

事象関連電位による検討

野田晏伎¹、深江由衣¹、山田絵美²、太田真理²¹九州大学 文学部²九州大学 大学院人文科学研究院

要旨：本研究の目的は、構造的曖昧性を持つ関係節文と持たない関係節文の間で N400 と P600 を比較することで、構造的曖昧性を解消して文に適切な解釈を与える際に、統語的再解析と意味処理がどのように影響するのか解明することである。本研究では、①関係節が直後の名詞に係る非曖昧低位解釈条件、②関係節が離れた名詞に係る非曖昧高位解釈条件、③関係節の修飾先が曖昧な曖昧条件を用いた。なお、③は参加者の回答に基づいて③-1 曖昧低位解釈条件と③-2 曖昧高位解釈条件に分割した。関係節直後の名詞に対する N400 を検討した結果、曖昧性や解釈の違いによらず、前頭部で陰性電位が観察された。さらに、P600 を検討した結果、低位解釈条件では高位解釈条件よりも有意に大きな P600 が観察された。この結果は、低位解釈条件では関係節直後の名詞で filler-gap 関係を解釈するために統語的再解析が行われることを示唆していた。

キーワード：日本語、実験言語学、心理言語学、構造的曖昧性、事象関連電位 (ERP), N400, P600

背景

日本語関係節文では被修飾名詞が関係節の後方に位置するため、節の最後まで関係節の修飾先が決定できず、構造的曖昧性が生じる場合がある。日本語関係節文における構造的曖昧性を脳波で検討した先行研究では、「関係節+名詞1の+名詞2は」という文において、「名詞2」に対する事象関連電位 (ERP) として、語彙検索や意味統合を反映する N400 や構文再解析を反映する P600 が観察されることが報告されている (白ほか, 2014)。しかし P600 は、文中の移動した要素 (filler) と移動した要素が元にあった位置 (gap) との依存関係 (filler-gap 関係) を処理する際の負荷を反映する陰性波 LAN (King and Kutas, 1995) の代替効果として、gap の位置で観察されたという報告もある (Kaan et al., 2000)。また、白ほか (2014) では、構造的曖昧性を含む文に解釈 (低位解釈と高位解釈のどちらを取るか判断) の効果を検討していなかった。そのため、N400 や P600 といった事象関連電位が構造的曖昧性を持つ文の解釈にどのような役割を果たしているかをはじめ、どのような統語処理・意味処理が脳内で起きているのか明らかでなかった。

本研究は、先行研究が持つ問題を解決するため、曖昧性を持つ文を実験参加者の回答に基づいて分割し、構造的曖昧性を持つ関係節文と持たない関係節文の間で N400 と P600 を比較することで、構造的曖昧性を解消して文に適切な解釈を与える際に、統語的再解析と意味処理がどのように影響するのか解明することを目的とする。

脳波実験

実験参加者

実験には 21 名の日本語母語話者（男性 11 名、 21.6 ± 1.1 歳[平均±標準偏差]）が参加した。実験参加者は、Edinburgh 利き手テスト（Oldfield1971）の結果、全員右利きであった。参加者の矯正視力を含む視力は正常であり、言語疾患及び精神疾患の既往歴もなかった。本実験は、九州大学大学院人文科学研究院の研究倫理審査委員会の承認を得て実施した。

予測

まず初めに、曖昧性に着目し予測を行う。曖昧条件において、名詞 1 の提示時点では、名詞 2 が提示されるまで、関係節をどちらの名詞にかければ良いかが決められない。一方、非曖昧条件において、関係節がどちらの名詞にかかるかは、低位解釈のときであれば名詞 1 が提示されればすぐに判断でき、高位解釈であれば、名詞 1 から次の名詞にかけようと予測をするなどして決められる。このように考えると、曖昧条件に対し、非曖昧条件では filler-gap 関係の処理に関する LAN ないし P600 が名詞 1 の領域で観察されることが予測される。

次に曖昧性の有無を無視して、低位解釈条件と高位解釈条件を比べる。低位解釈条件では、関係節がすぐ直後の名詞にかかることができる。つまり名詞 1 が提示されてすぐに併合を行い、名詞句を作ったうえで名詞 2 につながれば良く、名詞 2 の領域で意味的な逸脱を気にする必要ないし統語的な再解析を行う必要は一切ない。そのため名詞 1 で filler-gap 関係の処理に関する事象関連電位が観察されると予測される。一方、高位解釈条件では、直後の名詞ではなくその後の名詞にかける必要がある。それはすなわち名詞 2 の領域で統語的な再解析を行う必要があることを意味する。このように考えると、低位解釈条件に比べ高位解釈条件では、名詞 2 の領域で統語的な再解析を反映した P600 が観察されることが予測される。

最後に以上で述べた曖昧性と解釈の二つを踏まえて総合的な予測を行う。まず非曖昧低位解釈条件では、関係節にかかる名詞が名詞 1 の提示時に明らかであり、名詞 2 が提示されたときに意味的な逸脱はなく、また統語的な再解析を行う必要がないため、名詞 1 で filler-gap 関係の処理に関わる LAN ないし P600 が観察され、N400 は見られないと予測される。次に、非曖昧高位解釈条件では、名詞 1 の提示時に意味的な逸脱を検知し、関係節は次に来る名詞 2 にかかる必要があると予想する。この段階で併合を行わないことが可能であるため、名詞 2 が提示されたときに統語的な再解析を行う必要はない。よって、名詞 1 が提示されたときに N400 が観察されると予測する。曖昧低位解釈条件では、曖昧性のために名詞 1 で自信をもって低位解釈と判断することができないため、非曖昧低位解釈条件に比べて filler-gap 関係を反映する事象関連電位は小さな振幅を持つと予測されるが、高位解釈条件に比べれば大きな振幅を持つと予測する。最後に、曖昧高位解釈条件では非曖昧高位解釈条件とは異なり、名詞 1 の提示時に意味的な逸脱は存在しない。曖昧低位解釈条件と同じく、名詞 1 において filler-gap 関係を反映する事象関連電位は小さな振幅を持つと予測されるが、非曖昧高位解釈条件に比べれば大きな振幅を持つと予測する。そして名詞 2 が提示された際に、統語的な再解析を行う必要があるため、それを反映した P600 が確認されることが予測される。なお曖昧条件では意味的な逸脱がないため、N400 は観察されないことが予測される。以上の予測を表 1 にまとめる。

表 1 N400 と P600 が観察されると予測される条件

解釈	低位				高位			
	曖昧		非曖昧		曖昧		非曖昧	
名詞の位置	名詞 1	名詞 2						
N400	-	-	-	-	-	-	+	-
P600	+	-	+	-	+	+	-	-

実験刺激

刺激文は事前にアンケート調査を通して、曖昧さの有無を確認した、以下の 3 種類を各 40 文、合計 120 文を使用した。①関係節が直後の名詞 1 に係る非曖昧低位解釈条件（下線は修飾先の名詞）：「男子寮に住む彼氏のお姉さんはおしとやかだ」、②関係節が離れた名詞 2 に係る非曖昧高位解釈条件：「女子寮に住む彼氏のお姉さんはおしとやかだ」、③関係節の修飾先が曖昧な曖昧条件：「アパートに住む彼氏のお姉さんはおしとやかだ」。なお、③は参加者の回答に基づいて③-1 曖昧低位解釈条件と③-2 曖昧高位解釈条件に分けて分析した。

実験では、凝視点を 800ms 提示した後に各文節を 600ms 提示し、最後に質問文（例：男子寮に住むのは誰ですか？）と 4 つの選択肢（例：彼氏、お姉さん、彼女、お兄さん）を参加者が回答するまで提示した。文節間、質問の前にも凝視点を 800ms 提示した（図 1）。文節が提示される間は参加者に瞬きをしないよう教示した。12 文を 1 ブロックとし、計 10 ブロックの課題を行った。各ブロック間には休憩を設け、参加者を十分にリラックスさせた後に、参加者自身がボタンを押して課題を再開した。全ての刺激文は参加者ごとにランダムな順序で提示された。刺激提示には、心理実験用ソフトウェア Psychopy (ver.3.1.2; <http://www.psychopy.org/>) を利用した。

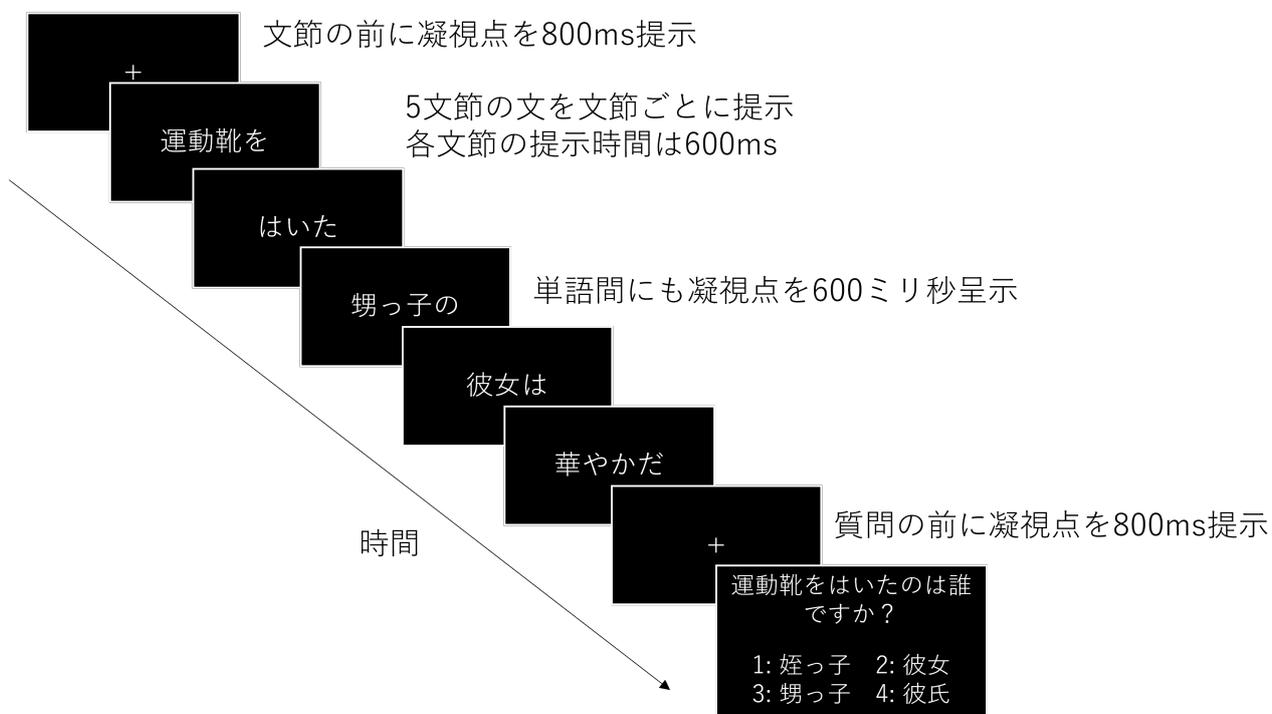


図 1 1 試行の刺激文提示の流れ

脳波の記録・処理

脳波の記録には、日本光電製のデジタル脳波計 EEG-1200 および BrainProducts 製アクティブ電極 (actiCAPsnap) を使用した。国際法 10-20 法に基づき、電極は頭皮上に 32 箇所 (Fp1, Fp2, F3, F7, FT9, FC5, FC1, C3, T7, TP9, CP5, CP1, O1, O2, P4, P8, TP10, CP6, CP2, C4, T8, FT10, FC6, FC2, F4, F8, Fz, Cz, Pz, Oz) に配置し、脳波を記録した。

FPz を設置電極とし、基準電極は両耳朶結合とした。また、ERP は眼球運動による影響を受けやすいため、眼球近くの眼窩上縁、左眼下および左眼左に眼電位 (Electrooculogram, EOG) を測るための電極を設置し、眼球運動を監視した。電極間抵抗はすべて $10\text{k}\Omega$ 以下に保った。ローカットフィルタは 0.079Hz 以下、ハイカットフィルタは 120Hz 以上とした。サンプリング周波数は、 1000Hz に設定した。データ分析には脳波解析ソフトウェア MNE-Python (Gramfort et al. 2013) を使用した。

正答率や曖昧条件の回答に偏りがある 2 名を除いた 19 人を解析対象とした。筋電や瞬きなどを独立成分分析で除外した上で、7 つの関心領域 (FC:

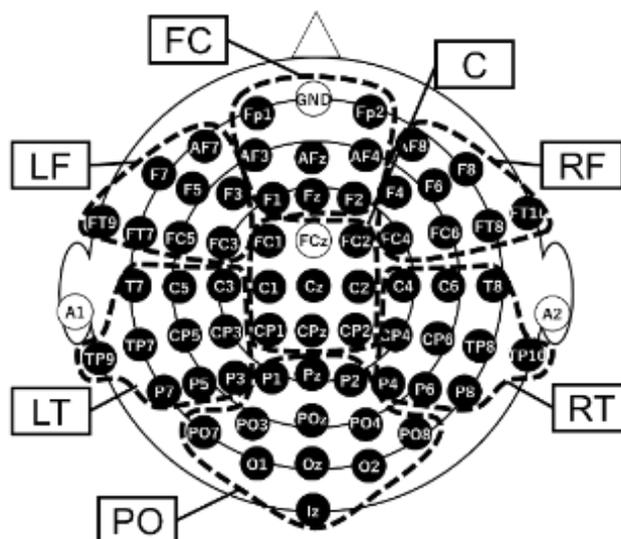


図 2 関心領域と電極

Fp1, Fp2, Fz; C: FC1, FC2, Cz, CP1, CP2; PO: Pz, O1, O2, Oz; LF: F7, FT9, FC5, F3; RF: F8, FT10, FC6, F4; LT: T7, C3, TP9, CP5, P3, P7; RT: T8, C4, TP10, CP6, P4, P8) を設定した (図 2)。R (version 4.1.1) と anovakun 関数 (version 4.8.9) を用い、これらの 7 領域で N400 (刺激提示後 300–500ms) と P600 (600–1000ms) を 2 要因 (解釈条件 x 関心領域) の反復測定分散分析で比較した。

結果と考察

名詞 1 に対する N400 時間帯の平均電位には、関心領域の有意な主効果が観察されたが ($F(2.19, 39.32) = 3.51, p = 0.036$)、他の条件の主効果 (解釈: $F(1, 18) = 2.64, p = 0.122$; 曖昧性: $F(1, 18) = 2.67, p = 0.120$) と交互作用 (補正済み $p \geq 0.300$) は見られなかった (表 2)。下位検定の結果、RF と LF の平均電位は RT と LT に比べ、有意に小さかった。また C の平均電位も RT より小さかった (図 4)。有意差が見られた RF と LF、C について、解釈 (低位か高位か) と曖昧性 (曖昧か非曖昧か) と関心領域の 3 要因で反復測定分散分析をしたが、主効果、交互作用ともに有意差は見られなかった (補正済み $p \geq 0.181$)。N400 は中心から頭頂部にかけて、やや右よりで見られる事象関連電位である。N400 と同じ時間帯で前頭部に見られる陰性電位は、Anterior negativity (AN) と呼ばれる。今回の結果は、全条件で一貫して前頭部で陰性電位が観察されたため、解釈や曖昧性にかかわらず、AN が生じたと考えられる。

一方で、P600 では解釈の主効果が有意であったが ($F(1, 18) = 5.77, p = 0.027$)、他の主効果 (曖昧性: $F(1, 18) = 0.19, p = 0.665$; 関心領域: 補正済み $F(2.83, 50.90) = 0.527, p = 0.655$) と交互作用 (補正済み $p \geq 0.127$) は有意でなかった (表 3)。また、低位解釈は高位解釈に比べ、この時間帯の平均電位が大きかった (図 5)。波形を見ても、低位解釈条件が高位解釈条件に比べ、大きな値をとっていることが分かる (図 3 赤枠)。この結果は、低位解釈条件で filler-gap 関係の処理に関する P600 が現れるという予

測に合致する。

表 2 名詞 1 の N400 時間帯における ANOVA テーブル

	平方和	df	平均平方	F	p	η^2
解釈	0.721	1	0.721	2.637	0.122	5.878×10^{-4}
曖昧性	0.908	1	0.908	2.669	0.120	7.404×10^{-4}
関心領域	137.825	2.185	63.091	3.507	0.036	0.112
解釈 * 曖昧性	1.206	1	1.206	1.644	0.216	9.830×10^{-4}
解釈 * 関心領域	7.439	2.222	3.348	1.251	0.300	0.006
曖昧性 * 関心領域	5.360	2.204	2.432	1.244	0.301	0.004
解釈 * 曖昧性 * 関心領域	7.995	2.224	3.595	0.965	0.398	0.007

表 3 名詞 1 の P600 時間帯における ANOVA テーブル

	平方和	df	平均平方	F	p	η^2
解釈	0.680	1.000	0.680	5.768	0.027	0.002
Residuals	2.123	18.000	0.118			
曖昧性	0.013	1.000	0.013	0.193	0.665	2.962×10^{-5}
Residuals	1.211	18.000	0.067			
関心領域	7.622	2.828	2.695	0.527	0.655	0.017
解釈 * 曖昧性	0.067	1.000	0.067	0.997	0.331	1.518×10^{-4}
解釈 * 関心領域	3.993	3.385	1.179	1.190	0.323	0.009
曖昧性 * 関心領域	0.728	3.810	0.191	0.306	0.865	0.002
解釈 * 曖昧性 * 関心領域	5.631	3.331	1.691	1.940	0.127	0.013

名詞 2 に対する N400 時間帯の平均電位と P600 時間帯の平均電位については、先行研究の結果とは異なり、主効果（N400 時間帯: $p \geq 0.07$; P600 時間帯: $p \geq 0.55$ ）、交互作用（N400 時間帯: $p \geq 0.63$; P600 時間帯: $p \geq 0.52$ ）ともに有意差は見られなかった。これは、曖昧高位解釈条件で P600 が観察されるという予測に、反した結果である。

以上の結果から、構造的曖昧性の処理に関して誘発された事象関連電位 P600 は、filler-gap 関係の処理に関して惹起したことが明らかになった。この結果は、先行研究において明らかにされていなかった一つ目の名詞の処理に関する P600 の役割を明らかにした。

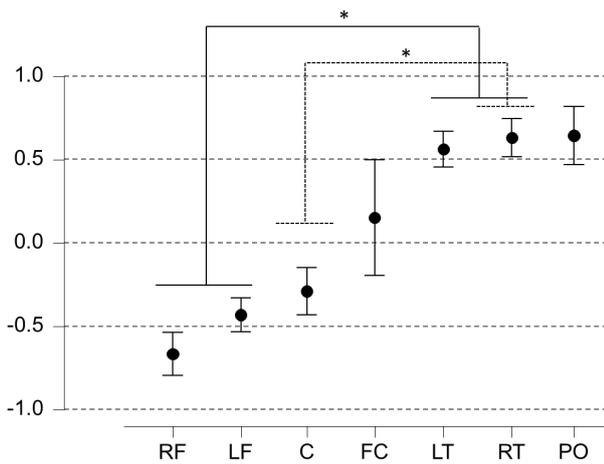


図 4 名詞 1 (300-500ms) の関心領域ごとの平均電位
*が付いているところで有意差が見られた

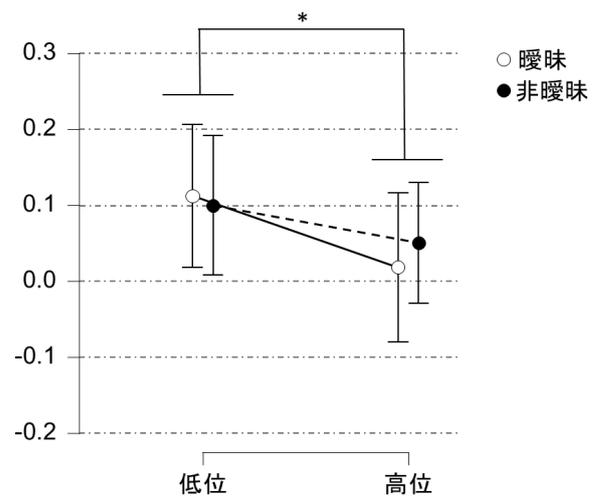


図 5 名詞 1 (500-1000ms) の平均電位
*が付いているところで有意差が見られた

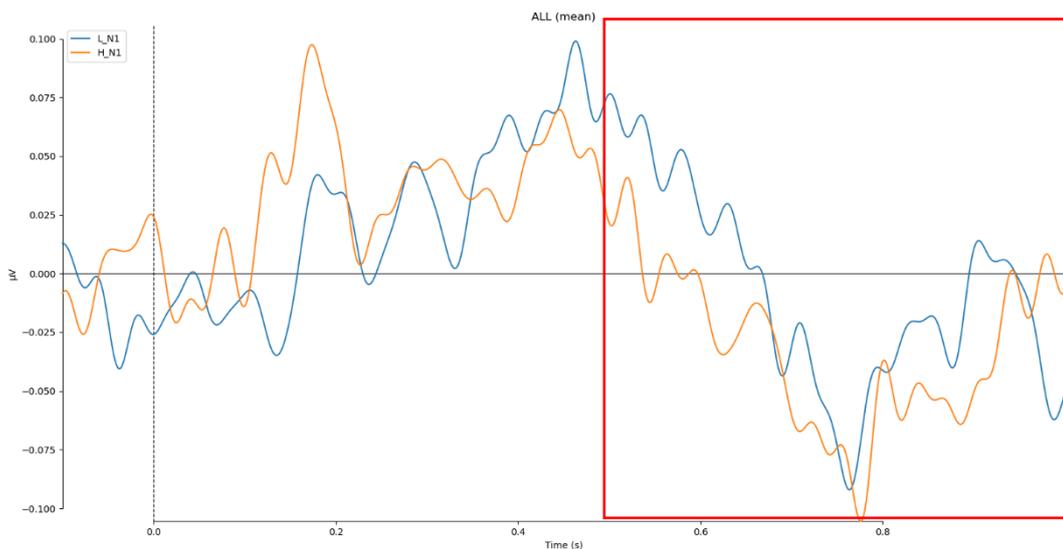


図 3 解釈条件の ERP (低位：青、高位：オレンジ)

参考文献

Gramfort, A., Luessi, M., Larson, E., Engemann, D. A., Strohmeier, D., Brodbeck, C., Goj, R., Jas, M., Brooks, T., Parkkonen, L., and Hämäläinen, M. S. (2013). MEG and EEG data analysis with MNE-Python. *Frontiers in Neuroscience*, 7 (267) : 1–13.

白春花, 小林由紀, 広瀬友紀 (2014). 「日本語における関係節の構造的曖昧構文の処理について：事象関連電位を用いた検証」, 『電子情報通信学会技術研究報告』, 114: 1–6.