

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23520660

研究課題名(和文)MRIとfNIRSの連携による英語学習者の語彙処理と文処理に関する研究

研究課題名(英文)fMRI and fNIRS studies on word and sentence processing by English learners

研究代表者

上田 由紀子(Ueda, Yukiko)

秋田大学・教育文化学部・教授

研究者番号：90447194

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、言語の「単語」処理と「文(文法)」処理に関し、以下の2点を明らかにしようと試みた。(1)日本語における助詞を伴う名詞句の処理は、「単語」としての処理を要求するのか、「文(文法)」としての処理を要求するのか。「助詞を伴う名詞句」と「助詞を伴わない名詞句」を比べたところ、助詞を伴う名詞句の方が「文(文法)」処理に関わる部位に有意な賦活が観察された。(2)項構造の維持は、動詞性の強さを示し、文に近いと考えられるが、英語の項構造を維持している名詞句と維持していない名詞句を比較、脳活動を測定した。本件は、取得データ数がまだ少なく、追実験が必要であるが、取得したデータを解析中である。

研究成果の概要(英文)：Using fMRI and fNIRS, we explored the following two points, focusing on the distinction between word (lexical) processing and sentence (syntactic) processing; (1) Which regions are involved in the Case particle processing in Japanese? By comparing activation in "a concrete noun + a Case particle (-ga/-o)" and "a concrete noun without any Case particle," we found selective activation for Case particle processing in Japanese: the left lateral premotor cortex (LPMC). (2) Which regions are involved in the following two types of word formations in English: simplex event nouns and complex event nouns (with -ing)? The former words are listed in the lexicon, but the latter are not and are generated by the rules (Ito and Sugioka 2002). We compared the lexical processing with the lexico-syntactic processing in the word formation. The data analysis is now ongoing, although we need additional data for getting more accurate results.

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：言語学

キーワード：fMRI fNIRS 助詞 項構造 語文

1. 研究開始当初の背景

(1) 英語習得に関する脳機能測定に基づく研究分野は、fNIRS を用いた包括的な先行研究として、大石 (2006) がウエルニッケ野を中心とした左側頭葉における聴覚タスクの実験を行い、学習者の到達度 (初級→中級→上級) に対応し、脳活動の活性化の変化があることを観察した。

(2) その後、本研究課題の分担者である内堀は、同じく fNIRS を用いて、前頭葉言語野として知られるブローカ野を中心に文処理の脳活動に着目し、大石 (2006) の結果とは異なり、ブローカ野においては、中級レベルの学習者にも初級レベルと同様に、活性化が観察されないことを報告した。(内堀、柳沢、綱島、中條 (2009a) や内堀、柳沢、綱島 (2009b))。

(3) 上記(1)、(2)の fNIRS を使用した実験は、時系列反応を観察するには適しているものの、その解像度 (活性部局の同定) の低さに、そもそも脳活動計測法としての妥当性を問われてきた経緯がある。また、全脳を撮像するにもあまり適した測定法ではないとの指摘もある (現在は、チャンネル数の飛躍的な増加によりこの問題は以前よりも問われなくなっている)。

(4) そこで、本研究分担者と研究代表者は、画像解像度に優れ、脳深部の活動部局の同定に優れた fMRI を用いた実験と組み合わせる言語実験を行った。ここでは、文法処理に負荷がかかると予測される文要素を含む、まさに「文」の形をした刺激を使い文 (文法) 処理時の脳活動を特定し、ブローカ野付近の賦活を観察した。(科学研究補助金 (基盤 (C) 一般) MRI との連携による光脳機能計測による日本語および外国語としての英語の文処理に関する研究 (研究代表者: 内堀、分担者: 上田) (平成 21~23 年度))。

(5) 脳機能の部局化と部位の特定に関しては、Hashimoto & Sakai (2002) を始めとする酒井グループによる一連の研究により、言語処理を司る「言語中枢」が、脳の左半球の前頭葉から側頭葉にかけて広がっており、それぞれの機能 (「文法中枢」「単語中枢」「音韻中枢」「読解中枢」) に局在があることが明らかされ、その部位の特定が提案されている。

本研究課題においては、この酒井グループの一連の研究によって提案された「言語中枢」の機能局在に基づき、一見「語」の一部のように見える「格」の処理時の脳活動に注目し、fMRI と fNIRS で実験を行うこととした。また、語形成における脳活動も語形成のタイプによる違いはないのか観察を試みることにした。

2. 研究の目的

本研究課題では、「文」ではなく、格を伴う「語彙」を処理する際の「格」処理に関わる脳活動が、「語彙」的なものなのか、或は、「文法」的なものなのかを明らかにすること

を目的とする。一見「語彙」のように見えても、「格」の処理が、「文法」的処理を要求するものであるならば、上記 1-(5) で記した酒井グループの提案する「文法中枢」の部局に優位な賦活が観察されるとの予測に基づき、本研究課題では、以下の 2 点を明らかにすることを目的とする。

- (1) 格による名詞句の認可に関わる処を行っている際の脳活動を測定し、当該文要素の役割と機能を明らかにする。
- (2) Hashimoto & Sakai (2002) に始まる酒井等の一連の研究で明らかされた「文法中枢」は、いわゆる「語内部のしくみ (語形成)」にも反映されるものなのかを明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 英語では、単語のレベルでは、「格」は、形態的には、代名詞以外は、目に見える形では現れず、統語的位置でしか格の識別はできない。(例: a. John loves Mary. b. Mary loves John. では、a 文と b 文の John は、格に関して異なるが (a 文では主格、b 文では対格)、形態的には識別できない。Mary についても同様である。それに反して、日本語のような助詞をもつ言語では、文に組み込まれなくとも、いわゆる単語のレベルにおいても、「名詞+助詞」という形で、格を識別することができる。

本実験では、fMRI および fNIRS にて、日本語の「具象名詞+格助詞」の語と「具象名詞のみ」を処理する際の脳活動を比較した。

(2) 英語の名詞句の中で、語形成の操作が生じている語を処理している際の脳活動を fMRI にて採取し、語形成のタイプの違いで比較した。

4. 研究成果

両実験共、実験前に、被験者に対し、口頭によるインフォームドコンセントを行い、また、秋田県立脳血管研究センターにおいて、倫理委員会の承認を得ている。

3-(1)

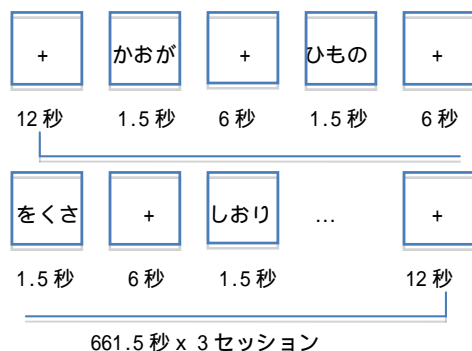
被験者は、右利き、裸眼視力 1.0 以上の健康な成人男女 9 名 (男性 5 名: 平均年齢 23.8 歳、女性 4 名: 平均年齢 22.0 歳)。

格助詞 (構造格マーカーとして) は、「が」と「を」に限定し、使用。解釈可能な格助詞を伴った具象名詞 90 刺激: 「かおが」「ひもを」、解釈可能な格助詞を伴わない具象名詞 90 刺激: 「かおく」「ひもの」、ダミー刺激として、解釈不可能な名詞 75 刺激 (上記で使用した語の文字列を入れ替えたもの): 「がかお」「くおか」「もをひ」「ものひ」をランダムに呈示。被験者には、解釈可能か否かを判断し、ボタンを押す事を課した。

1 刺激は、ひらがな 3 文字の 3 モーラで構成され、助詞以外の 2 モーラは、同一音素のミニマルペアとなっている。

1 実験：3 セクション（約 33 分）+ セクション間ブレイク（1~2 分 x2 回）+ 全脳撮像（6 分）= 約 40 分強

1 セクション：約 11 分
 レスト（12 秒）+ {1 刺激（1.5 秒呈示）+ レスト（6 秒）} x85 刺激 + レスト（12 秒）= 計 661.5 秒。



秋田県立脳血管研究センター（放射線科）内設置の独シーメンス製 MRI 装置 Verio 3.0T を使用。EPI 機能画像：30 axial slices, TR/TE=2000/30ms, FOV = 192X192mm, Matrix = 64 X 64, slice thickness = 4.5mm にて撮像。

データ解析は、SPM8 (Wellcom Institute of Cognitive Neurology, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk>) を使用。画像処理は、slice timing adjustment, realignment, coregistration, T1 テンプレートへの normalization, 8mm にて smoothing を行い、9 名分の画像に対し、fixed effect model を用いて解析を行った。不正解時の脳活動は含めていない。

行動指標は、対応あり t 検定の結果、正答率・反応時間共に条件間の差が認められた。（正答率：t = -2.5702, 自由度=8, p<0.05, 反応時間：t = 5.7073, 自由度=8, p<0.05）

課題	格助詞あり	格助詞なし
解釈	可能	可能
正解率	93.8% (3.1)	95.9% (3.0)
反応時間	1016msec(208)	902msec(152)

（括弧内は、標準偏差）

表 1：本 fMRI 実験における正答率と反応時間

解析結果は、格助詞を伴う具象名詞から格助詞なしの具象名詞を差分したところ、左運動前野外側部にかかる部分に優位な賦活が観察された。一方、逆の差分では有意な賦活は観られなかった。

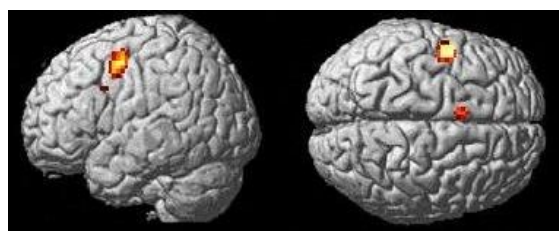


図 1 格助詞を伴う名詞に特有の脳反応部位

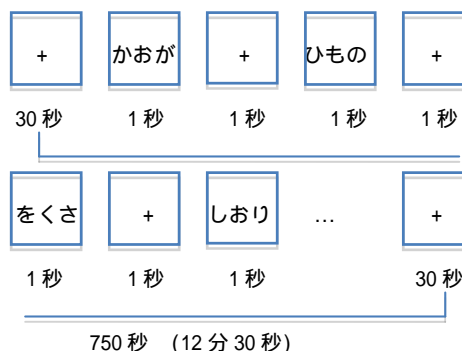
左運動前野外側部に関しては、酒井等の一連の研究で、「文法中枢」とされている 2 つの部局（左下前頭回弁蓋部・三角部（いわゆるブローカ野）、左運動前野外側部）のうちの 1 つと一致する。格助詞を伴う名詞句は、格助詞を伴わない名詞句に比べ文法中枢の一部が優位に賦活していることが分かった。

格を含む語の処理は、単にレキシコンに登録された意味やそれを引き出す記憶だけでは説明できない、文法的処理が関わっていることが分かった。外国語教育において、格を伴う語を導入する際には、文法中枢もそれに伴い賦活しているということである。小学校外国語教育では、特定の慣用句以外は、文法を意識して、文を組み立てることは、行わないが、単語のみの導入となるが、単語の選択いかんによっては、文法中枢を活性化させることも可能であると考えられる。教育上取り上げる単語の選択の重要性を示唆する実験結果であると言える。

尚、研究発表の際に、実験デザインについて、いくつか重要な指摘をいただいた。それらの点に関しては、現在、タスクを再確認し、再解析を行い、本実験結果に影響を及ぼしているか否かをあらためて確認、検討している。

fNIRS 実験は、fMRI 実験と同様の格助詞「が」「を」を伴った具象名詞（解釈可能：88 刺激：「しおが」、解釈不可能：32 刺激：「がおし」）、格助詞を伴わない具象名詞格（解釈可能：44 刺激：「しおり」、解釈不可能 16 刺激：「りおし」）を呈示、容認可能性判断課題を与えた。刺激は、ひらがな 3 文字の 3 モーラで構成され、格助詞以外の 2 モーラは同一音素のミニマルペアをなしている。

fNIRS 実験では、「が」条件、「を」条件、格助詞なし条件の 3 条件によるブロックデザインとした。



前レスト30秒 + (1ブロック30秒(=タスク2秒 x 15タスク) x 12ブロック) + (ブロック後レスト30秒 x 12回)。

1ブロックにつき15タスク(解釈可能刺激11, 不可能4) / 1条件につき4ブロックとした。

結果は、現在解析中である。

3-(2)

本実験では、伊藤・杉岡(2002)の語形成の分析を元に、レキシコンの語形成とされる複雑事象名詞1 (discussion of the issue)と完全な規則に従う語形成とされる複雑事象名詞2 (discussing of the issue)の処理における脳活動を調べた。伊藤・杉岡(2002)の分析に従えば、前者は、レキシコンに登録されている語の中から記憶によって引き出される語形成であるのに対し、後者の語形成(-ing接辞を伴うものは、レキシコンには登録されておらず、動詞の項構造を維持し、規則に従って生成されるとされている。両タイプの語形成の処理には、脳のどの機能部位がそれぞれ賦活するのか、観察を試みた。

被験者は、英語母語話者5名(男性2名:平均年齢36歳,女性3名:平均年齢21歳)。

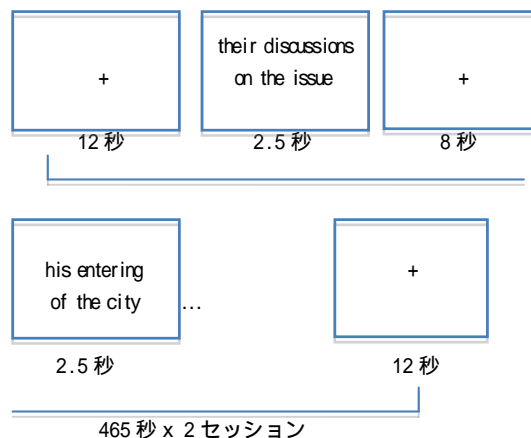
レキシコンへの登録のあると仮定されている単純事象名詞/複雑事象名詞1タイプを文法的12刺激(their discussions on the issue), 非文法的12刺激(their discussions by the issue)。レキシコンには登録されておらず、動詞の項構造を完全に受け継ぎ、規則で生成されている複雑事象名詞2(-ing接辞を伴ったもの)の文法的12刺激(their discussing of the issue), 非文法的12刺激(their discussing on the issue)をランダムに呈示。被験者には、文法的か非文法的かを正誤判断し、ボタンを押す事を課した。

実験デザインは以下の通りである。

1実験: 2セッション(約16分) + セクション間ブレイク(1~2分 x 1回) + 全脳撮像(6分) = 約23分強。

1セッション: 約8分。

レスト(12秒) + {1刺激(2.5秒呈示) + レスト(8秒)} x 42刺激 + レスト(12秒) = 計465秒。



秋田県立脳血管研究センター(放射線科)内設置の独シーメンス製MRI装置 Verio 3.0Tを使用.EPI機能画像: 30 axial slices, TR/TE=2000/30ms, FOV = 192X192mm, Matrix = 64 X 64, slice thickness = 4.5mmにて撮像。

結果は、現在解析中である。より精密な局特定のためには、被験者数が少ないため、追加実験も必要である。また、いくつかの刺激の正答率が極端に低いことが分かり、特定の刺激の正答率の低さの原因と解析方法の新たな可能性も検討している。

【その他:解析方法の将来的可能性に関する検討】

医療工学・情報工学を専門とする分担者の中村和浩を中心に、言語処理のような高次脳機能のfMRI解析方法の将来的可能性を検討している。

これまでのfMRIはその機能局在部位を同定する研究が一般的であり、特定の課題に反応して特定の部位の神経活動が賦活し脳血流量が上昇するという原理に基づいている。視覚処理や運動といった単純な脳機能は機能局在部位において情報処理をしている可能性が高いものの、文処理といった複雑な高次脳機能では特定部位の神経賦活だけで、その脳機能が説明できるかどうかは定かではない。今回のfMRI測定でも賦活部位の考察にあたっては、様々な要因が考えられ、機能局在部位を同定することは困難であった。そこで、近年、研究が進められている **resting fMRI** に注目している。resting fMRIはfMRIで用いられてきたT2*信号の時間変動成分に注目し、安静時のMRIにおける自発性信号変動の解析をおこなうものである。相互相関解析を利用することで、機能局在部位の関係を検討することが主流の研究であるが、この手法を応用することで、複数の脳機能部位が統合的に処理をおこなっている複雑な高次脳機能の評価が可能なのではないかと考えている。今回の測定データを活用して、resting fMRIを適用し、脳機能部位の統合的処理について検討していきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- (1) Hashimoto, Y., K. Nakamura, Y. Ueda, A. Uchibori, H. Toyoshima, T. Kinoshita. 2012. Two Analytical Strategies for an fMRI study on Brain Activity during Sentence Processing. *SICE 2012 International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology*. 1354-1358.
- (2) 橋本洋輔, 中村和浩, 上田由紀子, 内堀朝子. 2013. 「英語照応処理の神経基盤fMRIによる母語話者と非母語話者の比較」『第3回NU-Brainシンポジウム予稿

集』vol.3. 79-80.

- (3) 上田由紀子, 橋本洋輔, 中村和浩, 内堀朝子. 2014. 「fMRI を使用した日本語の格助詞の処理に関わる脳活動報告」『日本言語学会 第148回大会 予稿集』104-109.

〔学会発表〕(計4件)

- (4) Hashimoto, Y., K. Nakamura, Y. Ueda, A. Uchibori, H. Toyoshima, T. Kinoshita. 2012. Two Analytical Strategies for an fMRI study on Brain Activity during Sentence Processing. *The Society of Instrument and Control Engineers*. Aug.20-23,2012. Akita University.
- (5) 橋本洋輔, 中村和浩, 上田由紀子, 内堀朝子. 2013. 「英語照応処理の神経基盤 fMRI による母語話者と非母語話者の比較」第3回 NU-Brain シンポジウム. 2013年2月26日. 日本大学.
- (6) 上田由紀子, 橋本洋輔, 内堀朝子. 「日本語母語話者による Case Marker 処理の脳活動」第4回 NU-Brain シンポジウム. 2014年3月8日. 日本大学.
- (7) 上田由紀子, 橋本洋輔, 中村和浩, 内堀朝子. 「fMRI を使用した日本語の格助詞の処理に関わる脳活動報告」日本言語学会. 2014年6月7-8日, 法政大学.

〔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
なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

上田 由紀子 (UEDA, Yukiko)
秋田大学・教育文化学部・教授
研究者番号：90447194

(2)研究分担者

内堀 朝子 (UCHIBORI, Asako)
日本大学・生産工学部・准教授
研究者番号：70366566

中村 和浩 (NAKAMURA, Kazuhiro)
秋田県立脳血管研究・生産工学部センター・研究部門・主任研究員
研究者番号：10312638

橋本 洋輔 (HASHIMOTO, Yosuke)
国際教養大学・公立大の部局等・講師
研究者番号：30568770

(3)連携研究者

網島 均 (TSUNASHIMA, Hitoshi)
日本大学・生産工学部・教授
研究者番号：30287594