

日本語のかき混ぜ文における filler-gap 依存関係の処理 —持続的な脳活動は何を反映しているのか—

矢野 雅貴 (東京都立大学人文社会学部言語科学教室)

<https://massayano.github.io>

— 要旨 —

様々な言語において filler-gap 依存関係を含む文はそれを含まない文よりも処理負荷が大きくなることが知られている。その処理負荷のひとつとして、filler 位置から gap 位置にかけて観察される持続的左前頭部陰性波という事象関連電位 (脳波の一種) がある。この陰性波は、一時的に filler を記憶しておく負荷を反映していると考えられている。しかし、先行研究では filler-gap 依存を含む文に対して適切な文脈が呈示されておらず、これが原因で負荷が増大した可能性も排除できない。この可能性を検討するために、本研究では、語順 (SOV・OSV) と文脈の種類 (適切・不適切) を操作した事象関連電位実験を行った。その結果、OSV 語順における持続的左前頭部陰性波は、適切な文脈が呈示された場合には観察されないことが明らかとなった。従って、持続的陰性波が filler の情報を保持する負荷を反映しているという従来の仮説は妥当ではない可能性がある。

1. 研究の背景

(1)のような文において移動した要素 (boy) を filler、その元位置を gap と呼ぶ。この filler と gap 関係は局所的ではないため、filler の情報は、gap 位置が検出されるまで記憶システムで保持されると考えられている。この保持のされ方について、これまでに二つの異なる考えが提案されてきた。

(1) The policeman saw the boy_i that the crowd at the party ^{△1} accused _j ^{△2} of the crime.

1.1. Retrieval 仮説

この仮説によると、まず filler 入力時に、その情報が記憶システムに符号化される。その後 gap が検出されると、filler の情報はメモリから取り出され (retrieval)、再びアクティブな状態となる。この証拠として、(1)のような文を用いた cross-modal priming 実験で、gap 位置 (△2) では filler (boy) に関連した語に対して早く語彙判断できるのに対し、pre-gap 位置 (△1) では早く判断できないことがあげられる (Clahsen & Featherston, 1999; Nakano, Felser, & Clahsen, 2002; Nicol & Swinney, 1989)。¹ また、脳波の一種である事象関連電位を指標とした実験において gap 位置で観察される一過性の左前頭部陰性波は、filler の取り出しを反映していると考えられている (Kluender & Kutas, 1993a, 1993b)。このように符号化と取り出しによって依存関係が構築されると考えるモデルは cue-based parsing model と呼ばれている (Lewis, Vasishth, & Van Dyke, 2006)。

1.2. Active maintenance 仮説

一方、filler は gap の検出までの間アクティブな状態で保たれると考える立場もある。例えば、(2)

¹ Cross-modal priming 実験とは、(1)のような文を聴解しながら、ある時点で画面に呈示される語に対して語彙判断 (または音読などの課題) を行う実験である。早く語彙判断できる場合、その語の語彙表象は、その時点で活性化されていると解釈される (意味的プライミング効果)。

の us 位置で観察される読み時間の遅延 (filled-gap effect) は、gap の有無についてのボトムアップ情報が得られる前に filler-gap 依存が構築されることを示しており (Active Filler Strategy, (Frazier, 1987; Frazier & Clifton, 1989)、Frazier and Flores d'Arcais (1989)は、このような観察から、gap の探索中に filler が不活性状態であるとは考えにくいと主張している。

(2) My brother wanted to know who_i Ruth will bring us home to _i at Christmas.

事象関連電位を用いた実験では、filler から gap にかけて持続的な左前頭部陰性波 (**sustained left anterior negativity: SLAN**) が観察されることが報告されている。この成分は、filler の情報をアクティブに保持するための負荷であると考えられている (e.g., Hagiwara et al., 2007; King & Kutas, 1995)。

1.3. SLAN に対する文脈の影響

SLAN は active maintenance 仮説を支持する直接的な証拠と考えられている。しかし、統語的に複雑な文は既知性 (givenness) など、文脈との関わりがあるにも関わらず、先行研究では、filler-gap 依存を含む文に対して適切な文脈が呈示されていないという問題がある。従って、これが原因で文処理負荷が増大した可能性も考えられる。そこで Yano and Koizumi (2018) では、文脈が SLAN に対してどのような影響を及ぼすかを検討した。実験では、以下のような二種類の文脈と二種類の語順を用いた。(4a)の基本語順は名詞句の既知性に要求はないが、(4b)のかき混ぜ語順は目的語が新情報のときは、その移動を動機づけるものがなく不適切な使用となる (Imamura, 2014; Kuno, 1987)。

(3) 文脈

- a. 交番に吉田さんがいます。
- b. 交番に北村さんがいます。

(4) ターゲット文

- a. 基本語順 (SOV) : 吉田さんが 昨日の 夜 北村さんを 叱った らしい。
- b. かき混ぜ語順 (OSV) : 北村さんを_i 昨日の 夜 吉田さんが _i 叱った らしい。

実験の結果、かき混ぜ文が適切な談話上で用いられていない場合、先行研究と同様に SLAN が観察されたが、適切に用いられた場合では観察されなかった。この結果は、SLAN が統語的な複雑性ではなく談話的な不自然さによる負荷を反映していることを示唆している。しかし、Yano and Koizumi (2018)が用いたかき混ぜ文では、目的語がとくに旧情報であるとき、表層位置で解釈されている可能性がある (cf. Kuno, 1987; Tada, 1993)。もしそうであれば、文処理中に filler-gap 依存関係の構築が行われず、その結果 SLAN が観察されなかったという可能性が残る。そこで本研究では、目的語に「しか」をつけて文脈が filler-gap 依存関係の処理に与える影響を再検討した。「しか」は否定辞と共起しなければならず vP 内で解釈されるという特徴を持つ (Kato, 1985, 1994; 片岡, 2010)。

2. 事象関連電位実験

2.1. 目的

- filler-gap 依存関係の処理中に観察される SLAN はどのような処理を反映しているのかを明らか

にする。

- それを通して、filler-gap 依存関係における言語処理システムと記憶システム相互作用メカニズムを明らかにする。

2.2. 実験文

実験では、Yano and Koizumi (2018)と同様に文脈の種類と語順を操作した。

(5) 文脈

- 北村さんと山田さんが会議室にいました。
- 青木さんと山田さんが会議室にいました。

(6) ターゲット文

- 基本語順 (SOV) :

青木さんが 先週の 月曜日 北村さんにしか 挨拶しなかった らしい。

- かき混ぜ語順 (OSV) :

北村さんにしか 先週の 月曜日 青木さんが 挨拶しなかった らしい。

基本語順(6a)は特に談話的な要求がないため、どちらの文脈(5a,b)でも適切に用いることができる。一方、かき混ぜ語順は、目的語が旧情報であるほうが適切であるため、文脈(5a)が先行呈示された場合は適切であるが、文脈(5b)の場合は移動が適切に動機づけられておらず、不適切な使用となる。

目的語が表層位置で解釈されないようにするため、目的語に「しか」をつけている。対格を取る動詞を使用すると対格を省略しなければならず (*北村さんをしか、^レ北村さんしか)、かき混ぜ語順の文頭の名詞句で、一時的な主語-目的語曖昧性が生じてしまう。そこで動詞は与格を取る動詞に変更し、目的語は「NP にしか」とした。また、「しか」の不適切な使用を防ぐため、文脈では2名の人物が導入されている(順番は試行間でカウンターバランス)。これらの実験文 120 セットは、ラテン方格法に従って4リストに分配した。

2.3. 実験参加者

実験参加者は、九州大学の大学生・大学院生 18 名 (女性 9 名、男性 9 名、平均年齢 21.4 歳、標準偏差 2.4 歳) であった。全員が右利きで、正常な視力を持ち、言語障害等の報告はない。

2.4. 実験手順

刺激の呈示速度は、図 1 の通りである。質問に対しては YES または NO のボタンを押すことで回答し、誤答の場合のみ音によるフィードバックがあった (脳波の記録方法は Appendix 参照)。

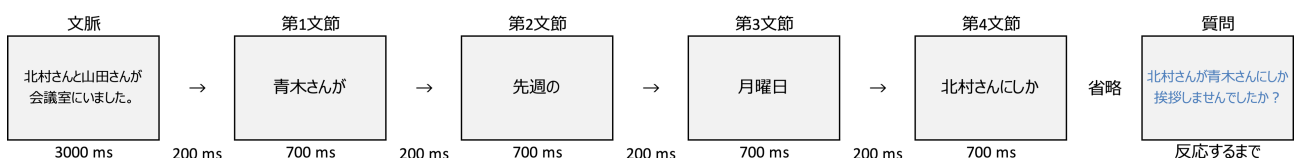


図 1.1 試行の流れ.

2.5. 統計分析

文脈の種類 (新旧/旧新) × 語順 (SOV/OSV) × 電極位置 (前頭性及び左右半球) を要因とする分

散分析を行った（正中線：Fz, Cz, Pz、傍矢状洞部：F3/4, C3/4, P3/4、側頭部：Fp1/2, F7/8, T7/8, P7/8, O1/2）。従属変数は、第1文節呈示開始後 300–500 ms、500–900 ms、1000–1800 ms（第2文節呈示開始後 100–900 ms に対応）、1900–2700 ms（第3文節呈示開始後 100–900 ms に対応）の平均電位量である。

2.6. 予測

もし SLAN が filler の（統語的）情報をアクティブな状態で保持するということを反映した成分であるとすれば、文脈の種類に関わらずかき混ぜ文で観察されると考えられる。一方、SLAN が談話レベルの処理に関わる成分であるとすれば SLAN は、かき混ぜ文が適切に用いられる場合（O_{旧情報}S_{新情報}V）には観察されず、不適切に用いられる場合（O_{新情報}S_{旧情報}V）には観察されると予測される。

2.7. 結果

図 2 に、Fp1（左前頭の電極）における第1文節から第3文節までの総加算平均波形およびトポグラフィを示した。不適切な文脈中でかき混ぜ文が呈示される条件（オレンジ色）のみが、他の3条件と比較して持続的に陰性方向に偏位していることがわかる。

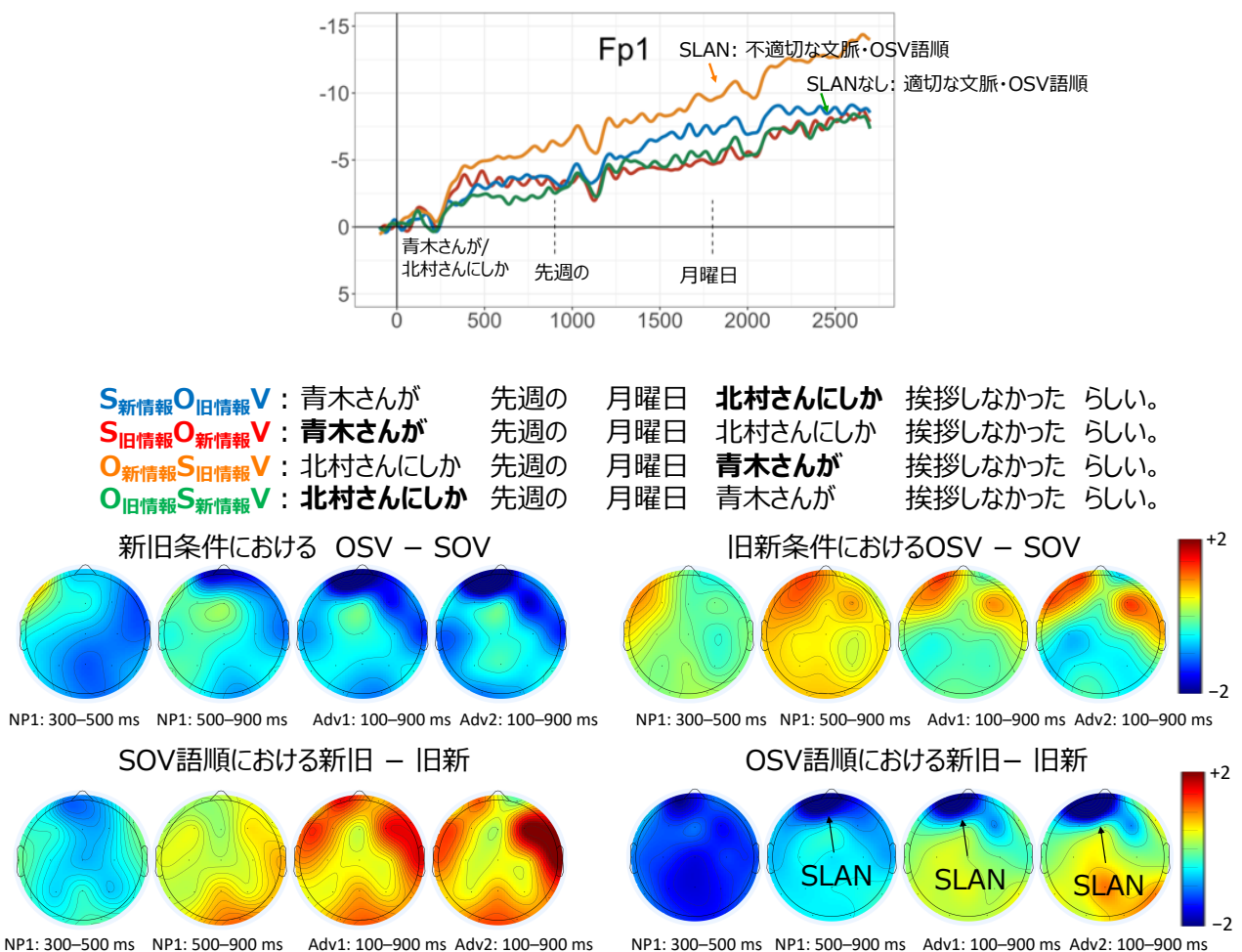


図 2. 第1文節から第3文節までの総加算平均波形。横軸は時間、縦軸は電位量（陰性が上向き）を表す。

- 第 1 文節 300–500 ms：文脈の主効果があり、旧情報の名詞句では新情報の名詞句に比べて N400 が減衰した（repetition priming effect）。
- 第 1 文節 500–900 ms：傍矢状洞部で文脈 × 語順 × 前頭性の交互作用が有意であり、F3/4 において、かき混ぜ語順が文脈の効果を見せた。下位検定の結果、 $O_{\text{新情報}} S_{\text{旧情報}} V$ が、 $O_{\text{旧情報}} S_{\text{新情報}} V$ に比べて陰性であった。基本語順では文脈の効果はなかった。
- 第 2 文節 100–900 ms：文脈 × 語順 × 前頭性 × 半球の交互作用が側頭部で有意傾向であった。下位検定の結果、Fp1 においてかき混ぜ文で文脈の効果があり、 $O_{\text{新情報}} S_{\text{旧情報}} V$ が、 $O_{\text{旧情報}} S_{\text{新情報}} V$ に比べて陰性であった。SOV 語順は文脈の効果はなかった。
- 第 3 文節 100–900 ms：文脈 × 語順 × 前頭性 × 半球の交互作用が側頭部であった。下位検定の結果、Fp1 においてかき混ぜ文で文脈の効果があり、 $O_{\text{新情報}} S_{\text{旧情報}} V$ が、 $O_{\text{旧情報}} S_{\text{新情報}} V$ に比べて陰性であった。基本語順は文脈の効果はなかった。

3. 考察

- filler-gap 依存を含む文に対して適切な文脈がない場合にのみ SLAN が観察されることを考えると、SLAN が filler（に関する統語的な情報, cf. Wagers & Phillips, 2014）の保持に関わるという解釈は妥当ではない可能性がある。SLAN は、移動が適切に動機づけられていない状況において、前提（presupposition）を調節する（accommodate）機能を果たしている可能性が考えられる。別の可能性としては、SLAN は言語処理に固有の脳活動ではなく、予期しない情報に対して注意を向けるというような領域一般的な機能を担っている可能性も考えられる。
- 本実験の結果から持続的な脳活動は、短期的な情報の保持に不可欠なものではないことが示唆された。従って、filler-gap 依存関係の構築において filler がアクティブな状態で保持されているという考え（active maintenance 仮説）には再考の余地がある。一方で、本研究の解釈は、依存関係が一般に符号化と取り出しによって構築されると考える cue-based parsing model に整合するものである。また、持続的な脳活動なしに短期的な情報の保持が可能であるとする神経科学の知見とも整合する(Lewis-Peacock et al., 2012; Postle, 2006)。

Appendix

- 脳波の記録には、QuickAmp 及び Ag/AgCl 電極を用いた。探査電極は、頭皮上の 17 カ所 (F3/4, C3/4, P3/4, O1/2, F7/8, T7/8, P7/8, Fz, Cz, Pz)、眼電図記録用の電極は、左眼下・左眼左に設置した。電極間抵抗値は 10 k Ω 未満であり、サンプリング周波数 1000 Hz、DC–200 Hz のオンラインフィルタで記録した。解析時に両耳朶から記録した電位の平均値に再基準化を行った。
- 解析は、30Hz のハイカットフィルタを適用し（ただし、図 2 は 10Hz のハイカットフィルタを適用）、第 1 文節のオンセットから第 4 文節のオンセットまでをエポック化した。そのデータに対して第 1 文節の–100–0 ms の平均電位量を用いてベースライン補正を行った。その際、 $\pm 100 \mu\text{V}$ を超える電位を含む試行は、アーチファクトの混入があるとみなし除外した。SLAN が眼球運動によるものである可能性を排除するために、EEGLAB の toolbox である AMICA (Palmer & Makeig, 2008) 及び ICLabel (Pion-Tonachini, Kreutz-Delgado, & Makeig, 2019) によって眼電位を除去した。

参照文献

- Clahsen, H., & Featherston, S. (1999) Antecedent priming at trace positions: Evidence from German scrambling. *Journal of Psycholinguistic Research*, 28, 415–437.
- Frazier, L. (1987) Syntactic processing: Evidence from Dutch. *Natural Language and Linguistic Theory*, 5, 519–559.
- Frazier, L., & Clifton, C. (1989) Successive cyclicity in the grammar and the parser. *Language and Cognitive Processes*, 4, 93–126.
- Frazier, L., & Flores d'Arcais, G. B. (1989) Filler driven parsing: A study of gap filling in Dutch. *Journal of Memory and Language*, 28, 331–344.
- Hagiwara, H., Soshi, T., Ishihara, M., & Imanaka, K. (2007) A topographical study on the event-related potential correlates of scrambled word order in Japanese complex sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 175–193.
- Imamura, S. (2014) The influence of givenness and heaviness on OSV in Japanese. *Proceedings of the 28th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation*, 224–233.
- Kato, Y. (1985) Negative sentences in Japanese. Tokyo: Sophia University.
- Kato, Y. (1994) Negative polarity and movement. *MIT Working Papers in Linguistics*, 24, 101–120.
- King, J. W., & Kutas, M. (1995) Who did what and when? Using word- and clause-level ERPs to monitor working memory usage in reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7, 376–395.
- Kluender, R., & Kutas, M. (1993a) Bridging the gap: Evidence from ERPs on the processing of unbounded dependencies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 196–214.
- Kluender, R., & Kutas, M. (1993b) Subjacency as a processing phenomenon. *Language and Cognitive Processes*, 8, 573–633.
- Kuno, S. (1987) *Functional Syntax: Anaphora, Discourse, and Empathy*. University of Chicago Press.
- Lewis-Peacock, J. A., Drysdale, A. T., Oberauer, K., & Postle, B. R. (2012) Neural evidence for a distinction between short-term memory and the focus of attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24, 61–79.
- Lewis, R. L., Vasishth, S., & Van Dyke, J. A. (2006) Computational principles of working memory in sentence comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 447–454.
- Nakano, Y., Felser, C., & Clahsen, H. (2002) Antecedent priming at trace positions in Japanese long-distance scrambling. *Journal of Psycholinguistic Research*, 31, 531–571.
- Nicol, J., & Swinney, D. (1989) The role of structure in coreference assignment during sentence comprehension. *Journal of Psycholinguistic Research*, 18, 5–19.
- Palmer, J. a, & Makeig, S. (2008) Newton method for the ICA mixture model. *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1805–1808.
- Pion-Tonachini, L., Kreutz-Delgado, K., & Makeig, S. (2019) ICLabel: An automated electroencephalographic independent component classifier, dataset, and website. *NeuroImage*, 198, 181–197.
- Postle, B. R. (2006) Working memory as an emergent property of the mind and brain. *Neuroscience*, 139, 23–38.
- Tada, H. (1993) A/A-bar partition in derivation. *Doctoral Dissertation*, MIT.
- Wagers, M. W., & Phillips, C. (2014) Going the distance: Memory and control processes in active dependency construction. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67, 1274–1304.
- Yano, M., & Koizumi, M. (2018) Processing of non-canonical word orders in (in)felicitous contexts: Evidence from event-related brain potentials. *Language, Cognition and Neuroscience*, 33, 1340–1354.
- 片岡喜代子 (2010) 否定極性と統語的条件. 加藤泰彦・吉村あき子・今仁生美 (編) 否定と言語理論 (pp. 118–140). 東京: 開拓社.

謝辞

本研究は、以下の助成を受けて行われた。ここに記して謝意を表す。

- ・ 日本学術振興会若手研究 19K13182 (研究代表者: 矢野雅貴)
- ・ 日本学術振興会基盤研究 (S) 19H05589 (研究代表者: 小泉政利)