

依存関係の構築における予測処理について — ERP を指標とした日本語譲歩文の研究 —

立山憂¹ 矢野雅貴^{1,2} 坂本勉³

(¹九州大学大学院人文科学府,²日本学術振興会特別研究員,³九州大学大学院人文科学研究院)

tateyama.yuki@gmail.com

1. はじめに

人間は文を理解する際に、入力された要素の処理に加えて、入力済みの情報に基づいた後続要素の予測処理も行っていると考えられる。文理解における予測処理の手がかりとなるのが、要素間に成り立つ依存関係である。ここでは、「ある要素 X と、その要素 X と必ず共起するような要素 Y との関係」を依存関係と定義する。以下、依存関係を形成する二つの要素のうち先に現れる方を前出要素 X、後に現れる方を後出要素 Y と呼ぶ。例えば、次のように、日本語の wh 要素「どんな」は、「か」や「の」のような疑問小辞と共起しなければならない。従って、これらの要素は依存関係にあると言える。

- (1) a. どんなパソコンを {買いましたか。/買ったの?}
b. *どんなパソコンを買いましたよ。

依存関係の構築過程では、前出要素 X が入力されると、可能な限り早い段階での後出要素 Y の入力予測されるという処理モデルが提案されている。本研究では、日本語における譲歩の副詞「たとえ」と述語形態「-ても」を含む文の理解過程について調べ、これらの要素間においても依存関係の構築処理が行われていることを示した。

2. 依存関係の構築過程に関する読み時間実験

Miyamoto and Takahashi (2002) は、次のような wh 要素「どんな」を含む文の文節ごとの読み時間を測定する被験者ペースの読み実験を行った。

- | | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 |
|--------|-----|------------------|----------------|-----|-------|
| (2) a. | 専務が | <u>どんな</u> パソコンを | 使っている <u>か</u> | 係長が | 聞いたの？ |
| b. | 専務が | <u>どんな</u> パソコンを | 使っている <u>と</u> | 係長が | 言ったの？ |

上述のように、wh 要素は疑問小辞と依存関係を形成するが、(2a)では wh 要素「どんな」の出現後、可能な限り最も早い位置である従属節末で疑問小辞「か」が現れるのに対し、(2b)ではそうではない。実験の結果、P3 の読み時間は、(2a)よりも(2b)の方が有意に長かった。これは、(2b)の P3 では疑問小辞が現れるという予測が外れたことによって処理負荷が増大したことを示すと考えられる。英語においても、同様の結果が移動した要素とその痕跡の依存関係に関する研究で報告されており (Stowe, 1986)、前出要素 X が入力されると、後出要素 Y の可能な限り早い位置での入力予測されていると考えられた。

3. 依存関係の構築過程に関する ERP 実験

依存関係の構築過程についてより詳しく検討するために、Ueno and Kluender (2009) では読み時間とは異なる指標を用いた実験を行った。Ueno and Kluender (2009) が指標として用いたのは、脳波の一種である事象関連電位 (Event-Related brain Potential: ERP) である。ERP とは、脳活動に伴って生じる、事象と時間的に関連した脳の電位変化である。ERP はミリ秒単位という高い時間分解能で、二次的な課題を用いずに脳活動そのものを観察することができるため、高速で行われる人間の文理解過程について検討するのに非常に適している。

Ueno and Kluender (2009) は、日本語の「どんな」のような wh 要素と疑問小辞「か」の依存関係の構築過程について調べる ERP 実験を行った。その結果、wh 要素の入力後、疑問小辞が入力されるまでの間で持続的陰性波が観察された。英語や日本語における移動した要素とその痕跡の依存関係 (Phillips et al., 2005; Hagiwara et al., 2007; Ueno and Kluender, 2003 など) や日本語における数量詞と host-NP の依存関係 (安永, 2010) など、他の依存関係の構築時にも、このような前出要素 X の入力から後出要素 Y の入力までの間での持続的陰性波が一貫して観察されている。

ERP の利点として、ある処理 A に対して特定の ERP 反応を示すということが分かっている場合、ある文の理解時にその ERP 反応が見られるかどうかを調べることで、その文の理解時に処理 A が行われているかどうかを検討することができるという、診断的な利用が可能であることが挙げられる。上述のように、先行研究によって、依存関係の構築において前出要素 X の入力から後出要素 Y の入力までの間での持続的陰性波が観察されることが明らかになっている。従って、このような持続的陰性波が観察されるかどうか確かめることによって、ある文において依存関係の構築処理が行われているかどうかを検討することができる。本研究ではこれを利用して、日本語における譲歩の副詞「たとえ」と述語形態「-ても」を含む文 (以下、「たとえ-ても」文) の理解過程について調べた。

4. 実験

[実験文と予測] 本研究では、次のような文の理解過程を調べる ERP 実験を行った。

(3)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
a. 「たとえ-ても」条件	<u>たとえ</u>	医者が	患者を	治療 <u>しても</u>	その患者は	治らないだろう。	
b. 「たとえ-たら」条件	<u>たとえ</u>	医者が	患者を	治療 <u>したら</u>	その患者が	治るとしても	治療しないだろう。
c. 「たぶん-ても」条件	<u>たぶん</u>	医者が	患者を	治療 <u>しても</u>	その患者は	治らないだろう。	
d. 「たぶん-たら」条件	<u>たぶん</u>	医者が	患者を	治療 <u>したら</u>	その患者が	治るとしても	治療しないだろう。

「たとえ-ても」文において他の依存関係の構築時と同様の処理が行われているとすれば、次のようなことが予測される。まず、「たとえ」を含む条件において、前出要素である「たとえ」が入力されてから後出要素である「-ても」が入力されるまでの間で持続的陰性波が観察される。また、「たとえ」の入力により「-ても」が可能な限り最も早い位置で入力されることを予測する処理が行われ、(3b)の P4「治療したら」ではそのような予測に反する入力が行われる。一方、(3d)では「たとえ」の入力が無いため

そのような予測処理はそもそも行われていない。従って、(3b)「たとえ-たら」条件と(3d)「たぶん-たら」条件を比較した場合、(3b)の P4「治療したら」では予測と入力の不一致を反映する ERP 成分が観察されると予測される。

上記のような 4 条件を 120 組、合計 480 文作成した。これらの文をラテン方格法に基づいて 4 つのリストに各条件から 30 文ずつ分配し、参加者にはいずれか 1 つのリストの文をランダムに呈示した。従って、1 人の参加者につき合計 120 文が呈示された。

[実験参加者・手順] 日本語を母語とする大学生・大学院生 24 名（うち女性 15 名、平均年齢：21 歳 6 ヶ月）が実験に参加した。参加者全員が正常な視力（矯正視力を含む）を有しており、右利きであることが確認された。参加者全員に一定額の謝金が支払われた。

実験文の呈示には、Cedrus 製 SuperLab 4.0 が用いられた。呈示の状況を図 1 に示す。まず、画面中央に注視点として「+」が 4000 ミリ秒間呈示され、その後刺激文が文節ごとに呈示された。各文節の呈示時間は 700 ミリ秒、文節間の間隔（ISI）は 100 ミリ秒とした。最後に「ok」の文字を 700 ミリ秒呈示した。続いて 4000 ミリ秒の ISI の後、次の試行へと進んだ。

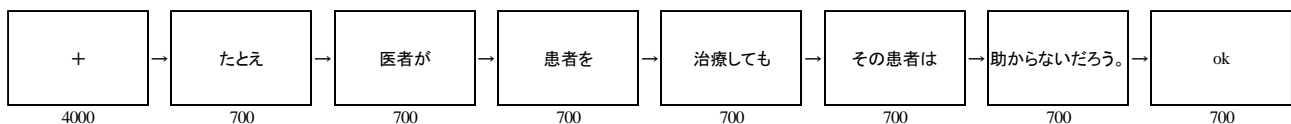


図 1 実験文の呈示状況。(数値は呈示時間(ミリ秒)を示す。ISI: 100 ミリ秒。)

参加者は防音室内の椅子に座り、画面に表示される文を黙読するよう求められた。また、参加者の集中力を持続させるため、3 試行に 1 回程度の割合で課題を課した。課題は、1 文を呈示し、直前の試行における文と全く同じかどうかを判断させるもので、レスポンスパッド（Cedrus 製 RB-730）のキーを押すことで回答してもらった。課題の文が直前の試行の文と一致していれば○、一致していなければ×のキーを押すよう求めた。キーの位置は 4 人ごとに左右を入れ替えることでカウンターバランスを取った。

[脳波の記録方法] 脳波の記録には日本光電製の脳波計 EEG-1200 を用いた。電極は銀-塩化銀皿電極（日本光電製 NE-113A）を用い、国際 10-20 法に基づいて、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）に配置した。接地電極は Fpz、基準電極は両耳朶結合とした。さらに、眼球運動と瞬目によるアーチファクトの監視のために、左眼下及び左眼左に電極を装着した。電極間抵抗値は全て 5k Ω 以下とし、ローカットフィルタは 0.03Hz、ハイカットフィルタは 60Hz に設定した。サンプリング周波数は 200Hz とした。

[結果] 参加者 24 名の課題に対する平均正答率は 79.7% であり、全参加者の正答率が 70% を上回っていた。また、脳波データの加算回数は、全参加者の全条件において 25 回以上であった。

図 2（左）に、第 1 文節呈示開始後-100~2400 ミリ秒間（P1-P2-P3）の F8 における総加算平均波形を示す。この区間では「たとえ-ても」条件と「たとえ-たら」条件、および「たぶん-ても」条件と「たぶ

ん-たら」条件の間に違いは無いことから、前者の平均値を「たとえ」条件、後者の平均値を「たぶん」条件として分析を行った。視察の結果、第1文節呈示開始後1300~2400ミリ秒の潜時帯で、「たとえ」条件の波形が陰性に偏移していた。この区間における平均電位量について、副詞（2水準：たとえ / たぶん）、電極位置（正中線3水準、傍矢状洞部10水準、側頭部6水準）を要因とする2要因分散分析を行った。その結果、副詞の主効果が側頭部において有意であり（ $F(1,23) = 4.321, p < .05$ ）、傍矢状洞部において有意傾向であった（ $F(1,23) = 3.056, p < .10$ ）。すべての電極位置において交互作用は有意ではなかった（ $p > .10$ ）。従って、「たぶん」条件と比較して「たとえ」条件において、第1文節呈示開始後1300~2400ミリ秒の潜時帯において側頭部で持続的陰性波が観察されたとと言える。

図2（右）に、第4文節呈示開始後100~800ミリ秒間のPzにおける「たとえ-たら」条件および「たぶん-たら」条件の総加算平均波形を示す。視察の結果、第4文節呈示開始後650~800ミリ秒の潜時帯で、「たとえ-たら」条件の波形が陽性に偏移していた。この区間における平均電位量について、述語形態（2水準：-ても / -たら）、電極位置（正中線3水準、傍矢状洞部10水準、側頭部6水準）を要因とする2要因分散分析を行った結果、正中線および傍矢状洞部において電極位置と述語形態の交互作用が有意であり（正中線： $F(2,46) = 4.833, p < .05$ 、傍矢状洞部： $F(9,207) = 2.008, p < .05$ ）、正中線での交互作用における述語形態の単純主効果がPzにおいて有意（ $F(1,69) = 4.124, p < .05$ ）、傍矢状洞部での交互作用における述語形態の単純主効果がP4、O1において有意傾向であった（P4： $F(1,230) = 3.396, p < .10$ 、O1： $F(1,230) = 3.023, p < .10$ ）。従って、「たぶん-たら」条件と比較して「たとえ-たら」条件において第4文節呈示開始後650~800ミリ秒の潜時帯においてPzで陽性波が観察され、この成分は極性、潜時帯からP600だと考えられる。

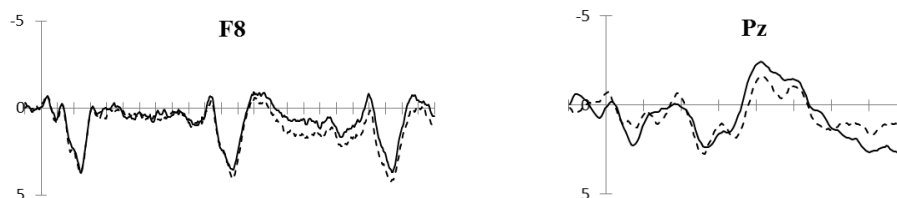


図2 左：第1文節呈示後100~2400ミリ秒間における「たとえ」条件と「たぶん」条件の総加算平均波形。実線が「たとえ」条件、破線が「たぶん」条件を表す。右：第4文節呈示後100~800ミリ秒間における「たとえ-たら」条件と「たぶん-たら」条件の総加算平均波形。実線が「たとえ-たら」条件、破線が「たぶん-たら」条件を表す。いずれも横軸は時間（1目盛り100ミリ秒）を、縦軸は電位量（1目盛り5 μ v）を示す。陰性方向が上向き。

5. 考察

本実験により次のような結果が得られた。

- (i) 「たぶん」が入力された場合と比較して、「たとえ」が入力されると、可能な限り最も早い述語形態が出現し得る位置までの間で持続的陰性波が惹起される。
- (ii) 「たとえ」の入力後、可能な限り最も早い述語形態が出現し得る位置において「-たら」が出現すると、P600が惹起される。

(i)により、「たとえ-ても」文の理解過程において、前出要素 X から後出要素 Y までの間での持続的陰性波という、他の依存関係の構築時に観察されてきたものと同様の ERP が惹起されることが明らかとなった。従って、「たとえ」と「-ても」は wh 要素と疑問小辞などと同様に依存関係を形成すると言える。また、(ii)に示したように、前出要素 X が要求する後出要素 Y が可能な限り最も早い位置で入力されなかった場合、P600 が観察された。P600 は統語的な逸脱の処理操作によって生じると考えられており (Hagiwara et al., 2001)、(4)のような文の理解過程について検討した Nakagome et al. (2001) でも、日本語の wh 要素の入力後、最初の可能な位置で疑問小辞が入力されなかった場合に P600 が惹起されることが確かめられている。

- (4) a. 動物園で 何を 見たか
 b. *動物園で 何を 見たよ

Nakagome et al. (2001) や本研究で観察された P600 は、後出要素 Y の入力に関する統語的な予測が満たされなかったことによって生じた統語的な処理負荷を反映したものであると考えられる。すなわち、「たとえ-ても」文の理解時においても、前出要素 X の入力後、可能な限り最も早い位置で後出要素 Y が入力されるという（統語的な）予測処理が行われていると考えられる。

一方、このような予測が満たされなかった場合に P600 とは異なる ERP 成分が観察されたことを報告する研究もある。Ueno and Kluender (2009) が行った ERP 実験では、日本語の wh 要素の入力後、最初の可能な位置で疑問小辞が入力されなかった場合の反応として右前頭部陰性波 (RAN) が観察されている。このように、可能な限り最も早い位置で後出要素 Y が入力されるという予測が満たされなかった場合の反応については結果が一様でなく、構文によって異なる処理が行われている可能性も否定できない。この処理に何らかの下位分類があるのか、また、どのような下位分類があるのかということについては、より詳しい検討が必要だが、今後の課題とする。

依存関係の種類	前出要素 X-後出要素 Y 間で観察された ERP 成分	後出要素 Y の入力に関する予測が満たされなかった場合の反応
「たとえ」と「-ても」 (本研究)	持続的陰性波	P600
wh 要素と疑問小辞 (Ueno and Kluender, 2009)	(主に右前頭部における) 持続的陰性波	RAN
wh 要素と疑問小辞 (Nakagome et al., 2001)	-	P600

本研究において、「たとえ-ても」文の理解時に「たとえ」-「-ても」間での持続的陰性波や、「-ても」が入力され得る最初の位置で「-たら」が入力された場合の P600 が観察された。これらのことから、「たとえ」と「-ても」の間には wh 要素と疑問小辞と同様の依存関係があり、その構築時には可能な限り早い位置で「-ても」が入力されることを予測する処理が行われていることが示された。

参考文献

- Hagiwara, H., Nakazima, H., Nakagome, K., Takazawa, S., Kanno, O., Itoh, K. and Koshida, I. (2001) Brain potentials reflect internally represented hierarchical structures of language. In: Inoue, K. and Hasegawa, N. (eds.), *Linguistics and interdisciplinary research: Proceedings of the COE international symposium*, 295-318. Chiba: Kanda University of International Studies.
- Hagiwara, H., Soshi, T., Ishihara, M. and 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: 175-93.
- Miyamoto, E. T. and Takahashi, S. (2002) The processing of wh-phrases and interrogative complementizers in Japanese. In: Akatsuka, N., Strauss, S. (eds.), *Japanese/Korean Linguistics*, 10 (10): 62-75.
- Nakagome, K., Takazawa, S., Kanno O., Hagiwara, H., Nakajima, H., Itoh, K. and Koshida, I. (2001) A topographical study of ERP correlates of semantic and syntactic violations in the Japanese language using the multichannel EEG system. *Psychophysiology*, 38: 304-15.
- Phillips, C., Kazanina, N. and Abada, S. H. (2005) ERP effects of the processing of syntactic long-distance dependencies. *Cognitive Brain Research*, 22: 407-428.
- Stowe, L. A. (1986) Parsing wh-constructions: Evidence for on-line gap location. *Language and Cognitive Processes*, 1: 227-245.
- Ueno, M. and Kluender, R. (2009) On the processing of Japanese wh-questions: An ERP study. *Brain Research*, 1290: 63-90.
- Ueno, M. and Kluender, R. (2003) Event-related brain indices of Japanese scrambling. *Brain and Language* 86: 243-271.
- 安永大地 (2010) 『日本語における要素間の関連付け処理過程』。九州大学大学院人文科学府博士論文。

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。

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

日本学術振興会科学研究費基盤研究 (S)22222001 (研究代表者：小泉政利)