

令和元年6月24日現在

機関番号：82636

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01969

研究課題名(和文) 脳活動計測による単語の意味認識の評価

研究課題名(英文) Estimating semantic recognition of words using measurements of brain activation

研究代表者

藤巻 則夫 (FUJIMAKI, NORIO)

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳機能解析研究室・マネージャー

研究者番号：80359083

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：単語の間の意味的な距離、すなわち意味が近いか遠いかの程度が脳の中でどのように処理されているかを知るために、我々は二つの単語を順に視覚呈示するプライミング課題を使って、脳活動をMEG計測した。本研究代表者らが以前開発した少数試行脳磁界データの脳活動源解析手法と雑音低減処理を使い、意味的な距離を変えて計測した多数の試行データを解析し、脳活動源強度を得た。この結果、被験者10人のデータの内1人のデータから、意味処理に関わる側頭前部における脳活動源の強度が、有意な意味的距離依存性を示すことを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、脳活動の条件差の有無を見る過去の多くの研究とは異なり、意味的距離という連続的なパラメータへの脳活動の依存性を抽出することを目的とし、パラメータ依存性を定量的に評価するために必要な脳活動計測や解析の手法を開発した意義がある。意味の脳内処理は多くの部位が関わり、個人差もあるため、今回の解析において有意な依存性が一例しか得られなかったことは、今後のさらなる研究の必要性を示す。また脳内の意味処理についての解析手法や知見は、ヒトの認識・意図を抽出する脳情報応用や認知症などの臨床応用に寄与する。

研究成果の概要(英文)：To know how the semantic distance between words, i.e., the similarity of their meanings, is processed in the brain, we measured neural activations with MEG using a priming paradigm in which a pair of words were visually presented in a sequential manner. Using our method of analyzing neural sources from a small number of MEG trial data and additional noise reduction processes, we analyzed many trial data that were measured by varying semantic distance, to obtain the activation strengths of neural sources. As the result, a single subject among ten showed the significant dependence of activation on semantic distance for a neural source in the anterior temporal area, whose function is known to be related to semantic processing.

研究分野：脳機能計測

キーワード：脳機能 脳磁界計測 MEG 活動源推定 少数試行データ解析 言語 意味 意味的距離

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 言語処理は複数の処理に関わり、視覚や聴覚などの言語情報の入力から、音韻や意味、書字や発話などの出力処理まで関わる(引用文献)。空間的な精度がミリメートル程度と優れた機能的磁気共鳴画像(fMRI)や、時間的な精度がミリ秒と優れた脳磁界計測(MEG)などを使った言語処理の脳活動の研究が多数報告されている。言語の意味処理は、複数の部位が関わることが知られているが、とくに側頭前部は、その損傷により意味性認知症(認知機能の中の意味処理だけが選択的に障害される症状)を生じる部位であり、感覚、運動、その他の処理部位への情報の流れの経路点になっているとの主張(引用文献)もあり、意味処理と深く関わる。fMRIの実験から、意味的距離が大きいと、この部位の活動が大きいことが示されている(引用文献)。一方MEG実験から、単語の意味を含む語彙の処理を反映する脳活動は、単語呈示から400ミリ秒付近にピークを持ち、活動強度が単語の特性や先行情報の影響を受けることが知られており、その位置は側頭部から前頭部に広がっている(引用文献)。

(2) MEGの活動源推定は、数学的には解が唯一でないことが知られ(引用文献)、数学的な仮定や他の知見を入れるなどの複数の推定手法が提案されている。本研究代表者のグループでは、(拡張型)L1ノルム最小化に基づいて、MEGデータだけから活動源を推定する方法を検討し、fMRI計測結果との比較などにより、視覚的に呈示する単語の処理に関わる5つの部位の活動をcm程度の精度で捉えられることを示している。本研究代表者らは、さらにこの方法を拡張し、「少数試行脳磁界データの脳活動源解析手法」(引用文献)。以下、本解析手法と略記)を開発した。通常は100程度の試行数のMEGデータを加算平均して、活動源の位置や活動強度を推定するが、本解析手法では、多数試行データから位置を求め、少数試行データごとに強度を求める。意味的距離に近い少数試行データごとにグループ分けをすることにより、限られた試行数のデータから、脳活動源の活動強度(以下、脳活動源強度と略記)の意味的距離依存性を得ることができる(図1)。

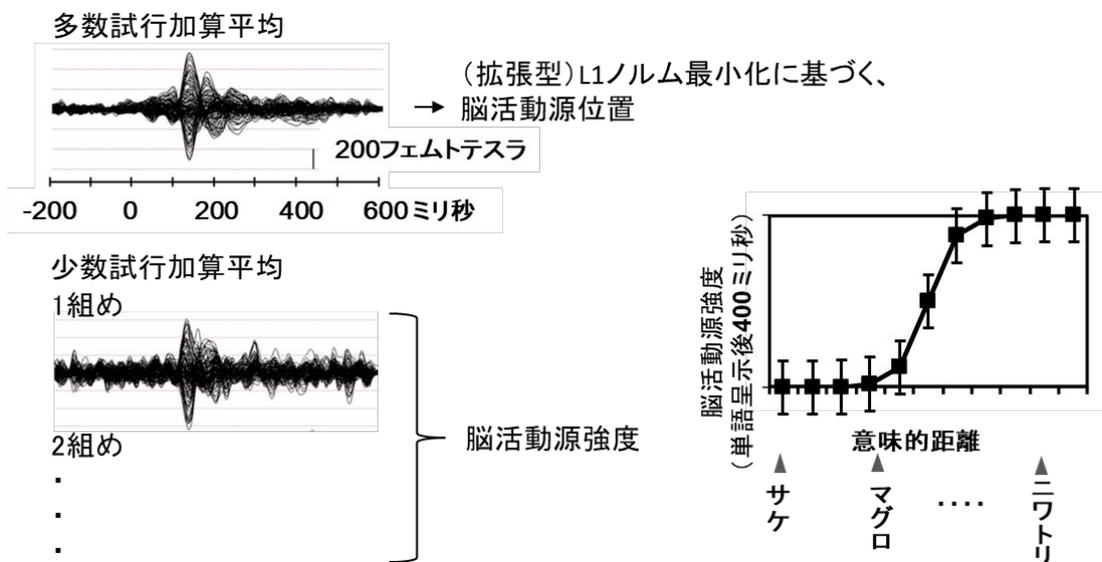


図1 少数試行脳磁界データの脳活動源解析手法

### 2. 研究の目的

(1) 本研究では、単語間の意味的な距離、すなわち意味が近いか遠いかの程度が脳内でどのように扱われているかを知ることが目的とする。このため動物名を例として使用し、被験者が二つの単語の処理を行う際の脳活動をMEGを使って計測し、脳活動源強度が二つの単語の意味的距離に依存するかを解析する。

(2) MEGにより脳活動の意味的距離依存性をとらえようとすることは、fMRI実験と比べて特定の時刻にしぼって脳活動を見る利点があり、また血流変化を通して脳活動をとらえるfMRIと比べて、MEGは電気的脳活動を磁場の形で直接見るため、遅延や非線形性などの歪なしに、意味的距離の脳内処理を正確にとらえる可能性がある。

### 3. 研究の方法

(1) 二つの単語を順に呈示するプライミング課題を使い、脳活動を計測する。後続呈示した単語の脳内処理は、先行呈示した単語の影響を受け、それが脳活動に反映することが知られているので、後続単語の意味処理が行われる、単語呈示後400ミリ秒後を含む時間帯の脳活動(N400

成分)を、MEGを使って記録する(図3(a))。

(2) 前記の本解析手法により計測したMEGデータを解析する。少数試行の加算平均データから活動源強度を得るため、雑音対策が重要であり、データを見ながら、必要な処理の開発・整備を行う。解析により二つの単語の意味的な距離に対する脳活動依存性を抽出することにより、脳内で意味の近さ・遠さがどのように処理されているかを見る。

(3) 脳活動源強度は、単語の語長、親密度、表記妥当性などの語彙特性にも依存し得る。このため予備実験として、さまざまな語彙特性を持つ単語を単独に呈示してMEG計測・解析(図2(a))を行い、脳活動源の語彙特性依存性を得る。この依存性を考慮して本実験計測データの解析を行なうことにより、正確な意味的距離依存性を得る。

#### 4. 研究成果

(1) 予備実験のために使用する単語を、語彙のデータベース(引用文献)を用いて選んだ。実験に使用する「動物」と、比較のための「道具」の2つのカテゴリについて、語長、親密度(いかに身近に感じられるか?)、表記妥当性(当実験で使用するカナ表記がいかに妥当と感じるか?)の語彙特性を考慮して、単語を抽出した。語彙特性への依存性を見るために、これらの語彙特性が広い範囲(語長:2-5、親密度:5段階の1-5、表記妥当性:7段階の1.5-6.5)にばらつくようにし、また二つのカテゴリから、同程度の語彙特性を持つ単語をそれぞれ抽出するようにした結果、211個ずつの単語が抽出できた。

(2) 被験者2名について、抽出した単語を単独呈示して、MEG(Elektro NeuroMag社、360)を使って計測を行った。例として、一人の被験者の「動物」の結果を図2に示す。図2(b)は計測した脳磁界波形(150試行(多数試行)分の加算平均波形)、図2(c)は本解析手法により推定された64か所の活動源位置(左半球のみ表示)と、10試行(少数試行)ごとに単語呈示開始から300-500ミリ秒の時刻において得られた活動源強度平均値の親密度依存性(一般線形モデルによる有意確率 $p$ の対数値 $(-\log_{10}p)$ を円の大ききで示し、円が大ききほど依存性が顕著)、図2(d)は左側頭前部における脳活動源強度対三つの語彙特性を示す。なお親密度と表記妥当性は、実験に使用した単語に対して、この被験者から得た7段階の評定値を使用した。左側頭前部付近の脳活動に注目したが、語長( $p=0.12$ )、親密度(0.85)、表記妥当性(0.64)のいずれについても有意な依存性は得られなかった。もう一人の被験者からも有意な依存性は得られなかった。限られた被験者数の結果ではあるが、本実験では語彙特性をできる限りそろえた単語を使用するため、意味的距離依存性を抽出する際の語彙特性依存性の補正は不要と判断した。

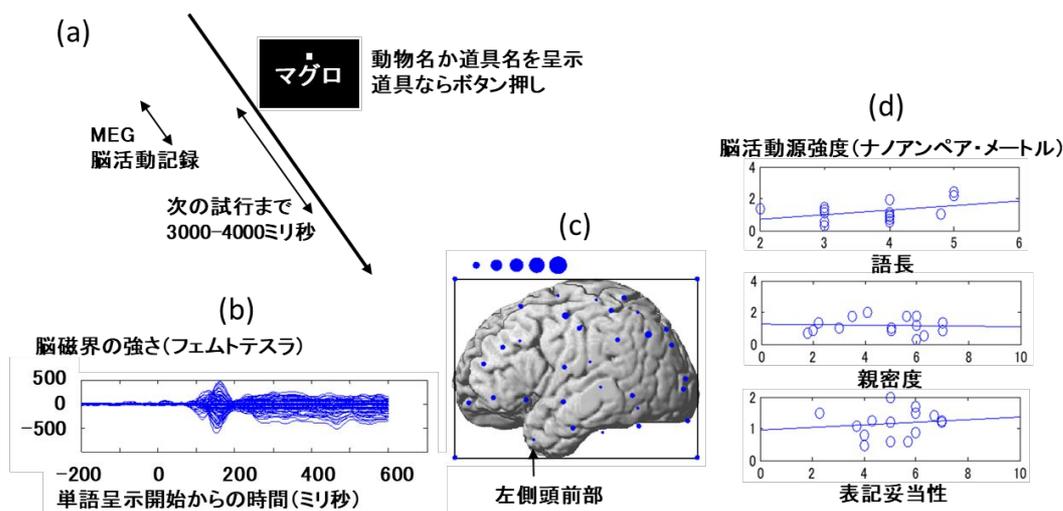


図2 予備実験。(a)単語呈示方法、(b)150試行のMEG計測データの加算平均波形、(c)推定された活動源位置と親密度依存性(一般線形モデルによる有意確率の対数値を円の大ききで表示し、円が大ききほど依存性が顕著。なお図の枠外上部の丸が、1~5のスケールを示す)、(d)左側頭前部における脳活動源強度対語長、親密度、表記妥当性の特性。

(3) 脳活動の意味的距離依存性を解析した。新たなMEG実験を行う時間がなくなったため、分担者が意味的な距離を変えた動物名を使ったブライミング課題によりMEG(4D-Neuroimaging社、Magnes 2500WH)を使って以前計測した10人分のMEGデータを使い、これを本解析手法により解析した。前処理としてMEGデータに独立成分分析やバンドパスフィルターを使用して、

雑音や目・心臓などのアーチファクトを除く雑音対策を行った。被験者 10 人中一人のデータにおいて、意味処理に関わる側頭前部付近の活動が、有意な意味的距離依存性を示した。この一人の被験者の結果を図 3 に示す。図 3(b)は計測した脳磁界波形 (1470 試行 (多数試行) 加算平均波形) 図 3(c)は本解析手法により推定された 54 か所の活動源位置と、90 試行 (少数試行) ごとに単語提示開始から 300-500 ミリ秒の時刻において得られた活動源強度平均値の意味的距離依存性 (前記同様、一般線形モデルによる有意確率  $p$  の対数値を円の大ききで示す) 図 3(d) は左側頭前部における脳活動源強度 対 意味的距離 (16 段階) の特性 ( $p=0.0031<1\%$  で有意な依存性) を示す。意味処理に関わる左側頭前部の活動源強度が意味的距離に応じて顕著に増大した。他の 9 人のデータからは、有意な依存性が見られなかった。

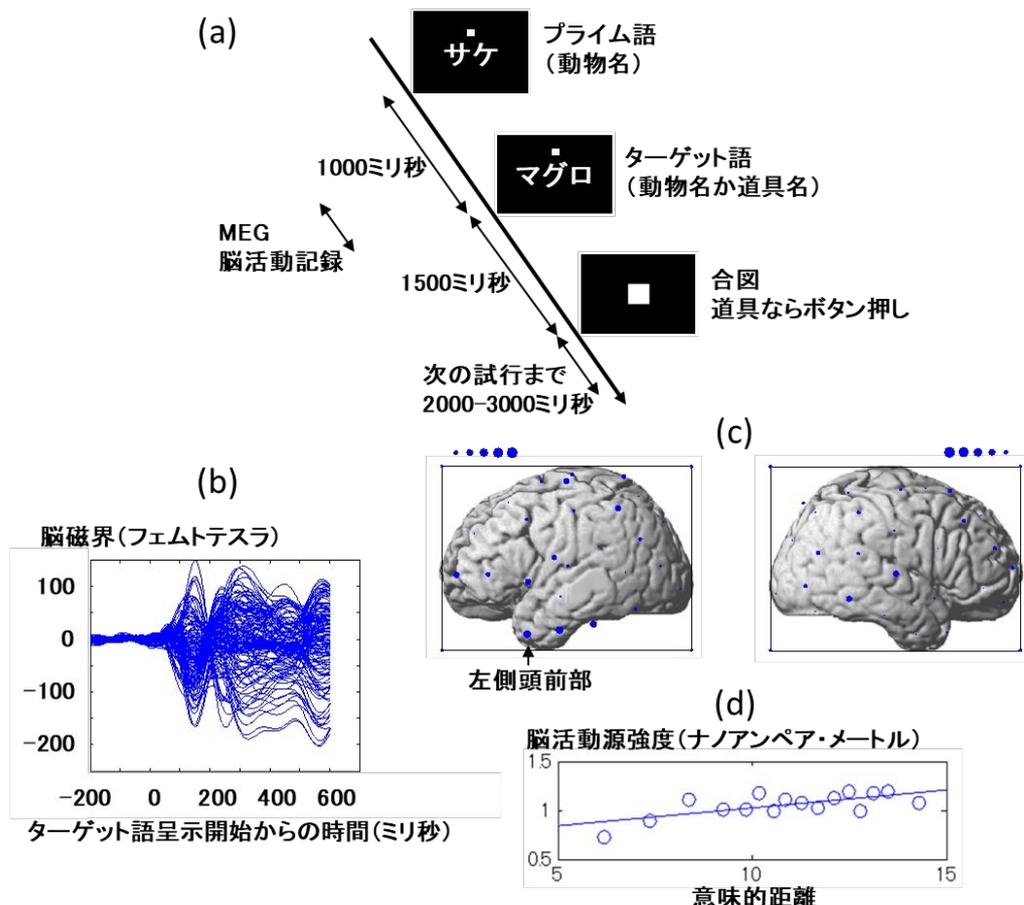


図 3 本実験。(a)単語提示方法、(b)1470 試行の MEG 計測データの加算平均波形、(c)推定された活動源位置と意味的距離依存性 (一般線形モデルによる有意確率  $p$  の対数値を円の大ききで示し、円が大ききほど依存性が顕著。なお図の枠外上部の丸が、1~5 のスケールを示す) (d) 左側頭前部における脳活動源強度 対 意味的距離 (16 段階) の特性 ( $p=0.0031$  で有意な依存性あり)。

(4) 本研究の過程において、手法の開発を行った。これには、語彙特性を広くばらつかせた単語の抽出、独立成分分析やバンドパスフィルターを含む雑音対策、活動源推定結果が得られた後の処理として標準脳座標への変換や脳部位名の特定、および意味的距離依存性についての一般線形モデルによる検定を自作の (matlab) 解析プログラムに含める自動化、4 つの実験ランに分けて計測した MEG データ (頭に対するセンサー位置が異なるデータ) を一つの実験データとして統合する前処理、を含む。このように、本手法を多くの実験データに応用し、脳活動の刺激パラメータへの依存性を定量的に得るために必要な開発・整備を行なうことができた。

(5) 本研究は、脳活動の条件差の有無を見る過去の多くの研究とは異なり、意味的距離という連続的なパラメータへの脳活動の依存性を抽出することを目的とした。本研究により、それに必要な解析手法の整備ができた。また脳内の意味処理についての解析手法や知見は、ヒトの認識・意図を抽出する脳情報応用や認知症などの臨床応用に寄与する。今回の研究において、10 人の被験者中一人から有意な依存性が得られ、残りの 9 人からは依存性が出なかったが、意味の脳内処理は多くの部位に関わり、個人差もあり、解析手法を含めてさらなる研究が必要と思われる。

## <引用文献>

- C. J. Price, The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging, J. Anat., Vol. 197, 2000, 335-359
- K. Patterson et al., Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain, Nat. Rev. Neurosci., Vol. 8, 2007, 976-987
- G. D. Zannino et al., Visual and semantic processing of living things and artifacts: an fMRI study, J. Cogn. Neurosci., Vol. 22, 2009, 554-570
- A. Ihara et al., Lexical access and selection of contextually appropriate meaning for ambiguous words, NeuroImage, Vol. 38, 2007, 576-588
- M. Hamalainen et al., Magnetoencephalography – theory, instrumentation, and applications to noninvasive studies of the working human brain, Reviews of Modern Physics, Vol. 65, 1993, 413-497
- N. Fujimaki et al., Accuracy of estimating strengths of dipole moments from a small number of magnetoencephalographic trial data, Brain Topogr. Vol. 27, 2014, 635-647
- 天野成昭・近藤公久編著、日本語の語彙特性 1,2,9 巻、三省堂、1999 および 2008

## 5 . 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計 1 件)

Soshi Takahiro, Fujimaki Norio, Matsumoto Atsushi, Ihara Aya S., Memory-based specification of verbal features for classifying animals into super-ordinate and sub-ordinate categories, Frontiers in Communication, Vol. 2, 2017 Article 12  
DOI: 10.3389/fcomm.2017.00012

### 〔学会発表〕(計 1 件)

藤巻則夫、MRI・MEG の運用と言語脳機能計測、第一回 ISMRM (国際磁気共鳴医学会) 日本支部学術集会、ランチョンセミナー(招待講演)2017 年 02 月 24 日(大阪大学吹田キャンパス CiNet 棟)

### 〔図書〕(計 0 件)

### 〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

### 〔その他〕

ホームページ等

脳情報通信融合研究センター <http://cinet.jp>

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：井原 綾

ローマ字氏名：IHARA, S. AYA

所属研究機関名：情報通信研究機構

部局名：脳情報通信融合研究センター脳情報工学研究室

職名：主任研究員

研究者番号(8桁): 30390694

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：松本 敦

ローマ字氏名：MATSUMOTO, ATSUSHI

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、研究者個人に帰属されます。