

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24530932

研究課題名(和文)m系列変調法の高度化

研究課題名(英文)Technical development of m-sequence modulation method

研究代表者

竹市 博臣 (TAKEICHI, Hiroshige)

国立研究開発法人理化学研究所・情報基盤センター・専任技師

研究者番号：60242020

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：m系列変調法は、脳波・脳磁図から事象関連電位およびそれに相当する信号を加算平均なしで短時間で記録する方法として開発された。この研究課題では、発達障害である自閉症スペクトラム障害(あるいは、自閉症スペクトラム症)(ASD)に着目し、ASD児の社会的特異性から、ヒトの声に特異的な反応をm系列変調法を用いて計測する実用的な方法の開発を行った。ヒトの声をm系列変調したものを健常成人に聴取させた場合、右半球の2～3の電極から記録される帯パワーから声特異的の反応が得られることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The m-sequence modulation method has been developed as a technique to extract event-related potentials and associated signals from electroencephalograms and magnetoencephalograms without averaging in a short period of time. In this project, we focused on autism spectrum disorders (ASD). More specifically, we tried development of a practical method of measuring human voice-specific response using m-sequence modulation method, with socially atypical children with ASD in mind. It was found that when healthy adults listen to m-sequence modulated human voice, voice-specific responses can be obtained from a few electrodes in the right hemisphere in their beta power.

研究分野：実験心理学

キーワード：生理 聴覚認知

1. 研究開始当初の背景

数ある非侵襲計測法の中でも、高い時間解像度を持つ脳波は、そのコストパフォーマンスの良さからニューロデコーディングなど近年の実用的な脳科学研究の中でも適用範囲が急速に拡大しつつある。ヒトに一定の刺激を提示し、その際の脳波を記録すると、誘発反応ないしは事象関連電位 (ERP) と呼ばれる信号が得られることは広く知られているが、一般には、ERPと脳の自律的活動に対応する背景脳波を分離するために多数回の加算平均を必要とする。m系列変調法 (文献) は、当初談話理解に関連するERPを加算平均なしで記録する方法として開発された。まず1分弱の談話音声に対し、m系列と呼ばれる2値乱数にしたがって決めたタイミングで25~275ミリ秒の無音区間(ギャップ)を挿入して劣化音声刺激を作成する。この劣化音声刺激の聴取時の脳波を連続記録する。さらに、記録された脳波について、もともとのm系列(厳密にはその復元シーケンス)との循環相互相関関数を計算することで、挿入したギャップに対する応答を、ちょうど逆相関のように検出する方法である。文献では、理解可能な順再生談話を刺激とした場合と、理解不可能な逆再生談話や知らない外国語の談話を刺激とした場合の信号を比較し、理解可能な刺激に限って相関関数に400ミリ秒の遅延時間を伴って中心・頭頂優位なピークが成分として含まれることが示された。すなわち、記録された脳波の平均相関関数だけに基いて、聴取していたのが理解可能な談話であったか、理解不可能な談話であったか、いわば「理解していたかどうか」を識別することができたのである。さらに、文献では、記録された脳波の相関関数だけに基いて、聴取していたのが理解可能な談話であったか、理解不可能な談話であったかを被験者ごとに識別するために単純ベイズ分類器を導入した。その結果被験者6人のleave-one-out法による評価において、90%以上の精度で、1分間で記録された脳波だけから、聴取していたのが理解可能な談話であったかどうか、すなわち、理解が成立していたかどうか、被験者ごとに識別できることが示された。

2. 研究の目的

短時間に記録された脳波から認知能力に関する情報を引き出すm系列変調法のメリットが最大限に活かされるのは、そもそも脳活動の記録が難しいケース、すなわち小児や高齢者など、被検査者が計測に協力的であることを期待できないケースである。そこで本研究課題では、この技法を発達障害の早期診断に役立てるための高度化(技術開発)を行った。発達障害でも、特に自閉症スペクトラム障害(あるいは、自閉症スペクトラム症)(A

SD)に着目した。ASD児は、社会的な関心が希薄であり、人の顔、視線、身体、声などに対する反応が定型発達児と異なるといわれる。そこで、談話理解研究において談話を劣化したのと同様の方法で、意味的内容を持たないヒトの声を劣化したものを刺激として用い、同様の方法でヒトの声に選択的な応答の検出を行った。ヒトの声に特異的な応答の検出を実用的な方法で行う技術の開発を目指した。本研究課題では、パターン認識や機械学習で用いられる、単純ベイズ法やサポートベクトルマシンなどの方法は用いなかった。これらの方法は、識別(診断)はできても、脳波のどのようなダイナミズムに基づいて識別を行っているのかが必ずしも明らかではないため、同時に識別の対象となった情報処理(ここではヒトの声の認知)の機序の解明に貢献するのは難しい。代わりに関連する脳波のダイナミズムの同定や認知の機序解明が可能・容易な方法として、周波数分析を中心に、ヒトの声に特異的な反応を反映した信号を検出する実用的な技術の開発に取り組んだ。

3. 研究の方法

(1)【周波数分析による検討】関連する脳波のダイナミズムの同定や認知の機序解明が容易な方法として、周波数分析による検討を行った。

被験者 健常成人9名。

刺激材料 Belinらが機能MRIの研究において声特異的な反応の検出に用いたヒトの音声(Voc、言語的な意味を持たないもの。笑い声、「あー」という発声など。)ヒトの声ではない物体音や環境音(NonVoc)ならびに音声または環境音の包絡線を保ってスペクトルをランダム化したスクランブル(ScrVocおよびScrNonVoc、シュルシュルと聞こえる。)のm系列変調音を用いた。VocおよびNonVocのm系列変調にあたっては、無音区間を挿入する代わりに包絡線を保ってスペクトルをランダム化したスクランブル音との置換を行い、音のオンオフに対する低次の反応を抑制した。

記録 被験者が刺激材料を聴取している間の脳波を国際10-10法に従う11電極(Fpz、Fz、Cz、Pz、Oz、FC5、T7、CP5、FC6、T8、CP6)から記録した。参照電極は鼻尖で、標準化周波数は1000Hzとした。

解析 帯域(13~30Hz)の平均パワーをそれぞれの刺激について求めた。それぞれをPvoice、Pnonvoice、Pscr_voice、Pscr_nonvoiceと表記したとき、(Pvoice / Pscr_voice - Pnonvoice / Pscr_nonvoice)で得られるスコアを電極ごとに求めた

(2)【コヒーレンスによる検討】同じく関連する脳波のダイナミズムの同定や認知の

機序解明が容易な方法として、コヒーレンスによる検討を行った。オリジナルの循環相互相関関数の独立成分分析を用いた方法は、独立成分の選択に恣意性があるという問題があるのに対して、コヒーレンスを求める方法にはそうした問題がない。

データ 周波数解析に用いたのと同じデータを用了。

解析 それぞれの刺激について、帯域、帯域、帯域に分けて電極間の総当たりコヒーレンスを求め、voice - nonvoice と scr_voice - scr_nonvoice それぞれのパターンとコヒーレンス値の差の二乗和平方根を求めた。

(3)【相関係数行列による検討】同じく関連する脳波のダイナミズムの同定や認知の機序解明が容易な方法として、相関係数行列による検討を行った。刺激ごと、実験参加者ごとに刺激聴取時間中の脳波の電極間の相関係数行列を求めた。相関係数行列は脳波の持つダイナミクスを反映しているながら原理が単純で計算が容易であり、主成分分析などの信号処理の基礎となるデータであるという特長を持つ。コヒーレンス同様に、オリジナルの循環相互相関関数の独立成分分析を用いた方法は、独立成分の選択に恣意性があるという問題があるのに対して、相関係数行列を求める方法にはそうした問題がない。

4. 研究成果

(1)【周波数分析】 帯域(13~30Hz)のパワーについて、方法で述べたスコアをもとに検討すると、ヒトの声のm系列変調音を聴取しているときに選択的なパワーの減少(事象関連脱同期、ERD)ならびに聴取後のリバウンド(事象関連同期、ERS)が右半球(FC6、T8、CP6)優位に認められることが明らかになった。このことから、加算平均なしあるいは加算平均回数を少なくすることで計測時間を短くする方法として、循環相互相関関数の独立成分分析を行う方法に加えて、単純な事象関連脱同期(ERD)を検出する方法が優れている可能性が示唆された。循環相互相関関数の独立成分分析を行う方法では、多変量データを得るため多くのチャンネルから記録する必要があるが、フォーカルな信号であれば少数のチャンネルからの記録で十分であるし、相互相関関数の計算をしないのであれば、乱数としてm系列のような特殊なものを用いる必要がないので、計測法が単純になる。ただし、全体として統計的に有意になるものの、被験者間での一貫性は、これで診断に用いることができる程高いものではなかった。

(2)【コヒーレンスによる検討】 帯域、帯域、帯域のどの帯域でも、voice、

nonvoice、scr_voice、scr_nonvoice のいずれの場合にも、正中の、特に隣接した電極どうし、左側頭電極どうし、右側頭電極どうしのコヒーレンスが高いパターンを示した。コヒーレンス値の差の二乗和平方根は voice - nonvoice > scr_voice - scr_nonvoice となり、この傾向はすべての被験者で認められた。voice - nonvoice で認められるパターンについて個別の帯域ごとに吟味すると、帯では、中心頭頂部と右側頭部間のコヒーレンスが高かった。これは、声認知の右 aSTS 優位を裏付ける可能性がある。帯では、左右関係なく側頭どうしのコヒーレンスが高かった。これは、口周囲の一次感覚運動皮質は両側性支配であると思われるので、声へのフィード・フォワードな体性感覚反応である可能性がある。帯でも、左右関係なく側頭どうしのコヒーレンスが高かった。これも、声認知の aSTS 優位と関連する可能性がある。ただし、これらのパターンに現れたコヒーレンスの差は非常に小さなもので、統計的に有意な水準ではなかった。結果として機序は明確ではないが、コヒーレンス値を voice、nonvoice、scr_voice、scr_nonvoice の間で比較することで声特異的反応を被験者ごとに検出できる可能性が示された。

(3)【相関経緯数行列による検討】 voice、nonvoice、scr_voice、scr_nonvoice のいずれの場合も正中の隣接した電極どうし(Fz と Cz、Cz と Pz)の相関が高く、また左側(FC5、CP5)と他電極の相関が高いパターンが得られた。voice のパターンと nonvoice のパターンは類似していたが、分析した9人中7人の被験者について相関係数行列の対応する要素の差の二乗和平方根は Voc - NonVoc > ScrVoc - ScrNonVoc となり、この方法で声特異的な反応を抽出することができる可能性が示唆された。Voc - NonVoc - (ScrVoc - ScrNonVoc)で求められる相関係数行列では右側(FC6、T8、CP6)が相対的に高値を示し、特にFC6、T8と他の電極との相関係数が相対的に高値を示したことは声認知に関わる aSTS の関与を示唆するものであった。オリジナルの循環相互相関関数の独立成分分析を用いた方法に反映されるのが脳全体のダイナミズムであるのに対して、周波数解析を用いた方法やコヒーレンスを用いた方法、相関係数行列を用いた方法に反映されるのは脳の局所的なダイナミズムであった。声特異的反応の信号源が、ちょうど顔特異的反応の信号源が右側頭葉紡錘状回に局在しているように局在しているとするならば、必ずしも頭皮上全体にまんべんなく電極を配置して記録するのが有利とはならないと考えられる。

<引用文献>

Takeichi H, Koyama S, Matani A,

Cichocki, A, Speech comprehension assessed by electroencephalography: a new method using m-sequence modulation, Neuroscience Research, 57, 2007, 314-318

軍司 敦子, 竹市 博臣, 井上 祐紀, 岡田 浩之, 大森 隆司, 稲垣 真澄, 加我 牧子, Single one-minute trial assessment of speech processing in school age children, 日本音響学会聴覚研究会資料, 40(10), 2010, H2010-155

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計2件)

軍司 敦子, 竹市 博臣, 他5名, Beta rhythms of electroencephalography during voice perception in persons with/without autism spectrum disorders (Invited papers), Poster Symposium at the End of the Year 2013 on the Interdisciplinary Research of Perception and Cognition, Kyushu University, 2013年12月3日, 九州大学(福岡県・福岡市)

軍司 敦子, 竹市 博臣, 他1名, Voice-specific brain responses: a NIRS study, 30th International Congress of Psychology, 2012年7月25日, Cape Town (South Africa)

6. 研究組織

(1)研究代表者

竹市 博臣 (TAKEICHI, Hiroshige)

国立研究開発法人理化学研究所・情報基盤センター・専任技師

研究者番号: 60242020

(2)研究分担者

軍司 敦子 (GUNJI, Atsuko)

横浜国立大学・教育人間科学部・准教授

研究者番号: 70392446