

言語要素間の関連付け処理を構成する下位処理について

—数量詞と名詞句との関連付けに着目した研究—

安永大地

(九州大学大学院人文科学府/日本学術振興会)

daichi@lit.kyushu-u.ac.jp

keyword: 統語解析 関連付け処理 事象関連電位 P600 anterior negativity

1.はじめに

人間は、時間軸に沿って入力される言語情報の連続を語・句・節といった単位（構成素）に分析し、構成素間の関係を決定することで、文という言語情報のまとまりがどのような意味を表しているのかを決定している。この一連の処理の中で、構成素間の構造的な関係を決定することを統語解析という。そして、統語解析を行う文処理装置がどのような関係を経て、構成素間の関係を決定しているのかについて、これまでに様々な研究が行われ、文を処理する際の人間の認知過程が追求されてきている（坂本, 1998; Nakayama, 1999）。

文全体の意味は、文に含まれる各要素の意味を組み合わせることによって成立する（Heim & Kratzer, 1998）。しかし、各要素をやみくもに組み合わせるだけでは文全体の意味は出来上がらない。文全体の意味を成立させるために必要となる関係があり、その関係が成立することによってのみ文全体の意味が出来上がると考える。この必要な関係というのが、文の主述関係と、要素と要素の修飾関係である。

まず、文の意味が成立するためには、文の述語とその項との関係（主述関係）が成立していなければならない。項と述語の関係が成立することにより、命題の基本構造が出来上がる。命題が出来上がることで、人間はその真偽を計算することができるようになる。したがって、主述関係は必ず成立していなければならない。次の(1)の例で言えば、述語「楽しんだ」と、「誰が」にあたる「太郎が」、「何を」にあたる「日光浴を」との間には主述関係が成立していなければならない。

(1) [[[白い砂浜]で][[青い空]の下] 太郎が日光浴を楽しんだ].

さらに、文全体の意味が成立するためには、主述関係以外にも成立していなければならない関係がある。それが、修飾要素と被修飾要素との関係（修飾関係）である。修飾関係は、主述関係とは独立である。しかし、主述関係と同様に修飾関係もまた関係が明示されていなければならない。なぜなら、文の主述関係だけでなく、その文に含まれる修飾関係も明らかにならないと、人間は文全体の命題の真偽計算ができないからである。前出の(1)でいえば、形容詞「白い」と名詞「砂浜」、あるいは形容詞「青い」と名詞「空」との間には修飾関係が成立していなければならない。

本論文では、文の意味を成立させるためには文に含まれる要素間の主述関係と修飾関係が成立している必要があると仮定する。そして、文処理装置は、入力される各要素がどの要素と主述関係あるいは修飾関係にあるかを標示する処理を行う装置であると考えられる。この処理のことを「関連付け処理」と呼ぶ。また、オンラインの文処理において、関連付け処理が駆動されるタイミングは以下のようになっていると仮定する。主述関係を構築する関連付け処理は文処理装置に要素が入力された時点で開始される。また、修飾関係を構築する関連付け処理は、文処理装置が入力された要素を「修飾要素である」と判断した時点で開始される。

主要部後置型言語である日本語であっても、要素間の関係を決定するのに十分な情報を持つ要素が入力されるより以前から、それまでに入力されている要素間の関係を決定する処理が即時的に行われていることが示されている (Kamide & Mitchell, 1999; 大石・坂本, 2004)。したがって、関連付け処理が必要であると判明した時点で即座に文処理装置は主述関係あるいは修飾関係の計算を開始すると仮定する。また、修飾関係の計算において、ある要素を修飾要素であるとする判断は、語の統語範疇、語が持つ形態的情報（活用など）や語と語の共起頻度 (Tamaoka & Tanaka, 2005) に関する知識に基づいて決定されると仮定する。

本稿では、即時処理の立場を受け入れた上で関連付け処理がどのような過程を経て決定されていくのかという問題について考察を行う。特に事象関連電位を用い、時間軸に沿ってどのように処理が展開されていくのかという点に注目した議論を行う。

2. 事象関連電位と文処理研究

人間の脳内では、細胞への陰イオンの流入と陽イオンの流出が絶えず起こっている。イオン交換が起こるとき、わずかに電圧の変化が生じる。この電圧の変化を頭皮上に貼り付けた電極から導出し、脳波計などで増幅し、視覚化したものを脳波という。脳波は個体が生きている限り絶え間なく自発的に生じる。このような自発脳波とは異なり、事象関連電位 (event-related potential; ERP) は光・音などの外的事象や刺激の意味に対する注意・判断などの内的事象に対応して生じる電気活動のことを指す (丹羽・鶴, 1998; 入戸野, 2005)。

人間が文を処理する際の過程を検証するために ERP 成分を指標とした研究を行うことには、以下に示す意義がある。まず一点目は、ERP は、特定の事象の生起時点 (例えば、ある単語が呈示された時点) からの脳の電気活動を、高い時間的解像度で継時的に記録できるという特徴がある。そのため複数の実験条件を比較したときに、「いつ」脳活動に違いが生じたのか、すなわち条件間で「いつ」異なる処理を脳が行ったのかを知ることができる。人間の文処理は通常、驚異的な速さで展開される。このような特質をもつ認知過程を検討するにはミリ秒単位での観察が可能な ERP は大変有用なツールであるといえる。

さらに二点目に、文処理中に行われる数々の操作に対して、それぞれの操作を反映する ERP 成分があるという点が文処理研究にとって非常に大きな意味を持っている。従来の心理言語学実験で行われてきたような、被験者が文を読む際の読み時間や課題に対する反応時間を測定する行動実験では、反応に要する時間という結果しか得られない。この反応時間には、情報を知覚してから、何らかの処理や判断を行い、出力を生み出すまでのすべての過程が含まれている。つまり、単一指標しか含まない反応時間は、文処理にかかる負荷の総和しか得られないのである。このため、条件間で反応時間に差があった場合でも、それがどのような認知プロセスによって生み出された差なのかが判然としない (Kuperberg *et al.*, 2006)。

一方、ERP データには、極性・頭皮上分布・ピーク潜時といった複数の指標が含まれており、条件間で ERP 成分の違いを生み出した質的な原因を知ることができる。例えば、Kutas & Hillyard (1980) は、N400 成分は、それまでに入力されている文脈と適合しない語が入力された際に振幅が増大する成分であり、文処理中の意味的な制約に関わる逸脱に対して観

察される成分であると主張している。また, Osterhout & Holcomb (1992), Hagoort *et al.* (1999)や Kaan *et al.* (2000)の実験結果から, P600 成分は, 文処理中の統語的な制約に関わる逸脱, あるいは要素同士を統合する際の負荷を反映して惹起される成分であることが示されている。

さらに, 極性やピーク潜時だけでなく, 頭皮上分布の違いも認知プロセスの違いを反映することが示されている。潜時 400 ミリ秒周辺でピークを迎える陰性成分には二種類あり, 一つが前出の N400 で, もう一つが left anterior negativity (LAN)と呼ばれる成分である。N400 は頭頂部から後頭部にかけて最も振幅が大きくなる成分である。それに対し, LAN は左前頭部を中心に振幅が大きくなる。N400 が意味的な処理負荷を反映しているのに対し, LAN は形態統語的な逸脱の検知を反映しているとされる (Friederici, 2002)。P600 についても, 文処理中に起こる処理のやり直し (再分析) を反映した成分は前頭部付近で振幅が大きくなり, 要素同士を統合する際の負荷を反映した成分は頭頂部付近での振幅が大きくなるとされている (Kaan & Swaab, 2002)。

文処理装置に言語要素が入力されたとき, そこから様々な過程を経て要素間の関係が出力される。そして, その出力が利用されることによって文の意味が出来上がる。この一連の過程の中で, どの処理時点において, どのような負荷が増大したのかを知ることができれば, より詳細な言語処理過程を解明することができると考えられる。

3.取り扱う現象

文処理装置に入力される要素は, 関連付けが行われる順序で入力されるわけではない。

- (2) a. 太郎が白い砂浜で日光浴を青い空の下楽しんだ。 (cf.(1))
- b. {赤い/ 赤く}かわいらしい自動車
- c. 3冊の太郎が近くのコンビニで何となく見えて買った本

たとえば, (2a)のような語順でも日本語として容認可能であるし, (2b)のように「自動車」を修飾する要素(「赤い」, 「かわいらしい」)が複数個並列的に並んでいる場合がある。さらに, (2c)のように修飾する語(「3冊の」)と修飾される語(「本」)の間に存在できる要素の数が多くなっても問題ない。このことから, 関連付けを行うべき関係かどうかというこ

とと要素の隣接性、近接性は独立している。(2)の場合であっても、主述関係および修飾関係が成り立つことから、文処理装置は、隣接していない要素同士でも関連付けを行うように働くことができると考えられる。

隣接していない要素同士の関連付け処理がどのように行われているかを対象とした代表的な研究例として、英語やドイツ語における wh 要素があげられる。英語やドイツ語の wh 要素は、その元の位置を占めるとされる要素と関係が結ばれていなければならない。たとえば、英語の wh 疑問文(3)では、(4)のように他動詞 *buy* の目的語の位置に音形を持たない要素（空範疇; gap）を仮定し、wh 要素との関係が結ばれることで、*buy* の厳密下位範疇化特性および、 θ 格子が満たされると考えられる。また、gap と wh 要素との関係が結ばれることで、この文の述語 *buy* とその項 *what* の間の主述関係が決まる。さらに、wh 要素と gap とが関連付けられることによって、演算子と変項の関係が成立し、(5)の意味を持つ疑問文として解釈されるようになるのである（Chomsky, 1977）。

- (3) What did John buy?
- (4) [CP What_i did [IP John [VP buy gap_i]]]?
- (5) for which x , x a object, John buy x

音形を持たない要素（gap）に対し、*what* のように gap と関連付けられるべき要素のことを filler と呼ぶ。(6)は filler と gap の関係を図式化したものである。

- (6) filler と gap の関連付け



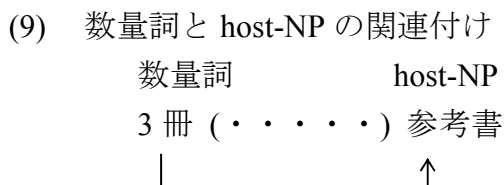
filler と gap の関連付けは、統語理論上の仮説というだけではない。文処理研究においても、文処理装置が gap を仮定し、filler との関連付ける処理を行っていることが示されている（Bever & McErlee, 1988; Miyamoto & Takahashi, 2002）。しかも、このような関連付けはオンラインの文処理中に漸進的に行われているということが明らかになっている（Just & Carpenter, 1992）。つまり、wh 要素を含む文を処理する際、文処理装置は wh 要素が入力された時点で、それが filler であり、gap との関連付けが

必要であると判断を下す。そして、filler が gap との関連付けを要求するという情報を利用して、gap が占めると想定される位置で関連付けを行っているのである。

これまでの研究では、filler と gap の関連付けに焦点が当てられることが多かった。しかし、filler と gap の関連付け以外にも、文に含まれる構成素間の関係を正しく決定するために文中の隣接していない要素同士の関連付けを行う必要がある場合がある。その例として日本語の数量詞を含む文が挙げられる。日本語では、数量詞はそれが修飾する名詞句 (host-NP) の位置とは独立に、比較的自由的な位置に現れることができる。この現象を数量詞遊離と呼ぶ (奥津, 1969; 黒田, 1980; Ishii, 1998 等)。

- (7) 学生が図書館で 3冊の参考書 を借りた。
- (8) a. 学生が 3冊 図書館で 参考書 を借りた。
b. 学生が 3冊 一週間前に近くの図書館で受験のために 参考書 を借りた。

(7)では、数量詞と host-NP が一つの名詞句を構成し、数量詞「3冊」と host-NP「参考書」が修飾関係にあることが明示的である。一方、(8a, b)では、数量詞と host-NP が一つの構成素を成していないように見える。しかし、この場合であっても、(8a, b)で「学生が借りた本の数量は3冊である」ということを日本語話者は理解できる。このことは、文処理装置が何らかの方法で、(9)に示すようにこれら二つの要素の関連付けを行い、関係を標示する操作を行っていることを示している。人間は文処理装置が標示した関係に基づいて解釈を行っている。もし、関連付けを行っていないのであれば、本の数量が3冊であることを計算できず、本の数量に関する意味が得られない。



また、(8b)で示すように数量詞と host-NP との間には任意の個数の要素が介在することが可能であり、介在要素の個数が変化することによって、関連付ける要素間の距離が変化することがある。

- (8) b. 学生が 3冊一週間前に近くの図書館で受験のために参考書を借りた。

これまで、数量詞遊離に関する統語的・意味的制約に関する研究は数多く行われてきた（奥津, 1969; 神尾, 1978; 黒田, 1980; Ishii, 1998; 江口, 2002 など）。しかし、オンラインで文を処理する際に、文処理装置が、遊離数量詞と host-NP を関連付ける処理を行っているのか、また、行っているならばどのように行っているのかについては研究されてこなかった。そこで、本研究では、遊離数量詞を含む文を被験者に呈示し、それを処理する際の ERP を記録することによって、関連付け処理がどのような過程を経て行われているのかについて詳細な検討を行う。

4. 先行研究

4.1. 先行研究のまとめ

Fiebach *et al.* (2001)は、ドイツ語の wh 移動を含む文を処理する際にどのような ERP 成分が惹起されるのかを観察した。被験者には、(10)に示すような、埋め込み節の主語の位置からの wh 移動を含む間接疑問文と、(11)に示すような埋め込み節の目的語の位置からの wh 移動を含む間接疑問文の二種類の文が呈示された。

(10) 主語 wh 疑問文

....., **wer**_i [**gap**_i] den Doktor verständigt hat].
 , who(NOM) the(ACC) doctor called has

(11) 目的語 wh 疑問文

....., **wen**_i [..... der Doktor **gap**_i] verständigt hat].
 , who(ACC) the(NOM) doctor called has

分析の結果、二種類の特徴的な ERP 成分が観察された。まず、一つ目の ERP 成分は、主語 wh 疑問文と比較して、目的語 wh 疑問文で観察された持続する陰性成分である。具体的には、(11)において *wen* が呈示された後、*der Doktor* の呈示までの間、左前頭部で持続する陰性成分

(sustained-left anterior negativity: sustained-LAN) が惹起された。二つ目の ERP 成分は、(10)と比較して、(11)において、*der Doktor* が呈示された後に惹起された、P600 である。

Fiebach *et al.* (2001)はこれらの結果を次のように主張している。まず、sustained-LAN は、文処理装置が filler となる wh 要素を、gap が占めていると想定しうる位置が判明するまでの間、作動記憶内で活性化させた状態で保持しておく際に増大した負荷を反映した成分である。また、P600 は gap が見つかった時点で、それまでに保持しておいた filler との統合を行う際に増大した負荷を反映した成分である (cf. Kaan *et al.*, 2000)。

filler と gap の関連付け処理に関する研究は、英語やドイツ語といった印欧語（特にゲルマン系）だけではなく、言語類型論的に大きく異なる日本語を対象としても行われ、いくつかの知見を提供している。Ueno & Kluender (2003)は、日本語のヲ格名詞句が文頭に移動した文を被験者に呈示し、それを処理する際の ERP を記録した。

(12) a. 基本語順文

その 命知らずの 冒険家が とうとう それを 見つけたんですか。

b. かき混ぜ文

それ_iを その 命知らずの 冒険家が とうとう ____i 見つけたんですか。

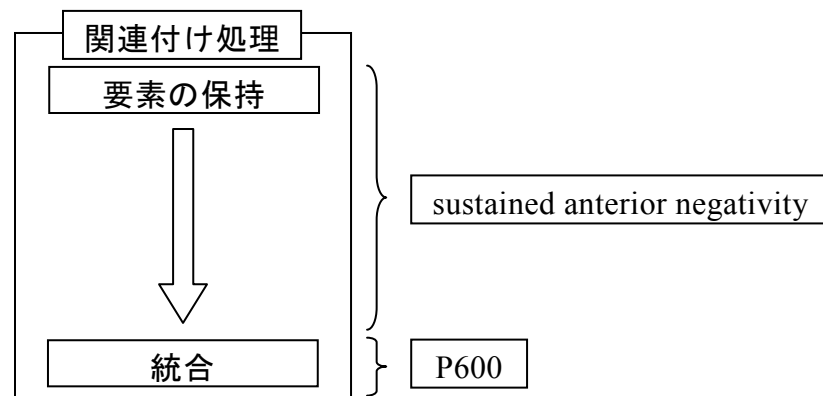
(Ueno & Kluender, 2003, p.247)

実験の結果、以下の二点が明らかになった。(12a)と比較して(12b)において、(i)「それを」の呈示から「とうとう」の呈示までの間、前頭両側部での持続した陰性成分 (bilateral sustained anterior negativity) が惹起される、(ii)「冒険家が」と「とうとう」がそれぞれ呈示された時点で P600 が惹起される。これらの結果から、Ueno & Kluender (2003)は、bilateral sustained negativity は filler を保持する処理負荷を反映し、P600 は gap を filler で埋める際の処理負荷を反映していると主張した。

これまでの研究成果をまとめると、ドイツ語や日本語で filler と gap の関連付け処理を行う際には二種類の処理に負荷がかかり、それぞれの負荷に対応した ERP 成分が観察されることが明らかとなっている。一つ目が、filler などの関連付けを要求する要素を、gap などの適切な関連付けの相手が判明するまでは作動記憶内で活性化させたまま保持しておく

際にかかる負荷である。その負荷は緩やかに持続する前頭部陰性成分に反映される (sustained-anterior negativity)¹。そして二つ目が二つの要素を統合する際にかかる処理負荷であり、P600 がその指標となる (Colin *et al.*, 2005; Fiebach *et al.*, 2001, 2002; Kaan *et al.*, 2000; King & Kutas, 1995; Ueno & Kluender, 2003)。 (13)に filler と gap の関連付け処理がどのように展開され、それぞれの処理がどのような ERP 成分に反映されるのかについての図を示す。

(13) 先行研究で示された関連付け過程とその過程を反映した ERP 成分



4.2.問題点

前節で紹介した先行研究は、filler と gap の関連付け処理がどのように遂行されるのかについての詳細なプロセスを検討した有意義な研究である。しかし、関連付け処理が「いつ」「どのように」行われるのかをより詳細にかつ包括的に検証するには以下のような問題点がある。

Fiebach *et al.* (2001)は、関連付ける要素間の距離に着目し、filler と gap の距離の違いに応じて、「要素の保持」に基づいて異なる ERP 波形が惹起されるということを示したという点では注目すべき研究である。しかし、彼らの実験では、関連付けを引き起こす要素が含まれた条件間での比較（主語 wh 疑問文 - 目的語 wh 疑問文）を行っているために、関連付け処理が必要な場合とそうでない場合の処理の違いを観察することが

¹ 要素を作動記憶に保持する際の負荷を反映しているとされるこの陰性成分は、種々の研究において頭皮上分布がやや異なっているが、どの研究においても前頭部での振幅が大きくなるという共通点がある (Fiebach *et al.*, 2001, 2002; King & Kutas, 1995; Rösler *et al.*, 1998)。なぜ先行研究ごとに頭皮上分布が異なるのかについてはまだ議論の余地があるが、本研究では、Ueno & Kluender (2003)に倣い、後頭部、中心部ではなく前頭部の振幅が大きくなるという共通点を重視する。

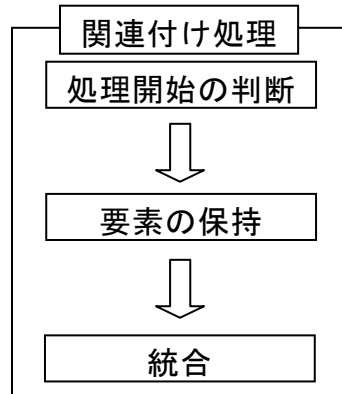
できない。関連付けが必要な条件と必要でない条件を比較しない限りは、関連付けを引き起こす要素が入力された際に行われる処理を観察することはできない。

また、Ueno & Kluender (2003)では、filler と gap の関連付けが必要な場合とそうでない場合の処理の違いを比較し、関連付けを要求する要素が入力された時点でどのような処理が行われているのかを説明している。しかし、彼女らの実験では関連付けを行う要素同士の距離の影響について検証できない実験デザインになっている。そのために filler と gap の距離が処理に及ぼす影響を観察することができていない。関連付け処理は「要素の統合」という下位処理が行われることによって完了する。そして、統合処理が行われるまでは、未統合の要素を「保持」する処理が行われる。Fiebach *et al.*, (2001)により、未統合の要素を「保持」する距離に応じて異なる処理が行われるということが示されているので、「要素の保持」という下位処理を観察するためには要素間の距離という要因を考慮する必要がある。

以上の点から、これまでに行われてきた研究だけでは、文処理において、関連付け処理が、いつ開始されて、開始から完了までの間にどのような操作が行われ、完了の時点ではどのような操作が行われているのかという問題について十分な検証が行われてきたとは言いがたい。

先行研究では、関連付け処理は(13)のように「要素の保持」と「要素の統合」という二つの下位処理から構成されると考えられていた。しかし、入力された要素が関連付けを要求するかどうかを判断し、その要素を保持するかどうかの判断を下さない限りは、どの要素を保持し、どの要素を保持しないという処理を決定することができない。そこで、本研究では、文処理装置が関連付け処理が必要であると判断した際に一連の関連付け処理が開始されると考える。そして、関連付け処理全体は(14)のように三つの下位処理によって構成されると提案する。

(14) 本研究が提案する「関連付け処理」



関連付け処理という一連の過程がどのような下位処理から構成されているのかを検証するために、本研究では filler と gap の関連付け過程ではなく、日本語の数量詞とそれに修飾される名詞句との関連付け過程に着目する。日本語の数量詞には数量詞遊離という現象があり、この現象を含む文の処理過程を観察することにより、関連付け処理が(14)のように展開されているということを示すことが可能になると考える。

5.実験 1

5.1.目的と予測

4.2 節で指摘した問題点を解決し、関連付け処理が(14)のように展開されているということを示すため、二つの要素間での関連付け処理が必要かそうでないか (Association/ Non-Association) という要因と、要素間の距離が近いか遠いか (Short/ Long) という要因の 2 要因計画を立てる。その 2 要因を含む実験文の例を表 1 に示す。

表 1. 実験 1 で用いた実験文

		文節							
		1	2	3	4	5	6	7	8
条件	A/S	学生が	近所の	新しい	コンビニで	3冊	雑誌を	買った	。
	NA/S	学生が	近所の	新しい	コンビニで	昨日	雑誌を	買った	。
	A/L	学生が	3冊	近所の	新しい	コンビニで	雑誌を	買った	。
	NA/L	学生が	昨日	近所の	新しい	コンビニで	雑誌を	買った	。

もし、数量詞が入力された時点で、文処理装置が関連付け処理を開始するならば、関連付けの相手となる要素 (host-NP) が判明するまでは統

合が行えないので、数量詞を何か他の要素と統合しないまま保持しておく必要がある。そして、host-NP となりうる要素が発見された時点で、統合を行う。以下に遊離数量詞を含む文を処理するそれぞれの時点でどのような実験結果が得られることを予測するのかを述べる。

数量詞が入力された時点で、wh 要素や scrambled element の場合と同様に、関連付け処理を開始し、数量詞を作動記憶内に保持する操作をするならば、A/S 条件と NA/S の条件とを比較すると、第 5 文節呈示時から、A/S において、anterior negativity が惹起されると予測される。また、A/L 条件と NA/L 条件とを比較すると、第 2 文節呈示時から、A/L において、anterior negativity が惹起されると予測される。

さらに、数量詞が入力されて host-NP が入力されるまでの間、文処理装置が数量詞を保持し続けるという処理をするならば、A/S 条件と NA/S 条件の比較において、第 5 文節呈示後から第 6 文節の呈示まで、A/S で惹起された anterior negativity が持続すると予測される。また、A/L 条件と NA/L 条件の比較においては、第 2 文節の呈示後から第 6 文節の呈示まで、A/L で惹起された anterior negativity が持続すると予測される。

そして、host-NP が入力された時点で、文処理装置が数量詞と host-NP の統合を行うならば、A/S 条件と NA/S 条件の比較において、第 6 文節呈示時に、A/S で P600 が惹起されると予測される。また、A/L 条件と NA/L 条件の比較においては、第 6 文節呈示時に、A/L で P600 が惹起されると予測される。

5.2. 実験の概要

5.2.1. 刺激

被験者には、表 1 に示した四種類の実験文を呈示した。刺激は各条件 120 文、合計 480 文が作成された。ラテン方格法に基づき、一人の被験者に各条件の実験文が 30 文ずつ呈示された。実験では、実験文 120 文にディストラクタ文 120 文を加えた 240 文が擬似ランダムマイズして呈示された。

5.2.2. 被験者

実験には、九州大学の学部生・大学院生 16 名（男性 6 名、女性 10 名、平均年齢 21.6 歳）が参加した。被験者は全員右利きで、正常な視力（矯正を含む）を有していた。

5.2.3.手続き

刺激呈示の統制には玄海堂 (<http://www.genkaido.jp/>) 製心理言語学実験ソフト *Lingua Lab.* を用いた。刺激は、被験者の約 1m 前に置かれた TFT 画面上に文節ごとに実験者ペースで呈示した。まず、画面の中央に 3000ms 間凝視点 (★) を呈示し、その後、刺激文を呈示した。SOA は 700ms, ISI は 100ms であった。課題には、探査語再認課題を用い、各実験文の最終文節を呈示した後に探査語を呈示した。被験者は、探査語が実験文に含まれていたかどうかを判断し、マウスで回答した。被験者の集中力を持続させるために、脳波をおよそ 5 分記録するごとに、3~5 分間の休憩を取った。実験時間は、電極の装着、教示、脳波の記録、休憩、電極の取り外しを含めておよそ 100 分であった。

5.2.4.ERP の記録方法

脳波の記録には日本光電製誘発電位検査装置 MEB-5504 を用いた。電極は銀-塩化銀電極を用いた。電極の配置は国際 10-20 法に基づき, Fz, Cz, Pz, F3, F4, P3, P4 に配した。基準電極は両耳朶結合とし、接地電極は Fpz とした。瞬目によるアーチファクトの混入を監視するために左眼窩下に電極を配した。電極間抵抗値はすべての電極で 5k Ω 以下となるようにした。低域、高域遮断フィルターはそれぞれ 0.01Hz 以下, 50Hz 以上とし、サンプリング周波数は 200Hz に設定した。

5.3.結果

5.3.1.数量詞入力時点

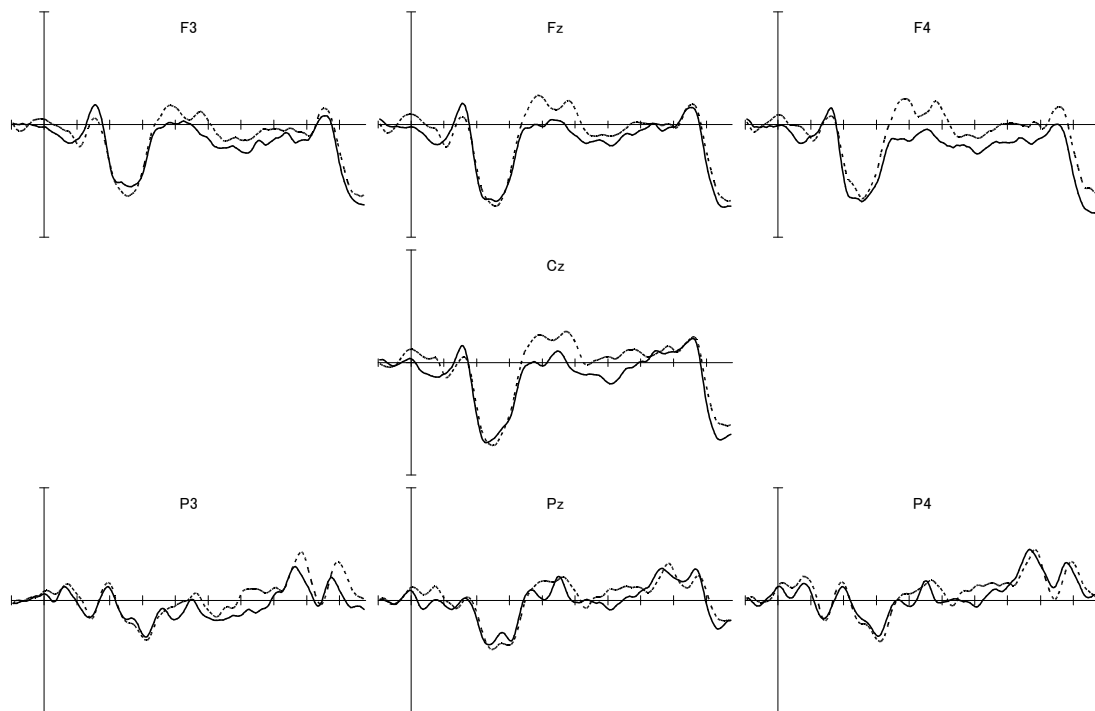


図1. A/S条件「3冊」(破線), NA/S条件「昨日」(実線)入力-100~1000ミリ秒間の総加算ERP波形. X軸は潜時帯を示し(一目盛り100ミリ秒), Y軸は電位量(一目盛り $5\mu\text{V}$), 陰性方向が上向き.

図1は、A/S条件とNA/S条件の第5文節入力時のERP波形である。視察の結果、潜時300~500ミリ秒間において、NA/S:「昨日」と比較して、A/S:「3冊」において陰性成分が観察された。この潜時帯におけるERPの平均電位量について、「文タイプ」と「電極部位」を要因とする分散分析を行った結果、「文タイプ」、「電極部位」ともに有意な主効果が観察されなかった(文タイプ: $F(1, 15) = 1.04, n.s.$; 電極部位: $F(6, 90) = 1.18, n.s.$)。有意な交互作用が観察された($F(6, 90) = 2.24, p < .05$)。F4において「文タイプ」の単純主効果が有意であり、Fz, Czにおいては有意傾向であった(F4: $F(1, 105) = 6.55, p < .05$; Fz: $F(1, 105) = 2.94, p < .10$; Cz: $F(1, 105) = 3.43, p < .10$)。

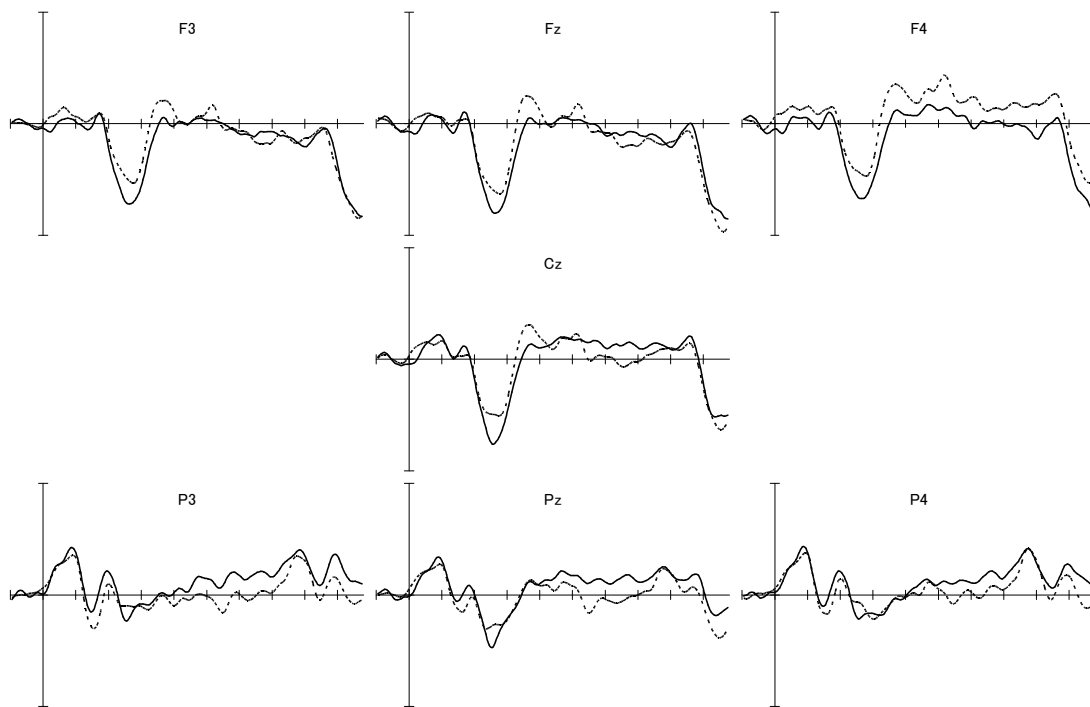


図 2. A/L 条件「3冊」(破線), NA/L 条件「昨日」(実線) 入力-100~1000 ミリ秒間の総加算 ERP 波形. X 軸は潜時帯を示し (一目盛り 100 ミリ秒), Y 軸は電位量 (一目盛り $5 \mu\text{V}$) を示す. 陰性方向が上向き.

図 2 に, A/L 条件と NA/L 条件の第 2 文節入力時の ERP 波形を示す. 視察の結果, 潜時 300~500 ミリ秒間において, A/L:「昨日」と比較して, NA/L:「3冊」において陰性成分が観察された. この潜時帯における ERP の平均電位量について, 「文タイプ」と「電極部位」を要因とする分散分析を行った結果, 「文タイプ」, 「電極部位」とともに有意な主効果は観察されなかった (文タイプ: $F(1, 15) = 1.04, n.s.$; 電極部位: $F(6, 90) = 0.94, n.s.$). 交互作用が有意であった ($F(6, 90) = 3.26, p < .005$). F3, F4 において「文タイプ」の単純主効果が有意であり, Fz においては有意傾向であった (Fz: $F(1, 105) = 3.48, p < .10$; F3: $F(1, 105) = 4.93, p < .05$; F4: $F(1, 105) = 4.66, p < .05$).

ここまでの結果をまとめると, 数量詞が入力されると, 潜時 300~500 ミリ秒間において前頭部を中心に顕著な陰性成分 (anterior negativity) が観察されることが明らかとなった.

5.3.2.数量詞入力から host-NP 入力までの間

図 1 において, 潜時 300~500 ミリ秒間以降も, 潜時 700 ミリ秒周辺まで, 緩やかな陰性成分が観察される. そこで, A/S 条件と NA/S 条件の

比較において、第 5 文節呈示後 500-700 ミリ秒間における ERP の平均電位量について「文タイプ」と「電極部位」を要因とする分散分析を行った結果、「文タイプ」および「電極部位」の主効果は有意でなく、交互作用は有意であった（文タイプ： $F(1, 15) = 2.34, n.s.$ ；電極部位： $F(6, 90) = 0.56, n.s.$ ；交互作用： $F(6, 90) = 3.41, p < .05$ ）。F4 において「文タイプ」の単純主効果が有意であり、Fz, F3, Cz においては有意傾向であった（F4： $F(1, 105) = 5.70, p < .05$ ；Fz： $F(1, 105) = 3.38, p < .10$ ；F3： $F(1, 105) = 4.93, p < .10$ ；Cz： $F(1, 105) = 3.07, p < .10$ ）。

図 3 に、A/L 条件と NA/L 条件の第 2 文節入力から第 6 文節入力までの ERP 波形を示す。上の分析と同様に数量詞が入力されてから host-NP が入力されるまでの ERP の変化を分析するため、第 2 文節呈示後 500~2800 ミリ秒間における ERP の平均電位量について「文タイプ」と「電極部位」を要因とする分散分析を行った結果、「文タイプ」の主効果は有意傾向であった。「電極部位」の主効果は有意でなかった（文タイプ： $F(1, 15) = 3.14, p < .10$ ；電極部位： $F(6, 90) = 0.54, n.s.$ ）。有意な交互作用が観察され（ $F(6, 90) = 4.15, p < .05$ ）、「文タイプ」の単純主効果が F3, F4 で有意であった（F3： $F(1, 105) = 4.82, p < .05$ ；F4： $F(1, 105) = 4.13, p < .05$ ）。これらの結果から、数量詞入力後 300~500 ミリ秒間で惹起された anterior negativity は、その後、host-NP が入力されるまで持続するということが明らかとなった。

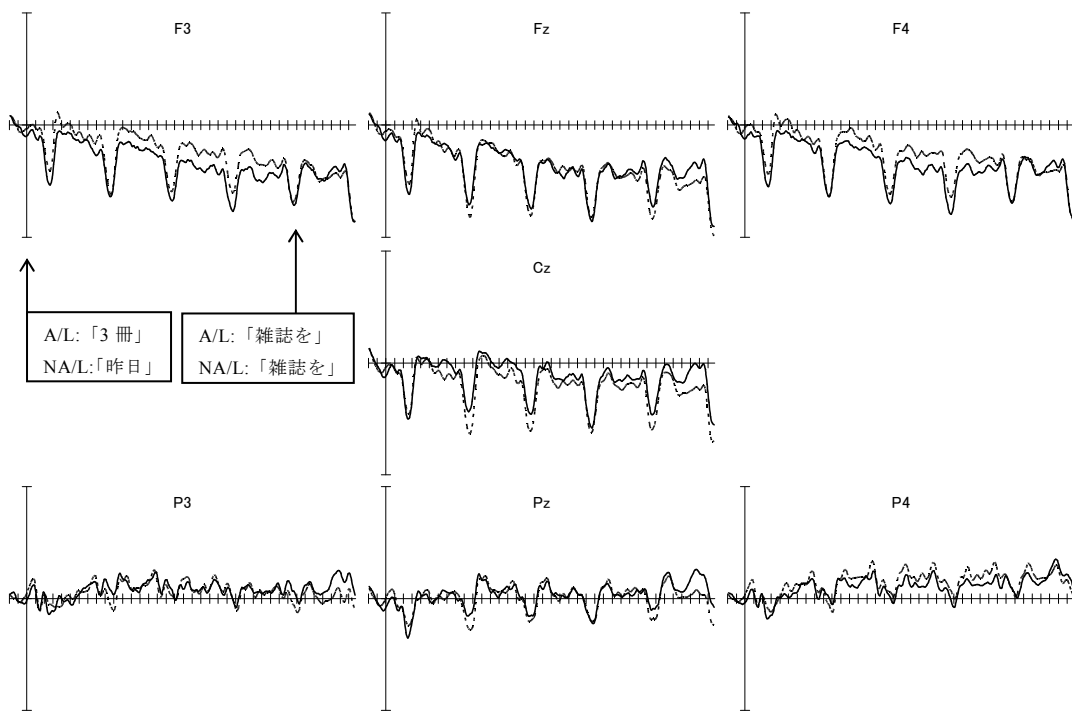


図 3. A/L 条件「3冊」(破線), NA/L 条件「昨日」(実線) 入力後-200~2800 ミリ秒間の総加算 ERP 波形. X 軸は潜時帯を示し(一目盛り 100 ミリ秒), Y 軸は電位量 (一目盛り $5\mu\text{V}$) を示す. 陰性方向が上向き.

5.3.3.host-NP 入力時

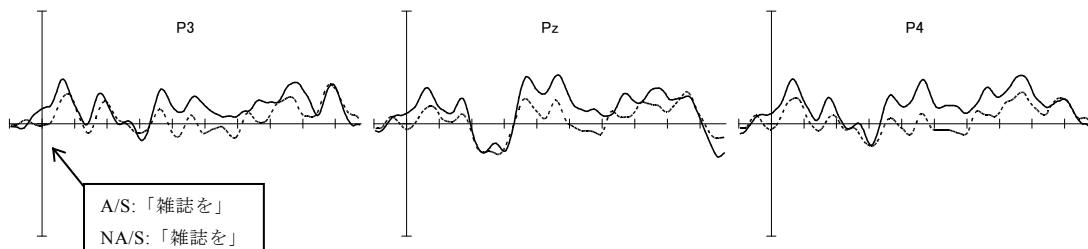


図 4. A/S 条件「雑誌を」(破線), NA/S 条件「雑誌を」(実線) 入力-100~1000 ミリ秒間の総加算 ERP 波形. X 軸は潜時帯を示し(一目盛り 100 ミリ秒), Y 軸は電位量 (一目盛り $5\mu\text{V}$) を示す. 陰性方向が上向き.

図 4 に A/S 条件と NA/S 条件の比較における, 第 6 文節 (「雑誌を」) 入力時の ERP 波形を示す. 視察の結果, 潜時 400~700 ミリ秒周辺において, NA/S と比較して, A/S が陽性方向に偏位していることが観察される. この潜時帯における ERP の平均電位量について, 「文タイプ」と「電極部位」を要因とする分散分析を行った結果, 「文タイプ」, 「電極部位」の主効果は有意でなかった (文タイプ: $F(1, 15) = 2.09, n.s.$; 電極部位: $F(6, 105) = 1.14, n.s.$). 有意な交互作用が観察され ($F(6, 90) = 4.82, p < .001$), Pz, P3, P4 において「文タイプ」の単純主効果が有意であった (Pz: $F(1,$

105) = 4.58, $p < .05$; P3: $F(1, 105) = 4.91, p < .05$; P4: $F(1, 105) = 7.54, p < .01$).

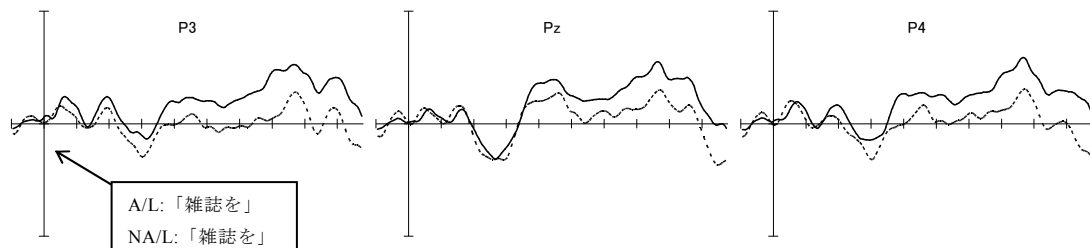


図 5. A/L 条件「雑誌を」(破線), NA/L 条件「雑誌を」(実線) 入力-100~1000 ミリ秒間の総加算 ERP 波形. X 軸は潜時帯を示し(一目盛り 100 ミリ秒), Y 軸は電位量 (一目盛り $5 \mu V$) を示す. 陰性方向が上向き.

また, 図 5 に A/L 条件と NA/L 条件の比較における, 第 6 文節(「雑誌を」) 入力時の ERP 波形を示す. 視察によると, 潜時 400~700 ミリ秒周辺において, NA/L と比較して, A/L が陽性方向に偏位していることが観察される. この潜時帯における ERP の平均電位量について, 「文タイプ」と「電極部位」を要因とする分散分析を行った結果, 「文タイプ」の主効果が有意であり, 「電極部位」の主効果は有意でなかった(文タイプ: $F(1, 15) = 4.40, p < .05$; 電極部位: $F(6, 90) = 1.48, n.s.$). 有意な交互作用は観察されなかった($F(6, 90) = 0.54, n.s.$). この結果から, 数量詞の入力後, 潜時 400~700 ミリ秒間に陽性成分が惹起されることが明らかになった. この成分は潜時, 極性および頭皮上分布から Fiebach *et al.* (2001), Ueno & Kluender (2003)などで観察された P600 と同様の成分であると推測される.

5.3.4. A/S 条件と A/L 条件の比較

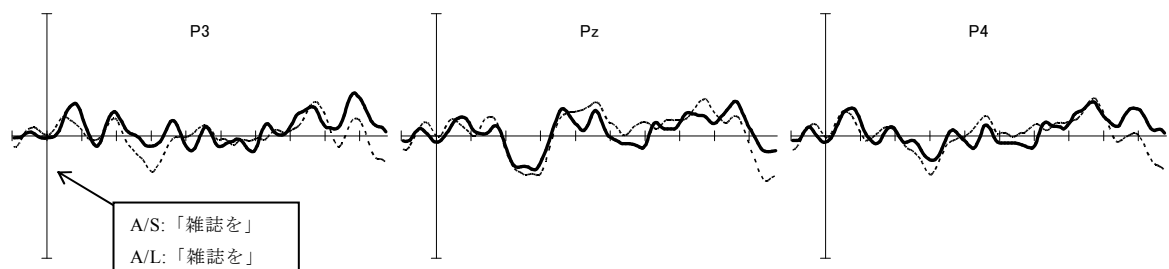


図 6. A/S 条件「雑誌を」(太線), A/L 条件「雑誌を」(細線) 入力-100~1000 ミリ秒間の総加算 ERP 波形. X 軸は潜時帯を示し(一目盛り 100 ミリ秒), Y 軸は電位量 (一目盛り $5 \mu V$) を示す. 陰性方向が上向き.

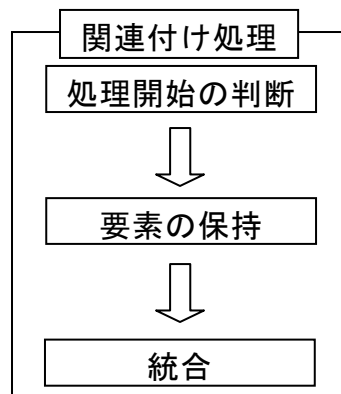
さらに, 関連付けが行われると想定される条件同士の比較を行った. 図 6 に A/S 条件と A/L 条件の第 6 文節入力時の ERP 波形を示す. 潜時

400~700 ミリ秒間における平均電位量について分散分析を行った結果、「文タイプ」、「電極部位」の主効果、および交互作用は有意ではなかった（文タイプ： $F(1, 15) = 0.20, n.s.$; 電極部位： $F(6, 90) = 0.37, n.s.$; 交互作用： $F(6, 90) = 0.86, n.s.$ ）。この結果から、要素同士の関連付けの際に惹起される P600 は要素間の距離によって振幅が増減するとは言えないということが明らかになった²。

5.4. 考察

実験 1 の結果をまとめると、以下のようなになる。数量詞が入力された時点から、前頭部で陰性成分 (anterior negativity) が観察される。さらに、この陰性成分は、その後、host-NP が入力されるまでの間、緩やかに持続する (sustained anterior negativity)。そして、host-NP が入力されると、P600 が惹起される。さらに、P600 の振幅は要素間の距離によって増減するとは言えない。

(14) 本研究が提案する「関連付け処理」



² たとえば、奥津 (1969)は、「名詞+数量詞」で一つの同格複合名詞句を成し、それに変形規則が適用されることで名詞と数量詞の分離が起こるという分析を行っている。この分析に基づく、実験 1 で用いた実験文では、「雑誌 gap を」において、gap と「3 冊」の関連付けを行った後に「3 冊」と「雑誌を」の関連付けを行うことになる。つまり、まず gap と「3 冊」を関連付けないと「3 冊」と「雑誌を」を関連付けることはできない。そのため、A/S 条件と A/L 条件で「3 冊」と gap の距離に違いが生じるため、「長距離条件」である A/L 条件が実は「短距離条件」である A/S と同じであるという分析を採用することは妥当でないと考えられる。

ここで、(14)の関連付け処理過程に従うと、実験 1 で得られた結果は次のように解釈することができる。まず、入力された要素（数量詞）が関連付ける相手（host-NP）を要求する要素であると、文処理装置が判断し、関連付け処理を開始したことを反映して、*anterior negativity* が惹起された。そして、数量詞が入力された時点では host-NP になりうる要素が判明していないために、統合を一時的に保留し、数量詞を保持しておく処理が行われたために *anterior negativity* が持続した (King & Kutas, 1995; Fiebach *et al.*, 2001, 2002; Ueno & Kluender, 2003)。host-NP となりうる要素が入力されると、文処理装置が数量詞と host-NP とを統合し、関連付け処理を完了させるという処理が行われ、それが P600 に反映された (Kaan *et al.*, 2000)。

実験 1 の結果から、「数量詞→host-NP」と入力される場合、文処理装置は「関連付け開始の判断」→「保持」→「統合」という三段階を経て処理を行っていると考えられる。

「判断」段階では、文処理装置が、入力された要素のさまざまな情報を参照して、それまでに行っていた処理とは別の関連付け処理を行う必要があると判断し、新たな関連付け処理を開始する。「保持」段階では、新たな関連付け処理を開始させる要素が入力された際に、その要素と、それまでに入力された要素との関連付けが行えない時に、関連付けを行える相手が入力されるまで、作動記憶内で保持しておく処理を行う。また、「統合」段階では、その後、統合が行えると文処理装置が判断する要素が入力されたら、保持しておいた要素との統合を行う。

しかし、実験 1 では、数量詞が入力された時点で惹起された *anterior negativity* が、その後、host-NP が入力されるまで持続するという結果であったため、「判断」段階と「保持」段階を明確に区別することが妥当であるかどうかは判然としない。そこで、実験 2 では、「判断」と「保持」が異なる処理過程であることを示すための実験を行った。

6. 実験 2

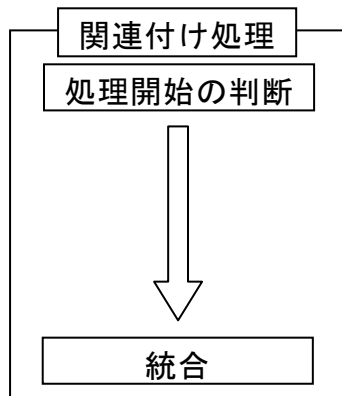
6.1. 目的と予測

実験 1 では、(15)のように数量詞が host-NP よりも先行する場合にどのような処理が行われているのかに着目した。その結果、文処理装置は数量詞が入力された時点から関連付けに関わる処理を開始し、host-NP となりうる要素が発見された時点で二つの要素を統合する処理を行ってい

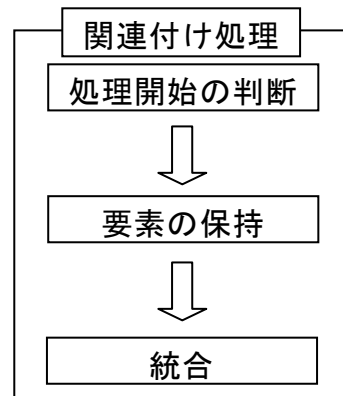
連付けを「逆方向の関連付け処理」と呼ぶ。

文処理装置に入力され、すでに何らかの処理が行われた要素は、文処理装置からは常に参照可能な状態であると仮定する。そうすると、(16)で「3冊」が入力された時点で、{学生が、図書館で、参考書を}をいう要素は文処理装置にとって参照可能な状態であることになる。その結果、逆方向の関連付け処理の場合、順方向の関連付け処理とは異なり、未統合の要素を保持するという処理が必要なくなるのである。

(19) a. 逆方向の関連付け処理



b. 順方向の関連付け処理



順方向の関連付け処理(19b)と比較すると、逆方向の関連付け処理(19a)では要素の保持という処理が行われない。したがって、先行研究で観察された *sustained anterior negativity* という成分が「処理開始の判断」と「要素の保持」から成る成分であるのであれば、本実験では「要素の保持」が必要ないので、「処理開始の判断」のみを反映した ERP 成分が惹起されるのかどうかを観察することができる。そして、「処理開始の判断」のみを反映した ERP 成分が観察されれば、「処理開始の判断」と「要素の保持」とが異なる処理であると言えることができる。

表 2. 実験 2 で用いた実験文

	文節							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A/S-b	学生が	近所の	新しい	コンビニで	雑誌を	3冊	買った	。
NA/S-b	学生が	近所の	新しい	コンビニで	雑誌を	昨日	買った	。
A/L-b	学生が	雑誌を	近所の	新しい	コンビニで	3冊	買った	。
NA/L-b	学生が	雑誌を	近所の	新しい	コンビニで	昨日	買った	。

実験 2 では、表 2 に示したような実験文を被験者に呈示した。修飾関係を標示するための関連付け処理が、文処理装置が「修飾要素である」と判断する要素が入力された時点で駆動されるのであれば、以下のような処理が展開されると考えられる。

A/S-b 条件、A/L-b 条件いずれの場合でも、第 6 文節で数量詞「3 冊」が入力された時点で、修飾関係を標示するための関連付け処理が開始されると想定される。この段階で、A/S-b 条件では第 5 文節で、A/L-b 条件では第 2 文節で host-NP となるべき名詞がすでに入力されている。そのため、実験 1 と異なり、文処理装置は数量詞を保持する必要なく、第 6 文節の時点で統合処理を行い、関連付け処理を完了することができる。

実験 1 において数量詞入力後 300 ミリ秒周辺から観察された陰性成分が、関連付け処理の開始を反映した成分であるならば、実験 2 の場合は、NA/S-b 条件と比較して、A/S-b 条件において、あるいは、NA/L-b 条件と比較して A/L-b 条件において第 6 文節入力時に同様の成分が惹起されると予測される。さらに、実験 1 で観察された持続した陰性成分が、関連付けを行う要素を保持し続けておく処理を反映した成分であるならば、逆方向の関連付けでは、保持をする必要はないので、陰性成分が持続しないと予測される。

また、実験 1 で観察された P600 が、統合にかかる負荷を反映した成分であるならば、本実験の場合は、第 6 文節入力時に実際の関連付けが完了できるため、NA 条件と比較して A 条件において、この文節で P600 が惹起されると予測される。

6.2. 実験の概要

6.2.1. 刺激

被験者には、表 2 に示した四種類の実験文を呈示した。刺激文の数、ランダムイズ方法については実験 1 と同様であった。

6.2.2. 被験者

九州大学の学部生・大学院生 16 名（男性 3 名、女性 13 名、平均年齢 21.3 歳）が参加した。実験 1 と同様に被験者は全員右利きで、正常な視力（矯正を含む）を有していた。

6.2.3.手続き

実験 1 と同様であった。

6.2.4.ERP の記録方法

実験 1 と同様であった。

6.3.結果

6.3.1.A/S-b と NA/S-b の比較

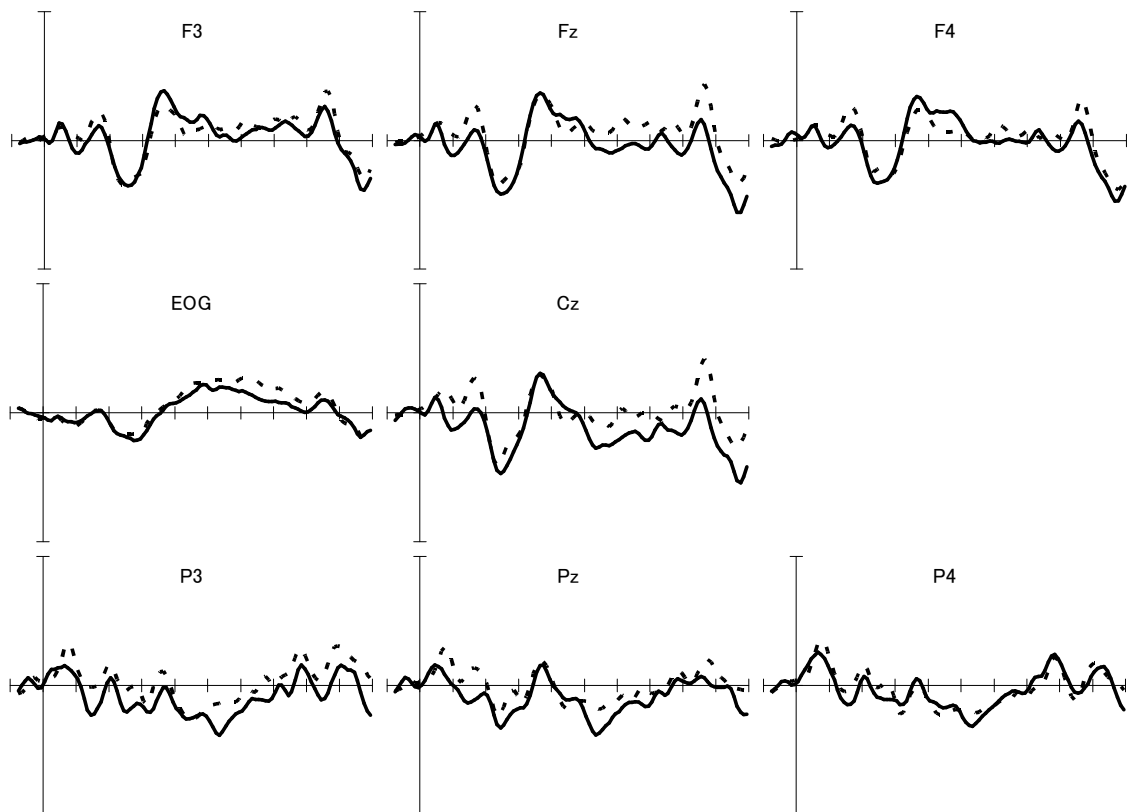


図 7. A/S-b 条件「3 冊」(実線), NA/S-b 条件「昨日」(破線) 入力-100~1000 ミリ秒間の総加算 ERP 波形. X 軸は潜時帯を示し (一目盛り 100 ミリ秒), Y 軸は電位量 (一目盛り $5 \mu V$) を示す. 陰性方向が上向き.

図 7 に A/S-b 条件と NA/S-b 条件の第 6 文節入力時の ERP 波形を示す. 視察の結果, 潜時 300~500 ミリ秒周辺から前頭部において, A/S-b 条件が陰性方向に偏位していることが観察される. この潜時帯における ERP の平均電位量について, 「文タイプ」と「電極部位」を要因とする分散分析を行った結果, 「文タイプ」の主効果が有意傾向であり, 「電極部位」の主効果が有意であった (文タイプ : $F(1, 15) = 3.83, p < .10$; 電極部位 : $F(6, 90) = 5.11, p < .05$). 交互作用が有意であり, F4 において「文タイプ」

の単純主効果が有意であり，F3 では有意傾向であった（交互作用： $F(6, 90) = 4.47, p < .05$; F3: $F(1, 105) = 4.32, p < .10$; F4: $F(1, 105) = 6.95, p < .05$ ）。

さらにその後潜時 500 ミリ秒周辺から A/S-b 条件は陽性方向へ偏位している。潜時 500~800 ミリ秒間の平均電位量について、「文タイプ」と「電極部位」を要因とする分散分析を行った結果、「文タイプ」および「電極部位」の主効果は有意ではなかった（文タイプ： $F(1, 15) = 1.28, n.s.$ ；電極部位： $F(6, 90) = 4.52, p < .05$ ）。交互作用が有意であり，Fz, Cz, Pz において「文タイプ」の単純主効果が有意であった（交互作用： $F(6, 90) = 3.67, p < .05$; Fz: $F(1, 105) = 6.43, p < .05$; Cz: $F(1, 105) = 5.87, p < .05$; Pz: $F(1, 105) = 6.54, p < .05$ ）。

結果をまとめると，A/S-b 条件と NA/S-b 条件の比較では，数量詞が入力されて 300~500 ミリ秒で A/S-b 条件が前頭部優位に陰性に偏位し，その後，500~800 ミリ秒間では，中心線上で陽性方向へ偏位すると言える。

6.3.2. A/L-b と NA/L-b の比較

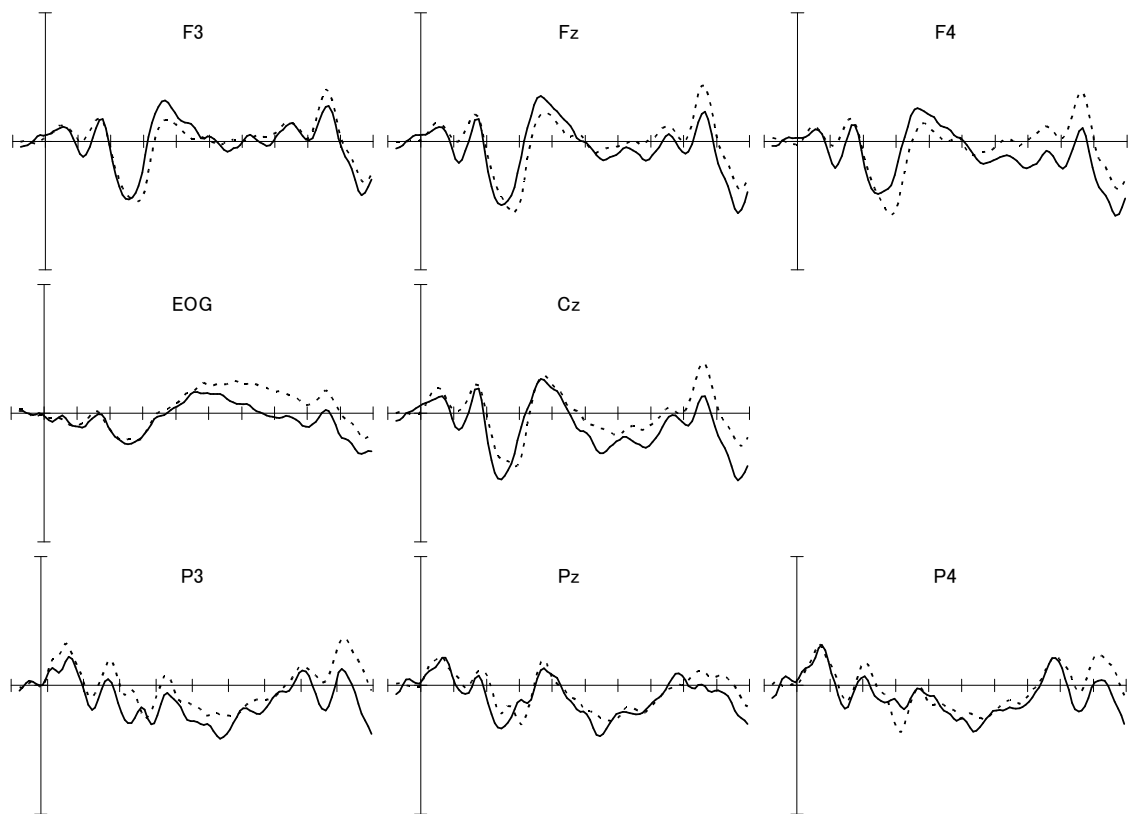


図 8. A/L-b 条件「3冊」(実線), NA/L-b 条件「昨日」(破線) 入力-100~1000 ミリ秒間の総加算 ERP 波形. X 軸は潜時帯を示し(一目盛り 100 ミリ秒), Y 軸は電位量(一目盛り $5 \mu V$)を示す. 陰性方向が上向き.

図 8 に、A/L-b 条件と NA/L-b 条件の第 6 文節入力時の ERP を示す。視察によると、実験 1 と同様に潜時 300~500 ミリ秒周辺において、NA/L-b 「昨日」と比較して、A/L-b 「3 冊」がより陰性に偏位していることが観察された。この潜時帯における ERP の平均電位量について、「文タイプ」と「電極部位」を要因とする分散分析を行った結果、「文タイプ」の主効果が有意傾向であり、「電極部位」の主効果が有意でなかった（文タイプ： $F(1, 15) = 3.43, p < .10$; 電極部位： $F(6, 90) = 0.41, n.s.$ ）。また交互作用が有意であり（ $F(6, 90) = 2.40, p < .05$ ）、「文タイプ」の単純主効果が Fz, F3, F4 で有意であり、Cz で有意傾向であった（Fz: $F(1, 105) = 5.23, p < .05$; F3: $F(1, 105) = 5.06, p < .05$; F4: $F(1, 105) = 4.81, p < .05$; Cz: $F(1, 105) = 3.38, p < .10$ ）。

さらに、潜時 500~800 ミリ秒間において、再び ERP の分岐が観察され、NA/L-b と比較して A/L-b 条件が陽性方向に偏位している。この潜時帯の平均電位量について分散分析を行ったところ、「文タイプ」、「電極部位」の主効果が有意であり、交互作用は有意ではなかった（文タイプ： $F(1, 15) = 6.72, p < .05$; 電極部位： $F(6, 90) = 8.23, p < .01$; 交互作用： $F(6, 90) = 0.93, n.s.$ ）。

この結果から、A/L-b 条件と NA/L-b 条件を比較すると、前者が潜時 300~500 ミリ秒間において前頭部で陰性方向に偏位し、その後 500~800 ミリ秒間では頭皮上全体に渡って陽性方向に偏位するということが明らかになった。

6.3.3.A/S-b と A/L-b の比較

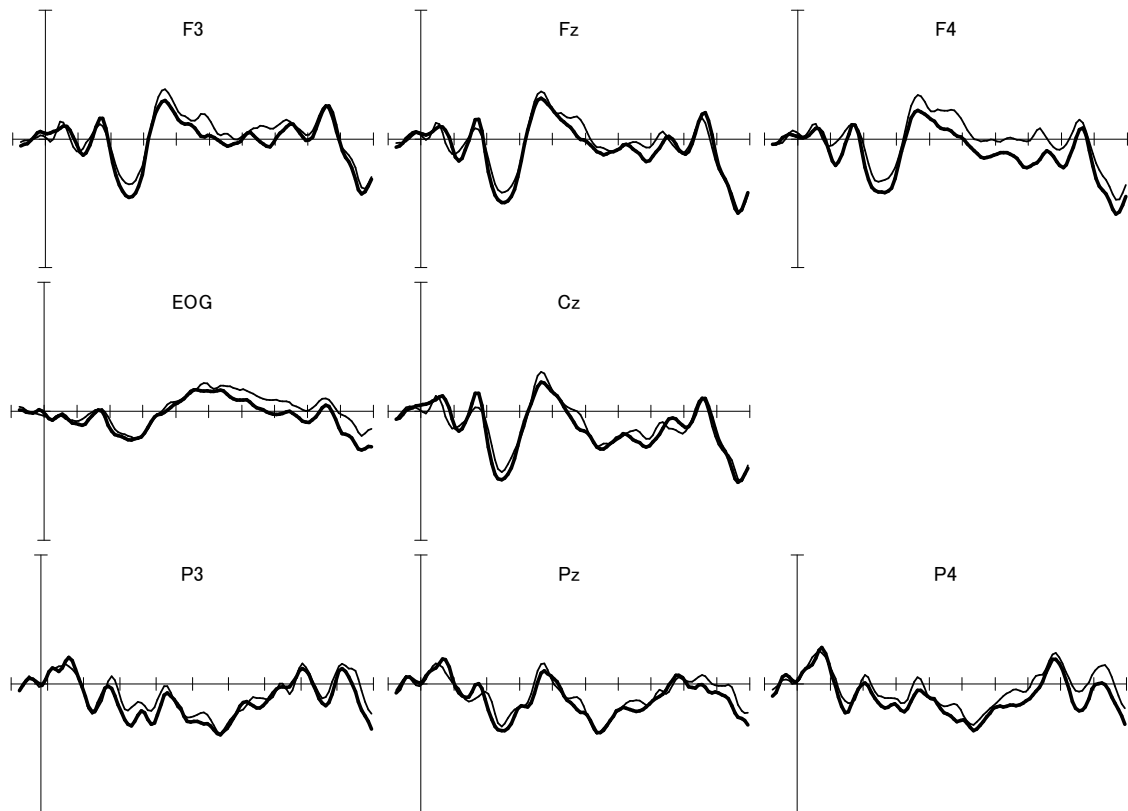


図9. A/S-b 条件（太実線），A/L-b 条件（細実線）入力-100~1000 ミリ秒間の総加算 ERP 波形．X 軸は潜時帯を示し（一目盛り 100 ミリ秒），Y 軸は電位量（一目盛り $5\mu\text{V}$ ）を示す．陰性方向が上向き．

図9では、A/S-b 条件と A/L-b 条件の第6文節（「3冊」）入力時の ERP 総加算波形を示す。これらの条件間の比較では、潜時 300~500 ミリ秒間では、「文タイプ」の主効果は有意ではなく、「電極部位」の主効果は有意であった（文タイプ： $F(1, 15) = 0.47, n.s.$ ；電極部位： $F(6, 90) = 8.96, p < .001$ ）。交互作用は有意でなかった（ $F(6, 90) = 0.44, n.s.$ ）。また、潜時 500~800 ミリ秒間の平均電位量については、「文タイプ」の主効果は観察されず、「電極部位」の主効果は有意であった（文タイプ： $F(1, 15) = 0.40, n.s.$ ；電極部位： $F(6, 90) = 3.28, p < .01$ ）。交互作用は有意でなかった（ $F(6, 90) = 0.82, n.s.$ ）。

結果をまとめると、A/S-b 条件と A/L-b 条件の比較では、第6文節入力時の ERP に有意な差があるとは言えないということになる。

6.4.考察

実験2の結果をまとめると次のようになる。まず、NA/S-b 条件と比較

して A/S-b 条件において、また、NA/L-b 条件と比較して A/L-b 条件において、数量詞が入力された 300 ミリ秒後から 500 ミリ秒後の間で、前頭部で陰性成分が観察された。さらに、その陰性成分はいったん収束したのちに、陽性方向へと偏位した。また、数量詞と host-NP との距離によって ERP の振幅に違いが生じるとは言えないということが明らかになった。

実験 1 では、host-NP が入力されるまで陰性成分が持続していたが、本実験では、持続することなく収束していった。実験 1 では、「数量詞（・・・）host-NP」の語順で入力されるので、数量詞が入力された段階では、適切な関連付けの相手が入力されていないため、ひとまずは統合を保留し、数量詞を保持し続けておく必要に迫られる。一方、本実験では、「host-NP（・・・）数量詞」の順で入力されるので、数量詞が入力された時点で、host-NP になりうる要素がすでに入力されており、数量詞を保持し続けておく必要はない。実験 1 と実験 2 で観察された前頭部陰性成分の持続の有無に関する違いから、陰性成分の「出現」という現象とその成分の「持続」という現象がそれぞれ別個の独立した現象であると考えることができる。よって、実験 1 で「要素の保持」を反映していると考えられた「持続した前頭部陰性成分」には、「関連付け処理開始の判断」と「未統合の要素の保持」の二つの処理過程が含まれていることが示唆されたと言えよう。

また、A/S-b 条件、A/L-b 条件で観察された陽性成分は、その潜時、極性から P600 と同様の成分であると考えることができる。逆方向の関連付けの場合、数量詞が入力された時点で既に host-NP となる要素が入力されている。数量詞が入力された時点で関連付け処理が開始されるのであれば、数量詞が入力されるより以前に host-NP となりうる要素がすでに入力されているし、文処理装置からはその要素が参照可能な状態であるので、統合操作もこの文節で可能となる。したがって、この P600 は実験 1 と同様に、統合の際にかかる負荷を反映した成分であると解釈する。

7.総合考察

7.1.関連付け処理

本研究では、文処理装置は入力される要素に対して要素間の主述関係と修飾関係の二種類の関係を標示したものを出力する処理を行うと仮定

した。そして、文処理装置が主述関係あるいは修飾関係を標示するために行う一連の処理過程を「関連付け処理」とし、関連付け処理が完了するまでにどのような処理が行われているのかを検討する ERP 実験を行った。

実験では、数量詞を含む文を被験者に呈示し、それを処理する際の ERP を記録した。数量詞は、名詞句を数量の面から修飾する機能を持ち、文中で比較的自由な位置に生起できる（数量詞遊離が可能である）という特徴を持つ。よって、数量詞と host-NP との間に任意の個数の介在要素が存在することが可能である。さらに、形容詞と名詞の修飾関係とは異なり、被修飾語（host-NP）－修飾語（数量詞）の語順での生起が可能である。数量詞と host-NP の語順がどのような場合であっても、これら二つの語の間に修飾関係が成立していないと、host-NP の数量に関する意味が成立しない。したがって、数量詞と host-NP がどのような語順にあっても、関連付け処理が行われなければならないのである。

実験 1 では、先行研究で取り上げられた filler と gap の関係と同様に、数量詞と host-NP の関係も漸進的に関連付け処理が行われているのかどうかを検証する実験を行った。その結果、数量詞が入力された時点から anterior negativity が惹起され、host-NP となりうる要素が入力されるまでの間、その成分が持続するという結果が得られた。この成分は、数量詞を host-NP となる要素が入力されるまで保持する処理を反映していると考えられる。また、host-NP が入力された時点で P600 が惹起された。この成分は、host-NP となる要素が入力され、関連付けを行いうる要素が揃ったために文処理装置が数量詞と host-NP を統合する処理を行い、その際の負荷を反映していると結論付ける。実験 1 で、関連付け処理を開始して未統合の要素を保持していると想定される間、sustained-anterior negativity が惹起され、二つの要素を統合し、一連の関連付け処理が完了できると想定される時点で P600 が惹起された。このことから、filler と gap の関連付け処理と同様に、数量詞と host-NP の関連付け処理は漸進的に行われていることが示されたと言える。

実験 2 の結果、数量詞が入力された時点で anterior negativity が惹起され、その陰性成分は持続しなかった。さらに、数量詞が入力された時点で、anterior negativity が惹起された後、P600 が観察された。この結果は、先行研究で惹起された sustained-anterior negativity には「処理開始の判断」と「要素の保持」の二つの処理過程が含まれており、「処理開始の判断」という処理は持続しない anterior negativity に反映されるということを示

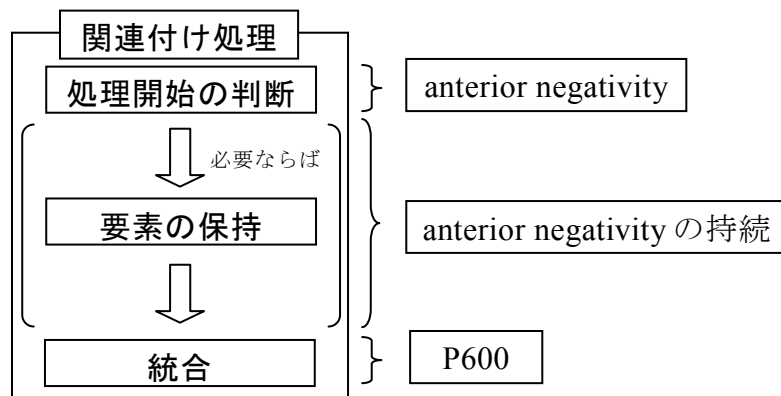
している。

本研究で行った実験の結果から、文処理装置は、以下のような処理手順を採っていることが明らかになった。

- (20) a. 文処理装置は、入力された要素 A が関連付け処理を必要とすると「判断」した時点から、関連付け処理を開始する。
- b. 関連付け処理を開始した時点では統合が行えない場合には、適切な関連付けの相手が判明するまで要素 A を作動記憶内に「保持」しておく。
- c. 関連付けの相手となりうる要素 B が判明した時点で、要素 A と要素 B を「統合」し、関連付け処理を完了する。

そして、(20)の各処理段階を反映した ERP 成分が惹起されるのである。処理開始の「判断」を反映して、anterior negativity が惹起される。そして、「保持」が必要な場合は、その negativity が持続する。要素間の「統合」は P600 に反映される。(21)に本論文で提案する関連付け処理の全体像と、各下位処理を反映した ERP 成分を示す。

(21) 関連付け処理過程とそこに含まれる下位処理を反映する ERP 成分



7.2. 関連付け処理と事象関連電位

顕在的な要素である filler と潜在的な要素である gap との関連付け処理を対象にしていた先行研究に対し、本研究では、顕在的な要素同士（数量詞, host-NP）の関連付けを対象にしたという違いがある。このような違いがあるにも関わらず、なぜ、どちらの研究でも同じように P600 が惹起されたのかという疑問が起こる。しかし、要素が顕在的であれ、潜

在的であれ、文処理装置が処理する要素である以上は解析木中に存在するという点に違いはない。解析木中に存在する要素である限りは、何らかの関連付けが行われなければ、文の意味に影響を与えることができないため、要素の顕在性に関わらず関連付け処理が行われるはずである。もし P600 が統合にかかる負荷のみを反映しているのであれば、その要素が顕在的であれ、潜在的であれ P600 が惹起されるのは妥当な結果である。

また、本研究では、関連付ける要素間の距離の長短という要因を考慮した実験を行った。分析の結果、数量詞と host-NP との統合が行われると想定される時点で P600 が惹起されることが明らかになった。さらに、関連付ける要素間の距離が変化しても、P600 の振幅は変化するとは言えないという結果が得られた。

この結果から、統合処理を反映した P600 という ERP 成分は、統合処理にかかる負荷のみを反映しており、一連の関連付け処理に含まれる統合以外の処理にかかる負荷が P600 の振幅には影響しないと言える。逆方向の関連付け処理の場合、関連付ける要素間の距離が長くなればなるほど、時間軸上で遠くの位置（つまり、作動記憶内でより古い情報として）に統合の相手が存在することになる。しかし、要素間の距離によって処理に影響が及ぶのは作動記憶であって、統合処理とは独立である。したがって、統合処理を反映した P600 は作動記憶にかかる負荷が影響することなく、関連付ける要素間の距離の遠近によって振幅が増減することはないのである。

Fiebach *et al.* (2001)において、被験者を作動記憶容量の大小によって二群に分けた分析が行われている。その分析においても、作動記憶容量の大小によって P600 の振幅が増減することはないという結果が得られている。この実験結果も、作動記憶にかかる負荷によって統合にかかる負荷を反映した P600 の振幅に影響が及ぼされるとは言えないということを示唆していると言えよう³。

³ 英語の *wh* dependency の確立を対象にした Phillips *et al.* (2005)において、*wh* dependency の距離が長くなることによって、P600 が出現するタイミングが遅くなるという結果が報告されている。この結果は本研究の結果とは異なる。Phillips *et al.* (2005)では、filler を再活性化する際に *wh* dependency の距離が及ぼす影響だと主張されている。しかし、この主張にはいささか不自然な点があると思われる。wh 句が入力されてから dependency が確立できる位置まで観察された「持続した前頭部陰性成分 (sustained anterior negativity: SAN)」は、wh 句を未統合の状態で作

本研究で得られた *anterior negativity* は、数量詞が持つ語彙的な情報に基づいて、関連付け処理を開始したことを示す成分であると解釈される。一般に文処理の実験において、この潜時帯で観察される陰性成分として、N400 という成分が挙げられる。この成分は、入力された語がそれまでに入力された語と意味的に適合しない場合に惹起される成分である (Kutas & Hillyard, 1980 他)。しかし、要素間の意味的な不適合性を反映した N400 は、一般的に潜時 400 ミリ秒周辺で頂点を迎える陰性成分であり、頭皮上分布は中央部から頭頂部・後頭部での振幅が大きくなるとされる。本研究で得られた成分は、前頭部でもっとも顕著に観察された。よって、頭皮上分布から判断すると、この成分を要素間の意味的な不適合性を反映した N400 とする妥当性は低い。

また、本研究で *anterior negativity* が惹起された時点（つまり数量詞が入力された時点）で起こっている処理過程を総合的に考えてみても、N400 でないと結論付けることは妥当である。

- (22) a. 学生が (・・・) 3冊 (・・・) 雑誌を 買った。 (順方向の
関連付け)
- b. 学生が (・・・) 雑誌を (・・・) 3冊 買った。 (逆方向の
関連付け)

実験1で用いられた(22a)タイプの文の場合、「3冊」が入力された時点で、それまでに入力されている最も近い名詞句（「学生が」）との関連付けを試み、意味的な不整合が生じるので N400 が惹起されているという解釈が可能かもしれない (cf. 酒井ら, 2006; 酒井, 2007)。しかし、そのような解釈をするならば、本研究で得られた結果を整合的に説明することができなくなる。なぜならば、次のような問題が生じるからである。本研究で用いた(22b)タイプの文では、「3冊」が入力された時点で、新近性 (*recency*) の原理に従い、それまでに入力されている最も近い名詞句（「雑誌を」）との関連付けが試みられると仮定する。そうすると、「3冊」

動記憶内に保持しておく際の負荷を反映していると解釈されている。作動記憶内に保持された要素は、活性の度合いが高い状態であると考えるのが自然であり、それを再び記憶内で活性化させるという解釈はいささか不自然であると考えられる。したがって、Phillips *et al.* (2005)で得られた結果と、本研究で得られた結果の相違点は対象とする言語の違いも含めて、今後より一層の議論が必要であると考えられる。

と「雑誌を」の間での意味的な不整合は生じないので、(22b)タイプでは陰性成分は観察されないことが予測される。しかし、実際には、実験2で「3冊」が入力された場合でも陰性成分が観察されている。

したがって、この陰性成分は、数量詞と最も近い名詞句との間に生じる意味的な不整合性を反映した成分（すなわち N400）であるという可能性は低い。そこで、関連付け処理を開始し、統合までに保持が必要な場合に作動記憶内で保持しておく処理を反映した成分だと解釈するべきである。

ここで、実験2で観察された *anterior negativity* は「判断」を反映した成分ではなく、「短時間の保持」を反映した成分であるという解釈も可能かもしれない。しかし、p.22 において、「すでに入力された要素は文処理装置にとって常に参照可能な状態である」と仮定しており、数量詞が出現した時点で、それと関連付けられるべき名詞句は参照可能な状態で存在することになる。実験2の場合、数量詞が出現した時点で、それと関連付けられる名詞句はすでに出現している。つまり、上述の仮定を受け入れると、数量詞が出現した時点で、すでに出現している関連付けられるべき名詞句は文処理装置にとって参照可能な状態にあることになる。ここでは、数量詞は適切な名詞句と関連付ける必要があるという「判断」は必要であるが、その数量詞を後続する別の要素と関連付けるための「保持」は必要でない。したがって、実験2の *anterior negativity* は「保持」ではなく、「判断」のみを反映した成分であると結論付けることが可能であると考えられる。

8.まとめ

本研究では、要素間の関連付けという一連の処理過程を提案し、遊離数量詞を含む文の処理を観察することを通して、関連付け処理が完了するまでにどのような下位処理が行われているのかを検討した。実験の結果、文処理装置が関連付けが必要だと判断した時点から、関連付けのための処理が開始されることが示された。この「判断」という過程は前頭部陰性成分に反映される。

入力された時点で他の要素と関連付けできない要素がある場合、文処理装置はその要素を作動記憶内で活性化させた状態で保持しておき、関連付ける相手が発見されるまで処理を保留するという処理手順が採られていることが示された。そして、この「保持」という処理手順は、前頭

部陰性成分の持続に反映されるということが明らかになった。

また、関連付けることができる要素が揃った時点で即座に関連付けを完了させる操作が行われていると考えられる結果が得られた。この操作は P600 に反映されると考えられる。さらに、統合によって惹起される P600 の振幅が関連付ける要素によって増減するとは言えないということが示された。このことから、順方向の場合でも、逆方向の場合でも、関連付ける要素間の距離によって「統合」にかかる負荷が増減するとは言えないということが明らかになった。この結果は、P600 という ERP 成分は、統合そのものにかかる負荷を反映していて、統合を行うまでに随伴する要素の保持などの操作による処理負荷を反映することはないと言えよう。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、九州大学言語学研究室の坂本勉先生、稲田俊明先生、久保智之先生、上山あゆみ先生には丁寧なご指導をいただきました。心からお礼を申し上げます。また、九州大学言語学研究室の大学院生の方々にも様々な場面において貴重なアドバイスをいただきました。さらに、二名の匿名査読者から重要なコメントをいくつもいただきました。ここに記して感謝を申し上げます。最後に、長時間にわたる実験に快く参加して下さった多くの被験者の皆様にもお礼を申し上げます。無論、本稿における議論の不備や誤りの責任は筆者にあります。本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究(C) 課題番号 17520269「日本語の文理解過程に関する事象関連電位による研究」(研究代表者:坂本勉)の援助を受けています。

参考文献

- Bever, Thomas and Brian McErlee (1988) Empty categories access their antecedents during comprehension. *Linguistic Inquiry* 19: 35-43.
- Chomsky, Noam (1977) On Wh-Movement. In: Peter W. Culicover, Thomas Wasow and Adrian Akmajian (eds.) *Formal Syntax*, 71-132. New York: Academic Press.
- 江口正 (2002)「遊離数量詞の関係節化」『福岡大学人文論叢』33: 2147-2167.
- Fiebach, Christian J., Matthias Schlesewsky and Angela D. Friederici (2001) Syntactic working memory and the establishment of filler-gap dependencies:

- Insights from ERPs and fMRI. *Journal of Psycholinguistic Research* 30: 321-338.
- Fiebach, Christian J., Matthias Schlesewsky and Angela D. Friederici (2002) Separating syntactic memory costs and syntactic integration costs during parsing: The processing of German WH-questions *Journal of Memory and Language* 47: 250-272.
- Friederici, Angela D. (2002) Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in Cognitive Sciences* 6: 78-84.
- Hagoort, Peter, Colin M. Brown and Lee Osterhout (1999) The neurocognition of syntactic processing, In: Colin M. Brown and Peter Hagoort (eds.) *The Neurocognition of Language*, 273-316. Oxford: Oxford University Press.
- Heim, Irene and Angelika Kratzer (1998) *Semantics in Generative Grammar*. Oxford: Blackwell.
- Ishii, Yasuo (1998) Floating quantifiers in Japanese: NP quantifiers, VP quantifiers, or both?. Researching and Verifying on Advanced Theory of Human Language. Grant-in-Aid for COE Research Report 2 (No. 08CE1001). 149-171. Graduate School of Language Sciences Kanda University of International Studies, Japan.
- Just, Marcel A. and Patricia A. Carpenter (1992) A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review* 99: 122-149.
- Kaan, Edith, Anthony Harris, Edward Gibson and Phillip Holcomb (2000) P600 as an index of syntactic integration difficulty. *Language and Cognitive Processes* 15: 159-201.
- Kaan, Edith and Tamara Y. Swaab (2003) Repair, revision, and complexity in syntactic analysis: An electrophysiological differentiation. *Journal of Cognitive Neuroscience* 15: 98-110.
- Kamide, Yuki and Don C. Mitchell (1999) Incremental pre-head attachment in Japanese parsing. *Language and Cognitive Processes* 14: 631-662.
- 神尾昭雄 (1978) 「数量詞のシンタックス<日本語の変形をめぐる論議への一資料>」 『言語』 6: 83-91.
- King, Jonathan W. and Marta Kutas (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.
- Kuperberg, Gina R., David Caplan, Tatiana Sitnikova, Mariana Eddy and Phillip

- Holcomb (2006) Neural correlates of processing syntactic semantic and thematic relations hips in sentences. *Language and Cognitive Processes* 21: 489-530.
- 黒田成幸 (1980) 「文構造の比較」 国廣哲彌 (編) 『日英語比較講座 第2巻 文法』 東京: 大修館書店.
- Kutas, Marta and Steven A. Hillyard (1980) Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science* 207: 203-205.
- Miyamoto, Edson T. and Shoichi Takahashi (2002) Sources of difficulty in processing scrambling in Japanese. In: Mineharu Nakayama (ed.) *Sentence Processing in East Asian Languages*, 167-188. Stanford, CA: CSLI.
- Nakayama, Mineharu (1999) Sentence processing, In: Natsuko Tsujimura (ed.) *The handbook of Japanese linguistics*, 398-424. Oxford: Blackwell.
- 丹羽真一・鶴紀子(編) (1998) 『事象関連電位 -事象関連電位と神経情報科学の発展-』 東京: 新興医学出版社.
- 入野野宏 (2005) 『心理学のための事象関連電位ガイドブック』 京都: 北大路書房.
- 奥津敬一郎 (1969) 「数量的表現の文法」 『日本語教育』 14: 42-60.
- Oldfield, R. Carolus (1971) The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 9: 97-113.
- Rösler, Frank, Thomas Pechmann, Judith Streb, Brigitte Röder and Erwin Hennighausen (1998) Parsing of sentences in a language with varying word order: Word-by-word variations of processing demands are revealed by event-related brain potentials. *Journal of Memory and Language* 38: 150-176.
- Osterhout, Lee and Phillip Holcomb (1992) Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language* 31: 785-806
- 大石衡聴・坂本勉 (2004) 「統語解析の即時・遅延性の検証 -P600 を指標として-」 『認知科学』 11: 311-318.
- Phillips, Colin, Nina Kazanina and Shani H. Abada (2005) ERP effects of the processing of syntactic long-distance dependencies. *Cognitive Brain Research* 22: 407-428.
- 酒井由美 (2007) 「日本語話者にとっての助数詞 -事象関連電位を用いた研究-」 修士論文, 東北大学.
- 酒井由美・岩田一樹・ホルヘ リエラ・万 小紅・横山悟・下田由輝・川島隆太・吉本啓・小泉政利 (2006) 「事象関連電位で見る名詞と助数詞の照合プロセス -意味的処理か文法的処理か-」 『認知科学』 13: 443-454.

- 坂本勉 (1998) 「人間の言語情報処理」 『岩波講座 言語の科学 11 言語科学と関連領域』, 大津由紀雄・郡司隆男・田窪行則・長尾真・橋田浩一・益岡隆志・松本祐治 (編), 1-55. 東京: 岩波書店.
- Tamaoka, Katsuo and Jun-Ichi Tanaka (2005) Effects of collocation frequencies on the processing on noun phrases and active sentences. *IEICE Technical Report* TL2005-5: 23-27.
- Ueno, Mieko and Robert Kluender (2003) Event-related brain indices of Japanese scrambling. *Brain and Language* 86: 243-271.

The sub-processes of the dependency establishment process: A study on the dependency between numeral quantifiers and noun phrases

Yasunaga, Daichi

(Graduate School of Humanities, Kyushu University/ Japan society for the promotion of science)

A dependency establishment process is a successive procedure that readers use to determine the syntactic dependency between two or more elements. This study investigates when and how the readers make a decision on such dependency during on-line sentence processing, especially when they read sentences including numeral quantifiers in Japanese. In Japanese, a numeral quantifier and its host-NP can appear relatively freely in a sentence. To comprehend the sentence, however, readers must determine the relationship between the two elements. Two ERP experiments were conducted and the results indicated that the dependency establishment process consists of three sub-processes: (i) *Judgment to start the integration process*, (ii) *Holding an unintegrated element*, and (iii) *Integration of the two elements*.

(受理日 2007年2月28日 最終原稿受理日 2007年5月13日)