

日本音響学会 編
The Acoustical Society of Japan

音響サイエンスシリーズ **19**

実験音声科学

音声事象の成立過程を探る

本多清志
著

コロナ社

音響サイエンスシリーズ編集委員会

編集委員長

富山県立大学

工学博士 平原 達也

編集委員

熊本大学

博士(工学)

川井 敬二

九州大学

博士(芸術工学) 河原 一彦

千葉工業大学

博士(工学)

荻木 禎史

小林理学研究所

博士(工学) 土肥 哲也

神奈川工科大学

工学博士

西口 磯春

日本電信電話株式会社

博士(工学) 廣谷 定男

同志社大学

博士(工学)

松川 真美

(五十音順)

(2017年6月現在)

刊行のことば

音響サイエンスシリーズは、音響学の学際的、基盤的、先端的トピックについての知識体系と理解の現状と最近の研究動向などを解説し、音響学の面白さを幅広い読者に伝えるためのシリーズである。

音響学は音にかかわるさまざまなものごとの学際的な学問分野である。音には音波という物理的側面だけでなく、その音波を受容して音が運ぶ情報の濾過処理をする聴覚系の生理学的側面も、音の聞こえという心理学的側面もある。物理的な側面に限っても、空気中だけでなく水の中や固体の中を伝わる周波数が数ヘルツの超低周波音から数ギガヘルツの超音波までもが音響学の対象である。また、機械的な振動物体だけでなく、音を出し、音を聞いて生きている動物たちも音響学の対象である。さらに、私たちは自分の想いや考えを相手に伝えたり注意を喚起したりする手段として音を用いているし、音によって喜んだり悲しんだり悩まされたりする。すなわち、社会の中で音が果たす役割は大きく、理科系だけでなく人文系や芸術系の諸分野も音響学の対象である。

サイエンス (science) の語源であるラテン語の *scientia* は「知識」あるいは「理解」を意味したという。現在、サイエンスという言葉は、広義には学問という意味で用いられ、ものごとの本質を理解するための知識や考え方や方法論といった、学問の基盤が含まれる。そのため、できなかったことをできるようにしたり、性能や効率を向上させたりすることが主たる目的であるテクノロジーよりも、サイエンスのほうがすこし広い守備範囲を持つ。また、音響学のように対象が広範囲にわたる学問分野では、テクノロジーの側面だけでは捉えきれない事柄が多い。

最近では、何かを知ろうとしたときに、専門家の話を聞きに行ったり、図書館や本屋に足を運んだりすることは少なくなった。インターネットで検索し、リ

ii 刊 行 の こ と ば

ストアップされたいくつかの記事を見てわかった気になる。映像や音などを視聴できるファンシー (fancy) な記事も多いし、的を射たことが書かれてある記事も少なくない。しかし、誰が書いたのかを明示して、適切な導入部と十分な奥深さでその分野の現状を体系的に著した記事は多くない。そして、書かれてある内容の信頼性については、いくつもの眼を通したのちに公刊される学術論文や専門書には及ばないものが多い。

音響サイエンスシリーズは、テクノロジーの側面だけでは捉えきれない音響学の多様なトピックをとりあげて、当該分野で活動する現役の研究者がそのトピックのフロンティアとバックグラウンドを体系的にまとめた専門書である。著者の思い入れのある項目については、かなり深く記述されていることもあるので、容易に読めない部分もあるかもしれない。ただ、内容の理解を助けるカラー画像や映像や音を附録 CD-ROM や DVD に収録した書籍もあるし、内容については十分に信頼性があると確信する。

一冊の本を編むには企画から一年以上の時間がかかるために、即時性という点ではインターネット記事にかなわない。しかし、本シリーズで選定したトピックは一年や二年で陳腐化するようなものではない。まだまだインターネットに公開されている記事よりも実のあるものを本として提供できると考えている。

本シリーズを通じて音響学のフロンティアに触れ、音響学の面白さを知るとともに、読者諸氏が抱いていた音についての疑問が解けたり、新たな疑問を抱いたりすることにつながれば幸いである。また、本シリーズが、音響学の世界のどこかに新しい石ころをひとつ積みきかけになれば、なお幸いである。

2014年6月

音響サイエンスシリーズ編集委員会
編集委員長 平原 達也

まえがき

本書は、音声信号の背景にあるヒトの体の仕組みを理解するための手がかりになることを期待して、音声科学、実験音声学、音声臨床に携わる研究者、技術者、および学生を読者対象として、実験により得られた観測データを数多く示すことを目的とした。

音声信号を資料として研究を進めるにつれ、なぜそうなのかという疑問が生じる。音声信号を記録すれば、それは単なる時系列の交流波形であることがわかる。その中に日常の情報交換に必要なすべてが含まれている。しかし、そのような情報がなぜ音の波の形になるのか。この問いに答えるためには、ヒトが音声を出力する仕掛けを明らかにすればよい。ところが対象がヒトであるという理由で、その試みは簡単な方法では解明できない。音声は特異な科学研究の対象であって、人体の観測手段に制約があり動物モデルによる類推も限られている。したがって研究者たちは、新しい装置を作って新しい事実を見出す努力を重ねてきた。記録に残る過去の努力は、われわれの想像をはるかに超える精緻なものがある。音声の実験的研究が300年を経て、得られた知識は十分に蓄積され、もはや新しい事実はないという理解が一般論かもしれない。その反面、時間というフィルタ作用により、われわれの現在の理解は、定型化されたデータと単純化されたモデルが源泉になっているのではないか。個別の音声現象を目の前にしたときに、その生成的背景を解説するには、集約されすぎた知識では不十分であるかもしれない、新しいモデルが必要になる局面が現れるかもしれない。

本書では、そのような疑問に対して、非定型で複雑な音声現象の生成要因を明らかにした研究の経緯を説明したい。音声の現代的な実験研究は、サウンドスペクトログラフに始まり、パタンプレイバックにより発展した。発声に関し

ては声帯振動観測法の発展が理解を進め、調音に関しても専用の研究装置が開発され、新しい医用画像装置が援用された。新しい装置の使用によって研究を進めるにあたり必要な事項は、やはり人体の構造との関連による現象の理解であると思われる。そのような観点から、音声研究に必要な実験音声科学の装置のみならず、問題となる音声研究の課題について、解剖と生理の背景に関する最新のトピックを解説し、最後に長年の課題でありながら未解決となっている問題を取りあげる。

2018年6月

著 者

目 次

第1章 音声の性質

1.1 母音の実験的研究	1
1.1.1 母音とスペクトル	1
1.1.2 母音理論論争から母音知覚研究へ	6
1.2 聴覚研究と母音の分析	13
1.2.1 聴覚研究小史	13
1.2.2 母音の聴覚像	16
1.3 音節を対象とする研究	19
1.3.1 音節の構成	19
1.3.2 音節内における母音の性質	20
1.3.3 有声音と無声音	24
1.3.4 音節の連鎖	25
1.4 ま と め	30
引用・参考文献	31

第2章 発声の機構

2.1 声帯と声門音源	36
2.1.1 声帯の振動	36
2.1.2 声帯の形	39
2.1.3 声門気流音源の形	41
2.2 声の高さの変化	44
2.2.1 声の高さ、声帯張力、呼気圧の関係	45

2.2.2 声の高さを変化させる筋性機構	46
2.2.3 アクセントとイントネーション	51
2.2.4 マイクロプロソディ	55
2.3 ま と め	60
引用・参考文献	61

第3章 調音の機構

3.1 調音の要素	65
3.1.1 調音器官の構造	66
3.1.2 調音器官の特性	69
3.2 調音と音響との関係	76
3.2.1 調音と音響の対応関係	77
3.2.2 調音と音響の非線形的関係	78
3.2.3 調音の安定性と不安定性	81
3.2.4 量子的性質と知覚対比の強化	85
3.3 声道の形状と共鳴	87
3.3.1 声道の形	87
3.3.2 定在波と多重反射	88
3.3.3 声道共鳴：低域の特徴	89
3.3.4 声道共鳴：高域の特徴	92
3.4 ま と め	94
引用・参考文献	95

第4章 音声の中枢制御

4.1 音声の生成と中枢機構	99
4.1.1 音声情報交換を支える大脳皮質	99

4.1.2 音声生成と知覚の皮質領域	101
4.1.3 音声生成系を巻き込む音声知覚の神経回路	106
4.2 音声生成と知覚の関係	107
4.2.1 言葉の鎖	107
4.2.2 感覚統合に基づく音声生成モデル	109
4.2.3 発声に関わる皮質下の構造	112
4.3 音声生成の聴覚フィードバック	114
4.4 音声知覚の運動説とミラーニューロン説	117
4.4.1 音声知覚の運動説	117
4.4.2 音声知覚のミラーニューロン説	121
4.5 ま と め	125
引用・参考文献	126

第5章 音声の個人性と共通性

5.1 鍵のかかった問題	129
5.1.1 過去の母音研究から	131
5.1.2 音声の個人性および母音の正規化の要約	133
5.2 音声の個人性特徴と生成要因	135
5.2.1 高い周波数領域の特徴	135
5.2.2 女声の個人性の問題	139
5.3 母音フォルマント領域における個人性特徴	141
5.3.1 固定腔・硬性器官の効果	142
5.3.2 舌の運動速度の個人差	145
5.4 音声の共通性の生成要因	149
5.4.1 声道長の調節要因	149
5.4.2 声道形状の調節要因	151
5.5 音声の共通性の生成要因	152
5.5.1 母音の正規化	152

5.5.2 母音生成の安定性からみた母音の共通性	155
5.6 ま と め	160
引用・参考文献	161

付章 発声と調音の観測法

A.1 発声機構の観測	164
A.1.1 声帯の観察法	164
A.1.2 声帯振動の可視化法	165
A.1.3 グロトグラフ法	168
A.1.4 呼気流計測法	170
A.2 調音機構の観測	171
A.2.1 調音運動の計測と分析	171
A.2.2 磁気共鳴画像法の利用	176
A.2.3 筋電計測法	179
引用・参考文献	180

あ と が き	184
---------------	-----

索 引	186
-----------	-----

第1章

音声の性質

1.1 母音の実験的研究

音声の性質に関する理解は19世紀における音響学の基礎の完成に引き続いて20世紀前半の母音の理論的・分析的研究により深まり、20世紀後半ではスペクトログラフという画期的な装置の出現により子音を含めた音声の分析的・実験的研究に発展した。また、スペクトログラフの編集による音声合成により音声知覚研究という新しい領域も出現した。本章ではスペクトログラフを用いた初期の音声研究のテーマとそれぞれのその後の発展を振り返ることにより、どのような実験研究の経緯により音声の性質が理解されるに至ったかをまとめる。

1.1.1 母音とスペクトル

音声に関する種々の疑問を実験によって明らかにしようとする場合、初期の研究において扱われたいくつかのテーマを取りあげてどのような手段で音声の性質を調べたかを振り返ることは、今後の研究の進展を目指すための糸口として必ずしも遠回りの方法ではないと思われる。音声研究の近代における経過を振り返ると1945年前後を境界時期とした不可解な不連続性が目立つようにみえる。これにはもちろん戦争による空白とその後の再出発という研究を取り巻く社会環境の変化が考えられる。しかし、それだけが不連続性の要因ではなく、異なる研究対象に向かわせるような技術的な進歩がその当時に起こったか

2 1. 音声の性質

らではないかと思われる。20世紀前半に行われた音声研究の対象として注目すべきトピックは「**母音**」であり、当時の実験的音声研究は調音を手がかりとした母音の位置づけと声道の音響学的性質の解析を対象とした。この流れは、19世紀に始まる音響管の共鳴理論、X線撮影による声道計測、機械的あるいは電気的な音響技術、機械式波形分析器、フーリエ調和解析法などの手法に支えられてきた。これに対し、20世紀後半の音声研究に大きな進展をもたらした技術は音声信号の効率的な分析・合成の方法であり、サウンドスペクトログラフとパタンプレイバックという二つの装置が大きな役割を果たしたと考えることができる。

〔1〕 **サウンドスペクトログラフ** **サウンドスペクトログラフ** (sound spectrograph) は1940年前後の時期にベル電話研究所において音声を周波数と強度の時間変化として可視化する電気機械式の自動分析器として開発された。この装置は、高度聴覚^{がい}障害者が音声を理解するため視覚電訳機 (visible translator) を目指して開発されたものであったといわれる^{1)†}。その頃、ベル電話研究所ではスペクトログラムの実時間表示装置あるいはスペクトログラムに基づく音声再生装置なども製作された²⁾。また装置は第2次世界大戦中には対戦国の無線通信士の暗号化音声を解読するための分析器としての応用が期待された。戦後には音声理解補助装置としての改善が図られるとともに、音声の諸性質を理解し電気通信の諸問題を解決するための音声分析装置として応用された。図1.1は、開発当初の電気機械式装置を示す図であり、音声の磁気録音と時間・周波数パタンの描画を一体化した巧妙な機構が採用されている³⁾。図1.2は、Potterが申請した特許⁴⁾に記載されたスペクトログラムの例であり、周波数帯域の異なるバンドパスフィルタが用いられている。金属ドラムに巻きつけたファクシミリ用紙に放電描画したサウンドスペクトログラムはダイナミックレンジが狭く10 dB程度であったといわれ、そのために描画信号の出力には振幅圧縮回路が用いられており、FFTパワースペクトルに基づく現在

† 肩付きの数字は、各章末の引用・参考文献の番号を示す。

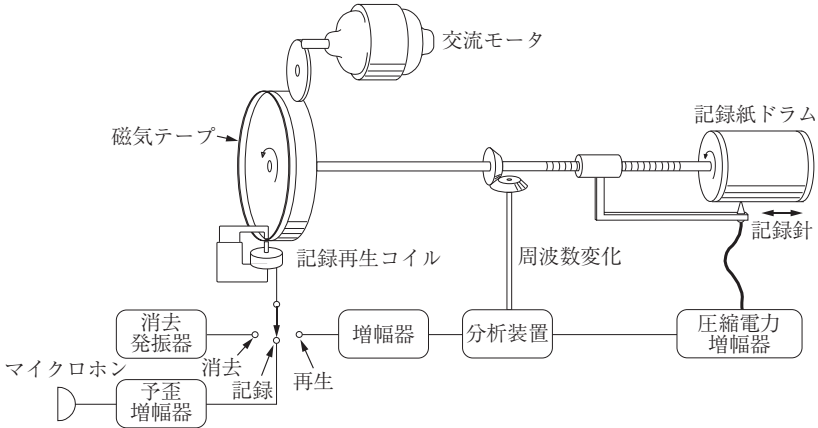


図 1.1 電気機械式サウンドスペクトログラフの録音分析描画機構³⁾。磁気記録円盤と記録紙ドラムは回転シャフトにより連結され、シャフト回転により記録針が記録紙ドラム上を移動する。記録された信号はシャフト回転に同期したヘテロダイン方式の分析装置により音声信号の周波数帯域が漸次変換され、その変換信号は単一のバンドパスフィルタを経たのちに振幅圧縮された帯域強度が導電紙上の周波数位置に出力される。予歪増幅器 (pre-distortion amplifier) はプリアンファシス用のハイパスフィルタに相当する。

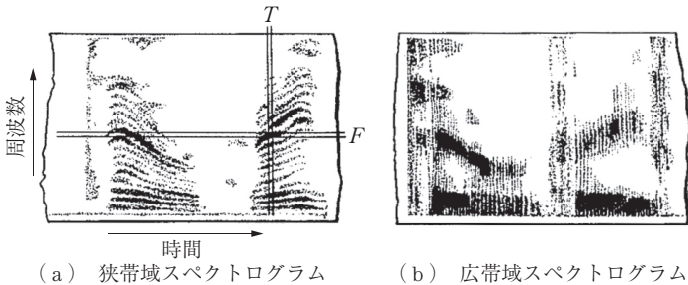


図 1.2 サウンドスペクトログラムの例⁴⁾。ヘテロダイン分析器からの出力信号を (a) 狭帯域 (45 Hz) および (b) 広帯域 (300 Hz) のバンドパスフィルタを介して描画したもの。図 (a) において時間軸上の点 T における周波数軸上の成分 F の強度がスペクトログラムに描画されることを示している。Potter は描画装置に露光針 (optical stylus) と写真フィルムを用いることにより、ポジ画像ないしネガ画像のスペクトログラムを作成することが可能であると記載している。

4 1. 音声の性質

のスペクトログラム⁵⁾とはフォルマントの帯の表現が若干異なっている。サウンドスペクトログラムが戦前に開発された機械式の記録・分析装置と異なる点は分析対象の時間長にあり、母音の単一周期の分析に限られた従来の方法に対し、単語や短い文章を分析対象とすることが可能であった。

ベル電話研究所ではサウンドスペクトログラフを用いた音声の研究が進められ、音声の性質として今日知られている多くの基本的な事実が明らかにされた。Joos⁶⁾はこの装置を用いて母音の調音とフォルマント周波数との関係を調べ、**第1フォルマント (F1)**が舌位置の高低に、**第2フォルマント (F2)**が舌の前後位置に対応することを見出して、舌の最高点の分布図と座標軸を反転した**F1-F2分布図**とが相互に対応することを報告している。さらに、母音のフォルマント周波数が個人内においても個人間においても変動することを見出している。続いて、Delattre⁷⁾は、Joosの描いた母音三角形と調音との一致を確認したうえで、F1が狭めのある子音に後続して右上がりに遷移すること、F2が唇の突出しを伴う母音で低下すること、F3がフランス語の鼻母音における軟口蓋の下降や米語のr音における舌先のそりに特徴的であることなどを調べている。一方、Miller⁸⁾は合成母音の聴取実験において基本周波数 (F0)、フォルマント周波数と振幅、母音に固有のフォルマントの数のすべてが母音知覚に重要であると報告している。以上のように母音知覚の要因についての異なる考え方は現在においても引き継がれており、Delattreのように二つないし三つのフォルマントに求める考え方を**フォルマント由来モデル** (formant-based model)、Millerのように母音の音響特徴のすべてを重視する考え方を**スペクトル全体モデル** (whole-spectrum model)と呼んで対比することがある。サウンドスペクトログラフの音声研究へ応用は急速に拡大して多くの研究者により用いられた。

〔2〕 **パタンプレイバック** ベル電話研究所においてサウンドスペクトログラフを利用した音声の分析的研究が進められた頃に、ハスキンス研究所では音声の心理学的研究が行われていた。Cooperらは複雑な音声信号に含まれる聴覚的手がかりを求めるために、**パタンプレイバック** (Pattern Playback)と

呼ぶ音声合成装置を開発して音声知覚の研究に用いた^{9)~11)}。パタンプレイバックはサウンドスペクトログラムに変更を与えた音声を合成する装置であり、音声情報交換において音声担うと考えられる**不変性** (invariance) を探るための実験研究に用いられた。図 1.3 の機構図に示すように、パタンプレイバックはスペクトログラム記録紙のスキャン機構、線状光源と 50 チャンネルの正弦波光変調を行う発音円盤、2 系統の光学的読み取り機構をもつ。

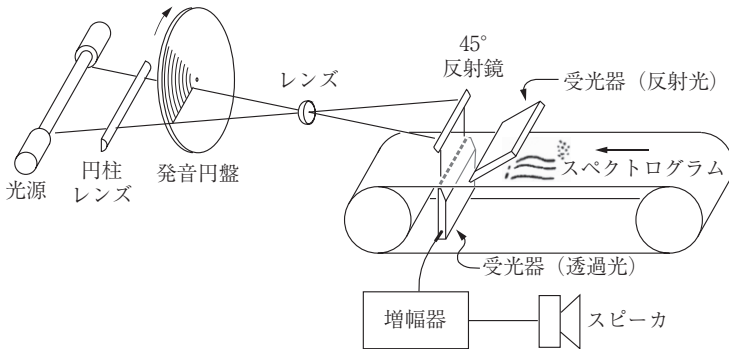


図 1.3 光学機械式音声合成装置パタンプレイバックの機構図。二つの回転ドラムによりサウンドスペクトログラムの写真フィルムあるいはフォルマントパタンを描いた透明フィルムを移動させることにより音声を合成することができた¹⁰⁾。発音円盤 (tone wheel) 上のフィルムには 50 チャンネルの通信周波数をもつ正弦波状の濃度変化パタンが描かれており、透過した照明光は光学系を介してスペクトログラム記録紙あるいは透明フィルムに投影される。各チャンネルの透過光あるいは反射光は受光器のフォトセルアレイにより読み取られ、バズ音源に含まれるフォルマント帯域内の高調波が増強されて合成音として出力される。

パタンプレイバック装置は図 1.4 に示すように、サウンドスペクトログラムをそのまま用いることによっても、あるいは透明フィルムに手書きしたフォルマントパタンを読み取ることによっても、聴取可能な音声を合成することができた。そのような目的でハスキンス研究所ではサウンドスペクトログラムに独自の工夫を施して、パタンプレイバック実験に適した表示サイズ (約 18 cm × 210 cm) に変更して約 12 秒間の音声録音を可能とするとともに、写真フィルムに光描画することによりダイナミックレンジを 36 dB に拡大した¹⁰⁾。

合成母音を用いた知覚実験では、二つの低次フォルマント (F1 と F2) を対

あ　と　が　き

本書執筆に際して、著者自身を知っていることを書くのではなく、むしろ著者自身がかねてから知りたいと考えていた内容をぜひ読みたいと思えるような形で出版することを第1に考えた。したがって、執筆作業は書くというより調べることになってしまい、脱稿までには長い時間を要してしまった。言い訳にはならないが、時間がかかりすぎた反面、新しい予備実験の内容を追加することができた。

本書の中心テーマは、音声が生産される過程についてその因果関係を明らかにすることであった。実用を考えて現代的な理解を短く説明するには、研究の歴史も人体の解剖も必須ではないかもしれない。古い文献や解剖の図版もわれわれの研究対象であることは理解できても、音声研究の長い歴史を遡ることはできない。しかし、時間というフィルタを経て散見される事実は、歴史に残る研究がどのようなものであるかをわれわれに伝えている。解剖学者は取り出した標本を手にして機能を考え、物理学者は道具をつくって音をみたはずである。誰がどの時点で何を考えたのか、著者の興味の一つであった。

本書を「実験音声科学」と名づけた理由は、著者の音声研究が実験によっていたからにはほかならない。著者にとって筋電計測は因果関係を知るための手段であったが、この方法を使う環境が限られるにつれて、磁気共鳴画像法(MRI)がつぎの手段になってきている。MRIはfMRIと違って単に構造がみえるにすぎないが、そこから機能を読む作業はかつての筋電計測の分析と同様に著者の研究方法の中心になっている。そのような経緯もあって、工学教育の職に就きながら解剖にしか興味がないと口外もする。複雑に絡み合った問題は一度バラバラに分解して組み立て直してみれば、既成の技術では解決できなかった方法がみえてくるだろうと期待している。

人体の可視化技術は音声生成機構の理解には必須であり，MRIによる観測法は現在の音声生成研究の強力な手段になっている。装置そのものに大きな可能性があることは明らかであるが，現実には装置を駆使することができる人材がより有用であって，その意味でATR脳活動イメージングセンタ（BAIC）の皆様には感謝に堪えない。

本書の図の作成にあたり極力自力の作業を目指したが，著者の手に余る画像処理作業については天津大学院生，張句（Zhang Ju），迟雨杰（Chi Yujie），李静（Li Jing）の3氏の力を借りた。また，MRIに基づく3次元画像の多くは著者の手作業ではなく，竹本浩典氏（千葉工業大学）による画像処理によるものであることを記しておく。

索引

<hr/> あ <hr/>					
アクセント	51	音声の個人性	129	弓状束	100
アクセント核	54	音節速度	70	境界バルス	28
アクセント下降	55	音節の連鎖	25	胸骨舌骨筋	46, 66
<hr/> い <hr/>		音節バルス	28	極端母音	157
息の音	24	音素知覚	118	筋静水圧器官	159
1次運動野	101	<hr/> か <hr/>		筋静水圧装置	71
1次聴覚野	102	開音節	19	筋彈性空気力学理論	38
入りわたり	12	開口端補正	90	筋電計測	46, 74
因子分析法	73	外耳道共鳴	136	筋電計測法	179
イントネーション	52	外舌筋群	67	<hr/> く <hr/>	
<hr/> う <hr/>		外側翼突筋	66	空間時間ボタン説	132
運動指令	118	外破音	25	空間ボタン説	14
運動節約	70	開放端	89	句音調	51
運動前野	104	下咽頭腔	89, 138	句強調	70
運動等価性	70	下顎	66	口の中の手	71
運動譜	111	下顎運動	67	句頭上昇	52
運動プログラミング	103	下顎結合	143	<hr/> け <hr/>	
<hr/> え <hr/>		下顎-舌骨-甲状軟骨系	48	頸椎の前わん	51
エコーニューロン	123	可観測性の壁	164	経頭蓋磁気刺激法	122
縁上回	123	下丘	113	茎突舌筋	68
遠心性コピー	109	角回	123	経軟口蓋鼻腔結合	76, 144
円唇母音	74	顎二腹筋	66	<hr/> こ <hr/>	
<hr/> お <hr/>		下縦舌筋	68	高域フォルマント	136
横舌筋	68	歌唱フォルマント	93, 136	口音	144
オトガイ筋	68	下唇下制筋	68	口蓋拳筋	69
オトガイ腱	68, 147	下前頭回後部	122	口蓋舌筋	69
オトガイ舌筋	56, 68	カタセシス	55	口蓋帆拳筋	74
オトガイ舌骨筋	49, 66	下頭頂小葉	123	口蓋平面	88, 147
音韻規則化	53	感覚運動野	101	鉤状束	100
音響管モデル	88	閏節運動	46	甲状軟骨	46
音源・フィルタ理論	9, 37	閏連放射	116	甲状披裂筋	50
音声学の動作	120	<hr/> き <hr/>		口唇	68
音声学のモジュール	120	機械式音声合成装置	81	—の突出し	74
音声知覚の運動説	105, 117	きこえ	19	口唇開口部	90
音声知覚の聴覚説	117	軋み声	53	口唇周囲筋	74, 180
音声の共通性	130	基底核	111	高速度映画撮影	42
		基底膜の振動	14	高速度映画撮影法	165
		機能局在	100	高速度デジタル撮像装置	167
		機能的結合性解析	103		
		基本周波数	44		

<p>光電グロトグラフ法 28, 168</p> <p>光電ナゾグラフ法 20, 175</p> <p>喉頭運動野 113</p> <p>喉頭下降 51</p> <p>喉頭キモグラフ法 168</p> <p>喉頭鏡 165</p> <p>喉頭共鳴 80, 135</p> <p>喉頭腔 89, 137</p> <p>喉頭腔共鳴 80, 136</p> <p>喉頭副次調音 59</p> <p>喉頭枠組み機能 46</p> <p>後鼻棘 88, 155</p> <p>口輪筋 68</p> <p>口輪筋周辺部 74</p> <p>声 24, 36</p> <p>——の高さ 44</p> <p>声立て時間 25, 57, 121</p> <p>声立て周波数 57</p> <p>呼気圧 45, 53</p> <p>呼気流計測 170</p> <p>呼気流マスク 171</p> <p>個人音色周波数領域 131</p> <p>個人性情報 129</p> <p>個人性特徴 80</p> <p>5段階説 54</p> <p>語頭強化 29</p> <p>言葉の鎖 108</p> <p>固有基本周波数 20, 56</p> <p>固有強度 20</p> <p>固有持続時間 20</p>	<p>上 丘 113</p> <p>上縦舌筋 68</p> <p>上唇拳筋 68</p> <p>上側頭回 102</p> <p>上側頭溝 122</p> <p>情動回路 113</p> <p>小 脳 111</p> <p>歯列間隙 79</p> <p>歯列間隙効果 80</p> <p>歯列撮像 178</p> <p>神経同期説 38</p> <p>進行波説 14</p>	<p>声門面積波形 42, 166</p> <p>舌 窩 72, 152</p> <p>舌 骨 56</p> <p>舌骨下筋群 46</p> <p>舌骨舌筋 68</p> <p>舌根の調音 154</p> <p>舌尖型 72</p> <p>舌体部 72</p> <p>舌端型 72</p> <p>舌端部 72</p> <p>前鼻棘 88, 155</p>
<hr/>		
す		
<p>垂直舌筋 68</p> <p>ステレオ側視型内視鏡 45</p> <p>ストロボスコープ法 38, 165</p> <p>スペクトル全体モデル 4</p> <p>スペクトル包絡説 153</p> <p>スペクトル包絡モデル 155</p>	<p>36, 164</p> <p>37</p> <p>45</p> <p>45</p> <p>49</p> <p>33</p> <p>176</p> <p>52</p> <p>11</p> <p>65</p> <p>87</p> <p>77</p> <p>89</p> <p>139</p> <p>87</p> <p>149</p> <p>26</p> <p>76</p> <p>92, 129</p> <p>40, 76</p> <p>45</p> <p>166</p> <p>166</p> <p>86</p> <p>80</p> <p>41</p> <p>76</p> <p>42</p>	<p>増強効果 86</p> <p>双鉤金属線電極 179</p> <p>相対的な舌の大きさ 145</p> <p>側視型硬性内視鏡 165</p> <p>側頭下顎関節 67</p> <p>側頭葉後部 123</p> <p>側輪状披裂筋 48</p> <p>そり舌音 72</p> <p>そり舌母音 72</p>
<hr/>		
せ		
<p>斉射説 16</p> <p>声 帯 36, 164</p> <p>声帯振動 37</p> <p>声帯長 45</p> <p>声帯張力 45</p> <p>声帯突起 49</p> <p>声帯モデル 33</p> <p>正中矢状断面 176</p> <p>声 調 52</p> <p>静的目標理論 11</p> <p>声 道 65</p> <p>——の形 87</p> <p>声道音響モデル 77</p> <p>声道共鳴 89</p> <p>声道実体模型 139</p> <p>声道断面積関数 87</p> <p>声道長 149</p> <p>声道変数 26</p> <p>声道模型 76</p> <p>生物学的情報 92, 129</p> <p>声 門 40, 76</p> <p>声門下圧 45</p> <p>声門閉開速度率 166</p> <p>声門開放時間率 166</p> <p>声門下腔共鳴 86</p> <p>声門下腔結合効果 80</p> <p>声門気流音源 41</p> <p>声門気流雑音 76</p> <p>声門気流波形 42</p>	<p>16</p> <p>36, 164</p> <p>37</p> <p>45</p> <p>45</p> <p>49</p> <p>33</p> <p>176</p> <p>52</p> <p>11</p> <p>65</p> <p>87</p> <p>77</p> <p>89</p> <p>139</p> <p>87</p> <p>149</p> <p>26</p> <p>76</p> <p>92, 129</p> <p>40, 76</p> <p>45</p> <p>166</p> <p>166</p> <p>86</p> <p>80</p> <p>41</p> <p>76</p> <p>42</p>	<p>た</p> <p>第1フォルマント 4, 74</p> <p>帯状回 113</p> <p>体積速度 170</p> <p>ダイナミックパラトグラフ法 174</p> <p>第2フォルマント 4</p> <p>ダウンステップ 55</p>
<hr/>		
ち		
<p>磁気共鳴画像法 40, 87, 176</p> <p>磁気センサシステム 172</p> <p>視 床 111</p> <p>自然下降 52</p> <p>歯槽堤 157</p> <p>舌 67</p> <p>——の相対サイズ 147</p> <p>実時間 MRI 動画撮像法 72</p> <p>実時間撮像法 177</p> <p>周波数転位フィードバック 115</p> <p>周波数同調曲線 14</p> <p>主声道 138</p> <p>主成分分析法 73</p> <p>主要調音 76</p> <p>上咽頭収縮筋 69</p>	<p>中咽頭収縮筋 49</p> <p>中脳水道周囲灰白質 112</p> <p>調 音 65</p> <p>——の安定化 82</p> <p>調音位置 65</p> <p>調音運動 69</p> <p>——の個人性 148</p> <p>調音音韻論 26</p> <p>調音音声学 65</p> <p>調音器官 65</p> <p>調音強度 24</p> <p>調音結合 70, 84, 117</p> <p>調音ジェスチャ 26</p> <p>超音波断層法 174</p> <p>調音譜 26</p> <p>調音モデル 73, 110</p> <p>調音様式 65</p> <p>調音枠組み空間 157</p>	<p>49</p> <p>112</p> <p>65</p> <p>82</p> <p>65</p> <p>69</p> <p>148</p> <p>26</p> <p>65</p> <p>24</p> <p>70, 84, 117</p> <p>26</p> <p>174</p> <p>26</p> <p>73, 110</p> <p>65</p> <p>157</p>

- | | | | | | |
|----------------|---------|-------------|---------|-----------|--------------|
| 聴覚機構 | 13 | パタンプレイバック | 4 | 放射特性 | 90 |
| 聴覚喉頭反射 | 114 | 発語失行 | 102 | 飽和効果 | 82 |
| 聴覚遅延フィードバック | | 発声運動中枢 | 112 | 補足運動野 | 111 |
| | 114 | | | ボディカパー理論 | 38 |
| 聴覚フィルタ | 17 | ひ | | | |
| 聴覚野 | 105 | 鼻咽腔開口部 | 69, 143 | ま | |
| 調和理論 | 7 | 非円唇母音 | 74 | マイクロプロソディ | 55 |
| つ | | | | | |
| 追加フォルマント | 80, 93 | 鼻音 | 144 | 膜リード管 | 37 |
| 強い子音 | 24 | 鼻腔 | 143 | マスクング法 | 16 |
| て | | | | | |
| 定在波 | 88 | 鼻腔音 | 144 | 末尾下降 | 52 |
| 出わたり | 12 | 鼻腔共鳴 | 144 | み | |
| 電気的グロトグラフ法 | 168 | 左下前頭回 | 102 | ミラーニューロン | 110 |
| 電子ビーム走査型 CT 装置 | 172 | 非調和理論 | 7 | ミラーニューロン説 | 105, 122 |
| 伝導失語 | 124 | 表面筋電計測法 | 179 | む | |
| | | 頻度説 | 15 | 無声 | 24 |
| と | | | | | |
| 等価矩形帯域 | 17 | ふ | | | |
| 同期サンプル方式 | 166 | ファイバースコープ | 75, 165 | 無声子音 | 24 |
| 動的個人性 | 147 | フォルマント | 8 | も | |
| 動的指標理論 | 11 | フォルマント拡散度 | 134 | 目標未到達 | 12, 70 |
| 島皮質 | 102 | フォルマント遷移 | 117 | ゆ | |
| 特性周波数領域 | 131 | フォルマント由来説 | 153 | 有限要素法 | 74 |
| 特徴周波数領域 | 8, 132 | フォルマント由来モデル | 4 | 有声 | 24 |
| な | | | | | |
| 内舌筋群 | 68 | 副次調音 | 76 | 有声子音 | 24 |
| 内側膝状体 | 111 | 腹側路 | 106 | よ | |
| 内側翼突筋 | 67 | 副鼻腔 | 143 | 陽電子断層法 | 105 |
| 軟口蓋 | 69, 144 | 不変性 | 5, 117 | 弱い子音 | 24 |
| に | | | | | |
| 二重経路モデル | 106 | フランクフルト平面 | 142 | り | |
| ね | | | | | |
| 粘膜粘弾性空気力学理論 | 38 | フーリエ調和解析法 | 2 | 梨状窩 | 80, 137, 165 |
| の | | | | | |
| 脳活動イメージング | 105 | 分岐管 | 79 | 両音節性 | 26 |
| 脳地図 | 101 | 噴流説 | 8 | 量子的性質 | 85 |
| は | | | | | |
| 背側路 | 106 | へ | | | |
| 場所説 | 14 | 閉音節 | 19 | 量子的母音 | 82 |
| | | 平均呼気流率 | 170 | 臨界帯域 | 17 |
| | | 閉鎖端 | 89 | 輪状咽頭筋 | 53 |
| | | ベロトレース | 20, 175 | 輪状甲状関節 | 46 |
| | | 変換聴覚フィードバック | 115 | 輪状甲状筋 | 46, 58 |
| | | | | 輪状軟骨 | 46 |
| | | ほ | | | |
| | | 母音 | 2 | れ | |
| | | —の固有素性 | 20 | 連合野 | 100 |
| | | —の正規化 | 130 | わ | |
| | | —の無声化 | 28 | 話者正規化 | 152 |
| | | —の理論論争 | 7 | | |
| | | 母音知覚 | 10 | | |
| | | 母音フォルマント | 89 | | |

	◇	◇
B	F0 調節 46	MRI 動画撮像法 177
Bark 周波数尺度 17	F0 転位フィードバック 114	P
Broca 野 100	F1-F2 分布図 4	PB 理論 52
C	F1 開始周波数 25, 57	W
carry over 型 84	H	Wernicke = Geschwind モデル 100
C/D モデル 27	Helmholtz 共鳴器 81, 137	Wernicke 野 100
CT-SH モデル 47	Helmholtz の共鳴説 13	X
D	Heschl 回 102	X 線映画撮影 73
DIVA モデル 109	I	X 線規格撮影法 155
E	IPA 母音チャート 74	X 線撮影 171
ERB 周波数尺度 17	L	X 線撮像法 87
F	look ahead 型 84	X 線マイクロビーム装置 172
F0 下降機構 49	M	
F0 上昇機構 49	Mallampati 分類 145	
	McGurk 効果 109	

— 著者略歴 —

本多 清志 (ほんだ きよし)

1976年 奈良県立医科大学医学部卒業
1976年 東京大学医学部付属病院耳鼻咽喉科 医員 (研修医)
1978年 東京大学医学部耳鼻咽喉科学教室 助手
1979年 東京大学医学部音声言語医学研究施設 助手
1985年 医学博士 (東京大学)
1986年 金沢工業大学工学部電子工学科 助教授
1991年 株式会社 ATR 視聴覚機構研究所 主幹研究員
1993年 株式会社 ATR 人間情報通信研究所 主幹研究員
1998年 株式会社 ATR 人間情報通信研究所 第四研究室長
2001年 株式会社 ATR 人間情報科学研究所 第一研究室長
2006年 フランス国立科学研究センター・パリ第3大学 海外招聘研究員
2012年 中国, 天津大学計算機科学技術学院 教授
現在に至る

実験音声科学 —— 音声事象の成立過程を探る ——

Experimental Speech Science

— In search of the generative processes of speech events —

© 一般社団法人 日本音響学会 2018

2018年8月20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 萩原印刷株式会社
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 <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-01339-9 C3355 Printed in Japan

(齋藤)



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。