

受動文の理解における脳内での処理の負荷

横山悟^{12*}, 渡辺丈夫²³, 佐々佑子²³, 岩田一樹²³, 三浦直樹²⁵, 秋月祐子²⁴, 鄭媽婷¹², 生田奈穂¹², ホルヘ・リエラ²³, 岡本英行²⁵, 土師知己⁶, 臼井信男⁶, 泰羅雅登⁶, 中村渉¹, 佐藤滋¹, 堀江薫¹, 川島隆太²

1. 東北大学大学院国際文化研究科、2. 東北大学未来科学技術共同研究センター、3. 東北大学大学院国際文化研究科 COE 研究員、4. 東北大学大学院医学研究科、5. 東北大学大学院工学研究科、6. 日本大学医学研究科

*corresponding author

yokoyama@idac.tohoku.ac.jp

1. はじめに

言語学においては、対応する能動文と受動文の違いについて、多くの議論がなされてきた[1, 2]。しかしながら、言語学には生物学的な基盤がないという指摘もあるように[3]、実際に能動文と受動文をどのように理解しているのか、という点は明らかにされていない。心理学での言語理解実験では、能動文よりも受動文の方が処理の負荷が必要となるという指摘はされているが[4, 5, 6]、その処理の負荷とはどのような処理の負荷なのか明らかになっていない。よって、本研究では、脳機能画像法を用いて、人間の脳が対応する能動文・受動文をどのように理解しているのかという点を探ることで、対応する能動文と受動文の違いを明らかにすることを目的とする。

脳機能画像法とは、近年発達してきている技術で、人間がある行動をしているときに、脳がどのように動いているのかを画像化できる技術のことである。本研究で用いる **functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)** は、磁場の力と血液内のヘモグロビンの性質を利用して、脳内の活動を測定することが可能な技術である。この技術を用いることで、ある課題を行っている時にある領域で活動が起こることを測定でき、その領域がその課題の処理に関わっていることを推定することが可能となる。

2. 先行研究

言語学においては、受動文の方が対応する能動文と比べ、形態的な点及び意味役割のマッピングの点において、有標であると考えられている[1]。以下の意味的に対応した(1)の能動文と(2)の受動文で説明する。

(1) 「花子が太郎を褒める。」

(2) 「太郎が花子に褒められる。」

形態的な点とは、(2)の受動文には受動態であることを表す形態素「られ」が見られるのに対し、(1)の能動文にはが見られない、という点である。意味役割のマッピングとは、(1)の格助詞「が」でマークされている名詞句「花子が」は、意味役割が「褒める」という動詞の行為者であるのに対し、(2)の格助詞「が」でマークされている名詞句「太郎が」は、意味役割が被行為者であるという点で、「が」でマークされる名詞句の意味役割が異なっている。しかしこれらの研究は、理論的な研究ということもあり、言語理解という点からの検証は行われていない。ただし、心理学での日本語理解実験において、日本語の主格名詞句は行為者として解釈される傾向が強いことが報告されている[7]。よって、受動文は主格名詞句が被行為者であるため、意味役割の再分析が必要である、という予測が可能である。

心理学での言語理解実験では、能動文よりも受動文の理解の方が、処理の負荷が強いという結果が出ている[4, 5, 6]。能動文もしくは受動文を提示し、その後見せた絵との意味の照合を被験者に行わせた研究[4]では、受動文の方が反応時間が長かったことから、受動文の方が処理の負荷が強いと結論付けている。また、能動文・受動文を提示し、その意味内容が現実的にありえるか否かを問う課題を行った研究[6]では、能動文では正しい判断ができるが、受動文では解釈を誤りやすくなることを報告している。しかしながらこれらの研究では、能動文と受動文との間に、何に関する処理の差が生じているのかについては、特定できていない。

脳機能画像法を用いた言語研究では、言語処理に関わる領域として、左半球の下前頭回・上側頭回・下頭頂小葉などが報告されている[8, 9, 10, 11]。しかし、それらの研究の目的は、言語処理に関わる脳領域の同定であるため、能動文・受動文理解時の比較などの研究はまだ行われていない。唯一能動文と受動文を刺激文として用いた研究[12]もなされているが、能動文と受動文の理解時における脳活動の比較は行っていない。

3. 研究目的

先行研究においては、能動文と受動文の理解において、受動文の方が処理の負荷が強いという報告がなされているが、それが何に関わる処理の負荷であるかが特定できていない。よって本研究では、脳機能画像法を用いて能動文・受動文理解時の脳活動を撮像し、どのような処理での差が見られるのかを検証することを目的とする。

4. 実験方法

日本語母語話者 20 名に、被験者として参加してもらった。脳の左右差には利き手が大きく関わるので、利き手テスト(Edinburgh Handedness

Inventory, [13])を被験者全員に受けてもらい、右利きであることを確認した。課題のデザインとしては、Windows 上の Director 8.5(Macromedia, Inc., San Francisco, CA)にて、能動文・受動文のどちらかを 3 秒、背景を黒、文字を白で画面中央に提示し、その直後に行為者・被行為者を尋ねる質問文を提示した(表 1 参照)。

被験者には右手に太郎ボタン、左手に花子ボタンを持ってもらい、質問文が提示されている間に、ボタン押しで質問に答えてもらった。課題として、言語課題として、能動文もしくは受動文を読み、行為者もしくは被行為者を答える課題を行った(表 2 参照)。

表 1 : 課題のデザインの例

「太郎が花子に蹴られる。」	(3 秒提示)
「蹴るのは誰ですか？」	(平均 3.5 秒提示)

表 2 : 課題のパターン

1. 能動文を提示	行為者を質問
2. 受動文を提示	被行為者を質問
3. 能動文を提示	被行為者を質問
4. 受動文を提示	行為者を質問

課題に使用した刺激文は、日本語の語彙特性 Volume 7, Frequency(天野成昭、近藤公久編著、1999、NTT コミュニケーション科学基礎研究所)を使用して単語を選択した上で、心理実験を行って正答率・反応時間が遅くなる単語を排除した。刺激文として使用した文は、仮名・漢字含めて平均 10 文字で構成され、視角は最大 12 度であった。能動文・受動文の課題は各 50 課題ずつ行った。

fMRI の撮像条件は、課題遂行中の脳活動を撮像した画像(EPI)としては、全脳を 42 枚のスライス、厚さ 3 ミリ、FOV 192 ミリ、data matrix 64 × 64 ボクセルで、5 秒おきに撮像を行った(TR=5000 ミリ秒、TE=40 ミリ秒、flip angle=90 度)。MRI 内の磁場が不安定な間のスキャンを取り除くため、最初の 7 スキャンはダミーのスキャ

ンとして解析に入れなかった。被験者の脳の形態画像(T1-weighted MDEFT images)は、厚さ1ミリ、FOV 256ミリ、データマトリクス 192×224、TR=2200ミリ秒、TE=3.93ミリ秒で撮像した。

画像データの解析方法は、脳機能画像法での画像統計処理に標準的に用いられる、Statistical Parametric Mapping 99 (SPM99)というソフトウェアを使用した。解析方法としては、1)被験者の課題遂行中の頭部位置のズレを補正し、2)撮像された画像のスライスタイミングを補正し、3)別に撮像した被験者の脳の形態画像と課題遂行中の脳活動データを重ね合わせ、4)被験者全員分のデータを標準の脳のテンプレートに載せて標準化し、5)データを慣らす、という処理を行った。以上の画像処理を行った後、各被験者で能動文課題・受動文課題それぞれを遂行中の脳活動をデータにまとめた。その後、被験者全員分のデータを用いて、脳活動領域を特定した。解剖学的な脳領域の位置は、文献[14]のテンプレートを使用した。

5. 結果

行動的データとして、正答率と反応時間を測定した。能動文と受動文の結果の平均は、正答率はそれぞれ 88.3%・85.9%、反応時間はそれぞれ 1.54秒・1.65秒であった。

脳活動のデータとしては、能動文よりも受動文を理解しているときに、両側の下頭頂小葉の領域に統計的に有意な脳活動が見られた(表3、図1参照)。一方、受動文よりも能動文に統計的に有意な脳活動が見られた領域はなかった。

表3：受動文により強い脳活動が見られた領域

解剖学的名称	t 値	x	y	z
左下頭頂小葉	3.9	-46	-24	46
右下頭頂小葉	4.8	68	-24	30

x, y, z は、文献[14]のテンプレートによる脳内の位置情報(座標)を表す

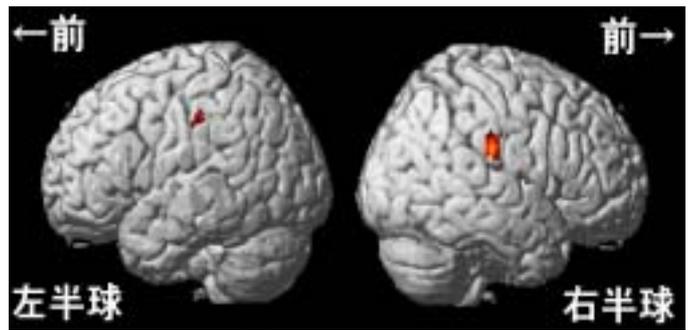


図1：能動文よりも受動文により強い脳活動が見られた領域

6. 考察

本研究では、能動文よりも受動文の方に、より強い脳活動が見られた。このことから、言語学での予測及び心理学での結果における、能動文よりも受動文の方が処理負荷が強い、という点と一致した。その処理負荷に関しては、本研究の結果より、意味役割の再分析処理による負荷であることが示唆された。

本研究での結果と関連のある脳機能画像法での先行研究として、能動文・受動文のペアを刺激文として用いた実験[12]と、言語課題において両側の下頭頂小葉が賦活したという報告[15]が挙げられる。

文献[12]では、能動文と受動文のペアを被験者に提示し、同じ意味か否かを質問するタスクを行った。その結果、ブローカ領域・ウェルニック領域と共に、両側の下頭頂小葉が賦活したことを報告している。ただし、能動文と受動文の理解時における脳活動の比較は行っていない。

文献[15]は、被験者に中央埋め込み文・右枝分かれ文を読ませ、それらの文内に登場する人物の人間関係を考えさせるタスクを行った。その結果、どちらの文でも両側の下頭頂小葉に強い賦活が見られた。その結果より、下頭頂小葉が文内の人間関係を把握する際に関与すると結論付けている。

先行研究[12, 15]、及び本研究でのタスクの類似点としては、刺激文を読み、その文内の登場人物のうち、誰が行為を行っている人か、誰が行為を

受けている人か、といった、登場人物間の人間関係を把握させているという点、つまり文内の名詞句の意味役割理解という点が考えられる。上記三つの研究では両側の下頭頂小葉が共通して有意な賦活が見られていることから、意味役割の理解という処理に、両側の下頭頂小葉が関与していると考えられる。

以上のように、本研究での結果より、受動文の方が能動文よりも、意味役割理解に関わる領域において有意な脳活動が見られた。この結果は、受動文理解時には主格名詞句の意味役割を被行為者として解釈しなおす処理が必要であるとする予測を支持するものであると言える。よって、対応する能動文と受動文の理解時における処理の負荷の差は、受動文の方に、文内に登場する人物の意味役割の再分析処理の分の負荷がより強くかかっていることによるものであると結論付けられる。

謝辞

本研究は、東北大学 21 世紀 COE プログラム (人文科学) 「言語・認知総合科学戦略研究教育拠点」の補助を一部受けて行われた。

参考文献

- [1] Perlmutter, David, and Paul Postal. Towards a Universal Characterization of Passivization. Proceedings of the Third Annual Meeting of the Berkeley Linguistics Society (reprinted in D. Perlmutter (ed.) Studies in Relational Grammar 1. Univ. of Chicago Press, 1983), 1977.
- [2] Bruzio, L. Italian Syntax : A Government-Building Approach. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1986.
- [3] 本庄巖編著『脳からみた言語』中山書店, 1997.
- [4] Gough, P.B. Grammatical transformations and speed of understanding. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 4, 107-111, 1965.
- [5] Walker, E., P. Gough, and R. Wall. Grammatical relation and the search of sentences in immediate memory. Proceedings of the Midwestern Psychological Association, 1968.
- [6] Ferreira F. The misinterpretation of noncanonical sentences. Cognitive Psychology. 47, 164-203, 2003.
- [7] 伊藤武彦, 田原俊司, 朴媛淑『文の理解にはたす助詞の働き:日本語と韓国語を中心に』風間書房:東京, 1993.
- [8] Just M.A., P.A. Carpenter, T.A. Keller, W.F. Eddy and K.R. Thulborn. Brain Activation Modulated by Sentence Comprehension. Science, 274, 114-116, 1996.
- [9] Stromswold K., D. Caplan, N. Alpert and S. Rauch. Localization of syntactic comprehension by positron emission tomography. Brain and Language, 52, 452-473, 1996.
- [10] Kuperburg G.R., P.K. McGuire, E.T. Bullmore, M.J. Brammer, S. Rabe-Hesketh, I.C. Wright, D.J. Lythgoe, S.C. Williams and A.S. David. Common and distinct neural substrates for pragmatic, semantic, and syntactic processing of spoken sentences : an fMRI study. Journal of Cognitive Neuroscience, 12, 321-341, 2000.
- [11] Ni W., R.T. Constable, W.E. Mencl, K.R. Pugh, R.K. Fulbright, S.E. Shaywitz, J.C. Gore and D. Shankweiler. An Event-Related Neuroimaging Study Distinguishing Form and Content in Sentence Processing. Journal of Cognitive Neuroscience, 12, 120-133, 2000.
- [12] Dapretto, M. and S.Y. Bookheimer. Form and Content: Dissociating Syntax and Semantics in Sentence Comprehension. Neuron, 24, 427-432, 1999.
- [13] Oldfield, R. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. Neuropsychologia, 9, 812-815, 1971.
- [14] Talairach J., P. Tounoux.. Co-planar stereotaxic atlas of the human brain. Thieme, Stuttgart, 1988.
- [15] Inui T., Y. Otsu, S. Tanaka, T. Okada, S. Nishizawa and J. Konishi. A functional MRI analysis of comprehension processes of Japanese sentences. NeuroReport, 9, 3325-3328. 1998.