

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18515

研究課題名(和文)なぜ言語には文法が必要なのか - 脳磁図を用いた予測処理における神経律動の分析

研究課題名(英文)Why every human language have a grammar?: A study on neural oscillation in predictive language processing using MEG

研究代表者

酒井 弘(Sakai, Hiromu)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：50274030

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文):自然言語に複雑で多様な「文法」が存在するのはなぜなのだろうか。この疑問には、いまだに科学的・実証的な答えが与えられていない。本研究では「予測(prediction)」という概念を手がかりに、脳(神経)科学の観点からこの難問に挑んだ。具体的には、「一本の枝」「一枚の紙」のように、日本語の数量表現が後続する名詞のタイプを予測する手がかりとなることを利用し、言語処理における予測に伴う神経活動を探る脳磁図計測実験を実施した。暫定的な結果として、側頭葉中側頭回が予測処理に関わることがわかったため、成果を国際学会において発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では言語処理における予測に伴う神経活動について、暫定的な結果ではあるものの、側頭葉中側頭回が関わることを明らかにした。自然言語における文法処理の脳機能は、前頭葉下前頭回(いわゆるプロ力野)との関わりが強いことがわかっている。よってこの結果は、予測処理の脳機能と文法処理の脳機能が類似しつつ異なる領域の神経活動に反映されることを示すという意義があった。また、人間のコミュニケーションにおける言語の重要性を踏まえると、認知症に伴うコミュニケーション障害のメカニズム解明など社会的必要性の高い研究課題の探求に脳磁計を活用する可能性を示すという意義もあった。

研究成果の概要(英文):Why every human language has an elaborated system of grammar that is distinct from one language to the other? This is a difficult question that no one can give a conclusive account. This study tried to give neuroscientific answer to this question by examining the nature of "prediction" in human language processing. In concrete, we conducted a series of MEG experiments measuring neuromagnetic activities during the processing of classifier-noun combination in Japanese that yields strong forward prediction; "Ip-pon-no eda (one bunch of a tree)" or "ichi-mai-no kami (one sheet of paper)", for instances. We obtained a preliminary result that the middle temporal gyrus is involved in predictive language processing and reported the result in international conferences.

研究分野：言語認知神経科学

キーワード：言語学 脳・神経 認知科学 実験系心理学

## 1. 研究開始当初の背景

言語のような人間に特徴的な精神(高次認知)活動を研究するには、活動の結果として表出される言語行動(言語学データ)を分析するアプローチと、活動を支える生理基盤(脳科学データ)を分析するアプローチとの両者が可能である。両者は、ともに人間の精神活動を捉えるためのアプローチではあるものの、データの粒度、基本概念、説明対象などさまざまな点で異なるため、相互に成果を共有するのが難しいことが指摘されてきた(Poeppe and Embick, 2005; Embick and Poeppe, 2014)。申請者はこれまでの研究活動を通して、前者のアプローチと後者のアプローチのそれぞれに取り組み、成果を挙げてきた(Fukui and Sakai, 2002; Momo, Sakai, and Sakai, 2007)。その過程を通して、言語という生物学的現象全体的理解に至るためには両者をより緊密に結びつける枠組みが必要であることを強く感じるようになり、両者を結びつける試みの必要性を訴え続けてきた(酒井, 2016)。本申請の研究構想はいわば、「予測」という概念と説明対象を共有することで文法や語彙のような言語学的対象と、神経ネットワークや神経律動という生理学的対象を結びつけようとする試みであり、成功すれば、これまでの学術の枠組みを越えて体系の再構築と方向転換を促す発展性を有すると考えられる。

ただし本研究構想は、次の2点でいまだ芽生え期の探索的研究である。第一に、言語処理、なかでも予測処理と神経律動の関係を報告した研究成果(Bastiaansen, et al., 2010; Wang et al., 2012)は世界的に注目されて入るものの、まだ報告が一部の研究グループに限定されている。同じパラダイムを使用した実験が複数の研究グループで実施されていないため、再現性があるか否かの検証が進んだとは言えない段階にある。第二は、計測機器として利用する予定である脳磁計が、MRI装置と比較してまだ普及していない。過去20年間に飛躍的に発展したfMRIによるイメージング研究と比較して、脳磁計を用いた研究はまだまだ少数であり、いまだ発展途上にあると言える。しかしながら、fMRIには時間的分解能が低いという克服しがたい弱点があるため、言語処理の分野では、時間軸に沿って逐次的に変動する神経ネットワークの活動を探るような、脳磁計を使用しなければならない研究によって飛躍的な発展が促される可能性があると考えて、脳磁計を使用する研究を計画した。

## 2. 研究の目的

自然言語に複雑で多様な「文法」が存在するのはなぜなのだろうか。この疑問には、いまだに科学的・実証的な答えが与えられていない。本研究では「予測(prediction)」という概念を手がかりに、脳(神経)科学の観点からこの難問に挑む。近年、人間の言語処理研究において、予測が重要な役割を果たすことが明らかにされてきた。予測に使用されるさまざまな言語情報の中で、文法情報は一般的・規則的であり精度の高い予測を可能にする。だとすれば自然言語に文法が存在するのは、予測処理に適しているからではないかという仮説が成り立つ。本研究では、脳磁図(magnetoencephalogram)を計測して神経律動(neural oscillation)と呼ばれる指標を分析し、予測に関わる神経ネットワークの活動を明らかにすることを通してこの仮説の検証に貢献する。

## 3. 研究の方法

本研究では脳磁図(magnetoencephalogram)を計測して神経律動(neural oscillation)と呼ばれる指標を分析し、予測を支える神経ネットワークの活動を解明する実験を行う。脳活動の計測にはfMRI(機能的磁気共鳴画像)、脳波(electroencephalogram)、脳磁図など様々な手法が存在するが、神経ネットワークを特定するという目的から、空間的分解能が高いことが不可欠であるとともに、予測にともなう神経活動は入力情報に応じて逐次変動するため、時間的分解能も高いことが求められる。両者を兼ね備えた手法として、本研究では脳磁図の計測を行う。さらに、「脳のリズム」とも呼ばれ、逐次的に神経ネットワークの活動を探ることができる指標として注目を集めている神経律動を分析対象とする(Lewis and Bastiaansen, 2015)。脳磁図を用いた予測処理の研究では予測を惹起するために線画を用いる場合もあるが(Dikker and Pylykkanen, 2013)、本研究では言語情報によって惹起される予測、なかでも文法情報による予測を捉えるため、日本語の数量表現を材料に使用する。「一つ」「一台」などの数量表現は必ず名詞と組み合わせ使用されるため、強い文法的予測を生じる。さらに数量表現のなかでも、「一つ」は具象物から抽象的概念まで多様な名詞と組み合わせられるが、「一台」は比較的大型の機器や乗り物などごく限られた具象物としか組み合わせられない。つまり語彙(意味)的予測は数量表現ごとに大きく異なっている。そこで両者を比較することで文法的予測に特有の神経ネットワークの活動を抽出できると考えて実験を実施する。

## 4. 研究成果

研究期間中に達成できた研究成果は、大きく4つにまとめることができる。1) 国際的な研究情報交換のワークショップを実施することで、国際的な研究ネットワークを構築できたこと、2) 数量表現を使用した予測処理の脳磁気計測実験を実施し、データを分析して国際学会において発表したこと。3) 脳磁気計測実験の関連研究として脳波計測による言語処理実験を複数実施し、国際学会における発表、査読つき国際学術誌への論文掲載を達成できたこと。4) 同じく関連研

究として視線計測を使用した言語の予測処理研究を実施し、国際学会における発表および査読付き国際学術誌への掲載を実現できたことをあげることができる。なお、3)および4)は国際共著論文として掲載されたことも重要な成果だと考える。一方達成できなかった課題とその理由として、コロナウィルスの流行によって人を対象とする脳機能計測実験の実施が制限されたため、データ収集を完了するタイミングに1年近い遅れが生じたことから、当初計画していた神経律動の分析を完遂できなかった。しかしデータ計測は研究期間内に終了したため、研究期間終了後に解析を継続することで早期に当初の計画を完了できる見通しである。

国際的研究者交流の成果としては、2019年2月に神経律動を指標とした言語処理の脳機能研究の分野で国際的に注目されているマックスプランク研究所(ライプチヒ)の Lars Mayer 博士、ラドバウド大学及びドンダース研究所の Vitoria Piai 博士、及び脳機能データに基づく計算モデル研究の分野で活躍する Franklin Chang 准教授(神戸市外国語大学)を講演者として招聘し、国際シンポジウム BLIT International Symposium on Neurobiology of Language (<https://blitisl2019.wordpress.com/>)を開催した。またシンポジウムのサテライトイベントとして、ゲストスピーカーによるセミナー及び、共同研究者である松本と大関による脳機能データ解析のセミナーを実施した。さらに共同研究者幕内を加えてパイロット実験の結果についてディスカッションし、本実験実施に向けての検討を実施した。

2019年度には脳磁図研究の前段階として、言語処理によって惹起される神経細胞の電気生理学的活動に関する知見を得るため、脳波を手がかりとした言語処理研究を実施し、音韻処理時の脳波計測研究の成果を国際学術誌(Brain Research)に掲載した。また、統語処理と意味処理に関わる埋め込み文の選択制限処理の脳波計測研究の成果を国際学会 Sinn und Bedeutung 2019 において発表した。これら2件の研究はそれぞれ日本、米国、オランダ、イギリスの研究者が参加する国際共同研究であった。また、語彙処理、意味処理、語用処理に関連するエビデンシャリティとモダリティ処理の脳波計測実験の結果を国際学会 Experimental Pragmatics 2019 及び Sinn und Bedeutung 2019 において発表した。

2019年にはフンボルト大学研究員の伊藤愛音氏をドイツ(ベルリン市)から日本に招聘して、単語処理において文脈からの予測情報がどのように利用されるかを探索するための視線計測実験を実施した。実験結果から、文脈からの予測によって単語に関するさまざまな情報が活性化されるが、特に形態情報の活性化が処理に影響を及ぼしていることがわかった。この実験で計測されたデータに、ベルリン市において実施されたドイツ在住の日本語母語話者を対象としたデータを加えて比較分析を実施し、日常的な言語使用環境が予測処理にどのような影響を及ぼすかを検討した論文としてまとめ、研究成果を国際学会及び国際学術誌(Frontiers in Psychology)に掲載することができた。

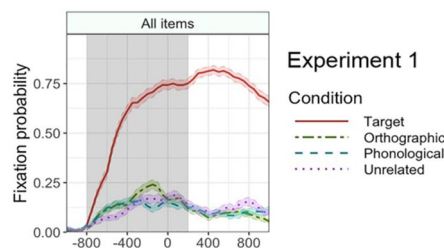


図 文脈から予測された単語と形態が類似した単語(orthographic条件)に対して、単語呈示以前の段階(斜線部)から視線が誘因されている

脳磁気データを計測する実験としては、2020年2月に研究分担者幕内の所属する国立障害者リハビリテーションセンター研究所において、研究分担者大関とともに脳磁計(エレクトラ社製)を使用し、日本語数量表現を材料とした言語理解における予測処理の脳磁気計測実験を実施した。しかし同年3月にコロナウィルス感染の拡大によって、13名の実験参加者からデータを取得した段階で実験中断を余儀なくされた。このデータに対して暫定的な解析を実施し、数量表現と名詞の意味的關係の整合性と左半球側頭葉中側頭回の神経活動に相関が観察されるという先行研究の知見が再現された。この研究成果をまとめて、2020年10月にオンラインで開催された国際学会 The Twelfth Annual Meeting of the Society for the Neurobiology of Language 2020 において発表した。

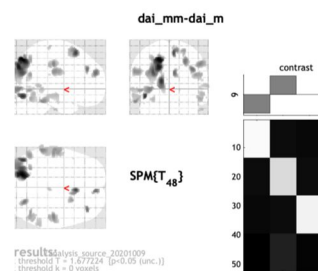


図 単語が予測と一致しなかったことによって左半球側頭葉中側頭回を発生源とする磁気信号が増加している

2020年12月から2021年2月に国立障害者リハビリテーションセンター研究所において脳磁気計測実験を再開し、16名の参加者から追加のデータを取得した。当初の予定通りのデータが取得できたため、今後このデータを加えて解析を実施し、最終的な研究成果を国際学会において発表し、学術誌に投稿する計画である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hestvik A, Shinohara Y, Durvasula K, Verdonschot R, Sakai H	4. 巻 1732
2. 論文標題 Abstractness of human speech sound representations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Brain Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.brainres.2020.146664	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Oseki Y, Sudo Y, Sakai H, Marantz A	4. 巻 W19-4220
2. 論文標題 Inverting and Modeling Morphological Inflection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACL Anthology, Proceedings of the 16th Workshop on Computational Research in Phonetics, Phonology, and Morphology	6. 最初と最後の頁 170-177
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18653/v1/W19-4220	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Rodrigo L, Igoa J M, Sakai H	4. 巻 9
2. 論文標題 The Interplay of Relational and Non-relational Processes in Sentence Production: The Case of Relative Clause Planning in Japanese and Spanish	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyg.2018.01573	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Ito A, Sakai H	4. 巻 12
2. 論文標題 Everyday Language Exposure Shapes Prediction of Specific Words in Listening Comprehension: A Visual World Eye-Tracking Study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyg.2021.607474	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Hara Y, Orita N, Deng Y, Koshizuka T, Sakai H
2. 発表標題 Neurolinguistic differences between evidentiality and Modality
3. 学会等名 The Eighth Experimental Pragmatics Conference ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakai H, Hara Y, Orita N, Deng Y, Koshizuka T
2. 発表標題 Neural correlates of inferential reasoning in evidentiality and modality: An ERP study
3. 学会等名 Exploring Interface #1: Grammatical Theory and Neurolinguistics ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hara Y, Orita N, Deng Y, Koshizuka T, Sakai H
2. 発表標題 A neurolinguistic investigation into semantic differences of evidentiality and modality
3. 学会等名 Sinn und Bedeutung 24 Special Session on neurolinguistics approaches to semantics and pragmatics ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Uegaki W, Pablos Robles L, Sudo Y, Sakai H
2. 発表標題 An EEG investigation into clausal selection
3. 学会等名 Sinn und Bedeutung 24 Special Session on neurolinguistics approaches to semantics and pragmatics ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 酒井 弘
2. 発表標題 話者の視線が解き明かす言語と思考の関係
3. 学会等名 関西言語学会第43回大会招待講演（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Saka, H, Oseki Y, Orita N
2. 発表標題 Predictive processing of Japanese classifier-noun combinations: An ERP study
3. 学会等名 The 10th meeting of the Society for the Neurobiology of Language (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinohara Y, Hestvik A, Durvasula K, Sakai H
2. 発表標題 symmetric memory encoding for voicing contrasts across languages
3. 学会等名 The 8th Mismatch Negativity Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sakai H, Oseki Y, Matsumoto A, Ito A, Makuuchi M
2. 発表標題 Dissociating and localizing prediction in language comprehension: An MEG study on Japanese classifier-noun processing
3. 学会等名 The 12th meeting of the Society for the Neurobiology of Language (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

BLIT 早稲田大学理工学術院 酒井弘研究室  
http://www.blit.sci.waseda.ac.jp

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
研究分担者	松本 敦  (Matsumoto Atsushi)  (20588462)	関西福祉科学大学・心理科学部・講師    (34431)	
研究分担者	幕内 充  (Makuuchi Michiru)  (70334232)	国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 脳機能系障害研究部・研究室長   (82404)	
研究分担者	大関 洋平  (Oseki Yohei)  (10821994)	東京大学・大学院総合文化研究科・講師   (12601)	

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2件

国際研究集会 Mental Architecture for Processing and Learning of Language	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 BLIT International Symposium on Neurobiology of Language	開催年 2019年～2019年

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			
オランダ	Leiden University			
米国	University of Delaware	Michigan State University		
米国	New York University			
スペイン	Autonomous University of Madrid			
ドイツ	Humboldt-Universitat zu Berlin			