

日本音響学会 編
The Acoustical Society of Japan

音響サイエンスシリーズ 17

聞くと話すの脳科学

廣谷定男
編著

寛 一彦 辰巳 格
皆川泰代 持田岳美
渡辺眞澄

共著

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)

菅木 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、音の聴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、音を聴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っかけになれば、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

音声はいうまでもなく人間のコミュニケーションにおける最も重要なメディアの一つである。最近の情報処理技術と機器の進歩によって文字・画像メディアによる伝達・表示が容易になり盛んに使われるようになってきているが、音声はコミュニケーションの中心であることに変わりはない。音声コミュニケーションにおいては「話す」と「聞く」を一連の過程としてとらえることが必要となる。「話す」過程では人が伝えたい意図は脳から始まり音声の形をとって空間に放射され、「聞く」過程ではそれを聴覚器官で受けて脳情報処理によって理解される。この途中の音声という形態は一連の過程の中で容易に観測、記録され、また刺激としての操作も簡単に実現されるため、これまでほとんどの音声研究（特に工学的音声情報処理）では、音声信号を中心として、「生成（合成）」と「知覚（認識）」を個別に扱ってきた。

これまでも音声知覚に関して、1960年代から運動理論（the motor theory of speech perception）という生成と知覚を結びつけた説が提唱されたが、具体的内容を欠いたために一種の哲学ととらえられ、1990年代以降は風化しかけていた。しかし、脳科学の進展によりミラーニューロンが発見され、再び運動理論が注目を集めている。

また、音声生成に関して、「話す」ことは自らの音声を「聞く」ことが含まれるため、ロンバード効果や遅延聴覚フィードバックなど、知覚が生成に影響を及ぼすことが古くから知られている。しかし近年、音声信号処理技術の進歩により、リアルタイムに音声を変換することが可能となり、音声生成における聴覚フィードバックの研究に再び注目が集まっている。

当然ながら、脳は「話す」と「聞く」の両方に対して中心的役割を果たしている。これらをふまえ、本書では、「生成」と「知覚」を一体化し、脳を中心

とする見方で音声研究を記述することを目指した。その構成は以下のようになっている。

1章は、まず音声生成と知覚の仕組みについて述べた。この分野を専門としない人でも2章以降の理解が容易となるように生成と知覚の機構についての基本的な解説を行うとともに、調音器官への神経指令および聴覚末梢系より高次の神経機構について述べた。また、音声知覚の課題とそれらがどのように解決されるべきかについての考え方を解説した。

2章は、音声知覚の運動理論とその根拠となる両耳分離聴、正弦波音声、マガーク効果などの知覚現象について、聴覚説と対比しつつ説明した。また、ミラーニューロンや脳機能計測による活動部位と知覚の関係について述べた。

3章は、発話時の自己音声のモニタリングシステムが、発話に与える影響について、遅延聴覚フィードバック (DAF)、変形聴覚フィードバックなどがもたらす効果から発話経路と知覚の関係を論じた。

4章は、言語獲得段階にある乳幼児の発話と聴覚の発達の関係から発話機能と知覚の関係について解説した。音声言語の獲得にはある程度の時間を要する。獲得過程を知ることは、音声の生成・知覚系の解明にとって重要である。

5章は、加齢による聴覚機能の低下と音声知覚特性を解説した。また、失語症における脳内の言語情報処理ルートモデルについて述べた。

6章は、今後の音声科学、特に脳科学が果たしうる役割とこれからの展望を論じた。

本書では、最新の音声脳科学の研究成果を多く取り上げ、これらに共通のメカニズムを論じることに努めた。50年以上続く人間の「話す」と「聞く」のメカニズムの解明においては、この10年で大きな進展が見られたが、いまなお道半ばである。今後のさらなる発展に向けて、本書が役に立てば幸いである。

2017年9月

著者一同

日人社

執筆分担

廣谷定男	1 章, 2 章, 3 章, 6 章
笈 一彦	1 章, 2 章
辰巳 格	5 章
皆川泰代	4 章
持田岳美	3 章
渡辺眞澄	5 章

目 次

第1章 音声生成と知覚の仕組み

1.1 音声生成と知覚研究の流れ	1
1.2 音声生成機構	4
1.2.1 音 声 器 官	4
1.2.2 音声の生成過程	5
1.2.3 音声生成の神経基盤	8
1.3 聴 覚 の 機 構	9
1.3.1 聴覚器官の構造	9
1.3.2 機械的振動から神経信号への変換	11
1.3.3 音声知覚の神経基盤	12
1.3.4 総合的な聴覚特性（心理物理的特性）	12
1.4 音声コミュニケーション	17
1.5 音声生成・知覚の特性とそのモデル化	24
1.5.1 音声生成の特性	24
1.5.2 音声生成のモデル	28
1.5.3 音声知覚の特性とそのモデル	30
1.5.4 音声コミュニケーションとしての課題	45
引用・参考文献	48

第2章 発話から音声知覚へ

2.1 運動理論の展開	52
2.1.1 音声処理の特殊性と処理の枠組み	52
2.1.2 運動理論の変遷	54

2.1.3 生理的知見と運動理論の見直しへの展開	57
2.2 発話から音声知覚における諸現象と運動理論	57
2.2.1 音声知覚における処理	57
2.2.2 カテゴリー知覚	59
2.2.3 部分情報しか持たない音声	61
2.2.4 二重知覚	63
2.2.5 マガーク効果	63
2.3 音声知覚とミラーニューロン	64
2.3.1 脳機能計測による検証	64
2.3.2 音声知覚の二重経路モデル	66
2.3.3 新しいアプローチによる検証	69
2.3.4 脳機能計測における今後の課題	72
引用・参考文献	72

第3章 音声生成における聴覚フィードバック

3.1 運動制御の観点から見た音声生成	77
3.2 聴覚フィードバック摂動環境での発話運動	80
3.2.1 フォルマント周波数摂動	81
3.2.2 基本周波数摂動	89
3.2.3 タイミング摂動	95
3.2.4 周波数摂動とタイミング摂動の併用	100
3.2.5 最近の新しいアプローチ	101
3.3 体性感覚フィードバック摂動環境での発話運動	102
3.4 聴覚フィードバックに関与する脳内メカニズム	105
3.4.1 フィードバック摂動時の脳機能計測	106
3.4.2 発話脳機能モデル	107
3.4.3 発話障がい者に対する変形聴覚フィードバック実験	109
引用・参考文献	112

第4章 乳幼児の発達における音声知覚生成相互作用

4.1	乳幼児の音声言語脳機能研究	119
4.2	音声言語知覚の発達	120
4.2.1	分節音（音韻）	121
4.2.2	分節音：音韻知覚の脳反応と後の言語発話能力	127
4.2.3	超分節音：語彙的アクセント	130
4.2.4	超分節音：センテンスの韻律	131
4.2.5	声の認識と感情プロソディ	133
4.2.6	分節音・超分節音の獲得と左右大脳半球の側性化	134
4.2.7	単語の切り出し	136
4.2.8	音素配列規則	138
4.2.9	語彙獲得	139
4.2.10	規則の抽出・学習と文法	140
4.3	母子愛着，対乳児音声と音声獲得	143
4.3.1	母子愛着が音声獲得の脳内機構に与える影響	144
4.3.2	対乳児音声が生得の脳内機構に与える影響	146
4.4	音声の知覚生成相互作用と多感覚統合	150
4.4.1	知覚的狭小化とシノプスの刈り込み	151
4.4.2	マガーケ効果	153
4.4.3	発話者の顔の注視特徴と音声獲得	156
4.4.4	音声口形マッチング	159
4.4.5	連続音声知覚と視聴覚情報	161
4.4.6	感覚運動情報としての視聴覚知覚	162
4.5	まとめと展望	166
	引用・参考文献	167

第5章 脳における音声の知覚と生成

—言語の加齢変化と失語症—

5.1	加齢と脳損傷が脳内での音声言語情報処理に与える影響	177
-----	---------------------------	-----

5.2 老人性難聴と音声知覚	179
5.2.1 老人性難聴の出現率	179
5.2.2 加齢による聴力低下の速さ	180
5.2.3 残響の影響	182
5.2.4 雑音の影響	183
5.2.5 補聴器	192
5.2.6 発話への影響	193
5.3 脳における音声言語情報の流れ	195
5.3.1 古典論	195
5.3.2 失語症のおもな言語症状	199
5.3.3 現代版の音声言語処理ルート—腹側路の登場	204
5.4 失語症状のシミュレーション	213
5.4.1 単語の復唱, 理解, 発話のコネクショニストモデル	213
5.4.2 ネットワークを損傷させる—失語症状のシミュレーション	217
5.5 まとめと課題	221
引用・参考文献	223

第6章 音声脳科学研究の課題と今後の展望

6.1 「聞くと話す」の相互作用の時間発展	227
6.2 外国語音声学習	230
6.2.1 外国語音声学習と「聞くと話す」の相互作用	230
6.2.2 発話リズム	232
6.3 コンピュータの「聞くと話す」	233
6.4 おわりに	235
引用・参考文献	236

第1章

音声生成と知覚の仕組み

1.1 音声生成と知覚研究の流れ

ネットワークを介した種々のコミュニケーションの手段が盛んに使われているものの、日常のコミュニケーションは音声为主体であることに変わりはない。このとき相手にどのようなことを伝えるか、相手の意図はなにかについては意識されていても、発話動作や相手の言葉を聞き取ることについてはほとんど意識することなくコミュニケーションが行われている。

ところが外国語を話す・聞くということになると多くの場合母語と異なり相当の意識的努力が必要である。また、脳血管障害などによりいわゆるウェルニッケ野やブローカ野などの脳の部位に障害が起きた場合には、話す、聞く、読む、ことばの理解といったことに困難が生じる。このようなことから明らかなように、音声生成に直接関わる発話器官と音声知覚に関わる聴覚器官とともに、話すこと、聞くことについては脳が中心的役割を果たしている。

このような音声コミュニケーションについての研究はどのように行われてきたのであろうか。言語の科学に関する分野では音声学といえるものが古くから存在し、音声の聞こえとその記述、符号化といったことに関わり、音韻論は対象とする言語における言語音声の記述と、そこに内在する規則に関わる研究を行ってきた。

そもそも言語の文字表記ができる過程は、音声学の起源であるともいえる。言語の表記にはアルファベットのようないくつかの表音文字と漢字のような表意文字があ

2 1. 音声生成と知覚の仕組み

る。表音文字を作るためには多くの試みが行われたものと考えられる。サンスクリット語を表記するために使われた悉曇^{しったん}（梵字）は日本には8世紀頃に伝えられたといわれる。調音に関する知識に基づき「あいうえお」50音図は作られている。表意文字についてはその読み方を指定する必要がある、古くから中国でその方法が検討されてきた。その結果古い時代の漢字の読み方を推定することが可能で、万葉仮名を用いて表記された古代の日本語についてもその音形を推定することができる。

言語を使いこなす能力は人間に限られているので、その脳活動にせまるための手法はきわめて限られる。近年になって非侵襲で脳活動を観測できる **fMRI** (functional magnetic resonance imaging, 機能的磁気共鳴画像法), **MEG** (magnetoencephalography, 脳磁図), **EEG** (electroencephalography, 脳波) あるいは直接脳活動に働きかけることができる **TMS** (transcranial magnetic stimulation, 経頭蓋磁気刺激法) の使用が可能となってきたが、それ以前は音声生成器官の運動により産出される音声信号と、その聞こえを中心とした研究が展開されてきた。その関連する研究領域は主として音声学（言語学）、聴覚心理学、言語発達・学習、神経科学、神経心理学、認知科学、音響学、音声情報工学など広い分野にわたる学際的分野である。

1章の内容を紹介するにあたって、話の筋を簡単にするために音声学の分類に沿って話を進める。音声学はおおよそ調音音声学、聴覚音声学、音響音声学の三つに分けられる。

調音音声学は、主として発話時の音声と調音運動の関係を主観的にとらえて音形記述を行うもので、古くから研究されてきたが、種々の発話器官運動の観測方法の進展により客観的な記述が可能となってきた。それらはパラトグラフに始まり、レントゲン（X線透過映像）、X線マイクロビーム、超音波エコー、磁気センサシステム、MRI などがある。この結果に基づいて発話器官の運動・形状によってどのような音声が生産されるかを計算によって推定することが可能となった。**EMG** (electromyography, 筋電図) に関する研究も行われているが、脳からの運動指令についてはよくわかっていないことが多い。

聴覚音声学は、音声の音形と知覚の関係を求めるものである。音響音声学は口より空間に放射された音声信号を分析してその性質を調べるところにあるが、サウンドスペクトログラムに始まる音声の分析技術は、その後の音声信号処理技術の進展と計算機能力の著しい向上とがあいまっておおいに発展し、調音運動と生成された音声信号の関係を明らかにした。このような知見と技術をもとに種々の音声信号刺激を作成することができるようになり、広義の調音音声学は発展した。また、一般の音響信号や音声进行操作・変形し、種々の環境条件で聞かせることが容易となったため、聴覚の機能について多くのことが判明した。脳の聴覚野へ至る神経系についてもよくわかっていない点が多い。

このように音声科学としては多くのことが明らかになってきたにもかかわらず、音声信号が与えられたときの知覚について具体性のある脳科学的モデルは存在していないといつてよい。最近の音声情報処理技術の進歩により機械（自動）音声認識や音声合成の性能は向上しているが、その性能は単純に正答率や自然性の側面で品質を比較してみても人間には及ばない。

音声知覚についてのこれまでの取り組みは実験室的環境で得られる「きれいな」音声に対する音素系列を求めることが焦点となっていた。しかし、現実的な環境では、音声聴取に必要とされる**聴覚情景分析** (auditory scene analysis) の考え方やたとえ「きれいな」音声を対象としたとしても調音結合など解決されるべき課題に着目する必要がある。その点をふまえると、一般の音響信号と同様に音声も処理されるという**聴覚説**とコミュニケーション、すなわち音声生成と知覚を一体としてとらえる**運動理論** (motor theory) の枠組みが重要となる。

本章では、音声生成と知覚の仕組み、特性とそのモデル化について述べる。さらに、音素の弁別素性、音素特徴、調音結合、音素修復現象について説明し、時間的に分散して存在する音素特徴の知覚的統合や母語による知覚的制約について述べる。

1.2 音声生成機構

1.2.1 音声器官

音声は、肺、気管、喉頭、咽頭腔、口腔、鼻腔などにより構成される音声器官から空気の振動として生成される（図 1.1）。肺は音源生成のために空気を押し出す役割を果たす。押し出された空気は喉頭にある声帯（図 1.2）を通り、母音生成時には、声帯にある左右のヒダが接近し、肺からの空気がヒダを震わせて声帯振動が生じ、ブザー音のような音源を生成する。このブザー音の基本周波数が母音における**基本周波数**（声の高さ、 F_0 ）となる。一般に、声帯のヒダの長さは男性の方が女性よりも長いので、男性の声の高さは女性よりも低い。声帯は甲状軟骨に付着しており、甲状軟骨を回転させることにより、声の高さを変えることができる。つまり、音声におけるイントネーションやアクセントは喉頭が作り出している。一方、摩擦子音や破裂子音生成時には、左右のヒダが広がることにより、声帯振動が生じず、声帯から多くの空気を通す。

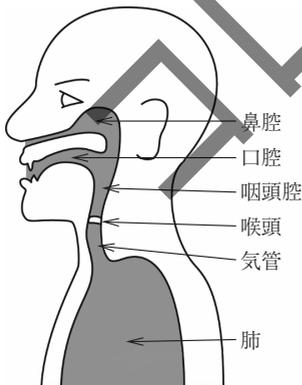


図 1.1 音声器官

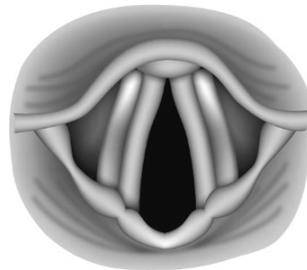


図 1.2 上から見た声帯

咽頭腔、口腔、鼻腔は合わせて声道と呼ばれ、音源が筒状の空間である声道を共鳴させることで音声が生じられる。声道は、舌、顎、唇、軟口蓋などの動かすことのできる調音器官と、硬口蓋、咽頭壁などの動かすことのできない声

道壁で囲まれた空間で、非常に複雑な三次元形状である。意図的に変えることができない声道形状（例えば梨状窩^{りじょうか}）は、音声の個人性と関連していると考えられている。声道の長さも一般に女性よりも男性の方が長く、成人男性で約 17 cm、成人女性で約 14 cm である。声道の共鳴周波数はフォルマント周波数とも呼ばれ、周波数が低い方から順番に**第1フォルマント周波数 (F_1)**、**第2フォルマント周波数 (F_2)** のように呼ぶ。調音器官を動かすことで、声道の形状が変わり、母音 /a/ や /i/ などに対応した音響的特徴（フォルマント周波数）が生まれる。音源は、母音では声帯振動によるブザー音であるが、摩擦子音では口腔内の狭めによる乱流雑音であり、破裂子音では口腔内における閉鎖と開放による破裂性の雑音である。これら音声器官はいずれも筋肉を収縮、弛緩することにより制御される。より詳細な情報は文献¹⁾†を参考のこと。

1.2.2 音声の生成過程

〔1〕 **母音** 母音は、声帯振動により作られるブザー音のような音源が声道を通ることにより生成される。声道の形状を変えることで、音源の特定の周波数（フォルマント周波数）が強められ、母音 /a/ や /i/ などに対応した音声スペクトルが作り出される。母音の音声スペクトルにおいて、櫛の歯先が F_0 とその倍音、山のピークがフォルマント周波数を表している（図 1.3）。

フォルマント周波数と声道形状の間には母音四角形として知られる密接な関係がある。舌の高さと第1フォルマント周波数、舌の前後方向の位置と第2フォルマント周波数の間にそれぞれ相関があり、例えば、口を開けると第1フォルマント周波数が高くなり、舌を前に出すと第2フォルマント周波数が高くなる。第1フォルマント周波数と第2フォルマント周波数は母音を特徴づける重要なパラメータである。図 1.4 に日本語 5 母音の第1フォルマント周波数と第2フォルマント周波数の分布を示す²⁾。第1フォルマント周波数と第2

† 肩付数字は各章末の引用・参考文献番号を表す。

索引

あ		
アイカメラ	157	
い		
異音	21	
意味記憶	204	
意味素性	190	
意味認知症	204	
意味のハブ	206, 207	
韻律	230	
う		
ウエルニッケ	195	
ウエルニッケ野	12, 195	
ウエルニッケー リヒトハイム	178	
運動指令	8, 77	
運動前野	8, 64	
運動誘発電位	65	
運動理論	3, 20, 34, 53	
え		
エピソード記憶	204	
縁上回	66	
お		
音		
——の大きさ	12	
——の高さ	12	
——の強さ	13	
音圧レベル	13	
音韻	230	
音韻意識	197	
音韻失読	200	
音韻性短期記憶	165	
音韻操作	200	
音響音声学	2	
音響的次元	44	
音響特徴	35	
音源	28	
音源-フィルタモデル	28	
音声器官	28	
音声合成	26, 233	
音声知覚の単位	36	
音声認識	26, 233	
音節	20, 69	
音素	69	
音素修復	32	
音素特徴の時間的分散	38	
音素に不変な特徴	26	
音素配列規則	138	
か		
外国語音声学習	231	
開モジュール	56	
外有毛細胞	11	
かき混ぜ文	191	
蝸牛	10	
角回	66	
拡散テンソル		
イメーjingク	209	
カクテルパーティ効果	17, 33	
隠れマルコフモデル	233	
下縦束	208	
下前頭回	66	
下前頭後頭束	208	
カテゴリー知覚	59	
感覚情報貯蔵	35	
感音性難聴	192	
喚語困難	199	
き		
聞きなし	32	
吃音症	109	
基底膜	11	
気導音	88	
機能側性化	124	
機能的近赤外分光法	119	
機能的磁気共鳴		
画像法	64, 119	
基本周波数	4	
弓状束	202	
筋電図	91	
け		
経頭蓋磁気刺激法	65	
ゲシュタルト原理	20	
血行動態反応関数	129	
言語依存性	41	
言語横断的	33	
言語的次元	44	
言語特異的	120	
言語普遍的	120	
こ		
語彙的アクセント	130	
語彙爆発	139	
鉤状束	208	
甲状披裂筋	91	
合成による分析	234	
呼吸筋	104	
骨導音	88	
古典分類	199	
ことばの鎖	17	
コネクションリスト	213	
固有受容	22	
さ		
最外包複合体	208	
錯語	201	
雑音置換	32	
作動記憶	192	
残効	90	
し		
子音	6	
子音間母音挿入	42	
ジェスチャ	30, 56	
時間分解能	16	
磁石効果	61	
視床	109	
事象関連電位	92, 119	
耳小骨	10	
失読失書	210	

失文法	199	対乳児音声	144, 146	二重知覚	63
シナプス	151	大脳基底核	109	ね	
——の刈り込み	152	段階的接近	203		
自閉症	110	短期記憶	35	音色	13
社会的相互作用	143	ち		の	
ジュウシマツ	94	知覚的狭小化	150	脳機能計測	9, 70
周波数分解能	16	知覚的体制化	24	脳機能結合	142
主語関係節文	190	知覚的統合	38	脳波	119
純粹語啞	198	注意	89	は	
純粹語聲	199	中縦束	208	背側経路	66, 164
純粹失読	210	調音音声学	2	パーキンソン病	110
ショウジョウ		調音逆推定問題	27	パタンプレイバック	60
——コウカンチョウ	104	調音結合	21, 25	パタンマッチング	54
上側頭回	66	調音-聴覚マッピング	67	発語失行	198
処理資源	192	聴覚音声学	2	発語障がい	70
シルビウス裂	201	聴覚情景分析	3, 20, 56	発語適応	82
信号依存的側性化	134	聴覚説	3, 20	発語リズム	232
人工内耳	103, 104, 228	聴覚皮質	209	はね返りスピーカ	18
新生児模倣	159	聴覚フィードバック	9, 79	ハラ言語情報	18
深層学習	54, 233	聴覚フィルタ	14	破裂子音	6
心像性	183	聴覚モデル	108	ひ	
心的辞書	20	聴覚野	8, 12, 66	皮質脳波記録	71, 107
親密度	183	聴覚抑制	107	左半球優位性	124
心理的実在性	52	長期記憶	35	ピッチアクセント	31, 130
心理物理的周波数		超分節音	120	表象	22
——同調曲線	14	聴力図	179	表層失読	207
す		つ		頻度	183
ストレスアクセント	31	追従応答	84	ふ	
せ		て		フィードバック制御	67, 77
正弦波音声	62	伝音性難聴	192	フィードフォワード	
声道	28	電気声門図	29, 102	制御	67, 77
声道モデル	28	伝導失語	201	フォルマント周波数	80
接近行為	203	と		腹側経路	66
遷移確率	140	島	201	腹話術効果	64
線形予測符号化	28, 102	統計学習	120	不変的特徴	21
選好注視法	136	特異的言語発達障害児	191	ブローカ	195
選択的注意	192	特殊モーラ	38	ブローカ失語	196
前庭窓	10	独話	17	ブローカ野	8, 195
そ		トラクトグラフィ	209	ブロードマンの脳地図	197
側化指数	124	な		分割的注意	192
側頭声領域	133	内有毛細胞	11	分節音	120
た		喃語	108	分節化	136
第1フォルマント周波数	5	難聴	228	文脈自由性	34
第2フォルマント周波数	5	に		へ	
体性感覚フィードバック	87	二重経路モデル	66	閉モジュール	56
体性感覚野	9				

ほ		み		領域一般的	213
母音	5	ミラーニューロン	57	領域特異的	213
母子相互作用	144	も		両耳機能	16
補償応答	79	目的語関係節文	191	量子説	27
補足運動野	68, 109	模倣	159	両耳分離聴	17
補聴器	104	モーラ	20	臨界帯域	15
ま		り		輪状甲状腺筋	91
マガーク効果	63	離散性	34	ろ	
摩擦子音	7	領域依存的側性化	135	老人性難聴	179
マスキング現象	14			ロンバート効果	17
◇					
A		F		motor evoked potentials	65
A-b-S	234	F ₀	80	P	
analysis-by-synthesis	53, 234	F ₁	5	pa-pal 課題	37
ASD	110	F ₂	5	PEAR	102
AST 理論	69	fMRI	2, 64	perceptual narrowing	150
C		fNIRS	119	phonotactics	138
C/D モデル	30, 36	G		PMC	64
cross-linguistic	33	general slowing 説	192	premotor cortex	64
D		gesture	30	S	
deep neural network	233	H		signal-driven	
dichotic listening	17	hemodynamic response		lateralization	134
direction into velocities of		function	129	SMA	68
articulators	30	hidden Markov model	233	SN 比	14
DIVA	30	HMM	54, 233	speaking-induced	
DIVA モデル	107	HRF	129	auditory suppression	107
DNN	233	I		speech chain	17
domain-driven		IFG	66	STG	66
lateralization	145	inferior frontal gyrus	66	superior temporal cortex	66
E		L		supplementary motor area	68
ECoG	71, 107	Lombard 効果	77	T	
EEG	2, 69	LPC	28, 102	TMS	2, 65
EGG	29, 102	M		V	
electrocorticography	71	Maeda モデル	108	VCV	36
electroglottography	29	MEG	2, 69	voice onset time	7
EMG	2, 91	MEP	65	VOT	7, 101
ERP	92	mismatch negativity	122	W	
		MMN	122	wh-移動	191
				wh-句	191

— 編著者・著者略歴 —

廣谷 定男 (ひろや さだお)

- 1999年 東京理科大学理学部第一部応用数
学科卒業
2001年 東京工業大学大学院総合理工学研
究科修士課程修了 (知能システム
科学専攻)
2001年 日本電信電話株式会社勤務
2006年 東京工業大学大学院総合理工学研
究科博士課程修了 (物理情報シ
テム専攻)
博士 (工学)
2007年 ボストン大学客員研究員
～08年
2017年 NTT コミュニケーション科学基
礎研究所主任研究員 (特別研究員)
現在に至る

辰巳 格 (たつみ いたる)

- 1967年 電気通信大学電波通信学部通信工
学科卒業
1969年 電気通信大学大学院電波通信研究
科修士課程修了
1972年 東京都老人総合研究所勤務
1989年 医学博士 (東京大学)
1990年 東京都老人総合研究所グルー
プリーダー
2005年 LD・Dyslexia センター理事 (研
究顧問)
現在に至る

寛 一彦 (かけひ かずひこ)

- 1965年 早稲田大学理工学部電気工学科
卒業
1967年 早稲田大学大学院理工学研究科修
士課程修了 (電気工学専攻)
1967年 日本電信電話公社勤務
1993年 博士 (工学) (早稲田大学)
1994年 名古屋大学大学院教授
2004年 名古屋大学名誉教授
2004年 中京大学教授
～12年
2004年 中京大学人工知能高等研究所研
究員
現在に至る

皆川 泰代 (みながね やすよ)

- 1993年 国際基督教大学教養学部語学科
卒業
2000年 東京大学大学院医学系研究科博士
課程修了 (脳神経医学専攻)
博士 (医学)
2001年 日本学術振興会特別研究員 (PD)
2004年 科学技術振興機構 CREST 研究員
2006年 ロンドン大学客員研究員, フラン
ス ENS-EHESS-CNRS 研究員
2008年 慶應義塾大学特任准教授
2013年 慶應義塾大学准教授
2017年 慶應義塾大学教授
現在に至る

持田 岳美 (もちだ たけみ)

- 1992年 早稲田大学理工学部電気工学科卒業
- 1994年 早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了(電気工学専攻)
- 1994年 日本電信電話株式会社勤務
現在に至る
- 2011年 博士(システム情報科学)(はこだて未来大学)

渡辺 眞澄 (わたなべ ますみ)

- 1989年 神奈川大学外国語学部英語英文学科卒業
- 1991年 国際基督教大学教育学研究科博士前期課程修了
- 1994年 伊豆韮山温泉病院勤務
- 1998年 多摩リハビリテーション学院専任教員
- 2004年 名古屋大学大学院人間情報学研究科博士課程単位取得後退学
- 2007年 博士(学術)(名古屋大学)
- 2007年 新潟医療福祉大学准教授
- 2013年 県立広島大学准教授
現在に至る

資料

聞くと話すの脳科学

The Brain Science of Speech Perception and Production

© 一般社団法人 日本音響学会 2017

2017年11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 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 978-4-339-01337-5 C3355 Printed in Japan

(三上)



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。