

日本音響学会 編
音響テクノロジーシリーズ 25

聴覚・発話に関する 脳活動観測

工学博士 今泉 敏 編著

博士（理学） 軍司 敦子

博士（医学） 皆川 泰代

博士（理学） 能田由紀子

博士（人間・環境学） 河内山隆紀

博士（学術） 中澤 栄輔

共 著

コロナ社

音響テクノロジーシリーズ編集委員会

編集委員長

千葉工業大学
博士（工学） 飯田 一博

編集委員

東北学院大学
博士（情報科学） 岩谷 幸雄

甲南大学
博士（情報科学） 北村 達也

滋賀県立大学
博士（工学） 坂本 眞一

国立音楽大学
博士（工学） 三浦 雅展

千葉工業大学
博士（工学） 大川 茂樹

東京大学
博士（工学） 坂本 慎一

神戸大学
博士（工学） 佐藤 逸人

（五十音順）

（2021年3月現在）

発刊にあたって

音響テクノロジーシリーズは1996年に発刊され、以来20年余りの期間に19巻が上梓された。このような長期にわたる刊行実績は、本シリーズが音響学の普及に一定の貢献をし、また読者から評価されてきたことを物語っているといえよう。

この度、第5期の編集委員会が立ち上がった。7名の委員とともに、読者に有益な書籍を刊行し続けていく所存である。ここで、本シリーズの特徴、果たすべき役割、そして将来像について改めて考えてみたい。

音響テクノロジーシリーズの特徴は、なんといってもテーマ設定が問題解決型であることであろう。東倉洋一初代編集委員長は本シリーズを「複数の分野に横断的に関わるメソッド的なシリーズ」と位置付けた。従来の書籍は学問分野や領域そのものをテーマとすることが多かったが、本シリーズでは問題を解決するために必要な知見が音響学の分野、領域をまたいで記述され、さらに多面的な考察が加えられている。これはほかの書籍とは一線を画するところであり、歴代の著者、編集委員長および編集委員の慧眼の賜物である。

本シリーズで取り上げられてきたテーマは時代の最先端技術が多いが、第4巻「音の評価のための心理学的測定法」のように汎用性の広い基盤技術に焦点を当てたものもある。本シリーズの役割を鑑みると、最先端技術の体系的な知見が得られるテーマとともに、音の研究や技術開発の基盤となる実験手法、測定手法、シミュレーション手法、評価手法などに関する実践的な技術が修得できるテーマも重要である。

加えて、古典的技術の伝承やアーカイブ化も本シリーズの役割の一つとなろう。例えば、アナログ信号を取り扱う技術は、技術者の高齢化により途絶の危

機にある。デジタル信号処理技術がいかに進んでも、ヒトが知覚したり発したりする音波はアナログ信号であり、アナログ技術なくして音響システムは成り立たない。原理はもちろんのこと、ノウハウも含めて、広い意味での技術を体系的にまとめて次代へ継承する必要があるだろう。

コンピュータやネットワークの急速な発展により、研究開発のスピードが上がり、最新技術情報のサーキュレーションも格段に速くなった。このような状況において、スピードに劣る書籍に求められる役割はなんだろうか。それは上質な体系化だと考える。論文などで発表された知見を時間と分野を超えて体系化し、問題解決に繋がる「メソッド」として読者に届けることが本シリーズの存在意義であるということのを再認識して編集に取り組みたい。

最後に本シリーズの将来像について少し触れたい。そもそも目に見えない音について書籍で伝えることには多大な困難が伴う。歴代の著者と編集委員会の苦労は計り知れない。昨今、書籍の電子化についての話題は尽きないが、本文の電子化はさておき、サンプル音、説明用動画、プログラム、あるいはデータベースなどに書籍の購入者がネット経由でアクセスできるような仕組みがあれば、読者の理解は飛躍的に向上するのではないだろうか。今後、検討すべき課題の一つである。

本シリーズが、音響学を志す学生、音響の実務についている技術者、研究者、さらには音響の教育に携わっている教員など、関連の方々にとって有益なものとなれば幸いである。本シリーズの発刊にあたり、企画と執筆に多大なご努力をいただいた編集委員、著者の方々、ならびに出版に際して種々のご尽力をいただいたコロナ社の諸氏に厚く感謝する。

2018年1月

音響テクノロジーシリーズ編集委員会
編集委員長 飯田 一博

ま え が き

本書では聴覚・発話に関する脳活動観測のテクニックを解説する。研究対象者に苦痛や侵襲を与えることが少なく、医師免許など特別な資格をもたない研究者や大学院生でも十分訓練すれば安全に活用でき、かつ発話と聴覚の研究に適したテクニックを対象とした。結果として選択されたのは、脳波 (EEG)、脳磁図 (MEG)、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI)、機能的近赤外分光法 (fNIRS) である。これらのテクニックは、脳障害の診断や研究のために従来から医学分野で活用されてきたものである。しかし近年では、脳と心のより深い理解、人のコミュニケーション行動や社会活動の理解、AI (人工知能) や BMI (brain machine interface) など、新技術の研究開発などに必須の基礎的知見を得る方法として、医学系のみならず理工系や文系など、多彩な分野で活用される基盤的研究テクニックになってきている。

1章では、これらのテクニックの得失、相互関係を概説する。複数のテクニックを活用し、それぞれの得失を補い合い、より深い理解を引き出す研究も視野に入れた解説を試みた。2章では、これらのテクニックを理解するために必要な基礎概念を概説する。

3章では、最も長い歴史をもつ脳波 (EEG) を詳しく解説する。EEG は、他の方法に比べて安価で比較的取り扱いやすく、脳活動の時間的特性の解析に適しており、脳の複数部位の同期的な共振活動の解析などでも活用されている。

4章では、1980年代に実用化された脳磁図 (MEG) を解説している。EEG と同じように脳活動の時間的特性の解析が得意で、活動部位の推定が EEG よりも正確にできるとされる。ただし、地磁気より7~8桁小さい微弱な脳磁界を超電導素子で計測する装置は、EEG に比べて高価で維持経費も安くないため、活用例は EEG より少ない。

5章では、最も新しい方法である機能的近赤外分光法（fNIRS）を取り上げる。fNIRSは特に赤ちゃんの脳機能発達研究などで威力を示し、ここ15年間で研究報告が顕著に増加している。fMRIに比べて騒音がなく研究対象者の動きを拘束する制約が小さく、自由度が大きいなどの利点がある。ただし、観測可能な脳部位が皮質表面に限局されるという制約がある。

6章では、40年ほど前に実用化されたfMRIを解説する。fMRIは脳の深部の活動も計測でき、活動部位の推定精度が高いという強みもあって研究論文は急速に増加し、現在最も活発に活用される方法となっている。解剖学的構造を撮影する（fの付かない）MRIで脳の詳細な構造を観測し、その結果にMEGやfMRIで得られた活動を重畳（マッピング）させ、脳のどの部位がどのタイミングでどのように活動したかを調べるテクニックとしても活用される。ただし、強い磁場を振動させる必要があるため、騒音が大きく、磁性体を体内外に身に着けている場合には計測の対象外になるといった制約もある。

7章では、研究倫理の三原則「人格の尊重原則」、「善行原則」、「正義原則」を基盤として、脳機能研究の倫理を解説する。研究目的の明確化、研究対象者数設定の統計学的根拠や科学的妥当性、研究実施に伴うリスク評価とその低減法、説明同意文書の理解可能性、脳機能研究が心の研究であるということを意識したプライバシーと個人情報保護、偶発的所見への対処といった倫理的妥当性の重要性を示す。

諸般の事情で発行が予定よりかなり遅れてしまったにもかかわらず、執筆を分担して下さった皆様のご協力、日本音響学会音響テクノロジーシリーズ編集委員会の北村達也先生やコロナ社の粘り強いご支援に心から感謝する。

2022年7月

今泉 敏

執筆分担

今泉 敏：1章、2章、4章	軍司 敦子：3章
皆川 泰代：5章	能田由紀子：6章
河内山隆紀：6章	中澤 栄輔：7章

目 次

❧ 1. 聴覚・発話に関する脳活動観測のテクニック ❧

1.1 脳活動観測手法	1
1.2 時間分解能と空間分解能	4
1.3 脳機能研究の流れ	6
引用・参考文献	8

🌊 2. ヒトの脳の構造と機能 🌊

2.1 脳部位の表し方	9
2.2 脳の解剖的構造	13
2.3 側頭葉の構造と機能	15
2.4 頭頂葉の構造と機能	17
2.5 後頭葉の構造と機能	18
2.6 前頭葉の構造と機能	20
2.7 音声言語に関わる脳神経機能モデル	21
引用・参考文献	28

3. 脳波による脳活動観測

3.1 原理・装置	30
3.1.1 聴取や発話に伴って生じる脳電位とは	30
3.1.2 手続き	35
3.1.3 刺激や課題	37
3.1.4 計測	39
3.2 実験デザイン	40
3.2.1 聴覚誘発電位 (AEP)	40
3.2.2 事象関連電位 (ERP)	43
3.3 データ解析	47
3.3.1 加算平均	47
3.3.2 周波数解析	48
3.3.3 電位分布図	49
3.3.4 発生源推定	51
3.4 研究事例	51
引用・参考文献	55

4. MEG による脳活動観測

4.1 原理・装置	59
4.1.1 計測システム	59
4.1.2 電流源推定	62
4.2 実験デザイン	65
4.2.1 短潜時の事象関連磁界	65
4.2.2 オドボール課題と MMF	66
4.2.3 長潜時の事象関連磁界	67
4.2.4 連続音声に対する MEG 計測	67

4.3 データ解析	69
4.4 研究事例	72
4.4.1 聴覚情報処理機構の発達	72
4.4.2 音韻概念の学習	73
4.4.3 MMF生成機構のDCM解析	75
4.4.4 文統合過程の研究	76
4.4.5 周波数時間応答関数によるMEG解析	77
4.4.6 音声の階層構造に対応する神経系振動活動のMEG解析	77
4.4.7 ボトムアップ処理とトップダウン処理に関する研究	78
4.4.8 MEGによる音声研究の今後	79
引用・参考文献	80

5. 近赤外分光法による脳活動計測

5.1 原理・装置	83
5.1.1 近赤外分光法 (NIRS) とは	83
5.1.2 NIRSの測定原理	84
5.1.3 さまざまなNIRSシステム	88
5.1.4 NIRSの特徴	89
5.2 実験デザイン	94
5.2.1 なんの機能を測るか：刺激、タスクの選定	94
5.2.2 どこを測定するか：プローブの配置	97
5.2.3 実験デザイン：ベースライン設定	101
5.2.4 実験デザイン：ブロックデザイン、イベントデザイン	103
5.2.5 実験デザイン：実験計画法	106
5.2.6 脳機能結合解析やハイパースキニングでの実験デザイン	107
5.2.7 fNIRS特有の注意点	108
5.3 データ解析	109
5.3.1 データの前処理	109
5.3.2 平均法とGLM	110

5.4 研究事例	113
5.4.1 研究目的と実験デザインの選定	113
5.4.2 刺激音声とベースライン, ターゲット区間の設定	114
5.4.3 プローブの設定と実験参加者	115
5.4.4 実験の流れ	116
5.4.5 結果の解析と解釈	117
引用・参考文献	120



6. fMRI による脳活動観測

6.1 原理・装置	124
6.1.1 MRI の原理	124
6.1.2 fMRI の原理	126
6.1.3 MRI 装置	128
6.1.4 fMRI 実験用周辺装置	130
6.2 実験デザイン	133
6.2.1 実験参加者	133
6.2.2 文献調査	134
6.2.3 実験型と刺激呈示タイミング	136
6.2.4 聴取実験と発話実験	141
6.3 データ解析	143
6.3.1 解析ソフトウェア	143
6.3.2 MRI 画像データとファイル形式の変換	145
6.3.3 前処理	145
6.3.4 統計処理：個人解析	148
6.3.5 統計処理：集団解析	154
6.3.6 脳地図	155
6.4 研究事例	157
6.4.1 言語音の聴取実験の実験例	157
6.4.2 発話実験の実験例	160

6.4.3 リアルタイム MRI と fMRI を併用した実験例 161

6.5 fMRI を学ぶための参考情報…………… 163

引用・参考文献…………… 164

 **7. 研究倫理と安全** 

7.1 脳機能研究における研究倫理とは…………… 167

7.1.1 自律尊重とインフォームドコンセント 167

7.1.2 善行とリスク, 侵襲性 168

7.1.3 研究における正義 169

7.2 倫理審査, 安全審査の必要性と実際…………… 170

7.2.1 日本における研究倫理審査 170

7.2.2 脳機能研究における倫理審査の要点: 科学的妥当性 171

7.2.3 脳機能研究における倫理審査の要点: 倫理的妥当性 171

7.3 ま と め…………… 173

引用・参考文献…………… 173

索 引…………… 175



聴覚・発話に関する 脳活動観測のテクニック

1.1 脳活動観測手法

ヒトの脳は、科学的挑戦の最大の難関ともいわれ、研究者たちの探求心を引き付けてやまない魅力的なテーマでありつづけている^{1),2)†}。19世紀後半のブローカやウェルニッケに代表される脳機能障害の研究に始まって認知神経心理学や認知科学の進展、さらには最近の深層学習など人工知能技術や計算論的脳機能モデルの進展、脳活動を取り出して装置を制御する新技術の発展などとも相まって、脳機能解明への興味はさらに熱を帯びてきている。

本書では、研究対象者（被験者）に苦痛や侵襲を与えることなく脳機能を観測・解析する方法を解説する。医師免許など特別な資格をもたない学生や研究者が扱える代表的な脳機能解析法として以下を中心に述べる。

1. 脳波（electroencephalography：**EEG**）
2. 脳磁図（magnetoencephalography：**MEG**）
3. 機能的磁気共鳴画像法（functional magnetic resonance imaging：**fMRI**）
4. 機能的近赤外分光法（functional near-infrared spectroscopy：**fNIRS**）

これら以外にも、放射性物質を使用する陽電子放射断層法（positron emission tomography：PET）や単光子放射断層法（single-photon emission tomography：SPECT）、手術して大脳皮質表面に電極を設置し脳波を計測する皮質脳波計測法（electrocorticography：ECoG）など、主として医療目的で活用されている

† 肩付き数字は章末の引用・参考文献の番号を表す。

方法もある。また、脳に電氣的・磁氣的刺激を与えて脳神経系の働きを変える経頭蓋直流電気刺激法（transcranial direct current stimulation：tDCS）や、一時的に擾乱じょうらんを与える経頭蓋磁気刺激（transcranial magnetic stimulation：TMS）といった方法も活用されている。これらに関しては他書に譲ることにしたい。

脳機能に関わる学術論文数の経年変化を示した図 1.1 から、これらの研究方法の特徴をかいま見ることができる。米国医学図書館が運営する PubMed を使って、1975 年から 2018 年までの約 40 年間に発表された学術論文数の変化を調べた結果である。

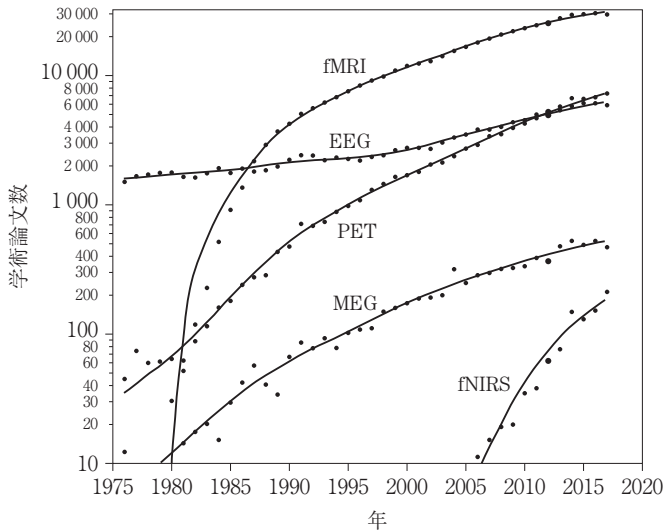


図 1.1 主要な脳機能計測法を使用した研究論文の推移

Berger (1929)³⁾ 以来の長い歴史をもつ EEG は他の方法に比べて安価で比較的取り扱いやすく、脳活動の時間的特性の解析に適しており、脳の複数部位の同期的な共振活動の解析などでも活用されている。3 章で詳しく解説する。

一方、1980 年代に実用化された MEG⁴⁾ は、EEG と同じように脳活動の時間的特性の解析が得意で、活動源部位の検出が EEG よりも正確にできることが特徴になっている。ただし、地磁気より 7~8 桁小さい微弱な脳磁界を超電導

素子で計測する装置は、EEG に比べて高価で維持経費も安くない。そのため活用例は EEG より少ないものの研究報告は確実に増加している。4章で詳しく解説する。

最も新しい方法である fNIRS⁵⁾ は特に赤ちゃんの脳機能発達研究などで威力を示し、ここ 15 年間で顕著な増加傾向を示している。後述の fMRI に比べて騒音がなく、研究対象者の動きを拘束する必要が小さく自由度が大きいなどの利点がある。ただし、観測可能な脳部位が皮質表面に限局されるという制約がある。5章で詳細に解説する。

一方、40 年ほど前に実用化された fMRI⁶⁾ は脳の深部の活動も計測できるという強みもあって研究論文は急速に増加し、現在最も活発に活用される方法となっている。fMRI 研究では脳機能ではなくて脳や体の解剖的構造を撮影する (f の付かない) **MRI** も併用されることが多い。MRI で脳の詳細な構造を観測し、その結果に MEG や fMRI で得られた活動を重畳 (マッピング) させて、脳のどの部位がどのタイミングでどのように活動したかを調べるのである。加えて、最近では拡散テンソル画像法のような神経回路網の解析手法や、調音運動の動画像計測・解析法も進展し、MRI とそれに脳機能解析を追加した fMRI の活用範囲はますます拡大している。ただし、装置が他に比べて高額であり、強い磁場を振動させる必要があるため騒音が大きく、磁性体を体内外に身につけている場合には計測の対象外になることや、研究対象者を狭い装置内に固定し体動を制限するといった制約もある。6章で詳しく解説する。

いずれの方法を活用する場合でも**研究倫理**の遵守が前提となる。7章では、研究倫理の三原則「人格の尊重原則」、「善行原則」、「正義原則」を基盤として、脳機能研究の倫理を解説する。研究目的の明確化、研究対象者数設定の統計学的根拠や科学的妥当性、研究実施に伴うリスク評価とその低減法、説明同意文書の理解可能性、脳機能研究が心の研究であるということを意識したプライバシーと個人情報保護、偶発的所見への対処といった倫理的妥当性の重要性を示す。

1.2 時間分解能と空間分解能

本書で対象とする脳機能計測法の特質を表 1.1 に示す。概括すると、脳神経の電氣的現象を計測する MEG や EEG は数 ms（ミリ秒）の時間分解能があるのに対して、脳血流に関連する物理量を計測する fMRI や fNIRS の時間分解能は秒単位になる。活動部位を特定する精度である空間分解能は、fMRI が最も高く、fNIRS が最も低い。MEG や EEG では活動源を推定する方法に依存する。測定可能範囲を見ると、fNIRS は原理的に皮質表面に限定され、MEG はセンサから遠い脳深部からの信号は減衰が大きくなるため計測しにくい。装置自体の静寂性を見ると、fMRI は磁場を振動させるため強い騒音を発生するのに対して、他の装置は騒音を発生しない。静寂性は音声知覚の研究などで重要な特性である。研究対象者の動作許容性を見ると、EEG や fNIRS では研究対象者の動きに対する制約が小さく、計測時にある程度自由に動き回る状態で計測することも可能である。MEG や fMRI では研究対象者のわずかな動きでも雑音源になるので、研究対象者を固定することが多い。MEG や fMRI は装置自体も維持費も高価で、価格・性能比は他の方法に比べて低い。

表 1.1 各種計測法の特徴比較

	時間分解能	空間分解能	測定可能範囲	装置静寂性	動作許容性	価格・性能比
EEG	高	低	中	高	高	高
MEG	高	中	中	高	低	低
fNIRS	低	低	低	高	高	高
fMRI	低	高	高	低	低	低

このような得失差が生じる背景を考えてみよう。脳神経活動に関連する信号は、一次信号と二次信号に区別できる。一次信号は活動電位やシナプス後電位など脳神経細胞の電氣的活動に由来する信号、二次信号は活動する脳神経細胞に酸素を供給する血流に由来する信号である。脳神経が活発に活動すると酸素消費が増大するため、血流制御機構が働き、活動部位に酸素を供給する。活動

部位では、酸素を運んできた**酸素化ヘモグロビン**（oxyhemoglobin：**oxy-Hb**、**オキシヘモグロビン**ともいう）と、脳神経に酸素を渡した**脱酸素化ヘモグロビン**（deoxyhemoglobin：**deoxy-Hb**、**デオキシヘモグロビン**ともいう）との濃度比率が変化する。fMRIは、血流中の酸素化・脱酸素化ヘモグロビン濃度比率変化に伴う磁気特性の変化（血中酸素濃度依存信号，blood oxygen level dependent signal：BOLD 信号）を、またfNIRSは、頭表から照射した近赤外光に対する透過・反射特性の変化を計測する。神経の電氣的活動に比較して血流由来信号の変化は遅いため、計測対象の信号に応じて時間分解能に差が生じる。

EEGやMEGは一次信号を、fMRIやfNIRSは二次信号を計測対象としている。そのため、EEGやMEGは脳活動がいつ起きたかという時間的な側面、fMRIやfNIRSはどこで起きたかという場所的側面に重点が置かれる。例えば聴覚刺激を提示して、脳の「どこ」が「いつ」、「どのように」活動したかを調べる場合、「いつ」という時間的側面の解析にはEEGやMEGを活用することが多い。これに対してfMRIやfNIRSは脳の「どこ」が活動したかを解析するのに適している。そのため、fMRIかfNIRSで脳活動の空間的特性を、EEGかMEGで時間的特性を解析するという複数の手法を併用した研究も増えている。なお、「どのように」に関してはいずれの方法もそれぞれの特性に依存した課題設計や解析手法の工夫が必要で、研究者の腕の見せどころとなっている。

一次信号を計測する方法であるEEGとMEGにも差異がある。EEGでは、頭皮表面の電位分布を計測し、それから活動場所（発信源）を推定するという逆問題を解いて脳神経の活動部位を推定する。電位分布は発信源から頭皮表面までの伝導経路にある髄液や神経細胞、グリア細胞、頭蓋などの伝導特性の違いに影響されるため、発信源の特定は必ずしも簡単ではない。これに比較してMEGが計測する磁界はこれら伝導経路の影響が比較的少ないため、発信源推定はEEGより容易で信頼性が高い。ただし、MEGには頭蓋表面に直交する脳溝からの信号のほうが頭蓋に平行な脳回からの信号より計測しやすい、つまり脳回の活動が捉えにくいという制約がある[†]。

† 脳溝と脳回については、図2.4を参照。

索引

【あ】	運動電位	34	【き】		
アトラス	146	【え】	基準電極	36	
安静条件	136	エコプラナー法	140	——の活性化	36
安静状態の脳機能結合	95	遠隔電場電位	32	機能画像	129, 140
【い】	縁上回	14	機能局在性	126	
一次運動野	14, 33	遠心性コピー	33	機能側性化	102
一次感覚野	14	延髄	13	機能的近赤外分光法	1, 49, 83
一次視覚野	13, 14, 18	【お】	機能的結合性	64	
一次信号	4	横断面	12	機能的磁気共鳴画像法	1, 49, 124
一次体性感覚野	14, 17	オキシヘモグロビン	5, 126	逆モデル	62
一次聴覚野	14	オドボール課題	66	逆問題	62
一般化線形モデル	70	音韻コード	24	弓状束	25
一般線形モデル	148	音声・脳引き込み現象	68	橋	13
移動エントロピー	78	【か】	近赤外分光法	83	
イベント型	139	回	13	筋電図	37
イベントデザイン	103	回帰子	148	近電場電位	32
イベントリレーティッド デザイン	103	回帰分析	154	【く】	
意味コード	24	外側	10	空間的標準化	146
陰性極点	50	外側溝	13	空間の前処理	145
インフォームドアセント	172	海馬	15	空間分解能	4
インフォームドコンセント	6	角回	14	空間分解分光法	88
【う】	加算平均	47	クラスタ	152	
ウェルニッケ失語	16	下縦束	26	クラスタ定義閾値	152
ウェルニッケ野	16	下前頭回	97	クラスタフォーミング閾値	152
ウェルニッケ・リヒトハイ ムモデル	22	下前頭後頭束	26	クラスタレベル検定	152
運動関連脳電位	34	課題回帰子	148	グラントアベレージ波形	47
運動神経	20	カテゴリ型	136	クリック音	41
運動前野	14, 33	冠状面	12		
		眼電位	37		
		間脳	13		

- 【け】**
- 経頭蓋磁気刺激 2
 経頭蓋直流電気刺激法 2
 血液酸素化度依存性コントラスト 127
 結合性解析 70
 血行動態反応 84
 血中酸素濃度依存信号 5
 血流動態応答 128
 研究倫理 3
 ——の三原則 167
 研究倫理審査 170
 言語の並列分散処理モデル 24
 検出プローブ 85
 減衰量 85
 検定の多重性 152
- 【こ】**
- 溝 13
 高域通過フィルタ 40
 後交連 11
 交互作用 137
 鉤状束 26
 構造画像 140
 後頭側頭回 18
 後頭葉 13
 興奮性シナプス後電位 31
 国際 10-20 法 36, 99
 個人解析 148
 語流暢性課題 96
 コレジスタ 146
 コントラスト (MRI 画像) 124
 コントラスト (統計処理) 148
 コントラスト画像 151
- 【さ】**
- 最小ノルム推定法 63
 サイドトーン効果 34
 削除ボリューム 140
- 差分法 136
 三角モデル 24
 酸素化ヘモグロビン 5, 84
 サンプリング周波数 30
- 【し】**
- 耳介前点 36
 視覚性語形領域 19
 視覚連合野 14
 時間的前処理 145
 時間分解能 4
 時間分解分光法 88
 磁気共鳴画像法 124
 時系列データ 129
 刺激音 37
 刺激間間隔 43
 刺激提示間隔 43
 視床 14
 事象関連磁界 65
 事象関連脱同期 34
 事象関連電位 34, 65
 事象関連同期 34
 矢状面 12
 実験型 136
 実効的結合性 64
 シナプス 92
 修正 Beer-Lambert 則 87
 従属変数 106
 集団解析 148
 周波数時間応答関数 77
 周波数分解分光法 88
 主効果 137
 主成分分析 48
 受動タスク 95
 準備電位 34
 順モデル 62
 照射プローブ 85
 上縦束 26
 上側頭回 10, 16, 97
 上側頭回後部 10
 上側頭回前部 10
 小脳 13
 剰余変数 106
- シルビウス裂 13
 人格の尊重原則 167
 神経血管カップリング 84
 信号雑音比 50
 心電図 37
- 【す】**
- 髄鞘化 92
 錐体路 20
 随伴陰性変動 38
 随伴発射 34
 水平面 12
 捨てスキャン 140
 スパースサンプリング法 142
 スムージング 147
 スライスタイミング補正 147
- 【せ】**
- 正義原則 167, 169
 セッション 141
 前運動野 20
 善行原則 167, 168
 前交連 10
 センサ間結合性解析 70
 センサレベル解析 64
 線条皮質 13
 前頭極 20
 前頭前野 20
 前頭前野眼窩部 20
 前頭葉 13
- 【そ】**
- 総加算平均波形 47
 相関型 136
 相互的神経科学 96
 総平均 105
 相貌失認 19
 側頭葉 13
 ソースレベル解析 64
 尊重原則 167
- 【た】**
- 带状回 14

対数証拠	64	統計モデル	148	背側聴覚経路	16
対 側	10	頭溝前切痕	14	背内側前頭前野	10, 20
体 動	131	統制条件	150	ハイバースキャンニング	96
体動補正	145	同 側	10	発声関連脳電位	46
大 腦	13	頭頂後頭溝	14	発生源	51
大脳基底核	14	頭頂部緩反応	42	発達性読字障害	19
大脳縦裂	13	頭頂葉	13	発 話	33
ターゲット区間	101	動的因果関係解析	64	パラメータ画像	150
多重比較補正	111, 152	島皮質	14	パラメータ推定	148
脱酸素化ヘモグロビン	5, 84	独立成分分析	48		
ダミースキャン	140	独立変数	106		
タライラッハ座標系	12, 146	トポグラフィ	49		
単光子放射断層法	1				
探査電極	36				
【ち】		【な】		【ひ】	
中間潜時反応	41	内 側	10	引き込み現象	65
中縦束	26			ピークレベル検定	152
中心溝	14, 17	【に】		皮質脳波計測法	1
中側頭回	16	二次運動野	14	尾 側	10
中 点	36	二次感覚野	14	皮膚血流	93
中 腦	13	二次信号	4	標準脳	146
聴覚野	33, 97	二次体性感覚野	17	表象類似度解析	161
聴覚誘発電位	34	二重経路モデル	25		
鳥距溝	13, 18	二人称神経科学	96	【ふ】	
聴 取	30	認知的成分	136	腹外側前頭前野	20
聴性脳幹反応	40			腹 側	10
聴性誘発反応	66	【の】		腹側視覚経路	18
		ノイズ回帰子	148	腹側聴覚経路	16
		脳アトラス	155	フリーエナジー	64
		脳 回	5, 13	フルファクトリアルモデル	155
		脳 幹	13	フレキシブルファクトリア	155
		脳機能結合	107	ルモデル	155
		脳血流量	126	ブローカ野	21, 97
		脳 溝	5, 13	ブロック型	139
		脳磁図	1, 59	ブロックデザイン	103
		脳地図	155	ブロードマン脳地図	10
		能動タスク	95	ブロードマン領野	10
		脳 波	1, 30	吻 側	10
		脳 梁	14		
				【へ】	
		【は】		平均法	110
		背外側前頭前野	10, 20	ベイズ推定法	64
		背 側	10	ベイズ推論機構	26
		背側視覚経路	18	ベースライン区間	101
				ベルモント・レポート	167
				片 側	10
等価双極子	32				
等価電流双極子	62				
統計処理	148				
統計的仮説検定	148				

変調法	88	ミュー律動	48	【り】	
扁桃体	15				
変量効果モデル	154	【も】		リアライン	145
【ほ】		文字コード	24	リアルタイム MRI	161
		【よ】		利益相反	6
紡錘状回	19	要因型	136	リスク・ベネフィット評価	168
紡錘状回顔領域	19	陽性極点	50	両側	10
ボクセル	148	陽電子放射断層法	1	【れ】	
補足運動野	14, 20, 33	要約統計法	154	裂	13
【ま】		抑制性シナプス後電位	31	【ろ】	
前処理	109, 145	【ら】		ロゴジェンモデル	23
【み】		ラピッドイベント型	140	ローランド裂	14
ミスマッチ陰性電位	43	ラ ン	141	ロンパール効果	34
ミスマッチ反応	95				

【A】		Cz	36	ERP	34, 65
AAL	156	【D】		ERS	34, 48
ABR	40	DCM	64	【F】	
ABRm	66	deoxy-Hb	5, 84, 126	FDR の補正	111
AC	10	DICOM	145	FFA	19
AF	26	DIVA	33	fMRI	1, 49, 124
anterior	9	DLPFC	10, 20	f/MRI	69
aSTG	10	DMN	64	fNIRS	1, 49, 83
axial	12	DMPFC	10, 20	【G】	
【B】		dorsal	10	GFP	50
BA	10	DOT	90	GLM	70, 105, 148
bilateral	10	DPF	87	【H】	
BOLD 効果	127	【E】		Hb 反応	106
BOLD コントラスト	127	ECD	62	——の位相	106
BOLD 信号	5, 128	ECG	37	——の潜時	106
BP	34	ECoG	1	【I】	
【C】		EEG	1, 30	ICA	48
caudal	10	EMG	37	IFOF	26
CNV	38	EOG	37	ILF	26
contralateral	10	EPI	140	inferior	9
coronal	12	EPSP	31	ipsilateral	10
CW NIRS	84	ERD	34, 48		
		ERF	65		

IPSP	31			SN 比	40
ISI	43		[O]	SOA	43
				SPECT	1
[L]		OPFC	20	SPM	7, 143
lateral	10	OPM	61	SQUID センサ	60
LAURA	51	oxy-Hb	5, 84, 126	STG	10, 16
left	9			STRF	77
LORETA	51			superior	9
LORETA 法	63	P300 成分	45	SVR	42
		P3a 成分	45		
[M]		P3b 成分	45	[T]	
		PA	36	TA	147
MdLF	26	PC	11	tDCS	2
medial	10	PCA	48	TE	78
M/EEG	59	permutation 法	111	TMS	2
MEG	1, 59	PET	1	TR	141
MEG 計測システム	59	PFC	20	transverse	12
MLR	41	posterior	9		
MMF	66	pSTG	10	[U]	
MMN	43	PubMed	135	UF	26
MN	51			unilateral	10
MNI 座標系	12, 147		[R]		
MP	34	right	9	[v]	
MRCP	34	rostral	10		
MRI	3, 124	RP	34	ventral	10
MSP 法	64	RSA	161	VLPFC	20
MTG	16	RSC	95	VRCP	46
				VWFA	19
[N]			[S]	[数字]	
NIfTI	145	sagittal	12	10%法	36
NIRS	83	SLF	26	1 標本 <i>t</i> 検定	154
NNE	63	sLORETA	51	2 標本 <i>t</i> 検定	154
		SMA	14, 33		

—— 編著者・著者略歴 ——

今泉 敏（いまいずみ さとし）

- 1970年 福島工業高等専門学校電気工学科卒業
- 1972年 山梨大学工学部電気工学科卒業
- 1974年 東北大学大学院工学研究科修士課程修了（電気及通信工学専攻）
- 1977年 東北大学大学院工学研究科博士課程修了（電気及通信工学専攻）
工学博士
- 1978年 近畿大学助手
- 1984年 東京大学助教授
- 2001年 広島県立保健福祉大学教授
- 2005年 県立広島大学教授
- 2015年 県立広島大学名誉教授
- 2017年 東京医療学院大学教授
現在に至る

軍司 敦子（ぐんじ あつこ）

- 1996年 茨城大学教育学部養護学校教員養成課程卒業
- 1998年 茨城大学大学院教育学研究科修士課程修了（障害児教育学専攻）
- 2001年 総合研究大学院大学生命科学研究科博士課程修了（生理学専攻）
博士（理学）
- 2001年 岡崎国立共同研究機構生理学研究所日本学術振興会特別研究員
- 2001年 老人医療バイクレストセンタ附属ロットマン研究所（トロント大学、カナダ）研究員（兼任）
- 2004年 国立精神・神経センター精神保健研究所研究職
- 2014年 横浜国立大学准教授
- 2020年 横浜国立大学教授
現在に至る

皆川 泰代（みながわ やすよ）

- 1993年 国際基督教大学教養学部語学科卒業
- 1996年 国際基督教大学大学院比較文化研究科修士課程修了（日本語学・日本語教育学専攻）
- 2000年 東京大学大学院医学系研究科博士後期課程修了（脳神経医学専攻）
博士（医学）
- 2004年 慶應義塾大学科学技術振興機構研究員
- 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

能田由紀子（のうた ゆきこ）

- 1993年 京都大学理学部卒業
- 1995年 京都大学大学院理学研究科修士課程修了（動物学専攻）
- 2000年 京都大学大学院理学研究科博士課程修了（生物科学専攻）
博士（理学）
- 2000年 国際電気通信基礎技術研究所研究員
- 2006年 株式会社 ATR-Promotions 脳活動イメージングセンタ研究員
- 2011年 神戸大学客員教授（兼任）
～16年
- 2013年 株式会社 ATR-Promotions 脳活動イメージングセンタ非常勤研究員
- 2016年 神奈川工科大学非常勤講師（兼任）
～20年
- 2017年 国語研究所非常勤研究員（兼任）
現在に至る

河内山隆紀（こうちやま たかのり）

- 1997年 名古屋大学理学部物理学科卒業
- 1999年 京都大学大学院人間・環境学研究科修士課程修了（人間・環境学専攻）
- 2003年 京都大学大学院人間・環境学研究科博士課程単位取得退学（人間・環境学専攻）
- 2003年 香川大学助手
- 2005年 博士（人間・環境学）（京都大学）
- 2007年 株式会社 ATR-Promotions 脳活動イメージングセンタ研究員，研究コンサルタント
- 2009年 岡山大学非常勤講師（兼任）
- 2010年 京都大学非常勤講師（兼任）
- 2011年 京都大学霊長類研究所研究員
- 2013年 株式会社 ATR-Promotions 脳活動イメージングセンタ研究員，研究コンサルタント
現在に至る

中澤 栄輔（なかざわ えいすけ）

- 2000年 日本大学文理学部独文学科卒業
- 2006年 東京大学大学院総合文化研究科修士課程修了（広域科学専攻）
- 2009年 東京大学大学院総合文化研究科博士課程単位取得退学（広域科学専攻）
- 2009年 東京大学特任研究員
- 2011年 東京大学特任助教
- 2013年 博士（学術）（東京大学）
- 2013年 東京大学助教
- 2017年 東京大学講師
現在に至る

聴覚・発話に関する脳活動観測

Brain Activity Observation for Speech and Hearing Science

© 一般社団法人 日本音響学会 2022

2022年9月16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 新日本印刷株式会社
製本所 牧製本印刷株式会社

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 978-4-339-01164-7 C3355 Printed in Japan

(金)



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。