

日本音響学会 編

音響学講座

9

音楽音響

亀川 徹

編著

足立	整治	西口	磯春
松谷	晃宏	高橋	公也
若槻	尚斗	星野	悦子
谷口	高士	山本由紀子	
三浦	雅展	大田	健紘
丸井	淳史		

共著



コロナ社

音響学講座編集委員会

編集委員長

安藤彰男（富山大学）

編集委員

秋山いわき（同志社大学）	岩野 公司（東京都市大学）
及川 靖広（早稲田大学）	亀川 徹（東京藝術大学）
坂本 眞一（滋賀県立大学）	阪上 公博（神戸大学）
滝口 哲也（神戸大学）	佐藤 史明（千葉工業大学）
寺澤 洋子（筑波大学）	苮木 禎史（千葉工業大学）
松尾 行雄（東北学院大学）	古川 茂人（日本電信電話株式会社）
山本 貢平（小林理学研究所）	渡辺 好章（同志社大学名誉教授）

（2021年2月現在，五十音順）

「音響学講座」発刊にあたって

音響学は、本来物理学の一分野であり、17世紀にはその最先端の学問分野であった。その後、物理学の主流は量子論や宇宙論などに移り、音響学は、広い裾野を持つ分野に変貌していった。音は人間にとって身近な現象であるため、心理的な側面からも音の研究が行われて、現代の音響学に至っている。さらに、近年の計算機関連技術の進展は、音響学にも多くの影響を及ぼした。日本音響学会は、1977年以來、音響工学講座全8巻を刊行し、わが国の音響学の発展に貢献してきたが、近年の急速な技術革新や分野の拡大に対しては、必ずしも追従できていない。このような状況を鑑み、音響学講座全10巻を新たに刊行するものである。

さて、音響学に関する国際的な学会活動を概観すれば、音響学の物理／心理的な側面で活発な活動を行っているのは、米国音響学会（Acoustical Society of America）であろう。しかしながら、同学会では、信号処理関係の技術ではどちらかという手薄であり、この分野はIEEEが担っている。また、録音再生の分野では、Audio Engineering Societyが活発に活動している。このように、国際的には、複数の学会が分担して音響学を支えている状況である。これに対し、日本音響学会は、単独で音響学全般を扱う特別な学会である。言い換えれば、音響学全体を俯瞰し、これらを体系的に記述する書籍の発行は、日本音響学会ならではの活動ということができよう。

本講座を編集するにあたり、いくつか留意した点がある。前述のとおり本講座は10巻で構成したが、このうち最初の9巻は、教科書として利用できるよう、ある程度学説的に固まった内容を記述することとした。また、時代の流れに追従できるよう、分野ごとの巻の割り当てを見直した。旧音響工学講座では、共通する基礎の部分を除くと、6つの分野、すなわち電気音響、建築音

ii 「音響学講座」発刊にあたって

響，騒音・振動，聴覚と音響心理，音声，超音波から成り立っていたが，そのうち，当時社会問題にもなっていた騒音・振動に2つの巻を割いていた。本講座では，昨今の日本音響学会における研究発表件数などを考慮し，騒音・振動に関する記述を1つの巻にまとめる代わりに，音声に2つの巻を割り当てた。さらに，音響工学講座では扱っていなかった音楽音響を新たに追加すると共に，これからの展開が期待される分野をまとめた第10巻「音響学の展開」を刊行することとし，新しい技術の紹介にも心がけた。

本講座のような音響学を網羅・俯瞰する書籍は，国際的に見ても希有のものと思われる。本講座が，音響学を学ぶ諸氏の一助となり，また音響学の発展にいささかなりとも貢献できることを，心から願う次第である。

2019年1月

安藤彰男

「音響学講座」の全体構成は以下のようになっている。

- 第1巻 基礎音響学
- 第2巻 電気音響
- 第3巻 建築音響
- 第4巻 騒音・振動
- 第5巻 聴覚
- 第6巻 音声（上）
- 第7巻 音声（下）
- 第8巻 超音波
- 第9巻 音楽音響
- 第10巻 音響学の展開

まえがき

1977年に刊行された「音響工学講座」全8巻がこの度「音響学講座」全10巻として刊行されることとなり、第9巻として今回新たに「音楽音響」が加わった。

音楽音響とは、音楽に関連するをさまざまな事象を音響学的見地から扱った研究分野である。そもそも音楽音響が研究対象としている「音楽とは何か?」という問い自体、さまざまな議論が行われているが、一般社団法人日本音響学会に属する9つの研究委員会の中の1つである音楽音響研究会では、そのホームページで音楽音響の研究対象および研究分野を以下のように明記している。

研究対象は音楽に関係のある音である

話し声、騒音、超音波（聴こえない音）などではなく、楽器の音や歌の声、さらにはそういった音を生み出す楽器、その製作技術、そして音楽演奏、作曲などを研究対象にしています。

基礎となる学問分野はかなり広く、学際的である

楽器を演奏すると、その音は楽器がもつ物理的原理に従って生み出され、ホールなどの空間の特性に応じて響き、聴く者の耳を通して知覚され、心理的な印象をもたらします。したがって、振動と音波に関する物理学、室内音響学、聴覚生理・心理学がコアの学問といえるでしょう。また、音楽は作曲され、楽譜に書かれ、適当な媒体に音響情報として記録されます。したがって、音楽学や信号・情報処理工学なども関連する学問分野です。

本書は、このような音楽音響の研究対象・分野の中から音響学講座の趣旨に沿って、ある程度学説的に固まった内容を下記の5つの章に分けて記述した。

まず第1章では、音楽を奏するためには不可欠な楽器に関する音響学を扱う。楽器の音響学は歴史も古く、音を扱う物理学の1つとして古くから研究されてきた。楽器の発音原理、弦の振動や管内の気柱の共鳴、膜や棒の振動といった

楽器の基本となる物理現象を運動方程式や波動方程式で記述する方法や、コンピュータを用いたシミュレーションによる解析例などを紹介する。

第2章は、人が音楽を聴いてどのように感じるかを探求する「音楽の心理学」を扱う。中でも音楽の認知のメカニズム、音楽聴取における感情の分類、そして音律や和声の成り立ちと関連がある協和感に関する研究を紹介する。

第3章では、音楽の演奏に関する研究として、MIDIを用いた演奏の記録・分析手法や、筋電位やモーションキャプチャを用いた演奏動作の解析手法を紹介する。

第4章は、近年コンピュータの発展とともにさかんになった情報処理技術を音楽分野に適用した音楽情報処理を扱う。和声処理、音響分析の例や、音楽情報検索 (MIR)、エフェクタなどの音響合成、自動編曲・作曲の研究例を紹介する。

そして第5章では、ピアノや電子楽器、録音技術の誕生の歴史を通して、音楽や音響技術が社会との関係でどのような発展を遂げてきたかについて紹介する。

前述のとおり、音楽音響で扱う分野は多岐にわたっている。本書で取り上げたのはその一部であり、昨今のコンピュータ技術の発展、なかでも人工知能 (AI: artificial intelligence) などを用いた研究をはじめ、今後さらに音楽音響の研究分野は広がっていくであろう。そのような状況においても、音楽音響の研究の根底に必要なのは、音楽に対する敬意をもちながら科学的な知見で音楽の真理に近づこうとする姿勢であることは疑いない。本書がそういった分野を志す学習者や研究者の一助となることを願っている。

本書の執筆分担は以下のとおりである。各分野で優れた実績をもつ方々に執筆を担当いただき、編者として感謝したい。

- 足立整治 1.1 節, 1.3.1~1.3.2 項, 1.6.2 項
- 西口磯春 1.2.1 項, 1.6.1 項
- 松谷晃宏 1.2.2 項
- 高橋公也 1.3.3 項
- 若槻尚斗 1.4~1.5 節
- 星野悦子 2.1 節
- 谷口高士 2.2 節
- 山本由紀子 2.3 節
- 三浦雅展 3 章, 4.1 節, 4.3 節, 4.5 節
- 大田健紘 4.2 節
- 丸井淳史 4.4 節
- 亀川 徹 5 章

2023 年 1 月

亀川 徹

目次

1章

楽器の音響学

1.1	楽器の発音原理	2
1.1.1	音が減衰する楽器	4
1.1.2	音が持続する楽器	23
1.2	弦鳴楽器	40
1.2.1	減衰振動弦楽器	41
1.2.2	擦弦楽器	50
1.3	気鳴楽器	63
1.3.1	リード木管楽器	63
1.3.2	金管楽器（リップリード楽器）	67
1.3.3	エアリード（エアジェット）楽器	74
1.4	膜鳴楽器	81
1.4.1	叩いた膜の過渡応答	81
1.4.2	膜鳴楽器における音高感	83
1.5	体鳴楽器	91
1.5.1	棒の固有周波数と境界条件	91
1.5.2	実際の楽器	96
1.6	楽器共鳴体の非線形性	103
1.6.1	弦の有限振幅振動	103
1.6.2	気柱の非線形性	109
	引用・参考文献	118

2章**音楽の心理学**

2.1 音楽の認知	128
2.1.1 音楽の認知心理学研究の小史	129
2.1.2 メロディの認知	131
2.1.3 音楽の記憶	134
2.1.4 音楽認知の普遍的特性	139
2.2 音楽と感情	141
2.2.1 音楽の感情的性格と聴取者に生じた感情	141
2.2.2 感情カテゴリーに基づく主観感情測定	142
2.2.3 感情次元に基づく連続時間による主観感情測定	146
2.2.4 生理的指標による測定	149
2.2.5 音楽の感情的性格と音楽・音響的特徴との関係	151
2.3 協和感	152
2.3.1 協和の定義	152
2.3.2 数学的協和	153
2.3.3 物理学的協和	155
2.3.4 心理学的協和	159
引用・参考文献	161

3章**音楽演奏の科学**

3.1 演奏の記録	170
3.1.1 MIDIを用いた記録	170
3.1.2 音響波形の記録	173
3.2 演奏の分析	176
3.2.1 演奏分析の概要	176
3.2.2 ピアノ演奏の分析	178
3.2.3 ドラム演奏の分析	180
3.2.4 自動採譜	189

3.3 演奏の動作	191
3.3.1 筋電位信号による動作分析	191
3.3.2 モーションキャプチャによる演奏動作の解析	195
3.3.3 平均モーション法	198
引用・参考文献	204

4章 音楽情報処理

4.1 和声の処理	208
4.1.1 和声法システム	208
4.1.2 和声のデータベース	210
4.1.3 和音名の認識	215
4.2 音響分析	217
4.2.1 周波数分析	218
4.2.2 解析信号による音楽音響信号の分析	232
4.3 音楽の理解	238
4.3.1 音楽情報検索の登場	238
4.3.2 テンポ、ビートの推定	240
4.3.3 音響特徴量	244
4.3.4 年代推定	245
4.4 音響合成	249
4.4.1 音響合成の全体像	249
4.4.2 合成	250
4.4.3 音の加工	257
4.5 自動編曲・作曲・伴奏	263
4.5.1 自動編曲・作曲・伴奏の目的	263
4.5.2 自動作曲と自動編曲	264
4.5.3 和声課題システムによる自動生成	265
4.5.4 吹奏楽楽曲を対象とした小編成向け楽譜の自動生成	267

4.5.5	自動編曲システム	267
4.5.6	自動伴奏システム	268
	引用・参考文献	269

5章 音楽・音響技術と社会

5.1	楽器の進化と音楽の変化	275
5.1.1	ピアノの誕生	275
5.1.2	コンサートホールとオーケストラと聴衆	276
5.1.3	電気楽器・電子楽器の誕生	277
5.1.4	シンセサイザの誕生	280
5.2	複製技術の進化と音楽の変化	282
5.2.1	蓄音機の誕生とレコード産業の隆盛	282
5.2.2	テープ録音機の誕生が音楽に与えた影響	285
5.2.3	デジタル録音技術と音楽	288
5.2.4	複製時代の音楽	289
5.2.5	コンピュータと音楽	292
5.2.6	空間音響と音楽アーカイブ	293
	引用・参考文献	295

索 引	297
-----	-----

1 章

楽器の音響学

◆本章のテーマ

広い意味で発声器官も楽器ととらえると、およそ楽器なしに音楽は成立しない。本章ではその音楽に欠かせない楽器の音響学について概観する。

有史以来、さまざまな楽器が作られ演奏されてきた。これらは音響学的に2つに大別される。音の減衰する楽器と持続する楽器である。音の減衰する楽器では、固有周波数、固有モードを調べることで演奏音についてかなりの部分が説明できる。音の持続する楽器では、楽器の固有モードを調べるだけでなく、それらが励起され、入力となる弓や息の運動エネルギーが音へと変換される機構を知る必要がある。楽器自体はほぼ線形な振動体として振る舞う。しかし、要所所で楽器およびそれを励起する機構由来の非線形性が姿を現す。そして、演奏音の大きさや音色を決めたり、新たな部分音を生成したり、時には音の高さをも変化させる。

◆本章の構成（キーワード）

1.1 楽器の発音原理

楽器分類法、発音機構、固有モード、固有周波数、振幅位相徐変化法、入力インピーダンス、気柱共鳴、伝送路行列法、音孔

1.2 弦鳴楽器

撥弦楽器、打弦楽器、撞弦楽器、擦弦楽器、インハーモニシティ

1.3 気鳴楽器

リード木管楽器、金管楽器、発音シミュレーション、唇振動、エアジェット楽器

1.4 膜鳴楽器

膜振動、音高感、ケトル

1.5 体鳴楽器

屈曲した棒、湾曲した板

1.6 楽器共鳴体の非線形性

有限振幅振動、波の突っ立ち、衝撃波、バーガース方程式

1.1 楽器の発音原理

世の中にはいろいろな種類の楽器がある。

オーケストラで使われる楽器には、ヴァイオリン、ビオラ、チェロ、コントラバスなどの擦弦楽器、ハープなどの撥弦楽器、フルートなどのエアリード木管楽器、クラリネット、オーボエ、ファゴットなどのリード木管楽器、トランペット、トロンボーン、ホルン、チューバなどの金管楽器、ティンパニー、シンバル、トライアングル、チャイムなどの打楽器がある。

オーケストラ以外にも多くの楽器がある。ピアノ、オルガンなどの鍵盤楽器、アコーディオン、ハーモニカなどのリード楽器、ギター（撥弦楽器）、さらには、エレキギター、シンセサイザ等の電子楽器は人気があり、プロ、アマチュアを問わず今日よく演奏される楽器である。日本やヨーロッパ以外で使われている楽器にも目を向けると、われわれが普段目にする機会の少ない楽器も相当数存在する。また、歴史を遡ることでさらにたくさんの楽器があったことに気づくだろう。

中世以来、こうした多くの楽器は、管楽器、弦楽器、打楽器の3つに分類されてきた。この分類法で困るのが、ピアノである。ピアノは弦をもつので弦楽器に分類するのが妥当なように思われるが、弦をハンマーで叩いて音を出す機構に注目すると打楽器にも分類可能である。そこで、ピアノなどの鍵盤をもつ楽器は第4のグループとして鍵盤楽器と分類することも多い。

楽器を、このように管、弦、打、鍵盤楽器の4つに分ける分類法は便利なので、今日、一般に広く用いられている。音楽大学の専攻の別もこの4つに分けられていることが多い。ただ、この4分類法は、やや説得力に欠ける方法である。なぜなら、鍵盤楽器のカテゴリーに、管楽器、弦楽器、打楽器として分類してもおかしくない楽器（それぞれ、オルガン、ハープシコード、チェレスタが代表例）が同居することになってしまうからである。

19世紀から20世紀にかけて、非ヨーロッパの音楽にも関心が広がるにつれて、より範囲の広い楽器を体系的に分類する必要が生じた。そのために生まれ

たのが、ホルンボステルとザックスによる**楽器分類法**である^{1)†}。この方法では、音の発生する物体（振動体）により、まず5つの大分類（体鳴楽器、膜鳴楽器、弦鳴楽器、気鳴楽器、電鳴楽器）に分ける。さらにその大分類は、演奏者がどのように音を発生させるか（奏法）や、共鳴器があるかどうか、共鳴器が発音にとって本質的かどうか、リードの形状など、いろいろな指標により中小分類に細分される。民族音楽学などで楽器を分類するには効果的であり、実際、多くの楽器博物館ではこの分類法が採用されている。

一方、ホルンボステルとザックスの楽器分類法は、楽器を自然科学的に研究するためには不便である。分類は一見科学的であるが、よく考えると、楽器の発音機構にとって本質的ではない分類、例えば、膜鳴楽器（太鼓）において、楽器形状により筒形、樽形、紡錘形、砂時計形、盃形に分けるなどが多いからである。

本節では、むやみに楽器を分類することは避け、音が減衰する楽器、持続する楽器の2分法を採用する。これは、実は、楽器をその**発音機構**の違いで分類する方法であり、したがって、科学的に本質的な方法である。一般に、楽器は振動体（弦楽器や打楽器のように、弦、膜、板のような固体だけではなく、管楽器のように柱状の空気 — **気柱**と呼ぶ）をもっている。この振動体の振動が直接、あるいは弦楽器の場合には胴体を介して間接的に空間に伝わることで、音として認知される。

また、電鳴楽器は、エレキギターのように弦の振動をコイルの電磁誘導によって電気信号に変換する電気楽器と、テルミンやシンセサイザのように発振器によって発音される電子楽器とに分けられる。なお、本章では気柱や弦、膜などの物理的な発音機構をもつ体鳴楽器、膜鳴楽器、弦鳴楽器、気鳴楽器についておもに扱い、電鳴楽器の電子楽器については、4.4節の音響合成でとりあげる。

† 肩付き数字は、章末の引用・参考文献の番号を表す。

4 1. 楽器の音響学

1.1.1 音が減衰する楽器

このタイプの楽器には、撥弦楽器、打楽器が含まれる。指やピックによる撥弦、ハンマーによる打弦、または、ばち等による打撃により、弦や楽器本体が振動を始める。その振動は、音の放射や振動体自身の損失によりしだいに減衰する。

弦や楽器本体が振動する際には、これらの固有モード[†]が励起される。したがって、これらの楽器でどんな音が発生するかを知るためにまず行うことは、固有モードを調べることである。一般的には、撥弦や打撃方法により複数の固有モードが同時に励起される。モードの腹となる部分を撥弦または打撃すると、その固有モードを多く含む振動が励起される。反対に固有モードの節を打撃しても、そのモードはほとんど励起されない。例えば、ギター弦の中央部分を撥弦すると倍音の少ない柔らかな音が演奏できる。一方、駒（ブリッジ）近くを撥弦すると倍音の多い硬い音が演奏できる。また、ハーモニクス（フラジオレット）奏法では、固有モードの腹を指で軽く触れることにより、そのモードの振動を意図的に抑制することも行われる。

打楽器では楽器本体が発音体となり、発音体自身から直接音が放射される。一方、ギター、ピアノなどの弦楽器においては、発音体である弦の振動が駒を介して楽器本体に伝わり、楽器から音が放射される。弦楽器の品質を決める重要な要素はこの楽器本体の伝達特性である。弦の振動が楽器に伝わって音として放射される過程は、一方通行の過程である。特別な場合を除いて、この過程は弦の振動にほとんど影響を与えない。

弦振動はほぼ調和的である。つまり、固有周波数はほぼ整数比となっている。そのため、弦楽器ではピッチ感のある（音名が言い当てられる）調和的な音が

[†] 物体に継続的に外力を与えず、自由に振動させた場合、特定の周波数で振動する。一般に、この周波数は複数あり、これらを固有周波数と呼ぶ。それぞれの固有周波数に対応する振動形態を固有（振動）モードという。物体に外力を与えて加振する場合には、固有周波数に近い周波数で固有モードとほぼ同じ形態の大きな振動が得られる。これを共鳴という。振動系に損失のない場合には共鳴周波数は固有周波数に一致する。共鳴を取り扱う場合には、固有周波数、固有モードのことを、それぞれ、共鳴周波数、共鳴モードと呼ぶ場合も多い。

発生する。一方、棒、膜、板などの楽器形状をもつ打楽器では、その固有周波数は整数比にならない。したがって、打楽器ではピッチ感のない（音名が言い当てられない）非調和的な音が発生する。ただし、例外もあり、振動がほぼ1つの固有モードだけで成り立っていたり、複数の固有モードが励起される場合でも、それらが調和的（周波数が整数比）になるよううまく設計されていたりすると、ピッチ感のある音が発生する。前者の代表例は、グロッケンシュピールなどの高音の鍵盤打楽器であり、後者のそれはティンパニーである。たとえ、ピッチ感のない楽器音であっても、小太鼓の音は甲高い、大太鼓の音は野太いといった、漠然とした音高感は存在する。

〔1〕 棒の振動—解析法 1 打楽器は数学的には弾性体として取り扱うことができる。その運動方程式に適切な境界条件を与えて固有値解析することで固有モードが調べられる。例えば、鍵盤打楽器の音板は、最も簡単には、曲げ振動する一様な1次元棒としてモデル化できる。棒の断面積を S 、長さを L 、密度を ρ 、ヤング率を E とし、長さ方向の座標を x 、時刻を t 、棒に垂直な方向の変位を $u(x, t)$ と書く。変位 $u(x, t)$ が微小だと仮定すれば、運動方程式は

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{EK^2}{\rho} \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} = 0 \quad (1.1)$$

となる。ここで K は断面回転半径と呼ばれる断面の性質を表すパラメータで

$$K^2 = \frac{1}{S} \int y^2 dS \quad (1.2)$$

で表される量である。ただし、棒を曲げたとき、伸びたり縮んだりしない中立面からの距離を y とした。断面が矩形で厚さが h の棒の場合には、式 (1.2) からただちに $K = h/\sqrt{12}$ と計算できる。式 (1.1) の左辺第2項は曲げ剛性 ESK^2 による回復力に由来する。また、4階の導関数が現れるのは、棒の断面 x において、曲げモーメント $M(x)$ が棒の曲率 $\partial^2 u/\partial x^2$ に比例すること、素片が回転せずに釣り合う条件から $M(x)$ とせん断力 $F(x)$ の間には $F(x) = \partial M/\partial x$ の関係があることから理解される。

棒が角周波数 ω で正弦的に振動しているとき、すなわち $u(x, t) = e^{i\omega t} u(x)$ と書けるとき、式 (1.1) から

索引

【あ】		【お】		感情の座	141
アイゲンミュージック法	267	オーバーラップアンドアド法	230	感情価測定尺度	144
アグラフ	48			【き】	
アンビソニックス	295	音楽アーカイブ	295	キーアクション	275
暗黙的知識	132	音楽鑑賞評価尺度	145	記憶	134
【い】		音楽経験の多様性	141	機械学習	292
		音楽現象	129	期待	140
イコライザ	258	音楽情報検索	238	気柱	3
因果システム	228	音楽的協和	152	気柱共鳴	29
インハーモニシティ	50	音楽的認知発達	130	基本感情理論	142
インパルス応答	227	音楽的文化変容	134	基本周波数	225
【う】		音楽と言語の関連性	131	基本周波数推定	189
		音楽認知	128	気鳴楽器	63
ヴァイオリン	51	音楽の起源	131	境界条件	91
ヴィブラート	261	音響特徴量	244	共鳴	58
ウェーブシェーピング法	262	音孔	38	共鳴モード	30, 32, 36, 68
ウェーブテーブル方式	254	音高感	84	強烈な音楽体験	137
ウルフ音	59	音声圧縮技術	291	協和	152
運動単位	191	音程	153	金管楽器	27
運動単位活動電位	191	【か】		筋電位	191
【え】		開管	30	【く】	
エアジェット楽器	74	開口端補正	35, 37	空間音響	293
エアリード楽器	28	解析信号	232	空気共鳴	56
エキスパンダ	257	確率的遷移モデル	265	空気負荷	85
エコイックメモリ	135	隠れマルコフモデル	267	空力音	74
エッジトーン	74	加算合成	255, 278	唇振動	68
エネルギー	100	楽器配置	61	屈曲した棒	94
エピソード記憶	137	楽器分類法	3	クラヴィコード	42
エフェクタ	257, 278	活動電位	191	クラドニバターン	56
円錐管	29	過渡応答	81	グラニューラ合成	254
演奏科学	131	感覚記憶	135	グローバルテンポ	245
演奏の記憶	138	感覚的協和	152	クロマ	215
円筒管	29	感情価	143	群化の法則	132
エンベロープ	251	感情カテゴリー	142	【け】	
エンベロープジェネレータ	249	感情次元	146	芸術的逸脱	181
		感情的性格	141	形容語円環リスト	143
		感情の円環モデル	147		

形容語選択法	144
ゲシュタルト原理	132
ケトル	85
弦	52
跟在記憶	138
減衰合成	250, 280
減衰時間	86
減衰振動楽器	40
弦鳴楽器	40
【こ】	
高速度カメラ	175
行動主義心理学	129
駒	52
固有周波数	4, 6, 9, 12, 13
固有モード	4, 7, 9, 12, 13
コーラス	261
コンサートホール	276
コンプレッサ	257
【さ】	
サイン則	260
サウンドスケープ	287
撥弦楽器	40, 50
残響時間	276
サンプルプレイバック方式	254
三分損益法	154
【し】	
軸対称	86
自己相関関数	189
システムの安定性	231
自然倍音列	156
自伝的記憶	137
自動採譜	189
自動作曲	264
自動伴奏システム	268
自動編曲	267
自動編曲システム	267
弱音器	53
終止音導出法	134
周波数比	84

周波数分析	218
縮退モード	86
熟達度推定法	177
主成分分析	177
ジュネーブ感情音楽尺度	144
瞬時周波数	233
純正律	154
衝撃波	109
撞弦楽器	40, 42
自動振動楽器	40
シンセサイザ	280
振幅位相徐変化法	14
【す】	
スキーマ	136
スコルダトゥーラ	59
ステレオフォニック	284
スピーキングレングス	41
スプラインカーブ	177
スペクトル	218
スペクトル重心	246
スペクトルフラックス	246
スペクトルフラットネス	246
スペクトル包絡	60
スペクトルロールオフ	246
【せ】	
正弦波重畳モデル	255
生態学的妥当性	130
ゼロクロス法	190
ゼロパディング	227
線形予測符号	253
宣言的記憶	136
潜在記憶	138
【そ】	
双極誘導法	192
ソプラノ課題システム	265
【た】	
体鳴楽器	91
打楽器	81
打弦楽器	40

多重貯蔵モデル	134
畳み込み	222
縦振動	54
ダフィング振動子	16
短期記憶	135
単極評定法	144
タンジェント	42
短時間フーリエ変換	221
単純接触	140
【ち】	
チェックリスト法	144
知覚の文脈依存性	133
蓄音器	282
チャック	135
チューニング	89
長期記憶	135
調性感	133
調性スキーマ	133
張力	81
【て】	
デジタルウェーブガイド	
シンセシス	253
デジタル録音	288
ディレイ	259
手続き記憶	136
デルタタイム	170
電気楽器	278
電子楽器	279
電磁誘導	278
伝送路行列法	33
【と】	
等価回路理論	76
同調化	140
トレモロ	261
【な】	
波の突っ立ち	109, 110
【に】	
入力アドミッタンス	24, 37

入力インピーダンス 25, 33, 36, 64, 67
 ニューラルネットワーク 267
 認知 128
 認知革命 129
 認知心理学 128
 認知的参照音 133

【ね】

ねじれ振動 54
 年代推定 246

【の】

脳機能イメージング 150
 ノートオフ 170
 ノートオン 170
 ノートナンバ 170

【は】

バイミュージカル 140
 バーガス方程式 115
 拍時刻 243
 バス課題システム 265
 発音機構 3, 23, 25, 27, 29
 発音シミュレーション 68
 撥弦楽器 40
 バンド幅 246
 パンニング 260
 ハンマー 47

【ひ】

ピアノ 275
 光弾性実験法 58
 非宣言的記憶 136
 ピタゴラス音律 58, 153
 ピタゴラスの3度コンマ 58
 ビート 156
 非破壊編集 288
 表示規則 142
 表面筋電位 191

【ふ】

フィルタ 229

フェルト 47
 不確定性原理 224
 賦活 146
 不均一 89
 復元力 81
 節円 9
 節直径 9
 物理モデル 252
 物理量 217
 部分音 87
 普遍的特性 139
 フランジャー 261
 フーリエ変換 217
 フレーズ 132
 文化的普遍性 131
 分散 6

【へ】

閉管 30
 平均モーション法 198
 ヘテロダイン方式 279

【ほ】

ボウイング 59
 放射インピーダンス 35
 放射指向性 61
 包絡線 235, 251
 ホログラフィ 56

【ま】

マイクロフォン 173
 巻線 275
 膜振動 81
 膜鳴楽器 81
 松脂 54
 窓関数 221
 マルチチャンネルステレオ 293
 マルチトラック録音 286

【み】

ミュージックコンクレート 287

【め】

メロディ 131
 メロディ輪郭 132

【も】

モーションキャプチャ 195

【ゆ】

有限振幅振動 103
 有限要素法解析 57
 融合感 159
 誘発性 146

【ら】

ラフネス 156
 ランダムアクセス 288

【り】

リード木管楽器 25
 リバーブ 260
 リミッタ 257
 流体音 74
 流体音響学 81
 臨界帯域幅 157

【る】

ルールユニットモデル 208

【れ】

レミニセンスパンプ 137
 連成振動 85
 連続記述選択法 148
 連続時間測定法 147

【わ】

ワウワウ 261
 和音進行 211
 和音推定 215
 和声法 208
 湾曲した板 100

		◇		◇	
	[A]		FM 音源方式	281	[P]
			FM 合成	256	
ADSR	252		<i>f</i> . 推定	189	PCM 音源
affective value	143				254
Affect Grid	147		[G]		PCM 方式
AVSM	144		GEMS	144	PCP
	[B]		GTTM モデル	130	PET
					150
BDS	265		[I]		[R]
	[D]		IOI	201	RMS 値
					247
DAW	288		[L]		[S]
DNS	79		LES	79	SD 法
DTM	292		LFO	250	SDS
	[E]		LPC	253	stick-slip 運動
emotion felt	141				53
emotion perceived	141		[M]		[X]
	[F]		MIDI	170, 210	XF フォーマット
<i>f</i> 字孔	52		MIDI 規格	282	~~~~~
			MIR	238	[数字]
			MVC	192	2 次系列
					104

—— 編著者・著者略歴 ——

亀川 徹 (かめかわ とおる)

1983年 九州芸術工科大学 (現 九州大学) 音響設計学科卒業

1983年 日本放送協会勤務

2002年 東京藝術大学助教授

2010年 東京藝術大学教授

現在に至る

2016年 博士 (芸術工学) (九州大学)

足立 整治 (あだち せいじ)

1983年 大阪大学理学部数学科卒業

1986年 大阪大学理学部物理学科卒業

1988年 大阪大学大学院理学研究科博士前期課程修了 (物理学専攻)

1991年 大阪大学大学院理学研究科博士後期課程修了 (物理学専攻), 理学博士

1992年 国際電気通信基礎技術研究所人間情報通信研究所奨励研究員

1998年 愛知県立大学情報科学部助教授

2002年 国際電気通信基礎技術研究所人間情報科学研究所主任研究員

2006年 ドイツフ라운ホーファー研究機構建築物理研究所研究員

2021年 帝塚山大学教授

2023年 天津大学教授

現在に至る

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

松谷 晃宏 (まつたに あきひろ)

1989年 防衛大学校理工学専攻応用物理学卒業

1989年 東京工業大学文部技官

1999年 博士 (工学) (東京工業大学)

2008年 東京工業大学技術部半導体 MEMS 支援センター長

2020年 東京工業大学オープンファシリティセンターマイクロプロセス部門長

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
- 現在に至る

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（理工学専攻）
- 1997年 岡山大学工学部電気電子工学科助手
- 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

星野 悦子（ほしの えつこ）

- 1975年 北海道教育大学札幌分校（現 札幌校）特設音楽課程ピアノ科卒業
- 1980年 北海道大学大学院文学研究科修士課程修了（心理学専攻）
- 1986年 北海道大学大学院文学研究科博士後期課程単位取得退学（心理学専攻）
- 1988年 フランス国立パリ大学第10校（ナンテール）第Ⅲ期博士課程修了（心理学専攻）
- 1989年 上野学園大学専任講師
- 1995年 博士（心理学）（パリ大学）
- 1999年 上野学園大学助教授
- 2005年 上野学園大学教授
- 2016年 上野学園大学特任教授
- 現在に至る

谷口 高士（たにぐち たかし）

- 1987年 京都大学教育学部卒業
- 1989年 京都大学大学院教育学研究科修士課程修了（教育方法学専攻）
- 1992年 京都大学大学院教育学研究科博士後期課程単位取得退学（教育方法学専攻）
- 1992年 大阪学院短期大学専任講師
- 1995年 博士（教育学）（京都大学）
- 1996年 大阪学院短期大学助教授
- 2002年 大阪学院大学助教授
- 2006年 大阪学院大学教授
- 現在に至る

山本 由紀子（やまもと ゆきこ）

- 2005年 信州大学教育学部卒業
- 2007年 信州大学大学院教育学研究科修了（教科教育専攻音楽教育専修）
- 2015年 飯田女子短期大学助教
- 2015年 総合研究大学院大学文化科学研究科博士後期課程修了（メディア社会文化専攻）、博士（学術）
- 2017年 白梅学園大学講師
- 2022年 白梅学園大学准教授
- 現在に至る

三浦 雅展（みうら まさのぶ）

- 1998年 同志社大学工学部知識工学科卒業
- 2000年 同志社大学大学院工学研究科博士前期課程修了（知識工学専攻）
- 2003年 同志社大学大学院工学研究科博士後期課程修了（知識工学専攻）、博士（工学）
- 2003年 龍谷大学助手
- 2006年 龍谷大学講師
- 2017年 八戸工業大学准教授
- 2019年 国立音楽大学准教授
- 現在に至る

大田 健紘（おおた けんこう）

- 2003年 同志社大学工学部知識工学科卒業
- 2005年 同志社大学大学院工学研究科博士前期課程修了（知識工学専攻）
- 2008年 同志社大学大学院工学研究科博士後期課程修了（知識工学専攻）、博士（工学）
- 2008年 諏訪東京理科大学助教
- 2012年 日本工業大学助教
- 現在に至る

丸井 淳史（まるい あつし）

- 2000年 ペンシルベニア州立大学大学院工学研究科修士課程修了（Computer Science and Engineering）
- 2006年 会津大学大学院コンピュータ理工学研究科博士後期課程修了、博士（コンピュータ理工学）
- 2006年 東京藝術大学専任講師
- 2009年 東京藝術大学准教授
- 2011年 マギル大学大学院音楽研究科博士後期課程（サウンドレコーディング領域）単位取得満期退学
- 2020年 東京藝術大学教授
- 現在に至る

音楽音響

Musical Acoustics

© 一般社団法人 日本音響学会 2023

2023年3月6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 978-4-339-01369-6 C3355 Printed in Japan

(新宅)



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。