

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)

## 刊行のことは

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読するには、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<sup>がい</sup>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<sup>1)†</sup>。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<sup>2)</sup>。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<sup>3)</sup>。図1.2は、Potterが申請した特許<sup>4)</sup>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。

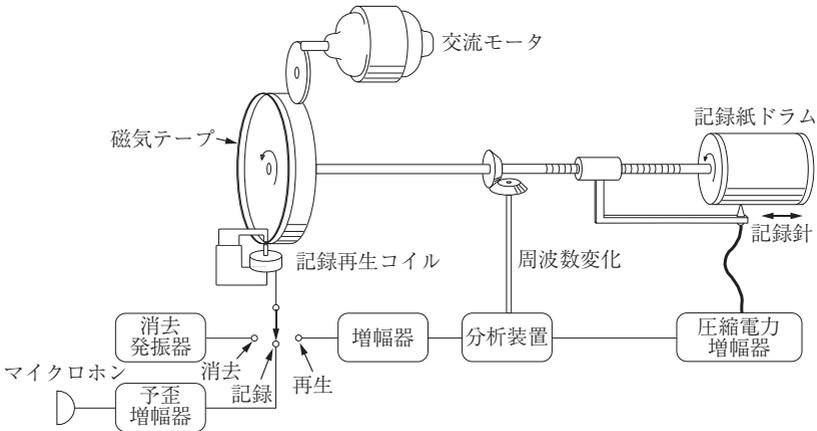


図 1.1 電気機械式サウンドスペクトログラフの録音分析描画機構<sup>3)</sup>。磁気記録円盤と記録紙ドラムは回転シャフトにより連結され、シャフト回転により記録針が記録紙ドラム上を移動する。記録された信号はシャフト回転に同期したヘテロダイン方式の分析装置により音声信号の周波数帯域が漸次変換され、その変換信号は単一のバンドパスフィルタを経たのちに振幅圧縮された帯域強度が導電紙上の周波数位置に出力される。予歪増幅器 (pre-distortion amplifier) はプリエンファシス用のハイパスフィルタに相当する。

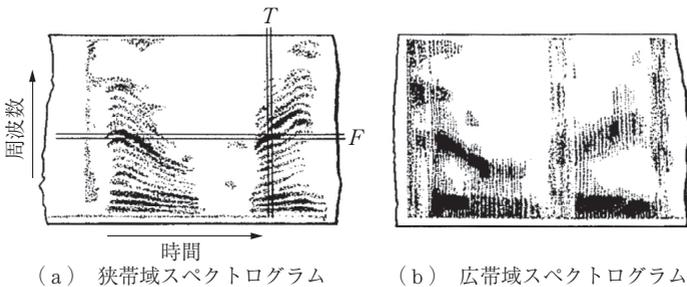


図 1.2 サウンドスペクトログラムの例<sup>4)</sup>。ヘテロダイン分析器からの出力信号を (a) 狭帯域 (45 Hz) および (b) 広帯域 (300 Hz) のバンドパスフィルタを介して描画したもの。図 (a) において時間軸上の点  $T$  における周波数軸上の成分  $F$  の強度がスペクトログラムに描画されることを示している。Potter は描画装置に露光針 (optical stylus) と写真フィルムを用いることにより、ポジ画像ないしネガ画像のスペクトログラムを作成することが可能であると記載している。

#### 4 1. 音声の性質

のスペクトログラム<sup>5)</sup>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。Joos<sup>6)</sup>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、Delattre<sup>7)</sup>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、Miller<sup>8)</sup>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<sup>9)~11)</sup>。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。

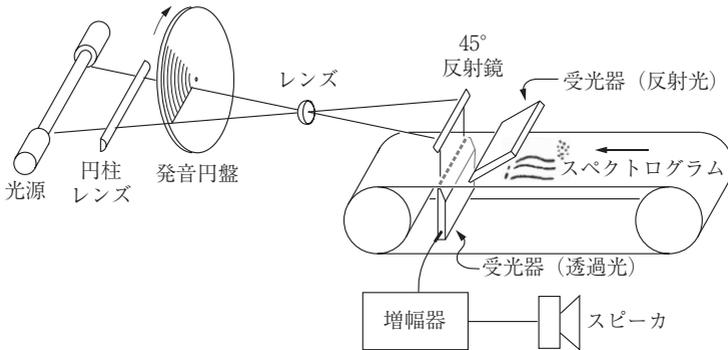


図 1.3 光学機械式音声合成装置パタンプレイバックの機構図。二つの回転ドラムによりサウンドスペクトログラムの写真フィルムあるいはフォルマントパターンを描いた透明フィルムを移動させることにより音声を合成することができた<sup>10)</sup>。発音円盤 (tone wheel) 上のフィルムには 50 チャンネルの通信周波数をもつ正弦波状の濃度変化パターンが描かれており、透過した照明光は光学系を介してスペクトログラム記録紙あるいは透明フィルムに投影される。各チャンネルの透過光あるいは反射光は受光器のフォトセルアレイにより読み取られ、バズ音源に含まれるフォルマント帯域内の高調波が増強されて合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

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

光電グロトグラフ法	28, 168	上 丘	113	声門面積波形	42, 166
光電ナゾグラフ法	20, 175	上縦舌筋	68	舌 窩	72, 152
喉頭運動野	113	上唇拳筋	68	舌 骨	56
喉頭下降	51	上側頭回	102	舌骨下筋群	46
喉頭キモグラフ法	168	上側頭溝	122	舌骨舌筋	68
喉頭鏡	165	情動回路	113	舌根の調音	154
喉頭共鳴	80, 135	小 脳	111	舌尖型	72
喉頭腔	89, 137	歯列間隙	79	舌体部	72
喉頭腔共鳴	80, 136	歯列間隙効果	80	舌端型	72
喉頭副次調音	59	歯列撮像	178	舌端部	72
喉頭枠組み機能	46	神経同期説	38	前鼻棘	88, 155
後鼻棘	88, 155	進行波説	14		
口輪筋	68			<b>そ</b>	
口輪筋周辺部	74	<b>す</b>		増強効果	86
声	24, 36	垂直舌筋	68	双鉤金属線電極	179
——の高さ	44	ステレオ側視型内視鏡	45	相対的な舌の大きさ	145
声立て時間	25, 57, 121	ストロボスコープ法	38, 165	側視型硬性内視鏡	165
声立て周波数	57	スペクトル全体モデル	4	側頭下顎関節	67
呼気圧	45, 53	スペクトル包絡説	153	側頭葉後部	123
呼気流計測	170	スペクトル包絡モデル	155	側輪状披裂筋	48
呼気流マスク	171			そり舌音	72
個人音色周波数領域	131	<b>せ</b>		そり舌母音	72
個人性情報	129	斉射説	16		
個人性特徴	80	声 帯	36, 164	<b>た</b>	
5段階説	54	声帯振動	37	第1フォルマント	4, 74
語頭強化	29	声帯長	45	帯状回	113
言葉の鎖	108	声帯張力	45	体積速度	170
固有基本周波数	20, 56	声帯突起	39	ダイナミックパラトグラフ法	
固有強度	20	声帯モデル	43		174
固有持続時間	20	正中矢状断面	176	第2フォルマント	4
		声 調	52	ダウンステップ	55
<b>さ</b>		静的目標理論	11		
サウンドスペクトログラフ	2	声 道	65	<b>ち</b>	
		——の形	87	中咽頭収縮筋	49
<b>し</b>		声道音響モデル	77	中脳水道周囲灰白質	112
磁気共鳴画像法	40, 87, 176	声道共鳴	89	調 音	65
磁気センサシステム	172	声道実体模型	139	——の安定化	82
視 床	111	声道断面積関数	87	調音位置	65
自然下降	52	声道長	149	調音運動	69
歯槽堤	157	声道変数	26	——の個人性	148
舌	67	声道模型	76	調音音韻論	26
——の相対サイズ	147	生物学的情報	92, 129	調音音声学	65
実時間 MRI 動画撮像法	72	声 門	40, 76	調音器官	65
実時間撮像法	177	声門下圧	45	調音強度	24
周波数転位フィードバック		声門閉開速度率	166	調音結合	70, 84, 117
	115	声門開放時間率	166	調音ジェスチャ	26
周波数同調曲線	14	声門下腔共鳴	86	超音波断層法	174
主声道	138	声門下腔結合効果	80	調音譜	26
主成分分析法	73	声門気流音源	41	調音モデル	73, 110
主要調音	76	声門気流雑音	76	調音様式	65
上咽頭収縮筋	69	声門気流波形	42	調音枠組み空間	157

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

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