
左列：ライアー（ハーディーガーディー），
右列：シュリュッセル・フィデル（ニッケルハルパ），
【Agricola の絵はキーの設置側が反対であったので筆者の責任で無断反転した】
下：それらの復元楽器の写真（オルティス・コソート主宰者であった故坂本利文氏宅で）

ハーディーガーディーは中世以来ヨーロッパで用いられてきた機械的な擦弦楽器で，右手のハンドルで回転させる木製円盤の周囲で弦を擦って発音させる。1〜2 本の旋律弦と数本のドローン弦をもち，音高は左手の鍵盤操作によって木製の楔（くさび）（タンジェントと呼ばれる）で旋律弦を押すが，こする速度やアタックとか強弱を弓奏のように自由には制御できないので，音楽としていい演奏はできなかった。

ニッケルハルパは現在でも愛好者がいるスウェーデンの民族楽器で，ハーディーガーディーを弓奏にしたようなもので，指板の上で弦を指で押さえる代わりに左手の鍵盤操作によって弦をタンジェントと呼ばれる木の小片で横から押して弦を弓で弾く弦楽器である。適切に調整さえしてあれば，細かいことを言わなければ，鍵盤操作によって許容範囲内の誤差で正しい音高がまったくの初心者でも取れ，弓奏によって強弱やアタックなどを制御できるので，一部の人には現在でも人気があって，楽器が市販されている。

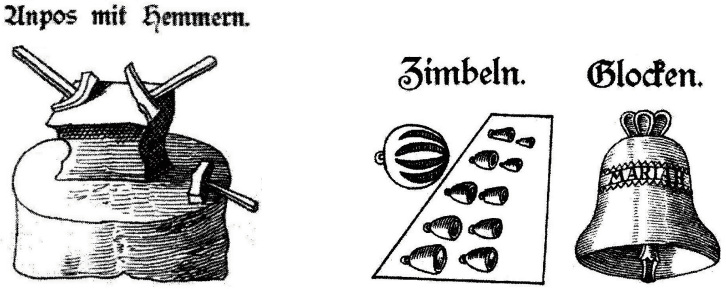
Agricola の絵はリプリント版ではキーの位置が上下逆になっていたので，本書では反転させて示す。また，Agricola の絵ではハーディーガーディーにネックがあって，キーはその横から出ているように描いてあるが，実際にはネックはほとんどなく，ボディ外形をはじめ，弦カバーの大きさや位置が現物とはかなり異なる。響孔の形も位置もカバーの有無の絵でまったく異なる。ニッケルハルパに至っては，ボディ形状がまったく異なる上に，現物では響孔が当時としては特徴的な f 字であるのにもかかわらず，絵では旧来の C 字になっており，しかもローズが描いてあって，駒が描かれていない。

これらのことからわかるように，Agricola による絵は現物とかなり異なるものがあるので，必ずしも現物を見て描いたのではないものが混在していると思われる。特に，シュリュッセル・フィデルとして描かれている形の楽器は他人から聞いた情報に基づいて想像で描いた可能性が高い。ハーディーガーディーとニッケルハルパは，図 H.27 上に示した Agricola の絵だけではわかりにくいので，筆者が撮った復元楽器の写真を図 H.27 下に示す。

ハーディーガーディーもニッケルハルパも鍵盤をもってはいるが，弦の振動

部分の長さによって音高を変える型の擦弦楽器であることに変わりはないので，キーはオクターヴを等間隔にすることができず，フレット間隔と同じように，長さを半分にすれば 1 オクターヴ上がるように並ぶので，高音になるほど隣接キーの間隔が狭くなる。

（4） 打 楽 器　打楽器としてはアンポス（現代ドイツ語ではアンボス Amboß，鉄床（かなとこ））とともに，ツィンベルン（小型シンバル）として大きさが少しずつ異なるベル状の小物のセットと，グロッケン（鐘）と書かれた少し大きそうなベルが描かれているが，これだけである（**図 H.28**）。しかも，アンボスは通常は楽器とは考えないもののはずで，なぜ少ししか挙げられていない打楽器の中に，これが例として挙げられているのか不思議である。



アンポスとハンマー　　ツィムベルン (小型シンバル)　グロッケン (鐘)

図 H.28　打楽器（アンポス，ツィンベル，グロッケン）

約 1 世紀後のプレトリウスの「音楽大全」には多数の打楽器が描かれているので，Agricola の時代にもこれだけということはないはずで，Agricola がなぜそれらを描かなかったのかは不明である。

（5） 補足（あったはずなのに記述がない重要な楽器）

（a） 撥弦楽器：ビウエラ・デ・マノ　15〜16 世紀のイタリアやドイツ，フランスなどではリュートが広く使われていたが，8 世紀初頭から 15 世紀末までアラブに占拠されていたイベリア半島では，胴の裏が丸くてアラブのウードに形が似ているリュートは毛嫌いされる傾向があった。

スペインでは特にビウエラ・デ・マノ（手のビウエラ：6 コース 12 弦，4 度調弦，フレット付き）の人気が高く，1500 年代にビウエラ・デ・マノのための曲集が，Luis de Milán(ca 1500-1561) の「エル・マエストロ」“El Maestro”: Libro de Música del Vihuela de Mano（1536 年，**図 H.29**，**図 H.30** を皮切りに，1576 年までの 40 年間に 7 冊も出版された。これらの曲集に書かれた曲は，現在でも楽譜が出版され，CD などで聞くことができる。

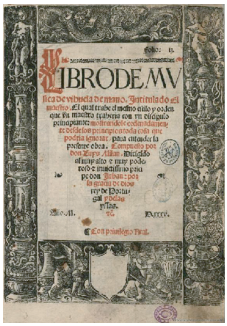


図　H.29　Luis de Milán 著，ビウエラ曲集 “El Maestro”(1536) の表紙.



図 H.30　エル・マエストロの中表紙：ビウエラ・デ・マノを弾くオルフェウス

ビウエラ・デ・マノはイベリア半島では広く浸透したが，リュートが使われていたフランス以東ではリュート以外の撥弦楽器は必要でなかったようで，ビウエラ・デ・マノがピレネーを越えて広がることはなかったようである。ビウエラ・デ・マノは中央ヨーロッパへは広がらなかったが，大航海時代に中南米へスペイン人やポルトガル人が持って行ったようで，下記のように，メキシコとエクアドルで見つかっている。Agricola の本で撥弦楽器として挙げられているのはリュートとクヴィンターだけで，ビウエラ・デ・マノについてはそれと思しき絵はなく，そのような楽器について言及もされていない。後述の Praetorius の “Syntagma Musicum”でもビウエラ・デ・マノについての記述はなく，ビウエラ・デ・アルコが「昔のフィドル」として雑モノ（宗教行事の楽器類）のページに描かれているにとどまる。

現存するビウエラ・デ・マノ

ビウエラ・デ・マノとされる楽器は現在までに 3 つ発見されている。1 つはメキシコで発見されパリのジャックマール－アンドレ美術館に収められている「グァダルーペ」, 2 つ目は, パリ音楽院の横の「音楽都市」にある「シャンビュール」で, 3 つ目はエクアドルのキートの教会にある「謎の楽器」である。以下, これらを簡単に紹介する。いずれも製作年代はわかっていないが, コロンブス（クリストーバル・コロン：Cristóbal Colón, ca1451-1506）のアメリカ大陸発見 (1492 年) 以後に中南米へもたらされたものであることは確かである。

1.「グァダルーペ (Guadalupe)」

メキシコ東北部のグァダルーペで見つかったもの（Musée Jacquemart-André 所蔵）で, 写真がネットにあったので**図 H.31** に示す。

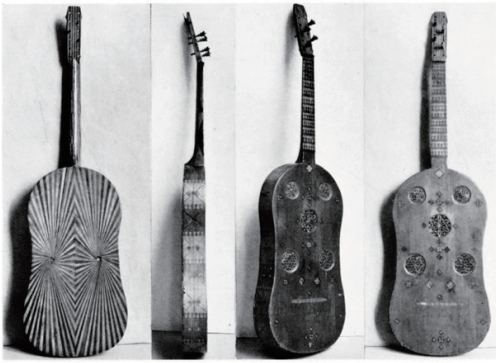


図 H.31　メキシコのグァダルーペで見つかったビウエラ・デ・マノ「グァダルーペ」（パリのジャックマール・アンドレ美術館所蔵）www.betsillworkshop.com/vihuela.htm より

2.「シャンビュール (Chambure)」

シャンビュール伯爵夫人から旧パリ音楽院に遺贈され, 永く倉庫に眠っていたが, 1998 年に Joël Dugot によって見出され, 裏板が補強され, ロゼッタの欠けが補修されて演奏可能な楽器に修復され, 2010 年に同音楽院の博物館で公開された。幸いブリッジが残っており, それは現在のギターのブリッジように

弦を通す小さな穴のあいたものでなく，すべての弦を通す大きな窓が開いたものであった。弦は 7 コース 13 弦で，ペグは左右に 6 本ずつ並び，もう 1 本はナット寄りの中央にある。裏板は波板のような凹凸がある縦縞になっており，6 本の凸の線とその間の凹の溝があって，断面で見ると，凸の山は尖っており。凹の底は丸い。胴の厚さはネック側で少し薄くなっている。

3.「キート (Quito)」

キート（南米エクアドールの首都）の聖マリアンナ教会（1618-1645 建造）にあるビウエラは教会の遺物として伝えられてきたもので，丸い響孔の回りに同心円状に銀の線が埋め込まれ，その周囲に唐草模様的な黒檀の埋め込み装飾があるが，響孔の装飾は失われている。この楽器はブリッジの孔の形が特徴的で，高音側の 3 本のスロットは擦り切れた痕がある。断面が M 字型になっており，その両肩に丸みをもたせてあり，その半径がスロットによって異なっていることから，それぞれの位置に異なった太さの弦を張ることを想定した作りになっている。(Ariel Abramovich)

サンティアーゴ・デ・コンポステーラ（スペイン北西部）の大聖堂（1211 年完成）に中世フィドルが，石の彫刻（**図 H.32**,1188 年）として残っている。これは中世フィドルの初期の弓奏楽器であるが，もちろん指ではじく撥弦型もあったであろうことは容易に推測される。

ビウエラ・デ・マノはこの後継楽器の 1 つで，13 世紀に建てられたバレンシアの大聖堂の丸天井に 1470 年代に描かれたとされるフレスコ画（図 H.21）として残っている。ところが，現存するビウエラ・デ・マノ「グアダルーペ」などはフレスコ画よりも時代が下がるためか，図 H.31 は図 H.21 左とは胴の形状がかなり異なる。

Agricola のグローセ・ガイゲの絵は，ヴィオラ・ダ・ガンバないしはその前身（といってもほぼそれと同じ）のビウエラ・デ・アルコを描くつもりでバレンシアのビウエラ・デ・マノ（図 H.21 左）を書き写したものと考えられる。そういう裏事情があると考えれば，Agricola の「ドイツの器楽」にはビウエラ・

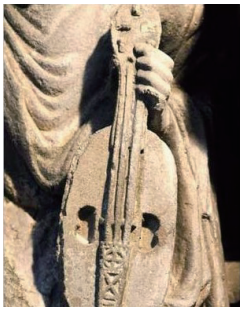


図 H.32　Santiago de Compostela 大聖堂の石彫刻 (1188 年) の中世フィドル

デ・アルコについては図入りで説明があるのに，ビウエラ・デ・マノについては記述がないことが納得できる。

ビウエラ・デ・アルコは Agricola の時代にイタリアやドイツへ伝わっていたが，ビウエラ・デ・マノはイタリアやドイツへ伝わっていなかったのか，イタリアやドイツには撥弦楽器として人気の高いリュートがあったので，ビウエラ・デ・マノを積極的に受け入れる必要がなかったかで，新規楽器として参入できなかったかのどちらかである。

（b）　擦弦楽器：リラ・ダ・ブラッチオ／ガンバ

Agricola の「ドイツの器楽」の初版が出版されたのが 1528 年，最終版（第 4 版）は 1545 年で，Stradivari の師匠 Nicolo Amati の祖父 Andrea Amati がイタリア北部のクレモナでヴィオラ・ダ・ブラッチオ（ヴァイオリン）と認められる最初の楽器を作ったと推定されるのは 1530 年の少し前なので，ヴァイオリンは「ドイツの器楽」の初版を執筆中の Agricola にはまだ伝わっていなかったと考えられる。ただし，ヴァイオリン属の前身楽器であるリラ・ダ・ブラッチオ（腕のリラ）やその大型のリラ・ダ・ガンバ（脚のリラ），あるいはそれらのヘッドをスクロールにしたリラ・ヴィオーラは，Agricola が「ドイツの器楽」を執筆していた時代にあったはずなので，ここで説明を少し補足しておく。楽器の詳細については付録 I 用語集「リラ・ヴィオーラ」の項を参照されたい。

リラ・ダ・ブラッチオ，リラ・ダ・ガンバ，リラ・ヴィオーラ

擦弦楽器について，イタリアでは現在「中世フィドル」と総称される素朴な

楽器（表板・裏板共に平板，胴は側面が緩やかにくぼみ，木の葉型ヘッドに垂直ペグ）がリラ・ダ・ブラッチオやその大型のリラ・ダ・ガンバとして多種多様にヴァリエーションを広げ，図 G.10 に示したようにやや発散気味になっていた。リラ・ダ・ブラッチオはその後継楽器のヴィオラ・ダ・ブラッチオ（ヴァイオリン）が出現した後も現役楽器として作られ続けた。

リラ・ダ・ブラッチオは，Scott Jones[54] によると，製作年代のわかっているものとして，1491 年から 1619 年まで広がっており，その製作はヴァイオリンの発祥から 80 年以上後にまで及ぶが，Agricola の時代にはすでに過去の楽器とみなされていたためか，「ドイツの器楽」には記述が見当たらない。リラ・ダ・ガンバは両脚に挟んで弾かれるが，名称とは矛盾してリラ・ダ・ブラッチオ属の中の大型と位置付けられる。図 G.10 はリラ・ダ・ブラッチオ属の形状リストであるが，その中でサイズの大きいもの（境界が数値的に決まっているわけではない）はリラ・ダ・ガンバである。

H.2 節で述べる Praetorius の “Sciagraphia” のヴィオラ・ダ・ガンバのページの図 XX（図 H.49）の中に，垂直ペグであるが外形がヴァイオリン型でフレット付き f 字孔のもの（したがって，ヴァイオリンが出現した後のリラ・ダ・ブラッチオ）が，また木の葉型ペグボックスの多弦の大型撥弦楽器リラ・ダ・ガンバが，“イタリアのリラ・ダ・ブラッチオ” として図 XVII（図 H.67）右下に描かれている。

ヴィオラ・ダ・ガンバの出現以降で共鳴弦をもつ擦弦楽器としてはヴィオラ・ダモーレとバリトン（ヴィオラ・ディ・ボルドーネ）が知られているが，それらは 17 世紀末から 18 世紀にかけてのものであるので，「ドイツの器楽」にも “Sciagraphia” にも記述がない。

リラ・ダ・ブラッチオやリラ・ダ・ガンバは奏弦 5〜11 本の他にネックから外れた共鳴弦（ドローン弦）を数本もっており，奏弦の数が不定であったことから，調弦法は数種類あって固定していなかったようで，タブラチャには冒頭に調弦を示したものが多い。標準的なものは，奏弦 7 本のうち，3 弦は現在のヴァイオリンの下 3 弦と同じ G3,D4,A4 で，その他は上に D5，下に D3 となってお

り，最低音弦と最高音弦の音程が 2 オクターヴという関係はリラ・ダ・ブラッチオの段階で現れていたことになる。その他，なぜか D4 がもう 1 本あり，必要とは思えない G4 が入っている。そこへ，スペインから 6 弦 4 度調弦フレット付きで規格化されたビウエラ・デ・アルコが伝わってきたので，それを取り入れて 15 世紀の後半にヴィオラ・ダ・ガンバが生まれた。ただ，標準的なヴィオラ・ダ・ガンバ（後に出現したヴィオラ・ダモーレやヴィオラ・ディ・ボルドーネ以外という意味）はドローン弦をもっていなかったので，ヴィオラ・ダ・ガンバはビウエラ・デ・アルコとリラ・ダ・ガンバから生まれたと考えるよりも，ビウエラ・デ・アルコとドローン弦をもたずに残った一部の中世フィドルから生まれたと考えるほうが自然である。

ヴィオラ・ダ・ガンバは「ドイツの器楽」の初版出版の 40 年ほど前に生まれていたが，Agricola が執筆する段階ではまだ名称が確定していなかったようで，「ドイツの器楽」には明確な記述がなく，約 1 世紀後に出版された “Syntagma Musicum” にはヴィオラ・ダ・ガンバに関する記述も，また 1530 年ころに生まれてから 80 年ほど経ったヴィオラ・ダ・ブラッチオに関する記述もある。この 2 冊の本の出版時期を含む 100 年間ほどは擦弦楽器にとって最大の変革期だったのである。

H.2　Praetorius の「音楽大全」（17 世紀前半）

Agricola の本から約 1 世紀後に Praetorius によって書かれた “Syntagma Musicum”「音楽大全」(1618–1620) 全 3 巻の中の第 II 巻 “De Organographia”（楽器構造学）の第 2 部の付録 “Sciagraphia”（スケッチ集）には，当時の多様な楽器が縮尺入りで詳細に描かれている。

H.2.1　分類と楽器名の伊・独・仏・英語間対応

楽器の分類

第 II 巻第 1 部に示された分類の英訳を**図 H.33** に示す（下線部分筆者修正）

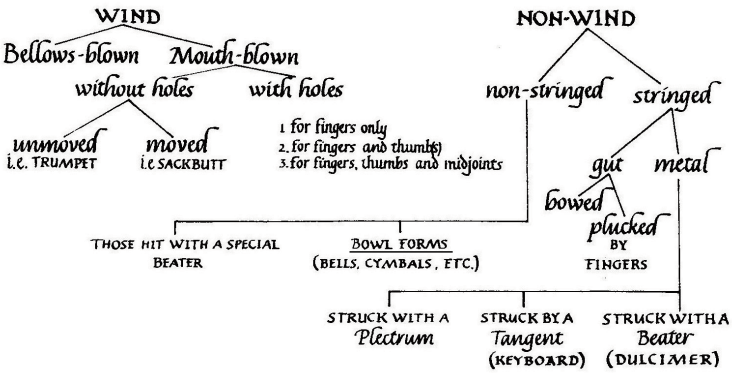


図 H.33　Praetorius の “Syntagma Musicum” における楽器の分類 (David Crooks による英訳本より)【下線部分：「被打叩対象の形」の意】

が，その上位分類は Agricola による分類と酷似している。Agricola で Erste Geschlecht（第一種）とされていた管楽器とオルガン類が**空気による楽器**，イタリア語で “Instrumenta (現代の綴りでは strumenti (musicali)) da fiato（息の楽器）”，としてまとめられており，Agricola で Andern Geschlecht（その他の種類）としてまとめられていたものが，**弦楽器**と**非弦楽器**に “一応” 分けられている。(“一応” の意味は後述する。)

空気による楽器は人間が口で吹くものとふいごを使って吹くものに分けられ，口で吹く楽器は Agricola の場合と同じように指孔の有無で分けられている。後述するが，この指孔の有無による分類は，本書の中ではリップリードかそれ以外の管楽器かという分け方と一致しており，それは納得できるので，分け方の表題がよくなかっただけということになる。ただし，Agricola と同じように，指孔をもつリップリード楽器ツインクをどう扱うかには悩んだ形跡が見られる。

弦楽器は，まず弦の材料がガットか金属かで分けられていて，撥弦か擦弦かはガットを使う弦楽器の中での下位分類になっている。この分類の上下関係は音響学的には不合理であるといわざるをえない。ネックをもつ金属弦の撥弦あるいは擦弦楽器は考慮の対象に入っていないことになる。指による撥弦楽器はガット弦楽器の下に，プレクトラムを使う撥弦楽器は金属弦楽器の下に入って

いる。まだヴィオラ・ダモーレなどの金属弦のリュート属楽器が出現していない時代であったので，仕方がなかったのかもしれないが，弦の材料のほうが撥弦か擦弦かよりも上位の分岐になっているのは不思議であり，撥弦楽器がガット弦楽器と金属弦楽器の両方に現れるのに分類学上の不都合を感じないのには思考の合理性を疑う。分類表では金属弦の楽器は打弦しかないことになっているが，本来撥弦とすべきプレクトラム使用の金属弦楽器は「打叩」とされている。また，空気による楽器でもなく弦楽器でもない楽器（ということは，いわゆる打楽器類になる？）は，膜鳴か体鳴かの区別には全く触れておらず，器具を使った打叩かボウル型の楽器（ベルやシンバルなど）かで分類している。このまとめ方は意図不明である。

(1) 空気による楽器

Agricola の場合と同様に，空気楽器は人間が**口で吹くもの**と**ふいごを使うもの**に分けられ，口で吹く楽器は指孔の有無で分けられている。

(1-a) 口で吹く楽器　指孔のある楽器と指孔をもたない楽器がある。

(i) 指孔のある楽器　いわゆる管楽器を「笛」と「らっぱ」に分けた場合の「笛」になる。後述するが，この指孔の有無による分類は，リップリードかそれ以外の管楽器かという分け方と，ページ割りでは一致している。ただ，当時はまだリップリードという概念（に対する呼称）かなかったため，指孔の有無で分けたものと考えられるが，折衷楽器があるので，この分け方は現在の基準では妥当なものではない。

指孔のある楽器としては，ブロックフレーテ（**リコーダー**）のサイズヴァリエーションが全音域をカバーする 8 サイズ（9 サイズ？）に増え，Agricola では「スイス管」とされていたものがドルツフレーテ（伊：フラウト・ドルチェ）と明記されている。リード木管楽器もかなり増えて，Agricola の時代からあった**クルムホルン**やシャルマイ（**ショーム**，イタリア語ではボンバルド，フランス語でオーボア，英語でオーボイ，後にオーボエ）に加えて，4 音域のバッサネッロ，ゾルドゥン（伊：ソルドーネ），ツィンク（伊：**コルネット**），**カータル**（伊：ファゴット，ドゥルツィアン），**ラケット**（18 世紀に消滅）など，多様

な楽器が出現している。

(ii) 指孔をもたない楽器 俗称で「らっぱ」と分類されるものである。トロンメット(トランペットの前身)に加えて,固定長のポザウネ(サックバット:トロンボーンの前身楽器)が現れ,指孔をもつが「らっぱ」類の吹き方になる固定長のコルネットが出現している。プレトリウスはコルネットを「指孔をもつ楽器」のページと「指孔をもたない楽器」のページに描いている。たぶん,自己矛盾を感じながらそのようにしたと思われるが,コルネットをトロンメットやポザウネと同じページに描いたというのは,リップリードであることを意識して描いたという意味では正しい判断である。プレトリウスの分類が音響学的にまずかったのは,分類の表現を指孔をもつかもたないかで分けたことである。

(iii) 折衷楽器 「角笛(つのぶえ)」と総称される楽器がある。原始的には動物の角で管体を作り,唇を震わせてそれを吹いて音を出すものであるが,音の高さについては,実効的な管長によって決まる自然倍音列の高さしか音を大きくできない。そこで,いろいろな高さの音を出すために実効的な管長を変えることを考え,管体に指で塞ぐことのできる孔を開けるようになったものである。この種の楽器は, 唇を震わせて空気を吹き込んで音を出すという意味ではリップリード楽器(らっぱ)であるが,管体に孔を開けて実効管長を変えることによって共振周波数を変えるという意味では木管楽器(笛)的であるので,笛とらっぱの折衷楽器であるといえる。Agricola の「ドイツの器楽」にはこの種の原始的なものとしてゲムゼン(かもしか)の角(つの)を管体としたクルムホルンが,プレトリウスの「音楽大全」にはその発展形としての木製の「コルネット」(ドイツでは「ツィンク」)が出ている。

サクソフォンも木管と金管の中間的な楽器と言えるが,サクソフォンは 1840 年代に折衷楽器として突然出現する楽器なのでプレトリウスの時代にはまだ影も形もない。

(1-b) ふいごを使う楽器 空気を送るのに,口からの呼気を使わない楽器としてオルガン類とバグパイプがあった。オルガンのパイプも空気による楽器であるが,Agricola の時代と比べると,パイプの形状やリードに種々の工夫が

施されている。風袋を腕で押さえて中に溜め込んだ空気を笛に送る楽器としてバグパイプが古くからあった。Agricola で示されていたのと同様のものがプレトリウスでもザックファイフ（風袋パイプ）として示されている。ただし，袋に空気を吹き込むために，ふいごを備えたものが追加されている。

(2) 空気楽器以外

空気による楽器以外がひとまとめにされており，Agricola の場合と同様に，それが，まず弦楽器かそれ以外かで分けられている。弦楽器について，Agricola はまずネックの有無，ついで鍵盤の有無で分けていたが，Praetorius はまず弦の材料が**ガット**か**金属**かで分けていて，撥弦か擦弦かの分類はガットを使う弦楽器の下位分類になっている。つまりこの分類では，ギターかヴァイオリンかよりも弦にガットのものを使っているか金属のものを使っているかのほうが上位で分けることになるので，現在の基準で考えるなら不合理であるといわざるをえない。ただ，このような分類になっているということは，この時代には，弦が旧来のガットであるか新素材としての金属であるかが非常に大きな違いであったということの証でもある。

Praetorius の時代にはまだヴィオラ・ダモーレやバリトンが出現しておらず，当時の金属弦の弦楽器といえば鍵盤をもつクラヴィコードやチェンバロあるいは弦を直接はじくハープや手に持ったマレットで叩くダルシマー，もしくは円盤を回して弦を擦るハーディーガーディーなどであった。当時，弦がガットか金属かの違いは，弦の材質が異なるというよりも楽器の種類が別であるという感覚であったのであろうと思われる。ただし，後ろの部分にオルフェオレンやペノルコンなど，金属弦を使う撥弦楽器も描かれているので，書き直しをしなかったことによる矛盾と考えられる。

また，空気による楽器でもなく弦楽器でもない楽器（打楽器類）はひとまとめにされ，膜鳴か体鳴かの区別はされていない。これらは，その中で，叩いたりはじいたりするのに何を使うかによって分けられているが，これでは，素手で叩く鼓は，マレットで叩く太鼓よりも，素手で叩くスティールパンに近いことになるので，この分類方法は現在の感覚では不合理である。

コーヒーブレイク

イタリア語について

プレトリウスの英訳書 III にはイタリア語での楽器名称に関する接尾辞と複数形に関する説明もあり，それには，語末が “-one” になっているものは大型で低音域用（例：Trombone, Violone），“-ino” になっているものは小型で高音域用（例：Trombino, Violino），“-accio” となっているものは蔑称（例：Trombaccio, Violaccio）としている。末尾が “-o” あるいは “-e” で終わる語の末尾が “-i” となっている場合は複数（例：Tromboni, Violini）という丁寧な説明もある。

【注】本書の著者として，イタリア語のアクセントについて説明を補っておく。

イタリア語の単語は，借用語や擬態語などの特殊なものを除いて語末は母音で，アクセントは一般に後ろから 2 番目の音節（penultimo）の母音にある。少数ではあるが，後ろから 3 番目の音節（antepenultimo）にアクセントがある語もある（timpano, penultimo など）。これらの場合，多くの辞書では正書法としてアクセントの表示は省略する。それ以外の場合，語末の母音にアクセントがある場合（del Gesù，da Salò）などは，正書法としてアクサン・グラーヴェを付ける。その他の場合は，見出し語上でアクセントのある母音の上に特殊な記号（正書法で必要なものと区別できる符号）を付けてある。借用語については，スペイン語ではスペイン語化することが多いが，イタリア語ではイタリア語として奇異な感じになっても元の音やアクセントを残す場合がある（casual など）。

(3) 伊独仏英対応表（通奏低音楽器／旋律楽器）

前述のように，プレトリウスはドイツ人で，”Syntagma Musicum” の第 I 巻はラテン語で書いてあって，第 II，III 巻はドイツ語で書いてあるが，楽器は当時もイタリア語で呼ばれたり古いものはフランス語の名称が付いていたりするので，伊仏独の対応リストが必要であったらしく，第 III 巻に当時の楽器名の対応リストが基本楽器（通奏低音用に使える楽器）と旋律楽器に分けて出ているので，**図 H.34**（基本楽器）と**図 H.35**（旋律楽器） に示しておく。

[TABLE 3.6]

Fundamental instruments:		
Orgel	*Organo; organum pneumaticum*	*pneumatic organ*
Positiff	*Organo piccolo; pars organi positica*	*positive*
Regal	*Regale*	*regal*
Clavicymbel	*Clavecymbalo; Clavicymbalum; Gravecembalo*	*harpsichord*
Viereckicht Instrument; Instrumentum indiscrete sic dictum	*Spinetto; Virginall; Frischlin; Magadis; Pectis*	*rectangular instruments; so-called "undistinguishable" instruments: spinet; virginal*
Lautte	*Liuto; Testudo; Chelys*	*lute*
Theorba	*Theorba; Chitarrone*	*theorbo*
Grosse Italiänische Lyra	*Arce Violatelire; Lyra de Gamba* λύρα ἐπιγονιδία	*lyra da gamba*
Kleine Lyra	*Lyr de braccio*	*lyra da braccio*
Doppel Harff	*Arpadoppia; Harpa gemina*	*double harp*
Bandoer	*Bandora; Pandura*	*pandora*
Cither	*Cetera; Cithara*	*cittern*
Groß Zitther	*Chitarron*	*chitarrone*

図 H.34　Praetorius の "Syntagma Musicum" 第 III 巻（Jeffery Kite-Powell の英訳本）に出ている「基本（通奏低音用に使える）楽器の名称」の独伊英対応リスト。対応する英語がない場合はイタリア語を流用している。単記以外の記述法：【独】＝【伊】または【英】

鍵盤楽器類：

オルゲル＝オルガン，圧搾空気オルガン

ポジティーフ＝小型オルガン，ポジティーヴ

レーガル＝レガーレ，リーガル

クラフィツィンベル＝クラヴィ (グラーヴェ) チェンバロ，ハープシコード

四角楽器（原文表現）＝スピネット，ヴァージナル，長方形楽器

ガット弦楽器類：

ラウテ＝リウト，リュート

テオルバ＝テオルバ，キタローネ，テオルボ

グローセ・イタリエニッシェス・リラ＝リラ・ダ・ガンバ

クライネ・リラ＝リラ・ダ・ブラッチオ

金属弦楽器類：

ドッペル・ハルフ＝ダブルハープ

バンドエール＝パンドゥーラ，パンドゥーラ

ツィター＝キターラ，シターン

グロス・ツィター＝キタローネ

[TABLE 3.7]

Melody Instruments:		
Trommet; ein Trommeter	*Tromba; Tuba; Trompetta;*	trumpet, a trumpeter
Posaun, in general, otherwise *Ordinari Posaun*	*trombone*	trombone; common trombone
Klein alt Posaun (although some also call the ordinary trombone *trombone piccole*	*Trombone piccolo*	alto trombone
QuartPosaun	*Trombone majore, grando, grosso*	bass trombone
OctavPosaun	*Trombone all'Octava bassa*	double bass trombone
Schwarzer Zinck	*Cornetto,; Cornu; buccina*	black cornett
Gelber, gerader, stiller Zinck	*Cornetto muto*	mute cornett; straight cornett
Querflöit oder Querpfeiff	*Fiffaro Traverso; Flauto traverso; Tibia transversa*	transverse flute
Blockflöit	*Flauto; Fiauto; Tibia*	recorder
Klein Flöitlin	*Flauto picciolo Tibiola*	soprano [sopranino?] recorder
Fagott or *Dolcian* or *Chorist Fagott*	*Dolciano; Fagotto Ordinario*	curtal; dulcian
Quart or *Quint Fagott*, otherwise called doppel Fagott	*Fagotto doppio grande*	double curtal
Schallmeyen	*Piffaro; Tibia gingrina Bombyx*	shawms
AltPommer	*Bombardino; Bombardo picciolo*	alto shawm [pommer]
ChorBass Pombard	*Bombardo*	bass shawm
Groß Pommer	*Bombardone*	great bass shawm
Klein or *Discant Geig*	*Ribecchino; Violino; Fidicula*	violin
Tenor-Alt Geig and all *Geigen*, which are held on the arm; commonly called treble and bass violins	*Viole de Braccio; Vivole* [sic] *da Brazzo*	viola; the violin family
Gemeine Baßgeigen	*Bassviola*	bass viols[51]
Groß Baßgeig	*Violone*	violone [or bass violin?]
Violen or *Violn de Gamba*	*Viole da Gamba; Viole*	violas da gamba
HeerPaucke	*Tamburo; Tympanum*	timpani

図 H.35 Praetorius の "Syntagma Musicum" 第 III 巻 (Jeffery Kite-Powell の英訳本) に出ている「旋律楽器の名称」の独伊英対応リスト。

空気楽器：

トロンメット＝トロンバ，トランペット
ポザウン＝トロンボーネ，トロンボーン，サックバット
黒ツィンク＝コルネット，ブッチーナ，黒コルネット
ゲラーダーツィンク＝コルネット・ムート，直管コルネット
クヴェールフレーテ＝フィッファーロ，横フルート
ブロックフレーテ＝フラウト，ティビア，リコーダー
クライン・フレーテリン＝フラウトピッコロ，ソプラノ・リコーダー
ファゴット，ドルチアン＝ファゴット・ドルチアーノ，カータル
シャルマイ＝ピッファーロ，ショーム
アルト・ポンマー＝ボンバルディーノ，アルト・ショーム
グロース・ポンマー＝ボンバルド，バスショーム

腕に載せる弦楽器：

クライン (ディスカント) ガイゲ＝ヴィオリーノ，レベッキーノ，ヴァイオリン
バスガイゲ一般＝バスヴィオラ，バスヴィオル　グロース・バスガイゲ＝ヴィオローネ，バスヴァイオリン

打楽器：

パウケ＝タンブーロ，ティンパニ

コーヒーブレイク

「楽器名称対応リスト」に関する注釈

カータル，ラケット（ファゴットになる楽器）について

現在ファゴットになっている楽器ついては，イタリアでは基本的にはドルツィアーノと呼ばれていたが，一部でファゴットとも呼ばるものが使われ始めていたようである。ドルツィアーノは英語ではカータルで，現在のファゴットの基本的な構造（管を途中で折って 2 管に束ねた構造）になる前の構造（1 本の管に 2 本の内管を開け，折り返し部分を金属管でつないだ形）であった。1 本の木に 9 本の内管を彫って 1 本につないで実効長を長くしたラケット（図 E.17）というダブルリード楽器も Praetorius の時代にはまだあった（図 H.36 右下）が，ファゴットの出現によって 18 世紀に廃れた。

イタリアでの「フラウト」は時代によって入れ替わった。

1620 年ころ，イタリアでフラウトと呼ばれていた楽器はリコーダー（ドイツ語ではブロックフレーテ）であり，現在のフルートになっていく楽器はこの時代のイタリアではフラウト・トラヴェルソ（横笛），ドイツではクヴェールフレーテ（横笛）と呼んで区別していたことがこの表からわかる。現在フルートと呼ばれているものがイタリアで単にフラウトと呼ばれるようになった 18 世紀後半以降は，それまでフラウトと呼んでいたブロックフレーテはフラウト・ディリット（縦笛）と呼ばれるようになった。

トロンボーンはトランペットの大型

トランペットはイタリアではトロンバと呼ばれる。トロンボーンはイタリアではトロンボーネ（大型トロンバ）で，「トロンボーン」はこれの英語読み。当時の英語ではサックバット）と呼ばれた。

折衷楽器：コルネットとサクソフォン

コルネットは発祥当初の「ゲムゼ（カモシカ）の角を使ったクルムホルン」のときから管体に実効管長を変える（選択する）ための指孔をもつ「笛のようなラッパ」であったが，19 世紀に開発されたサクソフォンはリップリード楽器用の金属管にリードを付けたものと考えるのが自然である。

H.2.2　各　　論

(1)　空 気 楽 器

(a)　人が吹くもの

(i) 指孔をもつ楽器

人が吹き，指孔のある楽器を以下に記す。

(i ⓐ)　リコーダー【英】とフルート【英】　　**図 H.36** に，Praetorius が挙げた「指孔をもつ楽器」の中のエアーリードのものを示す。当時のイタリアで単に「フラウト（笛)」というとリコーダーを指した。リコーダー（ドイツ語ではブロックフレーテ）は表に 7 孔と裏に 1 孔をもち，オクターヴ＋7 度の音域をもつとしている。

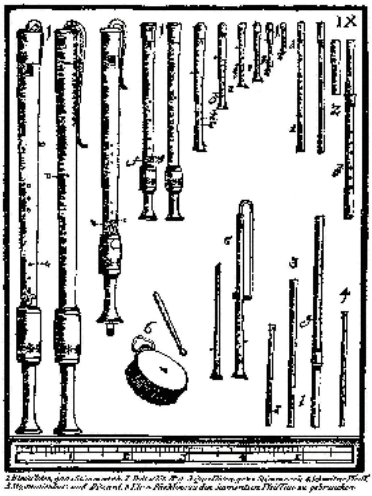


図 H.36　指孔のある楽器 1（本書の分類ではエアーリード）
上左：全音域 9 サイズのブロックフレーテ（リコーダー，2 箇所同一サイズ)，
上右：3 サイズのドルツフレーテ（フラウト・ドルチェ，1 箇所同一サイズ)，
右下 3:全音域 3 サイズのクヴェールフレーテ（横笛）3 本，
右下 4：シュヴァイツァーファイフ（スイス管）1 本，
下中 5〜6：シュタメンティーンファイフ「兵士管」2 本：5=バスと 6=ディスカント（別名：「太鼓管」）

そこへ，吹き方によって音色を制御できる笛として，現在のフルートに発展していく笛が現れ，ドイツではそれが当初シュヴァイツァーファイフ（スイス管)，クヴェールフレーテ（横笛）などと呼ばれていたが，徐々にイタリア語のフラウト・ドルチェ（甘い笛）をドイツ語にしてドルツフレーテと呼ばれるようになっていった。図 H.36 にリコーダーの全サイズと，ドルツフレーテとか

フラウト・トラヴェルソなど種々の呼び方が混在していた時代のフルートが描かれた「指孔のある笛」の最初のページを転載した。

フラウト・ドルチェについてはすでにドイツではそれをドイツ語にしたドルツフレーテという名称が一般化していたにもかかわらず，“Syntagma Musicum”にはなぜかまだシュヴァイツァーファイフ（スイス管）としている図があり，また「ドルツフルーテはクヴェールフレーテ（横笛）とも呼ばれている」とも書いてある。

18 世紀後半にはイタリアで単にフラウトと言えばフラウト・ドルチェを指すように変わっていったので，リコーダーとフルートを明確に区別したい場合はイタリアではフラウト・ディリット（縦笛）／フラウト・トラヴェルソ（横笛）と呼び分けている。ドイツではリコーダーを一貫してブロックフレーテと呼んでいるので，単にフレーテといえば横笛を指すと考えてよい。

(i ⓑ)　シュタメンティーンファイフ【独】（兵士管：別名タボールファイフ「太鼓管」）　図 H.36 の 5「シュタメンティーンファイフ（兵士のパイプ)」もスイス管と同じ種類の小型の笛であるが，クヴェールフレーテとはまったく異なった指使いになっており，専ら軍隊用の太鼓と一緒に演奏された。ドイツやスイスでは 16 世紀に鼓笛隊音楽が盛んであったようである。

シュタメンティーンファイフは表に 2 孔と裏に親指用の 1 孔をもち，ブロックフレーテのように（アンブシュールを気にせずに？）吹くことができ，しばしば小太鼓（タボール）と一緒に演奏されるのでタボールファイフとも呼ばれるとある。下中央の小太鼓とスティックはシュタメンティーンファイフ奏者が笛を吹きながら叩くものなので，シュタメンティーンファイフと抱き合わせという意味で，管楽器ではないがこのページに描いたようである。

図 H.37 は Praetorius が「指孔のある楽器」として描いてある 2 ページ目であるが，これは現在のファゴットに繋がるカータルとラケットの絵である。カータルは**図 H.38** 右下にもゾルドゥン（伊：ソルドーネ）として 4 サイズが描かれている。

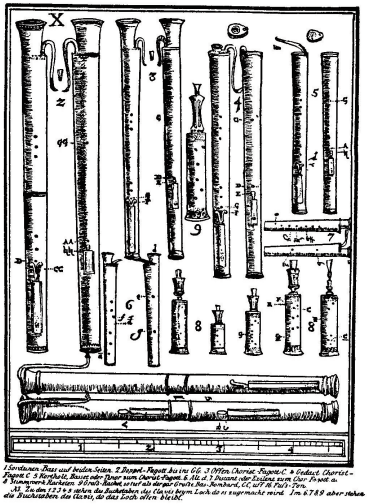


図 H.37 指孔のある楽器 2a
(カータル類とラケット類)
1(下横置き):バス・ゾルドゥン,
2〜7:カータル(ファゴット)
(2: バス, … 7: ディスカント)
3~7 は "Chorist"(合奏用)
8:ラケット ([伊] ドルツィアン)
9:グロス・ラケット
(【伊】ボンバルド)

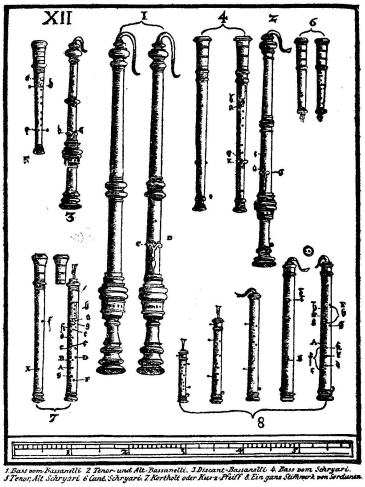


図 H.38 指孔のある楽器 2b
(ショーム類とカータル類)
1〜3:バッサネッロ(ショーム)
1:バス, 2:コントラアルト,
3:ディスカント,
4〜6:シリアリ
(【独】シュライヤーファイフ)
4:バス, 5:テノール・アルト,
6:ディスカント
7:コルトホルツ
別称:クルツファイフ (短管)
8:ゾルドゥン [独](カータル)4 音域

(i ⓒ) カータル【英】(ゾルドゥン【独】) 図 H.37 で, 下中央の 8 を含めてそれから右側 5 本と 8 の上の 9 など, 短い筒にマウスピース(リード)を付けたようなものが「**ラケット**」で, その他は「**カータル**」である。カータルとラケットは, ともに**ファゴット**の原型となるダブルリード楽器で, 図 H.37 の原図のキャプションで "Fagott" とされているものは, 現代のファゴットの直接の原型となったタイプの楽器である。左側の番号 2("Z" に見える) が振られている「ドッペル・ファゴット」は前面に 6 個の指孔と F 用のキーをもち, 裏側に 2 つ(E, D 用)の親指穴と C 用のキーをもつ。

図 H.37 の原図のキャプションで “Chorist（合唱用）”とされているもの（3〜7）は教会音楽で他の楽器とのコンソート（同属楽器の合奏）の際に低音用に用いられるものである。ファゴット系の楽器をまとめて描いてある図 H.37 と図 H.38 の中に，なぜか 1 本（図 H.38 の 7）だけオーボエ系の楽器が混じっている。たぶん，ダブルリードの木管楽器という意味で同一ページに書いたのであろう。

カータルは 1 本の木に 2 本（一部分は 3 本）の平行な管孔をくり抜き，端で 2 つの穴を U 字管でつなぎ，吹き込み口にダブルリードを付けたものである。カータルの呼び方は多様で，イタリアではソルドーネ “sordone”，ドイツではそれに対応してゾルドゥン “Sordun”，フランスではクールトー “courtaut”，英語ではカータル “curtal” と呼ばれる。ファゴットに近くなったものは，ドルチアーノ “dolciano”(伊)，ドゥルツィアン “Dulzian”(独)，ダルシアン “dulcian”(英) あるいはドルシアン “dolcian”(英) などとも呼ばれる。音楽中辞典[23] によると，ドゥルツィアンは 8 つの指孔と 2 つのキーをもつと書かれているが，“Syntagma Musicum” には，ゾルドゥンは 1~2 個の指孔と，場合によると 2 つのキーで合計 14 個の孔をもち，ウィンドキャップをつけたクルムホルンに似た音がすると書いてある。

ファゴットの前身楽器にカータルとラケットがあることは前に説明し，図 H.37 に大きいサイズのゾルドゥン（カータルのドイツでの呼び名）とファゴットと呼ばれるようになった型のカータルを示したが，普通サイズのカータルは示されていなかった。“Syntagma Musicum” では，図 H.38 の右下にそれがソルドーネの 4 サイズセットとして描かれている。

カータルは通常 12 個の指孔をもつが，現代のオーボエに近いものはその他に奏者から遠い 2 つの孔を操作するためにキーを 2 つもっていた。現代のファゴットは英語ではバスーン “basoon” で，これが開発されたのは 19 世紀である。カータルには低音域用として閉管のものがあり，サイズから予想されるよりも低い音を出すことができる。

(i ⓓ ラケット【英独】 カータルは内管が基本的に 2 本であったが，内管の多重度を上げたものが**ラケット**（英：racket，独：Rackette，伊：racchetta，仏：cervelas）で，内管が 9 本空けられて，両端で隣接管が順次つないであるので，内管の実効長は長く，外見よりもはるかに低い音を出せる。ラケットには中心の管の上部にリードとピルエット（唇当て）が付けられる。図 E.16 にカータル（ソルドーネ）と現代のファゴットとの外観の比較，図 E.17 にラケットの少しわかりやすい図を示してある。

ラケットもカータルも 16 世紀前半にはなかった楽器なので，Agricola の「ドイツの器楽」には記述がない。17 世紀には広く使われたが，機構的に改良されたファゴットの出現によって，どちらも 18 世紀に消滅した。ファゴットはフランスでは伝統的な作り方が残ったが，19 世紀にドイツでヘッケル式が生まれ，現在でもフランス式（Buffet Crampon 社）とドイツ式（Heckel 社）が併存する。

(i ⓔ) 指孔をもつその他の楽器（ショーム，クルムホルン，ツィンク）

有孔管楽器の最後に描かれているのは，ショーム，クルムホルン，ツィンク（英・伊：コルネット）で，ついでにザックファイフ（英：バッグパイプ）が出ている。ツィンクは指孔をもつが「指孔のない管楽器」のページにも出てくる。

有孔管楽器の最後のページに挙げられているのは**図 H.39 のショーム**（【独】シャルマイ：Schalmei）類と**図 H.40 のクルムホルン**（Krumhorn) 各サイズ，ならびに指孔はあるがラッパのように吹く折衷的な楽器**ツィンク**（Zink）（英・伊：コルネット）である。空きスペースにザックファイフ（バッグパイプ）がついでに描かれている。図 H.40 のバセット（Basset）はテノールサイズのショームである。ショームとクルムホルンにはアンブシュールを容易にするためのウィンドキャップがあり，図 H.40 にはウィンドキャップをつけた状態と外した状態が描かれている。図 H.40 の右下に書かれている**ツィンク**については，「a’ 折衷楽器」の項でも述べるが。イタリアなどではコルネットと呼ばれ，元は動物の角（コルノ）で作る角笛で，Agricola の本ではカモシカ（ドイツ語でゲムゼ）

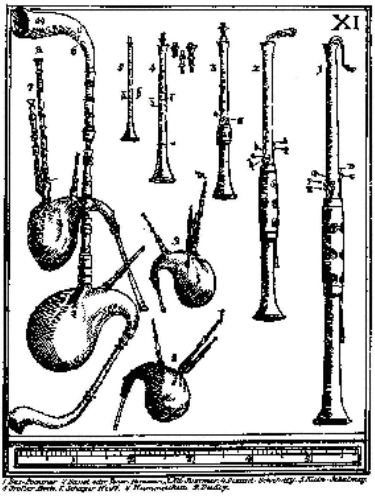


図 H.39　指孔のある楽器 3a
（ショーム類とバッグパイプ）
右から左へ
5 サイズのショーム (独：シャルマイ)
1：バス・シャルマイ＝ポンマー，
2：テノール，3：アルト，
4：ディスカント，5：小シャルマイ，
（原図のキャプションではバス以外の
ショームもポンマーとなっている）
6〜9：バッグパイプ類

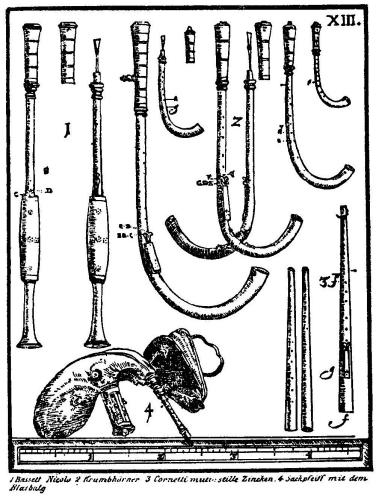


図 H.40　指孔のある楽器 3b
（クルムホルン，ツィンク）
1[左上の直管]：
「ニコロ」（テノール・ショーム）
（Wind Cap 装着／非装着）
2[傘の柄状の管]：
クルムホルン 5 サイズ
（バス, バリトン, テノール:WC 装着
バリトン，アルト：WC 非装着）
3 右下：折衷楽器ツィンク【独】
（伊：コルネット）　直管／静管
4 左下：ふいごをもったバッグパイプ
（独：ザックファイフ）

の角で作った「クルムホルン」と呼ばれていた（図 H.14 左）。図 H.40 の右下に描かれてるのはそれを木製で直管にしたものである。

(iⓔ-1)　ショーム【英】(シャルマイ【独】, バセット【独】, ポンマー【独】)
オーボエの前身楽器として,「オーボエ」に通じるフランス語の “hout bois”(オブワ：高い材木) の元になったドイツ語 “Kordholz”(コードュロイのような材木) ないしは “karg-Pfeiff”(短管) と呼ばれた楽器の他に，英語で**ショーム**と呼ばれるダブルリード楽器があったが，他の楽器と同様にこれにも 4 サイズがあった。ショーム類のページを図 H.38 と図 H.39 に示した。

ショームはイタリアではサイズによってディスカントがピッファーロ “piffaro”，アルトがボンバルド “bombardo”，テノールはボンバルドーネ “bombardone”，バスはバッサネッロ “bassanello”，と区別されている。ドイツでもディスカントとアルトはショームに対応する名称でシャルマイ “Schalmey” と呼ぶが，テノールサイズはバセット “Basset”，バスはポンマー “Pommer” と呼ばれる。

英語ではすべてのサイズをまとめてショーム “shawm” と呼び, それに対応するフランス語はシャルミー “chelemie”，イタリア語はチャラメーラ “ciaramella” で，これが中国語のカナ表記ではチャルメラになる。

ただし，図 H.37 の原図のキャプションはドイツ語で書いており，ドイツでバス・ショームを指す「**ポンマー**」を，全サイズ共通に使える英語のショームの代用として，バス以外のサイズにも流用しており，図 H.38 の原図のショームに関するキャプションはイタリア語で書いていて，バス以外に対してもバス・ショームを指す「**バッサネッロ**」を使っているなど，一貫性を欠く。

バッサネッロはこの楽器がイタリアの作曲家ジョヴァンニ・バッサーノ (Giovanni Bassano, ca 1561 or 63-1617) によって発明されたとしてバッサネッロ（複数形は語尾の “o” が “i” になる）になったとされる。ショームの 3 重奏では，バス，コントラ・アルト，ディスカントの 3 声になるが，その場合にコントラ・アルトにはアルトかテノールのどちらかが使われるとしている。

図 H.38 の右下の 5 本（記号 8 で示される。右の 2 つの図は正面と裏）はソルドーネの 4 声部のセットとしてあるので，本来なら図 H.37 と一緒にしておくべきものであったが，スペースが許さなかったと考えられる。

ドイツのシャルマイはほぼイタリアのボンバルドに対応すると説明されており，英語ではこれらをすべてまとめて**ショーム**と呼ぶが，これらダブルリードの木管楽器は現代では各サイズのオーボエになっている。

図 H.38 の 4〜6「シュライヤーファイフ “Schreyerpfeif”」については，本文に「シュリアリ “Schryari”」のドイツ語であると書いてあるが，音の印象以外の説明がほとんどなく， 7「コルトホルツ “Kordholz”(コーデュロイのよ

うな材木)」についてもほとんど説明がない（図のキャプションに別称として “KargPfeiff”(小管) ないしは “KurzPfeiff”(短管) と書いてある程度）ので，これらとショームとの関係はわからないが，音楽中辞典[23] によると，コルトホルツがフランス語の “haut bois(オブワ：大音量の材木)”になって「オーボエ」になったようである。

【著者注】ショーム（独：シャルマイ）類はオーボエの出現によって衰えたが，カタルーニャ（スペイン東部）には民族舞踊サルダーナのための管楽合奏コブラ（cobla）の楽器ティブレ（【カタルニア】tible） あるいはティプレ（【西】tiple）およびテノーラ（【西】tenora）として今も残っている。

(iⓔ-2)　クルムホルン　　クルムホルンは図 H.11 に図があるが，細長い円筒内管をもつ前面 6 孔裏面 1 孔，場合によってはこれに下記の 2 孔を追加するダブルリード楽器で，先が曲がっていて傘の柄のような形をしている。音域は非常に狭く 9 度。音の強弱は難しいが，大きな音がする。ただし，そのままでは音を出しにくいので，アンブシュールを簡単にするため（あるいは，リードを保護するためか，リードが過度に濡れるのを防ぐために？），ウィンドキャップ（図 H.12）をつけることが多い。ウィンドキャップをつけた状態でも，アタック奏法は可能である。クルムホルンは当時好まれたコンソートのための楽器で，ほぼ 4〜5 度間隔で 7 サイズがあった。バス（F 管）に対して延長バス（C 管），グランドバス（C 管）に対して延長グランドバス（G 管）というように，出せる最低音を下に全音階で 3 音拡張した音（ディアパソン音）をもつ楽器があった。このための孔はディアパソン孔[†]と呼ばれ，通常は開けておく。この孔は遠いためことから，これを閉じるためにキーが 2 つ追加される。クルムホルンはオクターヴ・キーをもたないことから，オーバーブロウイングによる音域変更は想定されていなかったと考えられる。

図 H.40 の左上に描かれている「ニコロ」は，ディアパソン・キーを 1 つだけもったバセット（テノール・サイズのショーム）である。

[†]　倍音系列以外の高さの音を出すための管側孔

【注】　18 世紀初頭にシャリュモー（仏：chalumeau）というシングルリードの楽器（クラリネットの前身楽器）が現れたが，Praetorius の時代にはまだなかったので，“Syntagma Musicum”にはシングルリードの管楽器は挙げられていない。フランス語の「シャリュモー」は草の茎で作る「草笛」を意味し，Mersenne は文献[48] に「とうもろこしの茎で作った 3 孔のシャリュモー」のスケッチを描いている。「シャリュモー」という語はクラリネットの基音音域を指す「シャリュモー音域」として残っている。

(iⓔ-3)　ツィンク【独】(コルネット【伊】，コルネット【英】)　図 H.40

右下に描かれているツィンクには指孔があるので「笛」のように見えるが，動物の角で作ったり，丸くした金属管で孔がなければまったくの「狩猟ホルン」で，吹き方は唇を震わせて吹くリップリードである。それで，プレトリウスはツィンクの掲載場所について悩んだようで，指孔のある管楽器（「笛」の類）を集めた図 H.40 と，唇を震わせて吹く管楽器（ラッパの類。基本的には指孔がない）を集めた**図 H.41** の両方に書いてある。【詳細は「H.1.1 項 (1)(iii) 折衷楽器，および H.2.2 項 (1)(a') ツィンクを参照】

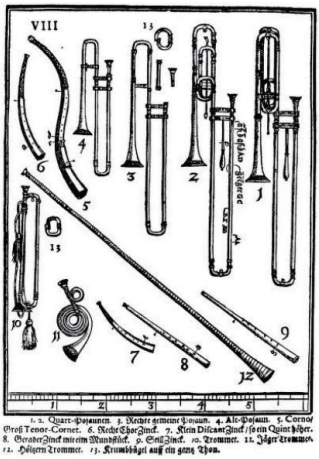


図 H.41　指孔のない管楽器とツィンク
1〜4：ポザウネ【独】
　(英：サックバット＝トロンボーンの前身楽器)
5：大テノール・ツィンク（コルネット），
6：標準ツィンク（コルネット）
7：小ツィンク（標準より 5 度高い）
8：ゲラーダー (まっすぐな)・ツィンク
9：シュティル (静かな)・ツィンク
　(伊：コルネット・ムート)
10：トロンメット（トランペット）
11：ジェガー・トロンメット
　(猟師のトランペット)
12：ドルセルン・トロンメット
　(スウィート・トランペット)
13：差し替え管 (クルック)

(ii) 指孔のない楽器

「指孔のない楽器」という，現在では聞き慣れない分類項目になっているが，

実際にはリップリード楽器（言い換えれば金管楽器）がこれに相当する。ただし，“Syntagma Musicum”が出版された当時はまだリップリードとエアーリードの概念的区別が不明確だったようで，外見上明確な指孔の有無で分類したようである。ツィンク（伊：コルネット）は指孔があるので木管楽器を集めた図 H.40 にも入れてあるが，たぶん吹き方がラッパ型であることを考慮してラッパ類を集めた図 H.41 にも描いてある。

ポザウネ【独】，トロンメット【独】　ポザウネはトロンボーン（【伊】トロンボーネの英語読み）の前身楽器であるサックバット（英）のドイツ語。トロンメットはトランペット（【伊】トロンバ）のドイツ語。トランペットやホルンの原始的な狩猟（【独】Jäger: ジェガー）用のものはジェガー・トロンメット，ジェガー・ホルンと呼ばれた。トランペットは Agricola の時代にすでに金属で作られ，管は曲がったものが一般的であったが，図 H.41 に，軍隊で使われる房付きの金属製のものとともに，木製の直管トランペット（図番号 12(JZ のように見える) のドルセルン・トロンメット） も描かれている。ホルンには郵便馬車に使われたポストホルン（ヨーロッパ諸国の郵便のマークになっている）もある。

図 H.41 の「指孔をもたない管楽器とツィンク」は音響学的には「リップリード楽器」である。17 世紀前半では，まだバルブが開発されておらず，管長は固定か替え管かスライドによった。サックバットはスライドによって管長を変えることができたが，トランペットやホルンは替え管によった。

ツィンクは前身楽器が「ゲムゼ（カモシカ）の角で作ったクルムホルン」（図 H.14 左）で，指孔をもつが，唇の振動による気流の断続を音源とするリップリード楽器で，英語で cornett（コルネット），イタリア語で cornetto（コルネット）である。

【注】現在のコルネットは英語で cornet，イタリア語では cornetta（コルネッタ）。

(iii) 折衷楽器

指孔はあるが，指孔のない楽器のような吹き方をする楽器を以下に記す。

ツィンク【独】，コルネット【英・伊】　ツィンクは Agricola の本では「ゲ

ムゼ（カモシカ）の角で作ったクルムホルン」として，ゲムゼンホルンと並べて示されていたもの【図 H.14 左】の発展形で，木製のものが現れ，Praetorius の本では曲がったもの【図 H.41 の 5, 6, 7】はツィンクと呼び，まっすぐなもの【図 H.41 の 8，9 および図 H.40 の下右寄りの 2 本（表と裏)】はゲラーダー（まっすぐの）ツィンクと呼ばれた。右端は木製で音がやわらかく，シュティラー（静かな）ツィンクと呼ばれる。元は角笛で，指孔はあるがリップリードという折衷的な楽器なので，プレトリウスは記載場所に苦労したようである。

ツィンクはドイツでもコルネットと呼ばれることもあり，その名称からわかるように，最初は動物の角（イタリア語でコルノ。コルネットはその変形）で作られていたので，当初は図 H.14 のように曲がった円錐管であった（G.1.3 項参照)。音を出すにはホルンのようにマウスピース（角の先端を切り落としたところ）で唇をふるわせればよいが，指使いは木管楽器方式になる。

図 H.41 の数本はこの楽器の折衷性を示している。角で作られた昔のコルネットは原始的状態では狩猟ホルンと呼ばれたもので，指孔があって，実効管長の操作に指孔を使うリップリード楽器であった。したがって，プレトリウスは分類を「リップリード」と「それ以外」にしたかったのであろうが，当時はまだリップリードというような表現がなかったので，指孔の有無を分類に使ったものと考えられる。

動物の角で作ったコルネットは音がするどかったので，音をソフトにするために角より長めで直円錐型のまっすぐなもの（ゲラーダー・ツィンク）がまず木材で，ついで金属で作られるようになった。図 H.40 の右下の 3 など，イタリア語でコルネット・ムート（小さい音の)，ドイツ語でシュティラー（静かな)・ツィンクと呼ばれるものがこのタイプである。その低音域のものが 17 世紀末に，フランスで，クネクネと曲げて黒い革で包んだ**セルパン**（「ヘビ」の意。図 G.1）になり，それはドイツでは後にシュランゲンロール（Schlangenrohl,「ヘビ管」の意）という名称になったが，Praetorius の時代にはシュヴァルツァー（黒い）ツィンクと呼ばれていたので，“Syntagma Musicum”にその名称はない。

現在コルネットと呼ばれている楽器は郵便ホルンからビューグル，フリュー

ゲルホルンを経て，後に管長の操作をバルブで行うようになり，現在ではトランペットに似た形になっているが，バルブで実効管長を変えるようになったのはコルネットのほうが先で，トランペットはそれを真似てバルブ方式を取り入れたのである。

（b） ふいごを使う楽器

ふいごを使う楽器として挙げられているものを以下に示す。

(i)　オルガン類　ふいごによって空気を送る代表的な楽器はオルガンであるが，それを小型化したものがポジティーフ，ポルタティーフ，レーガルであることは Agricola の時代から変わっていない。いずれも音高の指定などおもな演奏操作は鍵盤上で行う。　鍵盤をもつ楽器は「インストゥルメント型」としてまとめられているが，この用語は “Syntagma Musicum”でのものであって，一般に認められているものではない。これには，オルガン類以外に「クラヴィコード」（撞弦），「クラヴィシンバル（チェンバロ）」，「スピネット」（撥弦），などが挙げられており，発音体が気体なのか弦なのかとか励振が送風かはじくか擦るか打つかなどには頓着しないようで，現在では「鍵盤楽器」と呼ばれている楽器群と考えればよいが，音響学的な分類としては合理性を欠く分類項目である。この分類名称については “De Organographia”[5] の英訳者 David Crookes も「よくない」としている。

“Sciagraphia”に，ふいごと鍵盤の位置関係がよくわかる絵とオルガンの裏側のふいご踏みの絵が出ていたので，それらを**図 H.42**，**図 H.43** に示す。図 H.17 に示したように，ふいごの操作はポジティーフは奏者とは別の補助者が行い，ポルタティーフは奏者自身が行う。オルガンの送風はモーターが使えるようになってからは，ほぼ電動になっている。

ポジティーフ，ポルタティーフ，レーガル　オルガン類（ポジティーフ，レーガルなどを含む）は「クラヴィオルガン（鍵盤付きオルガン）」としてまとめられているが，これらはふいごと多数のパイプをもつ。オルガン（ドイツ語ではオルゲル）の当時のフルーパイプとリードパイプが描かれていたので**図 H.44** に示す。

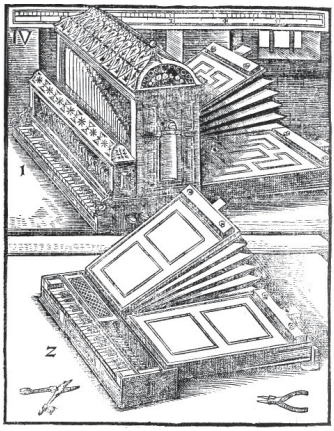


図 H.42 小型オルガン（上：ポジティーフ, 下：レーガル）



図 H.43 大規模なオルガンの人力ふいご操作

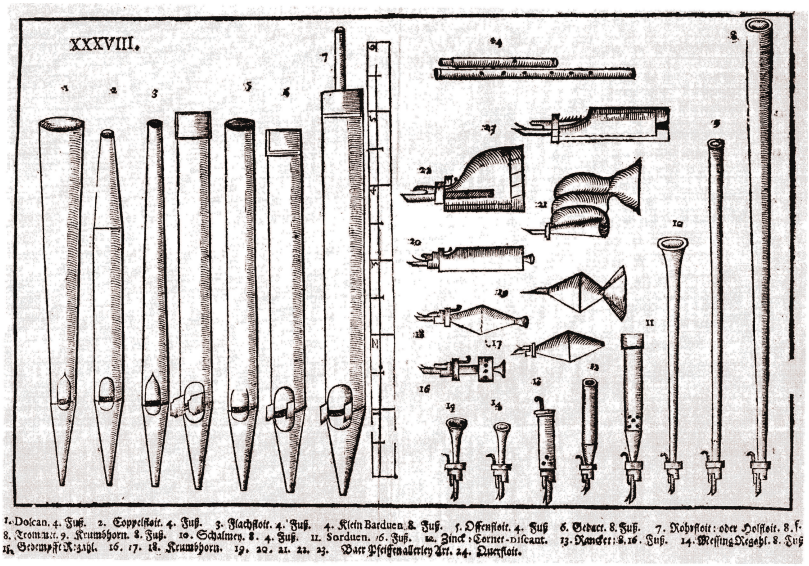


図 H.44 オルガンの 2 種のパイプ。
左：フルーパイプ, **右：**リードパイプ,
パイプ 出力の組合せ (混合割合を含んだ設定) は音色の類似性に基づいた楽器名などが付けられたストップ（栓）による。

(ii) ザックファイフ　オルガン類以外でふいごによって空気を送る楽器としては，図 H.39 の左や図 H.40 の下左に描かれているバグパイプ類がある。Praetorus の “Syntagma Musicum” ではドイツ語でザックファイフとなっている。袋に空気を入れるのに，Agricola の本では描かれていなかったふいごを使ったものが追加されている。ふいごを使っても，音を出す際に笛に空気を送るには袋を脇に抱えて腕で袋を押さえるようになっている。

図 H.39 の 6〜9 として息を風袋に吹き込むタイプのものが 4 種描かれている。いずれもチャンター管は 1 本で，6 は非常に長いドローン管をもつ。図 H.40 下左 4 はふいご型のものである。図 H.54 の上下逆向きのシターンの前に描かれているバグパイプは指孔 3 個のチャンター管を 2 本もっている。

（2） 空気楽器以外（弦楽器と打楽器）

空気楽器以外の楽器として挙げられている弦楽器と打楽器について記す。

（a） 弦 楽 器　気鳴楽器以外の代表的な楽器は弦楽器である。本書では，弦鳴楽器を撥弦か擦弦か打弦かによって分けているが，プレトリウスは弦楽器をまず弦材料がガットか金属かによって分け，その後，ガット弦の楽器を撥弦か擦弦かによって分けている。これは，当時ネックをもった金属弦の擦弦楽器がまだほとんど出現していなかったことと，金属弦を使っていたクラヴィコードやチェンバロは鍵盤機構をもっており，鍵盤をもたない弦楽器ではハープやダルシマー（ドイツ語ではハックブレット）が金属弦であったが，ネックをもつ弦楽器は撥弦も擦弦も弦はほぼすべてガット弦であったので，ガット弦の樂器といえばネックをもつ弦楽器が思い浮かび，これらには金属弦は使わないということが意識の根底にあったからであろうと考えられる。ただ，実際には “Syntagma Musicum” の最終版が出版されたころには金属弦を使った撥弦楽器があり，その絵も “Sciagraphia” に描かれているので，考えていた分類と現実が整合していないためか，弦楽器の記述順序は統一性が悪い。もしかすると，擦弦楽器は撥弦楽器としても使うことができるということで，これらを別範疇に分けるのは最終の分類レベルとするべきであると考えたのかもしれない。

挙げられている楽器から推察すると，プレトリウスの時代の金属弦の楽器と

言えば，クラヴィコードやチェンバロとアイリッシュハープやハンマーダルシマーくらいで，ハーディーガーディーやニッケルハルパは金属弦を使うが特殊な楽器として弦楽器の大筋の分類から外していた可能性がある。(ハーディーガーディーとニッケルハルパが描かれている図 H.61 は雑多な楽器の寄せ集めのページである。) ネックをもち，金属弦を張る撥弦楽器もあったので弦楽器の分類は歯切れがよくない。弦鳴楽器の下位分類に関しては楽器の構造を分類の観点にしたかったと思われ，まず鍵盤機構をもったものが挙げられ，それにリュート属が続き，最後にハープや指奏のダルシマーが挙げられている。

ヴィオラ・ダモーレやバリトンはともに金属弦をドローン弦に使うが，“Syntagma Musicum”の執筆時点ではこれらはまだ出現しておらず，リュート属 (ネックをもった弦楽器) の弦はごく一部を除いてガット弦ということになっていた。それで，(リュート属に弦がガットのものと金属のものがあるという矛盾があるが) ハーディーガーディーやニッケルハルパなど，分類しにくいものがあったということと，たぶん鍵盤機構をもつものをリュート属から分けたかったので，少数の例外には目をつむってガット弦か金属弦かを上位分類の基準としたと思われる。

(a.1)　ガット弦のもの

(a.1.1)　撥弦のもの

・リュート【英:lute】(ラウテ【独:laute】)

撥弦 (弾奏) 楽器のページを**図 H.45**，**図 H.46** に示す。ただし，左図の中で 8 だけ擦弦楽器である。これについては「(a.1.2) 擦弦のもの」で説明する。

リュートはウードにガットのフレットを巻いたような楽器で，裏の丸い梨型胴で 6 コース 11 弦，4 度調弦である。図 H.45 の上右 3 (7 に見える) がリュート，左の 1 と右の 2(”z”に見える) はドローン弦を多数もつ「低音用のリュート」とも言えるテオルボである。ただしこれはリュートと違って，ヘッドはネックを真っすぐ伸ばした形になる。17 世紀はまだギターが出現しておらず，後にスペインから来たビウエラ・デ・マノと合流してバロックギターと呼ばれるようになる楽器の直前の形が図 H.45 中央下 4 の「クヴィンター」(原図のキャプショ

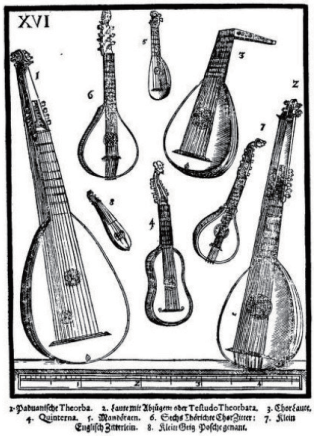


図 H.45　撥弦楽器 I
1（下左）と 2（下右）：テオルボ
3（上右）：ラウテ（リュート）
4（下中央）：クヴィンター
5（上中央): 小型マンドーラ (マンドリン)
6（上左）：イベリアの合奏用ツィター
7（中央やや下右）：イギリス小型ツィター
8（中央やや下左）：ポシェット
（携帯型レベック）

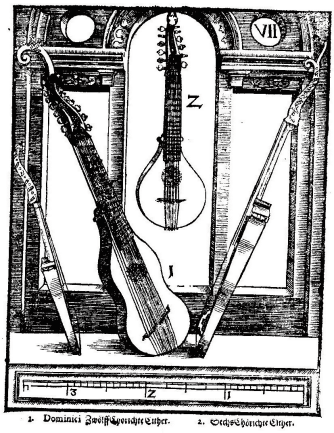


図 H.46　撥弦楽器 II
1(下中央と右): ドミニコ=12 弦シター
（図での名称は複数形になっている）
2（上中央と下左）：12 弦シター
（ペグボックスとヘッドを除いて
ほぼ現在のポルトガルギター）
【注】シター Cither[独] ＝ツィター Zither[独] ＝シターン cithern[英] 語源：キタラー κιθάρα[古ギ]

ンの綴りはスペイン語的にキンテルナとなっている）である。クヴィンターは Agricola の図（図 H.19 右）では胴がリュートの胴と同じような形であったので，大きく変わったと言える。たぶん元の形のものも残って，それがシターン（図 H.46 の 2）やイギリス・ツィター（図 H.45 の 7）などを経てポルトガルギ



図 H.47　現在の「ポルトガルギター」右はそのヘッドを裏から見たもの（図 E.27 に表側の写真）

ター（**図 H.47**）になったと考えられる。図 H.46 の 2 の楽器は図 H.48 左に，また図 H.45 の 1, 2 の楽器は図 H.48 右に描かれている楽器である。図 H.45 は擦弦を混えて胴裏の丸い撥弦楽器があるが，図 H.45 の 4, 6, 7 および図 H.46 の楽器は胴裏が平板である。

・シターン【英：cittern，cithern】(独：Zitter[ツィター]，Englische Zitterlein[エングリッシェ・ツィターライン])

ドイツにはリラ（弦を張った面が共鳴箱の板と並行になっている弦楽器）から生まれたシターン（伊：キテルナ chiterna)（ドイツ名はツィターとなっているが，ドイツ・オーストリアの現在のツィターとは異なる）があったが，イギリスではシターンを少し変形したようなイングリッシュギター（これは後付けの英称）が流行した。ギターという表現は当時はまだ出現しておらず，プレトリウスのドイツ語での名称は，小型のギターを複弦にしてヘッドに彫刻をつけたような楽器（図 H.45 の 4）については，スペイン語のキンテルナ（たぶん，ビウエラの前身楽器の小型のもの）の綴りをそのまま使ってクヴィンターナと呼んでいた。水滴型で平胴の楽器は後にポルトガルへ伝わって，糸巻きが差し込みネジを扇状に広げた孔雀型になりポルトガルギター（図 H.47)，現地では単に「ギターラ（ラはハに近い音)」）となった。ポルトガルやブラジルでは普通のギターを「ヴィオーラ」と呼んでいるが，誤解されやすいためか「ギターラ・エスパニョーラ」と表現していることが多い。

現在の（スパニッシュ）ギターは，ビウエラ・デ・マノあるいはそれがイタリアへ来てバロックギターになったものが，当時の標準的な音域よりも 4~5 度高い調弦の楽器として，後にスペインでギターになっていったとされる。ツィター（英：シターン）あるいは「イギリスの小型ツィター」と呼ばれた水滴型平胴の撥弦楽器は，今ではポルトガルギターとなって，ファドの旋律楽器として使われている。そこではスパニッシュギターはコードを弾く伴奏楽器として使われる。

・テオルボ【英：theorbo】（独：テオルバ）

通奏低音用の楽器として使われたテオルボ（リュートの低音域用）が図 H.45

の左右に描かれているが，もっとネックの長いテオルボが図 H.54（Syntagma Musicum “Sciagraphia”の図 V）にある。通常，奏弦にはガット弦を張るが，ドローン弦には真鍮弦やスティール弦を使うこともあったようで，金属弦ではボディやネックの強度がもたないのでピッチを 1 オクターヴ下げた。テオルボはリュートの低音域楽器と考えればいいが，典型的には奏弦 6 本とバス弦 8 本で，奏弦は変則的な 4 度調弦（手前から A2-D3-G3-B3-E3-A3）が標準のようである。奏弦については指板にフレットがついているが，拡張バス弦は開放弦で用いられるので，棹だけで指版がない。拡張バス弦のペグボックスは楽器先端のヘッドについているが，奏弦のペグボックスはネックの中ごろについている。テオルボの大きいものでは，テールからヘッドの先までで 2 m 近いものもある。

図 H.45 の中で上部中央の 8 については，原図のキャプションに小さいガイゲ（擦弦楽器）で「ポシェット」と呼ばれるとの説明があるが，ポシェットは，携帯型の擦弦楽器で，通常はヴァイオリンの胴を極端に細くしてポケットに突っ込めるようにした異形の小型楽器（図 H.51）である。図 H.45 の 8 は胴の形と 4 弦であることから判断すると，クレタ・リラあるいはレベックの高音型「レベッキーノ」を 4 弦にしたものである。レベックはディスカントからテノールまでは 3 弦であるが，バスは 4 弦であった（Boyden[45] p.11）ので，「4 弦のレ

コーヒーブレイク

ギターの発祥

8 世紀から 15 世紀までの長期にわたって，イベリア半島は大部分がアラブに占領されていたので，アラブ起源のリュートはスペイン人には嫌われ，スペインではアラブの臭いがしない古代ギリシャ時代以来の伝統的な楽器であったリラ系の楽器が好まれ，12〜13 世紀にビザンティン・リラが伝わってきてビウエラが生まれた。

リラに指奏リラと弓奏リラがあったという事情もあり，ビウエラにも撥弦型と擦弦型があった（図 H.21）。その撥弦型が 17〜18 世紀にバロックギター（図 F.1）と総称される複弦 6 コースのものになり，それが 19 世紀にスペインで現在ギターと呼ばれている形になった。

ベック」は特に変な楽器ではなく，十分あり得る楽器であった。音楽辞典によると，ポシェット（【仏】pochette）はイタリア語ではポケット (pochetto), 英語ではキット (kit), ドイツ語では「ダンス教師の擦弦楽器」(Tanzmeistergeige) と呼ばれ，レベック型のものとヴァイオリン型のものがあったとしている。

・クヴィンターナ（「【西】quinterna[キンテルナ]」のドイツ語読み？）

図 H.45 の中央の少し下にギターに似た（表裏が平面のひょうたん型の胴をもつ）楽器（番号 4）が描かれている。本文での説明によると，これは 6 コース 11 弦でヘッドには人頭が彫られているようである。Agricola の本にクヴィンターという名前で描かれていたリュートの小型とは別の楽器に見える。胴の形と弦の数から，これはスペインで 16 世紀に大流行したビウエラ・デ・マノの類，あるいはその後継楽器と推察される。ビウエラ・デ・マノはスペインで後にギターになるが，その小型のものが現在ではレキント（requinto）と呼ばれており，Praetorius のクヴィンターナはその前身楽器であろうと思われる。

・マンドーラ【英:mandola】（独：バンデュリッヒェン【Bandürichen】, **マンドエール**【Mandoër】）

リュートの曲がったヘッドを真っすぐにして複弦 4 コースにしたようなものとしてできた。図では中世ドイツ語でマンドルゲンと書かれている。図 H.45 の上中央 5 が小型のマンドーラで，後にこれの小型がマンドリーノ（ドイツ語でマンドリーネ，英語でマンドリン）になる。マンドリンの現在の調弦は下から G3,D4,A4,E5 で，ヴァイオリンと同じであるが，プレトリウスの時代はそれに対応する小型のものでは G3,D4,G4,D5 であったと書いてある。5 弦のものもあったようである。当初は鳥の羽軸のプレクトラムを使ったり，指 1 本で弾いたりしたが，熟達した奏者は 3〜4 本の指を使うようになった，との説明がある。ドイツ語ではさまざまな表記があり，マンドエールでは “e” にウムラウトがついているが，“oe” が “ö” の代用表記と解されるのを避けるための特殊な記法のようである。

図 H.45 でツィター (zither) と書かれている楽器は，別のページ（ 図 H.46）では 12 弦シター (cither) となっている。印欧語では “z” と “c” は等価に扱われることが多いという状況がここでも現れている。6 の「イベリアの合奏用ツィター（シターン)」はフェルメール（Johannes Vermeer, 1632-75）の有名な絵「恋文（Liebesbrief)」(**図 H.48** 左）に描かれている楽器で，7 はその型である。テオルボはジョン・マイケル・ライト（John Michael Wright, 1617-94）の「テオルボを弾く女性」(図 H.48 右）で知られる。

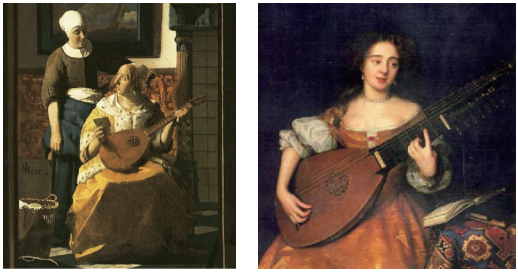


図 H.48　絵の中の楽器（左：Johannes Vermeer “恋文”（ 1669-1670，部分）　【もっているのはシターン】，右：John Michael Wright “テオルボを弾く女性”(1675)

(a.1.2)　擦弦のもの

・ヴィオラ・ダ・ガンバとヴィオラ・ダ・ブラッチオ

1400 年代後半から 1700 年代後半にかけては擦弦楽器の大転換期であった。既存の擦弦楽器として，旧時代のフィドルやリラ・ダ・ブラッチオ（ともに弦数不定，ドローン弦付き，調弦は多様）あるいはリラ・ダ・ガンバ（リラ・ダ・ブラッチオの大型，弦数が多い）が種々のヴァリエーションに多様化して使われていた状況で，1400 年代後半にスペインから大人気のビウエラ・デ・マノ（指奏，複弦 6 コース，フレット付き，ドローン弦なし）の擦弦型としてもたらされたビウエラ・デ・アルコ（弓奏，6 弦，4 度調弦，フレット付き，ドローン弦なし）が交雑してヴィオラ・ダ・ガンバ（弓奏，6 弦，4 度調弦，フレット付き，ドローン弦なし）が 15 世紀後半にできて，貴族階級が家族で弾く楽器として好まれていた。

その状況下で，リラ・ダ・ブラッチオを基にして，レベックの特徴（3 弦，5 度調弦，フレットなし）を入れた 3 弦のヴィオラ・ダ・ブラッチオ †1（「腕の擦弦楽器」の意，Gaudenzio Ferrari による絵，1530 年）に描かれている 3 弦のものが，たぶんアンドレア　アマーティ（Andrea Amati，ca1505-ca1580）によって 1530 年より前に作られたのだろうとされている (Boyden[45) p.19]) †2 。

弦の数がすぐに（Boyden[45)p.35] によると 1555 年までに）4 本に拡張され，その後，ヴィオラ・ダ・ガンバよりも音量が大きく高音がきれいということで，徐々に使用が広がって，そのディスカント（ソプラノ／メゾソプラノ）・サイズがイタリア語でヴィオリーノ，英語でヴァイオリンと呼ばれるようになり，アマーティは有名になって，フランスのシャルル 9 世から 12 本の大型（テノール？）と 12 本の小型（ディスカント）のヴァイオリン，ならびに 6 本のアルト（現在のヴィオラのサイズ），8 本のバス（チェロ），合計 38 本の注文を受けたとされる（Boyden[45)p.35]）†3。 このうちの 2 本（1564 年のディスカントと 1574 年のテノール）が 1990 年段階では Ashmolean 博物館に保存されていた (Boyden[45)p.35])。

ディスカント・サイズのヴィオラ・ダ・ブラッチオは巷間でダンスや歌唱の伴奏に広く使われるようになったが，当初，ヴィオラ・ダ・ブラッチオは貴族階級からは「街の楽士が『生活のために弾く楽器』」と見下され，貴族が家族で優雅に弾く楽器とはならず，この楽器のための曲が楽譜の形で残るようになるには約半世紀かかった。

イギリス王室には 1555 年までに舞踏会用のヴァイオリン・セットが揃えられていたとされる（Boyden[45)p.57]）が，Boyden の著書[45)] に書かれている発祥

†1 Jambe de Fer は，“Epitome Musical”で，“violino”は 1550 年ころまでは 3 弦のものを指したとしている[125)]。

†2 Ganassi は，“Regola Rubertina”の第二部の最後で，ヴィオラ・ダ・ガンバのフレットを取り外して 4 弦あるいは 3 弦にして 5 度で調弦し，5 度調弦の運指を試すことについて書いている（Boyden[45) p.28]）。7 弦のヴィオラ・バスタルダならナットやコマはそのままで第 2,4,6 弦を外せば 4 弦に，第 2,3,5,6 弦を外せば 3 弦にできる。この方法でヴァイオリンの登場以前から 4 弦 5 度調弦を試すことができた。ただし，ヴィオラ・ダ・ガンバは構造的な強度が弱いので，弦の張りは全体に緩くしたはずである。

†3 原資料は，Jean Benjamin de La Borde, “Essai sur la musique”, Paris, 1780, p.356.

後の最初の公式な記録は 1581 年のフランス王族の結婚披露パーティーでの演奏であるとされる（Boyden[45)p.55]）†。そこでは，上述のアンドレア・アマーティが作った楽器が使われた。

そのころまで貴族が弾く楽器として人気のあった低音重視のヴィオラ・ダ・ガンバに代わって高音が華やかなヴィオラ・ダ・ブラッチオがダンス用の音楽の演奏楽器として徐々に人気を上げ，ヴィオラ・ダ・ガンバではバス楽器が標準サイズであったのが，ヴィオラ・ダ・ブラッチオではアルト楽器が標準になり，人気はさらに高音域のディスカント・サイズに移って行き，ドイツ語でも擦弦楽器を指す Geige に代わって Violine という表現が定着した。Leopold Mozart（Amadeus の父）の時代には，その教則本のタイトルが “Violinschule” に，つまりアルト音域楽器用ではなくて，そのディスカント音域の楽器であるヴァイオリン用のものであったことからも，標準音域がどんどん高音側へ上がっていったことがわかる。17 世紀の間にヴィオラ・ダ・ガンバとヴィオラ・ダ・ブラッチオの使用頻度は入れ替わったようで，J.S.Bach には，ほとんど同じ曲想でヴァイオリン用のもの（ブランデンブルク協奏曲第 3 番 BWV1048）とヴィオラ・ダ・ガンバ用のもの（ヴィオラ・ダ・ガンバ・ソナタ第 2 番 BWV1029）と思われるものがある。BWV 番号はガンバ・ソナタのほうが若いが，作られたのはブランデンブルク協奏曲のほうが先である。

【⬇: /音のファイル/付録関係/4. 諸資料/(b)Viola da Gamba 系 b-1 Viola da Gamba」】

コーヒーブレイク

ヴィオラ・ダ・ガンバはギターと兄弟

ヴィオラ・ダ・ガンバはビウエラの擦弦型（ビウエラ・デ・アルコ）から生まれたので，同じビウエラの撥弦型（ビウエラ・デ・マノ）から生まれたギターとは奏法は指奏／弓奏で大きく異なるが，どちらもビウエラから生まれたので 6 弦 4 度調弦でフレット付きという共通点をもった兄弟楽器である。

† 原資料は, Daniel Heartz,“Sources and Forms of the French Instrumental Dance in the Sixteenth Century, Ph.D. dissertation , Harvard Univ., 1957, Ch.III

ヴィオラ・ダ・ガンバ属とヴィオラ・ダ・ブラッチオ（ヴァイオリン）属の楽器の名称について，共存期間があったので，ある時期までは「ダ・ガンバ（脚の）」／「ダ・ブラッチオ（腕の）」と区別が必要であったが，ヴィオラ・ダ・ガンバが衰退してヴァイオリンが広まるにつれて，その必要がなくなり，ヴィオラ・ダ・ブラッチオの標準サイズが「ダ・ブラッチオ」抜きで，単に「ヴィオラ」と呼べばその標準サイズのものを指すようになった。それが現在の「ヴィオラ」である。それで，その一回り小さいサイズのものに対して縮小辞をつけて「ヴィオリーノ」（英語でヴァイオリン）と呼ぶようになったのがヴァイオリンという名称の発祥である。ただし，ディスカントサイズに対する「ヴィオリーノ」という呼び方はずっと早かったようで，Boyden によると，イタリア戦争†を終結させるために 1538 年 6 月 18 日にニースで開かれた講和会議へ来た皇帝シャルル V 世とフランソワ I 世への祝辞の中でローマ教皇パウロ III 世がミラノ近郊から来たヴィオラ・ダ・ブラッチオ奏者のことを “violini Milanesi” と表現したことが教皇の公式記録にあり，これが最初の記録とされる（Boyden[45)p.26]）。1538 年は Agricola の本の初版と最終版の間である。

“Syntagma Musicum” はちょうど擦弦楽器の入れ替わりの時代に出版されたので，その中では当時のドイツでの 2 通りの呼び方（“Geige” と “Viola da Braccio”）が使われている。ヴィオラ・ダ・ガンバはイギリスではヴァイオル（あるいはヴィオル）と呼ばれていたので，その影響が “Syntagma Musicum” にも表れ，“Viol” という表現も使われている。擦弦楽器をまとめた**図 H.49** と**図 H.50** にその混用ぶりが表れている。

図 H.49 については，なぜここまで複数の言語を混ぜて楽器名を書いたのか，なぜリラ・ダ・ブラッチオをヴィオラ・ダ・ガンバと同じページに書いたのかが疑問である。図 H.49 はヴィオラ・ダ・ガンバのページ，図 H.50 はヴィオラ・ダ・ブラッチオのページのように見えるが，ヴァイオリンの前身楽器であるリラ・ダ・ブラッチオが図 H.49 に入っていることから，プレトリウスとしては，

† ハプスブルク家（神聖ローマ帝国）とヴァロワ家（フランス）が 15 世紀末から 16 世紀中頃にかけてイタリアを巡り数次にわたって争った戦争。期間については諸説ある。

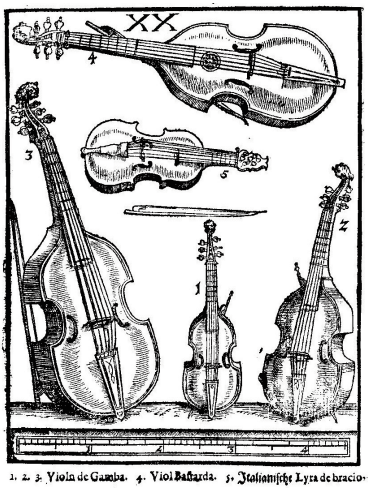


図 H.49 ガット弦擦弦楽器 I

1〜4：ヴィオルン・ド・ガンバ
（英仏伊語の混用×独語の複数語尾）
伊: ヴィオラ・ダ・ガンバ，英: ヴィオル
1=ディスカント, 2=テノール, 3=バス
4: ヴィオル・バスタルダ (英伊混用)
(伊: ヴィオラ・バスタルダ. 通常 7 弦)
5：リラ・ダ・ブラッチオ
（ヴァイオリンの前身楽器）

【注】
ヴィオラ・ダ・ガンバはヴァイオリンよりも半世紀ほど先に生まれたが，発祥までの過程が別なので，ヴァイオリンの前身楽器ではない。

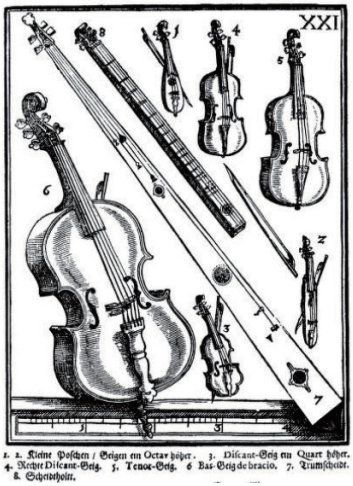


図 H.50 ガット弦擦弦楽器 II

（シャイトホルツだけは撥弦）
1〜2：小ポシェット
1：レベッキーノ
2：携帯用のヴァイオリン
3：ヴィオリーノ・ピッコロ
4：ディスカント・ヴァイオリン
（標準サイズのヴァイオリン）
5：テノール・ヴァイオリン
（現在のヴィオラとチェロの間）
6：バス・ヴァイオリン
（現在のチェロ。通常は 4 弦）
7：トルームシャイト [独]
（伊:トロンバ·マリーナ=海の Tp）
（奏法はハーモニックスのみ）
8:シャイトホルツ [独]:「薪の木」の意

在来楽器のページと新楽器のページに分けたつもりだったのかもしれない。ただし，それなら図 H.50 に描かれている中世以来の楽器トルームシャイト（【伊】トロンバ・マリーナ。「海のトランペット」の意。後述）やシャイトホルツ †も図 H.49 に入れなければならない。

† 現在のツィターの原型で，その奏弦部分だけを取り出したような撥弦楽器。金属のフレットが付いており左手で押弦する，数本の弦を右手にもったプレクトラムではじく。共鳴箱の表板上にフレットがついており，表板の右方に小さい響孔が開けられている。

図 H.50 の「ポシェット」はレベッキーノ

図 H.50 の上中央（図番号 1）が原図のキャプションで「小さいポシェット（1 オクターヴ高いヴァイオリン）」と説明してある楽器は，胴の形と 3 弦であることから，レベックの高音型「レベッキーノ」である †。これは，Agricola の図 H.20 左最上段のディスカントよりもさらに高い音域のものである。Praetorius の絵は Agricola よりも約 1 世紀後のもので，ネックに指板が貼り付けられているように見え，ヘッドには彫刻がしてあるように見えるが，基本的には同じ楽器属のサイズ違いのものとみなせる。

通常，「ポシェット」【仏】と呼ばれる楽器は，ポケットに入れられるように胴を極端に細くしたヴァイオリンで，ドイツではタッシェンガイゲ（Taschengeige：ポケット・ヴァイオリン）あるいはタンツマイスター・ガイゲ（Tanzmeistergeige：ダンス教師のヴァイオリン）なとと呼ばれた。英語ではキット (kit)，イタリアではカニーノ（canino：犬の），ソルディーノ（sordino：響かない），あるいは外来語としてポシェット（pochette）などと呼ばれる。ポシェットにはこのような細長い胴のものの他に，胴を小さくしてネックを延ばしたタイプもあった。18~19 世紀のものを図 E.55 に示した。ポシェットとして現在市販されている胴長のものと胴を小さくした 18 世紀のものを**図 H.51** に示す。



図 H.51　ポシェット（英：キット）の 2 つの型
右は Domenico Busan 作，1750 年ころのもの

† D.Boyden は「レベッキーノは高域ヴァイオリンを指すことがある」と書いている（「1761 年以前のヴァイオリン」[45)p.29]）が，それは多分 Praetorius のこの記述に基づくものと思われる間違いで，レベッキーノはレベックの小型を指すはず。

図 H.50 の図番号 1（小型レベック，3 弦）は，4 弦の図 H.45 の中央左 8（原図のキャプションでは「小ポケットヴァイオリンと呼ばれる」）とは異なる楽器を書いたつもりのようである。

高音域の擦弦楽器（ヴィオリーノ・ピッコロ）

ヴァイオリンはそれ自体が高音域楽器であるが，それよりも高音域にしたヴァイオリン属の楽器がある。ヴィオリーノ・ピッコロ（小ヴァイオリン）と呼ばれる。ヴァイオリン属の中でこれだけを取り出して書くのはバランス上よくないが，“Syntagma Musicum”に絵が出ていたのと，最近これと類似のもので，通常のヴァイオリンよりも音域が 1 オクターヴ高い楽器をピッコロ・ヴァイオリンと呼んで積極的に使っている奏者がおり，筆者はその演奏会の前座講演をしたことがあるので，特別に触れておく。

図 H.50 は，1，2，7，8 以外（つまり 3, 4, 5, 6）はヴァイオリン属の楽器で



図 H.52　左：通常サイズのヴァイオリンと Carleen Hutchins 作のピッコロ・ヴァイオリンをもつ Grigory Sedukh 氏，右：通常サイズのヴァイオリンとピッコロ・ヴァイオリンの比較



図 H.53　ピッコロ・ヴァイオリンの日本での演奏会のビラ

ある。上記のように，ヴァイオリン属の標準サイズはヴィオラで，ヴァイオリンはそれのディスカント音域のものであり，標準 4 サイズの最小型である。ただし，それよりも 4 度上のヴィオリーノ・ピッコロ（図 H.50 下中央　番号 3）があった。現在，Grigory Sedukh 氏が演奏で試用しているピッコロ・ヴァイオリン（**図 H.52**，**図 H.53**）はそれよりもさらに 5 度高い（したがって通常のヴァイオリンよりも 1 オクターヴ高い）ものである。高音域の押弦位置は通常のヴァイオリンよりも狭く非常に押弦が難しいが，Sedukh 氏らと食事をしたとき，彼の手が筆者の手よりも小さく，指が細いのを見て納得したのを覚えている。

その他のサイズのヴァイオリン

図 H.50 の 6 はプレトリウスの説明では「バス・ヴァイオリン」（ヴィオラ・ダ・ブラッチオのバスサイズ）となっているが，絵を見ると 5 弦であるのでチェロの高音側に弦を 1 本追加した楽器と思われる。図 H.50 ではヴァイオリン属の標準 4 サイズのうち，ディスカント，テノール，バスの 3 サイズが描いてあることになっており，同図の 5 がテノールサイズとしてあるが，ヴァイオリン属（ヴィオラ・ダ・ブラッチオ属）としては当初アルト・サイズのものが標準で，それがダ・ブラッチオを省略してヴィオラと呼ばれた。それの小型が早い時点から後ろに縮小辞を付けてヴィオリーノと呼ばれ，その英語がヴァイオリンになったが，後にはそのサイズがヴァイオリン属の代表サイズとなった。

図 H.50 の 5 はテノールと書かれているので，アルトとバスとの間のサイズのものである。現在，チェロとヴィオラの最低音弦の音高差は 1 オクターヴであるが，テノール・サイズのものは，ヴィオラの 4 度下，つまり最低音がヴァイオリンの 1 オクターヴ下のものであったはずで，それはベルトで首にかけて弾いた「ヴィオラ・ダ・スパラ」（肩のヴィオラ）と呼ばれていたもの（図 G.22）であろうと考えられている。

図 G.22 でヴィオラ・ダ・スパラを弾いているのは製作者 Sigiswald Kuijken 氏で，筆者と同志社女子大の音楽学科での非常講師勤仲間であった坂本利文氏が師事した Wieland Kuijken 氏の弟である。J. S. バッハが作るように提案し

たとされるヴィオラ・ポンポーサ（華やかなヴィオラ）はヴィオラ・ダ・スパラの高音側に弦を 1 本追加したものであろうという説もある。

トルームシャイト

図 H.50 の 7 は原図のキャプションではドイツ語でトルームシャイト（直訳：「目印付きの」あるいは「分割された」新）となっているが，イタリア語では**トロンバ・マリーナ**（「海のトランペット」の意）と呼ばれる楽器で断面が三角あるいは矩形で開口端が少し広がった長い共鳴箱の表板にガット弦を数本張り，ハーモニックス奏法だけで演奏する特殊な擦弦楽器である。指を触れる位置として，最も長い弦の中央，1/3，1/4，1/5 などの位置がわかるように目印がつけてある。リップリード楽器と同様に,1 本の弦ではその自然倍音列の音高だけしか出すことができないので，出せない音高が生じないように，開放弦の音高が異なる弦を数本張ってある。イタリア語の風変わりな名称はその音の印象から付けられたものである。Agricola の本では単弦であった。

同図 8 は映画「第三の男」の主題曲の演奏で一般に知れ渡ったオーストリア地域の民族楽器ツィターの原型で，14 世紀ころからあったとされ，シャイトホルツ（直訳は新材）と呼ばれる。現在のツィターの共鳴弦部分を切り落として指板部分とその下の共鳴箱だけにしたような撥弦楽器である。本文での説明によると，3 枚か 4 枚の薄い板で断面が三角あるいは四角の筒を作ってそれを共鳴箱としてその上にフレットを埋め込んだようである。この楽器は，同一音高のモノコード（単絃）を複数張ったようなもので，金属製のフレットをもち，弦も金属で 2~3 本を同一音高（およびオクターヴ違い）で張り，プレクトラムを用いてはじく。指板を兼ねた共鳴箱の表板の上に弦を数本張ったようなもので，共鳴箱が奏者から遠い側に徐々に大きくなり，現在のツィターやカーヌーンのようになっていった。日本の大正琴でキーを押す代わりに左手で押弦するような楽器と考えればよい。

(a.1.3) ガット弦のその他の楽器

テオルボとコントラバス

低音楽器ということでここに入れてあるが，テオルボは「a-1 ガット弦のも

の」の「i. 撥弦のもの」ですでに取り上げられている。**図 H.54** に描かれているテオルボは図 H.45 のものよりも大型で，ドローン弦は奏弦の指板から外れ，奏弦の指板はドローン弦の半分くらいで終わり，ヘッドは折れずにまっすぐ伸びている。コントラバスに関しては，同「ii. 擦弦のもの」のヴィオラ・ダ・ガンバの最低音域楽器として簡単に説明しているが，詳しくは付録 G.2.2 項（4）「コントラバスはヴィオラ・ダ・ガンバの生き残り」を参照されたい。

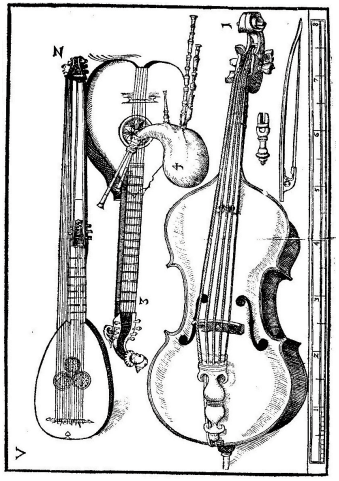


図 H.54　ガット弦の低音楽器
左：テオルボ（撥弦），
右：コントラバス・ヴィオラ・ダ・ガンバ（擦弦）。

ガット弦を使っていることがよくわかる絵として図 H.54 右の 5 弦のコントラバスを示す。イタリアではコントラバッソ・ダ・ガンバと呼ばれていたようである。このコントラバスは響孔が f 字型で，かつボディの角が鋭角になっているので，かなりヴァイオリン化されているが，指板にはフレットが巻いてあり，ボディからネックへの肩がなだらかで，かつ 5 弦なので，まだヴィオラ・ダ・ガンバの面影を残していると言える。図からは調弦は分らないが，5 弦の場合，本来なら通常の 4 弦の最低弦 E1 の 4 度下の B♭0 を追加するのがスジ（？）であるが，B♭0 よりもそれより半音高い C1 にしておいたほうが，押弦なしで C1 を弾くことができ，開放弦で主要な音高との高調波の共振が起きやすいので，C1 にすることがある。

コントラバスはヴィオラ・ダ・ガンバの最低音域楽器で，ヴィオラ・ダ・ガンバは通常 6 弦であるにもかかわらず，コントラバスは 5 弦あるいは 4 弦である。前述のように，この図のものは胴の輪郭形状や響孔形状がヴァイオリン化されている。右上の弓はバロック期のものである。中央上下逆に 6 弦のグロス・シター，中央上部にザックファイフ（バッグパイプ）が書いてある。息の吹込み管とチャンター管 1 本およびドローン管 2 本が見える。

ビウエラ・デ・アルコ（Agricola の「グローセ・ガイゲ」）

「昔のフィドル」と書かれている楽器（**図 H.55** 左上）は，Agricola の本で「グローセ・ガイゲ」とされていたもので，前述のように図の信頼性が乏しい。

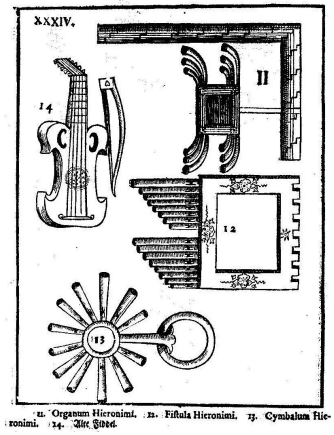


図 H.55　キリスト教関係の楽器。左上：ビウエラ・デ・アルコ（「昔のフィドル」と書かれている）

たぶん，当時すでに現役で使われている楽器ではなくなっていたということと，なぜか宗教関係の楽器ということになっていたことから，「ガット弦の擦弦楽器」から切り離してここに掲載しているのであろうが，プレトリウスの分類としては，「(a.1) ガット弦のもの」の「(ii) 擦弦のもの」に入れておくべき楽器である。

この楽器は Agricola のグローセガイゲンの場合と同じように，きわめて不自然な形状に描かれており，擦弦楽器であるにもかかわらずコマが描かれていない。察するに，Agricola の絵を書き写したもののようである。つまり，この絵

は撥弦楽器ビウエラ・デ・マノの擦弦型として伝わったビウエラ・デ・アルコを想像で（Agricola を信用して）書き写したものと推察される。6 弦で，第 7 フレットまで巻いてあるのはヴィオラ・ダ・ガンバと共通である。

この図のその他の楽器はすべて「ヒエロニムス（聖ジェロラモ：英=Jerome）の」楽器とされている。右上から下へ：オルガン，フィストゥーラ（パンパイプ。十字架と 12 使徒を表す楽器），シンバルが描かれている。

(a.2)　金属弦のもの

金属弦の弦楽器で鍵盤機構をもつものをまず挙げている。原著では励振方法については分類基準としては触れておらず，単に「インストゥルメント」タイプとして撥弦・擦弦・鐘弦をひとくくりにしてあるが，ここでは鍵盤をもった弦楽器として当時の主要な楽器であったチェンバロ類とクラヴィコードを先に挙げ，その後で鍵盤をもつ金属弦のその他の楽器を挙げている。打弦楽器であるピアノはまだ現れていないので，「インストゥルメント」型の打弦楽器はまだ存在せず，打弦楽器は手に持ったマレットで弦を叩くダルシマー（ドイツ語でハックブレット）類だけになる。

(a.2.1)　ネックをもたないもの

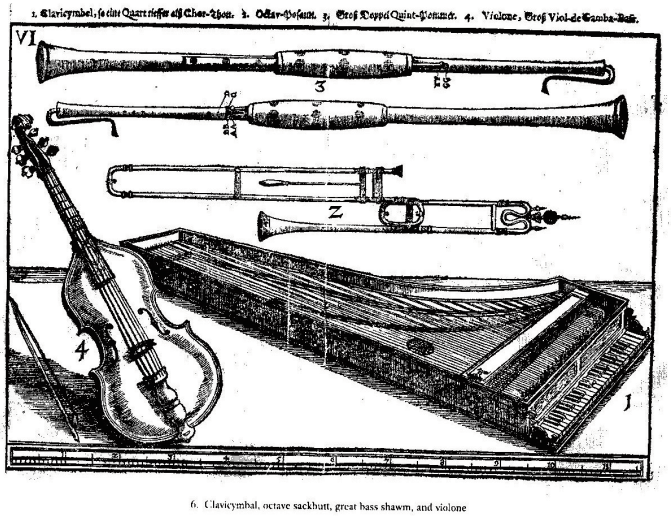
(a.2.1.1)　鍵盤をもつもの（インストゥルメント）

金属弦をもつ楽器として，鍵盤をもったものがある。鍵盤をもった楽器を Praetorius は「音楽大全」の中で「インストゥルメント型」と名付けていることは H.2.2 項（1）空気楽器の（b）(i) オルガン類で説明したが，オルガン類以外のインストゥルメント型の楽器としては，「クラヴィコード」(撞弦)，「グラヴィ・シンバル（チェンバロ)」，「スピネット」（撥弦)，「クラヴィ・ツィテリウム」（縦型のチェンバロ)，「アルピコード（ハープに鍵盤を取り付けたようなもの)」，「ガイゲンヴェルク（後で説明する鍵盤付きの擦弦楽器)」が挙げられている。

(a.2.1.1.1)　撥弦のもの

・チェンバロとクラヴィコード

図 H.56 右下は，脚を外した（卓上型？）クラヴィシンバル（チェンバロ）で，当時の楽器として代表的なものの 1 つとして挙げられている。**図 H.57** にスピネット（ヴァージナルとも。簡易型のチェンバロ）を示す。**図 H.58** は右上がクラヴィ・ツィテリウム（縦型チェンバロ）で, その他はクラヴィコード（英：clavichord, 独：Klavichord, 伊：manicordo, clavicordo, clavicordio, 仏：clavicorde）である。



6. Clavicymbal, octave sackbutt, great bass shawm, and violone

図 H.56　17 世紀前半の代表的な楽器
鍵盤楽器：
　下右＝クラヴィシンバル
　【伊】クラヴィチェンバロ
管楽器：
　上：木管＝大バス・ショーム
　中：金管＝ポザウン
　【英】サックバット
　（トロンボーンの前身楽器）
擦弦楽器：
　原説明では「ヴィオローネ」
　（外形と響孔がヴァイオリン化
　されたヴィオラ・ダ・ガンバ）

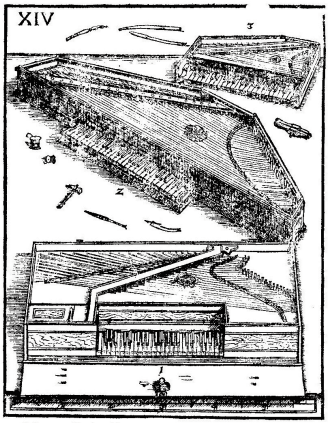


図 H.57　金属弦の弦楽器 I
鍵盤弦楽器 I
下と中段：スピネット（ヴァージナル）
上右：オクターヴ・インストゥルメント
（1 オクターヴ高い小型チェンバロ）

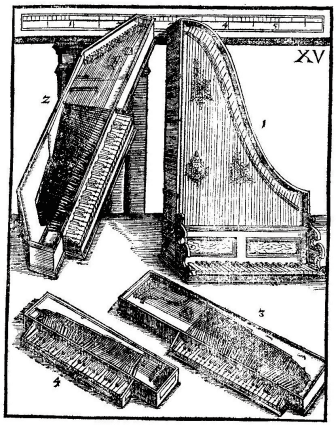


図 H.58　金属弦の弦楽器 II
鍵盤弦楽器 II
左上：イタリア型のクラヴィコード
右上：クラヴィツィテリウム
（縦型チェンバロ）
下 2 つ：クラヴィコード

クラヴィコードは 14 世紀ころに出現した楽器で，本来なら鐘弦楽器とでもすべきであるが，チェンバロとまとめてある。金属弦を鍵盤から金属片で突き上げて振動の固定端点として励振するもので，励振効率が悪く，響板はついていても，音が小さかった。図 H.58 のものは脚のないタイプ（あるいは脚を外した状態）である。現在市販されている脚付きのクラヴィコードを**図 H.59** に示す。

チェンバロは後にドイツでもチェンバロと呼ばれるようになるが，“Syntagma Musicum”の出版当時はまだ呼称が確定していなかったので，Praetorius は「クラヴィシンバル（鍵盤付きで音を出すもの）」などと名付けている。

弦を縦に張ったもの（図 H.58 右上）は「クラヴィツィテリウム」となっているが，ヨーロッパ諸語における “c” と “z” の部分的な等価性を考えると，Praetorius は古代ギリシャのキタラー (cithara) との連想から，鍵盤付きのツィテリウム (zitherium) としているようであるが，これは後のジラーフ・ピアノに繋がるように思われる。これらは Praetorius が適当に付けた名称のようである。



図 H.59　市販されているクラヴィコード
(英 John Morley 社)

チェンバロは後にはドイツでもイタリア語からの借用語として “Clavi” を削って “Cembalo” だけにして，これをドイツ語読みのツェンバロでもセンバロでもなく，イタリア語の音のまま「チェンバロ」と読むようになった。

“De Organographia” では，鳥の羽の軸骨をプレクトラムとして使用した撥弦機構と，プレクトラムの復帰メカニズムと，レジスターを用いた弦群の選択機構が説明され，1 音あたりに 4 本の弦を用いたものでは 3 本をユニゾンに，4 本目を 5 度高くするなどの工夫によって音色を整えるなどの説明と，響板の機能や弦の余分な振動を抑制するための布などの説明がある。

・チェンバロの簡易型（スピネット，ヴァージナル）

17 世紀初頭にはチェンバロは新しい楽器で，その簡易型として「**スピネット**」と「**ヴァージナル**」がある。イギリスでは直方体の筐体に収められたものが多く，それがイギリスでヴァージナルと呼ばれていたという程度で，ヴァージナルとスピネットの明確な違いはなく，フランスでは「エスピネット」と呼ばれ，プレトリウスは 1 つの楽器についてスピネットとヴァージナルの 2 つの名称を併記し，「ドイツではインストゥルメントと呼ばれる」としているが，“Syntagma Musicum” の英訳者 D. Crookes は，この名称は一般的過ぎてよくないと批判している（“Syntagma Musicum” [5] 英訳版 II, p.66)。イギリスで

はエリザベス処女王が好んだことから「ヴァージナル」と呼ばれていたという俗説もある。音域が通常のものよりも 1 オクターヴ高いもの（図 H.57 上右）があり，それは「オクターヴ・インストゥルメント」としてある。

(a.2.1.1.2)　撥弦以外のもの

i. 撞弦のもの　鍵盤をもつ撞弦楽器として，現在を含めてこれまでにあったのは「**クラヴィコード**」（図 H.58 の 2, 3, 4 , 図 H.59）だけである。これは当時すでに鍵盤で弾く弦楽器として基盤的な楽器で，オルガンなど他の鍵盤楽器の練習のためにも使われていたようである。タンジェントと呼ばれる金属片を鍵盤操作で動かして弦上の 1 点を突き上げてそこを一方の端点とした弦振動を起こし，振動を響板に伝えて空気の疎密波を起こさせる。ヴィブラートをかけることができ，音の大きさを押鍵操作にってできるというような利点もあって，チェンバロの出現後もしばらく使われたが，あまりにも音が小さいため使われなくなった。

ii. 擦弦のもの

・ガイゲンヴェルク（擦弦装置）

図 H.60 にガイゲンヴェルクとされている特異な鍵盤楽器を示す。これは

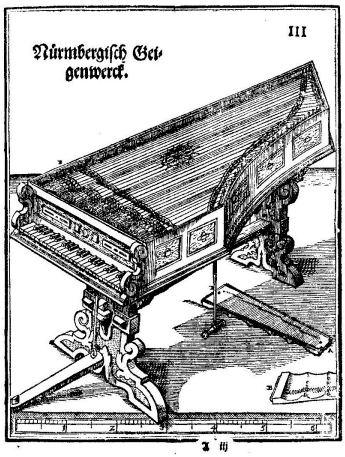


図 H.60　金属弦の弦楽器 III
擦弦の鍵盤楽器
ガイゲンヴェルク
（「ヴァイオリン装置」の意）

外見がチェンバロに似た脚付きの鍵盤擦弦楽器で，図 H.60 の絵では鍵盤の音域は 3 オクターヴ半ほど描いてあり，全音高の 40 本ほどの弦を 5 つの音域に分割してある。キーをもたないハーディガーディの擦弦用の円盤を 5 つ回しておき，5 つの円盤の周囲に張った弦群の中から，出したい高さの音に対応する弦を鍵盤で選んで，回転する円盤の周囲に接触させて発音する。ニュルンベルクの Hans Häyden の発明とされている。楽器の脚としては接地幅の広い脚が鍵盤下と奥側に鍵盤と平行についている。奏者自身が円板を回すためのペダルと，補助者が回すためのペダルが用意されている。

・ハーディーガーディーとニッケルハルパ

“Syntagma Musicum”の “Sciagraphia”にハーディーガーディーと前述のニッケルハルパ（シュリュッセル・フィデル）が描かれているページがあったのでそれを**図 H.61** に示す。

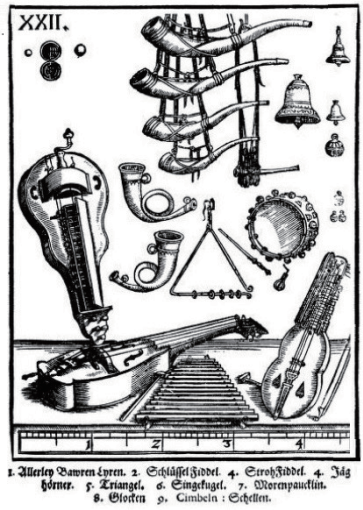


図 H.61　雑多な楽器
上中央：ジェーガー（狩猟）ホルン
左倒立：ハーディーガーディー（上にハンドルが見える）
右下：シュリュッセル・フィデル（ニッケルハルパ）
左下：シュトロー・フィデル
右上：シェレン（錫）
中央：トライアングル
中央左寄り：郵便ホルン
下中央：グロッケン（鉄琴）

どちらも Agricola の時代以前からあった「キーによってタンジェント (先が線状に尖った触弦部品）で押弦する擦弦楽器」で，ハーディーガーディーは弓による擦弦の代わりに右手で木製の円版を回転させておき，左手でキーを押す

ことによって押弦位置に木製の楔（くさび）（タンジェント）が当たるようにしておいて，奏弦を回転円盤に接触させ，弦を振動させるもので，ニッケルハルパは押弦機構はほぼそのままにして，円板による擦弦の代わりに奏者が弓で擦弦するものである。

iii. 鍵盤と擦弦機構をもつもの

・ハーディーガーディー（Hurdy-Gurdy,【独】Drehleier)

現代ドイツ語では “Drehleier（ドゥレーライアー）” と書かれるが，“Syntagma Musicum” では，絵が描いてあって（図 H.61 左倒立），その名称は “Aüerley Bawren Lyren(Lyra の複数形)” と書いてあるようであるが絵の番号が抜けているので対応は不明である。Agricola は図 H.27 左上で “Leyer” と書いていた。“Leyer” は “Leier”（ハーディーガーディー）の中世ドイツ語綴りである。“Leier” は古代リラ（竪琴）をも表すので，明確にこの樂器を指すには “Drehleier” というべきである．“Dreh” は「回転」を意味するので，“Drehleier” は「回転機構のリラ」というような意味である。ここでの「リラ」は暗黙に擦弦型のものを指している。イタリアではギロンダ（ghironda），フランスではヴィエル・ア・ル（vielle à roue：車輪のヴィエル）など，地域によってさまざまに呼ばれていた。擦弦楽器の一種であるが，弓による擦弦の代わりに木製の円盤を右手でハンドルを回して回転させておいて，弦をそれに触れさせるもので，擦弦に自由度が少ない。図 H.61（左倒立）では，Agricola による絵（図 H.27 左上）と基本的には変わらないように見える。

金属製の 1〜2 本の奏弦と 2〜4 本のドローン弦をもち，クランクハンドルで回す木製の円盤を回転させておいて，押弦の代わりにネックに相当する部分に付けた鍵盤を使って木製のタンジェントを弦に押し付けて弦振動の一方の端点を決めてピッチをとるとともにその弦を回転する円盤の縁に触れさせる。

ハーディーガーディーは建物に彫られた石の彫刻（**図 H.62** 右）から，11 世紀ころにはすでに存在していたと考えられ，18 世紀ころまでヨーロッパの色々な地域で使われた。サンティアーゴ・デ・コンポステーラの聖堂 (11c 半ばに着



図 H.62　オルガニストゥルム（ハーディーガーディーの原型）
左：2 人で操作する初期のオルガニストルム（サンティアーゴ・デ・コンポステーラ大聖堂，11 世紀）
右：ハーディーガーディーに近くなった楽器(マドリードの北約 230 km のブルゴス大聖堂，13 世紀）

工，完成は 12c 初頭) に，ハーディーガーディーの原型とされる「オルガニストゥルム」と呼ばれるハーディーガーディーを長くした楽器を 2 人で操作している石の彫刻（図 H.62 左）もある。

オルガニストゥルムは 2 人で操作するために，押弦（タンジェントによる触弦）のためのキーは通常のハーディーガーディーとは反対側に付いており，キーは押すのではなく引くようになっていたので，キー操作は難しかったらしい。後にこの楽器は一人で操作できるように短くなり，右手で円盤を回しながら左手でキー操作できるように，下からの押鍵方式になった（図 H.62 右)。これがハーディーガーディーである。

ハーディーガーディーはギターを細くしたような胴をもち，膝の上に載せて 1 人あるいは円盤回転と鍵盤操作を分担して 2 人で弾く。押弦の代わりにネック相当部分に組み込まれた鍵盤を左手指で操作することによって木製のタンジェントが押弦位置に触れて振動部分の長さを決めるようになっている。16 世紀からバロック期にかけての標準的なハーディーガーディーは奏弦として中央に 2 本とドローン弦を両側に 2 本ずつ計 4 本もっていたようで，ドローン弦には振動の振れ幅が大きくなると片足が周期的に浮いて音を揺れるようにする「うなり駒」をもち，これを跳ね上げると，当該ドローン弦は円盤に接触しないようにもできる。

ハーディーガーディーでは弦の同一場所が円盤の縁で常時擦られるので，ガットではすぐに切れてしまうということで金属弦を使える場合は，弦が金属になった。円盤を回してその周囲で弦を擦るので，擦り方が画一的でハンドル操作に

よる回転速度以外は変化が付けられず，弓で擦る場合のような演奏の自由度はないので，単に機械的に音を出すことのできるだけの装置であって，楽器として使うには問題があったはずであるが，何世紀にもわたって使われた。

iv．鍵盤をもつが擦弦機構はもたない擦弦楽器

・ニッケルハルパ（独：シュリュッセル・フィデル）

これも Agricola の時代から存在した「鍵盤によって押弦する擦弦楽器」である。ハーディーガーディーは木製の円盤を手で回しておいて，弦をそれに触れさせるもので擦弦に自由度がなかったが，ニッケルハルパは押弦操作に代わる鍵盤機構をハイディーガーディーのまま残して，擦弦を弓奏にしたもので，キーの押し方によってヴィブラートもかけられるのでヴァイオリン属の演奏の自由度がほとんど残る。

ニッケルハルパはスウェーデン語であるが Praetorius はそれをドイツ語にしてシュリュッセル（キー）フィデル（擦弦楽器）と呼んでいる。ニッケルはスウェーデン語で鍵盤の意味で，ハルパはハープであるが，この場合はハープに限定せず楽器一般を意味するようである。弓は右手で通常の擦弦楽器のようにして弾くが，楽器そのものを膝の上に置くので，運弓範囲をあまりとれないことから，弓は短い。

ネックに相当する部分は鍵盤を組み込む必要から太くなっているが，胴はポシェットのように幅が狭い。響孔は f 型である。奏弦は 4 本であるがドローン弦をもつ楽器もある。左手をネック部分の下から鍵盤に回して，ネック部分から棒状に突き出たキーを左手指でネック方向に押し込んで，木製のタンジェントを横から弦に接触させることによって押弦に代える。（右が高音になるようにキーが並んだ鍵盤に習熟した人でも違和感なく弾けるように，弦にカバーをしてその上に左手を置いて小指を低音側にしてキー操作することもできる。）キーを揺らすことによってヴィブラートも可能であり，ハーディーガーディーと違って弓を人間が操作するので，うまく操作すれば，ヴァイオリンやヴィオラと比べてそれほど遜色ない演奏が可能であるため，現在でも世界各地に愛好家グループがある。

図 H.61 の右下がニッケルハルパ（独：シュリュッセル・フィデル）で，その右には弓が描いてあり，これが弓奏であることを表している。左中段がハーディーガーディー（独：Drehleier ドゥレーライアー）で円板を回すためのハンドルが目立つように上部に描かれている。円板にはカバーがかけられている状態で描かれている。指使いを気にしなければ，弦部にカバーをかけてそれに左手の平を置いて上からキー操作をすることもできる。この絵は細部がわかりにくいので図 H.27 と見比べていただきたい。キー操作については，ギターやヴァイオリンを使い慣れている人には下から手を回すほうが操作しやすい。

下段左は「シュトロー・フィデル」と説明されているが，ハーディーガーディーからキー操作部を外したようなもの（フレット付きの指版上で指で押弦する）である。現在，同じ綴りで「ストローヴァイオリン」とされているホーン付きのもの（図 E.56）は 1899 年の発明であるので，この楽器とは関係がない。

図 H.61 の擦弦楽器以外のものは，下中央にグロッケン，上中央に角笛類，中央少し左にポストホルン（郵便馬車のラッパ），その右にトライアングルとタンブリン（独：シェレン・トロンメル直訳は鈴太鼓），右上はシェレン（鈴）となっている。

(a.2.1.2)　鍵盤をもたないもの

鍵盤をもたない弦楽器はダルシマー類とハープ類であった。

・ハッケブレット（ダルシマー）

ダルシマーは現代ドイツ語ではハックブレット (Hackbrett) であるが，ハッケブレット (Hackebrett) となっている。これは，音高ごとに張ってある金属弦を打叩具で叩くという意味で，ピアノの原始的な形と言えるが，打叩機構はなく，両手に 1 つずつ持った木製の打叩具で弦を叩く。**図 H.63** の下方に打叩具とともに示されている。

・ハルフ（ハープ）

ハープは現代のドイツ語ではハルフェ (Harfe) であるが，当時の表記はハル

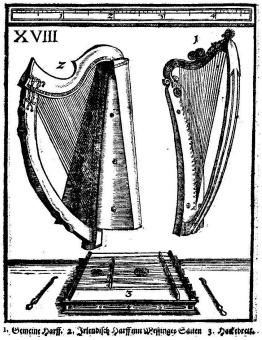


図 H.63　ハープとダルシマー
上左：ゲマイネ・ハルフ
（一般のハープ）
上右：イルレンディッシュ・ハルフ
（アイリッシュハープ：真鍮弦）
下：ハックブレット
（【英】ハンマー・ダルシマー），

フ (Harff) となっている。当時のハープは全音階で調弦されるので，演奏中に調弦しない限り，調固有音しか弾けなかった。ガット弦のものもあったが，通常は金属弦であった。アイルランドのもの（図 H.63 右上）は小型で必ず金属弦であった。まだペダルによる半音上げ下げの機構は開発されていなかったので，黒鍵の音を出すために，黒鍵音用の弦面をもつハープを組み合わせたダブルハープ（**図 H.64**）というのがあって，左右の手で弾き分けた。

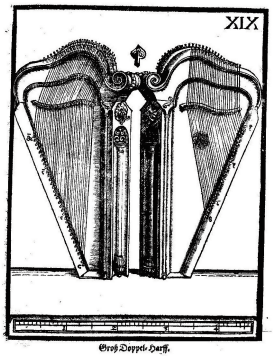


図 H.64　大型ドッペル・ハルフ（ダブルハープ）
弦面を 2 重にして黒鍵に相当する音も弾けるようにしたもの

・プサルテリウム

金属弦の楽器として，古代ギリシャからの伝統を継ぐプサルテリウム†（共鳴

† プサルテリウムは弦の面が共鳴胴の板に垂直でないのでハープ属ではない。古代ギリシャのプサルテリオンが語源。古代ギリシャにあった同じタイプのキタラー（$\kappa\iota\theta\acute{\alpha}\rho\bar{\alpha}$）がギターやシターン，シタール，ツィターなどの語源。現代イタリア語でギターは “chitarra”（キターラ）.

胴の板に平行な面内に音高固有の多数の金属弦を張って指ではじく楽器）3 種が描いてあるので **図 H.65** に示す。ウードのネックを腕のように横に曲げ，それに多数の共鳴弦を張ったような，不自然な楽器も見える。**図 H.66** に，途中で管が分岐している奇妙な管楽器とともに，三角形や矩形の木枠内に弦を張った数種のプサルテリウムが描かれたページを示す。プサルテリウムは木枠の底辺部分が共鳴箱になっていた古代ギリシャのキタラーの流れを汲む楽器で，その下の楽器名にある「ヒエロニムス」はキリスト教の「聖ジェロラモ」である。

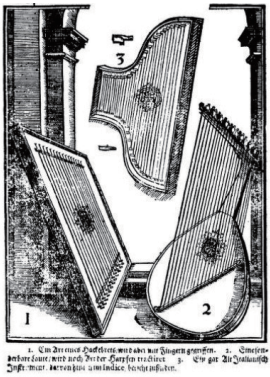


図 H.65 プサルテリー (弦面が響板面と平行な楽器)3 種：
1,3=ピック弾きハックブレット
（3 はイタリアの古い型）
2=ハープ型リュート

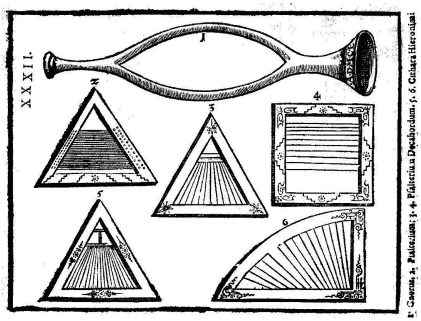


図 H.66 分岐合流型らっぱと枠留め撥弦楽器：
1=コールス (Chorus)
2=プサルテリウム，
3,4=10 弦 (簡易型) プサルテリウム，
5,6=ヒエロニムスのキタラー

(a.2.2) ネックをもつもの

その他の弦楽器として，“Syntagma Musicum” には**図 H.67** で示した図 XVII にほとんど同じような撥弦楽器が 3 種描かれている。主として金属弦のリュート属を集めたようであるが，１本だけガット弦のものが混じっている。原図のキャプション（何語か不明。混用か）によると，金属弦の撥弦楽器は左からバンデール，オルフェオレオン，ペノルコン，とされているが，本文を見るとオルフェオレオンとペノルコンの番号が入れ違いになっているようである，いずれも真鍮と鋼鉄の弦を使うと説明されている。

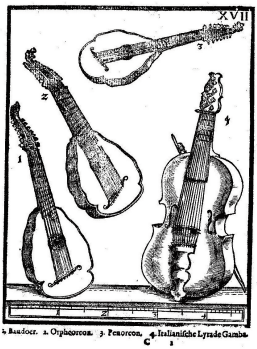


図 H.67　その他の弦楽器
左からパンデール，オルフェオレオン，ペノルコン，リラ・ダ・ガンバ

もう 1 つは擦弦楽器で「イタリアのリラ・ド（デ：イタリア語なら「ダ」）・ガンバ」で，このページの図でこれだけはガット弦である。

バンデールについては，本文では古代ギリシャの $\pi\alpha\nu\delta o\rho\alpha$（パンドーラ）のようなリュート型の楽器 Pandora となっているが，弦は金属製で調弦はリュートとは異なるとしている。図では 7 コース 14 弦である。

ペノルコンはパンドーラに非常によく似た楽器で，長さがパンドーラよりも少し短く，胴と指板の幅が少し広く，9 コース 18 弦とされている。図を見ると高音側の弦の張力を緩和するためか，高音側の弦の長さが短くなるようにナット（したがってフレットも）とブリッジが近づくように斜めにしてある。

オルフェオレオンは本文では Orpharion となっており，パンデールをスケールダウンしたもので，金属弦で歌弦（最高音弦）は G4（リュートと同じ）であるとしている。

リラ・ダ・ガンバ（脚のリラ）はリラ・ダ・ブラッチオの大型のもので，ガットの奏弦が通常は 13 本と数本のドローン弦をもっている。ペグは木の葉型のペグボックスに垂直に刺す。弦の数が多いため指板は必然的に広くなり，ガット製のフレットが開放弦から通常は 5 度上（第 7 フレット）まで巻くところを，図ではなぜか 4 度上（第 5 フレット）までしか描かれていない。ナットの左側にドローン弦用のペグが描かれている。リラ・ダ・ガンバ（脚のリラ）はリラ・ダ・ブラッチオ（腕のリラ）属ではあるが，大きいので膝の間に挟んで弾くの

でこの名称がある。

(b) 非弦楽器（打楽器）　空気楽器（気鳴楽器）と弦鳴楽器（弦楽器）を除き，電気楽器がまだ出現していない時代で残るのは打楽器類（膜鳴楽器と体鳴楽器）になるが，Praetorius は膜鳴か体鳴かについては頓着せず，まず打叩に道具を使うか素手で打叩するかによって分類している。

図の並べ方を見ると，定ピッチか不定ピッチかも区別されていないが，これはたぶん無意識のうちに区別していると思われる。

打叩具による打叩

バチやマレットあるいはハンマーなどを手にもって打叩するもので，ティンパニ，ドラム，トライアングル，アンボスなどを挙げている。これまでに挙げた図の中では，図 H.61 の下中央にグロッケン・シュピール（鉄琴）が描かれていて，キャプションに 9. としてグロッケンと書いてあるが，原図の楽器の絵に番号を振るのを忘れている。

この図には，その他に，並べる位置を気にせずに，鈴，タンブリン，トライアングルなどが描かれている。定ピッチか不定ピッチかも分類要素とはしていない。アンボス（鉄床）は Agricola も挙げていたことから，16〜17 世紀には重要な打楽器であったらしい。**図 H.68** に打叩具を使う打楽器のページを示す。

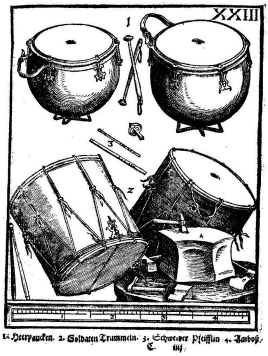


図 H.68　打叩具を使う打楽器。上: 軍隊用ティンパニ，中央：スイス管とドラム（鼓笛隊用），右下：アンボス（鉄床）

その他 (打叩具を使わない打叩)

打叩具を使わないものをひとまとめにしている。コンガやボンゴ，あるいは

スティールパンなどのように素手で叩くものか，カスタネットや合わせシンバルあるいは鐘やマラカスのように打ち合わせたり振ったりして楽器そのもののパーツを相互に衝突させるものかは区別していない。ハーディーガーディーとニッケルハルパが描かれていた図 H.61 に打楽器がいくつか示されていた。その他の図は煩雑になるので省略する。ムチのように空気を切る音を発するものは図には描かれていない。

H.2.3　補足（出版後のバロック楽器で記述のないもの）

Praetorius の “Sciagraphia” には記載されていないが，17 世紀末から 18 世紀にかけてイタリアで人気のあった楽器としてヴィオラ・ダモーレとバリトンを挙げておく。

（**1**） **ヴィオラ・ダモーレ**　　Praetorius の時代にはまだ出現していなかった楽器である。名称は「愛のヴィオラ」の意味で，擦弦停止後にドローン弦の振動によって余韻が残って甘い音になる。

ヴィオラ・ダ・ガンバの変種と考えられるが，駒の下部に開けた小さい孔を通る数本のドローン弦をもつ擦弦楽器で，標準は奏弦・ドローン弦ともに 7 本で，ドローン弦には金属弦が使われたが，奏弦についての記述は Boyden の著書[45] にも L.Mozart の著書[59] にも見当たらないので，たぶん当時のヴィオラ・ダ・ガンバやヴィオラ・ダ・ブラッチオと同様にガット弦であったと思われる。胴



図 H.69　ヴィオラ・ダモーレ
左：外形 2 種，中央上：コマ，中央下：裏板は平板，右：ヘッド

はヴィオラ・ダ・ガンバ型で裏板は平板で，ボディはなで肩であるが，指版にフレットがない。外輪郭はヴィオリーノ・ピッコロに似た異形もある（**図 H.69**）。響孔は火炎型などの変形が多い。弦数が多いためペグが多い（標準は片側に 7 本）のでボックスが長く，ヘッドには「恋は盲目」を表すために目隠しをした顔が彫られることが多い。奏弦の音高は A2-D3-A3-D4-F#4-A4-D5 と変則的である。ヴィヴァルディがこの楽器のための協奏曲集を書いており，テレマンや J.S. バッハなどもこの楽器を使った曲を残している。近代でもヒンデミットやプロコフィエフがこの楽器のためのソナタやコンチェルトを書いている。

（2） バリトン（ヴィオラ・ディ・ボルドーネ）　低音用のヴィオラ・ダ・ガンバで，ネックの裏から左手の親指ではじくことのできるドローン弦をもつ。Baryton と呼ばれることが多いが，ヴィオラ・ディ・ボルドーネ（低音弦のヴィオラ）とも呼ばれる。ドローン弦は広くしたネックの裏に通してあり，左手の親指ではじくことができる（**図 H.70** 左上）。7~9 本程度の奏弦をもち，それらは当然指版の上に張るが，ドローン弦はネックの裏側に露出している。ドローン弦は 7~12 本で，数が少ない場合は曲の調の調固有音に調弦する。



図 H.70　バリトン。右上はネック裏のドローン弦をはじく左手

I 用　語　集

I.1　50　音　順

あ

- アウロス（古ギ：$\alpha\upsilon\lambda o\sigma$，aulos【英】）
  古代ギリシャの代表的な管楽器。双管でそれぞれがダブルリード。根元から 2 本に分かれ，それぞれを左右の手で操作する。**図 I.1** に，ルーヴル美術館蔵のギリシャ時代の容器に描かれたアウロスを吹く農耕神サトゥルヌスを示す。

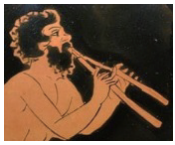



図 I.1　古代ギリシャの容器に描かれた「アウロスを吹くサトゥルヌス (Saturnus，ギ神の $K\rho o\nu o\varsigma$ と同一)」（ルーヴル美術館）右：部分的拡大

- 圧電素子（piezo-electric device）
  圧力を加えると電圧を発生する，あるいは逆に電圧を加えると変位を発生する受動素子で，電気楽器に使う場合は，打楽器の打叩パッドに張っておいて打叩に応じて振動する打叩パッドの振動を信号として得るとか，ヴァイオリンの駒の脚と表板の間に挟んでおいて，駒の脚にかかる圧力変化を信号として取り込むなどの方法で使われている。逆に，素子の一端を固定し，他端に振動板を取り付けておいて発生させたい音響信号に応じた電圧をかけるとスピーカの振動板として使える。ただし，圧電材料の最大変位は大きくないので，おもに小出力のイヤフォンとか高音用に適している。変形を大きくするために，電圧をか

けると伸び縮みが逆になるように圧電材料を 2 枚貼り合わせたバイモルフ振動子もある。

- アルト（alto）
  1. 女声における低音域
  2. 同一属の楽器の中で，声のアルトに対応する音域あるいは性格の楽器
  3. 4 声体書法の上から 2 番目の声部
- アンダーハンド（under-hand） ⇔オーバーハンド
  擦弦楽器の弓の持ち方の 1 つ。ヴィオル（ヴィオラ・ダ・ガンバ）属の弓の持ち方。掌を上に向けてもつ。親指を木部の上側に置き，人差し指を木部の下から向こう側へ回して弓を支えて，中指は毛の張りを調節する。
- アンブシュール（仏：embouchure, 英語読み：アンブシャー）
  管楽器のマウスピースに奏者が口を当てて適切な気流を作るための唇の構え。特に，エアーリード楽器やリップリード楽器について，この用語を使う場合が多い。
- 位相速度（phase velocity）→ 参考：群速度
  波が媒質中を進むとき，その波頭あるいは波面が媒質中を単位時間に進む速度。荒っぽく言えば，波の山の伝搬方向への進行速度。

  空間が 1 次元の場合，x 軸方向に進む波は $f(x,t) = A\cos(\omega t - kx)$ で表すことができる。ここで，( ) 内が位相で，ω は角周波数，k は波数（位相が 2π 進む空間距離を波長の数で表した値）である。位相速度 v_p は 1 秒間の位相の増加量と等価な x 軸方向の距離なので，$\omega t - kx = \text{const.}$ とおいて，t が 1 増加した場合の x の増加量が v_p になる。すなわち，$x = \dfrac{\omega t - \text{const.}}{k}$ で $t \leftarrow t_0$ とした時の値を $t \leftarrow t_0 + 1$ としたときの値から引けばよいので，$v_p = \frac{\omega}{k}$ である。

  高校レベルでの説明をしてみよう。上記の $f(x,t)$ が時刻 t で山になる x の位置 x_0 は位相が 2π の整数倍になる距離ごとに等間隔に並ぶので，n を整数として，$\omega t - kx_0 = n \times 2\pi$ から，$x_0 = \dfrac{\omega t - 2n\pi}{k}$ となるので，x_0 の速度 v_p は，これを t で微分して $v_p = \dfrac{dx_0}{dt} = \dfrac{\omega}{k}$ となる。

  媒質の振動方向は位相速度の方向とは必ずしも一致しない。音の伝搬速度は，伝搬媒質中の波動の位相速度になる。水中や弾性体中の振動の伝搬速度はその中での位相速度であるが，大気中に出た音の伝搬速度は大気中の位相速度になる。
- 異名同音（enharmonics）
  音楽理論としては異なる音名で区別して呼ぶべきではあるが，平均律では同音（ピアノでは同じキーを弾くこと）になる 2 つの音。例えば C# と D♭，E# と

F などの対。

- インストゥルメンテーション（instrumentation）
  楽団の「楽器編成」。楽団がオーケストラの場合は “orchestration” とも。オーケストラの楽器編成の規模を木管楽器の構成に注目して表す用語として，古典期のものを 2 管編成，ロマン期後期のものなどを 3 管編成などとする表現があるが，これらは日本での名称で，「標準音楽辞典」[7] の見出し項目にも外国語への対訳の表現が出ていない。管弦楽法に関するバイブルとされるベルリオーズ（Hector Berlioz, 1803-1869）の “Grand traité d’instrumentation et d’orchestration modernes”（1856,「現代楽器法および管弦楽法大概論」）をリヒアルト・シュトラウス（Richard Strauss, 1864-1949）が補足したドイツ語版 “Istrumentationslehre”(1905) の邦訳書「管弦楽法」にも，その末尾にある「監修者（小鍛冶邦隆）による解題」[6)p.559] に現れるのみで，本文には出ていない。

  オーケストラの楽器は木管楽器群，金管楽器群，弦楽器群，打楽器群から構成される。2 管編成や 3 管編成などの表現は，木管楽器の数に注目してオーケストラの規模を表す表現法であるが，それ以外の楽器の数も木管楽器の数にほぼ対応して増減するので，木管楽器の構成によってオーケストラ全体のだいたいの規模を推定できるということで，このような表現が生まれたと考えられる。ただし，2 とか 3 とかでまとめることに特に意味はなく，同属楽器をどうカウントするかは不明確であり，欧米では楽器の発達と関連させて見た楽器編成の音楽史的な発展の経緯が重要で，規模による分類というような発想が欧米にはないものと思われる。

  「2 管編成」は木管楽器の各パートの奏者が 2 人の編成で，具体的には，ほぼフルート 2（内 1 本はピッコロと持ち替えの場合がある），クラリネット 2，オーボエ 2（内 1 本はイングリッシュホルンと持ち替えの場合がある），ファゴット 2，の編成で，古典期のオーケストラはこれに金管楽器としてホルン 2 本とトランペット 2 本が加わる程度で，弦は第 1 ヴァイオリンが 9，第 2 ヴァイオリンが 8，ヴィオラ 6，チェロ 7，コントラバス 6 程度であった。ところが，ベルリオーズの時代には金管にホルン 4 本，トロンボーン 3 本が加わっているにも拘らず，弦が増えなかったので，ベルリオーズは「バランスが崩れた」と書いている[6)p.532]。ベルリオーズの時代にフルートにベーム式が導入され，ファゴットなどにも応用されて，これらの音高が正確になり，音量も大きくなった。またコルネットを皮切りに金管楽器にバルブ機構が開発され使用され始めたが，ベルリオーズはナチュラル楽器（替え管が必要）の使用を勧めて

いる[6)p.336]。サクソフォンもサックス（Adolf Sax, 1814-1894）によって，ベルリオーズの執筆までにすでに 6 サイズが開発済みで，7 つ目のサイズ（コントラバス）も完成間近となっており[6)p.518]，この本の初版の出版時期は管楽器の機構的な発展期と重なっていた。ベルリオーズはサクソフォンについて，その金管的な音色と音の大きさを高く評価している[6)p.517]が，使用例は挙げておらず，将来誰かが使って素晴らしい効果を挙げることを期待している[6)p.517]。バンドネオンの原型であるコンセルティーナも「新しい楽器」の項に「異名同音を弾き分けられる不思議な事例」として紹介されている[6)p.522]。

「3 管編成」は持ち替えであったピッコロとイングリッシュホルンを専用の奏者に担当させ，派生楽器バスクラリネット，コントラファゴットを追加して，木管楽器を各 3 とするもので，金管楽器はホルン 4 本，トランペット 3 本，アルト，テノール，バストロンボーンを各 1 追加し，弦の各パートを 2 程度ずつ増やした編成で，管楽器を含めて楽器の増やし方には種々のヴァリエーションがある。「4 管編成」はヴァリエ―ションがさらに増える。

- ヴァイオリン（violin,【伊】violino の英語　→ ヴィオラ・ダ・ブラッチオ
  元はイタリア語で「小さいヴィオラ（擦弦楽器）」の意味の「ヴィオリーノ」。現在ではヴァイオリン属の代表楽器になっているが，発祥当初は「ヴィオラ・ダ・ブラッチオ」属の標準サイズのアルトサイズ（現在英語で「ヴィオラ」あるいは「ヴァイオラ」と呼ばれている）よりも 5 度高い高音域用の「ヴィオリーノ（小ヴィオラ）」の英語訳。
- ヴァイオル（英：viol）　→ ヴィオラ・ダ・ガンバ（伊）
- ヴィオラ（viola）
  17 世紀までは擦弦楽器の総称で，現在ではヴァイオリンよりもサイズが 1 つ大きいヴァイオリン属の楽器（最低音が 5 度低い）を指す。16〜17 世紀のイタリアではほぼヴィオラ・ダ・ガンバ属とヴィオラ・ダ・ブラッチオ属（ヴァイオリン属）を指したが，ドイツでイタリア語のヴィオラに対応する「ガイゲ（現在ではヴァイオリンを指す）」はアラブのラバーブに起源をもつレベックやイベリア半島のビウエラ・デ・アルコも含んだ。フランスではイタリア語のヴィオラに対応する「ヴィオル」はほぼヴィオラ・ダ・ガンバだけを指していたようで，ヴァイオリンはイタリアと同じころ（16 世紀末ころ）からヴィオロンと呼ばれていた[45)]。バロック期よりも前の擦弦楽器は，現在では「中世フィドル」とまとめて呼ばれる雑多なものがあり，これより前には弓奏のリラ（ビザンティン・リラ，クレタ・リラなど）があったが，これらは現在での呼び方である。

  18 世紀後半にヴィオラ・ダ・ガンバ属が衰退して，擦弦楽器はヴィオラ・ダ・

ブラッチオだけになり，ヴィオラ・ダ・ガンバと区別する必要がなくなった段階で，ヴィオラ・ダ・ブラッチオ属の標準サイズ（アルトサイズ）が単にヴィオラと簡略化して呼ばれるようになったと考えられる。これが現在のヴィオラである。

- ヴィオラ・ダ・ガンバ（viola da gamba，脚のヴィオラ）→ 図 2.20
  18 世紀中ごろまでの擦弦楽器の代表楽器。英語ではヴァイオル（viol）ないしはイタリア語的な発音でヴィオル。フランス語もヴィオルであるが，同音の“viol”(強姦) と区別するために，綴りは viole としている。フレット付きで 6 弦 4 度調弦，バスバー・魂柱なし，弓はアンダーハンドでもち，強拍は押しで弾く。最も人気のあったサイズはバス（現在のチェロのサイズ）で，両脚で挟んで保持する。押弦はフレットがある部分ではフレットの直前ないしは弦の振動を殺さないようにしてフレットの上から弦を押さえる。

  標準 4 サイズはバスから上へ，テノール，アルト，ディスカントである。ディスカントはソプラノとメゾソプラノに対応し，フランスではデュッシュと呼ばれ，その上にパルデュッシュがあった。ヴィオラ・ダ・ガンバには，バスの下にグランドバスとコントラバスがあった。

  小さいサイズはイスに座って両上脚の間に挟んで立てて弾き，バスはイスに座って両脚で挟んで，グランドバスとコントラバスは床に立てて，立って弾く。前身楽器はスペインのビウエラ・デ・アルコ。ヴァイオリンとの共存期間が 2 世紀以上も続いたが，18 世紀後半に衰退した。現在では，その最低音域楽器コントラバスがヴァイオリン化（バスバーと魂柱を備え，響孔が f になり，裏板も隆起）された状態でオーケストラ楽器として使われているが，他のサイズは古楽器として使われるにとどまる。
- ヴィオラ・ダ・スパラ（viola da spalla，肩のヴィオラ） → 図 G.22
  ヴィオラ・ダ・ブラッチオ（ヴァイオリン）属のテノールサイズ（ヴィオラとチェロの間のサイズ）と想定されている楽器。古楽器の研究者で演奏家でもある Sigiswald Kuijken が，保持用の紐を首にかけて弾いたのであろうと推測して，そのサイズの楽器を作ってレコードを出している。
- ヴィオラ・ダ・ブラッチオ（viola da braccio，腕のヴィオラ）→ 図 I.19 右端
  ヴァイオリン属の発祥当時（1535 頃〜1600 年ころ）のイタリア語名称。標準サイズはアルト（現在のヴィオラ）で，それよりも 1 サイズ小さい（最低音が 5 度高い）ものがヴィオリーノ（小さいヴィオラ）と呼ばれ，これの英語がヴァイオリンになった。アルトよりも 1 サイズ大きい（最低音が 4 度低い）テノール楽器が，紐掛け具をもつヴィオラ・ダ・スパラ（肩のヴィオラ），あるいはバッ

ハの楽譜に現れるヴィオラ・ポンポーサ（華麗なヴィオラ，テノールサイズに高音弦を 1 本追加したもの）であったのであろうとされている。それよりも 1 サイズ大きい（5 度低い）のがヴィオロンチェロ（あるいは単に「チェロ」）である。

- ヴィオラ・ダモーレ（Viola d'Amore, 愛のヴィオラ）→ 図 H.69
  奏弦（通常 7 本）の下に指板の下から駒の下部を貫いて金属製のドローン弦（通常 7 本）が通る。ドローン弦は駒に接触して張られる。17 世紀末頃に出現したとされ，テレマン，ハイドン，ヴィヴァルディなどがこの楽器のための曲を書いている。近年ではヒンデミットもこの楽器のための協奏曲を書いている。肩に載せて弾くが，弾き終わりで弓を止めることはなく，弾きっぱなしで押弦したまま弓を弦から離すことが多い。ドローン弦には金属弦を使うが，これはガット弦ではコマに大きな穴を開ける必要があって実現困難であったからであろう。弾いた後で奏弦の振動を止めても余韻が残るので「愛の・・・」と呼ばれた。ヴィオラ・ダ・ガンバの変種であるが，フレットをもたない。ヘッドには「恋は盲目」を意味する目隠しをした頭部が彫られることが多いが別のデザインのものもある。
- ヴィオラ・ディ・ボルドーネ（Viola di Bordone） → 図 H.70
  低音弦のヴィオラ。別称のバリトン（Baryton）のほうがよく使われる。全音階で 1 オクターヴ分 7 本あるいは半音階で 12 本の金属製のドローン弦をもった大型のヴィオラ・ダ・ガンバ属の楽器である。大きさは多様で，標準的なサイズのものは両脚で挟んで保持するが，小型のものでは両ひざの間に立てるものからコントラバスのように床に立てて立って弾くものもある。幅の広いネックの裏側から左手の親指でドローン弦をはじくことができる。標準 6 本の奏弦には第 7 フレットまでガットで巻いた指板があり，コマを経てテイルピースで留められるが，ドローン弦は指板から外れ。コマを経ずに，胴の表板に固定された留め具（ギターのブリッジのような機能をもつ）で直接留められている。
- ヴィオラ・バスタルダ（Viola Bastarda。変則ヴィオラ）
  高度な演奏用の 7 弦のヴィオラ・ダ・ガンバ。曲に応じて調弦されることが多いことから，「変則調弦の」の意味で「変則的」，「変種」という形容詞が付けられている。通常の 6 弦のバスサイズのヴィオラ・ダ・ガンバのカンティーノの上に弦を 1 本追加してある。
- ヴィオル（英：viol，仏：viole） → ヴィオラ・ダ・ガンバ（伊）
- ヴィブラート（vibrato）
  演奏上の技巧で，音高を演奏音高の上下にわずかに揺らして奏すること。歌唱

にもある。ヴィブラートは必然的にそれと同期した音量の揺れを伴うので，音高の揺れと音量の揺れの間に知覚的な連想が成立し，音高を揺らしにくい楽器では，音量を揺らすことによって知覚的な「ヴィブラート効果」を得る場合がある。

ヴィブラートは，16 世紀の Agricola[4] や Ganassi[124] ではまだ音量の揺れと明確に区別されておらず，「感情的に揺らせて弾く」というあいまいなもので，Mersenne[48] が初めて「右手で弾きながら，ネックをもつ左手をヘッド方向・ブリッジ方向へゆらす」というように書いて，トレモロとの区別を明確にしたということになっている（Boyden[45]p.178）。

- ヴェロシティ（velocity）
  1. （物理的な）速度

     物体が動く速さを表す「群速度」（MKS 単位系での群速度の単位は m/s）と，波動の位相が媒質中を伝わる速さを表す「位相速度」(単位は群速度と同じ) がある。どちらも空間での方向をもつので，ベクトル量であるが，進行方向を座標軸に取ることによって大きさだけをもつスカラー量「速さ」として扱うことが多い。

     【注】「速度」と「速さ」の違い。

     「速度（velocity）」は空間的な方向情報を含める。「速さ（speed）」は進行方向の速度の絶対値。
  2. MIDI 用語での演奏音量の大きさ

     鍵盤楽器では打鍵速度が打鍵強度に相当するので，打鍵の強さを表す用語としてこの語が採用された。ただし，ヴェロシティ値は出力音量と比例関係にはなっていない。本来はアナログ量であるが，MIDI 機器では 0〜127 に量子化されて整数値で表現される。この場合，単位はない。

     MIDI では，ヴェロシティ値 0 は無音を意味するが，ノート・オフ（音を止める）の意味ももつ。MIDI 音源によって 1 つの音を出力させるには，基本的には決められたフォーマットでのノートナンバー（音高情報）とヴェロシティ（打鍵速度，音量）値と音価（譜面上での音符の時間長：音符に割り当てられる相対的な時間長）を駆動対象の MIDI 音源へ伝えることが必要である。音符の時間長は，テンポ（1 分間の四分音符の数で指定する。臨時に部分的な変更も可能）と音価から決められるが，実際の出力音の持続時間長を音価の時間長の中のどのくらいの割合にするかは，奏法指定などで修正される（例：レガートなら 100 %，スタッカートなら 50 %程度など）。

- うなり（beat）

音の大きさの比較的ゆっくりした（10 往復／秒程度以下の）連続的な反復変化。周波数の近い 2 つの正弦波を加えると，周波数がその平均周波数で振幅がその差周波数で正弦波的に変化する波になり，可聴域内の周波数を用いて音にして聴くと，差周波数で大きさが周期的に揺れるように聞こえる。高校で習う三角関数の公式を使って，次のように説明できる。

振幅がほとんど同じで周波数が少しだけ異なる正弦波の和は，ω を可聴域，$|\Delta\omega|\ (<<\omega)$，$|\Delta A|<<|A|$，$t=0$ での位相差を ϕ として

$$
\begin{aligned}
&A\sin\omega t + (A+\Delta A)\sin\{(\omega+\Delta\omega)t+\phi\}\\
&= A\sin\omega t + A\sin\{(\omega+\Delta\omega)t+\phi)\} + \Delta A\sin\{(\omega+\Delta\omega)t+\phi\}\\
&\approx A[\sin\omega t + \sin\{(\omega+\Delta\omega)t+\phi\}] \qquad (|\Delta A|<<|A|)\\
&= 2A\sin\left(\frac{(2\omega+\Delta\omega)t+\phi}{2}\right)\cos\frac{-(\Delta\omega t+\phi)}{2}\\
&= 2A\sin\left[\left(\omega+\frac{\Delta\omega}{2}\right)t+\frac{\phi}{2}\right]\cos\frac{\Delta\omega t+\phi}{2}\\
&= 2A\cos\left(\frac{\Delta\omega}{2}t+\frac{\phi}{2}\right)\sin\left[\left(\omega+\frac{\Delta\omega}{2}\right)t+\frac{\phi}{2}\right] \qquad \text{(付.162)}
\end{aligned}
$$

振幅が ΔA の項は 2 つの波の大きさの差による残存（節部でも振幅が 0 にならないで残る）項で大きさの差が振幅に比べて小さければ無視できる。知覚的には振幅変動がわかるだけで，節部で 0 まで落ちるかどうかは気にならない。

cos の項は角周波数 $\frac{\Delta\omega}{2}$ のゆっくりした変動でこれが振幅包絡を決めるが，振幅変動は 1 周期に 2 度最大になるので大きさの変化は cos 項の周波数の 2 倍の速さで聞こえ，うなりの角周波数は $\Delta\omega$ になる。テルミンの場合はこのうなりがピッチとして聞こえる。sin の項がその中での速い振動（ω が可聴域ならピッチに対応）を表すが，テルミンの場合，その角周波数 $\omega+\frac{\Delta\omega}{2}$ は ω と $\omega+\Delta\omega$ の平均値であり，可聴域を超えるので音としては聞こえない。位相のずれ $\frac{\phi}{2}$ は知覚されない。

もし，ω が可聴域内の周波数で，$|\Delta\omega|<<\omega$ なら，高さは $\omega+\frac{\Delta\omega}{2}\approx\omega$ で，振幅が $\Delta\omega$ で変わる「うなり」が聞こえる。

もし，元の正弦波の角周波数 ω が可聴域の上限よりも高く，2 本の正弦波の周波数の差 $\Delta\omega$ が可聴域内なら，cos 項による振幅変化の速さが音の高さとして聞こえる。これが付録 E.5.2 項 (1) で説明したテルミンやオンド・マルトノの音の高さである。cos 項の $\frac{\phi}{2}$ はあってもなくても知覚上はわからない。**図 I.2** に，同一振幅の 20 Hz と 22 Hz の正弦波の加算によるうなり 2 秒間の波形を示す。

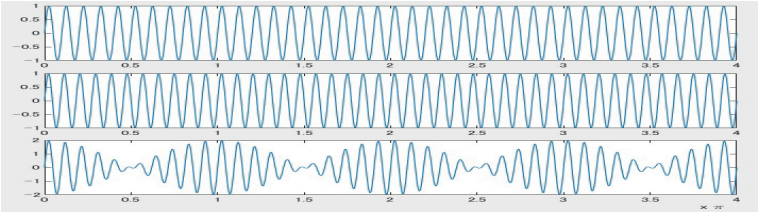


図 I.2　Beat（うなり）波形の例　同一振幅の 20Hz と 22Hz の正弦波 (位相差は 0) の加算によるうなり。
上：20 Hz, 中：22 Hz, 下：加算（目盛りは 2 倍）
2 秒間の波形を示す。振幅包絡の揺れは cos で 2 周期であるが，音の強弱の揺れは 4 回に聞こえる。本来の周波数は 2 つの正弦波の平均周波数で，この図の場合は 21 Hz になっている。同一振幅の波の加算（上の式で $\Delta A = 0$）の場合は，振幅包絡（上の式で cos の値）は 0 にまで落ちる。図では $\phi = 0$。

- ウルフキラー（wolf killer）　→ ウルフトーン
  擦弦楽器などにおいてウルフトーンが発生しないように，楽器の演奏に差支えのない部分（弦の駒よりテールピース側など）に重量のあるものを装着して，楽器の共振周波数を下げる器具（**図 I.3**）。



図 I.3　ウルフキラー
左：ウルフキラー単品
右：チェロの D 線に装着されたもの
楽器は Carlo Antonio Testore 1756 年作の “ex-Donald Moline”
（古楽器競売業 “Tarisio” の HP より）

- ウルフトーン（wolf tone）
  おもにチェロの F#3 付近（約 176Hz）に生じる演奏音高と胴の共振周波数の一致に起因する，奏者にとっては不本意な「弦の振動と胴の固有振動の間のエネルギーの反復転移」によって生じるトレモロに似た音の速い震え。これによって演奏（運弓の制御）は困難になる。　→ ウルフキラー
- エアーリード楽器（air-reed wind instrument）
  楽器自体はリードをもたず，エッジに息を平らにして吹きかけることによって，空気流がリードの機能を果たすようにする楽器。リコーダーやオカリーナのように，空気流を整形する気道を備えた楽器もある。管の指孔は，どこかの孔か

ら先の孔をすべて開けると，原理的には管がそこで切れている（端になっている）ように機能する。

- エトヴェシュ（Eötvös Péter，1944-） → 図 E.103 左
  ハンガリア語なので，エトヴェシュが姓。20 歳になる前から作曲活動を始めたようで，Expo'70 の前後の期間にはシュトックハウゼンと行動を共にしていたが，1979~91 年にはブーレーズの後任として IRCAM のアンサンブル・アンテルコンタンポラン（Ensemble Intercontemporain）の監督・指揮を務め，その後はケルン音大やカールスルーエ音大の教授を歴任し，多様な形態の楽団の指揮者を務めながら，作曲活動を続けている，作風はハンガリーの民族音楽にシュトックハウゼンの電気音響技術とフランス音楽の洒脱さを加えたような不思議な雰囲気をもつ。
- エンヴェロープジェネレータ（envelope generator）
  包絡生成器。電圧制御型の音合成器などで，発振器の出力振幅の時間包絡を電圧によって制御するための信号を発生するもの。
- オクターヴ（0ctave）
  8 度（完全 8 度。注：【ラテン語】octō=8）。周波数の比が 2 になる音程。
- オクターヴ回帰性（octave regression, octave recursiveness）
  周波数が 2 倍になると音はもとの音と似た感じの高さに戻ること。
- オーケストレーション（orchestration）→ インストゥルメンテーション
- オーバーハング（over-hang）
  張り出し。ヴァイオリン属で表板や裏板の縁が横板より外側へ少し張り出している形状。ヴィオラ・ダ・ガンバ属にはこの張り出しがほとんどない。
- オーバーハンド（over-hand） ⇔アンダーハンド
  擦弦楽器の弓の持ち方の 1 つ。ヴァイオリン属の弓の持ち方。掌を下に向けて持つ。親指を木部の下側のフロッグの前端の木部との境界付近に置き，他の 4 指は親指に対向する木部の上側で，親指の前後にバランスよく配置する。
- オーバーブロウイング（over-blowing）
  フルートやクラリネットなどで，通常吹奏の場合よりも呼気の流速を上げることによって，管内の気柱の振動モードを上げて，同じ指使いで 8 度（開管の場合）あるいは 12 度（閉管の場合）上の音を出すこと。
  【注】一般語としては「吹き過ぎ」（呼気の量あるいは圧が適正値よりも大きすぎること）の意味で使われるので注意を要する。
- 折り返し（fold-over）→ 標本化定理
  アナログ（連続）信号を標本化する場合に，その標本化速度（サンプリングレー

ト）を f_s samples/s としたとき，当該信号がその半分 $\frac{f_s}{2}$ 以上の周波数成分を含む（アンダーサプリングの状態）場合に，$\frac{f_s}{2}$ 以上の成分が $\frac{f_s}{2}$ を単位周波数間隔として周期鏡像的に $\frac{f_s}{2}$ 以下の領域に折り返されて，折り返し誤差（fold-over. 別名誤差:aliasing error とも）として入り込む現象。

それを避けるためには，$\frac{f_s}{2}$ 以上の成分を含む可能性がある場合には，それを落としておくようにアンチエイリアスフィルタ（折り返し防止用の低域通過フィルタ）を通しておく必要がある。**図 I.4** に，$\frac{f_s}{2}$ 以上の成分を含む場合（標本化速度が遅すぎるアンダーサンプリングの状態）に観測される周波数スペクトルでは，本来のスペクトル成分に折り返し分が加算されて見える状況を示す。

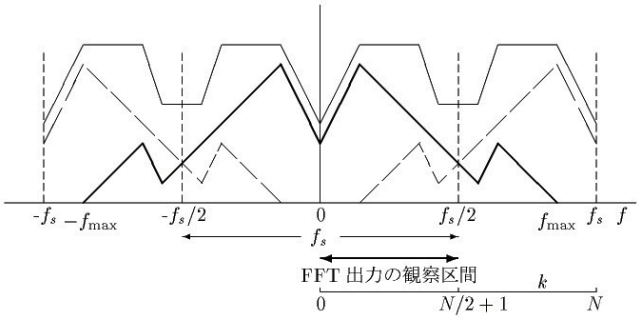


図 I.4　アンダーサンプリングの場合に観測される周波数スペクトルの例
太い実線：分析対象とする仮想信号の真のスペクトル
細い破線：標本化に起因する折り返し成分（誤差）
細い実線：見かけ上の（観測される）スペクトル
表示される部分：$0 \le f \le \frac{f_s}{2}$ の細い実線のみ

- オルケスタ・ティピカ（orquesta típica）
英語で書くなら “Typical Orchestra”。タンゴを演奏するための標準編成楽団。ビオリン（英：ヴァイオリン）3〜5，バンドネオン 3〜5，ピアノとコントラバホ（英：コントラバス）各 1。現在，最も標準的には 4+4+1+1 で 10 人。これにヴィオラやチェロが加わることもある。それよりも大きな編成はグラン・オルケスタと呼ぶ場合がある。1950 年代からモレス（Mariano Mores:Pf, 1918-2016）が Gran Orquesta Lírica Popular（グラン・オルケスタ・リリカ・ポプラール：ポピュラーな叙情的大オーケストラ）と称して，バンドネオンを 1 台だけ残し，木管楽器と打楽器を入れて弦を増やした編成の楽団を作り，ピアソラとは違った方向の編曲・演奏をしたが，タンゴの味は薄まり，普通のポ

ピュラー音楽のような演奏になった。（タンゴから離れて行ったという意味ではモレスはピアソラよりもラディカルであったと言える。）1970 年ころ以降，ベリンジェーリ（Osvaldo Berlingieri:Pf, 1928-2015）などがフルートや打楽器，場合によってはサックスまで入れたりして実験的なタンゴ（Music Hall 13187 など）を始めたが，成功しているとは思えない。

小さい編成はコンフント・メノール（conjunto menor，略して「**コンフント**」とも）と呼ばれることが多い[126)p.183]が，1930 年代ころまでは 2+2+1+1 の 6 人の標準 6 重奏（Sexteto Típico）[126)p.81] でもオルケタ・ティピカと名乗った例がある[127)p.77]。逆に，9 人でも “Conjunto 9(Nueve)” と称した「小編成楽団」もある。通常，3 部形式の曲の定型演奏として，最後にバンドネオンによる変奏（バリアシオン：variación）† が置かれることが多い。

- 音韻（phoneme）
  広義の phoneme は，音素にその prosodic feature（韻律特性）を加味したものを指す。言語音に関する音響的要素のうち，音素（主として口腔形状で制御される）のほかに高低，強弱など咽頭の制御に関わる要素（撥音，促音など）や分節（言語音の音素単位の区切り）を越えた超分節的な要素（拗音など）も含む。狭義の phoneme は「**音素**」と訳され，言語に生じる単音を語の意味への関与を基準に抽象化して得られる音声の基本単位 (これが変わると文字で表す場合に別の文字を使うことになるという性質をもつ音声の音響的特徴の単位要素)。子音や母音に該当する**分節音素**とアクセントなどの**超分節音素**に下位分類される。
- 音階（musical scale）
  音楽に使う高さの組織。通常，1 オクターヴ内の音の高さで決める。西洋古典音楽では 1 オクターヴに 7 つの音を調固有音として使う「7 音音階」が一般的。そのほかに 5 音音階，12 音音階などがある。
- 「音楽大全」（“Syntagma Musicum”）
  1618-20 年にドイツのオルガニスト・作曲家・理論家 Michael Praetorius（現代記法では Prätorius）が書いた音楽百科辞典的な書物【付録 H.2 節参照】。Fraktur 体を使って中世ドイツ語で書かれている。その第 II 巻 “De Organographia” 「(楽器）機構学」の付録 “Sciagraphia” 「スケッチ集」に当時の楽器の詳細な絵が縮尺入りで描かれており，ごく一部を除いて絵の信頼性が高く，きわめて重要。全巻の英訳抜粋が Oxford 大学から出版されている。

† バンドネオン用として 16 分音符で 16 小節であることが多い。奏者の腕の見せ所になる。編曲者が書くことが多いが，奏者自身が書いたり，作曲者が最初から書いておくこともある。

- 音高（pitch）
  音高には**音色的高さ**（tone height）と**クロマ的高さ** (tone chroma) がある。音色的高さは小さな石が転がったり当たったりする音は高く，大きな岩が転がったり何かに当たったりする音は低いという高低感で，日本語の擬音で表す場合，音色的に高い音は清音（「コロコロ」,「カタカタ」,「コツン」など）で，低い音は濁音（「ゴロゴロ」,「ガタガタ」,「ゴツン」など）で表すことが多い。音色的高さは，スペクトル重心の周波数軸上での位置に関係する。

  これに対してクロマ的高さは，ピアノなどの鍵盤で右側の音は左側の音よりも高いという高低感で，**オクターヴ循環性**（基本周波数が 2 倍になると元の高さに戻ったような感じ）がある。クロマ的高さは音の波形が同一の（あるいは少なくとも非常によく似た）波形の繰り返しである場合の繰り返しの時間間隔，あるいは周波数スペクトルが調波構造をもつ場合の成分間間隔が関係する。

  生理学的には，音色的高さは基底膜上の先端からどれだけ離れた位置の神経細胞（有毛細胞）の発火が多いかに対応し，クロマ的高さは神経細胞の発火の頻度に対応する。このため，音色的高さは**場所ピッチ**，クロマ的高さは**時間ピッチ**あるいは**周期性ピッチ**などとも呼ばれる。

  音楽で「音高」という場合は，ほぼクロマ的高さを指す。クロマ的高さは，音名（例：中央 C，C_4 など）で表したり，特定の音高からの音程（基音から完全 5 度上など）や，周波数で表したりする。ある音を基準にして，そこからの音程で表すこともある。例えば，根音からみて「5 度高い音」など。
- 音節（syllable）→ 参）モーラ
  複数の音素が密接に結合して構成される音声上の単位。通常，母音など聞こえの大きな言語音が音節の核をなし，その前後に聞こえの小さな子音が配される構造をとる。可能な音節の構造は言語によって異なる。日本語の音節構造は単位が「モーラ」となり，母音を V，子音を C，モーラ音素（撥音/N/[ン], 促音/Q/[ッ], 引き音/ー/[長母音の 2 拍目] ）を M として，V, M, CV, CCV（ 重複した C の 2 番目の C は kya などの拗音音素 y）に限られる。
- 音素（phoneme）
  語の音響的な構成要素で，語の意味を区別するための音韻の最小単位。分節音素（segmental phoneme）とも。日本語の音素には子音音素と母音音素の他に，超分節音素がある。これはピッチの高低や音量の増減など，咽頭の制御に関わるものが多い。日本語の高低アクセントや英語などのストレス・アクセントがこれに対応する。多くの言語では正書法として音素の記述法は決まっているが，超分節音素については記法が決まっていないことが多い。

→ 狭義の「音韻」(phoneme)

- 音速 (sound velocity)
  媒質中を進む縦波の進行方向の位相速度。媒質が常温 1 気圧の大気なら約 340 m/s，水なら約 1500 m/s。
- 音程 (musical interval)
  クロマ的高さを感じさせる 2 音間の高さの差あるいは基本周波数の比。音楽理論用の表現法として**音度表記**（**度数**表記とも。完全 5 度，長 2 度，短 3 度など）がある。度数は基準とする音高から白鍵の数で数えて対象音が何番目に相当するかで表す。したがって，同音の音程は 1 度，ドとソ（主音と属音）の音程は 5 度，1 オクターヴは 8 度となる。ファは上のドから見ると 5 度下になるが，下のドからは 4 度上である。隣接する 2 つの白鍵の間の音程は 2 度であるが，間に黒鍵がある場合は**長** 2 度（全音），ない場合は**短** 2 度（半音）となる。

  3 度にも，長 2 度を 2 つ重ねた長 3 度と，長 2 度と短 2 度を積み重ねた短 3 度がある，6 度，7 度にも長短の音程がある。1 度，4 度，5 度，8 度にはこのような長短はないので**完全音程**と呼ばれ，それぞれ一意的であるが，前に「完全」を付けることが多い。完全音程および長音程よりも半音広い音程は**増音程**，完全音程および短音程よりも半音狭い音程は**減音程**と呼ばれる。ドからファ♯あるいはソ♭までは全音で 3 つの音程なので **3 全音**と呼ばれるが，これは平均律では増 4 度あるいは減 5 度と呼んでもよい。3 全音は協和性が悪い。

  ドとレの間，およびレとミの間の音程はどちらも長 2 度であるが，純正律の長調では，ドとレの周波数比は 8:9，レとミの周波数比は 9:10 で，ドとレの音程は**広い長 2 度**，レとミの音程は**狭い長 2 度**である。平均律ではこのようなことは起きず，長 2 度の周波数比はどこをとっても $1{:}2^{\frac{2}{12}}$ である。細かい議論をする場合は，平均律の半音を 100 セントとして表す。

  【注】「音程」を「音高」の意味で使う間違いが非常に多いので注意。
- 音名 (note name)
  音楽で使うように設定した音の高さの名前。ピアノの白鍵に対して，ハ長調の主音から上へ，日本ではハニホヘトイロ，ドイツ式は C（ツェー） D（デー） E（エー） F（エフ） G（ゲー） A（アー） H（ハー），アメリカ式は CDEFGAB，イタリア式（固定「ド」）は do,re,mi,fa,sol,la,si と名付けている。黒鍵については半音上を#，半音下を♭で表す。ドイツ式の場合，H♭ を B と書く。オクターヴ位置を明示する必要がある場合は，その番号を右に添える。オクターヴ番号は C から始まって H(アメリカ式では B) までに同一番号をつける。88 鍵のピアノの最低音は A_0，最高音は C_8，中央の C は C_4。
- オンライン楽器博物館 →MIMO

- 音律（temperament）
  1 オクターヴ内の音の周波数比の設定。代表的なものとして，ピタゴラス音律，純正律，平均律，キルンベルガー音律，ヴェルクマイスター音律などがある。
- 音列（serie）→　セリー

か

- 階名（scale name）
  オクターヴ内の各音に対する名称。長調の主音の階名をドとし，長音階の 1 オクターヴの階名はドレミファソラシドで，その隣接階名音間の音程は，平均律では半音単位で 2212221 である。短調の主音の階名はラで，1 オクターヴの階名はラシドレミファソラとなる。
- 可聴域（audible range）
  ヒトあるいは対象にしている動物にとっての聴覚で音として感じ取ることができる振動の周波数範囲。可聴周波数領域とも。健聴者の場合，ほぼ 20 Hz〜20 kHz。
- 可聴音（audible sound）
  可聴域内の音。
- ガット弦（【英】gut string,【独】Darmsaite,【伊】minugia）
  子羊などの小腸をアルカリ溶液で精製し，引っ張ってより合わせた弦を，さらに何本かより合わせて作った弦。「羊腸弦」とも。
- 管楽器（wind instruments）
  木管楽器（woodwind instruments）と金管楽器（brasswind instruments）を合わせた総称。気鳴楽器の中で形状が管型のものを指す。
- 完全音程（perfect interval）
  よく協和する（高調波の重なりが多い）音程で，1 度（同度），8 度（オクターヴ），5 度（ドからソの音程），4 度（ドからファの音程）で，これらは「完全」をつけなくてもあいまいさはない。
- カンタレーラ（cantarela）→ シャントレル（のスペイン語）【ギター用語】
- カンティーノ（cantino）→ シャントレル（のイタリア語）
- カントン（quinton）
  「5 弦の楽器」あるいは「5 度調弦の楽器」というような暗義をもった名称の楽器で，ヴァイオリンが発祥してからほぼ 2 世紀後（したがって，ヴィオラ・ダ・ガンバもまだ使われていた時期）にフランスで一時的に流行したヴィオラ・ダ・ガンバ属とヴァイオリン属の中間的な楽器（**図 I.5**）で，調弦は標準的には



図 I.5 カントン (ヴァイオリンとヴィオラ・ダ・ガンバ折衷型 (1825 年)

下から G2-D3-A3-D4-G4 で，下 3 弦間が 5 度音程（ヴァイオリンの下 3 本を 1 オクターヴ下げた高さ），上の 3 本は 4 度音程（ギターの第 5，4，3 弦を 1 オクターヴ上げた高さ）とされ，5 度調弦と 4 度調弦の混用になっている。他の調弦法もあったようであり，外見もほぼヴァイオリンに近い（コーナーが鋭角で響孔は f 字でヘッドはスクロール）ものと，ヴィオラ・ダ・ガンバに近い（コーナーが鈍角で響孔は火炎型でヘッドに彫刻）ものがある。

ヴァイオリンに近いものでもオーバーハング（表板と裏板の横板からの張り出し）は少なく，パーフリング（表板の縁に沿った細い嵌め込み）がないか，線を描いただけ。ネックの付け根付近のボディ形状はヴィオラ・ダ・ガンバの形を引き継いで「なで肩」で，ネックにフレットは巻かれていない。音域は現在のチェロとヴィオラのちょうど中間である。

- キタラー（古ギ：$\kappa\iota\theta\alpha\rho\bar{\alpha}$, 【ラ】cithăra）
  古代ギリシャの撥弦楽器。リラの一種で。胴から出た 2 本の腕木の間の横木との間に通常 7 本の弦が張られている。後のツィター，シターン，キタローネ，ギターン，ギターなどの撥弦楽器の共通の語源である。ラテン語辞書の cithăra の項には，zither, lyre, lute と書いてある。これらはキタラーをルーツにもつ楽器群である。イタリア語でギターは「キターラ（chitarra）」。
- 機能和声（functional harmony）
  調性音楽の和声を，音階の各音度上の「3 度の積み重ねによる和音」の「機能」（和音進行の中での働き）の観点から説明すること，また，そのような説明を適用できる調性音楽の和声。

  「3 度の積み重ねによる和音」とは，ある音から上に長 3 度，短 3 度の積み重ねで構成される三和音（例えばドミソ，ソシレ，ファラド）あるいは，ある音から上に短 3 度，長 3 度の積み重ねで構成される三和音（例えば，ラドミ，

ミソシ，レファラ）で，その機能名はそれぞれの旋法・調における主音，属音，下属音の上の三和音の名称を流用して，主和音，属和音，下属和音と名付け，それぞれをそのイニシアル T/D/S で表す。それ以外の音の上に立つ 3 度堆積の和音も，主和音，属和音，下属和音との，転回和音（オクターヴ等価性に基づいて和音の中の低い音を 1 オクターヴ上の音に順次置き換えた和音）も含めて考えた場合の共通音の多さによって，T/D/S のどれかの機能をもつとする。

和音進行は T の出現ごとに区切られる T, D, S を組み合わせた部分的なシーケンスの連鎖で表現され，ある特定の形が出現するとそこで曲が一段落した感じを与えたり，そこで曲は終わらず，後ろに何か続かないと落ち着かないなどの印象を与える。このように，多様な構成の和音の機能に基づいて，和音進行の滑らかさや面白さ・新鮮さ並びに解決感（終止感）／未解決感（緊張感）を説明する。長調と短調を共通の規則で統一的に扱うことができるという点が，機能和声の大きな長所であると言える。

- 記譜法（notation）
  音楽の表記法。現在では通常，五線記譜法（表記されたものは「五線譜」）が使われる。初期のネウマ譜（単旋律の歌曲用のもので，旋律の動きを視覚的に示したもの）は音価を表す手段をもたず，音高の相対変化だけを表記した。特定の楽器に特化したタブラチャーは，基本的には音高を表す記号とリズム記号から構成される。例えば，リュート用のタブラチャーで音高を表す場合には，6 コースの弦を表す 6 本の水平線上に押さえるべきフレットをアルファベット（フランス）あるいは数字（イタリア）で表した。シャントレル（第 1 弦）をフランスでは最上段に，イタリア式では演奏の際にシャントレルが下になるのに整合させて最下段とした[23)]。タブラチャー的な記譜法は，現在でもギターの初心者用のタブ譜として残存する。

  タブラチャーは古来，楽器を弾く場合の音高の取り方を表す方法として発展してきたが，記譜法はどの楽器にも，また歌唱にも共通に使えるように改良されて，現在の五線記譜法になった。ギリシャ時代には，音高は文字で表した【例：セイキロスの墓碑銘】が，音価を表す手段がなかった。現代曲では記譜に関する工夫が見られ，横軸を時間，縦軸を周波数とした周波数スペクトログラムのような記譜法もある。【例：湯浅譲二の「白色ノイズのための Projection Esemplastic」など】
- 基本周波数（fundamental frequency）
  調波構造をもつ周波数スペクトルを構成する各成分の周波数の最大公約数。基本波があれば，その周波数。通常，F_0 あるいは f_0 で表記される。

- 球面波（spherical wave）
  波面が球面になる波。呼吸球のようなソースから一様な空間へ 3 次元的に均一に放射される波。
- 境界条件（boundary conditions）
  微分方程式の解を求める際に，解が満たすべき場所条件で，例えば両端固定の弦の振動であれば，両端で常に変位がゼロ，円形膜の振動であれば，周囲で常に変位がゼロというような条件。
- 響孔（sound hole）
  共鳴胴（あるいは箱）にあけられた孔。ギターでは表板の中央に丸くあけられている。リュートやウードでも表板の中央に丸くあけられるが装飾が施され，ローズ（バラ）あるいはロゼッタと呼ばれる。ヴァイオリンでは左に f 型，右にはその対称形の孔が空いており，f 孔（エフこう）と呼ばれる。ヴィオラ・ダ・ガンバは右に”C”の形，左にその対称形の孔が空けられており，C 孔と呼ばれている。これらの響孔はヘルムホルツ共振器の開口として機能する。
- 共振（resonance，共鳴とも）
  物体が，外部から振動（音を含む）を受けたとき，自然に振動し始める現象。物体そのものの大きさ・形・重さ・固さなどによる場合（ボディ共振）と，物体が囲む空間の容積や形による場合（空洞共振）がある。
- 共振周波数（resonance frequency，共鳴周波数とも）
  共振（共鳴）が起きる周波数。弦であれば，開放弦や押弦の高さに対応する周波数およびその整数倍の周波数で共鳴する。気柱であれば，開管（両端が開いている管）なら基本共振の整数倍の周波数，閉管（一方の端が開，他端が閉の管）なら基本共振の奇数倍の周波数で共振が起きる。ただし，リップリード楽器は閉管であるが，管の円錐化やベルの付加あるいはマウスピースの形状などを調整することによって，基本共振の整数倍に近い周波数で共振が起きるようにしたものがある。直方体の空箱は，原理的には音速をその 3 サイズ（縦，横，高さ）の 2 倍で割ったそれぞれの値およびその整数倍の周波数で共鳴する。
- 強単調（strong monotonicity，strongly monotone）
  関数 $f(x)$（$x \in \mathcal{X}$）が任意の $x_1 < x_2$（$x_1, x_2 \in \mathcal{X}$）に対して $f(x_1) < f(x_2)$ であるとき，$f(x)$ は強単調増加（strongly monotonic increase），$f(x_1) > f(x_2)$ であるとき，$f(x)$ は強単調減少（strongly monotonic decrease）であるという。これらを併せて強単調（strong monotonicity）という。単なる単調性（monotonicity）は，上記で関数値の大小関係を等号まで含めて緩める場合を指す。

- 響板（sound board）
  弦鳴楽器などで空気の疎密波を起こしやすくするための板。グランドピアノの場合は，鋳鉄で作られたフレームの下に水平に置かれ，ショートブリッジ（低音域弦用）とロングブリッジ（中高音域弦用）を介して伝えられてきた弦の振動を効率的に空気振動に変える役目を担う。ギターやヴァイオリン，箏などでは表板が響板になる。
- 共鳴（resonance） → 共振
- 共鳴周波数（resonance frequency） → 共振周波数
- 協和（consonance）
  俗に言う「ハモる（harmonize の日本語読みを短縮して動詞化した造語）」こと。音響的には，基本周波数が簡単な整数比になっている（すなわち，高調波の重複が多い）2 音は協和性が高い。3 つの音で，高調波の重なりが多いものが三和音で，基本周波数の周波数比が 4:5:6 になる 3 音の組が長三和音，10:12:15 になるのが短三和音である。
- クアルティーノ（quartino）
  同族楽器の中で，通常のサイズよりも小型の楽器を指すイタリア語。マンドリンやトランペットなどで，よく使われる。音域が通常サイズのものよりも 4 度高くなるものが多いのでこの名がある。音域が 4 度低いものを指す場合もあり，4 度下は 5 度上と，また 4 度上は 5 度下と音名が同じなので，クアルティーノで 5 度高い楽器や 5 度低い楽器を指すこともある。5 度楽器はクインティーノ（quintino）と呼べばいいはずであるが，なぜかそうは呼ばないようである。
  スペイン語では「5 度上げる（動詞）」が requintar（レキンタール）で，対応する名詞は直説法現在 1 人称単数形を流用するというルールから requinto(レキント) が通常のギターよりも音域が 5 度高い楽器を指す。イタリア語とは逆に，スペイン語では四重奏をクアルテート（cuarteto）とはいうが，4 度楽器を指すはずの cuartino（クアルティーノ）というような単語はないようである。その理由は，スペイン語では cuarto が「(四隅のある）部屋」を表し，それにスペイン語の縮小辞を付けると cuartito（小部屋）になるが，ちょっと気取ってイタリア語の縮小辞を付けると cuartino になるので，その混同を避けるためであろうと考えられる。ドイツ語ではイタリア語の綴りをほぼそのまま流用してクヴィンターと読んでいる。
- クルック（crook）
  金管楽器の管長を変えるために使われた替え管。金管楽器（リップリード楽器）は管の長さによって出せる音高がその最低音の自然倍音の高さに限定されてし

まうので，自然倍音列から外れた音高を出すには管の長さを変えなければならない。16〜17 世紀には，管をスライドさせて管の長さを変えられるサックバット（トロンボーンの前身楽器）などはあったが，ホルンやトランペットなどでは管長を変えるのに管の一部を差し替えるようにしていた。マウスピースと本体との間を差し替えるものと管の途中を差し替えるものがあった。その湾曲部を差し替える管がクルック（替え管，原意：曲がったもの）と呼ばれる。

- 群速度（group velocity）** → 参考：位相速度
  擾乱に関わるエネルギーの伝搬速度で，例えば 2 つの波が重なったときにできる合成波の山が進行する速度。

  分散性（伝搬速度が方向によって異なる。したがって，角周波数 ω が波数 k の関数 $\omega(k)$ になる）の媒質中で，波数が近い 2 つの波 $h_1(x,t) = \sin(\omega(k)t - kx)$ と $h_2(x,t) = \sin(\omega(k+\Delta k)t - (k+\Delta k)x)$ が重なって，$h(x,t) = h_1(x,t) + h_2(x,t)$ になったとすると

  $$\begin{aligned} & h(x,t) \\ &= \sin(\omega(k)t - kx) + \sin(\omega(k+\Delta k)t - (k+\Delta k)x) \\ &= 2\sin\frac{(\omega(k) + \omega(k+\Delta k)t - (2k+\Delta k)x}{2}\ \cos\frac{\{\omega(k) - \omega(k+\Delta k\}t + \Delta k\, x}{2} \end{aligned}$$

  ここで，$|\Delta k| << |k|$ の時は $\omega(k+\Delta k) \approx \omega(k) + \Delta k\dfrac{d\omega(k)}{dk}$ であることを考えると，$h(x,t)$ は次のようになる。

  $$\begin{aligned} & h(x,t) \\ &\approx 2\sin\{\omega(k)t - kx\}\ \cos\left\{\left(-\frac{d\omega(k)}{dk}t + x\right)\frac{\Delta k}{2}\right\} \\ &= 2\cos\left\{\left(\frac{d\omega(k)}{dk}t - x\right)\frac{\Delta k}{2}\right\}\ \sin\{\omega(k)t - kx\} \end{aligned} \qquad \text{(付.163)}$$

  この式で t を固定して $h(x,t_0)$ を x の関数とし，$|\Delta k| << |k|$ の時を考えると，sin の項は速い振動を，cos の項はその包絡がゆっくり波打つことを表している。群速度 v_g は波のかたまりの移動速度で，cos の項が単位時間に進むのと等価な x の長さがこれに対応するので，cos の項の位相が，$t = 0$ と $t = 1$ とおいたときに 0 になるときの x の値の差，あるいは位相の時間微分，として求まり，$v_g = \dfrac{d\omega(k)}{dk}$ となる。
- 形態素（morpheme）
  言語における意味を担う最小の単位。語を構成する基本意義要素。基本語，接頭語，接尾語などで，派生語や造語を作り出す要素。日本語では，助詞，助動詞も形態素。
- 減音程（diminished interval）⇔ 増音程，1.4.4 項のコーヒーブレイク
  完全音程あるいは短音程よりも半音 1 つ狭い音程。

- 弦楽器（string instruments）
  弦鳴楽器と一致するはずであるが，一般常識としては，鍵盤をもつ弦楽器（ピアノなど）は弦楽器と言うよりも鍵盤楽器に入れる人が多いと考えられる。したがって，一般的な感覚としては，弦楽器は弦鳴楽器の内，ネックをもつものと，ハープやリラなど，鍵盤をもたない弦鳴楽器を指すことが多いように思われる。ただし，押弦のためのキーをもった大正琴とかニッケルハルパやコードツィター（鍵盤付きのカーヌーン。商品名は「オートハープ」）などは鍵盤状のものをもってはいるが，ピアノの鍵盤のようにカッチリしたものではないためか，あるいは弦を直接操作するためか鍵盤楽器とは認識されておらず，弦楽器のイメージが強い。
- 高調波（harmonics，harmonic components）
  周波数スペクトルが調波構造になっている音の各成分。倍音（overtone, harmonic tone）あるいは調波成分とも。周波数スペクトル上の成分を指す他に，そのスペクトル成分に対応する時間領域での信号波形を指すこともある。
  周波数スペクトルが調波構造になっていない場合のスペクトル成分は，高調波とは言わない。単に「スペクトル成分」としかいえない。
- 五音音階（pentatonic scale）
  1 オクターヴに 5 つの音をもつ音階で，全音階的五音音階，半音的五音音階などがある。全音階的五音音階は，3 つの全音と 2 つの短 3 度で作られ，典型的には C, D, E, G, A で，日本の雅楽の呂旋法は俗称として四七（よな）抜き音階（ハ長調の主音から見て 4 度音と 7 度音がない音階）とも呼ばれるが，これは全音階的五音音階の一種である。ピアノの黒鍵だけを採っても，相対的にはこの音程関係になる。大部分の五音音階はこれになる。半音的五音音階は 5 か所ある隣接 2 音のどれか 1 箇所（通常は長 3 度音程に隣接させる）が半音となっている五音音階。
- 5 度円（circle of fifth，「5 度圏」とも）
  ある音から上方または下方に完全 5 度ずつとっていくと，途中で異名同音を含みながら 12 音すべてを一巡する（**図 I.6**）。5 度円はこれを円形に書き表したもの。音高を調名と考えれば，5 度円上で隣接する調はオクターヴ内の半音の位置が一カ所だけ異なる。# は元の調のファを半音上げ，♭は元の調のシを半音下げる。調記号で，# が 1 つ増えると右回りに 1 つ進んだ調，♭が 1 つ増えると左回りに 1 つ進んだ調になる。
  外周は長調，内周は短調を表す。ある調（原調とする）から見てその円周上で 1 つ右が属調，1 つ左が下属調，同一半径上に平行調が並ぶ，原調から見て

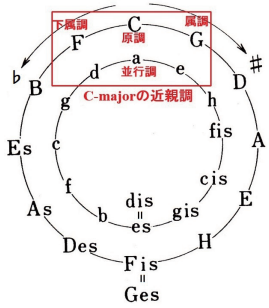


図 I.6　5 度円
（音名はドイツ式：B=H♭）
-is：嬰（♯），-es,-s：変（♭）
異名同音（例：Fis=Ges, cis=des）

左右と，平行調の左右までが**近親調** (related keys) と呼ばれ，調性音楽では無理のない転調先になり得る。

- 5 度調弦（tuning in fifth）
  ネックをもつ弦楽器に関する調弦法の 1 つ。隣接弦間の音程が完全 5 度である調弦。ヴァイオリン属，マンドリン属は 5 度調弦である。弦あるいはコースの数が少ない場合にこの調弦法を採ることが多い。ヴァイオリン属では，ヴァイオリンが G3, D4, A4, E5, ヴィオラが C3, G3, D4, A4, チェロは C2, G2, D3, A3, マンドリン属はヴァイオリン属と同じで，マンドリン（伊：マンドリーノ）がヴァイオリン（伊：ヴィオリーノ）に，マンドーラがヴィオラに，マンドロンチェロがヴィオロンチェロに対応する。
- 駒（こま）（bridge，伊：ponticello）
  弦鳴楽器の弦と響板あるいは表板の間に立て，弦が振動しても響板や表板あるいは指板やフレットに触れないようにするとともに，弦の振動を響板あるいは表板などに伝える部品。通常木製で，ギターの場合は，弦が横ずれしないように，駒と弦の間にサドルと呼ばれる棒状の枕のようなものを挟む。ヴァイオリンなどの場合は，駒の上部に弦を置く小さな切込みを入れて弦の横ずれを防止する。ギターではブリッジを表板に接着剤で固定するが，ヴァイオリン属のコマは立てるだけでニカワなどの接着剤は使わない。ピアノでは低音側の少数の弦のための短い駒と中高音側の多数の弦のための長い駒に分けられている。箏の場合は琴柱（ことじ）と呼ばれて各弦ごとに独立に立てられ，位置を調整することによって調弦にも用いられる。
- 固有周波数（characteristic frequency）
  固有振動の周波数。モードによって一般には周波数が異なるが，同一周波数になることをモードの**縮退**という。

- 固有振動（characteristic vibration）
  対象とする系の自由振動。通常，複数の振動姿態（モード）がある。
- コンヴォリューション（convolution）**
  日本語では「畳み込み積分」。2 つの時間関数 $x(t)$ と $h(t)$ のコンヴォリューション $y(t)$ は可換な（前後の順序を入れ替えても構わない）演算記号「$\otimes$」を用いて $y(t) = x(t) \otimes h(t) (\equiv h(t) \otimes x(t))$ と書かれるが，$t \le 0$ で $h(t) = 0$ の場合，具体的には次式で定義される。

$$y(t) \stackrel{\text{def}}{=} \int_0^t x(t-\tau)\, h(\tau) d\tau \qquad \text{(付.164)}$$

  物理現象と対応させるなら，インパルス応答が $h(t)$ で表される回路 $\mathcal{H}$ に信号波形 $x(t)$ が入力された場合の出力信号が $y(t)$ で表される。回路 $\mathcal{H}$ のインパルス応答 $h(t)$ は回路 $\mathcal{H}$ に単位インパルス $\delta(t)$ が入力された時の出力波形で，回路 $\mathcal{H}$ の特性を表す。

  式 (付.164) は $y(t)$ と $x(t)$，$h(t)$ の関係を時間領域で表したものであるが，$x(t)$，$h(t)$，$y(t)$ のフーリエ変換をそれぞれ $X(j\omega)$，$H(j\omega)$，$Y(j\omega)$ とすると，式 (付.164) の周波数領域での表現は次のようになる。

$$Y(j\omega) = X(j\omega)\, H(j\omega) \qquad \text{(付.165)}$$

  式 (付.164) と式 (付.165) を対比して見ると，「時間領域のコンヴォリューションは周波数領域では周波数ごとの積になる」ことが分る。これと対応して，時間領域での積すなわち 2 つの時間信号 $p(t)$ と $q(t)$ の各時点ごとの積を $r(t)$ とし，それぞれのフーリエ変換を $P(j\omega)$，$Q(j\omega)$，$R(j\omega)$ とすると，$R(j\omega)$ は $P(j\omega)$ と $Q(j\omega)$ の周波数領域でのコンヴォリューションになることがわかっている。式で書くと

$$r(t) = p(t)\, q(t) \qquad \text{(付.166)}$$

  のとき，$P(j\omega) = \mathcal{F}[p(t)]$, $Q(j\omega) = \mathcal{F}[q(t)]$, $R(j\omega) = \mathcal{F}[r(t)]$，($\mathcal{F}[\ \ ]$ は [ ] 内のフーリエ変換) とすると

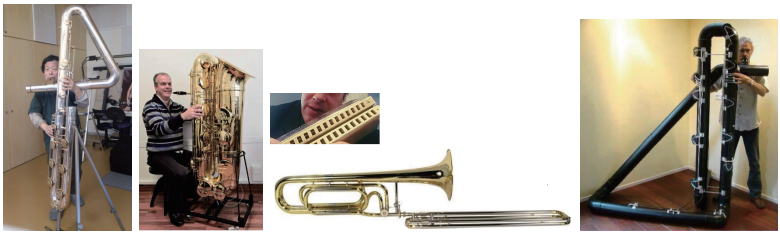
$$R(j\omega) = P(j\omega) \otimes Q(j\omega) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P(j\nu)\, Q(j(\omega-\nu)) d\nu \qquad \text{(付.167)}$$

  つまり，時間領域での積は周波数領域でのコンヴォリューションになる。
- コンサートマスター（concert master）
  管弦楽団・交響楽団（オーケストラ）の第 1 ヴァイオリンの首席奏者。楽団のリーダーとしての役目をもつ。ドイツ語ではコンツェルトマイスター Konzertmeister。イタリア語ではヴィオリーノ・プリーモ violino primo（トップヴァ

イオリン)。フランス語ではシェフ・ダタッ (ク)chef d'attaque（アタック長)。アタックは音の「入り（開始)」を意味する。

- コンソート（consort）
  16〜17 世紀にイギリスで流行した室内楽の合奏形態で，同属楽器によるホール（whole）コンソートと異種楽器の組合せによるブロークン（broken）コンソートがあった。ホールコンソートにはクルムホルンコンソート，リコーダーコンソート，ヴィオルコンソート，ヴァイオリンコンソートなどがあった。発祥の経緯はコンソートとは無関係と思われるが，弦楽四重奏 (Vn × 2, Va, Vc) はホールコンソートの，ピアノ三重奏 (Pf, Vn, Vc) や木管五重奏 (Fl, Ob, Cl, Fg, Hr) などはブロークンコンソートの発展形と見ることができる。
- 魂柱（こんちゅう）（sound post）
  ヴァイオリン属の楽器で，駒の高音弦側の脚の近くの表板の振動を裏板に伝える円柱の棒。接着剤は使わず，高音側の f 孔から挿入する。長さと位置の調整が音に大きく影響するので非常に重要。ヴィオラ・ダ・ガンバ属は魂柱をもたなかったが，ヴァイオリン属との長い共存の期間中に，ヴァイオリンを見ならって一部では魂柱をもつようになった。

  魂柱は，ロマンス語系ではフランス語で âme，イタリア語で anima，スペイン語で alma で，すべて「魂」の意味で情緒的であるが，ゲルマン語系ではドイツ語で Stimmstock（音棒)，英語で sound post（音柱）など，きわめて即物的である。
- コントラバス（contrabass）
  「対位的低音」の意。バスよりも低い音域。同種楽器のサイズの中で最低音域のもの。この語が単独で使われる場合，通常はオーケストラの中の擦弦楽器群の中の最低音域の楽器を指す。ただし，これはヴァイオリン属ではなく，元来はヴィオル（ヴィオラ・ダ・ガンバ）属の最低音域楽器である。他の楽器，例



コントラバス フルート　コントラバス サクソフォン　上；コントラバスハーモニカ 下：コントラバストロンボーン　ハイパーバス フルート

図 I.7 コントラバス楽器と極低音域楽器

えばフルートにも，サクソフォンにも，ハーモニカにもコトラバスがある。**図 I.7** にいくつかの楽器のコントラバスおよび極低音楽器を示す。

- コンフント（conjunto）
  ほとんどの場合，コンフント・メノール（conjunto menor）の略として使われる。タンゴや中南米のフォルクローレなど，スペイン語圏（スペイン本国を含む）の音楽の演奏のための小編成楽団を指す。ただし “conjunto” そのものは，動詞 “conjuntar”（結集する）の名詞形（直説法現在の 1 人称単数形）で「楽団」を意味するので，少人数でない楽団を “conjunto” ということもある。ジャズにおける「コンボ」（combination が語源）と同じようなものと考えてよい。

  ただ，ジャズのコンボでは創作的な即興性が重視されるが，タンゴでは発祥当初の揺籃期と 1970 年代以降のピアソラやその後のコンフントを除いて，即興性は乏しく，逆にそれがタンゴでは編曲を専門に行う職業編曲者を生む素地になったと言える。

  Luis Sierra は “Historia de la Orquesta Típica”[126] の中で ”Los Conjuntos Reducidos（縮小された楽団）” という章を設けて，それはトリオ以上最大でオクテートまで（desde tríos y hasta octetos como máximo）としている。ただし，その本の初版出版（1966 年）の数年後にピアソラが 9 重奏の “Conjunto 9(Nueve)”（コンフント・ヌエベ）を編成しているので，上限が 8 とは言えない。
- コンボ（combo）
  おもにジャズにおいて，3~8 名程度の奏者からなる楽団を指す[23]。

  ジャズを演奏する楽団のサイズは音楽のスタイルとともに，演奏する場所の性格にもよる。ダンスホールや広い会場でのジャズの演奏には大編成の楽団が適しているのに対して，ナイトクラブなど，狭い場所での演奏は小編成にせざるをえない。

  大編成（ビッグバンド）による演奏ではあらかじめ準備された編曲譜に従って演奏されることが多く，即興の要素は少ないが，コンボによる演奏では奏者による創作的な即興性が重視され，ビバップ † 期以降，観賞向きの（ダンス用ではない）ジャズの演奏形態としてコンボが広く取り入れられるようになり，ビッグバンドは減っている。

† be-bop：スウィングジャズの終焉後，1940 年代に出現したジャズの形態。演奏力を競い合う即興を中心とした小人数による演奏で，モダンジャズの起源とされる。

コンボの代表的な編成例。†

– トリオ（三重奏）
現在では Pf, Bs, Ds が代表的であるが，他の組合せもある
例：ビル・エヴァンス・トリオ（Pf, Bs, Ds）
ベニー・グッドマン・トリオ（Cl, Pf, Ds）
オスカー・ピーターソン・トリオ（Pf, G, Bs → Pf, Ds, Bs）

– クアルテット（四重奏）
Pf, Bs, Ds のトリオにもう 1 つ（管楽器，G，Vb など）を追加。
例：モダン・ジャズ・クアルテット (MJQ: Vb, Pf, Bs, Ds.)
ジョン・コルトレーン・クアルテット（T.Sax, Pf, Bs, Ds.）
デイヴ・ブルーベック・クアルテット（A.Sax, Pf, Bs, Ds.）

– クインテット（五重奏）
Pf, Bs, Ds のトリオに管楽器を 2 本追加など
例：ジャズ・メッセンジャーズ（Tp, T.Sax, Pf, Bs, Ds.）
マイルス・デーヴィス・クインテット（Tp, S.Sax, Pf, Bs, Ds.）
マンハッタン・ジャズ・クインテット（Tp, T.Sax, Pf, Bs, Ds.）
特殊な例：Regina Carter Quintet:Vn, Kora(Afro Harp), Acc, Bs, Ds.

– セクステット（六重奏）
トリオに管楽器 2 本（Tp と Sax など）と G などを加える。
例：Modern Jazz Sextet(Dizzy Gillespy)

– セプテット（七重奏）
トリオに管楽器 4 本（Tp, Tb, Sax × 2 など）を加える。
例：JLCO(Jazz at Lincoln Center Orchestra) Septet (Wynton Marsalis)

さ

- サウンドポスト（sound post）→ 魂柱
- ザックス＝ホルンボステル分類（Sachs=Hornbostel classification）
→ ホルンボステル＝ザックス分類
- 座標変換（coordinate conversion）
座標系の取り方の違いによる座標系間の座標値の変換。例えば，**図 I.8** に示す 2 次元直角座標 (x, y) と 2 次元極座標 (r, θ) を考えると，(x, y) と (r, θ) の間に次の関係がある。

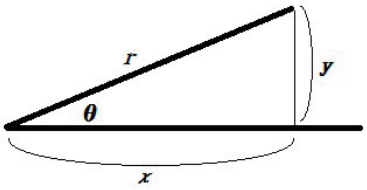


図 I.8 2 次元直角座標

† 楽器名の略号：Pf=ピアノ，Ds=ドラムス，Cb・Bs=ベース，Tp=トランペット，Tb=トロボーン，Fl=フルート，Cl =クラリネット，Sax =サクソフォン，G=ギター（含：電気ギター），Vb=ヴィブラフォン，Vn=ヴァイオリン，Acc=アコーディオン。

$$x = r\cos\theta, \quad y = r\sin\theta \tag{付.168}$$

逆に，(r,θ) を (x,y) で表すと

$$r = \sqrt{x^2+y^2}, \quad \theta = \tan^{-1}\frac{y}{x} \tag{付.169}$$

- 差分方程式（difference equation）　→ 付録 C.3 節
  微分方程式が時間と空間の微小区間を 0 にもっていった極限によって空間的な時変現象を表すのに対して，微小区間を有限にとどめて微分方程式を近似表現する式。微分方程式で表現される現象をディジタルコンピュータによってシミュレートする際に使われる。基本的には時間と空間の刻み幅をどの程度の細かさにするかでシミュレーションの精度が決まるが，刻み幅の関係を工夫することによって誤差の蓄積を抑えることができる。→ 同節「誤差の蓄積を抑える方法」
- サルピンクス（古ギ：$\sigma\alpha\lambda\pi\iota\nu\xi$，salpinx【英】）
  古代ギリシャの青銅製の直管トランペット。先端にベルを持ち，マウスピースは骨製。戦時に使ったとされる（**図 I.9**）。

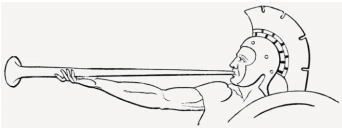


図 I.9　サルピンクス（Wikipedia）

- さわり
  三味線や琵琶で，最低音弦が上駒（ギターではナットに相当する）から外れていて，乳袋（上駒の下で横に膨らんだ部分）で弦の下に切り欠きを作ってあり，弦が大きく振動すると弦が切り欠きの山の先端に触れるようにしてある機構。強くはじくと，雑音成分が生じて独特の音色になる。→ 図 E.37
- 3 管編成 → インストゥルメンテーション
- サンプリング（標本化，sampling）
  連続信号 $s(t)$ を，通常は一定の時間間隔（標本間隔：sampling interval という）T ごとの値 $\{s(nT)\}$（n: 整数）で表すこと。サンプリングはサンプリング速度（1 秒間に数値化するサンプルの数）と量子化精度（1 つのサンプルを数値化するために使うビット数）で規定される。一般には標本間隔が一定でない場合（2 重標本化[128] や不等間隔標本化[129] など）もある。量子化には標準的な線形量子化の他に対数量子化などもある。

- サプリング周波数（標本化周波数，sampling frequency）
  標本化速度を samples/s で表す代わりに Hz を用いる場合の用語。等間隔標本化の場合，意味はサンプリング速度と同じ。周期性をもつ不等間隔標本化の場合は意味が異なり，周期性をもたない不等間隔標本化では意味をもたない。
- サンプリング速度（sampling rate）
  サンプリングを行う場合の 1 秒間のサンプル数。単位は samples/s.
- シェパードトーン（Shepard tone）
  Roger Shepard によって提案[130)] された無限に上昇する音列である。対数周波数軸上で可聴域全体をカバーする raised cosine 型（余弦波 1 周期を 1 持ち上げた形：両端が 0 で中央が最大）のスペクトル包絡をもち，基本周波数の 2 のべき乗倍の周波数で成分をもつ音で，基本周波数を可聴域の下限から半音ずつ上げていくと，隣接音間でトーンクロマが半音ずつ上昇するので，1 オクターヴ分の 12 音を作って繰り返して呈示すると無限に上昇する半音階のように聞こえる音列を作ることができる。ただし，最高次の成分が可聴域の上限から外れたり，最低次の成分が新規に可聴域に入ってきたときに音色の連続性が崩れるので，呈示速度を上げると，構成音の消滅・出現が顕在化する。
  ⬇：音のファイル/第 1・2 章関係/1. 音の高さ/a.Shepard+Risset に，Shepard による上昇半音階とジャン＝クロード・リセー（Jean-Claude Risset, IRCAM）による連続下降音を，ASA-IPO 合同制作によるデモ CD[131)] から転載した。
- 4声体（よんせいたい） → よんせいたい
- 実効弦長（effective length, singing length）
  弦楽器における弦の長さのうち，音高を決定する振動部分の長さ。ギターやヴァイオリンなどネック（棹）をもつ弦楽器については，開放弦ならナットから駒（ブリッジ）まで。押弦なら押弦位置（フレットがある場合は押弦フレット）から駒（ブリッジ）まで，ピアノではブリッジピンからアグラフあるいはカポ・ダストロ・バーまでの長さを指す。
- 4分音（しぶんおん）（quartertone）
  半音の半分の音程。平均律では 50 セント，周波数比で $2^{\frac{1}{24}} \approx 1.0296$。
- 弱音器（ソルディーノ 【伊】sordino, sordina）→ ミュート
  発音体や楽器の振動を抑えて音色や音量を変える器具。
  ヴァイオリン属の：→ 付録 E.2.1 項（2）ヴァイオリン (b) ヴァイオリンの構造（b.8）弱音器
  金管楽器の：ベルに挿入するカップ型の器具。→ 「ミュート」図 I.16
  ギター類の：ギターは音が小さいので弱音器というような器具はないが，奏法

としてのミュートはある。
右手の掌（たなごころ）でブリッジの近くの弦を押さえて弾く（ブリッジミューティング）。個別の弦の不要な振動を抑えるには左手や右手の指を使うこともある。→ 付録 F.2.2 項 (1) ギターの奏法 (b) の中の「ミュート」
太鼓の：膜面に布などを置く

- シャントレル（【仏】chanterelle）→ 反：ブルドン
歌弦。ヴァイオリンやギター，マンドリンなど，ネックをもつ弦楽器の最高音弦。この名称（仏：chanter=「歌う」より）は，主旋律を弾く（歌う）のに用いられることに由来する。
イタリア語ではカンティーノ（cantino，歌う=cantare より），スペイン語（ギターなど）ではカンタレーラ（cantarela，歌う=cantar より）。
- 重音（multi-stop，多重音とも）
ヴァイオリンのような，通常は単音で弾く楽器で同時に複数の音を弾くこと，およびその音。ギターやピアノのように複数の音を同時に弾くことが通常想定されている楽器については，「重音・多重音」の意味はわかるが，あえてそのような表現は使わず，むしろ多重音を使わない弾き方を「単音で弾く」というように表現する。ヴァイオリン属は現在の弓では 2 重音までしか弾けないので，ヴァイオリン属について「重音」は「二重音」だけを意味するが，ヴィオラ・ダ・ガンバでは 6 重音（ヴィオラ・バスタルダの場合は 7 重音）まで可能であった。
- 周期（period）
繰り返される現象の 1 回あたりに要する時間。周波数の逆数。
- 重奏，多重奏（英独伊仏：ensemble，西：conjunto コンフント）
複数の独奏楽器による合奏・協奏。通常，10 程度未満なら，いくつの楽器を用いるかによってラテン語起源の個別の名称がある。以下，英語，イタリア語，スペイン語の順に記す。
2 重奏：duet,duo[ドゥオ],duo[ドゥオ],
3 重奏：trio,trio,trío[トゥリーオ],
4 重奏：quartet(quartette),quartetto[クァルテット],cuarteto[クアルテート],
5 重奏：quintet(quintette),quintetto[クインテット],quinteto[キンテート],
6 重奏：sextet(sextette),sestetto[セステット],sexteto[セステート],
7 重奏：septet(septette),septetto[セプテット],septeto[セプテート],
8 重奏：octet(octette),ottetto[オクテット],octeto[オクテート],
9 重奏：nonet(nonette),nonetto[ノネット],noneto[ノネート]。
弦楽四重奏（ヴァイオリン 2 本，ヴィオラ，チェロ）や管楽五重奏（フルー

ト，クラリネット，オーボエ，ファゴット，ホルン）のように音色の揃った同属楽器（すべて擦弦）や同種楽器（ホルンだけリップリードであるが，すべて気鳴）によるものと，ピアノ三重奏（ピアノ，ヴァイオリン，チェロ）やクラリネット五重奏（弦楽四重奏にクラリネットを追加）のように，音色が異なった楽器を組み合わせるものがある。

- 周波数（frequency）
  繰り返される現象の 1 秒あたりの繰り返し回数。単位は Hz（ヘルツ）。1960 年まで，周波数は単位時間あたりの繰り返し回数として，繰り返し回数／単位時間で表され，単位時間を 1 秒とした場合は [サイクル／秒] で表されていたが，それが Hz に改められた。1 秒あたりの繰り返し回数ではあるが，整数とは限らず実数値をとる。
- 周波数スペクトル（frequency spectrum）
  信号をその周波数成分の構成で表現したもの。数学的には，時間に関する連続信号 $s(t)$ に対して，そのフーリエ変換 $S(j\omega)$ であるが，通常はパワーで表した周波数パワースペクトラム $|\,S(j\omega)\,|^2$ を指す。時間的に長い信号に対しては，部分的に切り出して対象とするが，標本間隔 T でサンプリングされた離散信号 $\{s_n\} = \{s(nT)\}$（n：整数）に対しては，連続する N 標本点を切り出した場合，その区間の波形が繰り返されるものと想定した信号の，フーリエ級数展開の係数が離散的フーリエ変換（discrete Fourier transform, DFT）になる。この場合，離散的周波数スペクトルは $\dfrac{1}{NT}$Hz 間隔で求まることになる。横軸に周波数を，縦軸にその成分の大きさをとって，周波数成分を周波数の低いものから高いものの順に右へ並べて表現した図で表す。周波数軸は対数尺（軸上の一定の長さが周波数で等倍）にすることがある。縦軸は dB（デシベル）で表す場合が多い。
  【注】* 周期的な波形から非整数周期を切り出した場合，繰り返し波形を想定したときに接続部での波形の連続性を保つために，両端を絞った窓関数をかけるが，その操作によって，得られる周波数スペクトルは元の信号と窓関数の積の周波数スペクトル，つまりそれぞれの周波数スペクトルの周波数領域でのコンヴォリューション（畳み込み積分）になる。
- 周波数特性（frequency characteristics）
  音や音響機器などの特性を周波数の関数として表現したもの。
- 周波数分析（spectral analysis）
  信号がどのような周波数成分から構成されているかを分析すること。スペクトル分析ともいう。ディジタル計算機で分析する場合は，通常 FFT（fast Fourier

transform）と呼ばれる効率のよい算法が使われる。

- 主要三和音（primary triads）
  機能和声の枠組みにおける三和音（3 個の音で構成される和音。基本位置では基音の上に，3 度音と完全 5 度の音を重ねる）の中で主要なもの。主和音，属和音，下属和音の 3 つ。**主和音**（tonic chord）は，主音を基音（ベース）とする三和音。当該調で最も安定した和音。I と書かれる。和声機能としては T（Tonic の頭文字）。長調ではドミソ，短調ではラドミ。**属和音**（dominant chord）は，属音（主音から完全 5 度上）を基音とする三和音。V と書かれる。和声機能としては D（Dominant）。不安定で主和音への期待をもつ。長調ではソシレ，短調ではミソシ。**下属和音**（subdominant chord）は，下属音（主音から完全 5 度下）を基音とする三和音。IV と書かれる。和声機能としては S（Subdominant）。長調ではファラド，短調ではレファラ。
- 純正律（just intonation）
  音律の 1 つ。ドの周波数を 1 とした場合，長調ではレ＝ $\frac{9}{8}$，ミ＝ $\frac{5}{4}$，ファ＝ $\frac{4}{3}$，ソ＝ $\frac{3}{2}$，ラ＝ $\frac{5}{3}$，シ＝ $\frac{15}{8}$ とする。ただし短調の場合は，レ＝ $\frac{10}{9}$ とする。これによって，長調の主要三和音はすべて周波数比が 4:5:6，短調では 10:12:15 と統一できて，当該長短の平行調の主要三和音で協和性が完全に保たれる（うなりが生じない）が，主音を変えると協和性が崩れる。
- 初期条件（initial conditions）
  微分方程式の解を求める際に，解が満たすべき時間条件で，例えば，弦や膜のどこか 1 点をハンマーやスティックで叩いた後のそれらの振動を求める場合，叩く直前の時点では，弦や膜はピンと張った静止位置にあったはずで，叩かれた場所はハンマーとかスティックと同じ速さで動いたはず，とか，弦をはじいたときの弦の振動を求める場合には，弦をはじく時点（開放する直前）で，弦ははじかれた点（引っ張られて開放された点）を三角形の頂点とする 2 辺であり，その移動速度は弦のすべての位置でゼロだったはず，など。
- シリンクス（古ギ：$\sigma\upsilon\rho\iota\nu\xi$，Syrinx【英】）
  シュリンクスとも。古代ギリシャのパンの笛（現代の中南米のサンポーニャ）。上端（吹き口）を水平にそろえ，通常は閉管（下端を閉じる）のエアーリードで，管数は 5〜13 本。サンポーニャは奏者から見て右を低音にしてもつが，シリンクスは左が低音であったはず。
- シンタグマ・ムジクム（Syntagma Musicum）→ 音楽大全
- スィンギング・レングス（singing length）→ 実効弦長
- スペクトル（spectrum）→ 周波数スペクトル

- スペクトル分析（spectral analysis）
  信号がどのような周波数成分で構成されているかを調べること。ディジタル計算機で分析する場合は，FFT（高速フーリエ変換）というアルゴリズムで計算する。この方法が普及する以前は，アナログの狭帯域フィルターを並べてそれに信号を通して各周波数帯域の出力を見るとか，通過帯域の上下の周波数比を一定に保った狭帯域フィルターの中心周波数を可聴域内で掃引して出力の変化を見るというような手法が採られた。
- スペクトル包絡（spectral envelope）
  周波数スペクトルの上端をつないで得られる包絡線。
- スル・タスト（sul tasto）
  「指板の上で」の意。ヴァイオリン属の楽器やギター類で，弦上の励振位置を通常の位置よりもナット寄りにすること。イタリア語であるためか，スペインが本場であるギターの奏法名としてはあまり使われない。
- スル・ポティチェロ（sul ponticello）
  「コマの上で」の意。ヴァイオリン属の楽器やギター類で，弦上の励振位置を通常の位置よりもコマ寄りにすること。イタリア語であるためか，スペインが本場であるギターの奏法名としてはあまり使われない。
- 絶対音感（absolute pitch）→ 参考：相対音感
  音を聞いたとき，他の音との音程的な関係づけなしに音名を正しく判断できる能力。通常の絶対音感は音高感をもった楽器の音についての能力であるが，特に優れた絶対音感をもつ人は，音高感をもたない音に対しても，主要なスペクトル成分を音名で判断することができる。特定の音高の記憶と相対音感の組み合わせによって絶対音感に見える場合がある。
- セリー（série, 音列）
  音列主義に基づいて作曲する際の素片としての音の並び。例えば，オクターヴ内の 12 音高をセリー化の対象として，1 セットのセリー群を作るには，オクターヴ内の 12 音をトロンソン分割（いくつかの音高集合への直和分割）し，それぞれの要素音高からなる順序込みの列としてセリー（音列）の原型（Oで表す）を作る。それに基づいて，その音列を高さ方向に逆方向にした反行型（Ｉで表す），順序を逆にした逆行型（Ｒで表す），および反行の逆行（ＲＩで表す）を作っておく。これら 4 つの型のセリー（O, I, R, RI）を使って作られた音楽が，音高を対象としたセリー音楽（ミュージックセリエール）である。音の強さをセリー化の対象にする場合は，fff から ppp までを音高の代わりに使い，音価をセリー化の対象にする場合は，音価を全音符から半分ずつに分けて行っ

て 32 分音符までを音高の代わりに使う，などとして音楽を作る。これらを組み合わせて使うこともできる。メシアン（Olivier Messiaen）の「音価と強度のモード」（1949 年）はセリー技法による典型的な作曲例（36 種の音高，付点音符を含めて 24 種の音価，12 種のアタック，7 種の強度の組合せ）である。

- 全音（whole tone）
  長 2 度の音程。純正律では，周波数比が $\frac{9}{8}$ の広い全音（例：長調のドとレの間）と，周波数比が $\frac{10}{9}$ の狭い全音（例：長調のレとミの間）がある。平均律では半音 2 つの音程で，周波数比では $2^{\frac{2}{12}} \approx 1.1219$，セント値では 200 セント。
- 全音階的半音（diatonic semitone）
  純正律の音階におけるミとファ，およびシとドの間の音程。周波数比では $\frac{16}{15}$。
- 全セリー主義 → トータルセリエール
- セント（cent）→ 補助単位
  単位となるものの 1/100。音楽では平均律での半音の 1/100。音程の 1 セントは周波数比では $2^{\frac{1}{1200}} \approx 1.0027173$。単位記号は ¢。ほかの例では，1 ドルの 1/100 が 1¢。1m の 1/100 が 1cm。
- 騒音音楽（noise music）
  20 世紀初頭のイタリアに起きた破壊を賛美する前衛運動「未来派」の「未来主義宣言」を起草した詩人マリネッティ (Filippo Tommaso Marinetti, 1876-1944) に師事した画家ルッソロ (Luigi Russolo, 1885-1947) が始めた騒音による音楽。1913 年に雑誌に論文 “L’arte de rumori（騒音の芸術）”を発表し，実演用の騒音発生器 “Intona-rumori （イントーナ・ルモーリ：調律された騒音）” を作った。
- 増音程（augmented interval）→ 減音程，1.4.4 項のコーヒーブレイク
  完全音程あるいは長音程よりも半音 1 つ広い音程。
- 相対音感（relative pitch）→ 参考：絶対音感
  与えられた 2 音間の音程を正しく判断できる能力。言い替えると，音高がわかっている音との音程関係に基づいて，与えられた音の音名を正しく答えられる能力。
- ソプラノ（soprano）
  1. 女声における高声域。
  2. 4 声体書法の最上声部。
  3. 同一属の楽器の中で，声のソプラノに対応する音域あるいは性格の楽器。ディスカント（【伊】discanto,【英】discant,【仏】déchant）とも。ただし，別にソプラノがある場合，ディスカントはメゾソプラノに対応させることがある。

例：ヴァイオリンはヴァイオリン属のディスカント楽器で，通常はソプラノに相当するとみなすが，さらに上の音域の楽器ヴィオリーノピッコロがあれば，それがソプラノになり，ヴァイオリンはメゾソプラノということになる。

例：ソプラノサックス

- 疎密波（dilatational wave）
  媒質の中で密な部分と疎な部分が場所的・時間的に入れ替わりながら進む縦波。
- ソルディーノ（sordino）→ 弱音器，ミュート
- ソレノイド（solenoid）
  導線を螺旋状に巻いた円筒型のコイル。ギリシャ語 ($\sigma o\lambda\varepsilon\nu$: solen =管) に「〜状の」を表す接尾語 "-$o\iota\delta$: -oid" がついたもの。中に棒状の永久磁石を入れて，導線に電気を通すと，ソレノイドが電磁石になって，永久磁石との間に力が生じて，電流の強さに応じた強さでソレノイド（導線）の筒をその長さ方向に動かす力が働く。ソレノイドを固定しておけば棒状の永久磁石が動く。これによって自動ピアノなどの鍵を叩くことができる。逆に，磁場の中に導体をもってきてそれを動かすと，**電磁誘導**によって導体の動きに応じた電流が右手の法則に従って導体に流れる。スティール弦を使えば，弦の振動に応じた電流をコイルに生じさせることができる。これがエレキギターの電磁ピックアップの動作原理である。

た

- 対位法（counterpoint【英】, contrappunto 【伊】, Kontraopunkt【独】）
  和声法が和音連結を扱う技法であるのに対して，旋律としての音の流れをおもに扱い，カノンやフーガのような技法の基盤になる。
- 代理和音（substitute chord）
  本来の和音と同じ和声機能（和音進行の中での働き）をもつ和音で，本来の和音の代わりに用いられるもの。本来の和音と共通の構成音が多い和音がその代理和音となり得る。

  三和音の基音（3 度の積み重ねの形で最も下の音）の当該調の主音からの音程を大文字ローマ数字で表して和音名とし，その構成音を小文字ローマ数字で下から順に並べて { } で囲んで順序付きの集合として表すことにすると，代理和音の代表は `III={iii, v, vii}`で，これは `I={i, iii, v}` とも `V={v, vii, ix}` とも 2 音が共通なので，どちらの代理和音ともなり得る。したがって，和音機能としては T（Tonic chord：主和音），および D（Dominant

chord：属和音）のどちらとしても使うことができる。ii を基音とした三和音に 7 度音 viii を加えた II_7=`{ii, iv, vi, viii}` は `IV={iv, vi, viii}` の 3 音をすべて含むので，IV の代理和音で，和音機能としては S（Subdominant chord：下属和音）である。

- 打楽器（percussion instruments）
  打奏の膜鳴楽器と打奏の体鳴楽器を指すと考えてよいと思われるが，打奏以外の体鳴楽器（擦奏のギロ，振奏のマラカスなど）も打楽器奏者が扱うので，一般には打楽器と呼ばれる。鍵盤型の打楽器（マリンバ，ヴィブラフォン，チェレスタなど）はオーケストラの中でもそれ専門の奏者がつくことが多い。
- 多重音（multi-stop）→ 重音
- 多重奏（ensemble）→ 重奏
- タスト（tasto）
  1. （楽器・コンピュータなどの）キーボードないしはキー
  2. （ネック付き弦楽器の）指板，タスティエーラ（tastiera）とも
  3. フレット
  4. イタリア語としての第 1 義は “tastare”：「(繰り返し) 触れる」の直説法現在 1 人称単数形による名詞形。元の動詞 “tastare タスターレ”は状況によって “tocare トカーレ (弾く)” とほぼ同義。
- 縦波（longitudinal wave）
  粒子の振動方向と波の進行方向が一致している波。
- ダブルストップ（double stop，独：Doppelgriff）
  擦弦楽器で 2 本の弦を同時に弓奏すること。2 重音。
- ダブルリード楽器（double-reed instruments）
  リードが 2 枚のリード木管楽器。オーボエやファゴットなど。アコーディオンや複音ハーモニカは 1 音について 2 枚のリードをもつのでダブルリードとはいうが，これらは木管楽器ではないので，「ダブルリードのフリーリード楽器」とはいっても，「ダブルリード楽器」とは言わない。
- 短音程（minor interval）→ 長音程。1.4.4 項のコーヒーブレイク
  2 度，3 度，6 度，7 度の音程にはそれぞれ半音の差で広い音程／狭い音程の 2 種があり，狭い音程を短音程という。短 2 度は半音 1 つ，短 3 度は全音 1 つと半音 1 つ，短 6 度は完全 5 度と半音 1 つ，短 7 度は完全 5 度と全音 1 つと半音 1 つの音程である。度数が同じ場合，長音程と短音程の差は半音 1 つである。ただし，純正律での半音には，全音階的半音と 2 種の半音階的半音がある。

【→ 半音】

- 力木（ちからぎ）（brace）
  ギターなどの表板の裏に表板の保護のために入れる補強材（**図 I.10**）。ギターの場合は，ブリッジの位置の表板の裏側に入れるブリッジプレートと交わるように角度をもたせるのが普通。ギターについては補強効果と音響効果のバランスを求めて種々のパターンが試されている。



図 I.10　力木の例。左：ギター，右：ディスカントのヴィオラ・ダ・ガンバ（近年のものなので響孔は f 字形）

  ヴァイオリンの場合は，表板の低音側のコマ足の裏側に縦に入れることになっており，補強以外に低音側のコマ足を固定して，駒の振動を駒面内の回転運動にするという重要な機能をもっていて，単なる力木ではないので，「バスバー」と呼ぶべきである。ヴィオラ・ダ・ガンバ属は，ヴァイオリン属にならって構造を変えた近年のコントラバス以外は表板がヴァイオリン属よりも薄く，バスバーや魂柱をもたないので表板を補強するための力木をもつ。

- 中世フィドル（medieval fiddle）
  中世からルネサンス期のヨーロッパで使われた弓奏リラ系の擦弦楽器の総称。ビザンティン・リラがヨーロッパにもちこまれて発展したもの。胴は表板・裏板ともに平板で，横板をもち，12 世紀ころ以降は，弓奏できるように胴の中央部の左右がくびれている。ネックは胴とは別に作られて胴に取り付けられ，フレットはあるものとないものがあった。リラ系の楽器なので，ブリッジを持ち，ペグは指板に対して垂直に差す。弦の数および調弦法は決まっていなかった。

- 長音程（major interval）→ 短音程，1.4.4 項のコーヒーブレイク
  2 度，3 度，6 度，7 度の音程にはそれぞれ半音の差で広い音程／狭い音程の 2 種があり，広い音程を長音程という。長 2 度は全音 1 つ，長 3 度は全音 2 つ，長 6 度は完全 5 度と全音 1 つ，長 7 度は完全 5 度と全音 2 つの音程である。

- 調弦（[1]tuning, [2]open-string interval）

  1. 弦楽器の音高調整
     音楽中辞典によると，「調弦」の項には「弦楽器の開放弦を特定のピッチや音律にあわせて調整すること」となっているが，「調律」の項には「弦楽器の開放弦を調律すること」として，「調律」は「楽器の音高を特定の音律にしたがって整えること」となっている。少し追加説明が必要

である。調弦も調律も英語では “tuning”，意味的な厳密性をもつとされるドイツ語でも “Stimmung”で，調律と調弦の区別はない。調弦は弦楽器に対する調律として作られた用語であろうと考えられるが，もう少し詳しく見る必要がある。

「調弦」はネックをもったリュート属「弦楽器」の開放弦の音高調整と考えるべきであろう。弦鳴楽器であっても，ピアノのように鍵盤を持ち，かつ弦の張りの強さを変えるには道具が必要で，いったん崩すと再調整が素人には難しい楽器の調律は日本語では調弦とは言わず「調律」というのが普通で，調律師に「調律」を依頼すると，弦の音高の調整だけでなく打弦機構やダンパーなどの調整もしてくれる。ペダル付きのハープの調律も調弦というには抵抗がある。明確な区別はないと思うが，多分，弦の音高以外に調整すべきことがあったり，道具が必要で調律師に依頼するのが普通の場合は，弦楽器の開放弦の調律であっても調弦とは言わないのであろうと考える。ハープでも，ペダル機構をもたないアルパ（インディアンハープ）などは奏者自身が音高を調整できる。 こう考えると，弦鳴楽器の調律の内，奏者自身が行うことができるものを調弦というのであろう。スコルダトゥーラ（臨時変則調弦）では開放弦の規定音高そのものを奏者が決めることになる。

これに対して「調律」は弦鳴楽器以外の楽器の音高の調整と，弦鳴楽器に関しては，ネックをもたない弦楽器についての音高調整で，弦の張りの強さ以外の調整も含んだプロによる作業と考えてよい。

2. 開放弦間の相対的な音高規定。

「調弦」は，弦が発する音の高さの調整ではなく，調整の目標値をどのように設定するかの規定を指すことがある。各弦の高さの目標値を音名で表す場合と，最低音弦の音名と隣接弦間の音程の組によって表す場合がある。例えば，

ヴァイオリンは音名で「G3-D4-A4-E5」で，弦間音程が「5-5-5」度なので，「5 度調弦」。

ギターは「E2-A2-D3-G3-B3-E4 で」，弦間音程が「下から 4-4-4-3-4」度で，「4 度調弦」などと表現する。

三味線の調弦は絶対音高が決まっておらず，相対音高で，「本調子」（標準的な調弦法）では二の糸（中央の弦）は一の糸（最低音弦）の完全 4 度上，三の糸（最高音弦）は一の糸の 1 オクターヴ上である。「二上がり」は二の糸を本調子より全音上げ，「三下がり」は三の糸を本調子より全音下げる調弦である。

- 調波構造（harmonic structure）
  おもな周波数成分が，ある周波数の自然数（1，2，3，・・・）倍の位置にあるスペクトル構造のこと。成分が部分的にしかない場合でも調波構造と呼んで構わない。明瞭に高さを感じることのできる音の周波数スペクトルは調波構造をとる。その「ある周波数」を「基本周波数」と呼び，その周波数成分は「基本波（成分）」と呼ばれる。その n 倍の周波数成分を第 n 高調波，あるいは第 n 倍音という。
- 調律（tuning）
  楽器が発する音の絶対的な高さの調整。ピアノやハープシコードなどではそれぞれの弦について調整するが，ヴァイオリンやギターなどでは開放弦の高さだけを調整することになる。この場合は「**調弦**」と呼ぶことが多い。金管楽器の場合，個々の音の実際の音高は唇の振動数で決めるが，楽器全体の調律はチューニングスライド（抜き差し管）と呼ばれる小さな管で調節する。フルートやクラリネットはほぼ製造時に調整してあるが，演奏時の調律はいくつかに分かれている管体の差し込み程度を調整して全体の長さを変えることによって調律する。オーボエやコール・アングレ（イングリッシュホルン）は管長を変えることができないためリードの付け替えと吹き方によって調整するが，調律の自由度が少なく，オーケストラ全体の調律は通常オーボエ（調整が困難）に合わせることになっている。ピアノの調律は，高さの調整以外に，打弦機構やハンマーなどの調整も含めることが多い。
- 直和（direct sum）
  ものの分類に関して望ましい特性で，漏れなく重複なくすべてを一意的に分けることができるという集合の分割法。集合 $\mathcal{S}$ の要素を $e_i (i \in \mathcal{N} = \{1, 2, \cdots N\}$，$\mathcal{S}$ の部分集合を $\mathcal{S}_j (j \in \mathcal{M} = \{1, 2, \cdots M\}$ とするとき，漏れや重複がないように集合 $\mathcal{S}$ のすべての要素をいくつかの部分集合に分割する方法，つまり
  $\exists j\ \mathcal{S}_j$ for $\forall e_i \in \mathcal{S}$, $\sum_{j \in \mathcal{M}} \mathcal{S}_j = \mathcal{S}$, $\mathcal{S}_j \cap \mathcal{S}_k = \phi$ (for $j, k (k \neq j) \in \mathcal{M}$)
  を満たす分割法 $\{\mathcal{S}_i\}$ を $\mathcal{S}$ の直和分割，$\mathcal{S}$ は $\{\mathcal{S}_i\}$ の直和であるという。
- 通奏低音（basso continuo【伊】，throughbass【英】）
  バロック期の音楽における伴奏用の低音旋律の記譜法，あるいはその演奏，ないしは音。「数字付き低音（basso cifrato【伊】，figured bass【英】）」とも。楽器は指定されないが，通常，鍵盤楽器ならチェンバロかクラヴィコード，あるいはオルガン類，弦楽器ならバス音域のヴィオラ・ダ・ガンバやヴィオラ・ディ・ボルドーネ（「低音弦のヴィオラ」，別名：バリトン Baryton），ないしはテオルボ（リュートの大型で低音域用の撥弦楽器）などが用いられる。伴奏用の低

音旋律の音符に和音を構成する音を数字で表示する。数字を書かない場合は和音の基本位置（基音，3 度音，5 度音）を表し，“6”は「六の和音」すなわち第 1 転回を，“46”は「四六の和音」すなわち第 2 転回を表す。通奏低音の訓練は和声法の習得と理論に則った即興的な演奏のために必須の技術で，現在の音楽大学でも「鍵盤和声」として教えられている。

- ディアパソン（diapason）
  「ディアパソン」は古代ギリシャの音楽用語で「全音域」あるいは「1 オクターヴの音程」の意味。そこから，現在では以下の意味に使われる。
  a. 音域
  b. 標準ピッチ（“Diapason normal”＝コンサートピッチ）
  c. オルガンのストップの 1 つ。「プリンシパル」と同義
  d. 音叉（おんさ）
  e. 管楽器やオルガンのパイプにおける管径／管長などの基準値
- ディアパソン孔（diapason hole）
  管楽器で倍音系列以外の音高を出すために管側に設けてキー操作によって開閉する孔。通常の奏法でペダルトーンを使わない楽器では，通常の奏法での最低音よりも低い音を出せる場合がある。現在では木管楽器だけに採用されているが，昔はセルパンや有鍵ビューグル，オフィクレイド，バスホルンなど金管楽器にもついていた。
- ディスカント（伊：discanto，英：discant, 独：diskant）
  同属楽器の中の高域楽器。ソプラノとメゾソプラノをまとめた呼び方。通常はソプラノと解してよいが，より高音域のものがある場合はメゾソプラノになる。標準で 4 サイズある楽器種（フルートやヴィオラ・ダ・ガンバなど）では，その中の最も小さいサイズが通常ディスカントであるが，その上にピッコロサイズが加わる場合にはそれがソプラノになり，ディスカントはメゾソプラノになる。特に，ヴィオラ・ダ・ガンバの中のディスカントは，英語では treble viol（高音ヴィオル）と呼ばれ，調弦は D3,G3,C4,E4,A4,D5 で，音域は現在のヴィオラ（C3,G3,D4,A4）とほぼ一致する。これはフランスでは dessus de viole（デュッシュ・ド・ヴィオル，高域のヴィオル）と呼ばれ，フランスではさらに高域の par-dessus de viole（パルデュッシュ・ド・ヴィオル）もあった。
- 定在波（standing wave, 定常波 stationary wave とも）
  相反する 2 方向へ伝搬する波が干渉してできるエネルギー伝搬の生じない波動。空間に固定した節をもつ。その周波数は共鳴（共振）周波数になる。
- 定ピッチ楽器（definite pitch instruments）
  膜鳴楽器と体鳴楽器の中で，音高感が明瞭になるようにしたもの。膜鳴楽器や

体鳴楽器の音は周波数スペクトルが調波構造をもたないものが多く，明確なピッチ感がないことが多いが，定ピッチ楽器は胴形状や振動体の形などを調整してピッチ感を向上させたもの。膜鳴楽器ではティンパニーくらいしかないが，体鳴楽器ではマリンバ，グロッケンシュピール，チェレスタ，ヴィブラフォーン，ハンドベル，石琴，サンザ（親指ピアノ），スティールドラム，ミュージカル・ソーなど，多数ある。

- テオルボ（Theorbo）
  リュートの低音域用で，胴は洋ナシ形でリュートよりも大きく，それに 1 m程度以上の長いネックがついている。単弦（1 コース 1 弦）で，リュートと違って低音域側に 1 オクターヴ分の拡張バス弦（F1〜F2 のものが多い）をもつ。典型的には奏弦 6 本とバス弦 8 本で，奏弦は隣接弦間が下から 4-4-3-4-4 度の 4 度調弦（手前から A2-D3-G3-B3-E3-A3）が標準のようで，拡張バス弦は奏弦の最低音弦の長 3 度下から下の 1 オクターヴ分で，奏弦については指版にフレットがついているが，バス弦は開放弦で用いられるので，棹だけで指版がない。拡張バス弦のペグボックスはヘッドについているが，奏弦のペグボックスはネックの中ごろについている。テールからヘッドの先までで 2 m 近いものもある。Praetorius の Syntagma Musicum “Sciagraphia”図 V の左にネックの長いテオルボがコントラバスと同じ縮尺で描かれているのを図 H.54 に示した。
- デシベル →dB
- テノール（tenor，英語読み「テナー」）
  1. 男声における高音域。
  2. 4 声体書法の下から 2 番目の声部。
  3. 同一属の楽器の中で，声のテノールに対応する音域あるいは性格の楽器。
     例：テナーサックス
- デュッシュ（dessus）
  フランス語で「上に」（英語の above）の意。viole de gambe（ヴィオラ・ダ・ガンバのフランス語）のディスカント（ソプラノ音域）楽器に対して付けたフランス語。声部で言えば，ソプラノとメゾソプラノに対応する。
- 電圧制御型シンセサイザ（voltage-controlled synthesizer）
  発振周波数や出力包絡波形を，電圧によって制御するシンセサイザ。初期のアナログシンセサイザはこの型のものが多かった。
- 電子音（electronic sound）
  1950〜60 年代は発振器や変調器などのアナログ電子回路によって作られる音（音楽のための素材）を指していたが，録音した音を電子回路でコンクレート風に変形処理したり，コンピュータによって発生させた人工的な音も含むように

なった。ゲーム機に付けられている音の一部なども含む。ただし，音色調整のための単なる高域強調などで加工を施されただけのものは，電子回路を通ったり，コンピューターで処理されていても，電子音とは呼ばない。コンピュータによって発生させた人工的な音であっても，合成音声や物理モデルによって合成した楽器音などは電子音とは呼ばず，「合成音」と呼ばれる。明確な使い分けは難しいが，多分，加工の程度が浅くて構造の簡単な音が「電子音」と感じられるのであろう。現在では死語に近い。

- 電子音楽（electronic music）
  狭義には，独伊仏日などで 1950 年代に放送局などのスタジオで電子機器を用いて作られた音楽，およびそのコンセプトを引き継ぐ音楽。広義には，それにミュージックコンクレートによる作品などを加えたもの。ポップスやロックなどでシンセサイザや電子音を使っていても，それは電子音楽とは呼ばない。
- 電磁ピックアップ（electro-magnetic pick-up）
  磁場内に置いた導線を移動させると，導線の移動の磁力線に対する垂直な速度成分の大きさに比例した電流が導線に流れる。導線を固定してそれに交差する磁束を変化させても，導線に電流が流れる。導線をコイル状にしておくと，コイルの巻き数に応じて流れる電流を大きくすることができる。磁化された弦がコイルの近くで振動することによってコイル近辺の磁界強度が変動し，電磁誘導によって弦の振動に応じた電流がコイルに生じる。それを電気信号として拾う装置がエレキギターなどの電磁ピックアップである。
- 電磁誘導（electro-magnetic inductiuon）
  磁場内に置いた導線を移動させると，移動の磁力線に垂直な速度成分の大きさに比例した電流が導線に流れる現象。導線が固定でも磁場強度が変動すると導線に電気が流れる。電気ギター（いわゆるエレキギターおよびハワイアンに使われるスティールギターなど）の電磁ピックアップの動作原理である。
- トータルセリエール（全セリー：セリー・トタール【仏】Série Totale）
  音楽の要素には，音高，音の強さ，音色，到来方向，音質などがあると考えた場合に。それらを組織化して音楽に使うのに際して，いくつかの音の列（セリー）として，その原型・反行・逆行・反逆行の 4 つの型の作用素で構成される群を想定し，群論の規則を用いたり，音楽としての規則を適用して作用素の組合せで音楽を作る手法。

  1 オクターヴ内の 12 音の音高をセリーの対象としたものをシェーンベルク[132] が始めた **12 音音楽**（Dodekaphonie）と考え，セリー化の対象を音価（譜面上の音の長さ）と音の強さとした典型的な例がメシアンの「音価と強度の

モード」。鋸歯状波や矩形波で高調波を豊富にもつ波を使って，その特性をフィルターで操作すると音色をセリー化の対象とすることができる。シュトックハウゼンの**空間音楽**（Raummusik）は音の到来方向をセリーの対象に加えた音楽であると考えられる。

トータルセリエールはセリー化の対象をどんどん広げるやり方を指し，拡張セリー（série-intégrale）とも呼ばれる。

- 独立成分分析（independent component analysis, ICA）→BSS
  BSS（blind source separation，**ブラインド音源分離**）手法の 1 つ。主成分分析に基づく統計的な解析手法で，1980 年代に開発されてから 1990 年代にかけて盛んに研究が行われた。複数の信号源から発生した各信号が統計的にたがいに独立であるとの仮定の下で，これらの混合信号を信号源の数以上の数の異なった（厳密には「独立な」，つまり「対称性を排除した」）位置に置いたマイクロフォンで観測し，観測された混合信号群だけから，それを独立性が最大になる信号に分離することによって原信号を分離推定する。当初は，瞬時混合 †1だけが処理対象とされたが，畳み込み混合 †2にも適用できるように研究が進められた。独立でない信号（例えば基本周波数が完全に同じ，あるいはちょうど整数比である複数の音や，反射音など）はうまく分離できない。
- ドローン（英：drone，伊：bordone, 西：bordona，仏：bourdon）
  「ブーンという音」の意。一定の音（通常は低音）を持続的に奏する楽器，あるいはその部位（弦など），またはその音。音楽中辞典[23] に，楽器としてインドの弦楽器タンブール，楽器の部位としてバグパイプの低音管が挙げられている。「ドローン弦」は通常は共鳴弦であって，奏弦としては使われない。

  近年，小型の無人飛行機 (飛翔体) の名称として「ドローン」が使われるが，この英語の語源の意は「オスのミツバチ」で，語源としてはハチが飛ぶときの「ブーンという音」なので，音楽における「ドローン」と関連しているが，指し示す対象は無関係。
- トロンバ（【伊】tromba）
  広義にはラッパ（リップリード楽器全般）を意味するが，通常はトランペットを指す。拡大辞 [-one] を付けると，トロンボーネになり，これは英語読みで，トロンボーンになる。つまり，トロンボーンは大型トラペットという意味である。ハーモニックスだけで弾くトロンバ・マリーナ（海のトランペット）という名称の擦弦楽器もある。

---

†1 音源からマイクロフォンまでの伝搬遅延はないとするミキシングのような混合
†2 音源からマイクロフォンまでの多数の伝搬経路の特性と距離減衰が入ってくる混合

- トーンクロマ（tone chroma）
  音の「高さ」と呼ばれる 2 面的な属性の内，循環的な性質をもつ方。循環性をもたない方は「音色的高さ」と呼ばれる。周波数スペクトルが調波構造（主要な構成成分の周波数が，可聴域内の周波数で最大公約数をもつ）をとる音は高さを感じさせる。周波数の高い電磁波としての単色光が可視光領域内で周波数に応じて（波長に応じて）異なった色の彩度（クロマ）をもつのと同じように，純音も周波数に対応した属性として「高さ」をもつので，その属性に「音のクロマ」という用語を充てたと考えられる。可視光の周波数範囲はオクターヴ程度で，音と違って光のクロマには周波数によるオクターヴ循環性はない。

な

- ナット（nut）
  ネックをもつ弦楽器の指板上部の枕状の糸受け。ペグ（糸巻き）に引っ張られる弦の位置を決めるための溝が切ってある。
- 2 管編成 → インストゥルメンテーション
- 2 重音（double stop）→ ダブルストップ
- 音色（ねいろ）（timbre, tone color）　【日本音響学会編「音響用語辞典」より】
  音の「大きさ」,「高さ」と並んで，音の 3 属性の 1 つ。積極的に定義するのは難しく，次のような消極的な定義にならざるをえない。
  ・JIS（日本産業規格）による定義：
  「2 つの音を比較したとき，たとえ音の大きさと高さが同じと感じても，その 2 つの音が異なって聞こえるとき，その相違に対応する属性」
  ・この定義の難点を改善するために試みられた別の定義（「音響学入門」[8] p.41, Helmholtz 以来の提案）：
  「音源が何であるかを認知するための手掛かりとなる特性であり，音を聞いた主体が音から受ける印象の諸側面の総称」
- ネウマ（$\nu\epsilon\upsilon\mu\alpha$【ギ】，neuma【ラ・伊】，neume【英・仏】）
  中世の単旋律歌曲の記譜で用いられた記号で，旋律の動きや演奏上のニュアンスを視覚的に示そうとしたもの。時代や地域によってさまざまなヴァリエーションがある。ギリシャ語の「ネウマ」は「合図・身振り」の意味で，合唱の際の手の合図。
- ネウマ譜，ネウマ記譜法（neumatic notation）
  ネウマを使った記譜法およびそれによる譜。9 世紀ころから現れ，初期の音高を示さない「無音高ネウマ」（アディアステマティカ），「音高ネウマ」（ディア

ステマティカ）を経て，11 世紀には 4 線の「譜線ネウマ」に発展し，その先頭に書かれた C 音および F 音の音部記号は後のハ音記号，ヘ音記号につながる。G 音用のト音記号は後で導入された。

- 能管（のうかん）
  竹製の笛で，能・歌舞伎・祇園囃子などに使われる。樺（かば）（桜の表皮を薄く裂いてつないだもの）を篠竹（しのだけ）に巻いて漆や朱を塗った七孔のエアーリード楽器で，歌口と最も手前の指孔の間に厚さ 2mm ほどの竹の筒（「のど」と呼ばれる）を管内に挿入し，管内は漆が厚く塗られる。のどの存在のために共振モードは通常の直管の共振モードとは異なる。管ごとに音律が異なり，呼気流の速さを変えて，気柱振動のモードを変えることによって，同一の指使いで低音域（フクラ），中音域（セメ），高音域（ヒシギ）の吹き分けが可能である。
- ノートナンバー（note number）
  MIDI における音高を表す 7 ビットの数値。ノートナンバーが 1 上がると平均律で半音上を表す。10 進数で表して 0〜127 を使用し，中央 C は 60，A0（88 鍵のピアノの最低音）は 21 で，C8（88 鍵のピアノの最高音）は 108 で表される。

は

- 倍音（harmonic overtones）
  複合音を構成する部分音の中で基本波成分と整数倍の関係にある周波数の成分音。ピッチ感をもつ（高さを感じさせる）音のスペクトル成分は，その周波数が基本波成分の周波数のほぼ整数倍になっているので倍音と呼べるが，明確なピッチを感じさせない音のスペクトル成分はそうなっていないので倍音とは呼べない。また，ピアノ音は高さを感じさせるが，ピアノ弦の振動は弦の曲げ剛性によってそのスペクトル成分は高次になるに従って調波構造からのズレが大きくなり，厳密には倍音と呼びにくくなる。
- バイヨン（ポ：baião）
  ブラジル東北部の民族舞曲およびそのリズム形。1940 年代に広まった。軽くはずむ 2 拍子系の音楽。
- バウト（bout）
  「ひとまとまり」の意。特にヴァイオリン属の胴に対してしばしば使われる表現で，胴を上部から大きく 3 つの部分に分けて考えたときにネックの付け根から上部コーナー辺りまでをアッパーバウト，下部のコーナーからエンドピンまでをロワーバウト，それらの間，すなわち 4 つのコーナーで囲まれる部分がセ

ンターバウトと呼ばれる。

- ハウリング（howling）
  ピックアップ（マイクロフォンなど）で音を拾って，それをその近くに置いたスピーカから音を拡大して出している状態では，スピーカから出た音をマイクロフォンが拾って再び拡大することになって，正帰還がかかり，音がどんどん大きくなって発振状態（通常，どこかの周波数で飽和するので「ピーッ」という感じの音になる）に陥る現象。通常は望ましくない現象である。これを止めるには，アンプの増幅率を下げる（音量を絞る）か，マイクロフォンをスピーカーから離す。エレキギターによる「フィードバック奏法」(3.5.2 項 (2)(f)) はこれを積極的に利用するものである。
- バス（bass）
  1. 男声における低音域。
  2. 同一属の楽器の中で，声におけるバスに対応する音域・性格の楽器。
     例：バスクラリネット
  3. 4 声体書法における最低声部。
- バスバー（bass bar）
  ヴァイオリン属で，表板の低音弦側のコマ脚の裏側に，アッパーバウトからロワーバウトにかけてニカワ（動物の皮や骨を煮沸・凝固させて作った接着剤）で固定する木製の表板補強材。擦弦時に駒の低音側の脚が表板を押し下げないように不動にして，そこが駒の面内回転運動の中心になるようにするという意味がある。補強のための力木(brace) 以上に上記のような重要な機能をもつので，単なる「力木」とか「ブレイス」ではない。
- 波数（wave number）
  単位の長さに波がいくつ入るかを表す数。波長の逆数になる。通常，k で表す。
- 波長（wavelength）
  周期的な波の，繰り返しの単位となっている空間的な長さ。通常，λ で表す。
- 発振器（oscillator）
  特定の波形（正弦波や矩形波，鋸歯状波，白色雑音などを発生する装置。
- バッハ弓（Bach bow）
  1900 年代初頭，Arnold Schering が論文発表[86] し，それに著名なオルガニストでアフリカでの医療活動でも有名な Albert Schweitzer が悪乗りした珍説[87] による弓。バッハの時代は，ヴァイオリンで 3 重音や 4 重音を弾く弓があったはず，という説に基づく。音楽界ではその後否定されたが，実験的な試みはその後も何人かによって行われ，録音が残っている。
  →F.2.2 項 (2) の (q) 多重音奏法。原論文では “Rundbogen”（曲がった弓）。

- 波動方程式（wave equation）→ 微分方程式
  波動現象を表現する微分方程式。「変位 ξ の時間に関する 2 階微分 $\ddot{\xi}$ が空間に関する 2 階微分 $\nabla^2\xi$ に位相速度 c の 2 乗をかけたものになっている」という関係（$\ddot{\xi} = c^2\nabla^2\xi$）を表現している。この微分方程式の解としてダランベールが与えたもの（「ダランベール解」と呼ばれる）は，進行波と後退波の和の形をとる。
- ハムバッカー（hum-bucker）
  ハム（電磁ノイズ）を軽減する機能をもつ電磁ピックアップ。同一方向巻のコイルだけの電磁ピックアップは感度を上げられるが，電磁ノイズを拾いやすい。これに対して，巻き方を逆にしたコイルを直列につないで同一方向に並べておくとコイルの軸方向の磁界に関しては相殺効果をもつので，軸方向の磁界変動を拾うのを軽減することになり，検出対象の信号のそれ以外の方向成分を低雑音で拾うことができる。レスポール・モデルのエレキギターに装着されるピックアップがこの型である。
- ハーモニックス（harmonics）
  1. 高調波（基本波の整数倍の成分）。倍音（overtone）とも。
  2. 擦弦・撥弦楽器で特定の高調波を強調する奏法。振動弦長の整数分の 1 のところに指を当ててそこが振動の節になるようにする。フラジオレット（flageolet【英・仏】, flagioletto【伊】）とも。（フラジオレットという名前のフィップル付きの金属製の楽器もあるので注意。）開放弦での場合をナチュラルハーモニックス，押弦での場合をアーティフィシャルハーモニックスという。

  ナチュラルハーモニックスの場合はナットから，アーティフィシャルハーモニックスの場合は押弦位置からブリッジ（コマ）まで弦の振動部分の長さ（スィンギングレングス）の $\frac{1}{n}$（n=2,3,4,5,6,8,9）の位置に指を触れて弾くと，触れた位置を不動点（節）とする高調波が生じやすくなり，振動部分の長さに対応する基本波の第 n 高調波を基本周波数とした振動成分が大きくなり，金属的な音になる。ヴァイオリン属では，アーティフィシャルハーモニックスは技巧的

表 I.1 ハーモニックス奏法における触弦位置と押弦による通常の音高の周波数との周波数比およびナチュラルハーモニックスによる音高の関係

触弦のフレット位置	12	7	5	4	3	2 の少し上	2
押弦した場合の音高	1oct. 上	5 度上	4 度上	長 3 度上	短 3 度上	3oct. 上	長 2 度上
開放弦との周波数比	2	3/2	4/3	5/4	6/5		9/8
ハーモニックスの周波数比	2	3	4	5	6	8	9
周波数比の解釈	2^1	2 × 3/2	2^2	4 × 5/4	4 × 3/2	2^3	8 × 9/8
ハーモニックスでの音高	1oct. 上	1oct.+5 度上	2oct. 上	2oct.+長 3 度上	2oct.+5 度上	3oct. 上	3oct.+長 2 度上

フレットのない楽器については，「フレット位置」を「開放弦から半音単位で上がる数」と読み替え

な奏法に属する。**表 I.1** に触弦位置と押弦による通常の音高の周波数との周波数比およびハーモニックスによる音高の関係を示す。

- バリトン（baritone）
  1. 男声におけるテノールとバスの間の中間的な声種。
  2. 同一属の楽器の中で，声におけるバリトンの音域・性格の楽器。
     例：バリトンサックス
- バリトン（baryton）
  ドローン弦を数本もったバス・ヴィオラ・ダ・ガンバ。別名：ヴィオラ・ディ・ボルドーネ（Viola di Bordone，低音弦のヴィオラ）
- パルデュッシュ（par-dessus）
  フランス語：「・・・よりも上に」の意。viole de gambe（ヴィオラ・ダ・ガンバのフランス語）のディスカント（ソプラノ兼メゾソプラノ）楽器であるデュッシュ・ド・ヴィオルよりもさらに高音域の楽器に対して付けたフランス語。フランスだけで使われたので対応するイタリア語の名称はない。
- 半音（semitone）
  平均律では 1 オクターヴを等比的に均等に 12 に分けた音程で，周波数比で $2^{\frac{1}{12}} \approx 1.0592$ で，これを 100¢（セント）としていて一意的であるが，純正律では間に黒鍵をもたない隣接白鍵の間の半音としてミとファの間（完全 4 度－長 3 度）の $\frac{4}{3}/\frac{5}{4}$，およびシとドの間（オクターヴ－長 7 度）の $2/\frac{15}{8}$ があり，これらはどちらにしても周波数比で $\frac{16}{15}$ で，**全音階的半音**と呼ばれる。これに対して，黒鍵と白鍵の間の半音は**半音階的半音**と呼ばれる。半音階的半音には広いものと狭いものがある。
- 半音階的半音（chromatic semitone）
  黒鍵と白鍵の間の音程を**半音階的半音**と呼ぶ。これは全音から全音階的半音を差し引いた残りであるが，全音に広い全音と狭い全音があるのに応じて半音階的半音には広いものと狭いものがある。全音として広い全音をもってくると，この開きの周波数比は $\frac{9}{8}/\frac{16}{15} = \frac{135}{128} = 1.0546875$ であるが，狭い全音をもってくると，$\frac{10}{9}/\frac{16}{15} = \frac{25}{24} = 1.041\dot{6}$ となり，これは長 3 度と短 3 度の差の周波数比 $\frac{5}{4}/\frac{6}{5} = \frac{25}{24}$ と一致する。以上より，純正律の半音には全音階的半音と 2 種の半音階的半音があることになるが，どちらの半音階的半音も，全音階的半音（周波数比で $\frac{16}{15} = 1.0\dot{6}$）よりも狭い。
- 半値幅（half power band width）
  パワー周波数特性として表される共振特性 $P(f)$ で，ゲインが中心周波数 f_c でのゲイン $P(f_c)$ の半分になる上下の周波数をそれぞれ f_U，f_L としたとき，すなわち $P(f_U) = \frac{1}{2}P(f_c)$，$P(f_L) = \frac{1}{2}P(f_c)$ のとき，$f_U - f_L$ を半値幅という。

- ビウエラ（vihuela）
  15 世紀スペインの 6 弦 4 度調弦・フレット付き弦楽器。ビウエラは中世イタリア語のヴィオラにほぼ対応するスペイン語と考えればよい。単にビウエラといえば，通常は撥弦のもの（ビウエラ・デ・マノ：手の・・・）を指すことが多い。撥弦型からスペインでギターが生まれ，擦弦型（ビウエラ・デ・アルコ：弓の・・・）はイタリアでヴィオラ・ダ・ガンバになった。
- ピエゾ素子（piezo-electric devices） → 圧電素子
- ピタゴラス音律（Pyhtagorean temperament） → 音律
  完全 5 度に基づく音律。5 度ずつ，12 回上がると 7 オクターヴ上ることになる（C から始め，オクターヴ境界を越えると | を入れるようにして書くと，C → G → | D → A → | E → H | → F# → | C# → G# → | D# → A# → | F → | C）が，正確な 7 オクターヴ上よりもほんの少し上になる。周波数比で表すと，$\frac{(3/2)^{12}}{2^7} \approx 1.01364327$ となり，1 よりもほんの少し大きい。この微小差は「ピタゴラスのコンマ」と呼ばれ，セントで表すと，約 23.46 ¢である。和音の協和性を崩さずに，これをオクターヴ内にいかに分散させるかという問題に対して種々の音律が提案された。
- 引き込み（engulfment）
  不安定状態（共振に近い状態など）から安定状態（共振状態など）への誘引。
- 非調波性・非調和性（inharmonicity）
  周波数スペクトルの成分の位置が，基本波成分の周波数の整数倍から外れること。日本ではピアノの弦の非調和性についてはインハーモニシティと英語で呼ぶことが多い。ピアノの弦の振動は弦の曲げに対する剛性によって高域になるほど基本周波数の整数倍よりも上がり，これはピアノの音らしさを与える特性の 1 つであるとされる。

  高調波の周波数の，基本周波数の整数倍からのずれの程度は，西口による A3（f_0=220 Hz）の測定例では，第 5, 10, 15, 20 高調波で，それぞれ 1, 25, 84, 215Hz 程度となっている[34)]。
- 非負行列分解（non-negative matrix factorization, NMF）
  BSS（Blind Source Separation，**ブラインド音源分離**）手法の 1 つとして独立成分分析に続いて開発された。複数の信号源から発生した信号が混合されている音場で，混合音を観測し，それを周波数スペクトルの時系列で S 行 T 列の**混合行列** M として表現した時に，それを要素の値が非負（0 か正）の独立なベクトルからなる S 行 K 列の**基底行列** B と，要素の値が非負（0 か正）の K 行 T 列の**行動行列** A の積で表すように分解することによって，基底行列の第

k 列を第 k 信号源のスペクトル，行動行列の第 (k,t) 要素を第 k 信号源の時点 t での大きさと解釈する。

行動行列の要素の値は 0 か正値であるという条件の下で，非 0 の要素の数が最小になるように最適化することによって行動行列すなわち各信号源の出力の強さの時系列を表す行列を得る。

この手法を音に適用するには根源的な問題が 3 つある。

1. 音の混合は波形レベルでの加算であり，パワースペクトルの次元での加算ではない。
2. 対象とする音源の音が独立であるとは限らないので，分解が必ずしも一意的に求まらない。
   （音楽の演奏のように，成分高調波が同じ位置にある音だけで混合されている場合は，別の形の線形和で表せる可能性がある。）
3. ミキシングのような瞬時混合（信号の伝搬に時間がかからない）の場合はこのままで適用できるが，信号が音の場合は伝搬時間が無視できないので，音源からマイクロフォンまでの伝搬所要時間を考慮できるモデルが必要である。

- 微分音（microtone）
  半音よりも狭い音程。全音を等比的に何分割するかによって，3 分音，4 分音などがある。インドや西アジアをはじめ，多くの民族音楽で特徴的に用いられる。
- 微分方程式（differential equation）→ 波動方程式，参）差分方程式
  未知の関数とその導関数に関する関係によって表された関数方程式。古典物理では，変位などを表す変数に関する時間微分と空間微分の関係を表現する方程式で物理現象を表すことが多く，それを解く（方程式を満たす関数を求める）ことによってその現象を理解することができる。物理的な物体の 3 次元的な運動現象を表したり，電気回路の動作を表したりする。物体の運動を表す微分方程式はエネルギー保存の法則と運動方程式から導かれる。流体の場合はこれに連続の法則が加わる。天体運動も引力を表す微分方程式で表される。波（音もこれに含まれる）を表す微分方程式は**波動方程式**と呼ばれ，波動を表す変位の時間に関する 2 階微分と空間に関する 2 階微分の間の関係として表される。
- 標本化（sampling）→ サンプリング

- 標本化定理（sampling theorem）→ 参）折り返し
  連続信号 $s(t)$ を一定の標本間隔 T ごとの値 $\{s(nT), n\colon$ 整数 $\}$ で標本化（サンプリング）する場合，$s(t)$ が含む最高周波数が $f_{\max}$ であるとき，標本化速度（「標本化周波数」と言っても構わない）f_s が $f_s(=\frac{1}{T}) > 2f_{\max}$ を満たす場

合は，時間軸上のいかなる時点の $s(t)$ も，その T ごとの標本値だけによって次のように表すことができる。

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(nT) \frac{\sin \frac{\pi}{T}(t-nT)}{\frac{\pi}{T}(t-nT)} \qquad \text{(付.170)}$$

f_s は「標本化速度」（サンプリングレート）で，単位は samples/s である。（便宜的に標本化周波数と呼ばれ，単位として Hz が使われることが多い。）$2f_{\max}$ は「ナイキストレート」(Nyquist rate) と呼ばれる。したがって，もし使える AD（analog to digital）変換器の標本化速度が f_{AD} の場合は，高域遮断（あるいは低域通過）フィルタによって $\frac{f_{\mathrm{AD}}}{2}$ 以上の成分を含まないようにしておけば，サンプル値列から原信号を再現できることが保証される。$f_{\max} \geq \frac{f_{\mathrm{AD}}}{2}$ の場合には「**折り返し誤差**」が起きる。

- ピリオド楽器（period instruments）→ ペリオド楽器

- ファド（fado）
  ポルトガルの民族歌謡。リスボンの下町アルファーマ地区で遅くとも 1820 年ころまでに発祥した。歌を中心に，ポルトガルギターとスペインギターを伴奏楽器として，時には低音用の大型ギターを入れて演奏されるが，歌なしで演奏される場合もある。歌詞は主として海を相手にした生活あるいは貧しさを嘆くものが大部分で，船乗りや漁師およびその家族が歌う形のものが多い。ファドの主題は悲しさと喪失感が混じった「サウダージ（saudade)」であると言われる。1954 年の映画「過去をもつ愛情（Les Amantes du Tage)」の中でバイヨン（baião）「暗い艀（はしけ）（Barco Negro)」を歌ったアマリア・ロドリゲス（Amália Rodríigues, 1920-1999）がその後「ファドの女王（Rainha do Fado)」と呼ばれるようになり，ファドをポピュラーにした。

  コインブラ大学の学生を中心に発達したコインブラ・ファドはこれとはまったく異なり，セレナータの性格をもつ。これを歌うのは必ず男性で，黒い衣装を身に付けて，広場や聖堂の石段などで夕暮れ時に歌う。

- フィップル (fipple)
  エアーリード型の木管楽器の歌口の一部を詰めて固定の気道を作り，気流を整えてエッジに適切に当たるようにするもの（**図 I.11**)。固定気道をもつ笛（リコーダー，フラジオレット，ティンホイッスルなど）をフィップルフルートと総称する。ドイツ語の blocken は「閉塞する」で，ブロックフレーテ（詰め笛）はリコーダーを指す。

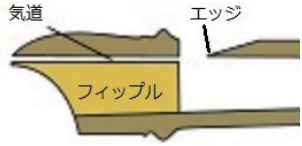


図 I.11　フィップル（エッジに気流を適切に当てる気道を作るための詰め物）

- フィードバック（feed-back）奏法
  振動ピックアップをもつエレキギターの音色を変える手段の 1 つである。スピーカーから出る音による空気の振動をピックアップで拾って，音が発振しない程度に（ハウリングが起きないように）増幅率を抑えておくと，ピックアップとスピーカの間の距離によって強調される成分と打ち消しあう成分ができるので，ギターの位置を変えることによって音色を変えることができる。演奏中にギターの位置を変えることによって音色や音量を変える方法として用いられる。
- フィドル（fiddle）
  擦弦楽器一般を指す英語。イタリア語のヴィオラの原義と同義。フランス語ではヴィオル（viole），ドイツ語ではガイゲ（Geige）。ヴィオラ・ダ・ガンバ，ヴィオラ・ダ・ブラッチオおよびそれらの前身である弓奏リラ，スペインのビウエラ・デ・アルコ，アラブ系のレベックなどを含む。ドイツ語の Geige は現在ではヴァイオリンを指すが，Agricola の「ドイツの楽器」（初版 1528 年）では Grosse Geige（大ガイゲ）はビウエラ・デ・アルコ属を，Kleine Geige（小ガイゲ）はレベック属を指している。

  1964 年の Jerry Bock 音楽, Sheldon Harnic 詞によるミュージカル “Fiddler on the Roof” （原作は Sholem Aleichem の “Tevye the dairyman”：「牛乳屋テヴィエ」）は日本では「屋根の上のヴァイオリン弾き」と訳されていた。
- フォルテピアノ（fortepiano）
  18 世紀から 19 世紀初頭までのピアノを，それ以後のものと区別するための呼称として使われるが，明確な定義はないようで，現代のピアノの標準的な構造が確立されるまでのものを指すと考えてよい。主として，アクションの型とフレームが木製か鋳鉄製か，などで呼び分けているようである。

  フレームに鋳鉄を用いたものが，ほぼモダンピアノと呼ばれるのに対して，それと区別するために，19 世紀初頭以前に作られたピアノはフォルテピアノ，ないしはペリオドピアノと呼ばれる。ただし，フォルテピアノの中にもフレームや支柱が金属製のものもある。鋳鉄フレームの特許はかなり古くて，1825 年にバブコック（Alpheus Babcock）がとっている。エラール（Sebastian Erard）によるダブルエスケープメントの発明が 1821 年で，この製作と鋳鉄フレーム

が同じような時期にメーカーによってバラバラに始まったのでこのようなことになったのであろう。

- プサルテリオン（古ギ：$\pi\sigma\alpha\lambda\tau\epsilon\rho\iota o\nu$）
  【独】Psalterium プサルテリウム，【英】psalterium サルティリアム，【伊】salterio サルテリオ
  ハープの原始型。腕木から共鳴胴の板にそれぞれの高さのための弦を張った撥弦楽器。指で弦をはじく。後に，共鳴胴の板が弦の面と平行になって，弦は撥で叩く型のものも現れた。フランス語の cithare（シタール）は古代ギリシャのキタラーの名前をよく残し，ドイツ語のツィターにつながる中間的な名称である†。フィンランドのもの（5〜40 弦）が kantele で小型のものは膝上に載せて弾ける。撥での打弦型になったものが（hammered）dulcimer で，ドイツではハックブレット（Hackbrett），ハンガリーではツィンバロン（zimbalon）。ペルシャからインドではサントゥール（santour）など，地域によって呼び名が変わる。イタリアでは salterio tedesco（ドイツのサルテリオ）なので，語頭の'p'が落ちているが，原語に近い。
- 物理モデル（physical model）
  楽器（仮想的なものでもよい）の発音機構を微分方程式で表すもので，その解（音）をコンピュータシミュレーションで得ることができる。
- 不定ピッチ楽器（indefinite pitch instrument）
  ピッチ感をもたない楽器。ティンパニ以外のほとんどすべての膜鳴楽器と体鳴楽器の中で，シンバル，トライアングル，カスタネット，ギロ，マラカスなど，かなりのものがこれになる。小鼓は叩くと同時に調べ緒を緩めて音高を下げるが，この音高は音色的高さで，小鼓は不定ピッチ楽器である。
- 部分音（partials）
  音の構成成分。明確な高さが感じられる音の周波数スペクトルは調波構造（周波数スペクトルが，ある周波数の整数倍の周波数の成分だけで構成される構造）になるので，その場合の部分音は高調波と言い換えられるが，高さのない，もしくは高さが不明瞭な音の周波数スペクトルは成分の周波数が必ずしも基本周波数の整数倍になっているとは限らない。したがって，そのような音のスペクトル構成成分は高調波とは呼べない。例えば，ピッチ C4 が明確なピアノの音のスペクトル（図 3.66）は成分が基本周波数 262 Hz のほぼ整数倍のところにあるが，ピッチが不明瞭なトライアングルのスペクトル（図 3.103）はそのような構造になってない。このような場合も含めて音の構成成分を指すのに「部

† 印欧語ではｃとｚがよく等価に扱われる

分音」と呼ぶ。

- **ブラインド音源分離**（blind source separation, BSS）
観測される信号以外の情報を使わないで，各信号源の波形を推定すること。聴覚は，複数の音源からの音が混合している場合でも，混合音を聞いただけでそれらを分離して，どのような音源からの音が聞こえているのかを認識する音脈分凝（stream segregation）機能をもつ。この機能は，それぞれの音ごとにそれを構成する成分の立ち上がりの同時性，時間経過に伴う変化の時間同期性，減衰の共通性などに基づいたものと考えられる。この機能を工学的に実現できると，音楽関係では，器楽伴奏付きの歌唱音からの歌唱音の分離抽出や，数種の楽器による合奏音からの各楽器の音への分離などが可能になる。

信号処理技術としてのブラインド音源分離は，複数の信号源から出た信号が混じり合っている場で，混合信号をいくつか（1 つあるいは複数）の受信装置（音の場合はマイクロフォン）で受け，受信された混合信号だけから（信号源から受信位置までの伝搬特性を用いることなく），混合前の信号波形を推定すること。「ブラインド」は，信号源から受信位置までの伝搬特性に関する情報を使えないとするという意味である。技術的にこれを実現する方法として，現在までに，独立成分分析[133] と非負行列分解[134] が提案され，研究されている。

観測条件として，信号源の数以上の個数の受信装置を使えるのか，混合は，瞬時混合（ミキサーによる混合など）なのか，音場空間での音の混合のように信号の発生位置（音源位置）から受信点（音の場合はマイクロフォン）までの信号伝搬経路の特性が影響しかつ到達までに時間がかかる（「畳み込み混合」の状態）としないといけないのか，環境条件として，場の擾乱（音の場合は暗騒音）はどの程度想定しなければならないのか，信号に関する制約条件として，各源信号は独立と仮定できるのか，等によって問題の難しさが異なる。

信号源の数以上の個数の受信装置を使っても構わないという観測条件で，瞬時混合で，各源信号は独立と仮定できる場合の分離方法として，**独立成分分析**（independent component analysis, **ICA**）があり，使用可能な受信装置の数が 1 の場合の方法として**非負行列分解**（no-negative matrix factorization：NMF，非負値行列因子分解などとも）が提案されている。

ブラインドの条件を外すなら，信号源から受信位置までの伝搬特性をあらかじめ測定しておいて，周波数領域での一般逆行列を用いるという古典的な方法[135] があり，畳み込み混合にも対処できたが，ブラインド条件を課すことで，何らかの条件を導入せざるを得なくなり，かつ畳み込み混合への対処が難しくなった。

源信号の独立性を仮定する方法が独立成分分析 (ICA) で，非負行列分解

(NMF) は周波数スペクトル領域で各源信号が独立であることを仮定し，個々の源信号についての周波数スペクトル成分が共起することを利用して現象の最簡記述を求めるものである。

ICA は受信した信号群の共分散行列を白色化する直交化行列を求めてから分離された信号の独立性指標を最大化する回転行列を求めるが，基本周波数が完全に同一あるいは簡単な整数比になっている信号の分離に弱いので，同一音高あるいは和音を構成する音の分離が難しい。実際，鋸歯状波や矩形波で作った同一基本周波数の波形や和音の合成波形を源信号に使うとそれらの分離はできない。これは，原信号の独立性が高くない場合にはもっと独立性が高くなるように分けてしまうからで，実際の楽器の音なら同一音高でも和音でも，そこそこうまく分離できる。これは，たぶん，基本周波数の微妙なズレや楽器間の微細な同期のズレが分離にはかえって有効に働くからであろうと思われる。独立性の指標として尖度やネゲントロピー，相互情報量などが提案されているが，何を使うかが動作結果を左右する。

NMF は当初，画像の分解法として提案された方法で，音響信号処理分野では瞬時混合（ミキシング）された音の分離に応用されている。波形での加算がパワースペクトル上でも加算になるという大胆な（真実でない）仮定に基づいており，かつ直交性の保証のないベクトル群を基底ベクトルに使うので，音の混合のような畳み込み混合になる現象に対してはモデルの適用妥当性が疑わしい。このことから，NMF は共通の周波数成分が多い源信号が同時生起しているような混合信号の分離には弱く，同一音高の混合や和音の分離が難しいはずである。にもかかわらず，スペクトログラムを画像として見るなら，それを正値による表現と考えても実用上は構わないようで，非負行列による表現は現実には意味をもつように思える。音楽の演奏では譜面上は同時であっても細かく見るといくらか時間差のあることが多いので，複数楽器による現実の演奏に対しては，そこそこうまく動作するようである。

- プラギアウロス（古ギ：$\pi\lambda\alpha\gamma\iota\alpha\upsilon\lambda o\sigma$，plagiaulos【英】）
  古代ギリシャのダブルリードの単管の横笛。「非標準アウロス」あるいは「変格アウロス」の意。古代ギリシャの縦笛としては双管のアウロス（図 I.1 参照）のほうが単管のものよりもポピュラーであった。
- フラジオレット（flageolet【英・仏】，Flageolett【独】，flagioletto【伊】）
  1. フィップルフルートの一種 → フィップル

  フィップルをもち，16 世紀後半から存在したリコーダーと同じ構造（固定気道の歌口とエッジ）の 6 孔（前 4 孔，裏 2 孔）の縦笛で，双管のもの（**図 I.12**）

もあった。語源はラテン語の “flare(吹く)” に基づく南仏の “flajol(笛)” の縮小形。19 世紀後半にイギリスで管部分が金属に錫メッキで 7 孔（前 6 孔，裏 1 孔）のものが素人用の楽器として大量生産されるようになり，ティンホイッスルと呼ばれるようになった。現在は金属（必ずしも錫メッキとは限らない）製あるいは樹脂（ポリ塩化ビニールなど）製になっている（**図 I.13**）。



図 I.12　双管のフラジオレット (武蔵野音大 HP より)



図 I.13　現在のティンホイッスル（Wikipedia）

2. ハーモニックス奏法

ハーモニックス奏法による音は，楽器のいかんにかかわらず，上記 1. の楽器フラジオレットの音に似ている

- ブーランジェ（Nadia Boulanger, 1887-1979）[136)]

作曲家，作曲に関する教育者。作曲に関する 20 世紀の最大の教育者とされる。20 世紀の重要な作曲家の多くが彼女の指導を受けている。10 歳でパリ音楽院に入学し，作曲についてはフォーレ（1905-1920: 院長）の指導を受けた。フォーレの門弟としては，数期上にラヴェル（12 歳年上）がおり，同時に在籍した期間があったということになっている。その作風は 19 世紀末から 20 世紀初頭にかけての音楽の変革期に調性をかろうじて守って書いたという感じの新古典派的なものである。

【ローマ大賞 (Grand Prix de Rome)】

ローマ賞（フランス文化省による芸術分野のコンクールで，ルイ 14 世の治世 1666 年に設置された）に 3 度挑んだが，最高で次点に終わっている。ただ，ローマ大賞をえないで，後に名声を上げたラヴェルやドラクロワ，マネ，ドガなどの大芸術家が多数いることや，大賞を得ても以後芸術活動が芳しくない者がいたことなどから，評価基準への反省が起こり，作家のアンドレ・マルローが文化相であった 1968 年にローマ賞は廃止になり，1971 年からは奨学金の形になった。

【妹】

病弱の妹リリ（Lili，1893-1918) がナディアについて作曲を始め，1913 年に「ファウストとエレーヌ」でローマ大賞を獲得したが，それにはナディアの手引きがあったとされる。ただ，ナディア自身は自分の作曲の能力が妹に及ばないと感じて，活動の重点を徐々に作曲から教育へ移し，1907 年からパリ女子音楽院で和声法を教え始めていた。リリは 25 歳で病没し，未完のまま残した曲への補筆を姉に頼んで死んだが，ナディアはそれもできずに，作曲活動をやめてしまい，教育に専念するようになった。

【リリ・ブーランジェ賞】

リリの死後，ナディアは基金を作り，才能のある音楽家を支援するためのリリ・ブーランジェ記念賞を作った。ナディアの没後，その基金は CNLB（Centre International Nadia et Lili Boulanger）が管理している。受賞対象は作曲に限らない。2015 年に Andy Akiho が受賞している。

【作曲者の道を捨てて教育者に】

1920 年にはエコール・ノルマルの教授になり，その後，フォンテンブローのアメリカ人のための音楽学校で教えていたこともあって米国人の門下生が増え，第 2 次大戦中は米国に渡ってジュリアード音楽院で教鞭をとり，大戦後はパリ音楽院へ戻っている。92 歳で死ぬまで教育活動を行っていたが，高齢になってからはパリの自宅で教えていたようである。**図 I.14** は自宅でのレッスンのスナップで，ナディアは 66~67 歳である。



図 I.14 自宅でのレッスン（1954 年） 指導を受けているのは Astor Piazzolla（Maria Susana Azzi 著 “La Vida y Música de Astor Piazzolla” より）

【門下生】

おもな門下生として，筆者が名前を知っている音楽家が多数挙げられている。以下にその一部を示す。（29 歳年長のドルメッチや 21 歳年長のブゾーニが門下生ということになっているので，このリストはパリ音楽院以外での指導を含んでいる。）

– ピアノと指揮のユダヤ系色の濃いダニエル・バレンボイム (1942-)
– 大ヒットしたミュージカル「ウエストサイド・ストーリー」の音楽を書いた指揮者レナード・バーンスタイン (1918-1990)

- 現代のフランスを代表していた作曲家ピエール・ブーレーズ（2016 年没）
- イギリスの作曲界の重鎮となったベンジャミン・ブリテン（1913-1976）
- 米人作曲家のエリオット・カーター (1908-2012) やアーロン・コープランド (1900-1990)
- 世界中で最も多数使われている和声課題集で有名なアンリ・シャラン (1910-1977)
- 後にスタンフォード大で FM 合成法を開発し CCRMA 設立の資金基盤を作ったジョン・チャウニング (1934-)
- ミュージック・コンクレートを共同で始めたピエール・シェッフェル (1910-1995) とピエール・アンリ (1927-2017)。
- ジャズ・ピアノのキース・ジャレット (1945-)
- ジャズのトラペットや作・編曲のクインシー・ジョーンズ (1933-)
- ポピュラー音楽のミシェル・ルグラン (1932-2019)
- 早逝したピアニストのディヌ・リパッティ (1917-1950)
- 子供時代に神童として喧伝されたが，後年はヴァイオリン教育に徹したイェフディ・メニューイン (1916-1999)
- ヴィエニアフスキー・コンクールで 10 歳以上年上のオイストラッフを抜いてダントツ 1 位だったが，航空機事故死したジネット・ヌヴー (1919-1949).
- タンゴを革新したアストル・ピアソラ (1921-1992)
- 和声法の権威で世界的に著名な和声法と対位法の教科書を書いたウォルター・ピストン (1894-1976)
- メキシコで主としてギター曲を書いたマヌエル・ポンセ (1882-1948)
- ストイックなヴァイオリンのヘンリク・シェリング (1918-1988)

- ブリッジ（bridge）→駒（こま）
- プリペアードピアノ（prepared piano）

  John Cage(1912-1992) が 1938 年に “Baccanale”で採用したピアノの使用法で，消しゴムや金属の小さな塊などの小物をピアノの弦」間に挟んだり，弦の上に載せて弾くようにしたもの。弾くと叩かれた弦に接触している小物が弦の振動に作用し，通常のピアノとは異なった音色になったり，はじかれた小物が弦面に落ちて音を発するというような現象が斬新な手法として注目された。
- フリーリード楽器（free-reed wind instruments）

  空気を通す穴（金属板などをくり抜いた穴）を貫通して表裏に自由に振動できるように取り付けられた金属製のリード（静止状態ではごくわずか間隙がある）に空気を吹き付けるか吸い込むかによって，リードをその固有振動数で振動させる。

  フリーリード楽器は穴とリードを音高ごとにもち，奏者は所望の音高のリードを振動させるように空気を吹き付ける（あるいは吸い込む）ことになる。どのリードに空気を送る（吸い込む）かは，ハーモニカでは吹き込み（吸い込み）位置を選択することによって，リードオルガンやアコーディオンなどでは鍵盤によって空気の通路を選択するようになっている。
- プルト（Pult）

  ドイツ語で譜面台の意味であるが，オーケストラの弦の数を表す際の単位として使うことが多い。オーケストラの弦は 2 人ずつ並んで座って 2 人で 1 つの譜面台を共有し，指揮台に近い側から第○プルトと呼ぶ。ペアになる 2 人の位置

の区別は客席に近い側を「表」，遠い側を「裏」と呼ぶ。譜面をめくるのは左側の奏者（弓を置いて右手をフリーにできる）になる。弦セクションの編成を第1ヴァイオリン，第2ヴァイオリン，ヴィオラ，チェロ，コントラバスの順にプルトの数で，例えば「7-6-5-4-3プルト」などと表現することが多い。弦セクションの規模は第1ヴァイオリン奏者の数で14型（7プルトに相当）などと表すが，各セクションの人数は，標準的に上のように順にプルトを1ずつ減らして編成することが多いので，第1ヴァイオリンの数がわかれば弦の各セクションの数もほぼわかることになる。

- ブルドン（bourdon）→ 反：シャントレル（2. の意味で）
  1. パイプオルガンの低音管, あるいは最低音域のストップ（栓）。
  2. ネックをもつ弦楽器の低音弦（イタリア語のボルドーネ，スペイン語のボルドーナ）に対応するフランス語。歌弦を意味する「シャントレル」はよく使われる表現であるが，「ブルドン」は低音のドローン弦と解釈されることを避けるためかあまり使われない。
- プレクトラム（plectrum：撥弦具）
  撥弦楽器の弦をはじいて鳴らすための道具の総称。ギター用のものなどは英語でピックと呼ばれる。楽器によって固有の名称をもつ場合がある。

  邦楽器のプレクトラムは，三味線や琵琶用のものは「**撥**（ばち）」，蛇皮線（三線（さんしん））では「**義甲**（ぎこう）」，などと呼ばれ，昔は鼈甲（べっこう）や象牙で作られたものが大部分であったが，近年はワシントン条約（1973年）によってそれらの材料を使えなくなったので，合成樹脂製や木製のものが作られている。箏の演奏のために指先に装着するものは「**爪**」呼ばれる。

  ウード用の細長く柔らかい棒状のものはアラビア語で**リーシャ**，北インドのシタール用の金属製のものはペルシャ語で**ミズラープ**あるいは**ミズラーブ**，と呼ばれるが，いずれもそれぞれの言語でプレクトラム（撥弦具）を意味するようで，同一概念に対する名称の言語による違いであり，たまたまその国の楽器の撥弦具がそのような形状であったので，言語によって異なる名称になっているが，各個別楽器の撥弦具を区別するものではない。

  マンドリンのプレクトラムは**プレットロ**（プレクトラムのイタリア語）であるが，日本ではピックと呼ばれることが多い。指や爪も撥弦具の一種と考えられるが，通常はプレクトラムから除外されている。
- フレット（fret）
  ネックをもつ弦楽器で，弦を押さえることによって弦の振動部分の長さを決めるために，指板の表面から少しだけ突出させた多数の平行な盛り上がり。18世

紀ころまではガットを巻いただけのものが多かったが，現在では指板に金属や樹脂などで作った棒状のものを埋め込んだものが多い。ヴィオラ・ダ・ガンバやリュートには現在でもガット（ナイロン製？）を巻く。

- フレミングの「左手の法則」（Fleming's Left Hand Rule）
磁界中にある導線に電気が流れた場合に導線が受ける力の方向を表す法則。（モーターを考えるときに使う。楽器では電気的打鍵のためのソレノイド駆動などに使う。）

　左手の親指，人差し指，中指をたがいに直角にした場合，人差し指の方向の磁界の中にある導線に中指の方向に電流を流すと導線は親指の方向に力を受けるという物理法則。これはマクスウェルの方程式の中の $\mathrm{rot}\boldsymbol{E} + \frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}=0$ から導かれる。ただし，$\boldsymbol{E}$ は電場強度，$\boldsymbol{B}$ は磁束密度を表す。

- フレミングの「右手の法則」（Fleming's Right Hand Rule）
磁界中にある導線を動かした場合に導線に流れる電流の方向を表す法則。（発電機を考えるときに使う。エレキギターの電磁ピックアップもこれ。）

　右手の親指，人差し指，中指をたがいに直角にした場合，人差し指の方向の磁界の中にある導線を親指の方向に動かすと導線の中指の方向に電気が流れるという物理法則。これも上と同様に，マクスウェルの方程式の中の同じ式から導かれる。

- フロッグ（frog【英：カエル】, tallone【伊：かかと】）
擦弦楽器の弓の部品で，毛の手元側を弓の木部に取り付けるためのもの。木部の端から差し込んだ長いネジによって木部に沿ってフロッグをスライドさせて，毛の張りを調節する。日本語では「毛箱（けばこ）」。フロッグがなかった時代の弓は，奏者が演奏中に指で毛の張りを調節した。

- 平均律（equal temperament）
音律の一種。単に「平均律」といえば，オクターヴを対数的に等間隔に 12 分割する「12 平均律」を意味する。この場合，1 単位は半音となり，隣接音間（つまり半音）の周波数比は $2^{\frac{1}{12}} \approx 1.059463094\cdots$ である。12 平均律は広い全音と狭い全音を区別できないが，この区別が可能な平均律として，53 平均律がある。これは $(\frac{3}{2})^{53}$ が 2^{31} にきわめて近いことを利用する音律で，1 オクターヴを対数的に 53 に等分割し，その内の 21 箇所を使用することによって，ほとんどすべての調の三和音で構成音の周波数が純正律で規定される整数比に非常に近いようにするものである。53 平均律では三全音が規定から大きく外れるが，三全音を通常の意味の和音に使うことはないので，実質的には問題ないとされる。

- 平面波（plane wave）
  波面が平面になる波。
- ペダルトーン（pedal tone）
  リップリード楽器における基本共振に対応する高さの音。演奏音としては通常，使われない。リップリード楽器では，自然倍音列の音程の開きと音の出しやすさと楽器の作りやすさの妥協点から，吹鳴音高として基本共振は通常は使わず，第 2 共振以上を使う。基本共振を使わない理由は多少込み入っている。

  第 2 共振以上を使うなら，2.1.3 項の (4) (a)「トランペットやホルンのバルブはなぜ 3 本？」で説明したように，迂回管は半音の 1, 2, 3 倍の 3 種類で済む。ところが，もし基本共振を使うなら，その上の共振点は，開管なら第 2 共振で 1 オクターヴ上に飛び，そこまでの高さの差を半音単位で埋めるには最低限でも開管で半音の 1, 2, 3 倍の迂回管の上にさらに 4 度（半音× 5）を加えた 4 種の迂回管が必要になる（これで，半音× 1~11 のすべてが可能）。

  閉管なら次の共振点までは 12 度（1 オクターヴ＋ 5 度）も飛ぶので，さらに 5 度（半音× 7）の迂回管も必要になる（これで，半音× 1~18 のすべてが可能）。ただ，閉管楽器であっても，管内形状やマウスピースやベルの形を工夫するなどして，共振点が自然倍音列に近くなるようにできるので，閉管であることは考えなくてもよいといえる。ただし，これらの場合は迂回管の多重使用（付録 G.1.4 項参照）が増えるので，その補正も難しくなるのに対して，第 2 共振を使うようにすれば，その上の共振点（第 3 共振）は 5 度上（周波数で $\frac{3}{2}$ 倍）なので，埋めるべきは半音× 1~6 だけで，迂回管の多重使用も少なくて済む。

  もし第 3 共振から上を使うにしても，その上の共振点は第 4 共振で周波数では第 3 共振の $\frac{4}{3}$ 倍なので 4 度（半音× 5）上となり，そこまでを半音で埋めるにはやはり少なくとも 3 種類の迂回管が必要になる。 しかも，第 3 共振で適当な音域を得るには管長を長くすることが求められる。以上のことから，リップリード楽器では第 2 共振から上を使うようにして，基本共振は使わないようになっている。
- ヘテロダイン処理（heterodyne processing）
  （周波数の）異なる 2 つの信号を使った処理をいう。
  三角関数の性質により，周波数の異なる正弦波と余弦波を掛け合わせる（正弦波による余弦波の，あるいはその逆の振幅変調に相当する）と，それらの周波数の和と差の周波数の正弦波の和の $\frac{1}{2}$ になる † 。フィルターあるいはフィル

† これは高校で出てきた三角関数の公式で，式で表すと
$$\sin\alpha\,\cos\beta = \tfrac{1}{2}\{\sin(\alpha+\beta)+\sin(\alpha-\beta)\}$$

ターに相当する物理的な制約条件によって，この和周波数あるいは差周波数の波の一方だけあるいは両方を別々に取り出して所望の機能（変調や復調）を実現することができる。

同様に，三角関数の性質から，振幅が等しく周波数の異なる 2 つの正弦波を加えると，それらの周波数の平均周波数の正弦波と差の $\frac{1}{2}$ の周波数の余弦波の積になる †。このことを利用して，所望の機能を得ることもヘテロダイン処理の一種と考えてよい。

2 つの周波数を可聴域より高くして，その差が可聴域に収まるように小さくしておくと，聴覚の低域通過特性がフィルターとして働き，振幅包絡の時間変化を高さとする正弦波が聞こえる。これがテルミンおよびオンド・マルトノの原理である。→ うなり

- ペリオド楽器（period instruments）
「歴史的な楽器」とほぼ同義。現行の楽器（現在の楽器としての仕様で製造され使われている楽器）になる前の時代の楽器，ないしはその復元楽器，模作楽器。必ずしも歴史上存在し，現在まで存続しているという意味の歴史的なものの現物である必要はない。
- ヘルツ（Herz）
周波数の単位。記号は Hz。周期的な現象の 1 秒間の繰り返し回数。1960 年以前は「サイクル／単位期間」で表していたが，単位期間を 1 秒に固定して「サイクル／秒」を「Hz」と決めた。
- ヘルムホルツ運動（Helmholtz Motion）
擦弦による弦の定常的な振動現象で，弦によって 2 辺を形成された 1 つの角が上下の放物線で囲まれた閉曲線の周囲を回転するという特徴をもつ。ドイツの生理学者・物理学者 Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz によって明らかにされたのでこの名がつけられている（図 2.24 参照）
- ヘルムホルツ共鳴器（Helmholtz Resonator）
化学実験に使う丸フラスコのように首の付いた容器を共鳴器と考えたもの (図 E.10) である。固い物質でできた内容量 V の容器に長さ l，断面積 S のダクト（パイプ）がついて開口部となっているもので，典型的にはダクトは 1 本と想定されることが多いが，ダクトは複数あっても構わないし，長さがほとんどない（つまり容器に穴が開いているだけの）ものでもよい。このためオカリーナの音は首の短い開口を沢山もったヘルムホルツ共鳴器の共鳴音として説明され

† 式で表すと $\sin\theta + \sin\omega = 2\sin\frac{\theta+\omega}{2}\cdot\cos\frac{\theta-\omega}{2}$
（加える 2 波を余弦波とすると，得られる波はどちらも余弦波になる）

る。ただし，ダクトが複数ある場合，ダクトの断面積はそれらの断面積の総和になる。容器内部の空気がばねのように働き，ダクトの部分の空気が慣性質量として働く。共鳴周波数は

$$f = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{Vl}} \tag{付.171}$$

となるが，より正確に計算するためにはダクトの長さに開口端補正を加える必要がある。オカリーナやギターの胴のように，ダクトにほとんど長さがない場合，穴を円形として，その半径を r とすると，ダクトの有効長は $1.7r$ （つまり，開口端補正は容器の内外に $0.85r$ ずつ）ということになる。管内部の気柱の共鳴と異なり，ヘルムホルツ共鳴は倍音をもたないので，オカリーナの音は正弦波に近い音になる。ヴァイオリンのように孔の形が円でない場合，開口部の面積を S とすると，開口端補正はボディの内外方向の開口端について $0.5\sqrt{S}$ となる。ギターやヴァイオリンなどの場合，胴内部の空気の圧縮／膨張によってボディ自体が膨らんだり縮んだりするのでヘルムホルツ共鳴は複雑になる。弦楽器の場合，その共鳴胴が穴をもっていても，ヘルムホルツ共鳴はその楽器の主たる共鳴には一般にはならず，多様な共鳴のうちの 1 つとなるに過ぎない（図 E.30 にギターの例（この図の例では 97 Hz））。

- 変調（modulation）→ 反：復調

  時間関数としてのメッセージ信号 $s(t)$ を，アンテナから放射できる周波数の高い正弦波（搬送波：carrier wave）に載せて送信・放送するために，搬送波を $s(t)$ に基づいて変形させること。送受信（放送と受信）の場合は，受信側で復調（demodulation：信号 $s(t)$ を取り出すこと）ができるようにする必要があるが，音合成の場合には，復調の必要はない。

  振幅が A，周波数が f で初期位相を θ_0 とした正弦波（搬送波：carrier wave）は $f_c(t) = A\sin(2\pi ft + \theta_0)$ で表される。変調には，振幅を変調する**振幅変調** (amplitude modulation, AM)，位相項（式の中の括弧内）を変調する角度変調 (angle modulation) がある。角度変調はさらに位相そのものを変調する**位相変調** (phase modulation, PM) と位相の時間微分である周波数を変調する**周波数変調** (frequency modulation, FM) に分かれる。

  AM と FM はそれぞれの方式によるラジオ放送がある。TV がアナログ放送であった時代のコンポジット信号は，映像が AM，音は FM であった。PM は回路が複雑になるので少し前まではほとんど軍事使用に限られていたが，使用帯域を広げることによって S/N を稼げるので，最近ではセルラー通信や衛星通信に用いられている。

音楽用の音の合成には，AM が音の大きさを表す振幅包絡の時間制御のために使われ，YAMAHA の DX-7 では FM で変調波の周波数を搬送波の周波数の整数倍にすることによって調波合成音を作ったり，その縛りを外した FM や PM が多様な音色を作るのに使われた (付録 E.5.2 項 (4)(a) のコーヒーブレイク「FM 音源の原理」参照)。

メッセージ信号を $s(t)$, 周波数 f の搬送波を $f_c(t) = A\sin(2\pi ft+\theta_0)$ と表したとき, 振幅変調は, f を固定値とし, 振幅を $A(t) = A_0(1+m_A\times s(t))$ として, 変調信号を $f_{\rm A}(t) = A_0(1+m_{\rm A}\times s(t))\sin(2\pi ft+\theta_0)$ とするものである。$m_{\rm A}$ は変調度と呼ばれる。周波数変調は, A を固定して周波数を $s(t)$ で変化させるのであるが, 周波数は位相の時間微分であるため, 周波数変調では信号波を時間積分した信号に変調度 $m_{\rm F}$ を掛けた項を位相に加えて, $f_{\rm F}(t) = A\sin(2\pi ft+\theta_0+m_{\rm F}\times\int s(t)dt)$ とする。位相変調は，A と f を固定して位相項を $2\pi ft+\theta_0+m_{\rm P}\times s(t)$ として位相を $s(t)$ で直接変化させるものである。

復調は，AM による変調波を復調するには，半波整流（例えば信号が＋になった時だけ通す）後，それを低域濾波器に通すことによって包絡線を求めれば，元の信号 $s(t)$ が得られる。

FM による変調波の復調は，いくつかの共振回路（入力信号の周波数が回路の共振周波数に近いほど出力電圧が大きくなる）を組み合わせた周波数弁別器を用いて，搬送波からの周波数差を検出することによって，元の信号 $s(t)$ を求めればよい。より正確な線形性を望む場合は PLL(phase lock loop：位相ロックループ) を用いる。位相差を信号として取り出せれば，それを微分回路に通すことによって瞬時周波数を追跡することができる。

PM による変調波については帯域制限フィルタと振幅制御器を通した後，搬送波と同じ周波数の正弦波を差し引くと位相のズレに応じた電圧を得ることができるので，それを低域濾波器に通せば元の信号 $s(t)$ を得ることができる。

- ホイヘンスの原理（Huygens' principle）

2 次元的あるいは 3 次元的に広がる波の波面の進行を，ある時点における波面上のすべての点が新しい波源となって，そこからその点の媒質に応じた音速の球面波（素元波という）が生じ，これらの素元波の包絡面が単位時間後の波面となると解釈する。例えば，平面波の進行は**図 I.15** 上左，球面波の進行は図 I.15 上右の図で説明でき，音速が速い媒質と音速が遅い媒質の境界面へ音波が斜めに入射したときに波の進行方向が変わる（図 I.15 下左）という**屈折** (refraction) や，障害物の間隙を通り抜けた波が陰になる部分へ回り込む**回折** (diffraction) と呼ばれる現象（図 I.15 下右）も，通り抜けられる部分について

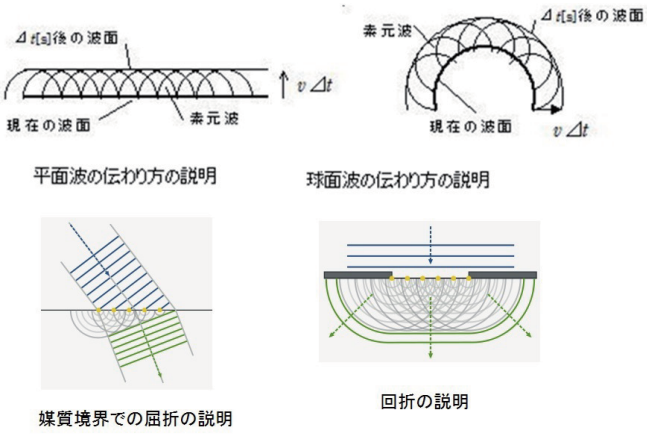


図 I.15 ホイヘンスの原理

ホイヘンスの原理を適用することによって，波が陰になる部分へも回り込んで伝わるということから直感的に理解できる。

- ポザウネ（独：Posaune）
  トロンボーンのドイツ語。現代ドイツ語では単数形が “Posaune”であるが，Praetorius は “Posaun”と書いている。複数形はどちらにしても “Posaunen” ポザウネンである。“Posaune”は低音ラッパの意味で，特にトロンボーンの前身楽器を指す語ではない。Praetorius が “De Organographia”の中で “Posaun”としている楽器を，“De Organographia”の英訳者 David Crookes は “sackbutt” としている。英語で sackbutt と呼ばれる楽器はトロンボーンの前身楽器とされる特定の楽器で，現在のトロンボーンはサックバットとは呼ばない。

  “sackbutt”に似た表現として，フランス語には saqueboute，スペイン語に sacabuche があるが，ドイツ語，イタリア語には見当たらない，ラテン語起源のフランス語に “sacquer”（引き出す）と “bouter”（押しやる），スペイン語に “sacar”（引く），“botar”（追い出す）があるが，ゲルマン語系では「引き出す」が “ausziehen”など動詞がまったく違うので，スライド操作を表す “sackbutt” に似た語がドイツ語に見当たらないのは納得できるが，ラテン語の膝元のイタリア語の辞書に見当たらなかったのには，理由がある。イタリアにはトランペットを意味する “tromba”の大型という意味の “trombone”（トロンボーネ）という表現がすでにあったので，それ以外の名称を作る必要がなかったのである。

- 補助単位（supplementary unit, prefix unit）
  単位の前に付けて数値の桁数が増えてわかりにくくなるのを防ぐもの。基本的に 3 桁ごとに用意されている。
  大きいほうは，10^3=K(Kilo), 10^6=M(Mega), 10^9=G(Giga), 10^{12}=T(Tera), 10^{15}=P(Peta), 10^{18}=E(Exa). 10^{21}=Z(Zetta), 10^{24}=Y(Yotta)。
  小さい方は, 10^{-3}=m(milli), 10^{-6} = μ(micro), 10^{-9}=n(nano). 10^{-12}=p(pico), 10^{-15}=f(femto)。 10^{-18}=a(atto), 10^{-21}=z(zepto)。 10^{-24}=y(yocto)。
  例：1Kg=1000g, 1GB=10^9Byte，1mm=10^{-3}m，1μm=10^{-6}m。
  他に，10^1=da(deca)，10^{-1}=d(deci) と，10^2=h(hecto)，10^{-2}=c(cent) などもある。例：1013hPa（ヘクトパスカル）=101300Pa，1cm=10^{-2}m。
- ボルドーネ（【伊】bordone）
  1. 持続低音ないしはドローン音。
  2. ネック付き弦楽器の低音弦，スペイン語（ギター用語）は bordona.
  3. フランス語ではブルドン（bourdon）：特にパイプオルガンの低音管，あるいは最低音域のストップ（栓）。
- ホルンボステル＝ザックス分類（Hornbostel=Sachs classification）
  Erich Moritz von Hornbostel とその門下生 Curt Sachs によって，まず最初に 1914 年に発表され，Hornbostel の死後，1941 年に Sachs によって増補版が出版された楽器の分類法。初版での最上位の分類は発音体（発音源）によるもので，体鳴楽器，膜鳴楽器，弦鳴楽器，気鳴楽器の 4 項目（この順）であったが，1919 年にテルミン（発表当時はエーテロフォン）が発明されたことや 1928 年にオンド・マルトノが発明されたことによって，1941 年の増補版では電鳴楽器の分類項目が 5 番目の項目として追加された。最上位の分類は観点が発音体に統一されていたが，その下の 2 次的な分類は，奏法によるもの（体・膜）と構造によるもの（弦・気）とが混在していた。電鳴楽器は電気で機構部を駆動する楽器（パイプオルガン等），電気で音を増幅する楽器（スティールギター等），電磁波を使う楽器に分けられていたが，これについては後年，難点の指摘が多かった[35)~37)]。

ま

- マウスピース（mouth piece）
  管楽器のパーツで，金管楽器の場合は奏者が口を当てるカップ形の部分（図 E.2），リード木管楽器の場合は，リードを管体に取り付けて口で咥えるためのもの（図 2.5）。

- マクスウェルの方程式（Maxwell's equations）
  電磁場を記述する古典電磁気学の基礎となる次の 4 つの方程式の組。
  (1) 磁束保存の式，(2) 電荷と電場強度の関係，(3) 電磁誘導の式，(4) 電流と磁場強度の関係。(1) は磁力線の湧き出しはない（磁力線は閉曲線である），(2) は電荷があれば電束が湧き出す，(3) は磁場の中で導体に電気を流すと導体が磁場の強さと電流の大きさ応じた力を（磁力線の方向と電流の方向でできる面に垂直な方向に）受け，逆に磁界の中で導線を動かすとその移動を抑える方向に導体に電流が発生する，(4) は電流が流れるとその周りに磁場が生じる，ということを表す式である。エレキギターなどの電磁ピックアップは (3) の後半の現象を利用するものである。
- ミッシングファンダメンタル（missing fundamental）
  基本波成分を欠いた調波構造スペクトル，ないしはそのようなスペクトル構造をもった音。知覚的なピッチは基本周波数に対応する高さで，これはヴァーチャルピッチ（仮想ピッチ）あるいはローピッチ（低ピッチ），レジデューピッチ（1.4.3 項 (1) のコーヒーブレイクの脚注）などとも呼ばれる。
- ミニマルミュージック（minimal music）
  素材音を極端に切り詰め（例：ピアノの中央 C 音だけ，雨しずくの音，メトロノームの音など），その繰り返しや重ね合わせ，あるいはそれをつないで音のシーケンスとしたものの多重化などによる音楽。1960 年代の La Monte Young, Terry Riley, Steve Reich らの音楽を指すことが多い。初期の Philip Glass をこれに加えることもあるが，宗教に転向した本人は自身の音楽が変わって行ったこともあり，初期のものさえミニマルミュージックと呼ばれるのを好まないようである。ヨーロッパにも類似の音楽を書いたリゲティなどがいるが，ミニマルミュージックは米国のものという印象がある。源をヴェーベルンの点描主義に求める説[74] があるが，反復を徹底的に排斥したヴェーベルンと素材音を反復使用するミニマルミュージックは相容れないはずである。
- ミュージックコンクレート（musique concrète：具体音楽）
  収録した音を加工・変形・編集して磁気テープなどに定着させた音楽。電子的な操作によって素材音を作成する狭義の電子音楽と異なり実世界にすでに存在する音を使う。Pierre Schaeffer（1910-1995）の"Cinq études de bruits（音の 5 つの練習曲）"(1948) が最初の作品とされる。
- ミュージックストカスティーク（musique stocastique：統計音楽・確率音楽）
  統計的確率に基づく音楽。建築家ル・コルビュジェ（Le Corbusier：1887-1965）の弟子でもあった クセナキス（Iannis Xenakis：1922-2001）が 1950-60 年代に書い

た ST で始まるタイトルの音楽を指すことが多い。IBM の 7090 で FORTRAN を使って書かれた。1981 に出版された著書 “Musiques Formelles” [70] にその思想と手法が述べられている。

- ミュージックセリエール（musique sérielle：セリー音楽）
  音列技法（serial technique）を音高だけでなく音価・強度などにまで拡張し，組織的に構造化した音楽。トータルセリエール（総音列主義）あるいはインテグレーティッドセリエール（拡大音列主義）などとも呼ばれる。ヴェーベルンの後期の作品が基盤になっており，メシアンの「音価と強度のモード」(1949) を皮切りに，ブーレーズ[137] の「ストリュクチュール（構造）」(1952)，シュトックハウゼン[138] の「コンタクテ（接触）」(1960)，ノーノの多数の作品へ発展していった。
- ミュート（mute）
  1. 弱音器：擦弦楽器の駒に装着して駒の動きを抑制する器具（図 E.47）。
  2. 消音器：リップリード楽器のベルから差し込んで，大きな音が出るのを抑えたり，音色を変えたりするための器具（**図 I.16**）。
  3. 撥弦楽器で左右の手の指や右手で弦の振動を抑制すること。
  4. 太鼓やドラム類で，布などを用いて振動を抑制すること。



図 I.16　弱音器の例（トランペット用）
左：通常タイプ，右：マイク組込み型

- ミロンガ（milonga）
  1. ルンファルド辞典[98] によると，“Payada pueblera”「街のパジャーダ †」を育てたダンスホールのような場所（バイレ：現在では，ほぼタンゴのためのダンスホール）。
  2. タンゴの前身とされる 2 拍子の音楽。上記 1. の “Payada pueblera” がこれにあたる。1910 年ころまでのタンゴは楽譜の表紙に “Tango-milonga” あるい

† アルゼンチンのパンパでギターの弾き語りで歌う「パジャドール」（ガウチョの吟遊詩人）による音楽。

は “Tango criollo † ”と書かれたものが多い。**図 I.17** に 20 世紀初頭のタンゴ楽譜の表紙 3 例[139] を示す。



図 I.17 20 世紀初頭のタンゴ楽譜の表紙 3 例
左：Tango-milonga “La Gauchita”，中：Tango-milonga “Homero”，右：Tango criollo “El Choclo”

タンゴ，ミロンガ，バルス・クリオージョ（vals：walz の中南米版）をまとめてポルテニア音楽（música porteña：「港の音楽」の意。南米ラ・プラタ河口にある 2 つの都市ブエノス・アイレスとモンテビデーオ（ウルグアイ）の音楽）と呼ぶ。これらは通常，オルケスタ・ティピカないしはその縮小編成で演奏される。

【著者注】タンゴはアルゼンチン全体の音楽ではなく，ブエノス・アイレスとモンテビデーオに限られた地域の音楽で，アルゼンチン全体の音楽としては，サンバ（zamba：ブラジルのサンバ samba とはまったく別物），チャカレーラ (chacarera), トナーダ (tonada), インディオ系のカルナバリート (caravalito), チャマメー (chamamé) など多種あり, まとめてフォルクローレ（música folklórica）と呼ばれる。

- メゾソプラノ（mezzo soprano）
  メッツォソプラーノ：ソプラノとアルトの中間的な声域・音域
- モード法（modal simulation)
  微分方程式で表される現象のシミュレーション手法の 1 つ。物理現象を表す微分方程式を解析的に解き，解を固有モードの固有値による荷重和の形で表し，位置と時間の関数として表された解を出力するシミュレーション技法。FDTD のような誤差の蓄積はないが，ある次数以上の高次モードを切り捨てざるをえないことによる誤差が入る。微分方程式の解（少なくとも近似解）が解析的に得られている必要がある。

† クリオージョ。意味は「イスパノアメリカ（中南米）の」，英語では Creole

- モーラ（mora）
  拍。日本語音声における韻律の基本単位。単一の短母音，子音＋短母音，子音＋半母音＋短母音で構成される拗音（／きゃ／など），撥音／ん／，促音／っ／，および長音の母音延長部分。和歌や俳句で音を数える場合に 1 つの単位とするもの。音節と混同されることが多いが異なる概念である。
- モルフィング【モーフィングとも】（morphing）
  形状の変化を連続的に結ぶ途中段階を人為的に作成して時間的につなぎ，形状変化が連続的に起きているように画像合成する技術。音を対象としたそのような技術はサウンドモルフィング† と呼ばれる。サウンドモルフィングは時間経過の現象である音を時間経過として補間することになるので，開始音と目的音の周波数スペクトルの間を補間するスペクトルの時系列を作って，その各時点の周波数スペクトルのフーリエ逆変換としての時間関数の波形素片をつないで合成することになる。時系列スペクトルが調波構造をもつ区間に関しては周期単位にピッチ同期でつなぐ。

や

- ユニゾン（unison）
  高さが同一の 2 音の音程。語源的には「単一音」。異なる声部が同一の音高，あるいはオクターヴ音程で進行することを指す場合が多い。
- 横波（transverse wave）
  粒子の振動面が波の進行方向と垂直な波。
- 4 管編成 → インストゥルメンテーション
- 4 声体（four parts, four voices, four-voiced body）
  多声部の音楽を和声法や対位法に従って書く場合の 4 つの声部。上からソプラノ，アルト，テノール，バス。また，この 4 声部で進行する音楽の構造。
- 4 度調弦（tuning in fourth）
  ネックをもつ弦楽器に関する調弦法の 1 つ。隣接弦間の音程を基本的に完全 4 度とする調弦。途中で 1 ヶ所だけ長 3 度音程を使う。ギターやその前身のビウエラの調弦がこれに相当する。ビウエラ・デ・アルコから生まれたヴィオラ・ダ・ガンバも 4 度調弦である。リュート（種々の調弦がある）もほぼこれになる。リュートが 4 弦であった初期には，4 弦の間の隣接弦間の音程は 4・3・4 度であった。それが，15 世紀に，最高音弦の 4 度上にカンティーノ（シャント

† Naotoshi Osaka:“The Role and Realization of Sound Morphing and Hybridization in Computer Music”, Proc. of Asia Computer Music Project 2011, Tokyo.

レル。歌弦）が追加され，16 世紀には最低音弦の 4 度下にボルドーネ（最低音弦）が追加されて 6 弦になり，隣接弦間音程は 4,4,3,4,4 となった。これはビウエラなどと同じであるが，リュートにはボルドーネをさらに長 2 度下げたものなど，変種ができた。6 弦の場合，4 度調弦で 1 か所だけ長 3 度にすると，最低音弦と最高音弦の音程はちょうど 2 オクターヴになる。現在のギターの隣接弦間音程は下から 4,4,4,3,4 である。

ら

- ラバーブ（rabab）
  アラブ起源の皮張りの小型椀型の胴に細長い柄がついた擦弦楽器。原始的なものは胴なしで木枠に皮の単皮を張った 1 弦のもの（図 G.2 の最右）。現在の東南アジアのケマンチェは木枠を胴に替えて弦の数を増やしたもの（**図 I.18**）。



図 I.18 現在のラバーブ 2 種

- 力木（りきぼく）→力木（ちからぎ）
- 理想弦（ideal string）
  線密度はあるが，十分細く（太さは仮想的にゼロ），十分たわみやすく（曲げに対する剛性がない），長さ方向の弾性がない（伸縮しない）弦。弦の横振動を考えるときに，複雑なことは全部無視して基本的な現象だけを論じる際の仮想的な弦。
- リップリード楽器（lip-reed wind instrument）
  楽器自体はリードをもたず，奏者がリードの代わりに唇を震わせることによって，音源となる空気流を作って音を出す楽器。楽器の管の機能は，音の加工と拡大である。管の実効長はピストンバルブやロータリーバルブを操作することによって，迂回管を付け足せるようになっていて，3 つのバルブはそれぞれ共振周波数を元の状態よりも全音，半音，あるいは全音半下げられるようになっており，組み合わせて使うと最大で 3 全音下げることができる。楽器によってはバルブで迂回管を使う代わりに，スライド機構によって管そのものの長さを

50%ほど伸ばすことができるようにしてあるものもある。ペダルトーン（基本共振に対応する高さの音）を使わないリップリード楽器では，迂回管やスライド機構を使って，それらを使わない状態よりも最大で 3 全音低い音にまで共振周波数を下げることができるようになっている。

- リード（reed）
  一部の管楽器の歌口に付けられたり，フリーリード楽器で空気が通る穴にかざされるもので，空気の流れを速く周期的に変える役割を果たす舌状のもの。管楽器にはそれを実際に物理的にもつ楽器（リード木管楽器）と，その役割を代理的なものが果たす楽器（エアーリード楽器，リップリード楽器）がある。
- リード木管楽器（reed-wind instruments）
  リードをもつ木管楽器。リードが 1 枚のものと 2 枚のものがある。
- リラ（古ギ：$\lambda\iota\rho\bar{\alpha}$，$\lambda\acute{\upsilon}\rho\bar{\alpha}$，伊：lira，英・独：leier，仏：lyre）
  リラはハープと似ているが，ハープは弦が共鳴箱の表板（振動板）から垂直に張られるので弦群がなす面は振動板と垂直になるのに対して，リラの弦面は振動板と平行になる。したがって，リラでは弦の振動で振動板を振動させるために，弦と振動版の間に駒（コマ）（ブリッジ）と呼ばれる小さな部材を嵌め込むことになる。弦の留め具を響板上に設置して，それに駒の機能を兼ねさせた楽器もある。

  原始的なリラ（**図 I.19** の左上）は共鳴箱から出た 2 本の腕の先に木を渡してその木に音高ごとに独立の弦を留めた。時代が下がると，扇状に張られていた弦が中央付近に集中して平行になり，弦に沿って共鳴箱から指板が付けられ（図 I.19 の左下は 18 世紀末から 19 世紀初頭に流行った回顧的な楽器），各弦がそれぞれいくつかの音高を担えるようになって弦の数が減り，中世までに両



図 I.19　ヴァイオリンの発祥までのリラの変遷

側の腕は縮退していって，クレタ・リラやビザンティン・リラを経て，ルネサンス期にはリュートやウード（ともに撥弦）ならびにレベック（擦弦）や中世フィドルとしてまとめられる多様な擦弦楽器あるいはその発展型としてのリラ・ダ・ブラッチオやリラ・ダ・ガンバになって行った。これらネックをもつ弦楽器は撥弦か擦弦かにかかわらず，まとめて**リュート属**と総称される。

古代ギリシャのリラは当時のハープと同じように**撥弦型**だけであったが，クレタ・リラやビザンティン・リラには撥弦型とともに**擦弦型**がある。ハープのように弦が共鳴胴の表板（振動板）に直接固定されているなら弦の振動は共鳴胴の板に伝わるが，弦と振動板が平行になっている場合には，弦の励振方法に拘わらず弦の振動を振動板に伝えるものが必要で，撥弦・擦弦・打弦のいずれのタイプの楽器にも**コマ（ブリッジ）**がそのために使われる。

古代ギリシャではリラは撥弦型の竪琴を意味していたが，後に擦弦型が現れ，弓で弦を擦れるように中央付近の弦を高くして指板が付けられ，両腕が枠の形で残った楽器がウェールズ地方のクルースやフィンランドのヨウヒッコである。両腕であった左右の枠が退化して，中央の指板部分が伸びてネックになったのがクレタ・リラやビザンティン・リラ（ともに 3 弦，平板ヘッドに垂直ペグ）を経てアラブ圏でレベック（3 弦 5 度調弦，水平ペグ，擦弦）になった。

その後，ビザンティン・リラから多種多様な中世フィドルを経て生まれたリラ・ダ・ブラッチオ（「腕のリラ」，大小種々，擦弦，ドローン弦つき 7〜13 弦，木の葉型糸巻きに垂直ペグ）がレベックの水平ペグと 3 弦 5 度調弦を取り入れて生まれたのが 3 弦のヴィオラ・ダ・ブラッチオ（「腕のヴィオラ」，後のヴァイオリン）とされている。

- リラ・ヴィオーラ（lira viola【伊】）

「ヴィオラ（・ダ・ガンバ）的なリラ」の意。イタリア語で，Lira が主名詞。リラ・ダ・ブラッチオがヴィオラ・ダ・ブラッチオ（ヴァイオリン）になる直前の過渡的な段階の楽器。リラ・ダ・ブラッチオはペグボックスが木の葉型で，ペグはそれに垂直（表板と直角）に刺したが，リラ・ヴィオーラはこれがヴィオラ・ダ・ブラッチオになる前に，他の部分はほぼリラのまま（したがって，ドローン弦をもつ）で，ペグボックスが箱型になり，先端にスクロール（渦巻き）が付けられるようになったもの。図 G.14 に，最初の 3 弦ヴァイオリンを作ったとされる Andrea Amati の次男 Hieronymus(Girolamo) Amati が ヴァイオリン発祥の約 70 年後に作ったリラ・ヴィオーラを示す。

このような折衷的な楽器はヴァイオリンの発祥後もかなり長期にわたって作られたようで，上記のもの（図 I.19 の右から 3 番目）は Yale 大学からサント

リー財団が購入して大阪音楽大学に寄贈されたが，残念ながら Yale 大学以来ずっとリラ・ダ・ブラッチオとして紹介されている。†

当時，リラ・ダ・ブラッチオはヘッドが木の葉型でペグは垂直に刺していたが，ヴィオラ・ダ・ガンバの頭部はスクロールが彫られているものが多く，ペグはペグボックスに横刺しであった。リラ・ヴィオーラはヘッドがスクロールであったので，頭部の外見が「ヴィオラ・ダ・ガンバのような」という形容詞が後ろに付けられた理由である。リラ・ダ・ブラッチオは標準的には奏弦 5 本の他にドローン弦を 2 本もつものが多かったが，それをそのままにしてペグボックスを設け，ペグを横刺し（水平ペグ）にしたものが，「ヴィオラ的なリラ」（イタリア語は形容詞は通常，形容対象名詞の後ろに付ける）である。リラ・ダ・ブラッチオのペグボックスを木の葉型に残したまま，ドローン弦を排除した楽器があってもおかしくないが，そのようなものは見つかっていないようである。

- リラ・ヴィオル（lira viol【英】リラ・ヴィオル，リラ・ヴァイオル）
  ヴィオラ・バスタルダ（高度な演奏用の 7 弦のバス・サイズのヴィオラ・ダ・ガンバ）の英称である。「リラ的なヴィオル（ヴィオラ・ダ・ガンバの英称）」の意の英語で，Viol が主名詞。イタリア語では Viola Lirica となるはずであるが，「叙情的なリラ」と解されるのを避けるためか，この表現は見たことがない。フレットやボディの外形からヴィオラ・ダ・ガンバであることはわかるが，何を以って「リラ的」というのかは判然としない。ヴィオラ・バスタルダは高度な技量をもつ奏者が好みの調弦にして使うもので，もしかするとボディの補強のためにバスバーを入れたり，音を大きくするために魂柱を入れたりしていたのかも知れないが，そのような記述は見られない。リラ・ヴィオルとリラ・ヴィオーラを混同した説明が非常に多いので注意。
- ルントボーゲン（rundbogen【独】：円形（曲がった）弓）
  Curved Bow のドイツ語表現。バロックボウあるいはバッハボウと呼ばれることもあるが，バロックボウは「バロック期の弓」が本来の意味であるはずで，バッハボウではバッハが作ったあるいは使った弓のイメージが付きまとうので，避けるほうが望ましい。バロック期の弓は現代の弓とは逆方向に曲がっていて弦との関係は実際の弓に近いものであった。ルントボーゲンも同じ側に湾曲させる。バロック期の弓はヴィオラ・ダ・ガンバが使われていた時代以来のもので，演奏しながら毛の張りの強さを変えて擦弦による重音を可能にするもので

† リラ・ヴィオーラをリラ・ダ・ブラッチオのヴァリエーションの 1 つとみなすことは不可能ではないが，一般にはリラ・ダ・ブラッチオはヘッドが木の葉型のペグボックスとされるので，少し無理がある。

あった。ルントボーゲンとしては，当初バロック期の弓に近い簡単なものも作られたが，後には毛の張りの強さに関して特別な機構をもっているものが作られた。弓の湾曲が山型になると弓の重心が毛から離れるので，弓保持の安定性が悪くなる。毛の張りの調節にどれかの指を使うとなると，弓の安定的な保持がさらに困難になる【図 F.6 参照】。

- レキント（【西】requinto）

  本来の意味では，標準サイズよりも音域が 5 度高いあるいは低い楽器を指す。スペイン語の動詞 “requintar”は「5 度音程の操作をする（上げる／下げる）」の意であるが，レキントは標準サイズよりも一回り小さいサイズの楽器を指すことが多い。ギターのような 4 度調弦楽器では 1 サイズ小さくすると 4 度高くなることになるが，それは 5 度下げるのと音名では同じになるので，用語としては requintar の名詞形を流用するものと考える。4 度操作するという意味になるはずのイタリア語 quartare の名詞形 “quartino”はマンドリンやクラリネットの小型に対する名称として使われている。クラリネットにはレキントと呼ばれる小型もある。ギターのレキントの最低音弦は標準の E2 よりも 4 度上の A2，クラリネットのレキントは標準の変ロ調管よりも 5 度低いアルトクラリネット（変ホ調管）を指す。

- レベック（rebec）

  アラブ起源の 3 弦 5 度調弦，ネックと一体化した梨型胴・水平ペグの擦弦楽器。最初の 3 弦のヴァイオリンの 5 度調弦，水平ペグという特徴はレベックから来ている。→ 図 I.19 右上の横置きの楽器

- 6 人組（Les Six Français：ル・シス・フランセ）

  ルイ・デュレイ (Louis Duray), アルテュール・オネゲル (Arthur Honegger), ジョルジュ・オーリック (George Auric) がエリック・サティ (Eric Satie) の下で結成していた「新しい若者（Nuveau Jeanne）」に，Honegger のパリ音楽院での同級生であったダリウス・ミヨー (Darius Milhaud), ジェルメーヌ・タイユフェール (Germaine Tailleferre) が合流し，後にフランシス・プーランク (Francis Poulenc) が加わった。“Les Six Français”の名称は，アンリ・コレー (Henri Collet) が”Comoedia”誌で「ロシア 5 人組」に対応させて呼んだのが始まり。

- ローズ（rose）→ ロゼッタ

- ロゼッタ（rosetta）

  ウードやリュートの表板に透かし彫りに彫られた装飾的な響孔。唐草模様や幾何学的な模様が多い。テオルボなど，大型の楽器では複数のロゼッタをもつも

のもある。

わ

- 若きフランス（Jeune France：ジュヌ・フランス）
  1936 年にアンドレ・ジョリヴェ (André Jolivet) によって設立された作曲家グループ。他のメンバーはオリヴィエ・メシアン (Olivier Messiaen), ダニエル・ルシュール (Jean-Yves Daniel-Lesur), イヴ・ボードリエ (Yves Baudrier), ピエール・シェッフェル (Pierre Schaeffer). 1942 年に解散。
- ワルトトイフェル（Waldteufel）
  トイレットペーパーの芯筒あるいは台所用のラップの芯筒程度の円筒の片方の開口に紙で膜を張り，膜の外側中央に紐の一端を貼り付けて，他端に輪（馬の尾の毛であることが多い）を作り，その輪を棒の先の周回溝に引っ掛け，棒を空中で振り回すオモチャ。棒を手で持って振り回せば，紐の輪が棒の溝をこすりながら回るようになり，紐の輪と溝の間で stick & slip が起きて，紐が周期的に膜を引っ張るようになり，張った膜が震えて「ブーッ」とか「ビーッ」というような音を発する（**図 I.20**）。

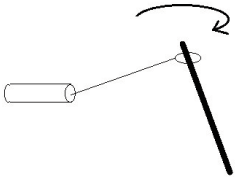


図 I.20 ワルトトイフェル。紐の輪を馬の尾で作って松ヤニを塗り，先端に円周溝を彫った棒にひっかけて振り回す。

溝と紐の輪に松ヤニを塗ることによって， stick & slip が起きやすくできる。19 世紀後半のドイツでこどものクリスマスのおもちゃとして使われた。
ドイツの昔のおもちゃ。語頭の “Wa”はドイツ語では「ヴァ」。

I.2 アルファベット順

- Acc.： accordion の略。
- AD 変換（analog-to-digital conversion）→ 反：DA 変換，→ 標本化，量子化
  アナログ信号（連続値をとる信号）をディジタル（離散）信号に変換すること。1 次元的な時間信号（時間的に値が変化する信号）を AD 変換する場合には，時間軸のどのような時点で値をとるかを決める**標本化**（サンプリング）と値をど

のような精度で表現するかを決める**量子化**（クォンタイゼーション）の 2 種の操作が入る。通常，標本化は一定の時間間隔で行う等間隔標本化（ユニフォームサンプリング）であるが，等間隔標本化によるサンプル時点の偶数番目と奇数場目を少しずらせて組み合わせる 2 重標本化[128)] などの不等間隔標本化などもある。量子化に関しては，バイト（8 ビット）単位が扱いやすいので 2 バイト（16 ビット）表現が多いが，16 ビットで線形量子化でも量子化ノイズは 96dB 確保できるので，オーディオ信号の表現には通常十分である。値を何ビットで表現するかのビット数とともに，ダイナミックレンジの広い信号に対する表現の方法として，対数的に量子化するなどの方法もある。

- AM（amplitude modulation）：振幅変調） 類語：FM(周波数変調)
  元は放送用の技術。低周波帯域の信号を高周波の電波に乗せてアンテナから空中へ放射し，遠くまで空中を伝搬させる変調方法の 1 つ。本来の目的のために使う場合には，送る対象の可聴域信号を変調波，送信のための高周波信号を搬送波とするので，搬送波は変調波よりも周波数帯域が 2 桁以上も高い．周波数が非常に高い（電磁波としてアンテナから放射できる）搬送波の振幅を周波数の低い（可聴帯域の）変調信号で増減させる ということになる。

  搬送波（被変調）信号を楽器の音，変調信号を 5Hz 程度の正弦波とすると，搬送波の楽器音の大きさが揺れ，トレモロが得られる。さらに，正弦波状のトレモロは共起性によって知覚的にはヴィブラート効果をもつので，音高を揺らせにくい楽器でのヴィブラート奏法としてこれを利用することができる。
- A-Sax.： alto-saxophone の略。
- Bn.： bandoneón の略。
- B-Sax.： baritone-saxophone の略。
- BSS → ブラインド音源分離
- ca（数の前では “c”だけの場合も）：casi（La.:circa）＝ around，nearly.
- Cb.：contrabass の略。
- CCRMA（Center for Computer Research in Music and Acoustics）
  Stanford 大学の John Chowning（1935-）らが 1974 年に設立した音楽・音響研究所。これは Chowning が開発しヤマハに売った FM 合成の特許料収入が基礎になっている。建物は総長の居宅であったスペイン風のゴシック建築で，それが音楽学部のものになったものを CCRMA が引き継いだ，1989 年の地震で損傷を受けたが，内部を完全に再建し 2005 年に再オープンした。Thomas Rossing（1929-2022）が在籍していた。
- Cl.： clarinet の略。

- C孔（C-hole）
  ヴィオラ・ダ・ガンバの響孔（の形）
- DA（digital-to-analog）変換，→ 逆：AD 変換
  ディジタル（離散）標本値列を標本時点ごとにその値を順次たどって出力電圧として出力する操作。標本時点の時間間隔は標本化速度（サンプリングレート）の逆数である。折り返し誤差が起きることを避けるために，DA 変換器とアンプの間に遮断周波数が標本化速度の $\frac{1}{2}$ よりも少し低い低域濾波器（ローパスフィルタ，LPF）を置く。
- dB（deci Bell）デシベル
  大きさの比を表すための表記法。基準とするものの大きさに対する対象の大きさの比の常用対数に 10 を掛けた値。例えば，同じ大きさは 0 dB，10 倍は 10 dB，100 倍は 20 dB，1000 倍は 30 dB，・・・，1/10 は-10 dB，1/100 は-20 dB，1/1000 は-30 dB，・・・というようになる。ただし，パワーで表す場合は，波形の 2 乗になるので，波形レベルで 10 倍すると，パワーでは 100 倍になり，20 dB 大きくなることになる。振幅を 2 倍にすると，パワーでは約 6 dB 増えることになる。“deci”は 1/10 を表し，“Bell”は人名（電話を発明した Graham Bell）である。
- DB（database）データベース
  データベースを指す一般的な略号であるが，本書では RWC（Real World Computig Partnership）研究用音楽データベースの中の「楽器音データベース（50 楽器，約 29 GB）」を指す。
- DFT（discrete Fourier transform，離散的フーリエ変換）
  有限個の数値列に対してそれを 1 周期と想定したフーリエ級数展開を行いその展開係数を求めること，ならびにそれによって求められた複素数値列。
- Ds.： drums の略。
- DSP(digital signal processing)
  ディジタル信号処理（ディジタル計算機による信号処理）。フィルタリング，コンヴォリューション（畳み込み積分），信号分析（離散的フーリエ変換など）・音合成，画像処理などをディジタル演算で行うこと。表現される範囲内での処理は正確で再現可能であるが，量子化精度や桁落ちなど，特有の問題もある。
- DSP ボード (DSP board)
  ディジタル信号処理行うハードウェア，ないしはそれを搭載したボード（基板）。
- FDTD（finite difference time domain，時間領域有限差分）法
  字面上は有限差分時間領域であるが，finite difference を主要語，time domain

はそれを限定する形容詞句と考えて，標記のようにした。時間と 3 次元空間をそれぞれ微小時間 Δt と微小区間 Δp で区切って，時刻 t と位置 p を表し，微分方程式における k 階微分を k 階差分で置き換え，時刻 $t = n \times \Delta t$ における対象空間内の位置 p での物理量 $\xi(p,t)$ をその周辺の位置の $t = (n-1) \times \Delta t$ までの ξ の値で表すようにしておいて，与えられた初期条件から出発し，時間を Δt ずつ進めて，対象空間の各位置での ξ の値を逐次求めて行くシミュレーション手法。微分を有限差分で置き換えることによる量子化に起因する誤差と有限桁数の計算に起因する誤差が蓄積するので，計算が発散する場合がある。

- FFT（fast Fourier transform，高速フーリエ変換）
  ディジタルコンピュータで離散的フーリエ変換（DFT）を高能率で（一度行った計算は繰り返さないで）計算するアルゴリズム，あるいはそのプログラム。標本点数が 2 のべき乗（2 の整数乗，例：1024, 2048, 4096 など）個の場合が最も計算効率が高い。コンピュータでスペクトル分析を行うということは，データとして取り込んだ数値列に対して FFT を施すことと解釈してよい。結果として得られるのは DFT である。逆変換（周波数スペクトルから元の信号波形を求める）も同じアルゴリズムで実行可能である。
- Fg.： fagot の略。
- Fl.： flute の略。
- FM（frequency modulation）周波数変調，類語：AM（振幅変調）
  元は放送用の技術。低周波帯域の信号を高周波の電波に乗せてアンテナから空中へ放射・伝搬させる変調方法の 1 つ。本来の目的のために使う場合には，送るべき低周波信号を変調波，送信のためにアンテナから電波になってアンテナから放射できる高周波信号を搬送波（被変調波）とするので，搬送波は変調波よりも周波数帯域が 2 桁以上も高い。搬送波の振幅は一定にしておいて，周波数を変調信号で増減させる。FM をピッチ感のある音の合成のために使う場合は，搬送波の周波数を変調波の周波数の整数倍にする。
- FM 合成（FM synthesis）
  FM の概念を使った音楽用の音響信号の合成方法。アンテナから電波として空中に放射するという，FM 本来の目的の場合は，送るべき低周波信号（音の波形など）を変調波，送信のための高周波信号を搬送波（被変調波）とするので，搬送波は変調波よりも周波数帯域が 2 桁以上も高い。FM を音合成に使う場合，合成音にピッチ感をもたせる場合は被変調波をそのいくつかの高調波が可聴域に収まる程度の周波数にし，変調波の周波数を被変調波の周波数と同一あるいは低次の整数倍にすることによって，できる FM 音の周波数スペクトルを調波

構造あるいは歯抜け状の調波構造にする。ピッチ感をもたない音を作る場合は変調波と被変調波を整数倍関係から外す。FM 音の定常的な音色は変調度および変調信号と被変調識号の比を変えることによって変わる。立上りや減衰の特性を決める振幅包絡波形はこれとは別に作る必要がある。

簡単に多様な音色を作ることができるが，音作りは試行錯誤となり，在来楽器の音の合成が高品質ではできないことから，1980 年代に PCM 音源や物理モデル音源にほぼ駆逐された。ただし，携帯端末には現在でも使われている。

- *f* 孔（*f* hole）
  ヴァイオリン属の響孔。表板の駒の両側に左右対称に空けられている。向かって左側のものはローマ字の *f* の形をしている。
- G.： guitar の略。
- G-E.： guitarra-eléctrica の略。
- Hr.： horn の略。
- IRCAM(Institut de Recherche et Coordination Musique/Acustique)
  1977 年にポンピドー大統領の意向でポンピドーセンターに設置された国立の音楽／音響研究所。設立準備委員会には Luciano Berio, Vinko Glovokar, Jean-Claude Risset, Max Mathews などが名を連ねた。初代所長は Pierre Boulez (1925-2016)。研究開発，創作活動のほか教育機関としての機能ももつ。成果として Max/MSP や Chant などがある。独自の演奏組織としてアンサンブル・アンテルコンテンポラン (Ensemble Intercontemporain) を常設している。

  残響時間可変の Espace de Projection をもっており，８年間ほど老朽化によって使用できなかったが，最近リニューアルされ，2023 年１月から再使用されている。フロアはすべて地下に設置され，地上部分に「Stravinsky 池」と称する人工池が作られ，その中に可動噴水彫刻が展示されている。
- LSI（large-scale integration）
  大規模集積。大規模集積回路。IC（integrated circuit：集積回路）よりもさらに集積度を高くして大規模にすること。1 つの基盤の上に多数（通常，数百個以上）の素子を集積して複雑な機能をもたせることができる。またそのようにした回路。多層化する場合もある。技術としては 1960 年代前半に開発され，以後技術が進展している。
- Mar.： marimba の略。
- MIDI（musical instrument digital interface）
  電子楽器の演奏データを機器間でディジタル転送するための世界共通の規格。1981 年に日本のメーカーが中心になって初版（MIDI 1,0 Specification）が制

定された。31.25 Kbps, 非同期シリアル，5 ピン DIN コネクタで接続する。接続ごとにフォトカップラーで光信号に変換することにより，異常電流の伝搬を避けている。音高，強度は 7 ビット（128 レベル），時間精度は 4 分音符の 480 分の 1 を単位として表現する。直接接続は 16 台まで（4 ビット表現の最大値）という制約がある。機器間の情報は複数バイトを組み合わせた MIDI メッセージの形で伝えられる。

最も基本的な MIDI メッセージは 3 バイトからなるもので，第 1 バイトはステータスバイトと呼ばれ，その MSB (most significant bit：最上位のビット) は 1（ステータスバイトであることを表す）で，続く 3 ビットで，後ろに続くバイトが何を表すデータか（ノート・オン／オフ，アフタータッチ情報としての押鍵圧力など）を区別し第 1 バイトの下位 4 ビットでチャンネル（接続機器）を指定する。

ステータスバイトに続く 2 バイトはデータバイトで，その MSB は 0（データバイトであることを表す）である。第 1 データバイトの残り 7 ビットがノートナンバーに，第 2 データバイトの下 7 ビットがヴェロシティの表現に割り当てられている。各バイトは前半と後半の 4 ビットずつを 16 進数（0〜F）で表す。

- MIMO(Musical Instrument Museum Online：オンライン楽器博物館)
ヨーロッパの博物館・美術館のコンソーシアムによって運営される「楽器に関するディジタルコンテンツと情報」へのアクセスポイント。この事業は EU から資金援助を受けており，事業対象の内容はヨーロッパの博物館・美術館・図書館・資料館のポータルサイト EUROPEANA を経由して得られる DB コンテンツである。

分類 1〜4（体・膜・弦・気）については基本的には Jeremy Montagu の論文[35] に基づいて，ロンドン Horniman 博物館の Margaret Birley，エディンバラ大学の Arnold Myers，ブリュッセル楽器博物館の Saskia Willaert 等によって改訂されたものである。

分類の概略

1. 体鳴楽器　1.1. 打奏（直接／間接），1.2. 摘奏，1.3. 擦奏，1.4. 吹奏，
   1.5. 金属薄板，1.6. 可撓振動版
2. 膜鳴楽器
   2.1. 打奏（直接：胴／椀／筒／円錐／砂時計型／枠／振）
   2.2. 摘奏（可変張力弦鳴楽器とされる)】　2.3. 擦奏，2.4. 歌奏
3. 弦鳴楽器
   3.1. 単純弦鳴楽器（ツィター属），3.2. 複合弦鳴楽器（リュート属，ハープ属），
   3.3. 可変張力弦鳴楽器（摘奏ドラム）
4. 気鳴楽器

4.1. フリーリード楽器,
4.2. 純管楽器（1. エアーリード，2. リード管（単／複），3. リップリード）
5. 電鳴楽器
5.1. 電気音響，5.2. 電気機械，5.3. アナログ電子楽器，5.4. ディジタル楽器,
5.5. ハイブリッド楽器，5.6. ソフトウェア

- Ob.： oboe の略。
- Or.： organ の略。
- PCM 音源（pulse code modulation sound source）
  1990 年代のメモリの低価格化に乗じて，楽器の音を純粋に合成することを断念し，楽器の音をディジタル収録したものを音源データとして持ち，演奏情報に応じてそれを加工して出力する方式の音源
- Perc.： percussion の略。
- Pf.： pianoforte の略。
- Q(quality factor)
  共振の先鋭度を表す指数。具体的には，「Q ＝中心周波数／半値幅」である。Q が大きいほど先鋭度が高い（共振特性が鋭い)。
- S-Sax.： soprano-saxophone の略。
- Tb.：trombone の略。
- Tp.： trumpet の略。
- T-Sax.： tenor-saxophone の略。
- Tu.： tuba の略。
- Va.： viola の略。
- Vc.： violoncello の略。
- Vib.： vibraphone の略
- Vn.： violin の略。

J 音のファイル

J.1 元データ

J.1.1 RWC 楽器音 DB

RWC-DB のファイル名の拡張子より前の部分 (例：011PFNOF) の構造：

- 最初の数字 2 桁（上の例では 01）＝楽器の種類,
- 数字 3 桁目（上の例では 1）＝楽器の個別（製造元・製作者など）番号,
- 続くアルファベットの最初の 2 文字 （上の例では PF）＝楽器の種類を表す略語,
- アルファベットの 3〜4 文字目の 2 文字 （上の例では NO）＝奏法の略,
- 最後の 1 文字（アルファベット）（上の例では F）＝強さ記号（F=f, M=mf, P=p）

管楽器（21~35）についてはそれぞれの最低音から半音ずつ上昇順に奏者が無理せずに吹ける高さまで収録されている。音域の境界（吹奏モードの変更場所）は元のデータには特に記されていない。

撥弦楽器（09~12, 19, 37, 38）と擦弦楽器（15~18）についての RWC 楽器音 DB の元ファイルは，各楽器の弦について，低音側の弦から高音側へそれぞれ開放弦からその 1 オクターヴ上まで半音で上昇で 13 音弾いてから次の高音側の弦に移っており，【⬇】音のファイルでは弦移動の境界に長めの空白を挿入してある。最高音弦については 2 オクターヴ 25 音が入っている。

ピアノ（01）については最低音 A0 から最高音 C8 まで半音ごとに入っており，【⬇】音のファイルではオクターヴ番号の境界（B と C の間）に空白を入れてある。

本書で RWC 楽器音 DB の中からその一部を使った場合，音のファイル名は

本書の中で適宜ファイル名を変えて使っているが，特に奏法や強さを記載していない場合は，原則的には元のファイル名でノーマル奏法（記号 NO）のフォルテ（記号 F）のデータを用いている。サンプリングレートは 44.1k samples/s，量子化は線形 16 bits である。

J.1.2　編著者による録音

RWC 楽器音 DB にギターのハーモニックス音が入っていなかったので，編著者の自宅和室で周囲を布団で囲んで AD 収録（ディジタルレコーダー Sony PCM-D50 で，組み込みのエレクトレットコンデンサマイクロフォンを使用して収録）した。Mini Moog の音は自宅でライン出力信号を AD 変換した。サンプリングレートは 48 k sample/s，量子化は線形 16 bit である。

低域の周波数スペクトルを拡大して示したい場合（図 2.33，図 3.42，図 3.77 など）には，アンチエイリアスフィルターを入れてサンプリングレートを下げた。

J.1.3　レコードからの録音

クレモナのヴァイオリンの音や “Rundbogen（曲がった弓）”による演奏，ブランデンブルク協奏曲 (BWV1048) は，アナログレコードから AD 変換した。その他，バッハのヴィオラ・ダ・ガンバのためのソナタ（BWV1029），シューベルトのアルペジオーネ・ソナタ，メシアンのトゥランガリラ交響曲は 1960 年代のアナログ録音の CD への復刻，アルマンディーニョ（Armandinho）によるポルトガルギターの演奏は旧録音 †のアナログレコードへの復刻盤の CD への再復刻を再生してアナログ信号にしたものを AD 変換したものである。サンプリングレート，量子化ビット数は J.1.1 項と同じである。

J.1.4　ネットからの録音

Clara Rockmore によるテルミンの演奏，Arnold Dolmetsch によるクラヴィコードの演奏（旧録音），奏者不明のミュージカル・ソーの演奏は，ネットから取り込んだ。サンプリングレートおよび量子化ビット数は J.1.1 項と同じで

† マイクなしで集音ラッパを通して吹き込んだ音によるダイアフラムの振動を直接カッティングした原盤から SP 盤（78 rpm，材質はシェラック）にプレスしたもの

ある。

J.2 音のファイル

本文ならびに付録の中で使った音や言及した音はダウンロードできるようにしてある。以下は「音のファイル」のディレクトリ構造である。

ファイルによってはパス（当該ファイルに至る経路のフォルダー名やファイル名の名称列）が長すぎて，ファイルを再生ツールや分析ツールへドラッグでもって行けない場合がある。そのような場合は，当該ファイルそのものあるいはそのファイルを格納してある末尾のフォルダーを一度デスクトップなどへコピーして，そこからドラッグすればよい。

J.2.1 第1・2章関係

\第 1・2 章関係
  \1. 音の高さ
    \ a. Shepard+Risset(1.4.2 項 (2): p.10),
      b. 仮想ピッチ (p.11 コーヒーブレイク)
      c. 音色的高さ (図 1.3)
  \2. 開管と閉管
      図 2.11　フルートとクラリネットの A4 音の比較
  \3. トランペットのバルブ操作
      図 2.16　B♭ 管のバルブ操作と音高の関係
  \4. カズー
      図 2.33　膜を指で制振した場合と，開放した場合の比較
  \5. 時間逆転音【参考】
    \ a. 減衰音（ギター【p.158 図 2】，ピアノ【p.184 図 3】）
      b. 持続音（サクソフォン【p.137 ~138】,
                ヴァイオリン【E.2.2 項 (1) の (e) の最後】）

J.2.2 第 3 章関係

\ 第 3 章関係
  \ 1. 気鳴楽器 (図 3.2~ 図 3.35)
    \ a.LipReed(図 3.2~ 図 3.9), b.AirReed(図 3.11~ 図 3.17),
      c.SingleReed(図 3.19~ 図 3.24), d.DoubleReed(図 3.25~ 図 3.28),
      e.FreeReed(図 3.29~ 図 3.31), f.Organ(図 3.32~ 図 3.35)
  \ 2. 弦鳴楽器 (図 3.36~ 図 3.75)
    \ a. 撥弦 (図 3.36~ 図 3.42), b. 擦弦 ({ 図 3.43~ 図 3.57),
      c. 打弦 (図 3.58~ 図 3.73)
  \ 3. 膜鳴楽器 (図 3.76~ 図 3.92)
    \ a. 打奏 (図 3.74~ 図 3.88), b. 擦奏 (図 3.89~ 図 3.90),
      c. 歌奏 (図 2.33)
  \ 4. 体鳴楽器 (図 3.91~ 図 3.103) a. 打奏 (図 3.91~ 図 3.103)
  \ 5. 電鳴楽器 (図 3.104~ 図 3.113)
    \ a. ミニモーグ (図 3.104~ 図 3.107),
      b. エレキギター (図 3.108~ 図 3.113

J.2.3 付録関係

\ 付録関係
  \ 1. ピアノによる標準的な音高
  \ 2. 付録 D：音階・音律
    D.1 各種音律
      ピタゴラス音律，純正律，キルンベルガー音律，ミーントーン音律，
      ヴェルクマイスター音律，ヤング音律，12 平均律，53 平均律
      a. 正弦波 1 本による音階
      b.8 成分調波合成音による音階
    D.2 ビート音階
      対応する階名音の波形を加算して周波数の差をビートとして聞く。
      a. 純正律とのビート音階

「うなり（ビート）」の視覚化についての説明
純正律と他の 7 音階との差を聞き，波形包絡を見る。
b.12 平均律で純正律からの差が大きい音
D.3 和音
長三和音と短三和音，転回型による影響の違い
D.4 補足（ビートによる周波数差の調べ方に関する補足説明）
0. 正弦波 1 本による音階
1. 純正律への近さの平均律 2 種の比較
2. 加算波形の包絡
3. E53 音階と純正律音階のうなりの初期位相依存性

\ 3. 付録 F：緩急・強弱

F-1 人間による演奏
自然なアゴーギクとデュナーミク（弾き方の異なる 3 人の奏者）
F-2 打ち込みによる演奏
試行錯誤で付与した人工的なアゴーギクとデュナーミク
上記打込みのアゴーギク固定版／デュナーミク固定版

\ 4. 諸資料
\ (a) ヴァイオリン（Vn）関係
a-1 コンピュータ作曲の人による演奏
（イリノイ大学の Lejaren Hiller による「イリアック組曲」）
a-2 打楽器的奏法（ペンデレツキ作曲の弦楽四重奏曲）
a-3 バッハ弓によるシャコンヌ（ヴァイオリンによる 3 重音，4 重音）
a-4 バッハ弓による現代曲（ジョン・ケージの「One-8」）
a-5 小鳥の鳴き声の模倣（Elvino Vardaro と Simón Bajour）
（曲は Roberto Firpo の「El Amanecer（夜明け）」）
a-6 スピッカートの例（パガニーニのカプリチオ 1 番）
a-7 初期のヴァイオリン曲（デュプラーヌ作曲「イントラーダ」）
a-8 コルネットヴァイオリン（Julio de Caro 自作の「Tierra Querida」）
a-9 クレモナの名工 14 人による楽器の音
（G 線開放弦とブルッフのヴァイオリン協奏曲のカデンツァ）
a-10 ピッツィカート
（E. Rodríguez 楽団による「La Cumparsita」の末尾の変奏部）
\ (b) ヴィオラ・ダ・ガンバ系

b-1 J. S. Bach: Sonata für Va da Gamba
Sonata für Va da G.(BWV1029),
Brandenburgisches Konz. Nr.3(BWV1048)
b-2 Friedrich Abel “Arpeggio”
b-3 Schubert “Arpeggione Sonata”

\ (c) ツィターとポルトガルギター
c-1 “The third man”, Zither: A. Karas,
c-2 “Ciganita”, Guitarra Portuguêsa: Armandinho
“Naufrágio” por Marionet(G. Port. y G. Esp.)

\ (d) クラヴィコード
Bach:“Arpeggiando” aus Sonata für Cembalo
Cembalo: Arnold Dolmetsch

\ (e) ミュージカル・ソー
J. S. Bach: Choral “Jesus bleibet meine Freude”

\ (f) テルミン
P. Hindemith: “Persefasa” by Crala Rockmore

\ (g) オンド・マルトノ
O. Messiaen: “Turangalîla Symphonie” by J. Loriod

\ (h) トラウトニウム
A. Hitchcock: 映画「鳥」より Oscar Sala による擬音合成操作

\ (i) トランペットの音域
トランペットで，音域ごとに区切りを入れた半音単位での上昇音階

K 弦振動のシミュレーション

弦振動のシミュレーション結果のいくつかを動画で入れておく。シミュレーションのやり方は大きく分けて次の 2 通りある。

1. FDTD(時間領域有限差分) 法

   1 つは振動を表す微分方程式を差分方程式に書き直して，設定した初期条件で微小時間ごとの弦の形を計算する方法で，**FDTD**（finite difference time domain：時間領域有限差分）法あるいは略して**差分法**と呼ばれる。

2. モード法

   もう 1 つは，微分方程式が解析的に解けているということが必要であるが，その解を時間関数として表しておき，必要な次数のモードまでを固有値による重み付け加算で計算するという方法で，**モード法**と呼ばれる。

FDTD 法は，現象を表す微分方程式さえわかれば計算することができるが，希望する精度での結果を得るために，空間と時間をどの程度の細かさに切って計算しなければならないかは明確でない。空間の刻み幅と時間の刻み幅の比を音速と等しくすることによって，計算誤差の一部を小さく抑えることができる（付録 C.3.2 項）が，特に時間の刻み幅が粗いと計算が発散することがある。発散さえしなければ妥当な結果が得られるのかというと，その保証もなく，一般に誤差は蓄積されていくので，それを避けるためには，通常刻み幅を細かくするしかない。ところが，そうすると計算精度は上がるが，計算量が増える。計算の過程で桁落ちなどによって計算精度が落ちたり，場合によると 0 に近い値での除算などで悪条件が起きる場合もある。

一方，モード法では，誤差の蓄積は起きないが，物理現象を正しく表現した微分方程式が解析的に解けているかという根源的な問題とともに，各モードの解析的な解がわかっている場合でも，希望する精度での結果を得るためには何次までのモードを計算しなければならないかがわからないことが多い。

以下，弦の振動のアニメーションを，撥弦（弦をはじく：ギターなど）と打弦（弦を叩く：ピアノなど）の場合については FDTD 法とモード法を比較できる状態にして示すが，擦弦（弦を弓で擦る：ヴァイオリンなど）については解析的な解を得るのが難しく，FDTD 法による定常状態に関する結果だけを示す。

アニメーションの見方

どのアニメーションも，弦が横方向に張ってあるとして，弦上の各点の静止位置からの変位を縦軸にとって任意倍率で拡大表示してある。アニメーションは，弦上のどの位置をはじく／打つ／こするかを幾通りか設定してあるので，選択して見ていただきたい。

1. 縦軸の縮尺

   はじく／打つ／こする**強さ**も本来なら変数として扱うべきであるが，ここでは弦振動の形を示すことに重点があり，**縦軸**は任意倍率で拡大表示しているので，アニメーションでははじく／打つ／こする強さを変数とはしていない。

2. 振動の速さと音の高さの関係

   両端が固定された弦の振動の周波数は，弦の長さ，単位長さの質量，張力，曲げ剛性などによって決まるが，ここのアニメーションの目的は振動の周波数よりも弦の振動様態を示すことであるので，動画の振動の速さは音の高さとは無関係になっている。

3. 弦の波形と音色の関係

   音として放射される空気の振動波形は弦の振動波形と直接的な関係にはなっていない。

   音の波形は弦の振動がブリッジなどを通して響板などに伝えられて，

その振動が周囲の空気の圧縮伸長になることによって生じる。実際の振動は弦の状態によって決まる基本周波数とその高調波で構成されるが，定常的な音の音色は主として成分高調波の割合によって決まる。成分高調波の割合は，主として励振の方法と位置によって決まり，弦の各時点での形は，励振時点からの経過時間によって決まる。弦の振動周期はそのまま空気振動の周期になるので，弦振動の基本周波数は音のクロマ的高さを決める空気振動の基本周波数になる。

4. 表示

弦の形の動画を mp4 でコード化してあるので，それを再生可能なソフトを用いて再生していただきたい。ファイル名の中で，カッコの中の最初（撥弦および擦弦の場合）あるいは 2 番目（打弦の場合）の数値によって，**励振位置**を弦の振動部分全体の長さに対する端からの%値で記す。この値は撥弦（ギター）と擦弦（ヴァイオリン）についてはブリッジから励振位置までの長さの押弦位置までの振動長に対する割合，打弦（ピアノ）についてはアグラフあるいはカポダストロ・バーから打弦位置までの長さのブリッジまでの長さに対する割合に相当する。カッコ内の他の数は，場合によって異なり，FDTD の場合は弦の**分割数**，モード法の場合は計算に入れた**最高次のモード次数**などである。擦弦についてはファイル名のカッコ内の数値は励振位置だけであ。

ここでのアニメーションは弦の振動形状を表すものであり，音波の形ではないことに留意していただきたい。ヴァイオリンを例にして言うなら，簡単に考えても弦の振動が**コマ**に伝わり，コマの運動はその低音弦側の足（表板の内側のバスバーで支えられている）を固定点（中心）とした面内での回転運動の振動となり，それによってコマの高音弦側の脚が表板を上下に振動させる。ただし，コマは表板に立ててあるだけで，接着剤は使われていないのでコマの脚から表板に働く力は圧力だけである。表板の振動の元の位置への復元は表板それ自体の復元力と裏板からの魂柱を通しての圧力である。

簡単化したモデルではコマは 4 弦に共通で弦の振動に対しては完全な固定端と想定されるが，コマは低音弦側の足を中心とした回転運動以外に，その上端は実際には弦の長さ方向に自由に動けるので，他の弦の振動がコマを経由して相互に伝わる。

5. 前提条件

アニメーションは，弦に太さや伸びはなく，振動は長さ方向に垂直な面内のみ（実際には長さ方向にも振動する）とし，両端は完全固定（現実にはブリッジは少し動く）で，両端では固定法にかかわらず円周方向に均一である（実際にはブリッジ側も糸押弦側も円周方向に固定状態が不均一）などと簡単化している。

ヴァイオリンの場合，コマの高音弦側の脚から 1cm 程度テールピース側の表板と裏板の間に**魂柱**が表板と裏板を少し押し広げるように接着剤なしではめられており，表板の振動は裏板に伝えられるようになっている。主として表板と裏板の振動が周囲の空気の圧縮伸長を起こすが，その変位量は板の場所によって異なる。ヴァイオリンの音は主として表板と裏板の振動によってそれに接する空気が圧縮・膨張することによって，また一部はボディ容積の増減とそれに伴う内部の空気の圧縮・膨張によって f 孔からの空気の出入りによる空気振動として生じる。ヴァイオリンの周囲の空気は表板や裏板の振動と，響孔からの空気振動の放射と，奏者による楽器の保持方法や奏者と楽器の位置関係などによって振動の状態が異なることになる。

奏者があごあてを使用していれば，表板の振動は制約をほとんど受けないがあごあてを使用していないと，表板のロワーバウトの振動がアゴで抑えられる。裏板も振動し，奏者が肩当てを使用していれば裏板は周囲が横板で固定されているだけの状態で振動できるが，肩当を使用していなければ肩の圧着によって裏板の振動はかなり抑えられる。弦楽器の場合，空気の圧伸はボディ壁面からの受動的な運動になるので，ヘルムホルツ共鳴による響孔からの音の放射は名前の割には少ないと考えられる。ボディの横板からの音の放射は無視できる。

このように，音の波形は非常に複雑な過程を経て作られるので，その精密な

アニメーションは難しい。弦の振動は励振（はじく，こする，たたく）位置によって大きく異なる。それはその励振点が振動の節になりにくいという現象に起因する。それは音色に変化を付ける奏法として，擦弦楽器ではスル・ポンティチェーロ，スル・タストと名付けられている。この音色の違いは，ギターにおけるアポヤンドとアル・アイレの違いよりもはるかに大きい。

ピアノはハンマーの位置が製造時に弦ごとに固定されているので，奏者が励振位置を変えることが現在のピアノではできない。ピアノは基本周波数から見て不協和な第 7 高調波とその倍音があまり出ないように，ハンマーを弦長の $\frac{1}{7}$ の近くに持ってくることが多い。（励振点は励振時点に強制的に振動させられるので，そこが節になる振動は起きにくい。）

操　作　方　法

mp4 形式のファイルを再生できるシステム（Windows Media Player など）が必要である。

- 起動：
  エクスプローラーのファイル名一覧で，mp4 形式のファイル名をダブルクリックすれば，アニメーションが始まるはずである。
- 停止：
  最後まで表示すれば自動的に止まるが，アニメーションを途中で停止させるには，ポーズボタンあるいは停止ボタンで止まるはずである。

K.1　アニメーション 1　撥弦（ギター）

フォルダ：「1. 撥弦（ギター）」

1a 撥弦 FDTD 法

まず，はじく位置を端から 20 %点として，弦を 100 分割，時間刻みを 0.05 ms とした場合と 0.01 ms とした場合を比べてみる。左端がブリッジの位置に対応

する。2 周期半の期間の弦振動の状態が示される，時間経過の数値からは，基本周波数は 50 Hz であるが，ここでは弦をはじいた場合の振動の形状を見てほしいので，基本周波数は無視していただきたい。ファイル名の括弧内の最初の数は，はじく位置を端からの%値で表した値，次の数は時間刻みの細かさの 10^{-5} 秒単位の値である。

(a) まず，撥弦位置を 20％点に固定して，時間刻みを粗く (0.05 ms) した場合と，細かく (0.01 ms) した場合を比べてみる。

(a) 時間刻み幅の効果（位置 20%点固定，時間刻み 2 種比較）

撥弦 FDTD(20,5).mp4

撥弦 FDTD(20,1).mp4

これらを比べると，細かい点では異なるが，概観としては，はじいた点から曲がり角（キンク）が左右に同じ速度で分かれて，先に端に到達したキンクが端で上下反対側に反射してキンク対となって並行移動し，他方の端が上下反対側に反射することによって，2 つのキンクが同じ側になって重なり，最初にはじいた状態と上下左右が対称の形になる。これが繰り返されることになるが，時間の刻み幅を細かくしても，ほとんど同じであることがわかる。計算時間を節約するために，以下は時間刻みを 0.05 ms とする。

(b) 時間刻みを 0.05 ms とし， 弦のスィンギングレングスを 100 分割し，はじく位置を，5, 10, 15, 20, 30, 40, 50％点としたアニメーションを示す。はじく位置を 50 %以上にすることは「100 − その値」%と同じである。

(b) 撥弦位置の効果 (位置 5〜50％点，時価刻み 0.05 ms 固定)

撥弦 FDTD(5,5).mp4

撥弦 FDTD(10,5).mp4

撥弦 FDTD(15,5).mp4

撥弦 FDTD(20,5).mp4

撥弦 FDTD(30,5).mp4

撥弦 FDTD(40,5).mp4

撥弦 FDTD(50,5).mp4

1b 撥弦モード法

モード法は微分方程式の解が多数のモードの荷重和として表されることをアニメーションで示すものである。ファイル名の中の括弧内の最初の数ははじく位置を端からの%で表した値，次の数は弦の形の計算に用いる最高次のモード次数（以下 maxMode）である。ただし，maxMode が 20 以上であっても，スペースの制約から，各モード波形の描画は第 19 次までで。最上段は第 1〜5 モード，第 2 段は第 6〜10 モード，第 3 段は第 11〜15 モード，第 4 段は第 16〜19 モードと右端はそれらの合計としての弦の形を示す。maxMode を 20 以上にしても，モード波形の表示は 19 次までであるが，計算上の弦の形は maxMode までの合計が計算され，キンクが尖ってくる。

(a) まず，maxMode をどの程度の値にすれば十分かを見るために，撥弦位置を 20 %点とした場合に，最高モード次数を 3〜50 に変えた計算結果をいくつか示す。

(a) 撥弦位置固定 (20%点)

撥弦 modal(20,3).mp4

撥弦 modal(20,5).mp4

撥弦 modal(20,7).mp4

撥弦 modal(20,10).mp4

撥弦 modal(20,15).mp4

撥弦 modal(20,20).mp4

撥弦 modal(20,30).mp4

撥弦 modal(20,50).mp4

これより，maxMode は 30 としておけば見た目には十分に見える。

(b) 次に，アニメーションとして，maxMode を 30 として，はじく点の位置を 5, 10, 20,30, 50％と変えた結果を示す。

(b) 最大モード次数固定 (30 次)

撥弦 modal(5,30).mp4

撥弦 modal(10,30).mp4

撥弦 modal(20,30).mp4

撥弦 modal(30,30).mp4

撥弦 modal(50,30).mp4

弦の中央をはじくと，振動波形は左右対称になることがわかる。

K.2　アニメーション 2　打弦（ピアノ）

フォルダー：「2. 打弦（ピアノ）」

2a 打弦 FDTD 法

後で示すモード法の結果と比較するために，打弦位置の効果をシミュレートするとともに，弦の分割数の効果を見ておく。横軸の数字は弦を分割した時のブリッジからの番号である。

(a) まず，弦の分割数がどのような効果を持つかを見るために，打弦位置を 20%点に固定して，弦の分割数を 50, 100, 200, 400, 800, 1600 にした場合のアニメーションを示す。弦の長さは 120cm と想定している。ファイル名のカッコ内の第 1 引数は弦の分割数，第 2 引数は打弦位置を表す。

(a)FDTD(打点 20%, 分割数 50〜1600)

Hammered FDTD(50,20)

Hammered FDTD(100,20)

Hammered FDTD(200,20)

Hammered FDTD(400,20)

Hammered FDTD(800,20)

Hammered FDTD(1600,20)

打弦時に力が不連続に立ち上がらないように角に少し丸みをもたせているが，分割数が少ない場合はそれを表現できないことによって台形の角が先鋭になって見える。概形は分割数に関わらず，打鍵による山が台形に広がり，一方が端にぶつかった後，打弦位置の値の 2 倍の幅の台形になり，その台形はその幅を保って移動する，ということがわかる。表示の時間長の上限を分割数×時間刻みの総数で固定しているので，分割数を大きくすると，表示の周期数が短くなっている。分割数は 50 では足りないが，視察では 100 でいいように見える。

(b)　次に，弦の分割数を 100 に固定し，打弦位置を変えた場合の弦の形を動画で示す。打弦位置を，5, 10, 15, 20, 30, 50％点とした場合の弦振動の様態を示す。打弦位置が 50％点の場合は，台形の移動はなくて，台形が上下反転しながらその幅を増減するだけになる。

(b) FDTD(打弦位置の効果) 弦の分割数は 100 に，時間刻みは 0.05ms に固定

Hammered FDTD(100, 5).mp4

Hammered FDTD(100, 10).mp4

Hammered FDTD(100, 15).mp4

Hammered FDTD(100, 20).mp4

Hammered FDTD(100, 30).mp4

Hammered FDTD(100, 50).mp4

2b モード法での近似程度の最大モード次数依存性

まず，弦上の決まった位置を打弦するとして，その時の弦振動のようすをモード法で調べるときの，モード次数依存性を見ておこう。打弦位置を 20％点として，最大モード次数を変えた時の弦振動のアニメーション結果を次に示す。

弦は 100 分割で計算している。弦の波形の計算はファイル名の括弧内の 2 つ目の引数で表される次数のモードまでを入れた。ただし，モード波形の描画は最大で 19 次までで，最大モード次数まで入れた計算結果としての弦の形は右下（20 番目の位置）に表示される。各モード波形の振幅は，計算に入れる場合の荷重に比例して描かれている。ファイル名のカッコ内の第 1 引数は打弦位置を%で表した値で，第 2 引数は計算に入れたモード次数の最大値である。

(a) 打弦位置が 20 %点の場合について，計算するモードの最大次数を 3, 5, 7, 10, 15, 20，30，50，100，200 とした場合を示す。

(a) 位置 20 %固定で最大次数 3〜200

打弦 modal(20,3).mp4

打弦 modal(20,5).mp4

打弦 modal(20,7).mp4

打弦 modal(20,10).mp4

打弦 modal(20,15).mp4

打弦 modal(20,20).mp4

打弦 modal(20,30)mp4

打弦 modal(20,50).mp4

打弦 modal(20,100).mp4

打弦 modal(20,200).mp4

50 次まで用いると，全モードを入れた結果にほぼ近いと考えられる。

打弦位置によって発生が抑制される高調波

(a) を見ると，次数を上げても，5 の倍数次のモードは寄与が小さい。これは打弦点が 20 %点で，そこが励振されると，その点は節になりにくいという物理的な制約に基づく。以下，端から $\frac{1}{n}$ の位置を打弦すると，第 n 高調波が抑制されることを確認する。

打弦位置による高調波の抑制

(b) 最大次数を 50 に固定し，位置に整数の逆数を含める。

打弦位置を，端から 5, 7, 10, 12.5, 14.3, 16.6, 20, 25, 30, 33.3, 40, 50% とした場合の弦振動と各モードの波形を示す。

(b) 打弦位置とそれによって励振が抑制されるモード

打弦 modal(5, 50).mp4

5%=1/20 → 20 の倍数番目 (20, 40) が生じない

打弦 modal(7, 50).mp4

7%≈ 1/14 → 14 の倍数番目 (14, 28, 42) が抑制される

打弦 modal(10, 50).mp4

10%=1/10 → 10 の倍数番目 (10, 20, 30, 40, 50) が生じない

打弦 modal(12.5, 50).mp4

12.5%=1/8 → 8 の倍数番目 (8, 16, 24, 32, ···) が生じない

打弦 modal(14.3, 50).mp4

14.3% ≈ 1/7 → 7 の倍数番目 (7, 14, 21, ···) が抑制される

打弦 modal(16.6, 50).mp4

16.6% ≈ 1/6 → 6 の倍数番目 (6, 12, 18, ···) が抑制される

打弦 modal(20, 50).mp4

20%=1/5 → 5 の倍数番目 (5, 10, 15, ···) が生じない

打弦 modal(25, 50).mp4

25%=1/4 → 4 の倍数番目 (4, 8, 12, 16, ···) が生じない

打弦 modal(30, 50).mp4

30% ≈ 1/3 → 3 の倍数番目 (3, 6, 9, 12, ···) が抑制される

打弦 modal(33.3, 50).mp4

33.3%=1/3 → 3 の倍数番目 (3, 6, 9, 12, ···) がほぼ生じない

打弦 modal(40, 50).mp4

打弦 modal(50, 50).mp4

50%=1/2 → 2 の倍数番目 (2, 4, 6, 8, ···) が生じない

これより，打弦位置が

12.5%（$\frac{1}{8}$）の場合は 8 の倍数の高調波の振幅が 0,
14.3%（$\frac{1}{7}$）の場合は 7 の倍数の高調波の振幅が 0,
16.6%（$\frac{1}{6}$）の場合は 6 の倍数の高調波の振幅が 0,
20%（$\frac{1}{5}$）の場合は 5 の倍数の高調波の振幅が 0,
25%（$\frac{1}{4}$）の場合は 4 の倍数の高調波の振幅が 0,
33.3%（$\frac{1}{3}$）の場合は 3 の倍数の高調波の振幅が 0,
50%（$\frac{1}{2}$）の場合は偶数番目の高調波の振幅が 0,

となっている（弦の端から $\frac{1}{n}$ の位置を励振すると，そこは原理的には振動の節にならないので，第 n ×自然数次の高調波は生じない）ことが見て取れる。

高調波の協和性を考慮すると，打叩位置と成分高調波の関係から，基本周波数を主音とする音階から外れる第 7 高調波は抑える方がよい。このためには，第 7 高調波が生じにくいように，弦の 7 等分点を打弦すればよいということがわかる。そうすれば，その 7 等分点の変位が初期状態で大きいので，そこが節になる高調波成分（第 7,14,21,28,… 高調波）は起きにくいのである。14.3 %（≒ 100 %／ 7）点を励振した場合がその状態に該当する。打弦位置を 14.3 % にした弦振動では第 7 およびその整数倍のモードがほとんど振れていないことがわかる。モード振動が 19 次までしか描けていないので，$\frac{1}{7} \approx 14.3\%$点では第 7 と第 14 高調波しかわからないが，同様に考えると，打弦点を

10%点にすると 10 の倍数（f_0 の高さをドとすると，ミの高さ）の高調波,
12.5%点にすると 8 の倍数（f_0 の 3 オクターヴ上の高さ）の高調波,
16.6%点にすると 6 の倍数（f_0 をドとすると，ソの高さ）の高調波,
20%点にすると 5 の倍数（f_0 の高さをドとすると，ミの高さ）の高調波,
25%点にすると 4 の倍数（f_0 の高さの 2 オクターヴ上の高さ）の高調波,
33.3%点にすると 3 の倍数（f_0 の高さの 12 度上の高さ）の高調波,
50%点にすると 2 の倍数（f_0 の音名と同じ音名の音）の高調波,

が振れていないことがわかる。ただし，これらはピアノの高調波としては抑える必要がない。

抑えられているモードの次数別に見ると

打弦 modal(10, 50).mp4　　10 の倍数のモードが出にくい。
打弦 modal(12.5, 50).mp4　 8 の倍数のモードが出にくい。
打弦 modal(14.3, 50).mp4　 7 の倍数のモードが出にくい。
打弦 modal(16.6, 50).mp4　 6 の倍数のモードが出にくい。
打弦 modal(20, 50).mp4　 5 の倍数のモードが出にくい。
打弦 modal(25, 50).mp4　 4 の倍数のモードが出にくい。
打弦 modal(33.3, 50).mp4　 3 の倍数 のモードが出にくい。
打弦 modal(50, 50).mp4　偶数 のモードが出にくい。

打弦位置が節になる高調波は生じにくい。第 7 高調波は基本波や第 3，および第 5 高調波と協和性の悪い高さになるので，楽器の音色作りとしては避けた方が無難な高調波である。第 7 高調波およびその整数倍の高調波を抑えるには，弦の 7 等分点を打弦すればよいことがわかる。それが 14.3%点の打弦で，ピアノの打弦点は通常 1/7〜1/10 程度に設定される。

K.3　アニメーション 3　擦弦（ヴァイオリン）

フォルダー：「3. 擦弦（ヴァイオリン）」

擦弦 FDTD 法

弦の長さ L =24.5cm，線密度 ρ=1.6×10^{-2}g/m，張力 T=13.45×gN，弦を 50 の微小区間 dx に分割，弦を伝わる音の速度 c を $\sqrt{T/\rho}$ とすると，微小時間 dt は dx/c とすると都合がよく，その場合，サンプリング速度 f_s は $1/dt$ になる。弓の毛と弦の間の静止摩擦係数を 1.2，動摩擦係数を 0.1 とし，擦弦位置は標準をブリッジから 10%とし，もっとブリッジ寄り（5%）と極端にブリッジから遠い点（30%）の 3 点を選び，弓の動き始めと停止直前および運弓中の速度，圧

などを，ヘルムホルツ運動が成立する適当な範囲の値として，FDTD 法で擦弦振動を 3 通り示す。弦上の●が擦弦位置で，「×」の移動がアップボウでの弓の速度示す。シミュレーションの動画は，左右が図 2.25 と逆になっている。

ファイル名の括弧内の数値はブリッジから擦弦点までの弦の長さの%値で，奏法でいうなら，10%が通常の奏法，5%はスル・ポンティチェーロ，30%はスル・タストのつもりである。

擦弦位置の効果

Bowed-String(5).mp4	スル・ポンティチェーロ（「コマの上」）
Bowed-String(10).mp4	通常の擦弦位置
Bowed-String(30).mp4	スル・タスト（「指板の上」）

引用・参考文献

記載 URL は 2023 年 7 月 25 日確認

1) Neville Fletcher and Thomas Rossing: The Physics of Musical Instruments, Springer（1991）
邦訳：岸憲史，久保田秀美，吉川茂 訳: 楽器の物理学，丸善 (2012)

2) Erich Moritz von Hornbostel und Curt Sachs: Systematik der Musikinstrumente, Zeitschrift für Ethnologie, **46**, 4–5, pp. 553–590(1914)
Eng. Transl. by Anthony Baines and Klaus Wachsman: Classification of Musical Instruments, Galpin Society Journal, 14, pp. 3–29(1961)

3) Curt Sachs：The History of Musical Instruments, W. W. Norton & Company(1940), Republication (2006)

4) Martin Agricola: Musica Instrumentalis deudsch（ドイツの器楽）, Wittenberg, 初版 1528-最終版 1545. 復刻版：Breitkopf, Leipzig(1896)， μ film 版：ミシガン大学 (2011)

5) Michael Praetorius：Syntagma Musicum（1614-20）, Vol.II, De Organographia, Appendix “Sciagraphia”, Engl. Transl. by David Z. Crookes(1986), 復刻版 Clarendon, Oxford Univ. Press (2005).

6) エクトール・ベルリオーズ，リヒャルト・シュトラウス著，小鍛冶邦隆監修，広瀬大介 訳: 管弦楽法，音楽之友社 (2006)
Hector Berlioz の “Grand Traité d’instrumentation et d’orchestration modernes”「現代楽器法および管弦楽法大概論」 の初版 (1844 年) に “Augmenté de plusieurs chapitres sur les instruments récemment inventés” 「近年考案された楽器についてのいくつかの補足」と “de l’Arte du chef d’Orchestre”「指揮法」を追加した 1856 年の第 2 版の，Alfred Dörffel によるドイツ語版（1864 年）に Richard Strauss（1864-1949）による補足を加えたドイツ語版 “Berlioz-Strauss:Instrumentationslehre”(1905 年) の和訳.

7) 標準音楽辞典（新訂），音楽之友社 (1991)

8) 鈴木陽一 他：音響学入門，音響入門シリーズ A-1，コロナ社 (2011)

9) Tsuchiya Takao: Digital Equivalent Circuits for Acoustic Field Based on

Discrete Huygens' Modeling, Jap. J. of Applied Physics. Pt.1, **44**, 6, pp. 4297-4300 (2005)
10) 日本音響学会 編：新版 音響用語辞典，コロナ社 (2003)
11) 大串健吾：音のピッチ知覚，音響サイエンスシリーズ 15，コロナ社（2016）
12) Johann Philipp Kirnberger: Die Kunst des reinen Satzes in der Musik, G.L.Hartung, Berlin und Königsberg1771, 編集再販：Gregor Herzfeld, Kassel, 2004, 邦訳：東川清一　訳： 純正作曲の技法，第 1 部　第 1 章，春秋社 (2007)
13) Helmholtz, H. von.: On the sensation of tone, The second English edition, transl. by Ellis, A. J. , pp. 18–19, p. 69(1877/1954)
14) 北村音一：音色と音質の評価，放送技術，**8**，pp. 75– 81(1960)
15) 難波精一郎：音色の測定・評価法とその適用例，応用技術出版 (1992)
16) 難波精一郎：音色の定義を巡って，日本音響学会誌，**49**，11，pp. 823–831(1993).
17) 厨川守，八尋博司，柏木成豪：音質評価のための 7 属性，日本音響学会誌，**34**，9，pp. 493–500(1978)
18) 北村音一：音色の因子と音色の考え方，聴覚研究会資料，H-82-71(1982)
19) M. E. McIntyre, R. T. Schumacher, J. Woodhouse: On the oscillations of musical instruments, J. Acoust. Soc. Am., **74**, pp.1325–1345 (1983)
20) 井戸川徹： 楽器の非線形振動-木管楽器について-，物性研究, **55**, 1 pp. 154–176 (1990)
21) 足立整治： 楽器研究のすすめ–ストロー笛の音響学–，日本音響学会誌，**72**，12，pp. 770–776(2016)
22) 柳田益造 編：楽器の科学，サイエンス・アイ新書，Softbank Creative(2013)
23) 新編 音楽中辞典，音楽之友社 (2002)
24) K. Takahashi, K. Goya, and S. Goya: 'Mode Selection Rules for Two-Delay Systems: Dynamical Explanation for the Function of the Register Hole on the Clarinet, J. Phys. Soc. Jpn., 83, 124003 (2014)
25) Scipione Maffei: Nuova invenzione d'un Gravicembalo col Piano e Forte, aggiunte alcune considerazione sopra gli strumenti musical, Giornale de'letterati d'Italia, V, pp. 144–159 (1711)
26) Klaus Roth: Chemical Secrets of the Violin Virtuosi - Part 3, Fig.13, "Chimie in Unsere Zeit", Vol.43, Nr.2, pp. 168–181, 2009. On-line English Transl.：Chemistry Views, 2012.
URL: `https://www.chemistryviews.org/details/ezine/2085627/Chemical_Secrets_of_the_Violin_Virtuosi__Part_3.html`

27) 西口磯春：ピアノの音響とその物理モデル, RIST ニュース, 56, pp. 25–35 (2014)
28) Antoine Chaigne and Anders Askenfelt: Numerical simulations of piano strings. I. A physical model for a struck string using finite defference methods, J. Acoust. Soc. Am., **95**, 2, pp. 1112–1118 (1994)
29) William H. Hill, Arthur F. Hill and Alfred E. Hill: Antonio Stradivari, Reprint:Dover,1963. Original:Dover(1902)
30) Félix Savart:“The Violin”, L’Institut, Vol.8, pp. 54–56 (1840). English Transl. by D. Fletcher for Benchmark Papers in Acoustics “Musical Acoustics, Part I -Violin Family Components-”, C. Hutchins, Ed., Halsted Press-John Wiley, pp. 323–327(1975)
31) John C. Schelleng: The Action of the Soundpost, Catgut Acoust. Soc., Newsletter, No.16, pp. 11–15(1971)
32) Max Wade-Matthews 著，別宮貞徳監訳： 世界の楽器－百科図鑑，東洋書林，2002（原著：Annes Publishing(2000)）
33) 皆川達夫 監修，ダイヤグラムグループ編：楽器－歴史 形 奏法 構造－，マール社 (1992)
34) 西口磯春 編著： ピアノの音響学, 音響サイエンスシリーズ 9，コロナ社 (2014)
35) Jeremy Montagu: It’s time to look at Hornbostel-Sachs again, Muzyka, pp. 7–27(2009)
36) Hugh Davies: Electrophones, S. Sadie Ed. “New Grove Dictioary of Musical Istruments 2nd Ed.”, viii, p. 110, McMillan(2001)
37) Stéphanie Weisser and Maarten Quanten: Rethinking Musical Instrument Classification: Towards a Modular Approach to the Hornbostel-Sachs System, Yearbook for Traditional Music, **43**, pp. 122–146(2011)
38) MIMO consortium: Revision of the Hornbostel Sachs Classification of Musical Instruments by the MIMO Consortium, 8(2011) http://www.mimo-international.com/documents/ Hornbostel%20Sachs.pdf.
39) 川崎弘二： 日本の電子音楽，愛育社 (2009)
40) CD「音の始源（はじまり）を求めて（1=塩谷宏，2〜4=佐藤茂，5,7=小島努，6=塩谷ら，8=徳尾野昌男らの仕事）」，NHK 電子音楽スタジオ (1993〜2005)
41) 片寄晴弘：パフォーマンスのためのマルチメディア情報利用，in マルチメディア情報学 10 巻「自己の表現」，pp. 67–113, 岩波書店 (2000)
42) Max Mathews: The Radio Baton and the Conductor Program, Computer Music Journal, **15**, 4, S.37–46(1991)

43) Anthony Baines: Woodwind Instruments and their History, Fabor(1957) 奥田恵二訳（via Tuttle）： 木管楽器とその歴史，音楽之友社 (1965)
44) Comparison Record SX-1, attached to “The Glory of Cremona”, SDL-15037, Decca(1964)
45) David D. Boyden: The History of Violin Playing from its Origins to 176, Clarendon Paperbacks, reprinted 2002, Oxford University Press(1990)
46) 川島佳子：21 世紀の新しいピッコロ・ヴァイオリン, JAS journal, **49**, o.5-6, pp. 3–8 (2009)
47) 池内友次郎，外崎幹二：楽典，音楽之友社（2003）
48) Marin Mersenne: Harmonie Universelle, Sebastien Cramoisy(1636)
49) Leonard Meyer：Emotion and meaning in music, Chicago University Press(1956)
50) William A. Sethares：Local consonance and the relationship between timbre and scale, J.A.S.A, 94, pp. 1218–1228 (1993)
51) Norman Cook and Takashi Fujisawa：The Psychophysics of Harmony Perception: Harmony is a Three-Tone Phenomenon, Empirical Musicology Review, **1**, 2(2006)
52) William H. Hill and Arthur F. Hill: The violin makers of the Guarneri family, Dover(1989), Original version: 1931
53) Nozomiko Yasui, Masanobu Miura et al. : Procedure for estimating Fluctuation Strength from Tremolo by irregular plucking of Mandoli, Acoustical Science and Technology, **33**, 3, pp. 160–169 (2012)
54) Sterling Scott Jones: The Lira da Braccio, Publications of the Early Music Institute, Thomas Binkley, General Editor, Indiana University Press(1995)
55) Carleen M. Hutchins: A 30-year experiment in the acoustical and musical development of violin-family instruments, J. Acoust. Soc. Am., **92**, 2, pp. 639–650(1992)
56) George Bissinger: The Hutchins-Schelleng Violin Octet After 50 Years, Ch.18 in Thomas Rossing, Ed. “The Science of String Instruments”, pp. 317–345, Springer(2010)
57) Kameshwar C. Wali: Cremona Violin, World Scientific(2010)
58) Franz Farga: Geigen und Geige, Albert M127 uller Verlag(1940) 邦訳：佐々木庸一訳：ヴァイオリンの名器，音楽之友社 (1960)
59) Leopold Mozart: Versuch einer gründlichen Violin Schule, Verlag des Ver-

fassers, Augsburg, 1756. Eng. transl. by Editha Knocker, “A Treatise on the Fundamental Principles of Violin Playing”, 2nd Ed., Oxford Univ.(1948), Reprinted in 2010

60) Edward Heron-Allen: Violin making: as it was, and is, Reprint: Dover(2005), Original: Ward, Lock & Co.(1885) 邦訳：尾久れも奈：バイオリン製作　今と昔　I, II，文京楽器製造 (1980)

61) John C. Schelleng: The Violin as a Circuit, J. Acoust. Soc. Am., **35**, 3, pp. 326–358(1963)

62) 横山進一：ストラディヴァリウス，アスキー新書 (2008)

63) Thomas Rossing(Ed.) : The Science of String Instruments, Springer(2010)

64) Vincenz Schuster：Anleitung zur Erlernung des von Herrn Georg Stauffer neu erfundenen Guitarre-Violoncells, Diabelli(1825)

65) Sarah M. Gilbert: Intersections of Music and Science in Experimental Violins of the Nineteenth Century, Electronic Theses, Florida State University Libraries(2013)

66) D. E. Hall: Piano string excitation in the case of small hammer mass, J. Acoust. Soc. Am., **79**, 1, pp. 141–147(1986)

67) Balázs Bank and Lászlo Sujbert: Modeling the Longitudinal Vibration of Piano Strings, Proc. of the Stockholm Music Acoustics Conference, August 6-9(2003)

68) 柳田益造：1970 年大阪万博のシュトックハウゼン，先端芸術音楽創作学会，東京電機大学神田キャンパス (2010)

69) Pierre Boulez: Penser la musique aujourd’hu, Schott Musik International(1953), 邦訳：笠羽映子: 現代音楽を考える，青土社 (2007)

70) Iannis Xenakis:“Musiques Formelles”, Richard-Masse, Paris, 1963.

71) 白石美雪：ジョン・ケージ，精興社 (2009)

72) Pierre Boulez: Par volont19 e et par hasard, 19 Editions du Seuil(1975) 邦訳：店村新次「意志と偶然」，法政大学出版局 (1977)

73) Paul Hindemith: A Composer’s World, Harvard Univ. Press(1952) 邦訳：佐藤浩「作曲家の世界」(新装版)，音楽之友社 (1999)

74) Michael Nyman: Experimental Music, Cage and Beyond, Schirmer Books(1974) 邦訳：椎名亮輔訳「実験音楽，ケージとその後」，水声社 (1992)

75) 高橋悠治：きっかけの音楽，みすず書房 (2008)

76) 塩見充枝子：フルクサスとは何か，フィルムアート社 (2006)

77) Fiorella Terenzi: Music from the Galaxies(CD), Island Records / Polygram, 422-848 7678-2(1991) “Heavenly Knowledge”, Harper Collins/Avon Books(1998)
78) Oliver Jennings: Music of the Plants, Bio Symphony project. YouTube.
79) Harry Olson: Music, Physics and Engineering, Dover(1967) (2nd Edition of “Musical Engineering”, McGraw-Hill(1952))
80) 加藤充美：合成方式の変遷．in 大串健吾ほか監修：音楽知覚認知ハンドブック，第１章　音楽のための音響学　７節　楽器音の解析と合成　３，北大路書房 (2020)
81) Lejaren Hiller and Pierre Ruiz: Synthesizing Musical Sounds by Solving the Wave Equation for Vibrating Objects: Part I, Part II, J. Asian Earth Sci., **19**, 6, pp. 462–470(1971)
82) Julius O. Smith: Physical Modeling Using Digital Waveguides, Computer Music Journal, **16**, 4. pp. 74–91 (1992)
83) 樋口拓志，江村伯夫，柳田益造：ヤマハ・サイレントアンサンブルとベーゼンドルファー・セウスの演奏情報の比較, 日本音響学会音楽音響研究会, MA2008-22(2008)
84) Caroline Haas: Neo-Bechstein grand piano, Vienna Technical Museum, Technisches Museum Wien(2018)
85) Patrick Coffey: Cathedrals of Science, p. 159, Oxford University Press(2008)
86) Arnold Schering: Verschwundene Traditionen des Bach-Zeitalter’s, Neue Zeitschrift für Musik, **40**, pp. 675–678(1904)
87) Albert Schweitzer: Der runde Violinbogen, Schweizerische Musikzeitung (Zürich), **73**, 6, pp. 197–203(1933)
88) Karl Geiringer: Johann Sebastian Bach: The Culmination of an Era, Oxford University Press(1966)
89) 吉川茂：ピアノの音色はタッチで変わるか，日経サイエンス社 (1997)
90) 中村慈延：現代音楽×メディアアート，九州大学出版会 (2008)
91) John W. Coltman: Effects of Material on Flute Tone Quality, J. Acoust. Soc. Am., **49**, pp. 520–523 (1971)
92) Theobald Böhm: Die Flöte und Flötespiel in akustischer, technischer und artistischer Beziehung, Ausg. Leipzig.(1871), Eng. Transl. “The Flute and Flute-Playing”, by D. C. Miller, Dover (1964)
93) Dayton C. Miller: The influence of the material of wind-instruments on the tone quality, Science, Jan. **29**, 735, pp. 161–171 (1909)
94) 枝美穂子，鏑木時彦：フルートの材質で音は変わるのか，音楽音響研究会，**37**,

9, MA2018-77(2019)

95) David Munrow: Instruments of the Middle Ages and Renaissance, Oxford Univ. Press(1976)

96) Gregorio Paniagua: Musique de la Grèce Antique, JVC - Harmonia Mundi, JM-XR24200(1982)

97) 松田淳一：サントリー弦楽器コレクションのヴァイオリン，音楽研究（大阪音楽大学音楽博物館年報）, pp. 40–105(2007)

98) a) José Gobello: Nuevo Diccionario *lunfardo*, Corregidor, B.A.(1997)
b) Athos Espíndola: Diccionario del Lunfardo, Planeta, B.A.(2002)
(「ルンファルド」はブエノス・アイレスで使われる隠語・俗語の類)

99) Malcolm Boyd：J.S.Bach Sonatas für Viola da Gamba und Cembalo, Philips 438-810-2(1967)

100) Wolfgang Schmieder: Thematisch-systematisches Verzeichnis der musikalischen Werke von Johann Sebastian Bach: Bach-Werke-Verzeichnis (BWV), Editura Breitkopf & Hörtel(1950)

101) Margaret Capmbell: The Great Violinists, Granada Publishing(1980) 岡部宏之訳：名ヴァイオリニストたち，東京創元社 (1983)

102) 山本茂：神童，文藝春秋 (1996)

103) ユーディー・メユーイン著，内田智雄訳：ヴァイオリンを語る　−ユーディー・メユーイン−, シンフォニア (2006)

104) 中澤宗幸：「ストラディヴァリウスの真実と嘘」，世界文化社（2011）

105) 西田正己，西山静男，柳田益造，溝口理一郎，角所　収：バイオリン音のクラスタリング，日本音響学会誌，**37**，9，pp. 450–451(1981)

106) 柳田益造：コンピュータは人間よりもうまく Stradivari と Guarneri を聞き分けられる？，日本音響学会音楽音響研究会，MA2006-25（2006）

107) John C. Schelleng: Acoustical Effect of Violin Varnish, J. Acoust. Soc. Am., **44**, 5, pp. 1175–1183 (1968)

108) Ian M. Firth and J. Michael Buchanan: The Wolf in the Cello, J. of Acoust. Soc. Am., **53**, 2, pp. 457–463(1973)

109) C.V. Raman: On the "Wolf-note" in Bowed Stringed Instruments Phil. Mag., Ser/6 **32**, pp. 391–395(1916)

110) John C. Schelleng: The bowed string and the player, J. Acoust. Soc. Am., **53**, 1, pp. 26–41(1973)

111) 横山幸雄：付加製造バイオリンの設計と製作，日本音響学会 2018 年秋季研究発

表会，1-3-10(2018)
112) Hideo Suzuki: Vibration analysis of hammer-shank system, JCBS Tech. Center Reporrt(1983)
113) Anders Askenfelt and E. V. Jansson: From touch to string vibration, J. Acoust. Soc. Am., **90**, 5, pp. 2383–2393 (1991)
114) G. W. Koornhof et al: The influence of touch on piano sound, Proc. of SMAC93, pp. 318–324 (1993)
115) 長沼大介，中村勲：ピアノのタッチと音質の分析，日本音響学会講演論文集，pp. 657–658(1996 春) 6
116) Wermer Goebl, Roberto Bresin and Alexander Galembo: Touch and temporal behaviour of grand piano actions, J. Acoust. Soc. Am., **118**, 2, pp. 1154–1165 (2005)
117) Hiroshi Kinoshita et al.: Loudness control in pianists as exemplified in keystroke force measurements on different touches, J. Acoust. Soc. Am., **121**, 3, pp. 2959–2969 (2007)
118) C. P. Vyasarayani et al.: Modeling the dynamics of a compliant piano action mechanism impacting an elastic stiff string, J. Acoust. Soc. Am., **125**, 6, pp. 4034–4042 (2009)
119) Wermer Goebl and Roberto Bresin: Measurement and reproduction accuracy of computer-controlled grand pianos, J. Acoust. Soc. Am., **114**, 4, pp. 2273–2283 (2003)
120) 加藤将秀，柳田益造：ベーゼンドルファー・セウスの内部記述の解析，日本音響学会音楽音響研究会，MA2008-64(2008)
121) 吉川英史監修：日本の楽器，東京書籍 (1992)
122) 志村哲：古管尺八の楽器学，出版芸術社 (2002)
123) 川本晧嗣：日本詩歌の伝統　－七と五の詩学－，岩波書店 (1991)
124) Sylvestro Ganassi dal Fontego(1492-ca1550): Regola Rubertina, ヴィオラ・ダ・ガンバの教則本（2 巻），1542. Eng. Transl. by Richard Bodig, Saraband Music(2002)
125) Philibert Jambe de Fer: Epitome musical（音楽抄録）, Lyon(1556)
126) Luis Adolfo Sierra: Historia de la Orquesta Típica, Corregidor, B.A.(1997)
127) Andrés Carretero: Tango -la otra historia-, Margus, B.A.(2004)
128) 柳田益造，角所収：2 重標本化とその周波数分析への応用，電子通信学会論文誌，**57-A**, 11, pp. 826–833(1976)

129) F. Marvasti, Ed.: Nonuniform Sampling, Theory and Practice, Kluwer, Academic/Plenum Publishers(2000)

130) Roger Shepard: Circularity in judgements of relative pitch, J. Acoust. Soc. Am., **36**, 12, pp. 2346–2353(1964)

131) ASA(Acoustical Society of America) - IPO(Instituut voor Perceptie Onderzoek, Nederland): Auditory Demonstrations, W-Germany(1987)

132) Arnold Schoenberg: Fundamentals of Musical Composition, Ed. Gerald Strang & Leonard Stein, Faber, Lodon, Univ. Press(1967),
(邦訳 山縣茂太郎，鳴原真一 訳：作曲の基礎技法，音楽之友社 (1971))

133) ヒヴァリネン，カルフーネン，オーヤ 著，根本幾，川勝真喜一 訳：詳解独立成分分析，東京電機大学出版局 (2005)

134) D. D. Lee and H. S. Seung: Learning the parts of objects with nonnegative matrix factorization, Nature, **401**, pp. 788–791(1999)

135) 柳田益造，角所収：一般逆行列の音響信号処理への応用，日本音響学会誌，**37**，6，pp. 290–294(1981)

136) ブルノー・モンサンジャン 著，佐藤裕子 訳：ナディア・ブーランジェとの対話，音楽之友社 (1992)

137) Pierre Boulez: Relevés d'apprenti, Éditions du Seuil(1966), (邦訳 船山隆，笠羽映子 訳: ブーレーズ音楽論　－徒弟の覚書－，晶文社 (1982)

138) Karlheinz Stockhausen: Texte zur elektronischen und instrumentalen Musik Band 1, Verlag M. Dumont Schauberg, Köln(1963)，（邦訳：清水 穣 訳：シュトックハウゼン音楽論集，現代思潮社 (1999)）

139) Oscar del Priore: El Tango, Manantial SRL, B.A.(1999)

索　　引

〔あ〕

アイリッシュハープ　352
アウロス　289
アエオルスクラフィーア　98
アクション　61, 383
アクチュエータ　118
悪魔のトリル　522
アグラフ　62, 75, 387, 394, 395
アゴ当て　366
アゴーギク　505
アコースティックギター　236, 335
アコーディオン　38, 146, 303, 510
足鍵盤（オルガンの）　147, 148
東（あずま）さわり　349
アタック　372
アーチ　57, 72, 364
軋箏（あっそう）　53
圧電素子　109, 111, 118
アップピッキング　514
アップボウ　67, 373
アップライトピアノ　62, 382
圧力変化　41
アーティフィシャルハーモニックス　154, 515
アポヤンド　151, 512, 513
アマーティ，アンドレア　591
アマーティ，ニコロ　586
アリクォート　393
アル・アイレ　151, 512, 513
アルグール（エジプトの双管楽器）　289
アルトクラリネット　43
アルトサックス　137
アルパ　352
アルピコード　770
アルペジエーション　527
アルペジオ（ギターの）　517
アルペジオ（ヴァイオリンの）　523
アルペジオーネ　375, 585
アレア　450
アンダーハンド　373, 646
アンターラ　289, 701
アンティークヴァイオリン　648
アンブシュール　33, 289, 292, 506, 508, 740, 743, 746
アンボス　689

〔い〕

イクタラ　419
生田流　675
位相速度　102
板（体鳴楽器の一形状）　100, 438
一絃琴　53, 361
移調楽器　29
移動ド　14
糸　倉　54
異方性　100
異名同音　14, 265
イリアック組曲　475, 871
イリンバ（親指ピアノ）　432
イングリッシュギター　755
イングリッシュホルン【英】　235
インストゥルメント型　750, 770
インハーモニシティ　69, 415, 666

〔う〕

ヴァイオリン　159, 361
ヴァイオリン・オクテット・プロジェクト　362, 365
ヴァイオリン化　768
ヴァイオリン属　53, 56, 78, 159
ヴァイオル　233
ヴァージナル　358, 360, 688, 773
ヴァーチャルピッチ　12
ヴィオラ　53, 57, 159, 234, 766
ヴィオラ・ダ・ガンバ　57, 74, 167, 234, 370, 576, 708, 759
ヴィオラ・ダ・ガンバ属　53
ヴィオラ・ダ・スパラ　234, 365, 766
ヴィオラ・ダ・ブラッチオ　57, 234, 760
ヴィオラ・ダモーレ　784
ヴィオラ・ディ・ボルドーネ　579, 785
ヴィオラ・バスタルダ　371, 577, 579, 760

ヴィオラ・ポンポーサ 767
ヴィオリーナ 479
ヴィオリーノ 235, 361, 762
ヴィオリーノ・ピッコロ 365, 766
ヴィオル 57, 233
ヴィブラート 121, 131, 132, 134, 140, 167, 203, 658
ヴィブラート効果 510
ヴィブラート（ヴァイオリンの） 522
ヴィブラート（管楽器の） 510
ヴィブラート（ギターの） 516
ヴィブラート（クラリネットの） 135
ヴィブラート（ソプラノサックスの） 140
ヴィブラート（トランペットの） 125
ヴィブラート（リコーダーの） 134
ヴィブラフォン 111, 200, 203
ヴィヨーム, ジャン＝バッティスタ 649
ウィーン式（オーボエ） 141
ウィンドキャップ 697, 743
ウィンドコントローラ 110, 119
ウィンドシンセサイザ 110
ウィンドチェスト 39
ウィンドチャイム 433
ウェーヴガイドモデル 476
ウェーヴシェーピング 474
ウェーバーの法則 6
ヴェルクマイスター音律 268
ヴェルテ＝ミニョン 118, 669
ヴェロシティ（MIDI 用語） 484, 487, 490
団扇太鼓 84, 90, 93, 416
ウード 53, 342, 566
ウナコルダ・ペダル 77, 182, 384, 390, 530, 660
うなり 159, 435, 510
うなり効果 184
ウルフキラー 652
ウルフトーン 651
運　弓 58
運弓法（コントラバスの） 58
運動方程式 247, 251, 307, 309

〔え〕

エアージェット 33
エアーリード楽器 21, 30, 289
エオリアンハープ 98, 99
エクストラ弦（ピアノの） 62
エクターラ 84, 242, 419
エコノミーピッキング 514
エスケープメント 61
エッジ 508
エッジトーン 33
エーテロフォン 443, 454
エーラー式クラリネット 136
エル・マエストロ 725
エレキギター 106, 109, 112, 246, 335, 513
エレクトリックギター 109
エレクトーン 112
エンヴェロープ・ジェネレータ 464
遠距離場 6
円形波 87
円形膜 429
円錐管 40, 44, 139, 141
演奏音高 43, 508, 553
演奏情報 111
演奏情報入力装置 110
円柱座標 315
円筒管 40
円筒波 321
エンドピン 395
円　板 102

〔お〕

大鼓（おおかわ） 419
オカリーナ 291–293, 508
オクターヴ 13, 122
オクターヴキー（リード木管楽器の） 139, 297, 508
オクターヴ循環性（回帰性, 等価性, 類似性） 10
オクターヴホール 49, 139, 329, 507, 554
オーケストリオン 480
押し（運弓の） 372
オッタヴィーノ 236
音合成 470
音合成法 454
音の大きさ 8
音の高さ 8
オーバーハング 57
オーバーハンド 58, 373
オーバーブロウ 136, 507
オーバーブロウイング 49, 134, 509, 746
オープンキー 291
オープンロール 534
オーボエ 141, 300, 744
表　板 78, 364
表板（ヴァイオリン属の） 72
表板（有棹撥弦楽器の） 72
親音符 522
親指ピアノ 97, 432
オルガン 31, 107, 147, 305, 702
オルガン類 750
オルゴール 477
オルタネイトピッキング 514
オールドヴァイオリン 631, 648
オールドボウ 647
折れ曲がり（弦の） 63
音　圧 308
音　域 iv

「音楽大全」(“Syntagma Musicum”) 730
音楽的高さ 8
音響放射 83, 93, 105
音　高 11
音高感 99
音高調整 64
音声工房 122
音　素 679
音　速 5, 12
音　程 12, 15
音　度 16
音度表記 14
オンド・マルトノ 107, 443, 456
オンド・マルトノ奏法 544
音　波 3, 308
音　板 104
音脈分凝 838
音　名 12, 13, 230
オンライン楽器博物館 865
音　律 264

〔か〕

開　管 41, 139, 141
ガイゲンヴェルク 770
外見的電鳴楽器 108
開口端補正 294
概周期的 11, 91, 136
回　折 5
回転運動（ヴァイオリンのコマの） 363
回転モーメント（ヴァイオリンのコマの） 78
開放弦 64, 150, 162
階　名 264
外　力 52
替え管（クルック） 288, 748
蝸　牛 9
楽　箏 675
カスタネット 99
確率音楽 449
風箱（かざばこ） 39, 702
加算合成 115, 443, 459
カズー 85, 89, 421
歌奏太鼓 83, 85, 89, 421
仮想ピッチ 12
下属音 15
下属和音 259
肩当て 366
硬さ（音の） 65
カータル 302, 741
可聴域 4
可聴音 4
可聴周波数領域 4
楽　弓 53, 242, 560
カッティング（ギターの） 517
カットオフ周波数 51
カップ（マウスピースの） 506
カップリング（チェンバロの） 360
ガドゥルカ 53
カーヌーン 53, 351
カプリース／カプリチオ 522, 524
カポタスト 341
カポ・ダストロ 62, 76
カポ・ダストロ・バー 394
カホン 432
カマク 84, 242, 419
カリンバ（親指ピアノ） 432
管楽器 29, 30
緩急法（アゴーギク） 505
慣性力 86
間接打奏 84, 415
間接摩擦 84
完全音程 16
完全 4 度 16, 166
完全 5 度 15, 166
管　長 42, 43
カンティーノ 159
カンテレ 53, 351

〔き〕

キウソ（→ゲシュトップト） 512
幾何学的非線形性 103
義　甲 52
基準音高 13
ギター 53, 331
義太夫三味線 350
キタラー 53, 331, 355, 560
ギタロン 334
気　柱 40
基底膜 9
気　道 508
機能和声 262
基本位置（和音の） 262
基本形（和音の） 262
基本周波数 10, 12, 64, 79, 121
基本波 79
基本モード 139
気鳴楽器 21, 29, 244, 283
逆 2 乗則 321
九の和音 263
球面波 6, 315, 319
境界条件 78, 94, 100, 252, 307, 399, 424
境界要素法 475
響　孔 58, 62, 72, 335, 339, 364
強弱法（デュナーミク） 505
京三味線 350
共振周波数 34, 79
狭帯域分析 122
強　拍 372
響　板 55, 72, 75, 78, 388
共　鳴 51, 83, 97
共鳴管 105
共鳴器 52, 242
共鳴空洞 72
共鳴弦 62
共鳴周波数 34
共鳴膜 92
協　和 16
極座標表示 427

曲率（体鳴楽器としての円盤の）　103
キルンベルガー　230, 268
キルンベルガー音律　268
ギ　ロ　99
金管楽器　21, 30, 688, 693
キンク　63, 65, 339, 371, 408
近接場　6
緊張度　275

〔く〕

グァダルーペ　726
クアルティーノ　344
グアルネリ　602
グアルネリ・デル・ジェスー　72
クイーカ　85, 88, 421
クヴィンター　706
クヴィンターナ　758
クヴェールファイフ　693
クヴェールフレーテ　234, 290
空間音楽　445
空間微分　251
空　洞　72
空洞共振　161
空　拍　679
グスリ　53
具体音楽　444
屈　折　5
「くっつき」と「すべり」　65, 89, 95, 97
クライネ・ガイゲ　708
クラヴィコード　59, 657, 688, 720, 750, 770
クラヴィシンバル　688
クラヴィチェンバロ　60, 233, 358, 688
クラヴィ・ツィテリウム　770
クラヴサン　233, 358
クラシックギター　331
グラスハーモニカ　99
クラッパー　99
グラディエント　250
クラリオン音域　296
クラリネット　134, 295, 510
クラリーノ　296
クラリ－ノ音域　134, 296
グランドバス（ヴィオラ・ダ・ガンバの）　370
グランドハープ　352
グランドピアノ　61, 382
グリッサンド　188
グリッサンド（ギターの）　517
グリッサンド（ピアノの）　531
グリッサンド（ヴァイオリンの）　523
クルース　53, 380, 561
クルック（クルーク）　288, 747
クルムホルン　699, 732, 733, 743, 746
クレタ・リラ　53, 565
グレート（オルガンの）　704
クローズドキー　291
クローズドロール　534
クロスフィンガリング　290
グローセ・ガイゲ　708, 769
グロッケンシュピール　99, 201
クロマティック（ハーモニカの）　305

〔け〕

奚　琴　53
形態素　683
ゲシュトップト　127, 288, 512
月　琴　350
ケトル　83, 91, 416
ケトルドラム　416
ケーナ　34, 289, 508
ケマンチェ　53, 381
ゲムゼンホルン　699, 749
弦　251, 340
減音程　17
弦楽器　688, 734
減算合成　116, 443, 463
減衰振動　22
減衰振動楽器　22
減衰／持続　98
鍵盤楽器　260
鍵盤ハーモニカ　303
弦鳴楽器　21, 52, 242

〔こ〕

甲　55
口　琴　97, 433
交差弦　660
高次モード　139, 509
高速連打　660
広帯域分析　122
後退波　253, 318
五音音階　265
胡　弓　53, 381
胡琴類　53
小　鼓　419
固定ド　264
古典期　61
古典本曲　677
琴　675
琴軋（ことさぎ）　673
琴柱（ことじ）　360, 673
コピー楽器　649
駒　3, 55, 73, 233, 252, 356, 357, 362
鼓　膜　3
虚無僧尺八　678
固有周波数　32, 79, 88, 90, 91, 95, 402
固有周波数比　92
固有振動　78, 79, 399
固有振動モード　95
固有モード　79, 90, 91
コール・アングレ　233, 235

コルネット
122, 285, 288, 555, 732, 733, 738, 743, 748
コルネットヴァイオリン 380
コルノ・ダ・カッチア 287, 554
ゴルペ（ギター奏法） 331, 519
コル・レーニョ（ヴァイオリン奏法） 524
根　音 259
コンガ 84, 416
コンセルヴァトワール式（オーボエ） 141
コンセルティーナ 38, 305
コンソート（コンソルテ） 291, 685, 742
魂　柱 57, 58, 73, 78, 363
コントラ・アルト 745
コントラバス 53, 56, 57, 74, 236
コントラバス（ヴィオラ・ダ・ガンバの） 370

〔さ〕

サイレント 491
サイレントアンサンブル 118, 491
サイレントヴァイオリン 109
サイレントブラス 110
サウンドポスト 364
サウンドホール 339
サクソフォン 136, 297, 510, 555, 738
サクソフォン四重奏曲 298
サクソルン 288
サステインペダル 531
ザックス＝ホルンボステル分類 20, 52, 83, 240
サックバット 698, 733, 748
ザックファイフ 700
擦　弦 52, 65, 408
擦弦位置 161, 163
擦弦楽器 21, 52, 56, 72, 361
擦弦の振動 65
擦　奏 23, 95, 241, 424
擦奏太鼓 83, 84, 88, 420
擦奏体鳴楽器 97
サドル 64, 78, 338
座標変換 423
差分方程式 247
皿 438
サーランギ 53, 74, 380
サリンダ 53
サルタート 523
さわり 349
三　曲 350
三　絃 53, 348
サンザ 432
三下り（さんさが） 349, 524
三線（しん） 53
サントゥール 54
サンビケ 53
三分損益法 265, 266
サプリング 812
サンプリング音源 117, 443
サンプリングレート 868
サンポーニャ 289, 508, 701
ザンポーニャ 289, 700, 701
三位一体 689
三和音 259, 275

〔し〕

シェッフェル 444
シェパードトーン 10
シェル 83, 416
時間逆転音 411
時間逆転再生 137, 158, 184
時間構造 19
時間ピッチ 9
時間分解能 122
時間領域有限差分法 63, 255, 475
シーク 289, 701
指向性 51
自然倍音列 48, 287, 330
持続振動 22
シター 567
シターン 335, 563, 567, 755
七五調 679
実効管長 43, 506, 507
実時間 476
自動ピアノ 118, 482, 668
篠　笛 508
シフトペダル 77, 384, 390
締め太鼓 84, 418
シャイトホルツ 767
弱音器 368
尺　八 34, 289, 677
シャコンヌ 637
シャノーのヴァイオリン 376
蛇皮線 53
三味線 53, 348
シャリュモー 295, 747
シャリュモー音域 134, 296, 747
シャルマイ 694, 745
シャルミー 695
シャンク 70
シャントレル 343
重音（ヴァイオリンの） 525
重音トリル 522
周　期 5, 11
周期振動 152
周期性ピッチ 9
自由簧 244
十三絃 53, 361
終　止 263
終止形 263
自由振動 52, 69, 88
重　奏 814
周波数 4, 100
周波数スペクトル iv, 10, 18, 121
周波数比 15
周波数分解能 122
周波数分析 11
周波数変調 116, 470, 471

主　音　12
縮退モード　435, 438
シュタイナー　72, 365, 586, 624
シュタイナー型 (ウィンドコントローラ)　500
シュトックハウゼン　1, 444
シュプルングボーゲン　368
主要三和音　15, 259
狩猟ホルン　554
主和音　259
瞬時混合　838
純正調オルガン　269
純正律　15, 18
純正律調弦　157, 166
順八逆六　266
笙　303
撞弦楽器　53
小全音　15
情報圧縮　20
女王のバレー　598, 599
初期条件　52, 94, 400, 402
初速度　54, 69
ショートブリッジ（ピアノの）　76, 389
ショーム　141, 300, 694, 732, 743–745
ジラーフピアノ　383
自励振動楽器　22
四六の和音　263
シロフォン　99, 200
シングルストローク　534
シングルストローク・ロール　535
シングルリード　245, 304
シングルリード楽器　21, 30
シングルリード木管楽器　134, 295
進行波　253, 318
真正電鳴楽器　107, 110
振　奏　240
振動周波数　64
振動モード　72
シンバル　99, 103, 204
振幅スペクトル　11
振幅包絡　121

〔す〕

水琴窟　432
スイス管　292, 693, 732
吹　奏　241
吹奏体鳴楽器　97
スウェル　658, 704
スウェル・レバー　305
スカラー　250
スカラー量　308
スコルダトゥーラ　524
スタインウェイ　170, 662
スタインウェイ・スピリオ　119
スタッカート　520
スタッカート音　127
スティールギター　107, 109
スティール弦　340, 513
スティールパン　99, 431
ストッピング（ホルン奏法）　127, 288, 512
ストップ（オルガンの）　38, 306, 545
ストラディヴァーリ　72, 603
ストラディヴァーリ・ホール　365
ストラトキャスター　118
ストリートオルガン　479
ストレスバー（ピアノの）　394
ストローヴァイオリン　379
スネアドラム　84, 417, 534
スピーカーキー　139, 297, 508
スピーキングレングス　64, 76, 161
スピッカート　367, 523
スピネット　358, 360, 688, 750, 770, 773
スプルース　335
スペインギター　335
スペクトル分析　11
スペクトル包絡　161
スペクトログラム　121
須磨琴　53, 361
ズマラ（チュニジアの双管楽器）　289
スライダー　39, 306
スライド　508
スライドトランペット　286
スリンガラ　53
スル・タスト　163, 409, 410, 515, 523, 877
スルド　418
スル・ポンティチェーロ　65, 163, 409, 515, 523, 877

〔せ〕

聖ヨハネ賛歌　264
セコ（ギター奏法）　519
舌（ぜつ）　432
接触雑音　152
絶対音感　99
セーハ（ギター奏法）　517
狭い全音　269
セリー　444
セリー音楽　817
セルパン　557, 749
全　音　14
全音階　258
全音階的半音　14, 832
センサー　118
せん断応力　397
セント　18, 265
旋　法　259
線密度　399

〔そ〕

箏　53, 360, 675
増音程　17
双極子　93, 105

掻擦奏 *241*
層 流 *508*
属 音 *15*
属七の和音 *263*
速 度 *101*
速度ベクトル *250*
速度ポテンシャル *250, 312*
属和音 *259*
ソステヌートペダル *77, 390, 391, 531, 661*
ソティエ *523*
ソードゥアン *381*
ソナグラフ *122*
ソフトペダル *62, 77, 182, 385, 386, 390, 391*
ソプラニーノ *298*
ソプラノ *685*
ソプラノクラリネット *43*
疎密波 *2, 41*
ソルディーノ *368*
ゾルドゥン *302*
ソレノイド *118, 669*

〔た〕

ダイアトニック（ハーモニカの） *305*
大正琴 *53*
体積弾性率 *310, 399*
大全音 *15*
ダイナミックレンジ *490*
体鳴楽器 *23, 96, 199, 240, 430*
代理和音 *263*
第 1 種楽器（アグリコラの楽器分類での） *692*
第 I 種ベッセル関数 *429*
第 1 転回 *263*
第 1 モード *41*
第 2 転回 *263*
第 2 モード *42*
第 III 種ベッセル関数 *428*
ダウンピッキング *514*
ダウンボウ *58, 69, 160, 373*
打楽器 *23, 688*
打 弦 *52, 69, 70, 403*
打弦楽器 *21, 52, 59, 74, 170, 382*
打弦機構 *383, 389*
打鍵速度 *118*
打叩音 *434*
打合(だごう)奏 *240*
多重音 *372, 526*
多重奏 *814*
打 奏 *23, 94, 240*
打奏太鼓 *83, 84, 88, 415*
打奏体鳴楽器 *97, 199*
打奏膜鳴楽器 *187*
畳み込み混合 *838*
立ち上がり *152*
タッチ（ピアノ演奏での） *666*
タッピングハーモニックス *518*
竪 琴 *53, 354*
縦 波 *3, 41, 78, 100, 250, 415*
縦 笛 *290*
タブラチャー *691*
タブラ・バーヤ *417*
ダブルアクション・ハープ *353*
ダブルエスケープメント *61, 75, 660*
ダブルストップ *166, 525*
ダブルストローク *534*
ダブルストローク・ロール *535*
ダブルピッキング *514*
ダブルホルン *288, 509*
ダブルリード *245, 304*
ダブルリード楽器 *21, 30*
ダブルリード木管楽器 *300*
タ ム *417*
ダランベール解 *253, 317*
ダランベール形式 *399*
ダルシマー *54, 59, 74, 332, 351, 721, 779*
短音程 *17*
単極子 *93, 105*
タンギング *509*
タングトリル *511*
短 3 度 *15*
短三和音 *259, 275, 277*
タンジェント *720*
単純弦鳴楽器 *52, 242*
弾 性 *96, 100*
弾性的性質 *307, 310*
短 調 *269, 274*
ダンパー *69, 75, 180, 384, 659*
ダンパーペダル *76, 174, 181, 390, 530, 660*

〔ち〕

チアラメーラ *695*
地唄三味線 *350*
チェレスタ *99, 433*
チェロ *53, 159, 234*
チェンバロ *53, 60, 233, 332, 357, 657, 720, 750, 770*
知覚検知限 *18*
力 木 *336*
地なし尺八 *678*
地塗り尺八 *679*
チャランゴ *334*
チャルメラ *300, 695*
チャンター管 *701*
中 棹(ちゅうざお) *350*
中心周波数 *10*
中世フィドル *53, 357, 563, 568, 569, 728*
中全音律 *268*
鋳鉄フレーム *660*
チューニング *277, 278*
チューニングピン *75, 394, 395*
チューニング（ヴァイオリンの） *166, 278*

チューニング（オーケストラの）278
チューニング（管楽器の）281
チューニング（ギターの）279
チューニング（ピアノの）280, 663
チューニング（和楽器の）281
チューブラーベル 101
長音程 17
超音波 4
聴覚的サイン 275
調　弦 166
調弦（ヴァイオリンの）166, 278
調弦（ギターの） 157, 279
長 3 度 15
長三和音 259, 277
調性音楽 12, 262
長　調 258, 269, 274
超低周波音 4
調波構造 12, 80, 99, 100, 160, 464, 472
調律（ピアノの） 663
張　力 100, 101, 399
調和的 100, 101
直接打奏 84, 415
直接摩擦 84
直角座標 314

〔つ〕

ツィター 53, 242, 351, 563, 688, 767
ツィター（シター） 568
ツィター属 243
ツィンク 288, 743, 747, 748
ツィンバロン 54, 351, 688
通奏低音 357, 567, 571, 658
ツー・ファイヴ（II-V） 263
津軽三味線 350
鼓 84, 419, 535
角　笛 287, 554
爪（箏弾弦の） 843
つりがね 439

〔て〕

ディアパソン 746
ディアパソン孔 746
ディヴィジョン・ヴィオル579
定音高 23
定音高楽器 430
定音高／不定音高 99
定在波 87, 401
ディジタル導波管 475
ディスカント 370, 685
ティビア 300
定ピッチ楽器 199, 430
ティブレ (ティプレ)300, 746
ティランド 512, 513
ティンパニ 84, 91, 187, 416
ティンバール 417
テオルボ 567, 658, 759
デカルト座標 314
摘　奏 23, 95, 241, 424
摘奏太鼓 83, 84, 88, 419
摘奏体鳴楽器 97
テクニカルハーモニックス515
手鍵盤（オルガンの） 147, 148
デタシェ 520
テトラコード 258
テヌート 520
テノーラ 300, 746
テノール 825
手風琴 304
テープ音楽 113, 444
デュッシュ 371
デュナーミク 505
テルミン 107, 454, 455
テルミン奏法 544
電圧制御 467
電圧制御合成 467
点音源 6, 93
電気音響楽器 246
電気音響弦鳴楽器 246
電気機械楽器 246
電気ギター 109
電気増幅楽器 245
電子オルガン 112
電子音 825
電子音楽 444
電子楽器 246
電磁波楽器 246
電磁ピックアップ 111, 118
電動楽器 109, 245
電波楽器 109
伝搬速度（波の）81, 90, 100, 251
伝搬速度（音の） 100
電鳴楽器 23, 106, 109, 245, 443
電鳴楽器類 106
電鳴擬楽器 107

〔と〕

ドイツ階名 689
「ドイツの器楽」 685
胴 72, 90
同音連打 98
当道（幕府公認の盲人職能組織） 678
導波管モデル 476
等ラウドネスレベル曲線 8
独立成分分析 827, 838
度数表記 14, 16
トータルセリエール 826
トムトム 417
ド　ラ 103
トライアングル 99, 207, 236, 437
トラウトニウム 116, 466, 468, 545
トランペット 30, 122, 285, 733
トリル 121, 130, 135, 511
トリル（ギターでの） 516
トリル（ピアノの） 532
トリル（ヴァイオリンの）522

トリルキー 512
トリル（リコーダーの） 134
ドルツフレーテ 290, 693, 732
トルームシャイト 767
トレブルブリッジ（ピアノの） 76
ドレミファ・・・の起源 264
トレモロ 98, 131, 132, 203
トレモロ（ギターの） 518
トレモロ（ピアノの） 532
トレモロ（ヴァイオリンの） 523
トレモロ（管楽器の） 509
トレモロ効果 134, 305
トレモロピッキング 514
ドローバー 545
ドローン管（バッグパイプの） 701
ドローン弦 561, 563, 723, 729, 753
トロンバ 236, 286
トロンバ・マリーナ 236, 767
トロンボーネ 286
トロンボーン 30, 286, 733, 738
トーンクロマ 8, 9
トーンハイト 9
トーンホイール 40, 545

〔な〕

内部共振 104
内部奏法 672
ナイロン弦 340, 513
長唄三味線 350
ナチュラルトランペット 46, 286
ナチュラルハーモニックス 154, 515, 521
ナチュラルホルン 46, 127, 288
ナット 515
七の和音 263
ナブラ 251, 311, 399

〔に〕

二上り（にあがり） 349, 524
二 胡 53, 381
ニッケルハルパ 689, 723, 778
ニュートンの第 2 運動法則 397

〔ね〕

音 色 18
音色的高さ 8
ネオ・ベヒシュタイン 118, 669
ネック 54

〔の〕

ノンヴィブラート 160

〔は〕

倍 音 16
媒 質 2, 78, 100
パイプオルガン 31, 107, 234, 305
白色雑音 10
場所ピッチ 9
バズ音 31, 506
バスドラム 84, 418
バスバー 57, 58, 73, 362
バスブリッジ（ピアノの） 76
バズロール 535
バスーン 233, 302, 742
バセット 694, 743, 745
撥（ばち） 843
桴，枹 415, 424
波 長 5, 12, 42, 79, 100
発音源 20
発音体 iv, 20, 29
バッグパイプ 700, 752
バックラッシュ 73
撥 弦 52, 62, 402
撥弦位置 151
撥弦楽器 21, 52, 54, 72, 331
バッサネッロ 745
バッハ弓 528
ハーディーガーディー 689, 723, 776
ハーディンガー・フェーレ 380, 621
波動解 253
馬頭琴 53, 381
波動伝搬 87
波動方程式 20, 251, 253, 307, 399, 423, 425, 475, 476
ハープ 53, 352, 560, 689, 721, 779
ハープシコード 233, 358
ハープ・リラ類 243
ハープ類 52
ハム・バッカー 118
波 面 5
ハーモニウム 38, 234, 303, 305, 705
ハーモニカ 38, 145, 305, 510
ハーモニックス 80, 154, 165, 514, 521
ハーモニックス（管楽器における） 35
ハーモニックス（ピアノの） 531, 672
ハーモニックペダル 392
波 紋 87
ハモンドオルガン 40, 112, 116, 234
腹 41, 42, 79
梁（はり） 100
バリトン 235, 579, 785
ハルダンゲル・フェール 380, 621
パルデュッシュ 371, 577, 578
バルバット 566
バルブ 123, 558, 750

バルブトロンボーン 287
バルブホルン 288
パレット 39, 306
バロックヴァイオリン 631, 655
バロック期 61
バロックギター 149, 333
バロックボウ 367, 647
パロ・デ・ジュビア（レイン・ロッド） 99
パワースペクトル 11
パワー比 8
半　音 14, 261
半音階的半音 14, 832
ハング 96, 540
半月（月琴の） 346
半月（琵琶の） 346
ハンケル関数 323, 428
反　射 5, 95
バンジョー 334
バンドネオン 38, 303, 789
ハンドパン 96, 540
ハンドベル 99
パンフルート 289
ハンマー 69, 74
ハンマークラフィアー 62, 659
ハンマリング・オン（ギター奏法） 519

〔ひ〕

ピアソラ，アストル 505
ピアノ 61, 170, 382
ピアノフォルテ 382
ピアノフォルテ・ア・コーダ 382
ピアノフォルテ・ヴェルティカーレ 382
ビウエラ 149, 333, 563, 691, 757
ビウエラ・デ・アルコ 53, 373, 581, 708, 769
ビウエラ・デ・マノ 236, 333, 374, 724
ピエゾ素子 111, 118
ピカード（ギター奏法） 519
ビザンティン・リラ 53, 565
ピストン 508
ピストンバルブ 46, 285, 557
ピタゴラス音律 264, 265, 267
ピタゴラスのコンマ 265
非調波性 69, 177, 666
非調和性 69, 415
篳篥（ひちりき） 300
ピック 341, 512, 843
ピックアップ 117
ピックアップ型外見的電鳴楽器 109
ピックアップ型電気楽器 109
ピッコロ・ヴァイオリン 235, 765
ピッチ 8, 9, 88
ピッチ感 91, 95, 96, 100, 101, 104, 434
ピッチの時間変化 132
ヒッチピン 62, 75, 387, 395
ピッツィカート 168, 522
一節切（ひとよぎり） 677
非負行列分解 833, 838
微分音 342, 834
微分方程式 52, 247
ビューグル 555, 557
鋲留め太鼓 418
標本化 812
平調子（ひらぢょうし） 674
広い全音 269
琵　琶 53, 346, 567

〔ふ〕

ファゴット 143, 302, 732, 741, 742
不安定性（和音の） 275
ファントムパーシャルズ 415
ふいご 701, 750
フィップル 34, 234, 290, 506, 693, 835
フィードバック奏法（エレキギター奏法） 222
フォークギター 334
フォルテピアノ 62, 660
不確定性関係（周波数分解能と時間分解能の） 122
不確定性の音楽 450
不協和度 275
複管楽器 289
複　弦 172
復元力 101
複合弦鳴楽器 52, 242
腹式ヴィブラート 511
ふくらみをもった曲面（体鳴楽器の一形状として） 103
普化尺八（ふけ） 678
プサルテリウム 689, 780
プサルテリオン 53, 54, 332
節（ふし） 41
ブシェ（→ゲシュトップト） 512
ブックラシンセサイザ 116
物理モデル 110, 475
物理モデル合成 116, 444
物理モデルシンセサイザ 475
不定音高 23
不定ピッチ楽器 204, 430
ブードゥー組曲 535
不動点 79, 80
太　棹（ふとざお） 350
部分音 101, 434
ブラインド音源分離 838
フラウト（「笛」のイタリア語） 738, 739
フラウト・ディリット 234, 290, 292

フラウト・トラヴェルソ 234, 290, 292, 693
フラウト・ドルチェ 290, 292, 693
フラジオレット 80, 831
フラジオレット（アルトサックスの） 140
フラジオレット（ギターでの） 514
フラジオレット（ギターの） 154
フラジオレット（ヴァイオリンでの） 521
フラジオレット（ヴァイオリンの） 165
フラジオレット（奏法） 35, 136, 139
フラジオレット（楽器名） 34, 235, 831
フラッタータンギング 509
フラッターツンゲ 509
フラメンコ 512
フラメンコギター 331
フランコ・ベルギー楽派 642
フーリエ級数展開 400
ブリッジ 55, 62, 69, 73, 75, 78, 252, 338, 362, 515
ブリッジアドミタンス 374
ブリッジピン 397
ブリッジプレート 336
ブリッジミューティング 517
プリペアードピアノ 450, 671
フリューゲルホルン 557
フリーリード 244
フリーリード楽器 31, 145, 303
プリング・オフ（ギター奏法） 520
プリンシパル（オルガンの） 306
フルート 129, 290, 551, 739
フルーパイプ 148, 305
フレア率 51
ブレイス 336
フレクサトーン 440
プレクトラム 52, 60, 341, 512
プレスロール 535
フレット 54, 57, 341, 515
プレットロ 843
フレーム（ピアノの） 394
フロアタム 418
ブロウ 136
ブロックフレーテ 234, 290, 291, 693, 732
分散和音化 527
文 節 683

〔へ〕

閉 管 41, 42, 139, 141
平均スペクトル 122
平均律 iv, 17, 261, 270
平衡位置 422
平面波 6, 316, 426
ペ グ 73
ヘクサコード 264
ベクトル演算子 311
ベクトル記法 423
ベクトル量 308
ヘグム 53, 381
ベーゼンドルファー 170, 662
ベーゼンドルファー・セウス 118
ペダル（ティンパニの） 416
ペダル（ハープの） 353
ペダル（バスドラムの） 418
ペダル（ピアノの） 390
ペダル操作（ピアノの） 530
ペダルトーン 48, 330, 507
ベッセル関数 94
ベッセル方程式 323
ヘテロダイン合成音 443
ヘテロダイン方式 114, 454
ベヒシュタイン 172, 662
ベーム式クラリネット 136
ベーム式フルート 291
ペリオド楽器 661
ベル（ピアノの） 62, 393
ベル（管楽器の） 45, 51
ヘルツ 4, 12
ヘルムホルツ運動 66, 408
ヘルムホルツ共鳴 72, 292, 337, 340
ヘルムホルツ共鳴器 128
変 位 52, 54, 62, 251, 308
変数分離型 318
ペンデレツキ 654
ベンド奏法（ハーモニカ） 145
偏微分 252

〔ほ〕

ホイッスル 293
ホイヘンスの原理 5
棒（体鳴楽器の一形状） 100, 433, 435
法 器 677
放射器 88
ポザウネ 698, 748
ポシェット 764
ポジティーフ 703, 750
ポストホルン 555, 557
細 棹（ほそざお） 350
ホール・コンソート 697
ポルタティーフ 703, 750
ポルタート 521
ポルタメント（ヴァイオリンの） 523
ポルトガルギター 332, 568, 755
ボルドーナ 154
ボルドーネ 154
ホルン 30, 127, 285, 287, 509
ボンゴ 84, 190, 416
ボンゴ・コンチェルト 535
本調子 349
ボンバルド 300, 695, 732, 745

ポンマー　300, 694, 745

〔ま〕

マイクロフォン　117
マウスオルガン　304
マウスピース　128, 283, 295, 506
曲がった弓　525
巻き線　661
膜の振動　422
膜鳴楽器　22, 83, 186, 241, 415
枕　紐　675
曲げ剛性（弦の）　69, 78
曲げ剛性（板の）　102
曲げ振動　101
曲げ振動（棒の）　433
摩擦ドラム　85
マスキング　20
マラカス　99
マリンバ　99, 199
マルチストップ（ヴァイオリンの）　524
マレット　74, 187
マンドーラ　563
マンドリン　53, 344, 758

〔み〕

右手ハーモニックス　518
ミクストゥール・トラウトニウム　467
ミズラープ／ミズラーブ　843
ミッシングファンダメンタル　189
未定乗数法　313
ミニマルミュージック　450
ミュージカル・ソー　97, 99, 431, 441
ミュージカル・ボウ　560
ミュージック・コンクレート　444
ミュージック・シンセサイザ　115, 443
ミュージック・ストカスティーク　449
ミュージックセリエール　817
ミュート（ギターの）　517
ミュート（ヴァイオリンの）　368
ミュート（管楽器の）　499
ミュート音　126, 127
ミルリトン　85
ミロンガ　852
ミーントーン音律　267
ミーントーン５度　268

〔む〕

むくり（ピアノ響板の）　661
むくり（箏の竜甲の）　675
無棹撥弦楽器　351
ムビラ（親指ピアノ）　432

〔め〕

メロトロン　117, 473

〔も〕

モーグシンセサイザ　106, 116, 443, 466, 469
モダンヴァイオリン　631, 648
モダンボウ　367, 646
木管楽器　21, 30, 506, 688, 693
モード法　116, 475
モノコード　261
モーラ　679
モーラ音素　679

〔や〕

柳川三味線　350
山田流　675
倭琴（やまと）　673
ヤング音律　268

〔ゆ〕

有限要素法　475
有効弦長　161
有棹撥弦楽器　342
ユーフォニウム　288
ユーナックフルート　85, 422
指　孔　43, 290
指奏リラ　53
指弾き　513
弓　367

〔よ〕

洋　銀　291, 551
横　波　3, 78, 100, 101, 251, 397
横　笛　290
四七抜き音階（よなぬき）　806
ヨーヒッコ　380, 561
四和音　263

〔ら〕

ライアー　355, 560
ライオンズロアー　85, 421
ラウドネス　8
ラウドネスレベル　8
ラケット　302, 741, 743
ラジオバトン　120, 549
ラスゲアード（ギター奏法）　512, 518
喇叭（らっぱ）　31
ラバーブ　53, 74, 381, 561
ラプラシアン　311, 423

〔り〕

リアルタイム　462, 463, 476
リコシェ（ヴァイオリン奏法）　524
リコーダー　133, 291, 508, 693, 739
リーシャ　843
理想弦　69, 101
理想膜　90
リップトリル　511
リップリード　688

リップリード楽器 *21, 30, 31, 122, 283, 506*
リード *21, 30, 244, 295*
リードオルガン *38, 234, 304, 305, 705*
リード・オルガン *303*
リードパイプ *148, 306*
リード木管楽器 *21, 30, 134, 294*
隆　起 *57, 72*
粒子速度 *41, 308*
流　体 *3*
竜角（りゅうかく） *675*
龍　笛 *508*
リュート *53, 332, 342, 566, 705, 757*
リュート属 *243, 705*
リュラー *331, 560*
リラ *331, 355, 560, 856*
リラ・ヴィオーラ *575, 728, 857*
リラ・ヴィオル *579*
リラ・ギター *561*
リラ・ダ・ガンバ *569, 728*
リラ・ダ・ブラッチオ *53, 569, 708, 728*
リラ類 *52*
リリコン型 (ウィンドコントローラ) *500*
リローネ *569*
隣接弦間音程 *691*

〔る〕

ルントボーゲン *525, 655*

〔れ〕

励　振 *72, 94, 424*
励振方法 *52, 53, 553*
レガート *520*
レーガル *703, 750*
レキント *334*
レジスター（チェンバロの） *359*
レジスターキー（リード木管楽器の） *139*
レジスターホール *49, 507, 554*
レジデューピッチ *12*
レスポール *118*
レットオフ *61*
レバー *508*
レベック *53, 565, 570, 708*
連成運動 *3*
連成振動 *78, 83, 88, 92, 415, 416*
連続の条件 *251*

〔ろ〕

録音再生型（電鳴楽器） *108*
録音編集合成 *117*
六の和音 *263*
ロータリートランペット *286*
ロータリーバルブ *46*
ローピッチ *12*
ロール紙（自動演奏機械の） *479, 668*
ロール奏法 *103, 187, 534*
ロールピアノ *668*
ロングブリッジ（ピアノの） *76, 389*

〔わ〕

和琴（わごん） *673*
和太鼓 *84, 418*
ワルトトイフェル（膜鳴楽器） *85, 860*

〔A〕

Agricola, Martin *684*
ARP シンセサイザ *116*

〔B〕

B♭ 管 *285, 330, 509*
BEM *475*
Boulez, Pierre *449, 450*
BSS *838*

〔C〕

c（cent, セント） *18*
C 管 *285*
C 孔 *371*
Cage, John *450*
Carlos, Walter *469*
Carlos, Wendy *469*

〔D〕

dB 値 *8*
DCC *20*
DPM-48 *117*
DX-7 *116, 443, 472*

〔F〕

F 管 *285, 330, 509*
f 孔 *72, 364*
FDTD *63, 116, 255, 475*
FEM *475*
FM 音源 *110*
FM 合成 *116, 443, 470*

〔G〕

Guarnerius *650*

〔H〕

hPa（ヘクトパスカル） *7*
Hz（ヘルツ） *4, 12*
H-S 分類 *240*

〔I〕

ICA *827, 838*
II-V（ツー・ファイヴ） *263*

〔J〕

JND *18*

〔M〕

Martenot, Maurice *456*
MD *20*
MIDI *470, 472, 670*
MIDI コントローラ *119*
MIMO *246*
MPEG *20*
musique concrète *444*

〔N〕

Neo-Bechstein *118*
NMF *833, 838*

〔O〕

ondes Martenot *456*

〔P〕

PCM 音源 *110, 117, 443, 473*
PCM 合成 *117*
PCM シンセサイザ *117, 473*
Penderecki, Krzystov *452*
Praetorius, Michael *684*

〔R〕

RCA Mark-II *443, 462*
Reich, Steve *450*
Rundbogen *525, 655*
RWC 楽器音 DB *131*

〔S〕

Sachs-Hornbostel 分類 *240*
Sax, Adolphe *555*
Schaeffer, Pierre *444*
stick and slip *66, 89, 408, 421, 424*
Stockhausen, Karlheinz *444*
Stradivarius *650*
Switched-on Bach *469*
Syntagma Musicum（「音楽大全」） *685, 730*
SY-77 *117*

〔T〕

Termin *454, 456*
Termin, Lev *454*
Thermin *443, 456*

〔V〕

VL-1 *116, 475*

〔W〕

Welte-Mignon *118*

〔X〕

Xenakis, Iannis *449*

〔記号・数字〕

F_0 *10*
f_0 *10*
♭（フラット） *237*
#（シャープ） *237*
1 次元座標 *423*
1 枚膜 *416*
12 平均律 *270, 271*
2 階空間微分 *423*
2 階微分 *251*
2 次系列 *415*
2 次元極座標 *94, 423*
2 次元座標系 *426*
2 重音（ヴァイオリンの） *166, 525*
2 枚膜 *417*
3 弦ヴァイオリン *718, 857*
3 次元極座標 *314*
3 重音（ヴァイオリンの） *525*
3 度 *15*
4 重音（ヴァイオリンの） *525*
4 度調弦 *57, 58*
4 フィート *359*
5 度 *15*
5 度調弦 *57, 58, 166*
53 平均律 *270, 271*
8 鍵フルート *693*
8 度 *13*
8 フィート *359*