

日本音響学会 編

音響入門シリーズ A-5

楽 器 の 音

工学博士 柳田益造 編著

理学博士 高橋公也

工学博士 西口磯春 共著

博士(工学) 若槻尚斗

コ ロ ナ 社

音響入門シリーズ編集委員会

編集委員長

大川 茂樹 (千葉工業大学)

編集委員 (五十音順)

小澤 賢司 (山梨大学)

鈴木 陽一 (東北文化学園大学)

羽田 陽一 (電気通信大学)

誉田 雅彰 (早稲田大学名誉教授)

柳田 益造 (同志社大学名誉教授)

(2022年8月現在)

刊行のこ と ば

われわれは、さまざまな「音」に囲まれて生活している。音楽のように生活を豊かにしてくれる音もあれば、騒音のように生活を脅かす音もある。音を科学する「音響学」も、多彩な音を対象としており、学際的な分野として発展してきた。人間の話す声、機械が出す音、スピーカから出される音、超音波のように聞こえない音も音響学が対象とする音である。これらの音を録音する、伝達する、記録する装置や方式も、音響学と深くかかわっている。そのために、「音響学」は多くの人に興味をもたれながらも、「しきいの高い」分野であるとの印象をもたれてきたのではないだろうか。確かに、初心者にとって、音響学を系統的に学習しようとするのは難しいであろう。

そこで、日本音響学会では、音響学の向上および普及に寄与するために、高校卒業生・大学1年生に理解できると同時に、社会人にとっても有用な「音響入門シリーズ」を出版することになった。本シリーズでは、初心者にも読めるように想定されているが、音響以外の専門家で、新たに音響を自分の専門分野に取り入れたいと考えている研究者や技術者も読者対象としている。

音響学は学際的な分野として発展を続けているが、音の物理的な側面の正しい理解が不可欠である。そして、その音が人間にどのような影響を与えるかも把握しておく必要がある。また、実際に音の研究を行うためには、音をどのように計測して、制御するのかを知っておく必要もある。そのための背景としての各種の理論、ツールにも精通しておく必要がある。とりわけ、コンピュータは、音響学の研究に不可欠な存在であり、大きな潜在性を秘めているツールである。

このように音響学を学習するためには、「音」に対する多角的な理解が必要である。本シリーズでは、初心者にも「音」をいろいろな角度から正しく理解

ii 刊 行 の こ と ば

していただくために、いろいろな切り口からの「音」に対するアプローチを試みた。本シリーズでは、音響学にかかわる分野・事象解説的なものとして、「音響学入門」, 「音の物理」, 「音と人間」, 「音と生活」, 「楽器の音」の5巻, 音響学的方法にかかわるものとして「デジタルフーリエ解析 (I) 基礎編, (II) 上級編」, 「電気の回路と音の回路」, 「デジタル音響信号処理入門 - Pythonによる自主演習 -」の4巻 (計9巻) を継続して刊行する予定である。各巻とも、音響学の第一線で活躍する研究者の協力を得て、基礎的かつ実践的な内容を盛り込んだ。

本シリーズでは、CD, またはWebサイトに各種の音響現象を視覚・聴覚で体験できるコンテンツを用意している。また、読者が自己学習できるように、興味を持続させ学習の達成度が把握できるように、コラム (歴史や人物の紹介), 例題, 課題, 問題を適宜掲載するようにした。とりわけ、コンピュータ技術を駆使した視聴覚に訴える各種のデモンストレーション, 自習教材は他書に類をみないものとなっている。執筆者の長年の教育研究経験に基づいて制作されたものも数多く含まれている。ぜひとも、本シリーズを有効に活用し、「音響学」に対して系統的に学習, 理解していただきたいと願っている。

音響入門シリーズに飽きたらず、さらに音響学の最先端の動向に興味をもたれたら、日本音響学会に入会することをお勧めする。毎月発行する日本音響学会誌は、貴重な情報源となるであろう。学会が開催する春秋の研究発表会, 分野別の研究会に参加されることもお勧めである。まずは、日本音響学会のホームページ (<https://acoustics.jp/>) をご覧になっていただきたい。

2022年8月

一般社団法人 日本音響学会 音響入門シリーズ編集委員会
編集委員長

まえがき

本書は、楽器に興味を持つ、理系の大学1~2回生をおもな読者と想定している。ただし、高校生や音楽関係の人でも、楽器の構造や弾き方と音の関係に興味を持ち、知的好奇心が旺盛なら、それほど難しいと感じることなく読み進められるように書いたつもりである。さらにいえば、音楽好きの高校生で、音楽大学や工学部の音響関係のコースに進もうと考えている人にも読んでいただきたい。もっとありていにいえば、読者のごく一部でもいいから、楽器音響分野の研究とか既存楽器の改良や新しい楽器の開発を自分の仕事にしよう、という気を起こしてもらい、この分野を活性化できればと思っている。

ただし、本書はあくまでも入門書を意図したので、理系大学レベルの数学的な内容のほとんどを本文から外して、ウェブ上で公開する付録とし、読まないでも済むようにした。ただ、もう少し勉強してみたいとか、深く理解するにはどのような知識が必要なのかを覗いてみたいと考える読者は、付録を読んでほしい。

楽器の音を物理学的に理解するには、その発音現象がどのような物理法則に基づくのかを理解し、楽器の構造や奏法によって決まる境界条件と初期条件のもとでそれを解くことになるが、その詳細は専門書^{1)†}に譲るとして、ここで読者に望むのは、発音体の動きを表す微分方程式に対して、その解として得られる「楽器の音響特性」に直結する「発音体の固有振動」の物理的な本質を感覚的に理解することである。これは、楽器の開発や改良に携わった昔の楽器職人が直感的に理解していたことの一部であり、中学・高校の知識で十分理解可能である。現象の概念的な理解のためにはそれで十分で、本書をざっと読むのに必要な数学はほぼ高校レベルまでである（ウェブ上で公開している付録C、付

† 肩付き数字は巻末の引用・参考文献番号を示す。

録 E の物理的な説明では、理系の大学初年度程度の数学を使っている)。

音や動画のファイルがあるものについては  で示し、《》で囲み、ディレクタリは「/」区切りで示している。

1 章は総論で、本書で対象とする「楽器」を明確にし、音の基本とその聞こえ方を説明し、発音体による楽器の分類を示す。各分類項目に属する楽器は、その構造や発音のさせ方によって細分類する。

2 章では、1 章の分類に従って、分類項目ごとの楽器群の特徴を、それぞれの分類項目に属する楽器の発音体の振動に基づいて概念的に説明する。2 章は本書の中心となる 3 章への導入のようなものなので、最初からいきなり 3 章の興味のあるところを拾い読みし、必要に応じて索引をたどって 2 章に戻ったり、2 章からさらに付録 E に飛んだりする読み方でも構わない。

3 章は本書の中心となる部分で、各分類項目の代表的な楽器について、それぞれの楽器に固有の発音方法による音の特徴を、時間波形や周波数スペクトル、あるいはその時間的な変化の様子などによって示す。

付録の内容

まえがきの補足：難読部分，および表記法について

付録 A：代表的な楽器の音域と $A_4 = 440 \text{ Hz}$ とした平均律での各音名の周波数

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)}

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

付録 D：音階と音律についてのやや詳しい説明

付録 E：各楽器に関する 2 章の補足

付録 F：緩急・強弱と楽器固有の奏法

付録 G：個別の雑多な話題

付録 H：楽器に関する歴史的な 2 つの文献^{4), 5)} の概要

付録 I：用語集

付録 J：説明に使用した音の出典説明，および参考のために収録した音の説明

付録 K：弦（撥弦・打弦・擦弦）の振動のアニメーションの説明

「まえがきの補足」に詳しく書くが、高校生以下あるいは音楽を専門とする

読者らにとって難読と考えられる節は右肩に「*」あるいは「**」をつけておいた。これらの部分は読み飛ばしても、内容の概念的な理解には影響しない。

楽器名はもとはその楽器が発祥した国の言語であるものが多く、本書でもイタリア語のまま表現したものが多いが、日本ではヴァイオリンやギターなど英語が用いられていることが多く、もとの言語による表現が日本語として一般化していない楽器については、通常使われている楽器名を使用した。カナ表記については、語境界の「・」は読みにくくない限り省略し、語末の長音記号は読みやすさを重視したので、理工学書の記法から外れている場合がある。詳細は「まえがきの補足」を参照されたい。カタカナ語でアクセントの位置を逆さの三角印で示す。付録 I として用語集を付した。

<p>書籍中の図のカラー画像</p> <p>書籍中の一部の図は、以下よりカラー画像を閲覧可能 https://www.coronasha.co.jp/static/01311/color.pdf</p>	
<p>音とアニメーションファイル</p> <p>↓マークに続く wav ファイルは、以下より視聴可能 https://www.coronasha.co.jp/static/01311/contents.html</p>	
<p>付録</p> <p>付録は、以下よりダウンロード可能 (約 200MB) https://www.coronasha.co.jp/static/01311/appendix.pdf</p>	

2024 年 3 月

柳田益造

目 次

1. 「楽器」ってなに？

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
1.4.3	音の高さ(II)「音の高さの表し方」	12
1.4.4	音の高さ(III)「高さの開きの表し方」	15
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
2.1.3 気鳴楽器の物理	40
2.2 弦鳴楽器	52
2.2.1 細分類と代表的な楽器	52
2.2.2 発音体とその振動	62
2.2.3 楽器としての音響特性の付与	71
2.2.4 弦鳴楽器の物理	78
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
2.3.2 発音体とその振動	85
2.3.3 楽器としての音響特性の付与	90
2.3.4 膜鳴楽器の物理	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
2.4.2 他の分類法	98
2.4.3 発音体とその振動	100
2.4.4 体鳴楽器の物理	104
2.5 電鳴楽器	106
2.5.1 細分類と代表的な楽器	107
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

3. 楽 器 の 音

3.1 気 鳴 楽 器	122
3.1.1 リップリード楽器	122
3.1.2 エアーリード楽器	129
3.1.3 リード木管楽器	134
3.1.4 フリーリード楽器	145
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
3.2.2 擦弦楽器：ヴァイオリン	159
3.2.3 打弦楽器：ピアノ	170
3.3 膜 鳴 楽 器	186
3.3.1 打奏膜鳴楽器	187
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
3.4.2 不定ピッチ体鳴楽器	204
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
引用・参考文献	224
あ と が き	228
索 引	234

1

「楽器」ってなに？

1.1 どこまでが「楽器」？

執筆時点の Wikipedia によると、「楽器」とは、「音楽の素材としての音を出すための道具の総称」、あるいは「音楽に使用される音を出す器具」となっているが、以前は補足的に「広くは音を出すことのできるものすべてを楽器とすることもありますが、一般的には音を出すために作られた器具を指す」という記述があった[†]。

音が出るものは音楽に使えるというので、チャイコフスキーは「序曲 1812 年」で大砲を楽器として使ったし、シュトックハウゼンは正弦波を音素材として使うために正弦波発振器を楽器として用いた。しかし、大砲や発振器を楽器と呼べるだろうか？ 大砲は大砲、発振器は発振器であって、これらを楽器と呼ぶ人はいないだろう。

筆者の感覚では、楽器は「音楽の演奏のために音を出すことを意図して作られたもの」であって、単に「音を出せるので音楽にも使えるもの」は「楽器として使えるが、必ずしも楽器とはいえない」と考える。

ただ、この考え方だと、メトロノームが楽器になってしまう。メトロノーム

[†] 管弦楽法のバイブルとされるベルリオーズの『管弦楽法』（初版：1844 年）の「楽器法」の章の最初⁶⁾ p.17 に「作曲家によって（音楽に）使われる“音の出る物体”はすべて楽器である」とある（括弧内と二重引用符は筆者による補足）。「演奏者によって」でなく「作曲家によって」であるところがミソである。『標準音楽辞典』⁷⁾ は「楽器」を用語として使ってはいるが、「楽器」そのものの定義は書かれていない。

2 1. 「楽器」ってなに？

ムは、通常は「音楽の演奏のために音を出す」のではなく、「音楽の演奏の練習のために音を出す」ものである。まあ、リゲティのように、メトロノームを完全に楽器として使った曲（100台のメトロノームのための「ポエム・サンフォニック」）を書いた人もいたので、楽器の一種と考えてもいいのかもしれないが…。

1.2 本書で扱う楽器

本書では基本的には現代のオーケストラで使われる楽器、および身近に見られる（あるいは使われる）「いわゆる楽器」の中から、発音タイプ別に見て代表的なものを取り上げ、それらの音の発生のさせ方、楽器としての音色の形成、大きな音にするための工夫などを見ていき、特に楽器の構造・奏法と音色の關係に重点を置いて説明する。現在は使われていない歴史上の楽器についても、興味を持つ人の知的欲求をいくらかでも満たすために、また、なぜ現在の楽器がいまの構造になっているのかを理解していただくよう、必要に応じて補足的に説明する。

現在使われている「いわゆる楽器」は、淘汰の結果「現段階で使われている」というだけであって、楽器はつねに進化・淘汰の途上であって、いま使われている楽器が使われなくなる日が来るかもしれないし、今後いつ新しい概念のどのような楽器が出現するかもわからない。

1.3 音ってなに？

1.3.1 音は媒質中の疎密波

音は、媒質（medium）と呼ばれる空気や水など「波を伝える物質」の中を伝わる疎密波（dilatational wave）、つまり媒質を構成する粒子の密度の低い（疎な）部分と高い（密な）部分が周期的な繰り返して並んだ波において、疎

密が時間的に交替することによって媒質の疎密が場所的に伝搬する現象である⁸⁾ pp.9-10。

媒質が空気や水のような流体 (fluid; 大雑把に言えば気体と液体) である場合、疎密波の進行 (伝搬) 方向は媒質の振動方向と同じになる。このように、振動方向と進行方向が一致する波は、縦波 (longitudinal wave) と呼ばれる。一方、縄跳びのヒモの一端を固定して他端を上下あるいは左右に振ると波ができ、この場合のヒモの振動方向は上下左右である。ヒモの振動が上下左右あるいは斜めのどのような方向になっても波の進行方向は固定端に向かうので、波の進行方向はヒモの振動方向と直交する。このような波は横波 (transverse wave) と呼ばれる。音を波動として見るとき、音は音波 (sound wave) と呼ばれる。音は媒質中の縦波だけなので、固体中や弦に生じる横波はそのままでは音波ではない。

ごくわずかな空気の疎密波でも音波が生じる。ところが、振動できる弦は一般にはそれほど太くないので、弦を伝わる横波は振動の振幅が大きいわりに、それが直接空気の疎密波を作る効率は悪い。

そこで、弦を発音源として使う楽器は、通常、駒^{コマ} (ブリッジ; bridge) を介してその横波を面積が広い板や膜に伝えて、その板や膜の振動がそれに接している空気の疎密波を生じさせて大きな音になるようにしている。これとは対照的に、固体中の縦波は、振幅は小さくても空気に接している振動面が空気の一部を圧縮伸張させるのに十分な広さを通常持っているので、空気の疎密波を生じさせる効率が低い。弦の場合、長さ方向の振動である縦波もわずかではあるが存在し、これは横波との連成振動として駒に伝わる。

楽器の音 (音波) は、空気を伝わる疎密波としてわれわれの耳に届く。素潜りで水中で音を聞く場合の媒質は水であるが、それは特殊な場合であり、通常は、音波を耳に伝える媒質は空気である。イヤフォンで聴く場合も、イヤフォンの出力はイヤフォンと耳孔で形成される空間の空気の振動として鼓膜に伝わる。振動する物体に耳をつけて音を聴く場合でも、鼓膜をその物体に接触

4 1. 「楽器」ってなに？

させることはできず、どうしてもその間に空気が介在するので、媒質は空気になる。

1.3.2 可聴域

疎密の時間的な入れ替わりによって媒質に振動が起きるが、振動の1秒間での繰り返し回数を周波数 (frequency) といい、単位は Hz (ヘルツ) で表す。ヒトに音として聞こえる音波の周波数は、約 20 Hz からほぼ 20 000 Hz 程度までである。これは可聴音 (audible sound) と呼ばれ、この周波数範囲を可聴周波数領域 (audible frequency range) あるいは略して可聴域という。可聴域には個人差があり、また歳をとると (加齢による聴覚器官の硬化によって) 高周波数側から徐々に聞こえにくくなる。可聴域は種によって大きな違いがあり、イヌやネコの可聴域はヒトの可聴域よりも若干高く、コウモリの可聴域はヒトの可聴域よりも1桁程度高い。

図 1.1 に示すように、周波数がヒトの可聴域より低い音は超低周波音 (infrasound)、可聴域より高い周波数の音は超音波 (ultrasound; ultrasonic wave) と呼ばれる。

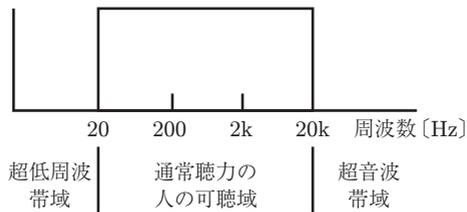


図 1.1 可聴域, 超低周波帯域, 超音波帯域

図 1.2 に示すように、手のひらを左右に動かすと両側に空気の疎密ができるが、音として聞こえるほど手を速く動かさないので、聞こえる音は発生しない。図 1.2 の左図は、波の進行方向が、縦波では振動方向と同一であるが、横波では振動方向と垂直になることを示す。

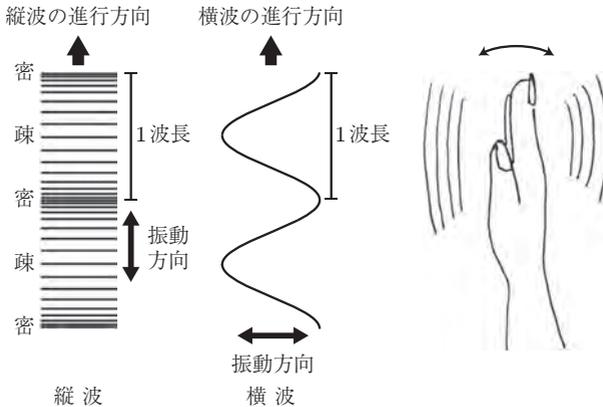


図 1.2 疎密波

1.3.3 音波の伝搬の直感的説明

音波が媒質中を 1 秒間に進む距離を音速 (sound velocity) といい、常温で 1 気圧の空気中の音速は約 340 m/s である。繰り返し波形の 1 単位の空間的な長さを波長 (wave length) といい、波長は「音速/周波数」で求められる。可聴域は約 20 Hz ~ 20 kHz なので、大気中での可聴音の波長の範囲は約 1.7 cm (= 340 m/20 000) から 17 m (= 340 m/20) くらいまでということになる。波が 1 波長進むのに要する時間を周期 (period) という。周期は周波数の逆数になる。

空気などの媒質の中を伝わる疎密波において、同位相 (1 周期を 360° と表した場合に同じ数値で表される角度) の点を繋いだ面を波面 (surface wavefront) といい、波の進行方向はつねに波面と直交する。ある時点での波面が与えられているときに、その時点から一定時間後の波面のでき方 (付録 I「ホイヘンスの原理」図 I.15) は、高校の物理で出てくるホイヘンスの原理 (Huygens' principle) によって概念的に説明できることが多く、反射・屈折・回折など、波動の基本的な現象あるいは波の進み方は、これを使うと直感的に理解しやすい。ホールの音響現象のシミュレーションをホイヘンスの原理のデジタル版で実行するという試み⁹⁾も行われている。

あ と が き

楽器の分類って難しい

音楽大学の演奏コースは、大きく分けると、鍵盤楽器、管楽器、弦楽器、打楽器、声楽、というような分け方になっているのが標準的なのではないだろうか。場合によっては、これに邦楽器がまったく別のコースとして加えられることがある。ところが、例えばピアノは鍵盤を持ち、発音体は弦なので、鍵盤楽器とも弦楽器ともいえ、またハンマーで弦を叩くので、少し無理があるけれども打楽器といえなくもない。このように、どこに入れるべきかが一意的に決められない楽器がある一方で、ハーモニカは（音楽大学で扱うべきかどうかを差し置いたとしても）上記のどれにも該当しない。

分類学 (taxonomy) は元来生物を分類することを目的として進展してきたものであるが、対象を生物に限定する必然性はない。分類 (classification) は、通常は多階層になり、その各段で対象となるアイテムがすべて、どれか1つの分類項目 (範疇; カテゴリー; category) に帰属 (類別; classify) することになる分類法が望ましい。つまり、各段で帰属するカテゴリーがないアイテムは存在せず、かつすべてのアイテムは必ずいずれか唯一のカテゴリーに帰属するという直和 (direct sum) 分類の条件を満たすことが、分類法として望ましい。

ちょっと考えるとわかるが、冒頭に挙げた楽器の分類は、何によって分類するか観点 (aspect) がバラバラである。分類の観点がバラバラでは直和分類になりようがないことは明らかで、分類方法としては「単一の観点」での分類が望ましい。楽器の分類に関して最も不都合が少ない分類は、振動源としての発音体が何かによる分類で、これはホルンボステルが提唱し²⁾、後にその弟子ザックスが拡張しており³⁾、本書でも基本的にはそれを踏襲している。

これによると、発音体が空気のもの、弦のもの、膜のもの、弾性体のもの、

および電気のものに分類でき、ごく特殊なものを除いて全楽器を直和分類することができると考えられる。ただ、これでも楽器のどこを発音体と考えるかで一意的に分類することが難しい楽器もある。インドの楽器カマク（単膜太鼓の膜の内側に紐の一端を貼り付けて他端を引っ張っておいて、紐をはじいて音を出す）を本書では摘奏太鼓に分類（膜を発音体と考える）したが、民音音楽博物館（https://museum.min-on.or.jp/collection/detail_G00105.html）ではリュート属としており、弦を発音体と考えているようである。もっとも、紐を引っ張る強さを変えることによって音高を変えられるので、弦を発音体と考えることは理解できても、リュート属はネックを持ちブリッジを介して弦の振動を板や膜などに伝える楽器なので、カマクをリュート属とするのは問題がある。カマクの発音は響板を膜にした1本弦のハープに近いと考えられるが、膜を引っ張っている紐は励振後は膜の振動を抑えるように働くので、紐を普通の意味の発音体とは考えにくい。一方、タンブリンのように複数の異種発音体を組み合わせて持つものについては不都合が起きるが、これは仕方がない。三味線や蛇皮線は、音高をとれるおもな発音を考えれば問題ない。音楽大学でのコース分けは教育上の便宜的な分類であって、音響学的な分類はこれとは異なる。

「楽器の音」に関する必要最小限のことは、本書の本文（印刷部分）に入れたつもりであるが、楽器個別の説明や奏法に関する説明は、ページ数の制約から印刷部分には入れられなかった。それらについては付録 E・F で説明する。これらは1章から3章までに関連する話題で、話の本筋から少し外れる事柄は本文での「コーヒーブレイク」とし、さらに入り切らなかったものについては他の付録にまとめた。

まえがきに書いたように、本書の中心は3章で、そこでは楽器を発音体によって分類した各カテゴリーに属する代表的な楽器の音をいろいろな角度から分析しており、1章と2章はそのための準備である。3章で分析に使った音は wav ファイルを用意してあるので、音として聞いていただけるとともに、分析ツールを利用できる読者は自分で分析して確認することができる。音のファイルの

ディレクトリ構造を付録 J に示しておいた。3 章関係の音については、図番号からファイルを探すことができる。

音の違いは音響分析でわかるのか？

フリーソフトなどを使ってスペクトル分析ができる環境にある読者は、ぜひ wav ファイルの音を分析していただきたい。同じ信号波形に対しても、分析の区間長を変えたり分析窓の形を変えると分析結果が変わり、分析する場所をほんの少し移動するだけで分析結果が微妙に変わることが体験できるであろう。分析条件と分析区間をうまく調整すれば、3 章で示したのと似た結果が得られるが、分析条件が少しでも違うと「完全に同一の結果」は得られない。

それと同時に、スペクトル分析でわかることとわからないことがあることを認識していただきたい。耳で聴くとはっきりと違いがわかるにもかかわらず、その音の違いが周波数スペクトルに、どこがどう違って表れるのかがわからない、というようなことが多いのである。

スペクトル分析でわかることの代表は、周波数スペクトルの調波構造とピッチの関係である。調波構造が崩れてくるとピッチ感が失われてくることもわかるであろう。わからない（はっきりしない）ことの代表は周波数スペクトルと音色の関係である。もちろん、スペクトル成分の重心が高域にあるか低域にあるかによって、明るい（軽い）感じの音や暗い（重い）感じの音になるという程度のことはわかるが、微妙な違いはわからない。

昔の「楽器の分類」

楽器が大きく発展を遂げた 16、17 世紀に考えられていた分類を、歴史的な文献に触れていただくという意味もあって付録 H で紹介する。

16 世紀では楽器の中心は気鳴楽器で、それが第 I 種楽器とされ、弦鳴楽器や打楽器類はまとめて「その他の種類」とされていた。この分類は Agricola によるものであり、1 世紀後の Praetorius にそのまま継承された。当時、クラヴィコードやハーディー・ガーディーなど、弦楽器の一部に金属の弦が使われていたが、この分類法による弦楽器においては、弦がガットか金属かという違いに

よる分岐のほうが、弦を指ではじくか弓で擦るかによる分岐よりも分類木の根元に近いところにあった。

発音体の材料での分類を奏法よりも上位分類の観点とするなら、同じギターにナイロン弦を張るか金属弦を張るかが、撥弦か擦弦かよりも上位の分類になるということである。もちろんそれによって音は変わるが、それは弦の違いによる差であって、楽器の形状や奏法はほぼ同じなので、別のカテゴリーに属すると考えるのは妥当でないであろう。

なぜ弦の材料の違いのほうが、はじくか擦るかの違いよりも根源的であると考えたのだろうか？ それは、当時ネックを持った弦楽器は、はじくか擦るかにかかわらず奏弦にはほぼガット弦を使い、金属弦を使う楽器はクラヴィコードやチェンバロ、あるいはダルシマーなどしかなく、ネックを持つ弦楽器のドローン弦（共鳴用）に金属弦を使うようになったのは17世紀の末になってからだからである。実際、16世紀前半に書かれた「ドイツの器楽」や、17世紀前半に書かれた「音楽大全」では、これらはまだ現れていなかった。それで、「ネックを持つ弦楽器の弦はガット」で、「ネックを持たない弦楽器の弦は金属」という図式がアタマにあったのであろう。鍵盤を持つ擦弦楽器のハーディー・ガーディーやニッケルハルパは金属弦を使ったが、それらはネックに相当する部分に鍵盤・触弦機構を持って来ざるを得ないためにネックが縮退して見えなくなっていたので、リュート属とは見なさなかったのであろう。外見的には、リュートとチェンバロの違いは、リュートとヴィオラ・ダ・ガンバの違いよりもはるかに大きい、という感覚があって、リュートとヴィオラ・ダ・ガンバはガット弦を使うがチェンバロは金属弦を使う、ということから、奏法が撥弦か擦弦かよりも弦の材料がガットか金属かのほうが大きな分岐点であると見なされたのであろう。ヴィオラ・ダ・ガンバの製作者もリュティエール（リュート製作者）と呼んだのもその流れであろう。

折衷的な楽器も分類に困ることがある。笛とラッパの折衷楽器として、角で作った笛（ゲムゼ（カモシカ）の角で作ったクルムホルン。実効管長を変えるための指孔はあるが、共鳴する振動数で唇を震わせるリップリード楽器）が16

世紀以前から存在し、Agricola はそれをどこに書くかに困ったようである。この楽器は、Praetorius の時代には、イタリアでコルネット、ドイツでツィンクと呼ばれる一方で、フランスではセルパンになり、その後、ビューグルなどの影響を受けて、現在ではトランペットと似たコルネットになっている。

現在の楽器でいうなら、サクソフォンは笛とラッパの折衷楽器で、リードを持つので楽器の分類としてはリード木管楽器（笛）であるが、管体が金属であるため金管楽器（ラッパ）と思っている人が多い。ヤマハの楽器工場の見学コースでも、金管楽器の製造工程として、最初にサクソフォンの製造ラインへ案内される。ヤマハとしては、管体が金属でできている楽器の製造工程を見せるつもりなのであろうが、楽器の分類としては間違った見せ方をしていることになる。

特に聴いてほしい音

以下の音をぜひ聴き比べてほしい。1, 2 は音の本質を理解するためのものである。3, 4 は編者の趣味に近いものであるが、音楽の領域である。

1. 時間逆転音（周波数特性は同じでも時間軸を逆転すると…）
 - ：音のファイル：第 1・2 章関係/5. 時間逆転音/
 - 説明：2.2.2 項 (1) (e), 3.2.1 項, 3.2.3 項コーヒープレイク (p. 184)
2. 音の違いと、周波数スペクトルの違いの対応がわかるか？
 - ：音のファイル：第 3 章関係/2. 弦/b. 擦弦/
 - 周波数スペクトル：第 3 章 図 3.57
3. 緩急・強弱：緩急と強弱ではどちらを固定すると、より不自然になるか。
 - ：音のファイル：付録関係/3. 付録 F/
4. 諸資料
 - ：音のファイル：付録関係/4. 諸資料/
 - a-3：3 重音・4 重音を使った演奏と現在の標準的な弾き方による演奏の比較。デュヒナーの多重音は協和性が悪く、弦間の雑多なうなりが多い。

- a-8：ホルネット・ヴァイオリンのねばっこい音と弾き方。音は悪いが…
- c-2：聴きたいのは「音のいい音楽」か「演奏のいい音楽」か。曲は好みの問題。

謝辞

3章で分析に使った音の大部分は、RWC「楽器音データベース」のものを使わせていただいた。このデータベースを本書で分析対象として使用したこと、ならびにその一部を本書のウェブサイトから提供することをご快諾いただいた経済産業省産業技術総合研究所の後藤真孝博士に感謝する。

参考：ヤマハ楽器解体全書

URL：yamaha.com/ja/musical_instrument_guide/

索引

〔あ〕

アエロスクラフィア	98
アクション	61
アクチュエータ	118
アグラフ	62, 75
アコーディオン	38, 146
足鍵盤 (オルガンの)	147, 148
アーチ	57, 72
軋 箏	53
圧電素子	109, 111, 118
アップボウ	66
アップライトピアノ	62
圧力変化	41
アーティフィシャルハーモ	
ニックス	154
アポヤンド	151
アル・アイレ	151
アルトクラリネット	43
アルトサクソ	137
アンブシユール	33

〔い〕

位相速度	102
板 (体鳴楽器の 1 形状)	100
一絃琴	53
移調楽器	29
移動 “ド”	14
糸 倉	54
異方性	100
異名同音	14
インハーモニシテイ	69

〔う〕

ヴァイオリン	159
ヴァイオリン属	53, 56, 78, 159
ヴァーチャルピッチ	12
ヴィオラ	53, 57, 159
ヴィオラ・ダ・ガンバ	57, 74, 167
ヴィオラ・ダ・ガンバ属	53
ヴィオラ・ダ・ブラッチオ	57
ヴィオール	56
ヴィブラート	121, 131, 132, 134, 140, 167, 203
— (クラリネットの)	135
— (ソプラノサクソの)	140
— (トランペットの)	125
— (リコーダーの)	134
ヴィブラフォン	111, 200, 203
ウィーン式 (オーボエ)	141
ウインドコントローラ	110, 119
ウインドシンセサイザ	110
ウインドチェスト	39
ウェーバーの法則	6
ヴェルテ=ミニヨン	118
団扇太鼓	84, 90, 93
ウード	53
ウナコルダ・ペダル	77, 182
うなり	159
うなり効果	184

運 弓	58
— (コントラバスの)	58

〔え〕

エアージェット	33
エアリード楽器	21, 30
エオリアンハーブ	98, 99
エクストラ弦 (ピアノの)	62
エクターラ	84
エスケープメント	61
エッジトーン	33
エーラー式クラリネット	136
エレキギター	106, 109, 112
エレクトリックギター	109
エレクトーン	112
遠距離場	6
円形波	87
円錐管	40, 44, 139, 141
演奏音高	43
演奏情報	111
演奏情報入力装置	110
円筒管	40
円 板	102

〔お〕

オクターヴ	13, 122
オクターヴキー (リード 木管楽器の)	139
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
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	下屬音	15	共鳴器	52
オーバープロウ	136	硬さ(音の)	65	共鳴空洞	72
オーバープロウイング		可聴域	4	共鳴弦	62
	49, 134	可聴音	4	共鳴周波数	34
オーボエ	141	可聴周波数領域	4	共鳴膜	92
表板	78	楽弓	53	協和	16
—(ヴァイオリン属の)	72	カットオフ周波数	51	曲率(体鳴楽器としての)	
—(有棹撥弦楽器の)	72	ガドゥルカ	53	円盤の)	103
親指ピアノ	97	カーヌーン	53	ギロ	99
オルガン	31, 107, 147	カポ・ダストロ・バー	62, 76	金管楽器	21, 30
折れ曲がり(弦の)	63	カマク	84	キンク	63, 65
音域	iv	管楽器	29, 30	近接場	6
音楽の高さ	8	慣性力	86		
音響放射	83, 93, 105	間接打奏	84	〔く〕	
音高	11	間接摩擦	84	ゲアルネリ・デル・ジュースー	
音高感	99	完全音程	16		72
音高調整	64	完全4度	16, 166	クイーカ	85, 88
音声工房	122	完全5度	15, 166	空洞	72
音速	5, 12	管長	42, 43	空洞共振	161
音程	12, 15	カンティエーノ	159	グスリ	53
音度	16	カンテレ	53	屈折	5
音度表記	14			「くつつき」と「すべり」	
オンド・マルトノ	107	〔き〕			65, 89, 95, 97
音波	3	幾何学的非線形性	103	クラヴィコード	59
音板	104	義甲	52	クラヴィチェンバロ	60
音名	12, 13	基準音高	13	グラスハーモニカ	99
〔か〕		ギター	53	クラッパー	99
開管	41, 139, 141	キタラー	53	クラリネット	134
外見的電鳴楽器	108	気柱	40	クラリーノ音域	134
概周期的	11, 91, 136	基底膜	9	グランドピアノ	61
回折	5	基本周波数		グリッサンド	188
回転モーメント(ヴァイオリンのコマの)	78		10, 12, 64, 79, 121	クルース	53
開放弦	64, 150, 162	基本波	79	クレタ・リラ	53
外力	52	基本モード	139	グロッケンシュピール	
蝸牛	9	気鳴楽器	21, 29		99, 201
風箱	39	球面波	6	〔け〕	
加算合成	115	境界条件	78, 94, 100	奚琴	53
カザー	85, 89	響孔	58, 62, 72	ゲシュトップト	127
カスタネット	99	共振周波数	34, 79	ケトル	83, 91
歌奏太鼓	83, 85, 89	狭帯域分析	122	ケーナ	34
仮想ピッチ	12	響板	55, 72, 75, 78	ケマンチェ	53
		共鳴	51, 83, 97	減音程	17
		共鳴管	105		

- | | | | | | |
|-----------------------|------------------------|-----------|-----------------|-----------------|--------------|
| 減算合成 | 116 | 擦奏体鳴楽器 | 97 | シュタイナー | 72 |
| 減衰/持続 | 98 | サドル | 64, 78 | シュトックハウゼン | 1 |
| 減衰振動 | 22 | サーランギ | 53, 74 | 主要三和音 | 15 |
| 減衰振動楽器 | 22 | サリンダ | 53 | 純正律 | 15, 18 |
| 弦鳴楽器 | 21, 52 | 三 絃 | 53 | 純正律調弦 | 157, 166 |
| | | 三 線 | 53 | 撞弦楽器 | 53 |
| | | サントウル | 54 | 小全音 | 15 |
| [こ] | | サンピケ | 53 | 情報圧縮 | 20 |
| 甲 | 55 | サンプリング音源 | 117 | 初期条件 | 52, 94 |
| 口 琴 | 97 | | | 初速度 | 54, 69 |
| 高次モード | 139 | [し] | | ショートブリッジ (ピアノの) | 76 |
| 広帯域分析 | 122 | シェパードトーン | 10 | ショーム | 141 |
| 胡 弓 | 53 | シエル | 83 | 自励振動楽器 | 22 |
| 胡琴類 | 53 | 時間逆転再生 | 137, 158, 184 | シロフォン | 99, 200 |
| 古典期 | 61 | 時間構造 | 19 | シングルリード楽器 | 21, 30 |
| 駒 | 3, 55, 73 | 時間ピッチ | 9 | シングルリード木管楽器 | 134 |
| 鼓 膜 | 3 | 時間分解能 | 122 | 真正電鳴楽器 | 107, 110 |
| 固有周波数 | 32, 79, 88, 90, 91, 95 | 時間領域有限差分法 | 63 | 振動周波数 | 64 |
| 固有周波数比 | 92 | 指向性 | 51 | 振動モード | 72 |
| 固有振動 | 78, 79 | 自然倍音列 | 48 | シンバル | 99, 103, 204 |
| 固有振動モード | 95 | 持続振動 | 22 | 振幅スペクトル | 11 |
| 固有モード | 79, 90, 91 | 実効管長 | 43 | 振幅包絡 | 121 |
| コルネット | 122 | 自動ピアノ | 118 | | |
| コンガ | 84 | シフトペダル | 77 | [す] | |
| コンセルヴァトワール式
(オーボエ) | 141 | 締め太鼓 | 84 | 吹奏体鳴楽器 | 97 |
| コンセルティーナ | 38 | 尺 八 | 34 | スタインウェイ | 170 |
| 魂 柱 | 57, 58, 73, 78 | 蛇皮線 | 53 | スタインウェイ・スピリオ | 119 |
| コントラバス | 53, 56, 57, 74 | 三味線 | 53 | スタッカート音 | 127 |
| | | シャリュモモー音域 | 134 | スティールギター | 107, 109 |
| | | シャンク | 70 | スティールパン | 99 |
| [さ] | | 周 期 | 5, 11 | ストッピング (ホルン奏法) | 127 |
| サイレントアンサンブル | 118 | 周期振動 | 152 | ストップ (オルガンの) | 38 |
| サイレントヴァイオリン | 109 | 周期性ピッチ | 9 | ストラディヴァーリ | 72 |
| サイレントブラス | 110 | 十三絃 | 53 | ストラトキャスター | 118 |
| サクソフォン | 136 | 自由振動 | 52, 69, 88 | スネアドラム | 84 |
| ザックス=ホルンボステル | | 周波数 | 4, 100 | スピーカーキー | 139 |
| 分類 | 20, 52, 83 | 周波数スペクトル | iv, 10, 18, 121 | スピーキングレングス | 64, 76, 161 |
| 擦 弦 | 52, 65 | 周波数比 | 15 | スペクトル分析 | 11 |
| —の振動 | 65 | 周波数分解能 | 122 | スペクトル包絡 | 161 |
| 擦弦位置 | 161, 163 | 周波数分析 | 11 | スペクトログラム | 121 |
| 擦弦楽器 | 21, 52, 56, 72 | 周波数変調 | 116 | | |
| 擦 奏 | 23, 95 | 主 音 | 12 | | |
| 擦奏太鼓 | 83, 84, 88 | | | | |

須磨琴	53	立ち上がり	152		
スライダー	39	堅 琴	53	[つ]	
スリンガラ	53	縦 波	3, 41, 78, 100	ツィター	53
スル・タスト	163	ダブルエスケープメント	61, 75	ツインバロン	54
スル・ボンティチェーロ	65, 163	ダブルストップ	166	鼓	84
		ダブルリード楽器	21, 30		
[せ]		ダルシマー	54, 59, 74	[て]	
接触雑音	152	短音程	17	定音高	23
絶対音感	99	単極子	93, 105	定音高/不定音高	99
全 音	14	単純弦鳴楽器	52	定在波	87
全音階的半音	14	弾 性	96, 100	定ピッチ楽器	199
センサー	118	ダンパー	69, 75, 180	ティンパニ	84, 91, 187
セント	18	ダンパーペダル	76, 174, 181	摘 奏	23, 95
		短3度	15	摘奏太鼓	83, 84, 88
[そ]				摘奏体鳴楽器	97
箏	53	[ち]		手鍵盤 (オルガンの)	147, 148
増音程	17	チェレスタ	99	テープ音楽	113
双極子	93, 105	チェロ	53, 159	テルミン	107
属 音	15	チェンバロ	53, 60	点音源	6, 93
速 度	101	知覚検知限	18	電気ギター	109
ソステヌートペダル	77	中心周波数	10	電子オルガン	112
ソナグラフ	122	中世フィドル	53	電磁ピックアップ	111, 118
ソフトペダル	62, 77, 182	チューニング (ヴァイオリンの)	166	電動楽器	109
ソプラノクラリネット	43	チューニングピン	75	電波楽器	109
疎密波	2, 41	チューニングペル	101	伝搬速度 (音の)	100
ソレノイド	118	長音程	17	伝搬速度 (波の)	81, 90, 100
		超音波	4	電鳴楽器	23, 106, 109
[た]		調 弦	166	電鳴楽器類	106
大正琴	53	— (ヴァイオリンの)	166	電鳴擬楽器	107
大全音	15	— (ギターの)	157		
体鳴楽器	23, 96, 199	調性音楽	12	[と]	
第1モード	41	超低周波音	4	胴	72, 90
第2モード	42	調波構造	12, 80, 99, 100, 160	同音連打	98
ダウンボウ	58, 69, 160	張 力	100, 101	等ラウドネスレベル曲線	8
打楽器	23	調和的	100, 101	度数表記	14, 16
打 弦	52, 69, 70	長3度	15	ド ラ	103
打弦楽器	21, 52, 59, 74, 170	直接打奏	84	トライアングル	99, 207
打鍵速度	118	直接摩擦	84	トラウトニウム	116
打 奏	23, 94			トランペット	30, 122
打奏太鼓	83, 84, 88			トリル	121, 130, 135
打奏体鳴楽器	97, 199			— (リコーダーの)	134
打奏膜鳴楽器	187				

- | | | | | |
|------------------------|-------------|----------------|---------------------------|--------------|
| トレブルブリッジ (ピアノの) | 撥弦位置 | 151 | 非調波性 | 69, 177 |
| | 76 | | 非調和性 | 69 |
| トレモロ 98, 131, 132, 203 | 撥弦楽器 | 21, 52, 54, 72 | ピックアップ | 117 |
| トレモロ効果 | 馬頭琴 | 53 | ピックアップ型外見的 | |
| トロンボーン | 波動伝搬 | 87 | 電鳴楽器 | 109 |
| トーンクロマ | 波動方程式 | 20 | ピックアップ型電気楽器 | 109 |
| トーンハイト | ハーブ | 53 | ピッチ | 8, 9, 88 |
| トーンホイール | ハーブ類 | 52 | —の時間変化 | 132 |
| | ハム・バックカー | 118 | ピッチ感 | |
| | 波 面 | 5 | 91, 95, 96, 100, 101, 104 | |
| 〔な〕 | ハーモニウム | 38 | ヒッチピン | 62, 75 |
| 内部共振 | ハーモニカ | 38, 145 | ピツィカート | 168 |
| ナチュラルトランペット | ハーモニックス | 80, 154, 165 | 微分方程式 | 52 |
| ナチュラルハーモニックス | — (管楽器における) | 35 | 琵琶 | 53 |
| | 波 紋 | 87 | | |
| ナチュラルホルン | Hammondオルガン | 40, 112, 116 | 〔ふ〕 | |
| | 腹 | 41, 42, 79 | ファゴット | 143 |
| 〔に〕 | 梁 | 100 | フィッフル | 34 |
| 二 胡 | バルブ | 123 | フィードバック奏法 | |
| | パレット | 39 | (エレキギター奏法) | 222 |
| 〔ね〕 | バロック期 | 61 | フォルテピアノ | 62 |
| 音 色 | バロックギター | 149 | 不確定性関係 (周波数 | |
| 音色的高さ | パロ・デ・ジュビア | | 分解能と時間分解能の) | 122 |
| ネオ・ベヒシュタイン | (レイン・ロッド) | 99 | 複 弦 | 172 |
| ネック | パワースベクトル | 11 | 復元力 | 101 |
| 〔の〕 | パワー比 | 8 | 複合弦鳴楽器 | 52 |
| ノンヴィブラート | 半 音 | 14 | 膨らみを持った曲面 (体鳴 | |
| | 半音階的半音 | 14 | 楽器の 1 形状として) | 103 |
| 〔は〕 | ハンダ | 96 | ブサルテリオン | 53, 54 |
| 倍 音 | 反 射 | 5, 95 | 節 | 41 |
| 媒 質 | バンドネオン | 38 | ブクラシンセサイザ | 116 |
| バイブオルガン | ハンドパン | 96 | 物理モデル | 110 |
| 白色雑音 | ハンドベル | 99 | 物理モデル合成 | 116 |
| 場所ピッチ | ハンマー | 69, 74 | 不定音高 | 23 |
| バズ音 | ハンマークラフィアー | 62 | 不定ピッチ楽器 | 204 |
| バスドラム | | | 不動点 | 79, 80 |
| バスパー | 〔ひ〕 | | 部分音 | 101 |
| バスブリッジ (ピアノの) | ピアノ | 61, 170 | フラジオレット | 80 |
| 波 長 | ビウエラ | 149 | — (アルトサクスの) | 140 |
| 発音源 | ビウエラ・デ・アルコ | 53 | — (ヴァイオリンの) | 165 |
| 発音体 | ピエゾ素子 | 111, 118 | — (楽器名) | 34 |
| バックラッシュ | ビザンティン・リラ | 53 | — (ギターの) | 154 |
| 撥 弦 | ピストンバルブ | 46 | — (奏法) | 35, 136, 139 |

ブリッジ
55, 62, 69, 73, 75, 78

フリーリード楽器 31, 145

フルート 129

フルーパイプ 148

フレア率 51

プレクトラム 52, 60

フレット 54, 57

ブロウ 136

〔へ〕

閉管 41, 42, 139, 141

平均スペクトル 122

平均律 iv, 17

平面波 6

ペグ 73

ヘグム 53

ベーゼンドルファー 170

ベーゼンドルファー・セウス 118

ベダルトーン 48

ベッセル関数 94

ヘテロダイナ方式 114

ベヒシュタイン 172

ベーム式クラリネット 136

ベル (管楽器の) 45, 51

ベル (ピアノの) 62

ヘルツ 4, 12

ヘルムホルツ運動 66

ヘルムホルツ共鳴 72

ヘルムホルツ共鳴器 128

変位 52, 54, 62

バンド奏法 (ハーモニカ) 145

〔ほ〕

ホイヘンスの原理 5

棒 (体鳴楽器の1形状) 100

放射器 88

ボルドーナ 154

ボルドーネ 154

ホルン 30, 127

ボンゴ 84, 190

〔ま〕

マイクロフォン 117

マウスピース 128

膜鳴楽器 22, 83, 186

曲げ剛性 (弦の) 69, 78

曲げ剛性 (板の) 102

曲げ振動 101

摩擦ドラム 85

マスキング 20

マラカス 99

マリンバ 99, 199

マレット 74, 187

マンドリン 53

〔み〕

ミッシングファンダメンタル 189

ミュージカル・ソー 97, 99

ミュージック・シンセサイザ 115

ミュート音 126, 127

ミルリトン 85

〔め〕

メロトロン 117

〔も〕

モーグシンセサイザ 106, 116

木管楽器 21, 30

モード法 116

〔ゆ〕

有効弦長 161

ユーナックフルート 85

指孔 43

指奏リラ 53

〔よ〕

横波 3, 78, 100, 101

〔ら〕

ライオンズローア 85

ラウドネス 8

ラウドネスレベル 8

ラジオボタン 120

喇叭 31

ラバーブ 53, 74

〔り〕

リコーダー 133

理想弦 69, 101

理想膜 90

リップリード楽器 21, 30, 31, 122

リード 21, 30

リードオルガン 38

リードパイプ 148

リード木管楽器 21, 30, 134

隆起 57, 72

粒子速度 41

流体 3

リュート 53

リラ・ダ・ブラッチオ 53

リラ類 52

〔れ〕

励振 72, 94

励振方法 52, 53

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

レジデューピッチ 12

レスポール 118

レットオフ 61

レバック 53

連成運動 3

連成振動 78, 83, 88, 92

〔ろ〕

録音再生型 (電鳴楽器) 108

録音編集合成 117

——編著者・著者略歴——

柳田 益造（やなぎだ ますぞう）

1969年 大阪大学工学部電子工学科卒業
1971年 大阪大学大学院工学研究科修士課程修了（通信工学専攻）
1978年 大阪大学大学院工学研究科博士課程修了（電子工学専攻），工学博士
1978年 大阪大学助手
1987年 大阪大学助教授
1987年 郵政省電波研究所（後，総務省通信総合研究所，現 NICT）
1994年 同志社大学教授
2012年 同志社大学名誉教授

西口 磯春（にしぐち いそはる）

1977年 東京大学工学部機械工学科卒業
1979年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了（機械工学専攻）
1982年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了（機械工学専攻），工学博士
1982年 日本原子力研究所研究員
1990年 神奈川工科大学助教授
1998年 神奈川工科大学教授
現在に至る

高橋 公也（たかはし きんや）

1981年 早稲田大学理工学部応用物理学科卒業
1983年 早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了（物理学及び応用物理学専攻）
1986年 早稲田大学大学院理工学研究科博士課程修了（物理学及び応用物理学専攻），理学博士
1986年 早稲田大学助手
1988年 九州工業大学助教授
2007年 九州工業大学准教授
2012年 九州工業大学教授
2024年 九州大学特任教授
秋柚株式会社勤務
現在に至る
2024年 九州工業大学名誉教授

若槻 尚斗（わかつき なおと）

1993年 筑波大学第三学群基礎工学類卒業
1997年 筑波大学大学院博士課程工学研究科退学（物理工学専攻）
1997年 岡山大学助手
2001年 秋田県立大学助手
2004年 博士（工学）（筑波大学）
2004年 秋田県立大学講師
2006年 筑波大学講師
2008年 筑波大学准教授
2022年 筑波大学教授
現在に至る

楽 器 の 音

Sounds of Musical Instruments

© 一般社団法人 日本音響学会 2024

2024 年 6 月 21 日 初版第 1 刷発行

検印省略

編 者 一般社団法人 日本音響学会
発 行 者 株式会社 コロナ社
代 表 者 牛 来 真 也
印 刷 所 三 美 印 刷 株 式 会 社
製 本 所 有 限 会 社 愛 千 製 本 所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10
発 行 所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-01311-5 C3355 Printed in Japan

(新宅) G



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。
購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。
落丁・乱丁はお取替えいたします。