

Semantic LAN 現象からみる日本語の文理解モデル

矢野 雅貴

(九州大学大学院人文科学府／日本学術振興会特別研究員)

masayano@kyudai.jp

1. はじめに

従来の文処理モデルは、少なくとも統語的に曖昧性がない文では、意味的な情報が統語処理に影響を及ぼさないと仮定する (**Single-Stream Model**, e.g., **Syntax-first model**, **Constraint-based model**)。このようなモデルに基づく、(1b)のように、意味的に不自然であるが句構造違反などの統語的逸脱を含まない文に対しては、統語的逸脱に対して見られる P600 効果が観察されないと予測される。

(1) a. Control 文 : The hearty meal was devoured (by the kids)

b. Role-Reversed 文 : *The hearty meal was devouring (the kids)

→ **Semantic P600** 効果

ところが Kuperberg et al. (2003)以降、(1b)のような文に対して P600 効果が観察されることが報告されている (**Semantic P600** 現象)。もし P600 が統語的な再分析を反映した成分であるとすると、このような文に対する P600 効果は、**Single-Stream Model** では説明できない。一方、統語的に非曖昧な文であっても、意味情報が統語処理に影響すると仮定する **Multi-Stream Model** では説明可能であると考えられている (e.g., Kim and Osterhout, 2005, see Bornkessel-Schlesewsky and Schlewsky, 2008; Brouwer, 2014; Kuperberg, 2007 for review)。この文処理モデルによると、文処理では、世界知識に基づいて項の意味役割を決定する意味処理があり、常に(形態)統語的な情報に基づく処理と相互作用を行っている。世界知識に基づく意味役割が、(形態)統語情報に基づく意味役割と矛盾する場合、その矛盾を解消するために、(形態)統語的な情報の再分析が行なわれると考える。このモデルに従うと、(1b)の主語は、まず世界知識の観点から適切な意味役割 THEME が与えられる。その後、この情報が統語情報に基づく処理と相互作用すると、統語情報(主語/AGENT)との矛盾が生じるため、意味処理が統語処理に再分析を促し、その結果として統語的再分析に関連する P600 が観察されたと説明される。

しかし P600 効果は、統語的な再分析が可能ではない文でも見られ、必ずしも統語的な再分析を反映した成分とはいえない (Brouwer, 2014)。従って、(1b)で P600 効果が観察されたことから、意味的な適切性を優先させるために統語的再分析が行われたと考えることはできない。これは、**Multi-Stream Model** に対する経験的な証拠が十分ではないことを意味している。¹

¹ 意味的逸脱を含む文に対して観察されてきた N400 効果が、(1b)で観察されないことも、**Multi-Stream Model** を支持する証拠として考える立場がある (**Semantic Illusion** 現象; e.g.,

2. 実験

2.1. 実験 1 及び実験 2

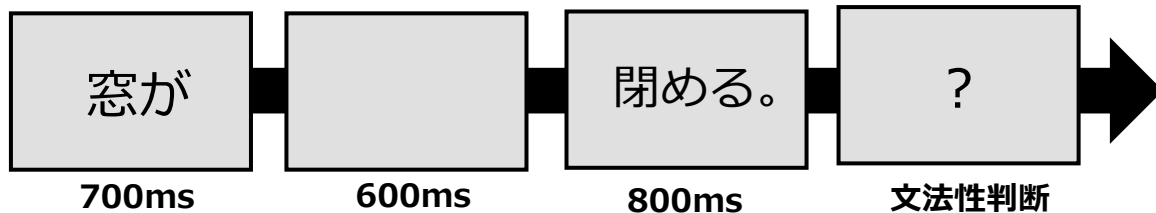
モデルの妥当性を検証するために、本研究では、機能的な解釈の曖昧性が低い左前頭部陰性波 (Left Anterior Negativity: LAN) を指標として用いた。LAN は、格違反に対して観察され、形態統語的な処理負荷を反映した成分だと考えられている (Arao et al., 2007)。

(2) a. 俊夫が 和夫を 褒めた。 vs. b. *俊夫が 和夫に 褒めた。

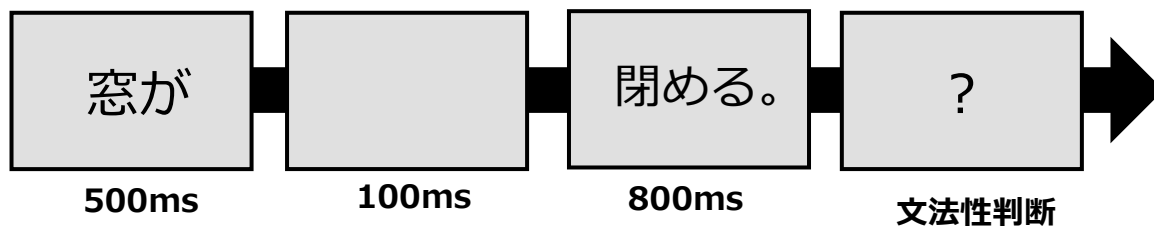
ただし LAN 効果は、予測された句構造または形態にあわない入力があった場合にも見られることが報告されている (Lau et al., 2006; Molinaro et al., 2011)。そのため、観察される LAN が、形態統語的な処理負荷によるものなのか、予測違反によるものなのかを判別する必要がある。

そこで本研究では、刺激間間隔 (SOA) を操作して予測違反の効果を考慮した。Chow (2013)によると、項の情報に基づいて動詞を予測するまでには数百ミリ秒かかる。そのため、項と動詞間の SOA が短いと、どのような動詞が現れるかを予測する前に動詞が入力されることになり、予測の効果は見られない。実験 1・2 では、以下の図のように SOA を操作し、予測に関連した LAN 効果の大きさを調べた。

実験 1 (Long SOA)



実験 2 (Short SOA)



Hoeks et al., 2004)。Single-Stream Model では、(1b)の逸脱性が意味処理において検出されると予測するからである。しかし、N400 は語レベルの処理を反映しており、ある語に対する N400 の振幅は、(プライミング効果や意味的な予測によって) 入力前に前活性化される程度と逆相関するという仮説が提案されている (see Kutas and Federmeier, 2010; 2011)。この考えに基づくと、(1b)で N400 効果が見られないのは、先行語が条件間で同一であり、*devour* が入力されるまでの活性化度が同じであったためであると説明できる (Chow, 2013)。従って、N400 の欠如も、Multi-Stream Model が仮定する意味処理を考えずに説明できる。

実験 1・2 では、(3)のような文を用いた。「窓」は、意味的には「閉める（他動詞）」の THEME（対格）である方が適切であるが、(3b)では AGENT（主格）で標示されているため、容認性が低い。ただし他動詞は、項に主格を付与できるため、形態統語違反文ではない。一方(3d)の「閉まる（自動詞）」は対格を付与できないため、形態統語違反文である。

- (3) 他動詞比較: a. 窓を 閉める。 vs. b. *窓が 閉める。
自動詞比較: c. 窓が 閉まる。 vs. d. *窓を 閉まる。

Multi-Stream Model が主張するように、世界知識に基づく意味役割と形態統語情報に基づく意味役割が矛盾する場合に、形態統語的な再分析が行われるとすれば、(3b)では、動詞の入力時に、形態統語的な処理負荷が増大するはずである。この情報間の矛盾は、動詞の予測可能性に関わらず生じるため、(3b)では SOA に変わらず LAN 効果が観察されると予測される。一方、Single-Stream Model が正しければ、SOA が長い時（実験 1）のみ、予測からの逸脱によって LAN 効果が惹起される可能性があるが、SOA が短い時（実験 2）は観察されないと予測される。(3d)の形態統語逸脱文では、どちらのモデルでも、LAN 効果が観察されると予測される。

2.2. 結果と考察

実験 1（Long SOA）では、(3b)に対して、(3d)に似た LAN 効果（と P600 効果）が観察された。しかし、実験 2（Short SOA）では、(3b)に対して LAN 効果は観察されなかった。LAN 効果は、動詞が予測可能な場合に限定されていることから、何らかの予測の違反によって惹起されたと考えられる。この結果は、動詞の予測可能性に関わらず、意味的な整合性を保つために、形態統語的情報が再分析されることを予測する Multi-Stream Model から説明することはできない。一方で、文処理装置が形態統語的情報に基づいて意味計算を行うと考える Single-Stream Model の予測に合致する。

2.3. 実験 3

実験 1・2 からは、SOA が長い場合に観察された LAN 効果が、どのような予測からの逸脱によって惹起されたのかは明らかではない：

- (1) **句構造**に対する予測からの逸脱（cf. Lau et al., 2006）：「窓が」という名詞句は、非対格動詞を含む統語構造を予測させるが、他動詞が入力されると、その予測が外れるため LAN 効果が惹起される。

形態的な予測からの逸脱（cf. Molinaro et al., 2011）：「窓が」という名詞句は、「閉まる（simeru）」という動詞を予測させるが、「閉まる（simaru）」が入力されると、その予測が外れるため LAN 効果が惹起される。

この二つの可能性の内、どちらが正しいのかを検証するために、(4)のような文を用いた実験を行った。

(4) 他動詞比較（自他対応なし） a. 窓を 掃除する。 vs. b. *窓が 掃除する。

もし実験 1 で観察された LAN 効果が、句構造に対する予測からの逸脱によって惹起されたとすれば、(4b)でも LAN 効果が惹起されると予測される。一方、形態的な予測違反によって惹起されているとすれば、(4b)では LAN 効果が惹起されないと予測される。

2.4. 結果と考察

実験の結果、(4b)に対して LAN 効果が認められた。ただし実験 3 では、実験 1 とは異なり P600 潜時帯での有意差が見られなかった。この結果は、実験 1 で観察されて LAN 効果が（少なくとも）句構造に対する予測の違反によって増大したものであることを示唆している。

3. 総合考察

1. Role-reversed 文 (1b) に対する P600 の惹起と N400 の欠如は、Multi-Stream Model を支持する経験的な証拠にはならない。
 - P600 効果は、必ずしも統語的な再分析を反映しているとはいえない (Brouwer, 2014)
 - N400 効果の欠如は、プライミング効果によって説明が可能 (Chow, 2013)
2. Multi-Stream Model では、実験 1 とは異なり実験 2 で LAN 効果が観察されなかったことを説明できない。従って、日本語の文処理研究からは、Multi-Stream Model は支持されない。一方、Single-Stream Model では実験 1・2 の結果を説明することができる。
3. 日本語文でも句構造の予測が外れたときに LAN 効果が観察される。
 - これは、特定の ERP 成分 (e.g., LAN, P600) を変動させる要因が複数あることを示唆している。もしこの考えが正しければ、ERP 成分を指標として、どのような認知処理が関与しているかを「診断」(≠定量化) するのは困難であることを示唆している
 - 先行研究の再評価 (e.g., 小林・杉岡・伊藤, 2013; 備瀬, 2012) が必要
 - 今後 LAN や P600 を指標として用いる研究は、観察された成分がどのような要因によって惹起されたのかを明確にすることが不可欠
4. 実験 2 (Short SOA) では LAN 効果が見られなかったため、句構造の予測生成にはある程度 (数百 ms) かかることが示唆される。
 - 文完成課題などのオフライン調査で推定される予測要素は、オンラインでの予測要素とは必ずしも一致しない可能性がある。今後の研究では、動詞予測に利用さ

れる情報（格／語順）だけでなく、名詞情報の符号化や予測生成のタイムコースを明らかにする必要がある。

Appendix

A. 実験参加者

- 実験 1：16 名（平均年齢：21.5 歳、SD: 2.5 歳, 女性：14 名）
- 実験 2：16 名（平均年齢：21.6 歳、SD: 2.6 歳, 女性：11 名）
- 実験 3：16 名（平均年齢：22.5 歳、SD: 1.5 歳, 女性：9 名）
- 全員、九州大学の学部生・大学院生であり、正常な視力（矯正視力も含む）を有している。Oldfield (1971)の利き手調査によって右利きであることを確認した。

B. 脳波の記録方法及び統計分析

- 記録装置：日本光電製 EEG-1200、電極：銀電極（日本光電製 NE-113A）、頭皮上の 19 カ所（Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fz, Cz, Pz）から記録
- 接地電極：Fpz、基準電極：両耳朶結合、眼球運動と瞬目の監視用電極：左眼下及び左眼左
- 電極間抵抗値：5 k Ω 未満、ローカットフィルタ：0.03 Hz、ハイカットフィルタ：120 Hz、サンプリング周波数：200 Hz（実験 1）, 1000 Hz（実験 2・3）
- $\pm 80 \mu\text{V}$ を超える電位を含む試行は、瞬きなどによるアーチファクトの混入があるとみなし、加算から除外
- ベースライン：第 2 文節オンセットの前 100 - 0 ms
- 要因配置：格助詞（主格／対格） \times 動詞の種類（自動詞／他動詞） \times 電極位置（前頭性 \times 左右）。電極位置は、MIDLINE（Fz, Cz, Pz）, LATERAL（F3, F4, C3, C4, P3, P4）, TEMPORAL（Fp1, Fp2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, O1, O2）に分けた。自由度が 1 より大きい反復測定を含む分散分析では、球面性の仮定からの逸脱を補正するため、球面性の検定が有意であった被験者内要因について Greenhouse- Geisser の ϵ による調整を実施

参考文献

- Arao, H., Suwazono, S., Sakamoto, T., & Nakada, T. (2007) ERP correlates of the processing of object-verb integration in Japanese. In Tsutomu Sakamoto (ed.), *Communicating Skills of Intention*, 319-336. Tokyo: Hituzi Syobo.
- Bornkessel-Schlesewsky, I. & Schlewsky, M. (2008) An alternative perspective on “semantic P600” effects in language comprehension, *Brain Research Reviews*, 59, 55-73.
- Brouwer, H. (2014) The electrophysiology of language comprehension: A neurocomputational model, PhD dissertation, University of Groningen.
- Chow, W. (2013) The temporal dimension of linguistic prediction, PhD dissertation, University of Maryland.
- Hoeks, J. C. J., Stowe, L. A., & Doedens, G. (2004) Seeing words in context: The interaction of

- lexical and sentence level information during reading, *Cognitive Brain Research*, 19(1), 59–73.
- Kim, A., & Osterhout, L. (2005) The independence of combinatory semantic processing: Evidence from event-related potentials, *Journal of Memory & Language*, 52(2), 205–225.
- Kuperberg, G. R. (2007) Neural mechanisms of language comprehension: Challenges to syntax, *Brain Research*, 1146(1), 23–49.
- Kuperberg, G. R., Sitnikova, T., Caplan, D., & Holcomb, P. J. (2003) Electrophysiological distinctions in processing conceptual relationships within simple sentences, *Cognitive Brain Research*, 17(1), 117–129.
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2000) Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension, *Trends in Cognitive Sciences*, 4(12), 463–470.
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2011) Thirty Years and Counting Finding Meaning in the N400 Component of the Event-Related Brain Potential, *The Annual Review of Psychology*, 62, 621–647.
- Lau, E., Stroud, C., Plesch, S. & Phillips, C. (2006) The role of structural prediction in rapid syntactic analysis, *Brain & Language*, 98(1), 74–88.
- Molinaro, N., Barber, H. A., & Carreiras, M. (2011) Grammatical agreement processing in reading: ERP findings and future directions, *Cortex*, 47(8), 908–930.
- Newman, A. J., Ullman, M. T., Pancheva, R., Waligura, D. L., & Neville, H. J. (2007) An ERP study of regular and irregular English past tense inflection, *Neuroimage*, 34(1), 435–445.
- Regel, S., Gunter, T. C., Friederici, A.D. (2011) Isn't it ironic? An electrophysiological exploration of figurative language processing, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(2), 277–293.
- Van de Meerendonk, N., Kolk, H. H. J., Vissers, C. Th. W. M., Chwilla, D. J. (2008) Monitoring in language perception: mild and strong conflicts elicit different ERP patterns, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(1), 67–82.
- Vissers, C. Th. W. M., Kolk, H. H. J., van de Meerendonk, N., & Chwilla, D. J. (2008) Monitoring in language perception: Evidence from ERPs in a picture-sentence matching task, *Neuropsychologia*, 46(4), 967–982.
- 小林由紀・杉岡洋子・伊藤たかね (2013) 規則適用としての連濁: 事象関連電位計測実験の結果から, 第 147 回日本言語学会, 374–379, 神戸市外国語大学.
- 備瀬優 (2012) 脳の言語情報処理を診断する-ERP で観る否定極性項目の認可, 第 145 回日本言語学会, 360–365, 九州大学.

謝辞

本研究は、以下の助成を受けて行われた。記して謝意を表す。

日本学術振興会特別研究員奨励費 13J04854 (研究代表者：矢野雅貴)

日本学術振興会科学研究費基盤研究 (A)25244018 (研究代表者：坂本勉)