

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：32685

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K11379

研究課題名 (和文) コミュニケーション基盤となる大脳皮質の情報抽出機構の解明

研究課題名 (英文) Elucidation of information extraction mechanism of cortex for communication

研究代表者

林 実 (Hayashi, Minoru)

明星大学・理工学部・教授

研究者番号：20781149

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 3,400,000 円

研究成果の概要 (和文) : 本研究では、音声情報処理における情報抽出機能のキーである、子音から母音へのスペクトル変化時点に着目し、その変化に対する大脳皮質の神経活動を捉えるため、高時間分解能を有する脳磁界機能計測により実験を行った。これにより、音声の時間変化構造に対応する聴覚誘発磁界反応を捉える実験方法を確立し、実験で得られた各種データの解析ツールを開発し、聴覚誘発磁界データの解析を進めた。その結果、ヒトが音声言語を聴く際の、聴覚誘発磁界と連続音声言語の各音節間との対応関係を明らかにすることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトが意味のある音声言語を聴く際、左大脳皮質聴覚言語野と音節の各母音間との間に相関関係があることが明らかになった。実験で得られた新知見はOHBM等学会を通じて発表を行った。これらの新知見は国内外の専門家から注目され、専門分野の複数の国際会議の招待を受け、招待講演および基調講演を行った。なお、本研究で確立した音声の時間変化構造に対応する聴覚機能計測の実験方法を用いて今後研究をさらに発展させることにより、音声に留まらず音楽等音情報に対するヒトの知覚情報処理共通基盤の解明が期待できる。

研究成果の概要 (英文) : This research focuses on the consonant/vowel spectral transition, which is the key of the information extraction function of speech information processing, and measures the magnetoencephalogram with high temporal resolution to capture the neural activity of the cortex responses to the transition. From this research, we established an experimental method for capturing the auditory evoked magnetic fields response corresponding to the time-transition structure of speech, and developed various data analysis systems, and proceeded with the analysis of the auditory evoked magnetic fields data. As a result, we succeeded in clarifying the correspondence between the auditory evoked magnetic fields and each syllable of the speech when listening to the continuous speech language.

研究分野：知覚情報処理

キーワード：コミュニケーション基盤 聴覚情報処理 連続音声知覚 脳機能計測 Magnetoencephalography

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

・世界の動向

著者を始め国内外の研究グループによる、人間の大脳皮質における純音に対する反応の測定により、蝸牛で知られる tonotopic organization は大脳皮質においても確かめられ、音圧、持続時間、オンセット、オフセットに対する反応も調べられてきた。また、音声言語に対する情報処理機能の計測は、著者の他に、MIT の Dimitrios Pantazis のグループ、ハーバード大学の Seppo Ahlfors らにより、MEG, EEG, fMRI を用いた音声刺激による探索的研究が精力的に進められてきた。また、マックスプランク研究所の Burkhard Maess らは MEG を用い Speech-like-modulate 音による研究を進めていた。さらに、中国科学アカデミーの Yi Do らは fMRI を用い音声と音楽の処理過程の研究を開始し、MEG の導入を検討し始めていた。

2. 研究の目的

本研究では、連続音声における子音から母音へのスペクトル変化時点に着目し、連続音声の各種音響物理パラメータを正確にコントロールすることに加え、被験者の二値判別と MEG 計測による客観データ指標を同時に計測することにより、大脳皮質の情報抽出機構の解明を目指す。

3. 研究の方法

大脳皮質の情報抽出機構は音声コミュニケーションの根幹を成している。従来の実験では、定性的な傾向を計るものが多く、客観的な脳機能の定量データを得ることが困難であった。また、fMRI 計測は神経活動が起きて約 2 秒後経過した血流量変化を計測したものであり、ミリ秒オーダーで起きる聴覚情報処理の神経活動の変化を捉えるには限界がある。それに対して著者は、これまでの MEG 計測装置を用いた実験において、高時間分解能を有する脳磁界機能計測で観測される大脳皮質の情報抽出する際の神経活動の客観的な定量数値データを得ることができを確認してきた。

従来の MEG 計測の研究においては、音のオンセットに対する応答に関しては幾つかの報告がされているが、音声のコントロールを含め、音声に対する反応の報告例は極めて少ない。そこで、著者はこれまでの音声情報処理システムの開発経験を活かし、連続音声情報処理における情報抽出機構のキーである子音から母音へのスペクトル変化時点に着目し、その変化に対する大脳皮質の神経活動を高時間分解能の脳磁界計測で捉える。

4. 研究成果

人間の優れたコミュニケーション機能に基づく情報通信技術を創出する試みは続いている。時々刻々と変化する連続音声を人間が聴く際には離散的な記号系列として分節して情報抽出を行っている。本研究では、音声情報処理における情報抽出機構のキーである、子音から母音へのスペクトル変化時点に着目し、その変化に対する大脳皮質の神経活動を、高時間分解能を有する脳磁界（Magnetoencephalography: MEG）機能計測で捉えることで、人間のコミュニケーションの本質に関わる「ことばをあるまとまりとして情報を抽出するメカニズム」を明らかにすることを目指している。上記を明らかにするために具体的には、連続音声の立ち上がり、周波数、音圧、持続時間、スペクトル変化および話速等各種音響物理パラメータを正確にコントロールすることに加え、脳磁界機能計測実験では、提示する音声の音響物理パラメータを可変とし、被験者が提示音声の聞き取りができたかどうか、ないし、意味を理解できたかどうかの二値判別を行い、その際の情報抽出における神経活動を脳機能計測・解析し、最も情報抽出し易い音声の最適な音響物理パラメータを特定する。初年度は、研究倫理規定および研究安全基準の趣旨に則って実験計画を立案し、倫理審査安全審査の承認を得て実験を開始した。また、音声刺激作成ツール、音声提示システム、脳機能データ収録系、データ解析系等一連の実験基本ツールの構築および実験システムの動作確認を行った。さらに、連続音声の基本構造を模した話速の異なる刺激音を用いた実験を行い、音の時間変化構造に対応する聴覚誘発磁界反応を捉えることに成功し、今後の実験方法を確立した。その上各種解析ツールを整えた。

次年度は、初年度において確立した実験方法に基づく脳磁界機能計測実験を本格的に実施した。また、実験で得られた正答率、反応時間および神経活動に伴う聴覚誘発磁界を効果的に分析できる各種データ解析ツールを開発した。そして、神経活動の位置情報については MRI による構造画像も加え、聴覚誘発磁界の時空間特性を解析できるよう実装した。その上、これまで得ら

れた研究成果は、関連学会へ投稿し発表を行い、優秀発表賞を受賞した。実験で得られた新知見は国内外の専門家から注目され、専門分野の複数の国際会議の招待を受け、招待講演および基調講演を行った。研究は当初の予定以上に進展した。脳磁界機能計測実験に使用している MEG 装置を維持するヘリウム循環装置が世界の需給環境の変化を受け、最終年度の装置の維持および実験の実施が困難となるリスクを回避するため、最終年度予定していた脳磁界機能計測実験を前倒して実施した。先行して聴覚誘発磁界データの確保することができた。

最終年度は聴覚誘発磁界データの解析を進めた。その結果、ヒトが音声言語を聴く際の、聴覚誘発磁界 (Auditory evoked magnetic fields: AEF) と連続音声言語の各音節間との対応関係を明らかにすることに成功した。また、音声言語に対する大脳皮質の左右半球における AEF の非対称性も明らかにすることができた。特にヒトが音声言語を聴く際、子音から母音へのスペクトル変化に対する左半球の大脳皮質における AEFM100 成分は顕著に観測された。さらに、ヒトが有意義音声単語と無意味音声単語を判別できる場合、有意義音声単語内音節の各母音に対応する左半球における大脳皮質の神経活動 AEFM100 が観測された。つまり、ヒトが意味のある連続音声を聴く際、左大脳皮質聴覚言語野と音節の各母音間との間に相関関係があることが明らかになった。得られた新知見は OHBM 等学会を通じて発表を行った。なお、本研究で確立した音声の時間変化構造に対応する聴覚機能計測の実験方法を用いて今後研究をさらに発展させることにより、音声に留まらず音楽等音情報に対するヒトの知覚情報処理共通基盤の解明が期待できる。

・連続音声に対する聴覚誘発磁界の左右半球非対称性

実験では、有意義音声単語の各音素を置き換えることによって無意味音声単語を作成した。コーパスベース音声合成エンジンを使用して、有意義音声単語と無意味音声単語の刺激音声を作成した。各合成音声刺激の各音素境界の基準時点は、各ケプストラム係数の二乗和の動的尺度を用いた。実験に協力した4人の被験者はすべて、インフォームドコンセントを与えた右利きの日本語母語話者であった。実験のプロトコルは、明星大学の研究倫理委員会によって承認された。被験者には、有意義音声単語と無意味音声単語に応じて、「Yes」または「No」の2つのキーのいずれかを押すように指示した。横河電機株式会社製 400 チャンネル SQUID PQ1400RM を使用した。各測定センサーは dc-SQUID であり、直径は 1.5 mm、ベースラインは 5.0mm であった。測定条件は以下に示す通りである。帯域幅フィルター：0.05~200Hz、サンプリングレート：1000Hz、ベースライン：-100~0ms、測定時間：3000ms、平均回数：100 回。刺激条件は以下に示す通りである。提示順序：ランダム、刺激間隔：2500~3500 ms ランダム、平均音圧レベル：58 dBA、バックグラウンドノイズレベル：39dBA。

AEF の位置推定は、weighted Minimum Norm Estimation (wMNE) により行った。ここでは、有意義音声単語に対する AEF における左右半球の非対称性に着目した。図 1 は、音声に対する AEF の左右半球差の例を示す。

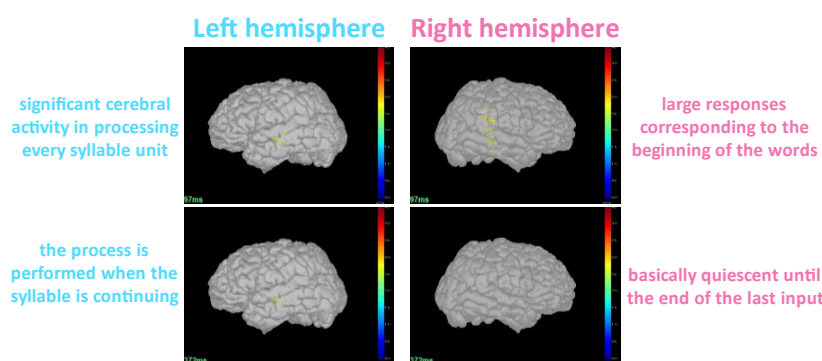


図 1. 音声に対する AEF の左右半球差

図 1 から分かるように、左右半球ともに音声の語頭に対して M100 成分が観測された。左半球では、連続音声が続いている間、各音節単位に対応する脳活動 M100 成分が観測された。左半球における各音節の活動位置は全て、Superior Temporal Gyrus (STG) および Superior Temporal Sulcus (STS)、ブロードマン 22 野、聴覚言語野に推定された。右半球における音声の語頭に対する活動位置は、ブロードマン 41 野および 42 野、一次聴覚野に推定された。右半球においては語尾までの間に大きな反応は見られなかった。他の被験者も同じ傾向を示した。つまり、被験者が有意義音声単語として判断した時、左半球においては AEFM100 と音節の間に明

確な相関関係が見られた。また、右半球では、語頭に対応する大きな反応と語尾に対応する小さな反応が見られた。これらの結果より、音声の語頭と語尾に対して左右半球が協調して聴覚情報処理を行い、連続音声が続いている間に左半球が聴覚言語情報処理を行うことが示唆された。

・ 有意味音声単語と無意味音声単語に対する聴覚誘発磁界

被験者が音声を理解できる場合、左半球における聴覚誘発磁場（AEF）と音節の間に相関関係が見られた。次に、被験者が有意味音声単語と無意味音声単語を判別できる際の、有意味音声単語と無意味音声単語に対する AEF の違いについて実験を行った。

同様に、有意味音声単語の各音素を置き換えることによって無意味音声単語を作成した。コーパスベース音声合成エンジンを使用して、有意味音声単語と無意味音声単語の刺激音声を作成した。各合成音声刺激の各音素境界の基準時点は、各ケプストラム係数の二乗和の動的尺度を用いた。実験に協力した 8 人の被験者はすべて、インフォームドコンセントを与えた右利きの日本語母語話者であった。実験のプロトコルは、明星大学の研究倫理委員会によって承認された。被験者には、有意味音声単語と無意味音声単語に応じて、「Yes」または「No」の 2 つのキーのいずれかを押すように指示した。横河電機株式会社製 400 チャンネル SQUID PQ1400RM を使用した。各測定センサーは dc-SQUID であり、直径は 1.5 mm、ベースラインは 5.0mm であった。測定条件は以下に示す通りである。帯域幅フィルター：0.05～200Hz、サンプリングレート：1000Hz、ベースライン：-200～0ms、測定時間：1200ms、平均回数：100 回。刺激条件は以下に示す通りである。提示順序：ランダム、刺激間隔：2500～3500 ms ランダム、平均音圧レベル：58 dBA。

図 2 は、有意味単語と無意味単語に対する AEF の違いの例を示す。上のグラフは、有意味単語に対する AEF を示し、下のグラフは、無意味単語に対する AEF を示す。有意味単語に対する AEF では、各音節の母音開始時点 0ms、140ms、280ms、および 420ms から約 120ms 後の 120ms、260ms、400ms、および 540ms に各音声の母音それぞれに対応する顕著な反応が観察された。一方、無意味単語に対する AEF では、最初の音節に対する反応は類似していたが、有意味単語に対する AEF と比較すると、2 番目、3 番目、および 4 番目の音節に対する反応は異なっていた。他の被験者も同じ傾向を示した。つまり、有意味音声単語に対して、各音節の母音の開始時点に対応する脳活動 AEFM100 が観察された。

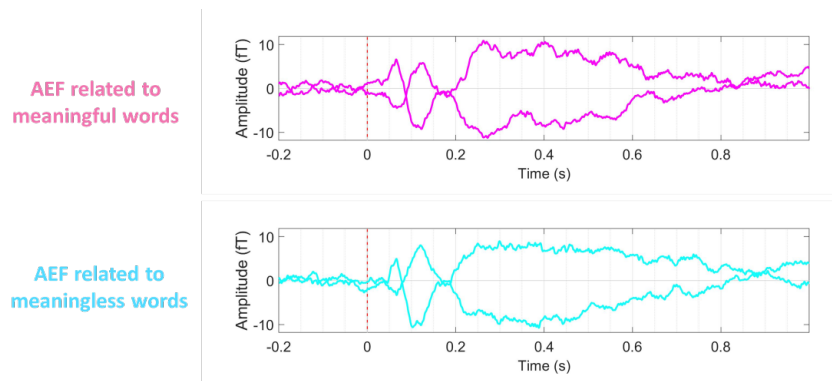


図 2．有意味単語と無意味単語に対する AEF の違い

被験者が有意味音声単語と無意味音声単語を判別できる際、AEFM100 と各音節の母音の間に相関関係があることが分かった。以上の結果から、ヒトが意味のある連続音声を聴く際、左半球大脳皮質聴覚言語野において、各音節の母音に対応する AEFM100 が観察されることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Minoru Hayashi
2. 発表標題 Auditory evoked magnetic fields related to meaningful and meaningless synthetic speech words
3. 学会等名 Organization for Human Brain Mapping OHBM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minoru Hayashi
2. 発表標題 Hemispheric asymmetry of auditory evoked magnetic fields related to words in synthetic speech
3. 学会等名 Organization for Human Brain Mapping OHBM2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Minoru Hayashi
2. 発表標題 Neural Mechanisms of Speech and Language Processing
3. 学会等名 Second International Symposium of Brain Science and MEG (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田名網那由多, 林 実
2. 発表標題 時系列の音響特徴量を用いた音声感情分類についての一検討
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅野龍樹, 田名網那由多, 林 実
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークを用いた心音・心雑音の分類
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武智真依仁, 長久保風雅, 林 実
2. 発表標題 感情推定値に基づく3次元顔表情の生成
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nayuta Tanaami, Minoru Hayashi
2. 発表標題 Emotional speech classification using stacking by DNN and RF
3. 学会等名 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション基礎研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minoru Hayashi
2. 発表標題 Difference in auditory evoked magnetic field between left and right hemisphere related to synthetic continuous speech
3. 学会等名 International Conference on Biomagnetism 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nayuta Tanaami, Minoru Hayashi
2. 発表標題 Analysis of Feature Vector in Emotional Speech
3. 学会等名 第20回日本感性工学会大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

—

6. 研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------