

数量詞と名詞句との依存関係の統語処理過程について*

安永 大地（九州大学大学院/日本学術振興会）：daichi@lit.kyushu-u.ac.jp

坂本 勉（九州大学）：sakamoto@lit.kyushu-u.ac.jp

1.はじめに

人間が文の意味を理解するためには，文中の要素が他の要素とどのような関係にあるかを把握する必要がある．しかし，要素が入力される順序通りに隣接する要素との関係を結ぶだけでは文の意味が成立しないこともある．(1)のように，文中で隣接しない要素間の関係进行处理しなければならない場合がある．本研究では，隣接しない要素同士の依存関係をオンラインで決定する処理の総体を「関連付け処理」と呼び，特に修飾要素と被修飾要素の依存関係がどのように決定されるのかに着目した．そして，関連付け処理には「処理開始の判断」「未統合の要素の保持」「要素の統合」という三つの処理が含まれているということを脳波の一種である事象関連電位を用いた実験の結果から示す．

- (1) 太郎は {三冊} 近くのコンビニで {雑誌を} 買った。

- (2) 事象関連電位（Event-Related Potentials: ERPs）

光や音など外的事象の知覚や，刺激の意味に対する注意，判断など内的事象に対応して時間的に関連して生じる脳の電気活動（入戸野, 2005）．

1.1.先行研究

隣接していない要素同士がどのような過程を経て関連付けられているのかという問題に対して，filler と gap の依存関係の処理に注目した研究の代表例として，Fiebach *et al.* (2001) と Ueno & Kluender (2003) が挙げられる．

- (3) Fiebach *et al.* (2001)：wh 疑問文の処理

- a. 主語 wh 疑問文：

Thomas fragt sich, wer_i [gap] am Dienstag nachmittag nach dem Unfall den Doktor verständigt hat.
 Thomas asked himself who_(NOM) on Tuesday afternoon after the accident the_(ACC) doctor called has
 'Thomas asks himself who has called the doctor after the accident on Tuesday afternoon.'

- b. 目的語 wh 疑問文：

Thomas fragt sich, wen_i [am Dienstag nachmittag nach dem Unfall der Doktor [gap] verständigt hat.
 Thomas asked himself who_(ACC) on Tuesday afternoon after the accident the_(NOM) doctor called has
 'Thomas asks himself who the doctor has called after the accident on Tuesday afternoon.'

- (4) 結果

- a. (3b)において，*wen* の呈示から *der Doktor* の呈示までの間，(3a)の *wer~den Doktor* と比較して sustained-LAN(left anterior negativity: 持続した左前頭部陰性成分)が観察された．
 b. (3b)において，*der Doktor* の呈示後，(3a)*den Doktor* と比較して P600 が観察された．

- (5) Fiebach *et al.*の結論

- a. 持続した左前頭部陰性成分は，filler（wh 要素）を保持しておく際の負荷を反映している．
 b. P600 は，filler と gap を統合する際の負荷を反映している．

- (6) Ueno & Kluender (2003)：かき混ぜ文の処理

- 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 [gap] 見つけたんですか 。

*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）の補助を受けている．

- (7) 結果
- (6b)において、「それを」の呈示から「とうとう」の呈示までの間、持続した前頭部陰性成分が観察された。
 - (6b)において、(6a)と比較して、gap と想定される位置で P600 が観察された。
- (8) Ueno & Kluender の結論
- 持続した前頭部陰性成分は、filler (scrambled element) を保持しておく際の負荷を反映している。
 - P600 は、gap を filler で埋める際の負荷を反映している。

Fiebach *et al.*と Ueno & Kluender の結論をまとめると、filler と gap の関係を確立させる際には、(9)に示す二種類の処理が行われ、それぞれの処理を反映して、(10)に示す ERP 成分が観察されることが明らかになった。

- (9) a. filler が入力されて、gap の位置が同定されるまでの間、filler を保持しておく処理
 b. 関連付けを行いうる二つの要素が判明し、実際にそれらの要素を統合する処理
- (10) a. (9a)を反映して、持続した前頭部陰性成分が観察される¹。
 b. (9b)を反映して、P600 が観察される。

1.2.提案

先行研究では、関連付け処理は(11a)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きた。しかし、入力された要素が関連付けを要求するという判断を行った結果として関連付け処理を開始し、未統合の要素を保持すると考えない限り、入力された要素をやみくもに保持してしまいかねない。それでは、主要部後置型言語である日本語では保持する要素が膨大になりかねず、文処理の効率が悪くなると思われる。そこで、本研究では、関連付け処理が必要であると読み手が判断した場合に、そして、その場合にのみ関連付け処理が開始されると考える。そうすると当然、関連付け処理が開始されてからでない要素の保持は行われなくなる。つまり、関連付け処理全体は(11b)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。

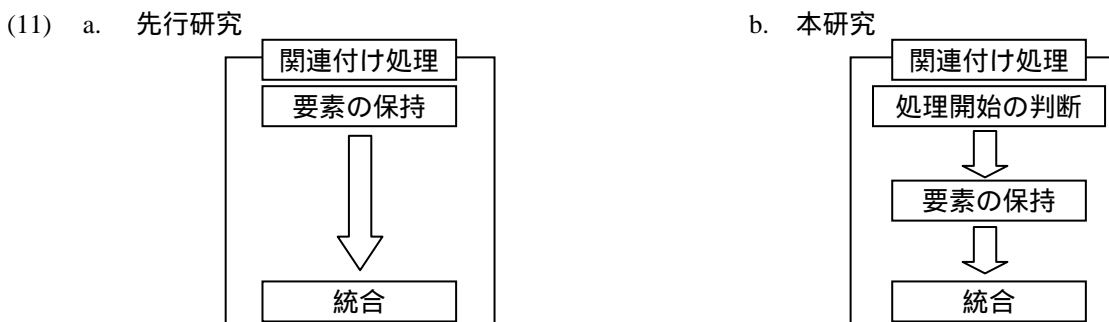


図 1. 関連付け処理のモデル

2.数量詞と名詞句との関連付け

Fiebach *et al.*と Ueno & Kluender で検討された filler-gap の関連付け以外にも、要素間の関係を正しく決定するために、文中の要素同士の関連付けを要する様々な場合がある。本研究では、その中で以下に示すような日本語の数量詞とそれが修飾する名詞句 (host-NP) との関係を観察の対象とする。

- (12) a. 学生が 3 冊図書館で参考書を借りた。
 b. 学生が図書館で 3 冊の参考書を借りた。

通常、(12a)は(12b)と同じ意味であると理解できる。このことから、(12a)のように数量詞と host-NP が隣接せ

¹要素を保持しておく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; King & Kutas, 1995; Rösler *et al.*, 1998 など)。なぜ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、本発表では、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。

ずの一つの名詞句を成していないように見える場合でも，何らかの方法で，これら二つの要素の関連付けが行われていると考えることができる．さらに，(13)に示すように「被依存語（host-NP） 依存語（数量詞）」の逆語順で生起することもある．

(13) 学生が参考書を図書館で3冊借りた．

しかし，これら二つの要素間の依存関係が確立されないと，host-NP の数量に関する意味が導出されない．したがって，数量詞と host-NP が文中でどのような位置にあるとも，両要素間の関連付けが行われなければならず，(12a)，(13)は要素間の関連付け過程を観察するのに適した現象であるといえる．

3.実験 1

(14) 目的

先行研究で取り上げられた filler-gap の関係と同様に，数量詞と host-NP との関係もオンラインで関連付け処理が行われているのかどうかを検証する．

(15) 刺激

- | | | | | | | | | |
|----|-------|-----|------|------|--------|------|------|----|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 |
| a. | 大学生が/ | 3冊/ | 近所の/ | 新しい/ | コンビニで/ | 雑誌を/ | 買った/ | . |
| b. | 大学生が/ | 昨日/ | 近所の/ | 新しい/ | コンビニで/ | 雑誌を/ | 買った/ | . |

filler-gap の関係と同様に，数量詞と host-NP との関係がオンラインで決定されているのであれば，(15a)では，(16)のような処理が行われると考えられる．

(16) a. 数量詞（P2）入力時

wh 要素や scrambled element と同様に，関連付け処理を開始し，数量詞を保持し始める．

b. 数量詞（P2）入力から host-NP（P6）入力まで
適切な関連付けの相手が出現するまで数量詞を保持し続ける．

c. host-NP（P6）入力時
数量詞と host-NP との統合が行われる．

(17) 結果の予測：(15b)と比較して(15a)において

- 前頭部陰性成分が観察される．
- (17a)で観察された前頭部陰性成分が持続する．
- P600 が観察される．

(18) 結果

a. P2 入力時（図 2 参照）

P2 入力後 300-500 ミリ秒間で陰性方向への有意な偏位が前頭部において認められた．

b. P2 入力から P6 入力まで（図 2 参照）

P2 入力後 500-2800 ミリ秒間で陰性方向への有意な偏位の持続が前頭部において認められた．

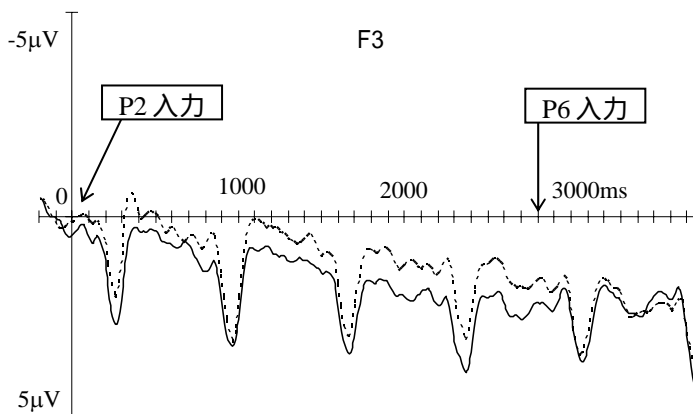


図 2. P2 入力-200 ~ 3800 ミリ秒間の F3 における ERP 波形．破線が(15a)，実線が(15b)．

c. P6 入力時 (図 3 参照)

P6 入力後 400-700 ミリ秒間で陽性方向への有意な偏位 (P600) が頭頂部において認められた。

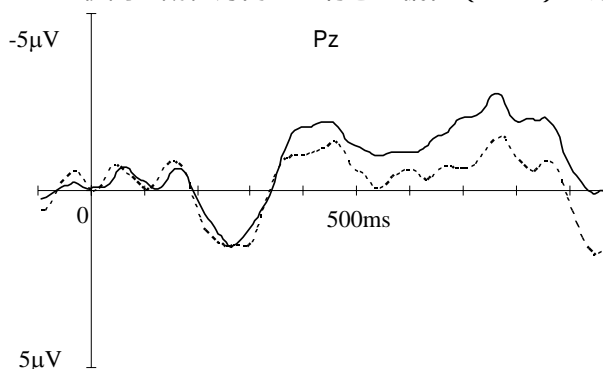


図 3. P6 入力-100 ~ 1000 ミリ秒間の Pz における ERP 波形 . 破線が(15a), 実線が(15b) .

(19) 結果のまとめ

数量詞が入力された時点から, 前頭部陰性成分が観察された . 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持続した . そして, host-NP が入力されると P600 が観察された .

実験 1 の結果から, 「数量詞 host-NP」と入力される場合, (20)のように, 「関連付け処理開始の判断」「要素の保持」「統合」という三段階を経て, 要素の関連付けが行われていると考えることができる .

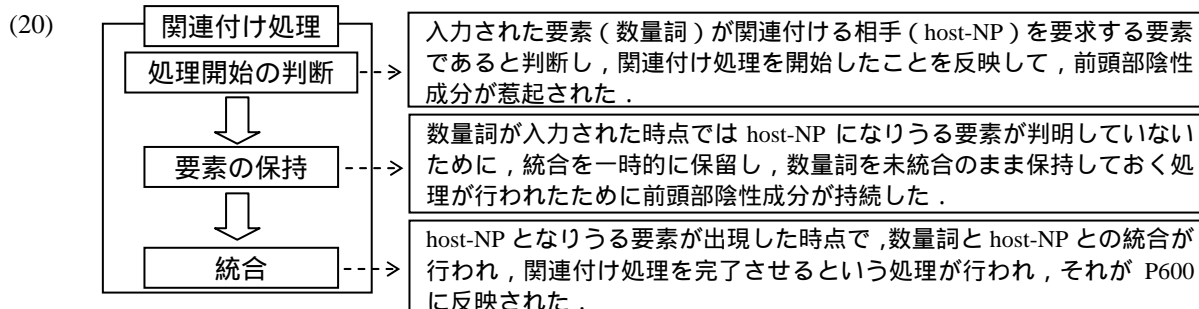


図 4. 実験 1 の結果から考えられること

ただし, 実験 1 では, 数量詞が出現した時点から観察された前頭部陰性成分が, その後, host-NP が出現するまで持続するという結果であったため, 「統合」の前に「判断」と「保持」という区別可能な処理過程があると仮定することが妥当であるかどうかは判然としない . この問題点を解決するためには, 「処理開始の判断」という過程は経るが「要素の保持」は行われぬという場合にどのような処理が行われるかを観察する必要がある . そして, 「処理開始の判断」と「要素の保持」の両方の処理が行われる場合 (実験 1) の ERP と比較し, 「判断」と「保持」を区別することが妥当であるかを検証しなければならない .

4. 実験 2

(21) 目的

「判断」と「保持」という区別可能な認知処理が行われており, ERP を観察することによってそれらを区別することができることを示す .

(22a)は(15a)とは数量詞と host-NP が出現する順序が逆である . (22a)では, 名詞句「雑誌を」が出現した時点で, 読み手はそれと関連付けを必要とする要素 (すなわち, 数量詞) が存在するかどうかを知ることができない . その後, 数量詞「3 冊」が出現した時点ではじめて, 名詞句「雑誌を」が host-NP であることが判明し, host-NP と数量詞の依存関係を確立させるために関連付け処理が行われる .

(22) 刺激

- | | | | | | | | | |
|----|------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|----|
| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 |
| a. | 大学生が | 雑誌を | 近所の | 新しい | コンビニで | 3 冊 | 買った | 。 |
| b. | 大学生が | 雑誌を | 近所の | 新しい | コンビニで | 昨日 | 買った | 。 |

文処理は時間軸に沿って行われるので、時間的に先に入力された要素と後から入力された要素との関係を決定していかなければならない。そこで、一旦出現した要素は、文処理のために常に参照可能な状態にあると考える必要がある（ただし、作動記憶の容量に制限されるが）。そうすると、(22a)において数量詞が出現した時点で、それまでに出現した{大学生が、雑誌を、近所の、新しい、コンビニで}は参照可能な状態にあることになる。(22a)を処理する場合は、(15a)を処理する場合と同様に、要素間の関連付けを行うための「処理開始の判断」という過程は必ず経なければならない。しかし、(15a)を処理する場合と異なり、未統合の要素を「保持」する必要がなくなる。なぜならば、(22a)では、数量詞「3冊」が出現した時点では host-NP「雑誌」がすでに出現しており、参照可能な状態にあるので、数量詞を保持しなくとも統合が行えるからである。したがって、(22a)がどのように処理されるかを観察することによって、(23)のように「処理開始の判断」と「要素の統合」のみからなる処理過程を観察することが可能となると考えられる。

(23)

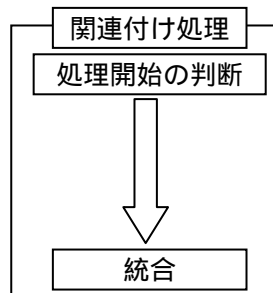


図 5. 「保持」を行わない場合の関連付け処理過程

先行研究および実験 1 で得られた「持続した前頭部陰性成分」に「処理開始の判断」と「要素の保持」という二つの処理が含まれているならば、実験 2 では「処理開始の判断」が行われた後に「要素の保持」が行われないという処理過程を観察することができる。もし、陰性成分が持続しないという結果が得られたならば、「処理開始の判断」が行われた後に「要素の保持」が行われなかったということができる。

(24) P6 入力時

- a. 数量詞が入力され、関連付け処理が開始される。
- b. host-NP となりうる要素がすでに入力されているので、数量詞を保持し続けておく必要はない。
- c. 数量詞と host-NP の統合が行われる。

(25) 結果の予測：(22b)と比較して(22a)において

- a. P6 入力後 300 ミリ秒周辺からの前頭部陰性成分が観察される。
- b. 前頭部陰性成分は持続しない。
- c. P600 が観察される。

(26) 結果

- a. P6 入力後 300-500 ミリ秒間で陰性方向への有意な偏位が前頭部において認められた。
- b. (26a)の陰性成分は持続しなかった。
- c. P6 入力後 500-800 ミリ秒間で陽性方向への有意な偏位(P600)が頭皮上全体にわたって認められた。

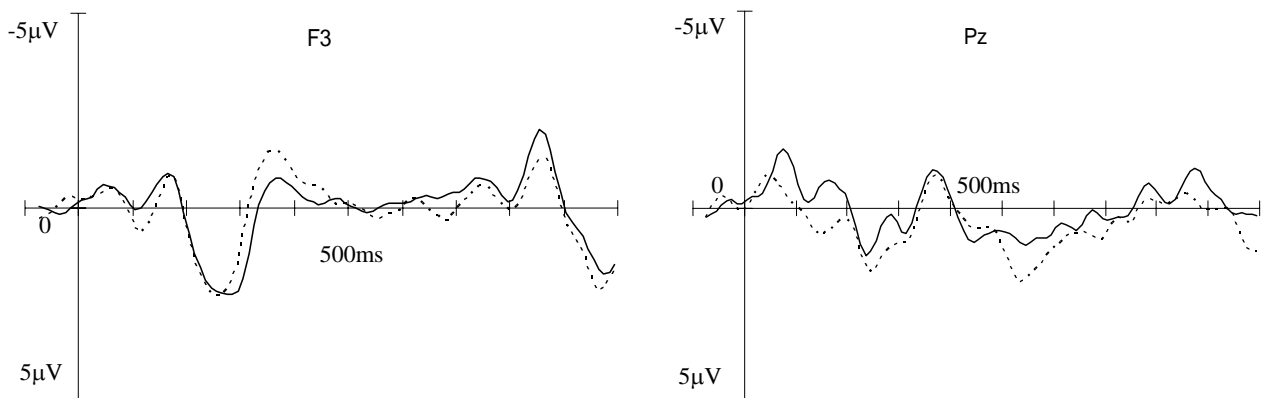


図 6. P6 入力-100 ~ 1000 ミリ秒間の F3, Pz における ERP 波形。破線が(22a)、実線が(22b)を示す。

(27) 結果のまとめ

数量詞が入力されてから 300-500 ミリ秒間で前頭部において陰性成分が観察された(図 6 の F3 の波形を参照)。さらに、その陰性成分が収束したのちに、P600 が認められた(図 6 の Pz の波形を参照)。

(28) 考察

a. 前頭部陰性成分について

実験 2 では、「host-NP 数量詞」の語順になっており、数量詞が出現した時点で、host-NP になりうる要素がすでに出現している。よって、数量詞を保持するという操作自体必要ではない。したがって、実験 2 で観察された前頭部陰性成分は、「関連付け開始の判断」のみを反映しており、「未統合の要素の保持」という処理過程は反映されていないと考えられる。

b. P600 について

実験 2 で用いた(22b)の場合、数量詞が出現した時点ですでに host-NP となるべき要素が出現している。数量詞が出現した時点で関連付け処理が開始され、適切な要素との統合が行われるのであれば、統合操作は数量詞が入力された時点で可能となる。つまり、数量詞が出現した時点で、その数量詞と既出の名詞句(host-NP)との間で統合操作が行われる。したがって、この P600 は実験 1 と同様に、「統合」を反映した成分であると解釈される。

5.まとめ

実験 1 の結果から、数量詞と host-NP の関係は、filler と gap の関係と同様にオンラインの文処理において、その依存関係を決定するための処理が行われていることが示された。さらに、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られることができる。したがって、本研究で行った実験の結果から、要素間の関係を決定する際には以下のような手順に従って処理が進められているといえる。

(29) 処理の手順

- i. 出現した要素が関連付けの相手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。
- ii. 関連付け処理を開始した時点では統合が行えない場合、適切な関連付けの相手が判明するまで要素を未統合のまま保持しておく。
- iii. 関連付けの相手となりうる要素が判明した時点で、それら二つの要素を統合し、関連付け処理を完了する。

(30)

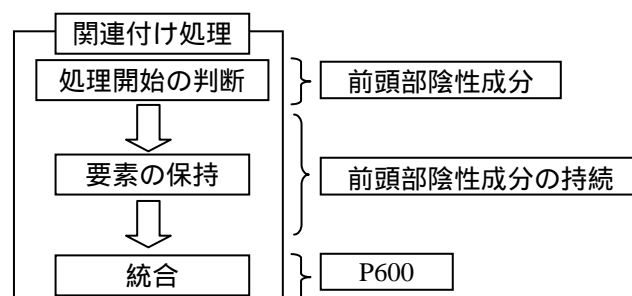


図 7. 関連付け処理過程とそこに含まれる下位処理を反映する ERP 成分

参考文献

- Fiebach, C. J., M. Schlesewsky, and A. 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.
- Kaan, E., A. Harris, E. Gibson, and P. Holcomb (2000) P600 as an index of syntactic integration difficulty. *Language and Cognitive Processes* 15: 159-201.
- King, J. W. and M. 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.
- 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.
- Rösler, F., T. Pechmann, J. Streb, B. Röder and E. 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.
- Ueno, M. and R. Kluender (2003) Event-related brain indices of Japanese scrambling. *Brain and Language* 86: 243-271.