

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 18 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21520598

研究課題名（和文）MRI と連携した脳機能計測による日本語と外国語としての英語の文処理に関する研究

研究課題名（英文）A study of brain activity during syntactic processing of Japanese EFL learners: Data obtained from NIRS and MRI measurement

研究代表者

内堀 朝子 (UCHIBORI ASAKO)

日本大学・生産工学部・准教授

研究者番号：70366566

研究成果の概要（和文）：

本研究では、fNIRS と fMRI などの脳機能画像法を用いて、日本語母語話者による文構造処理に伴うブローカ野の活動を観察した。実験は、母語の日本語および外国語としての英語を対象とした。刺激文には、照応形である「自分」または himself/herself を使用した。照応形を適切に用いるには文構造処理が必要であるため、ブローカ野が活動すると考えられる。fMRI による日本語の実験結果から、照応形を含む文処理時にブローカ野の活動が見られた。fNIRS および英語学習者によるデータの詳細を解析中である。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we measure the Broca's-area brain activity patterns of Japanese speakers during syntactic processing using functional brain imaging such as fNIRS and fMRI. In our experiments, we use Japanese as a native language, and English as a foreign language of Japanese native speakers. The stimulus sentences in our experiment include anaphors such as *zibun* '-self' or *himself/herself*. It is assumed that processing of a sentence with an anaphor involves an analysis of its sentence structure and, accordingly causes brain activation in Broca's area. Some increase in blood flow within Broca's area was observed during processing of Japanese sentences with anaphor through use of fMRI. Other data, especially obtained during processing of English as a foreign language, have been under analysis.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：言語学・外国語教育

キーワード：文処理, 第二言語習得, 照応形, fNIRS, fMRI

1. 研究開始当初の背景

外国語としての英語習得に関する脳機能計

測に基づく研究分野において、包括的な先行

研究として、大石(「脳科学からの第二言語習得論」, 昭和堂, 2006)がある。そこでは、ウェルニッケ野・角回・縁上回等を含む側頭葉を中心とする言語野における、聴解タスクおよび読解タスク処理時の脳活動が、fNIRSによって観察されている。計測結果から大石(前掲書)は、学習者の到達度が、初級→中級→上級(～ネイティブスピーカー)と変化するにつれ、上記言語野の活性化状態が、無活性→過剰活性化→選択的活性化(～自動化)となることを指摘した。そこで、先行研究への基礎的検証ともなるよう、聴解・読解以外のタスクで言語処理の基本的タスクとして、文法処理すなわち文構造の処理に関するタスクを、外国語としての英語を対象に実施してみる必要があると考えられる。

この点に関連して、研究代表者内堀の先行研究(「光脳機能計測を用いた日本語および第二外国語としての英語の文処理に関する研究」基盤(C) 19520516, 2007～2008)では、文の構造処理すなわち句構造の計算に直接関わるタスクとして、照応形「自分」および”-self”を含む文を用いて、日本語母語話者の英語学習者を対象に、実験を行っていた。英語の実験結果の報告としては、内堀朝子, 柳沢一機, 綱島均, 光脳機能イメージングを用いた日本人英語学習者による文法処理時の脳活動の観察一初～中級学習者を中心に, Language Education and Technology, 46巻, 2009, 113-129を参照されたい。

しかし、この研究においては、タスクに設定した照応形を含む文の構造や課題の内容が、研究の趣旨に照らして適切だったかどうかという点、また、fNIRSという脳活動の領域については詳しく検出できない手法のみを用いて、研究を進めることが適切かどうかという点などに、問題があった。

2. 研究の目的

本研究は、上の項目1で述べた研究の背景から、先行研究の問題点をできる限り解消しつつ、母語としての日本語および外国語としての英語を実験の対象言語として、第一・第二言語能力に関わる脳機能のうち文処理(統語処理)に焦点を当て、両者の共通点・相違点を探ることを目的とするものである。第二言語能力が、普遍文法の組み込まれた母語の言語能力と、どの程度まで重なるものであるのかという、生成文法に基づく第二言語習得理論上の問題につながる示唆を得たい。

特に、上の項目1で述べた研究代表者による先行研究に基づき、ブローカ野に活動が見られるような、文の構造処理を伴う言語現象すなわち照応形を用いて実験を行うことと

する。

また、実験にはまずfNIRS装置を用いるが、この装置はタスクによる時系列反応を観察するのに優れており、被験者ごと、かつ各タスクごとの反応を計測するのに適しているとされる。そこで、脳の活動部位を同定したり、被験者グループごとの傾向を推定したりするのに優れたfMRI装置による実験も行うこととし、それぞれの結果を併せて、より詳細な活動パターンや活動領域に関する知見を得ることを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、NIRS装置はOMM-3000(島津製作所)、MRI装置はVerio 3.0T(シーメンス)を使用した。

実験では、日本語母語話者による、母語である日本語の文処理と、外国語としての英語の文処理によって引き起こされる脳活動を、fNIRSとfMRIを用いて計測した。それぞれの実験で被験者集団は異なるが、ほぼ同じタスクの内容(後述)を設定するようにした。なお、被験者は全員右利きで、口頭および書面による実験の同意を得た。fMRI実験に関しては、秋田県立脳血管研究センター倫理委員会による承認を受けた。

(1) 日本語の文処理に関する実験

母語である日本語の実験内容は、語処理タスク(重複語判断タスク:1試行4語を与え、そのうち同一の語が2つ含まれているか否かを判断するタスク)および文処理タスク(容認可能性判断タスク:照応形「自分」を含む文と含まない文における正誤判断を行うタスク)を実施した。

語タスクは52試行×1セット、文処理タスクは52文×2セットで構成された。文処理タスクには「自分」を含む正文、「自分」を含む非文、「自分」を含まない正文、「自分」を含まない非文の4条件が含まれ、52文をラテンスクエアで作成し、さらに一人ずつランダム呈示した。1試行は4語で、500msごとに1語提示した。タスク提示後に8秒のレストを与え、そのうち3秒間を回答の受け付け時間とした。

文処理タスクにおいて、非文の要因は「自分」の有無に関わらず、全て動詞の意味選択制限違反に統一し、「自分」を含む文は全て、「自分」の指示に関して統語的・意味的条件を満たしたものを用意した。

重複語判断タスクおよび文の容認可能性判断タスクの例は、以下のとおりである。

(i) 重複語判断

a. くつを 職業を 先生を 息子を (重複無)

b. 犬を 友人を 犬を あやまちを (重複有)

)。

(ii) 文の容認可能性判断

- a. 浜田君が 自分の 子供を 叱った (「自分」を含む正文)
- b. 林さんが 自分の 職業を ぶった (「自分」を含む非文)
- c. 山田君が 直子の 秘書を からかった (「自分」を含まない正文)
- d. 伊藤君が 久美子の 学生を 流した (「自分」を含まない非文)

以上の実験内容で、fNIRS実験では日本語母語話者16名(男性12名, 女性4名), fMRI実験では同25名(男性14名, 女性11名)を対象に実施した。

(2) 外国語としての英語の文処理に関する実験

外国語としての英語の実験内容は、基本的に、母語である日本語で実施した内容とできるだけ並行的なものとなるように、英語の語処理タスク(重複語判断タスク: 1試行8語を与え、そのうち同一の語が2つ含まれているか否かを判断するタスク)および文処理タスク(容認可能性判断タスク: 照応形 "himself" 又は "herself" を含む文と含まない文における正誤判断を行うタスク)を行った。

語タスクは40試行×1セット、文処理タスクは30文×2セットで構成された。文処理タスクには "-self" を含む正文, "-self" を含む非文, "-self" を含まない正文, "-self" を含まない非文の4条件が含まれ、30文をラテンスクエアで作成し、さらに一人ずつランダム提示した。1試行は8語で、全体を7秒間提示した。タスク提示後に6秒のレストを与え、その間を回答の受け付け時間とした。

文処理タスクでは、非文の要因は "-self" の有無に関わらず、全て動詞の意味選択制限違反に統一した。また、"-self" を含む文は全て、"-self" の先行詞の指示に関して統語的・意味的条件を満たしたものを用意した。語彙レベルは中学1~3年生に統一した。

重複語判断タスクおよび文の容認可能性判断タスクの例は、以下のとおりである。

(i) 重複語判断

- a. milk by grandfather's the taught my driver effort ("self"無/重複無)
- b. effort my pain aunt's driver found my the ("self"無/重複有)
- c. shouted the himself my park by sister driver's ("self"有/重複無)
- d. boyfriend's by trained the himself matter by mother ("self"有/重複有)

(ii) 文の容認可能性判断

- a. My student's sister read the book by herself. ("self"を含む正文)
- b. My mother's friend felt the hour by herself. ("self"を含む非文)
- c. My student's sister told the story with effort. ("self"を含まない正文)
- d. The daughter's neighbor threw the sea with effort. ("self"を含まない非文)

以上の実験内容で、fNIRS実験は、日本語母語話者である英語学習者27名(男性23名, 女性4名), fMRI実験では同26名(男性16名, 女性10名)を対象に実施した。

4. 研究成果

日本語の実験における正答率・反応時間の行動指標については、ともに文処理タスクの条件間の差異は、統計的に認められなかった。よって、照応形を含む文処理とそうでない文処理において、処理の負荷の差異が極めて小さいということが推定される。

実際にfMRI実験では、各条件間の差分を取った結果、観察された脳活動はおおむね微弱なものとなった(データ解析結果の詳細は、本研究の研究分担者、研究協力者、研究代表者らによる発表(以下項目5の学会発表①~③)を参照されたい)。

それによると、正文における照応形の有無、すなわち「「自分」を含む正文」から「「自分」を含まない正文」の差分においては、ブローカ野(左下前頭回弁蓋部)と、多数の大脳基底核(左右の被殻, 島, 右視床と被殻の間, 右視床付近等)の賦活が観察された。

また、正非文を併せた「自分」の有無、すなわち「「自分」を含む正非文」から「「自分」を含まない正非文」の差分においては、左背外側上前頭回に強い賦活、また右補足運動野と右縁上回に微弱な賦活が観察された。

これにより、日本語母語話者による照応形「自分」を含む文処理の際、ブローカ野における脳活動が伴うことが、fMRIによって観察できたと言える。この脳活動は全体としては微弱であったが、「自分」を含まない文処理に比べてわずかであるが差のある賦活が生じたという事実からすると、この賦活は、照応形「自分」とその先行詞の間の構造(例えば、先行詞から照応形へのc-command条件)の計算に必要とされるような処理のため、引き起こされたものと推測することができる。

また、文構造の計算は文処理に伴って自動的に行われるものと考えれば、賦活の程度が強しくはなく、微弱であったことも自然に説明できる。先行研究(横山悟他, 2010, 第141回日本言語学会など)でも、文理解の基本的

な構造処理は自動的であり、脳活動の強弱としては現われない一方、構造的に複雑な文（袋小路文など）を把握しようとする意識的な処理は非自動的であり、脳活動の強弱として現われるとしているが、本研究もそれを裏付ける結果となった。

また、本研究からは、微弱な脳活動でしか観察されないような、自動的な構造処理の具体的な例として、照応形に関わる句構造の処理が挙げられるようになったが、このことは、母語話者の言語知識の中に、自然言語の文の生成に必須の統語操作として句構造の計算が含まれるといった、自然言語の理論である生成文法の仮説とよく合致しており、言語理論的にも妥当な結果であると考えられる。

なお、正非文を問わず「自分」の有無で差分した場合、上述のとおり左背外側上前頭回に強い賦活が見られたが、これに関しては、先行研究で、自己を意識的に認識するときその部位に脳活動が生じたとの報告がある (Goldberg et al. 2006)。その観点からすると、「自分」を含む文の処理には、構造処理とは別個に、照応形の持つ「主語指向性」のような意味的性質と関連するような認知処理が行われている可能性もあり、この点はさらに検討する余地があるだろう。

これら以外の結果については、現在データ処理および結果の検討を進めている途中である。外国語としての英語の実験を含めて全ての実験で得られた fNIRS および fMRI データの解析に基づき、上の項目 2 で述べた、第二言語習得に関わる問題について検討し、具体的かつ詳細なデータを基に、今後発表したいと考えている。

また fNIRS 実験に関しては、本研究の趣旨である fMRI 実験との連携を重視して、fMRI で広く採用されているイベントリレーテッドデザインを採用したため、これまでの多くの先行研究と異なる解析が必要となっており、これについても現在、解析を進めながら検討中である。

なお現段階における検討結果でも、外国語としての英語で、母語の日本語と同じブローカ野における活動が計測された場合がある（ただし、全ての場合ではない）ことが示されており、少なくとも一部分、文構造の処理に関して、第二言語能力が母語の言語能力と重なっているということが示唆される。

つまり、上で述べたように、母語の言語能力の一部に、文の生成に必要な句構造の計算のための能力が含まれるという言語理論上の仮説が正しいとすると、外国語としての英語の照応形の処理、つまり文構造の処理の際に、母語の日本語の場合と同じような脳活動が見られる場合があるとすれば、それは、第二言語能力が母語の言語能力と、少なくとも

句構造の計算という部分では、重なっている可能性があるということの意味すると言えよう。

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 3 件)

① Hashimoto, Yosuke, Kazuhiro Nakamura, Yukiko Ueda, Asako Uchibori, Toshibumi Kinoshita, "Two Types of Analytical Strategies of an fMRI Study on Brain Activities of Sentence Processing", SICE 2012: The international conference of the Society of Instrument and Control Engineering, August 20th-23rd, 2012 (発表決定), Akita University.

② 上田由紀子, 中村和浩, 橋本洋輔, 内堀朝子, 豊嶋英仁, 木下俊文, fMRI をしようとした日本語の「自分」を含む文の処理に関わる脳活動報告, 第 143 回日本言語学会, 2011 年 11 月 26 日, 大阪大学

③ 中村和浩, 上田由紀子, 内堀朝子, 豊嶋英仁, 木下俊文, fMRI 実験用非磁性スイッチの試作, 平成 23 年度電気関係学会東北支部連合会, 2011 年 8 月 25 日, 東北学院大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

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

(3) 連携研究者

綱島 均 (TSUNASHIMA HITOSHI)
日本大学・生産工学部・教授
研究者番号：30287594

中條 清美 (CHUUJOU KIYOMI)
日本大学・生産工学部・教授
研究者番号：50261889

(4) 研究協力者

中村 和浩 (NAKAMURA KAZUHIRO)
秋田県立脳血管研究センター・研究部門
主任研究員
研究者番号：10312638

橋本 洋輔 (HASHIMOTO YOUSUKE)
国際教養大学・公私立大学の部局等・講師
研究者番号：30568770