

機関番号： 82401  
研究種目： 基盤研究(C)  
研究期間： 2008～2010  
課題番号： 20530674  
研究課題名(和文)  
理解の認知神経動力学と特殊教育への展開  
研究課題名(英文)  
Cognitive neurodynamics of comprehension and its application to special needs education  
研究代表者  
竹市 博臣 (TAKEICHI HIROSHIGE)  
独立行政法人理化学研究所・脳数理研究チーム・研究員  
研究者番号： 60242020

## 研究成果の概要(和文)：

音声言語すなわち話しことばはヒトにとって欠くことのできない能力であり、その発達の障害を早期に検出して療育に活かすことが重要である。この研究課題は、脳活動にともなう脳波に現れる「誘発反応」と呼ばれる信号を、「m系列変調法」と呼ばれる信号処理技術を用いて高い効率で収集し、音声言語の検出や理解の脳活動を効率的にとらえることをめざしたものである。基本的には、およそ3分間の脳波から、さらに「単純ベイズ法」と呼ばれる統計的手法を用いれば、1分間の脳波から音声言語の理解やヒト音声への特異的反応を測定できることが明らかになった。

## 研究成果の概要(英文)：

Speech comprehension is an indispensable human capability. It is important to detect its atypical development at an early stage for appropriate care and education. The present program aimed at detecting efficiently the brain activities called “evoked potentials” in association with detection and comprehension of speech, using a signal detection technique called “m-sequence modulation.” It has been clarified with the technique that one-minute encephalogram with the naive Bayes classifier, or, three-minutes electroencephalogram with the conventional averaging contains sufficient information for the assessment of speech comprehension or of the specific response to human voice.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：神経科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：神経動力学，広汎性発達障害，発達障害評価法，ヒト音声特異的反応，脳波，独立成分分析，単純ベイズ分類器，m系列

## 1. 研究開始当初の背景

音声言語の理解はヒトにとって欠くことのできない統合機能である。言語理解の神経機構については、脳波とくに誘発脳電位を用いた研究が多くの成果をもたらしてきたが、ことばの発達を研究する上で2つの困難を伴う。すなわち、誘発反応を抽出するために刺激にタイムロックした加算平均を行う方法は、時間的に広がりのある談話のような刺激を用いることが難しく、多くの繰り返しを要するので計測に時間がかかる。言語発達の上で重要な年齢にある児童には負担が重い。こうした問題に対処するため、「m系列変調法」が開発された。その概略を以下に述べる。

「m系列変調法」は、科学技術振興機構・社会技術研究システム（JST-RISTEX）公募型プログラム・研究領域「脳科学と教育」＜タイプI＞平成16年度新規採択研究課題「音声言語知覚機構の解明と英語教育法への展開」（代表者小山幸子）の一部として、m系列変調音声を刺激とした脳波にもとづく他覚的な音声知覚評価法として開発されたもので、提案研究代表者（竹市博臣）もその事業に携わってきたが、音声言語理解の成否を、脳波を用い、安価・簡便・短時間で他覚的に評価できる。「m系列」は情報通信の分野で信号の符号化に用いられる2値（1と0）の擬似乱数系列で、簡単な2進演算で作れるわりに長周期の系列を得ることができ、分布の一様性や自己相関などの特性で優れている。

「m系列変調法」では、m系列できまるタイミングで刺激談話の一部を無音区間（ギャップ）に置き換える。被験者にとっては、でたらめにギャップが挿入されたきれぎれの劣化音声となり、調子の悪い携帯電話を使っているような印象である。実際には刺激の50%（もとの乱数での0の生起頻度）の部分がギャップに置き換わって失われているが、前後の文脈から失われた部分が補完されて、全体としての意味をとることはできる。文脈にもとづく補完のため、脳はギャップごとに情報処理を行うことになるが、それに伴って誘発反応がでるとすれば、実験者が把握しているギャップを挿入したタイミングにあわせて、反応を信号として集めることは困難ではない。具体的には、この刺激を聴取させて計測した脳波と、ギャップのタイミングをきめるm系列の循環相互相関関数を電極ごとに計算し、さらに循環相互相関関数に独立成分分

析を施すと、効率的に談話理解関連成分を抽出することができる。この方法は計測が短時間であるため、雑音耐性も高いと考えられる。

実際に8人の日本語母語話者（成人）を対象とし、日本語と、音韻的に類似しているスペイン語談話をm系列で変調し、劣化音声聴取時脳波を記録分析した。刺激が理解可能な日本語の場合は言語・意味処理に基づく補完が生じるのに対し、そうでないスペイン語の場合は音響的な補完のみにとどまるので、日本語とスペイン語で異なる反応が得られるのではないかと考えた。分析の結果、劣化日本語聴取時の脳波から、空間分布が中心部および中心頭頂部優位となり、日本語とスペイン語の順再生と逆再生の比較において、遅延時間400ミリ秒で日本語順再生に特異的なピークを示す成分が抽出された。

## 2. 研究の目的

本課題では「理解の認知神経動力学と特殊教育への展開」として、上記m系列変調法を、学校や病院の検査場面で、試験的用途で実際に使えるようにするために必要な技術開発研究を行い、国内外の研究者・技術者・臨床家の方々に実際に使えるものを目指した。

## 3. 研究の方法

(1) 【単純ベイズ分類器を用いた検討】実際の場面での応用には、個人別評価の可否が決定的に重要になる。単純ベイズ分類器を中心とした信号検出法の検討を行った。

①被検者 中学1・2年生6名。うち女子3名、13～14歳6月、右利き、日本語話者、通常の学校教育以外に特別な外国語教育・経験のない者であった。

②刺激材料 日本語・スペイン語のNHKニュース（インターネット版）それぞれの順逆再生51.175秒を2047個の25ミリ秒ずつのセグメントに分割し、11次の2値m系列（乱数）にしたがって変調（無音区間を挿入）した。

③記録 被検者が刺激材料を聴取している間の脳波を国際10-20法に従う19電極（Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T3, C3, Cz, C4, T4, T5, P3, Pz, P4, T6, O1, O2）から記録した。参照電極は鼻尖で、標準化周波数は250Hzとした。

④解析 4～45Hzを通過帯域とするバンドパスフィルタを適用し、記録電極ごとに1秒間に100マイクロボルト以上の電位変動のある区間のデータ

を0で置換して解析から除外した。その後m系列の復元シーケンスとの循環相互相関関数を求め、その最初の600ミリ秒の部分に320ミリ秒の移動窓を設け、そのそれぞれを単純ベイズ分類器への入力とした。単純ベイズ分類器の成績はLeave-one-out法により評価した。

(2) 【広汎性発達障害の評価への応用可能性】顔同様にヒト音声に対する特異的応答が機能的磁気共鳴映像法(機能MRI)、脳磁図(MEG)などさまざまな神経心理学的指標で得られているが、発達障害のうち、とりわけコミュニケーションに困難さを示す広汎性発達障害児はヒト音声に対する応答が定型発達児と異なることが知られているので、ヒト音声をm系列変調して聴取時脳波を記録し、成分相関関数として抽出される誘発反応を分析することで、社会性の発達障害の評価に貢献し得る。

①被検者 健康成人6名。

②刺激材料 言語的な意味を持たないヒト音声(感嘆やため息、笑い声など)・環境音およびそれぞれのスペクトルスクランブル20.46秒を1023個の20ミリ秒ずつのセグメントに分割し、10次の2値m系列(乱数)にしたがって変調した。音声および環境音は、m系列にしたがってスペクトルスクランブルと置換することで変調した。音声のスペクトルスクランブルおよび環境音のスペクトルスクランブルは無音区間と置換することで変調した。4種類のそれぞれについて8個の刺激を用意し、1回ずつ呈示した。

③記録 被検者が刺激材料を聴取している間の脳波を拡張国際10-20法に従う11電極(Fpz, F7, Fz, F8, T3, Cz, T4, T5, Pz, T6, Oz)から記録した。参照電極は鼻尖で、標本化周波数は1000Hzとした。

④解析 4Hz以上を通過帯域とするハイパスフィルタを適用し、刺激ごとにm系列の復元シーケンスとの循環相互相関関数を求め、8回の計測間で平均し、平均循環相互相関関数の最初の1000ミリ秒間の部分を独立成分分析への入力とし、成分を抽出した。成分に関して、被検者ごとに(ヒト音声に対する成分相関関数-環境音に対する成分相関関数)-(ヒト音声のスペクトルスクランブルに対する成分相関関数-環境音のスペクトルスクランブルに対する成分相関関数)を計算し、評価測度(得点)とした。

#### 4. 研究成果

(1) 【単純ベイズ分類器を用いた検討】順再生日本語と逆再生日本語の比較では、F8電極・200-544(中央値372)ミリ秒窓において、また、順再生日本語と順再生スペイン語の比較では、F8電極・228-544(中央値386)ミ

リ秒窓において、計算された循環相互相関関数から構築された単純ベイズ分類器の識別成績が91%( $p < 0.01$ )以上となった。理解可能な言語的刺激に対する反応と理解できない非言語的刺激に対する反応の比較では前頭部からの信号に一貫した応答が認められたが、それ以外の比較では一貫性のない応答となった。この計測分析では右側優位の反応となったことから、理解より音韻的側面に対する応答が強かったと思われる。この結果は、この方法を適用した脳波計測を、短時間で実施可能な音声言語理解の個人別客観的評価法として用いることができる可能性を示している。国内外においても1条件1分未満(ベースライン条件を含めても2分未満)で実施可能な評価法は存在しない。短時間の計測により被検者の負担とアーチファクトの混入が軽減され、より低年齢の児童での計測が容易になることが期待される。

(2) 【広汎性発達障害の評価への応用可能性】被検者ごとに求めた評価得点(研究方法の項を参照)は、被検者間で一貫したおよそ5Hzの周期的な関数となり、250ミリ秒以下の区間に2つの一貫性のあるピークを示した。このことから、まず、単純ベイズ分類器のような機械学習やパターン認識の手法を用いなくても、8回程度の加算平均を行うことができる場合は、個人ごとの評価に必要な信号雑音比が得られることが確認された。これは、計算負荷を減少するのでこの手法の実用化に、また信号の解釈に重要である。これらのピークは、ヒト音声に特異的な反応に対応するものと考えられるが、応答の時相は一般的な方法で計測された先行研究の誘発反応潜時に合致する。この反応を安定的に抽出する技術をさらに開発することで、短時間で実施可能な発達障害評価法の開発につながる可能性がある。

#### 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)

[雑誌論文](計4件)

①竹市博臣(1番目)、小山幸子(2番目)、他4名、Comprehension of degraded speech sounds with m-sequence modulation: An fMRI study, NeuroImage, 査読有, 49巻, 2010, 2697~2706

②小山幸子(6番目)、竹市博臣(10番目)、他9名、聴覚事象関連電位への神経デコーディングの適用: 統計的識別手法の捕獲と脳波分析方法としての評価, 基礎心理学研究, 査読有, 28巻, 2009, 44~58

③竹市博臣(1番目)、小山幸子(2番目)、他2名、ランダムプローブ法と談話理解の脳内機構, 臨床脳波, 査読無, 50巻, 2008, 524~530

[学会発表](計11件)

①竹市博臣(1番目)、軍司敦子(2番目)、他1名、Development of an efficient method for evaluation of pervasive developmental

disorders , International Neuropsychological Society, 2012年2月16日, Montréal, Québec, Canada

②軍司敦子 (1番目), 竹市博臣 (2番目), 他5名, Single one-minute trial assessment of speech processing in school age children, 日本音響学会聴覚研究会, 2010年12月11日, 福岡県柳川市

③竹市博臣, 神経情報場の理論の可能性, 日本理論心理学会第55回大会, 2009年11月8日, 京都府京都市

④竹市博臣, 談話理解の計測: 劣化音声に対する脳波応答の判別分析, 日本神経回路学会第19回全国大会 (JNNS2009), 2009年9月26日, 宮城県仙台市

⑤竹市博臣, 単純ベイズ分類器と距離, 日本心理学会第73回大会, 2009年8月28日, 京都京都市

⑥竹市博臣 (1番目), 軍司敦子 (2番目), 他4名, A study of children's speech comprehension by discriminant analysis of EEG response to degraded speech sound, 脳と心のメカニズム第10回夏のワークショップ, 2009年8月9日, 北海道札幌市

⑦竹市博臣 (1番目), 小山幸子 (2番目), 他2名, A coherence analysis of independent component electroencephalogram, The 10th RIES-Hokudai International Symposium on AYA, 2008年12月8日, 北海道札幌市

⑧竹市博臣 (2番目), 小山幸子 (3番目), 他2名, A new technique for assessing verbal comprehension using magnetoencephalography, The 16th International Conference on Biomagnetism (BIOMAG 2008), 2008年8月27日, 北海道札幌市

⑨竹市博臣, 小山幸子, Volterra series analysis of scalp EEG responses to spoken sentences modulated by m-sequence, 第31回日本神経科学大会, 2008年7月11日, 東京都

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

竹市 博臣 (TAKEICHI HIROSHIGE)

独立行政法人理化学研究所・脳数理研究チーム・研究員

60242020

### (2) 研究分担者

軍司 敦子 (GUNJI ATSUKO)

独立行政法人国立精神・神経医療研究センター・精神保健研究所・知的障害研究部・治療研究室長

70392446

### (3) 連携研究者

小山 幸子 (KOYAMA SACHIKO)

北海道大学・電子科学研究所・准教授

40270483