

語彙認知過程における修飾情報と叙述情報の脳内処理

神原利宗^{1,2}、横山悟²、高橋慶^{1,2,3}、三浦直樹^{2,4}、宮本正夫¹、高橋大厚¹、佐藤滋¹、川島隆太²

1. 東北大学大学院国際文化研究科、2. 東北大学加齢医学研究所、3. 日本学術振興会、
4. 高知工科大学知能機械システム工学科

toshimune@idac.tohoku.ac.jp

1. 背景

神経言語学の分野では、脳が言語をどのように処理しているのか、という問題に対して脳科学的手法による現象解明を進めている。その中で、特に語彙自体がもつ情報の脳内処理に関する問題はこれまであまり進んでいない。言語学では、語彙の情報が脳内の心的辞書内にあると想定している。心的辞書とは、語彙とその情報のすべてが記載されていると考えられているものである。その心的辞書内の語彙項目に語彙的信息が記載されていると考えられている。語彙的信息とは、語彙の意味に関わる情報 (意味的信息)、語彙の文中における振る舞いに関する情報 (統語的信息) などが想定される。先行研究では特に語彙の意味的信息の処理に関して、検証を行ってきた。例えば先行研究では、具体語と抽象語を被験者に提示したときに、抽象語を提示したときの脳活動の方が、具体語を提示したときよりも左上側頭回や左下前頭領域の脳活動が上昇すると報告している (Sabsevitz et al., 2001)。一方、語彙の統語的信息に関して検証した研究は少なく、語彙範疇の違いが脳内での処理にどのように影響するか、ということについて検証した先行研究がいくつかある。例えば先行研究の結果から、語彙処理の段階において機能語と内容語の処理が異なること (Friederici et al., 2001) や、語彙範疇の違いにより (e.g. 名詞と動詞) 処理が異なるこ

と (Yokoyama et al., 2006) などが明らかになっている。これら先行研究の結果は、脳が語彙の統語的信息を処理している可能性を間接的に示唆している。しかし、実際に統語的信息の脳内処理を観察した研究はない。

統語的信息として考えられるものには、修飾情報や叙述情報などがあり、修飾情報は、修飾する語と修飾される語との関係 (修飾関係) についての情報を示し、叙述情報は文中の項 (主語、目的語) と述語の関係 (項-述語関係) についての情報を示している。

(1) 美しい 花

(2) 太郎は 次郎を 殴る

例えば、(1) のように修飾語である形容詞「美しい」は被修飾語である名詞「花」と修飾関係 (修飾情報) をもつ。さらに (2) において、述語である動詞「殴る」はその項である名詞「太郎 (は)」と名詞「次郎 (を)」と項-述語関係 (叙述情報) をもつ。従って、修飾語は修飾情報を、述語は叙述情報を有していると考えられる。

表 1 : 修飾語と述語

	修飾語	非修飾語
述語	形容詞	動詞
非述語	副詞	名詞

表 1 のように、文中における語彙の振る舞いか

ら、修飾語と非修飾語、述語と非述語は分類することができる。この分類から、形容詞と副詞は修飾語であり、動詞と名詞は非修飾語であることがわかる。さらに、動詞と形容詞は述語であり、名詞と副詞は非述語であることがわかる。修飾語は修飾情報を、述語は叙述情報を有していると考えられることから、修飾語と非修飾語の違いと、述語と非述語の違いはそれぞれ修飾情報、叙述情報を有しているかどうか、という違いであることがわかる。

語彙範疇の種類によって修飾情報と叙述情報の有無に違いがあるとすれば、被験者に修飾語を提示したときと非修飾語を提示したとき、述語を提示したときと非述語を提示したときの脳活動に差があると考えられる。なぜならば、修飾語は修飾情報を有するため、修飾情報を有していない非修飾語を提示したときと比べて、修飾情報の処理に伴う脳活動の上昇があると考えられるからである。また、述語に関しては叙述情報を有するため、叙述情報を有していない非述語を提示したときと比べて、叙述情報の処理に伴う脳活動の上昇があると考えられるからである。

従って、語彙処理の段階において、①修飾語と非修飾語の間で処理中の脳活動に差があるならば、修飾情報を語彙処理の段階で処理していることになり、また②述語と非述語の間で処理中の脳活動に差があるならば、叙述情報を語彙処理の段階で処理していると考えられる。本研究では、fMRI 実験を通じて語彙項目の統語的情報を処理している場合の脳の賦活現象を観察・分析し、これらの仮説①および②を検証した。

2. 方法

25 名の右利きの健康な日本語母語話者（男性 21 名、女性 4 名；年齢 19-25 歳；平均

年齢 21.23 歳）が本実験に参加した。被験者からはそれぞれ、実験前に実験の目的および安全性に関して書面および口頭で説明を行ったうえで、書面による同意書を得た。

刺激は名詞、動詞、形容詞、副詞、擬似語、ベースライン（固視点のみ提示）の 6 条件を作成した。各条件の刺激の数は、30 ずつであった。刺激はすべて平仮名で表記した。

さらに語彙の心像性、親密度、語の長さが条件間で異なると脳活動に影響が出るため、事前の心理実験において統制した。それぞれの条件の心像性は、fMRI 実験に参加しない 9 名の日本語母語話者（男性 2 名、女性 7 名；年齢 18-25 歳、平均年齢 20.11 歳）に 5 段階評価（5 = よくイメージできる、1 = イメージできない）のレーティングをさせて統制した。親密度は、9 名の日本語母語話者にレーティングをさせる前に心理実験をして、その反応時間によって統制した。語の長さは、心像性と親密度を統制した後、条件間で統制した。心理実験の結果、心像性（ANOVA : $p = 0.69$ ）、親密度（ANOVA : $p = 0.68$ ）、語の長さ（ANOVA: $p = 0.19$ ）は、条件間の有意差を統制した（表 2-4）。

表 2：各条件の心像性

	心像性
動詞	4.42 (SD = 0.35)
名詞	4.47 (SD = 0.27)
形容詞	4.50 (SD = 0.28)
副詞	4.44 (SD = 0.23)

表 3：各条件の親密度

	親密度
動詞	613.79msec (SD = 125.45)
名詞	672.29msec (SD = 121.25)
形容詞	601.98 msec (SD = 124.80)
副詞	622.41 msec (SD = 151.29)

表 4：各条件の語の長さ

	語の長さ
動詞	(3.63, SD = 0.61)
名詞	(3.93, SD = 0.86)
形容詞	(4.03, SD = 0.88)
副詞	(3.83, SD = 0.53)

本研究の実験デザインは、event-related design であった。それぞれの刺激の提示時間は、単語 (500 msec)、固視点 (5500・6000・6500msec でランダムに提示) であった。被験者は、提示された刺激が日本語の単語であるかどうかをボタン押しをすることで判断した。

fMRI 撮像は、東北大学の MRI の 1.5 T Siemens Symphony Scanner で行なった。脳活動の撮像時の fMRI パラメータは、TR = 2000 msecs、TE = 50 msec、Slices = 22、Slice Thickness = 6 mm、FOV = 192 mm、Flip Angle = 90°であった。fMRI において撮像したデータは、MATLAB 上で SPM 2 software を使用し標準的な SPM の解析方法を用いて解析した。データのグループ解析は random effect model に則って行なった。閾値は、FDR、corrected、 $p < 0.05$ であった。

3. 結果

fMRI 実験における被験者の課題の正答率と反応時間は表 5 のようになった。課題の正答率は、Bonferroni 検定の結果、動詞と名詞の条件間に有意差があった ($p < 0.05$)。一方、課題の反応時間は条件間に有意差はなかった (ANOVA: $p = 0.14$)。

表 5：fMRI 実験の課題正答率・反応時間

	正答率	反応時間
動詞	0.96 (SD = 0.04)	815.48msec (SD = 119.76)

名詞	0.92 (SD = 0.06)	874.03msec (SD = 125.51)
形容詞	0.95 (SD = 0.04)	795.19msec (SD = 121.57)
副詞	0.94 (SD = 0.05)	824.65msec (SD = 122.89)

撮像データの比較の結果、非修飾語を提示したときよりも修飾語を提示したときの方が、左帯状回後部、左楔部、右上後頭回、左中後頭回、右中側頭回後部における脳活動が上昇した (図 1)。一方、非述語を提示したときと述語を提示したときの脳活動に、統計的有意差はなかった。



図 1 修飾語対非修飾語

4. 考察

本研究では、語彙処理の段階で、心的辞書内の語彙項目の修飾情報と叙述情報をどのような脳の部位でどの程度扱っているか、について fMRI 実験 を用いて検証した。その結果、修飾語を提示した時の方が非修飾語を提示した時よりも、左帯状回後部、左楔部、右上後頭回、左中後頭回、右中側頭回後部の脳活動が上昇した。一方述語を提示したときと非述語を提示したときの脳活動の比較に、有意差はなかった。以上のことから、叙述情報は語彙処理の段階で扱っていることについては明らかにできなかったが、語彙項目の修飾情報を脳内での語彙処理の段階において扱っていることが明らかになった。

このような修飾情報と叙述情報の脳内における処理の違いは、予測処理が関係していると

考えられる。日本語の文では、修飾語が被修飾語の前の位置にあるため、修飾語を認知した段階で次に来る語が被修飾語であることが予測できると考えられる。

(1) 美しい 花

例えば (1) の場合、修飾語「美しい」は被修飾語「花」より前の位置にあるため、日本語母語話者は修飾語「美しい」を認知したときに、被修飾語が後続することを予測できる。この考え方は、先行研究の結果からも支持される。本研究において脳活動の上昇を観察した、帯状回と左楔部の領域は、先行研究では予測処理に関係していると報告されている (Ebische et al., 2007; Grafton et al., in press)。従って、予測処理は脳の活動部位からも支持される結果となった。

一方、述語提示時と非述語提示時の脳活動の比較に差がなかった。日本語では、述語が文や節の最後に現れるため、述語の提示時には予測処理は行なわれない。

(2) 太郎は 次郎を 殴る

例えば (2) の場合、項である「太郎 (は)」や「次郎 (を)」が述語の前の位置にあるため、日本語母語話者は述語「殴る」を認知したときには、述語と関係をもつ項はすでに処理されてしまっている。よって、述語の処理の段階において叙述情報を予測処理する必要はないため、述語提示時と非述語提示時の脳活動の比較に差がなかったと考えられる。

5. 結論

本研究の結果から脳内では、統語的情報である修飾情報を語彙の情報として扱ってわれていることが明らかになった。一方、脳内におい

て叙述情報を語彙の情報として扱っているかどうか、については今後さらに研究を進める必要がある。

結果を踏まえた上で、本研究は、語彙処理の段階において脳が修飾情報を予測処理していることを示唆した。

参考文献

- Ebisch, S. J. H., Babiloni, C., Gratta, C. D., Ferretti, A., Perrucci, M. G., Caulo, M., Sitskoorn, M. M., and Romani, G. L. (2007). Human Neural Systems for Conceptual Knowledge of Proper Object Use: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *Cerebral Cortex*, 17, pp.2744-2751.
- Friederici, A., Opitz, B., and von Cramon, Y. (2001). Segregating semantic and syntactic aspects of processing in the human brain: an fMRI investigation of different word type. *Cerebral Cortex*, 10, pp. 698-705.
- Grafton, S. T., Schmitt, P., Horn, J. V., and Diedrichsen, J. (in press). Neural substrates of visuomotor learning based on improved feedback control and prediction. *NeuroImage*.
- Sabsevitz, D. S., Medler, D. A., Seidenberg, M., and Binder, J. R. (2005). Modulation of the semantic system by word imageability. *NeuroImage*, 27, pp. 188-200.
- Yokoyama, S., Miyamoto, T., Riera, J., Kim, J., Akitsuki, Y., Iwata, K., Yoshimoto, K., Horie, K., Sato, S., and Kawashima, R. (2006). Cortical Mechanisms Involved in the Processing of Verbs: An fMRI Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, pp. 1304-1313.