

いわゆる Semantic P600 は独立した意味処理ストリームの存在を示す証拠たりえるのか？

大石 衡 聡

(立命館大学)

oishih@fc.ritsumei.ac.jp

キーワード：文処理、事象関連電位、ERP、P600、Semantic P600、N400

1. 序論

1.1. 研究の背景

われわれ人間は時間軸に沿って漸進的に入力される言語音ないしは文字の連続から語を同定し、同定された複数の語を組み合わせることで句や節といったより大きな単位の心的表象を構築し、それを基に文の意味を理解している。このような高度な認知的処理を実現している心的装置である言語処理装置がどのようなシステムであるのかを明らかにするために、1970年代以降、多くの研究成果が積み重ねられてきている。特に、語と語を組み合わせるにあたって言語処理装置がどのような言語情報をいつ、どのように利用しているのかという問題について議論が活発に行われてきた。80年代では、言語処理装置は初期分析の際には文の持つ様々な言語情報のうちで統語的情報のみを利用して文の心的表象を構築するという説が主流であった (e.g., Ferreira & Clifton, 1986; Frazier & Rayner, 1982)。しかし 90年代に入ると、初期分析の段階でも言語処理装置が統語的情報だけでなく、語の持つ語彙意味的な情報 (名詞の有生性など) といった非統語的情報をも利用していることを示唆する実験結果が報告されるようになった (e.g., MacDonald, Pearlmutter, & Seidenberg, 1994; Trueswell & Tanenhaus, 1994)。ただし、初期分析段階で非統語的情報が利用されていることが経験的に取り出されたのは一時的構造曖昧性の解消過程においてのみであり、一時的構造曖昧性が無い場合の言語処理装置の振る舞いについては明らかではなかった。

1.2. 複数の独立した処理ストリームが存在する可能性

しかしながら、2000年代半ば頃から、一時的構造曖昧性が無い場合であっても非統語的情報（特に意味的情報）が文の心的表象の構築に影響を及ぼしていることを示唆する研究成果が報告されるようになり、大いに注目を浴びた。その中のパイオニア的な研究の一つである Kuperberg, Sitnikova, Caplan, and Holcomb (2003) では、(1a) のように統語的にも意味的にも問題の無い文、(1b) のように統語的には問題ないが、ターゲット語が先行文脈に関連の無いものである文、さらに (1c) のように統語的には問題ないが、名詞句の意味役割に問題のある文を被験者が黙読している間の事象関連電位 (event-related potential: ERP) を測定した。¹

- (1) a. For breakfast the boys would only eat toast and jam.
- b. For breakfast the boys would only bury toast and jam.
- c. For breakfast the eggs would only eat toast and jam.

実験の結果、ターゲット語（下線が引いてある語）を呈示してから約400ミリ秒後にピークを迎える陰性電位である N400 という ERP 成分の振幅が (1a) に比べて (1b) で有意に大きくなっていることが明らかになった。N400 成分の振幅は、新たに入力された語の意味を既に入力された語によって構築された先行文脈に組み入れる際の負荷に比例して増大することが数多くの先行研究によって示されており (e.g., Kutas & Hillyard, 1980; 1984)、(1b) で観察された N400 振幅の増大はそのような先行研究における発見と合致するものであった。(1c) のターゲット語も (1b) と同様に文の意味に問題を生じさせるものであるため、N400 振幅が増大すると予測された。しかしながら、実際には N400 振幅は増大せず、ターゲット語の呈示後、約600ミリ秒後にピークを迎える陽性電位である P600 という成分の振幅が (1a) に比べて有意に大きく増大した。P600 成分の振幅は文処理の統語的側面における負荷に比例して増大することが多くの研究によって示されている (e.g., Hagoort, Brown, & Groothusen, 1993; Osterhout & Holcomb, 1992)。(1c) には統語的な問題は無いにも関わらず P600 振幅の増大が観られたことから、Kuperberg et al. は内容語の意味

¹ ERP とは、外的あるいは内的事象に時間的に関連して惹起 (elicit) される一過性の脳電位変動で、 α 波や β 波といった自発脳波 (Electroencephalogram: EEG) に重畳して記録される (詳しくは入戸野 (2005) などを参照されたい)。

役割に関する情報が文の心的表象の統語構造を構築し直すこと（すなわち、“the eggs”が“eat”の「行為者 (Agent)」ではなく「対象 (Theme)」となるような統語構造を再構築すること）を促したと主張した。

もし語彙意味情報が文の心的表象の統語構造の再構築を促したという Kuperberg et al. の主張が正しければ、(1c) で P600 成分の増大が観察されたという事実は一時的構造曖昧性が無い場合には心的表象の構築に非統語的情報は利用されないと想定する理論への明確な反証となる。この研究を機に、初期分析段階において非統語的情報（特に意味的情報）が一時的構造曖昧性が無くても積極的に利用されていることを経験的に示すための研究が盛んに行われるようになった (Kim & Osterhout, 2005; Kolk, Chwilla, van Herten, & Oor, 2003; Kos, Vosse, van den Brink, & Hagoort, 2010; Kuperberg, Kreher, Sitnikova, Caplan, and Holcomb, 2007; Kuperberg, Sitnikova, Caplan, and Holcomb, 2003; van Herten, Chwilla, & Kolk, 2006; among others)。それらの先行研究から一般化できることは、統語的情報に基づけば世界知識 (world knowledge) に合致しない意味解釈が得られるが、文中の内容語の語彙意味情報に基づいて意味役割を付与すれば世界知識に合致する意味解釈となるような文の場合には、例外なく、(i) N400 成分の振幅は増大せず、(ii) P600 成分の振幅が増大するということである。

(i) と (ii) の両方を説明するための理論がこれまでにいくつも提唱されているが (e.g., Bornkessel-Shlesewsky & Schlewsky, 2008; Kim & Osterhout, 2005; Kos, Vosse, van den Brink, & Hagoort, 2010; Kuperberg, 2007; van Herten, Chwilla, & Kolk, 2006; for a review, see Brouwer, Fitz, & Hoeks, 2012)、それらは概ね以下のようなアイデアを共有している：(a) 内容語の語彙意味的情報を参照して心的表象を構築する処理ストリーム（以下、便宜的に意味処理ストリームと呼ぶ）が、文の持つ形態統語的情報のみに基づいて心的表象を構築する処理ストリーム（以下、統語処理ストリーム）とは独立して存在する (b) N400 成分の振幅は意味処理ストリームの出力の語用論的妥当性に敏感である (c) 各処理ストリームの出力が統合されて最終的な心的表象が決定されるが、この統合の際に出力間で競合が生じた場合にはその競合を解消するための処理負荷が生じ、それを反映して P600 成分の振幅が増大する。例えば、上記の (1c) に関して言うと、動詞 “eat” は無生物名詞である “egg” に「行為者」の意味役割を付与することはできない。さらに、我々の持つ世界知識に照らして考えれば “egg” は “eat” の対象となって然るべきである。したがっ

て、意味処理ストリームの出力は“egg”を“eat”の「対象」とするものとなる。N400 成分の振幅がこの出力の語用論的妥当性に敏感だと考えれば (1c) のような文では N400 振幅の増大が観察されないことに妥当な説明を与えることができる。そしてこの出力は形態統語的情報に基づいて構築された出力 (“egg”を“eat”の「行為者」とするもの) と合致しないため、統合の際に出力間で競合が生じ、P600 振幅が増大すると説明される。

しかしながら、各処理ストリームの出力間に相違があったからといって必ずしも P600 振幅が増大するわけではないということも分かっている。例えば Kim and Osterhout (2005) では (2b) のように内容語間の意味的関連性が強い場合には有意に振幅の大きな P600 成分が観察されたが、(2c) のように内容語間の意味的関連性が弱い場合には P600 成分の振幅は増大せず、N400 成分の振幅の増大のみが観察されている。²

- (2) a. The hearty meal was devoured ...
 b. The hearty meal was devouring ...
 c. The dusty tabletops were devouring ...

また、Van Herten, Chwilla, and Kolk (2006) では (3b) のように動詞とその項のうちの一つの間の意味的関連性が強い場合には P600 振幅の増大が、(3c) のように動詞と項の間の意味的関連性が弱い場合には N400 成分の増大が観察されている。

- (3) Jan zag dat ...

John saw that

- a. de olifanten de bomen omduwden ...
the elephant the trees pushed-over
b. de olifanten de bomen snoeiden ...
the elephant the trees pruned
c. de olifanten de bomen verwenden ...
the elephant the trees caressed

以上の発見から、意味処理ストリームの出力が（ある一定の閾値を超え

² ただし、Kim and Osterhout (2005) と同じ実験文を用いて ERP 実験を実施した Stroud (2009) では N400 に加えて P600 の増大も観察されている。

る程度) 語用論的に妥当な場合には、出力間の統合の際に統語処理ストリームの出力との間で競合が生じ、その解消の困難さを反映して P600 の振幅が増大すると主張されている (e.g., Kuperberg, 2007)。一方で意味処理ストリームの出力が語用論的に妥当でない場合、その出力の情報価は統語処理ストリームの出力と競合するほど強くない (e.g., Kim & Osterhout, 2005)、ないしは統合自体が実行されない (e.g., Bornkessel-Schlesewsky & Schlewsky, 2008) ため、P600 の振幅は増大しないと主張されている。

1.3. 先行研究の問題点

1.2.節をまとめると、これまでに以下のような主張がなされている：(i) 語彙意味的情報に特化した処理ストリームが形態統語的情報に特化したそれとは独立して存在し、(ii) N400 振幅は前者の出力の語用論的妥当性に敏感であり、(iii) 一時的構造曖昧性の有無に関係なく各処理ストリームの出力が統合されることで最終的な心的表象が決定されており、(iv) 統合の際に競合が生じた際には P600 振幅が増大する。

しかしながら、意味処理ストリームの出力が語用論的に妥当でないにも関わらず N400 に加えて P600 の振幅が増大したという、(iv) に明らかに矛盾する実験結果が数多く報告されていることに注意しなければならない (e.g., Hoeks, Stowe, & Doedens, 2004; Kolk, Chwilla, van Herten, & Oor, 2003, Experiment 1; van Herten, Chwilla, & Kolk, 2006, Experiment 1; van de Meerendonk, Kolk, Vissers, & Chwilla, 2010)。上記の (iv) の仮説の支持者たちは、このような矛盾を解消するために、下記の Kolk, Chwilla, van Herten, and Oor (2003) の研究成果を援用する。Kolk et al. は実験 1 では文の呈示終了後に文の容認性判断課題を課し、(4b) を呈示した際に (4a) に比べて N400 成分と P600 成分の両方の振幅が有意に大きいことを発見した。しかしながら、実験 2 では文の呈示終了後に文の容認性判断課題を課さなかったところ、(4b) では N400 成分のみが振幅が有意に大きく、P600 成分の振幅に関しては (4a) と有意な差が無いことを発見した。

- (4) a. De bomen die in het park stonden ...
the trees that in the park stood
b. De bomen die in het park speelden ...
the trees that in the park played

以上の発見から、先行研究では意味処理ストリームの出力が語用論的に妥当ではない文で観察される P600 振幅の増大は、出力間の競合によるものではなく、容認性判断課題のような二次的課題に関連したものと主張されている (e.g., Bornkessel-Schlesewsky & Schlewsky, 2008; Kuperberg, 2007)。

しかしながら、意味処理ストリームの出力が語用論的に妥当な文で観察される P600 成分 (便宜的に **Semantic P600** と呼ぶ) と意味処理ストリームの出力は語用論的に妥当ではないが、文の容認性判断課題等の二次的な課題が課されている場合に観察される P600 成分 (便宜的に **task-relevant P600**) とが異なる認知的処理を反映しているという先行研究の主張には問題がある。まず、**Semantic P600** と **task-relevant P600** とが質的に異なることを経験的に示した研究は現時点では見当たらない。ERP 成分は、その極性 (陽性/陰性)、潜時 (出現のタイミング)、頭皮上分布、実験操作に対する振幅や潜時の変化のパターンという 4 つの点で定義される。ある 2 つの ERP 成分が異なる認知的処理を反映しているというためには、それらが質的に異なる、すなわち上述の 4 つの点のいずれか (あるいは複数の組み合わせ) が異なることを示す必要がある。著者の判断する限りでは、関連の先行研究で報告された P600 成分の形態的特徴に明確な違いは認められない。³ さらに、**Semantic P600** が観察されたと報告している研究でも文の容認性判断課題 (ないしは文法性判断課題) が課されているため、**Semantic P600** は出力間の競合を反映しているのではなく、**task-relevant P600** と同様に、単に課題に関連した成分である可能性が考えられる。実際に、文の容認性判断課題と **Semantic P600** との関連性は先行研究でも指摘されている。例えば Kuperberg (2007) は文の容認性判断課題による影響について次のように述べている。

... an acceptability judgment may bias readers or listeners towards

³ 表面的には同じ ERP 成分の変化のパターンを示していても脳内では異なる認知的処理が実行されている可能性はある。Hagoort, Hald, Bastiaansen, and Petersson (2004) は被験者の持つ世界知識から逸脱した文と、意味的に逸脱した文の両方で同様の N400 成分の変化のパターンが観察されたことを示した上で同じ脳波データを時間周波数解析にかけ、それぞれの文に対して異なる周波数帯域での脳活動が活性化することを示している。**Semantic P600** と **task-relevant P600** とが異なる周波数帯域での活動の活性化を示すかどうかを検証した研究は、現在のところ見当たらない。

paying particular attention towards any potential plausibility driven by semantic associative relationships as discussed above. This might, in turn, enhance the conflict between such coherent associative relationships and the violated thematic roles actually assigned by the syntax, once again evoking a P600 effect. (Kuperberg, 2007, p.35)

上記の引用から明らかなように、文の容認性判断課題を課すことによって意味処理ストリームの出力が通常よりも（すなわち、容認性判断課題を課さない場合よりも）重視されることとなり、その結果、統語処理ストリームの出力との間の競合の度合いが強まると考えられている。しかしながら、最後の部分で *“once again evoking a P600 effect”* と述べられていることから、容認性判断課題を課さなくても競合は生じ、それを反映して Semantic P600 が惹起されると想定されていることは明らかである。しかしながら、容認性判断課題を課すこと無しに Semantic P600 が惹起されるかどうかは現時点では明らかになっていない。

そこで本研究では容認性判断課題を課さなくても Semantic P600 が観察されるのか、ひいては独立した意味処理ストリームの存在を想定する必要があるのかどうかについて明らかにするための実験を実施する。それにあたって本研究では、下記 (5a, b) のような日本語の文ペアを呈示した際の脳波を測定した。

- (5) a. 樹上のコアラが緑色のユーカリにかぶりついた。
 b. 緑色のユーカリが樹上のコアラにかぶりついた。

(5b) は、統語的にも意味的にも問題の無い文である (5a) の主語位置にある名詞句と目的語位置にある名詞句との統語的位置を逆転させて構成された文である。もし先行研究の主張が妥当ならば、(5b) では意味処理ストリームの出力は語用論的妥当性が高いため統語処理ストリームの出力との間に競合が生じ、その結果、文の容認性判断課題の有無に関係なく (i) N400 振幅は増大せず (ii) Semantic P600 が観察されると予測される。一方で、Semantic P600 が二次的課題に関連した ERP 成分であるならば、(5b) では Semantic P600 は観察されないと予測される。

2. 実験

2.1. 実験方法

被験者：日本語を母語とする 20 名の大学生が実験に参加した（男性 9 名、平均年齢 21.2 歳）。Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971) に基づく利き手調査により全員が右利きであることが確認された。また、全員が正常な視力（矯正を含む）を持っており、神経性疾患の前歴は無いと報告した。測定の前に脳波測定装置の安全性や個人情報等の扱いについて説明を行い、被験者からインフォームド・コンセントを得た上で同意書に署名を求めた。測定の終了後、謝金の受け取りに必要な手続きを行った。

実験の材料：(5a, b) のような統制条件・ターゲット条件のペアを 60 セット作成した。それらをラテン方格法に従って 2 つのリストに分配し、一人の被験者にペアのうち的一方のみを呈示するようにした。各リストには 180 文のフィラー文が加えられた。フィラー文はすべて統語的にも意味的にも問題の無い文であった。

実験の手順：実験文は実験者ペースで文節毎に CRT 画面中央に呈示した。刺激呈示は E-Prime2 (Psychology Software Tools 社) を用いた。刺激の呈示順序は以下の通りである。まず、注視点「+」を 700 ミリ秒間呈示し、その 300 ミリ秒後から文節の呈示を開始した。各文節は 600 ミリ秒間呈示された。刺激間隔は 100 ミリ秒であった。文の終わりに必ず句点を単独で呈示した。句点が消失してから 1500 ミリ秒後に次の試行を開始した。本研究の目的に即して文の呈示終了後に容認性判断課題は課さなかったが、被験者の集中力の低下を避けるために 5 文に一度程度の割合で Yes/No 判断課題を課した。課題の内容は、直前の文の内容と呈示されている文の内容とが一致するかどうかを判断させるというものであった（例えば (5a) を呈示した後で「コアラは笹の葉にかぶりついたの？」など）。被験者はレスポンスボックスの 2 つのボタンのうちの片方を押すことで解答した。正答が Yes の数と No の数は半数ずつとした。また、本実験の前に練習試行を 8 試行実施した。本実験では 30 試行を 1 ブロックとし、1 ブロックが終わった後、5 分程度の休憩を挟み、次のブロックを開始した。

脳波測定：左耳朶を基準電極とし、国際 10-20 法に従って Fz, Cz, Pz（以下、正中線と呼ぶ）、FC1, FC2, CP1, CP2（以下、中間部と呼ぶ）、F3, F4, C3, C4, P3, P4（以下、側頭部と呼ぶ）の位置に接着したアクティブ電

極から脳波を測定した。接地電極は FPz とした。オフラインでデータ解析をする際には、両耳朶の平均値を基準値として電位量を算出した。左目の横と右目の下に電極を1つずつ接着し、瞬きと眼球運動を監視した。脳波の測定・記録には Compumedics Neuroscan 社の SynAmps 2 を使用した。サンプリング周波数は 1000 ヘルツとし、DC から 100 ヘルツまでの周波数の電位を記録した。

ERP 解析：ターゲット語（文末動詞）を呈示した際の脳電位変動（すなわち ERP）を比較するために、ターゲット語の呈示前 100 ミリ秒から呈示後 1000 ミリ秒までの区間を分析区間とした。ターゲット語が呈示される前 100 ミリ秒間の平均値をベースラインとした。±50 マイクロボルトを超える電位を含む試行や、視診によって明確なアーチファクト（ドリフトなど）が確認された試行は加算対象から除外した。ERP の加算や波形の作成には EEGLAB (<http://sccn.ucsd.edu/eeglab/> からダウンロード可能) を使用した。

ターゲット語の呈示後、視診の結果に基づいて設定した潜時帯の平均電位について、以下の反復測定分散分析を実施した。正中線で得られたデータに対しては文タイプ（2水準：主語が有生名詞／無性名詞）と電極位置（3水準：Fz／Cz／Pz）を要因とする2要因分散分析を、中間部で得られたデータに対しては文タイプ、電極位置（2水準：前／後）、半球（2水準：右半球／左半球）を要因とする3要因分散分析を、そして側頭部で得られたデータに対しては文タイプ、電極位置（3水準：前頭／中央／頭頂）、半球を要因とした3要因分散分析を実施した。自由度が1より大きい反復測定を含む分散分析では、球面性の仮定からの逸脱を補正するために、球面性の検定が有意であった被験者内要因については Greenhouse-Geisser のイプシロンによる調整を行った。その場合には補正された p 値を報告する。

2.2. 実験結果

N400 潜時帯：ターゲット語を呈示した際の ERP 波形を条件毎に図1に示す。図1から明らかなように、潜時350ミリ秒辺りから550ミリ秒辺りまで、特に中心部から頭頂部にかけて統制条件に比べてターゲット条件

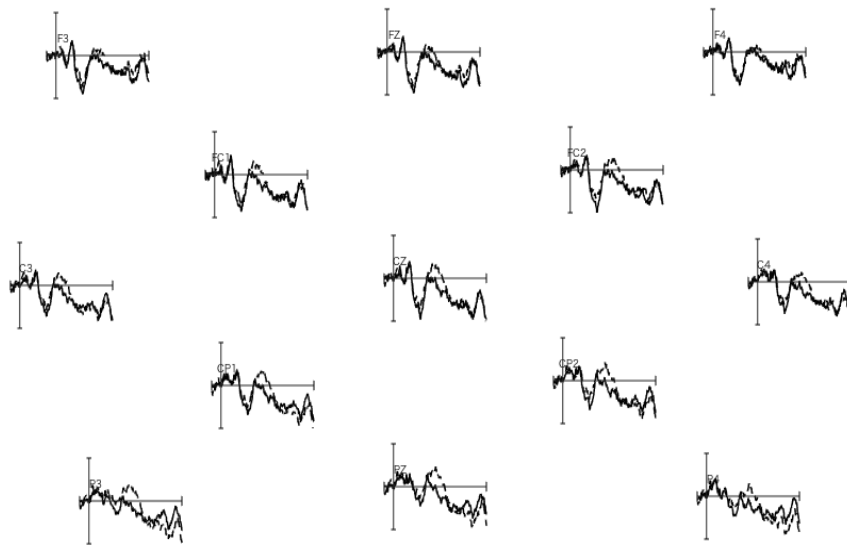


図1. ターゲット語を呈示した際の条件別 ERP 総加算波形 (N=20)。実線が統制条件、破線がターゲット条件の波形。横軸は時間(ターゲット語呈示前100ミリ秒から呈示後1000ミリ秒まで)、縦軸は電位量(1目盛り4マイクロボルト)を表す。陰性方向が上向き。

でERPが大きく陰性方向に偏位していた。そこで潜時350-550ミリ秒間の平均電位について上記の分散分析を実施した結果、正中線では文タイプの主効果および文タイプと電極位置の交互作用がそれぞれ有意傾向であり(主効果: $F(1,19)=3.75, p<.10$; 交互作用: $F(2,38)=3.65, p>.10$)であった。下位検定を実施した結果、文タイプの単純主効果がCzでは有意傾向で($p<.10$)、Pzでは有意であった($p<.05$)。中間部では文タイプの主効果が有意傾向であった($F(1,19)=4.26, p<.10$)。最後に、側頭部では文タイプの主効果が有意傾向であったが($F(1,19)=3.79, p<.10$)、文タイプと電極位置の交互作用が有意であった($F(2,38)=5.54, p<.01$)。下位検定の結果、文タイプの単純主効果が中央で有意傾向($p<.10$)、頭頂で有意であった($p<.05$)。

P600 潜時帯：視診によると、P600の潜時帯には条件間で明らかな差は確認できなかった。ただし、頭頂部でのみ潜時600ミリ秒辺りから900ミリ秒辺りまで条件間で波形に差が観られたため、潜時600-900ミリ秒間の平均電位について上述の分散分析を実施した。その結果、有意な文

タイプの主効果および単純主効果は一切観察されなかった ($ps > .10$)。

3. 論議

本研究で実施した実験では、文中の内容語の語彙意味的情報に基づけば語用論的に妥当な意味解釈が得られる文のターゲット語を呈示した際、文の呈示後に容認性判断課題を課さなくても P600 成分の振幅が増大するかどうかを検証した。実験で使用した実験文の一例を以下に再掲する。

- (6) a. 樹上のコアラが緑色のユーカリにかぶりついた。
b. 緑色のユーカリが樹上のコアラにかぶりついた。

先行研究の主張に依拠して考えると、(6b) に対する意味処理ストリームの出力は語用論的妥当性が高いことから (i) N400 成分の振幅は増大せず、(ii) 統語処理ストリームの出力と競合するため P600 成分の振幅が増大すると予測された。しかしながら、ターゲット語である動詞を呈示した際の ERP を比較した結果、(6a) に比べて (6b) で中心部から頭頂部にかけて N400 成分の振幅が増大し、一方で P600 成分の振幅には有意な差は観察されなかった。これらの発見は、内容語の語彙意味的情報に基づけば語用論的に妥当な意味解釈が得られる文であっても、文の容認性判断課題の有無によって処理のされ方が大きく異なってくることを明示するものである。

3.1. 文の容認性判断課題による N400 成分への影響

まず、本研究において (6b) のように文中の内容語の語彙意味的情報に基づけば語用論的に妥当な意味解釈が得られる文で N400 の振幅が増大したという事実は (6b) を解釈するための心的表象が統語的情報に基づいて構築されたということを示唆している。では、なぜ先行研究では (6b) のような文で N400 振幅の増大が観察されなかったのであろうか。それを説明するにあたって、本研究では近年の N400 成分の機能的意義についての研究成果を援用することが有用であると考えられる。Kutas と Federmeier のグループによる近年の一連の研究により、N400 の振幅量は新たに入力された語の情報を心的辞書 (mental lexicon) から取り出すことの困難さの関数であり、その困難さはその語の入力に対する先行文脈や読者の持つ世界知識からの予測可能性によって決定されることが示唆されている。

(Federmeier & Kutas, 1999; Kutas & Federmeier, 2000)。例えば (1c) を例にとると、まず “For breakfast” という前置詞句により当該の文が朝食の場面についてのものであることが予想される。続いて “the eggs” が入力されることで「食べる」ことに関連する語が後続することが予測される。したがって “eat” という語の入力は予測の範囲内であり、心的辞書から取り出すのが容易なため N400 振幅が増大しなかったと説明される。一方で (1b) では朝食という文脈から “bury” という語の入力を予測できる可能性は極めて低く、それゆえに心的辞書から取り出すのに労力を要するため、N400 成分の振幅が増大すると説明される。

上記の説明を踏まえて本研究の実験結果と先行研究のそれとの間の乖離の原因について検討する。文の先行文脈は文中の内容語によって構成されるため、本研究の実験文における動詞が入力される前までに構成された先行文脈は統制条件とターゲット条件とで同一のはずである。したがって、ターゲット語である動詞（かぶりついた）を心的辞書から取り出す労力も同一のはずである。それにもかかわらず N400 成分の振幅に有意差が観られたということは、本研究では被験者が先行文脈に基づく後続の語の予測を積極的には行っていなかった可能性が考えられる。すなわち文の容認性判断課題の有無が、後続の語の予測を積極的に行うか、それともそのような予測は行わずに入力されてくる語を受動的に受け取るかの決定に影響しているのかもしれない。⁴

3.2. 文の容認性判断課題による P600 成分への影響

上述のように文の呈示後に容認性判断課題を課した先行研究では、内容語の語彙意味の情報に基づく解釈の語用論的妥当性の高低に関係なく P600 振幅の増大が観られた。一方で、容認性判断課題を課さなかった本研究では P600 成分の振幅の増大は観られなかった。本研究の実験結果を受け、まず、Semantic P600 は複数の処理ストリームの出力間の競合を反映しているという先行研究の仮説によって本研究の実験結果に対して妥当な説明が可能かどうか検討してみる。先述の通り、本研究で観察された N400 成分の振幅の増大は、構築された最終的な心的表象の語用論的妥当性の低さを反映していると考えられる。したがって、先行研究の主張の妥

⁴ もしそうだとすれば、(1b) に対する N400 (予測に対する不一致を反映) と (6b) に対する N400 (得られた解釈の語用論的妥当性の低さを反映) は質的に異なる成分である可能性がある。このことについては今後の検討課題とする。

当性を保持するためには、意味処理ストリームの出力は本来、統語処理ストリームの出力と競合を起こすほどには情報価は高くなく（それゆえに統語処理ストリームの出力に基づいて最終的な心的表象が構築される）、容認性判断課題を課されて初めて重視される（それゆえに統語処理ストリームの出力と競合を起こし、P600 振幅が増大する）と考える必要があるだろう。

一方で、3.1.節で議論したように、文の容認性判断課題を課すことによって先読みが積極的になされるというアイデアを拡張すれば、P600 の機能的意義に関する従来の解釈を用いた自然な説明が可能となる：文の容認性判断課題を課されたことによって後続の語の予測が積極的に行われ、それに伴い、入力された名詞句の意味役割が暫定的に付与される。どのような語が後続されるのかを予測するのであれば、既存の語と予測される語とがどのような関係となるのかについても検討すると考えるのは不自然ではないであろう。したがって、Semantic P600 が観察された先行研究においては、その暫定的な意味役割に合致しない項構造を持つ動詞が入力されたため、入力された動詞が要求する項構造に合致するように心的表象の統語構造を構築しなおすための再分析処理が行われたのかもしれない。それに対し本研究の場合、そのような暫定的な意味役割付与などは行われていなかったため、再分析処理を行う必要もなく、したがって P600 成分の振幅も増大しなかったと考えられる。

文の容認性判断課題のような外的要因が影響して言語処理装置が通常とは異なる処理を実行することを示唆する研究として Kuperberg, Kreher, Sitnikova, Caplan, and Holcomb (2007) が挙げられる。Kuperberg et al. (2007) は Kuperberg, Sitnikova, Caplan, and Holcomb (2003) で用いた3つのタイプの文（上記 (1a-c) 参照）に加えて “For breakfast the eggs would plant ...” のようにターゲット語が先行文脈に関連性がなく、かつ意味役割の付与に問題が生じるような文を被験者が黙読している際の脳波を測定した。説明の便宜上、実験文を以下に記す。

- (7) a. For breakfast the boys would eat ...
- b. For breakfast the boys would plant ...
- c. For breakfast the eggs would eat ...
- d. For breakfast the eggs would plant ...

実験の結果、まず (7c) ではターゲット語を呈示した際に P600 成分の振幅

の増大が観察され、Kuperberg et al. (2003) の結果が再現された。(7d) では N400 成分と P600 成分の両方で振幅の増大が予測されたが、実際には後者のみで振幅の増大が観察された。さらに、Kuperberg et al. (2003) では N400 振幅のみの増大が観察された (7b) では、(7c, d) に比べると有意に小さいが、(7a) に比べると有意に大きな P600 成分も観察された。このように Kuperberg et al. (2007) では Kuperberg et al. (2003) やその他の関連のある先行研究とはかなり異なる結果が得られている。ここで注目したい事実は、Kuperberg et al. (2007) はフィラー文を呈示せず、そのため全実験文のうち半分が意味役割付与に問題が生じる文であったということである。Kuperberg et al. (2007) は (7b) で P600 の振幅の増大も観察されたことに関して、「文の容認性判断課題に加えて全体の 50% の文で意味役割付与に関する問題があったことから、(7b) のような文であっても意味役割付与に関して問題があるのではないかと被験者が疑ってかかった可能性がある (p. 236)」と述べている。このことは実験内でのある条件の文に対する処理の内容が他の条件の文の処理に影響を及ぼす可能性を示唆しているといえよう。

4. 結語

本研究の実験の結果から、「統語情報に基づけば語用論的妥当性の低い解釈となるが、語彙意味的情報に基づけば語用論的妥当性の高い解釈が得られる文」を処理する際の脳活動が、文呈示後に容認性判断課題を課すか否かによって大きく異なることが明らかになった。本研究では N400 成分の機能的意義についての近年の研究成果を援用し、文の容認性判断課題が課された場合には (i) 言語処理装置が通常よりも積極的に先読みを行っており、(ii) そのことによって意味役割付与に関する問題が生じて再分析処理が行われ、その結果 P600 振幅が増大するという可能性を指摘した。このように、先行研究のように「出力間の競合」という概念を新たに持ち出さなくても妥当な説明が可能であることから、本研究ではいわゆる Semantic P600 は課題に関連した成分であり、意味処理ストリームが独立して存在することの証拠にはならないと主張する。

謝辞

本研究は日本学術振興会 科学研究費若手研究 (B) 25770168 (研究代表者：大石衡聴) の助成を受けて行われた。本研究の計画立案、実験の実施

に尽力して下さった馬塚れい子チームリーダー、神長伸幸研究員を始め、理化学研究所脳科学総合センター言語発達研究チームのスタッフの皆さんに深く感謝する。本稿における一切の不備や誤りは、無論、筆者の責任である。

参考文献

- Bornkessel-Schlesewsky, I., & Schlewsky, M. (2008). An alternative perspective on semantic P600 effects in language comprehension. *Brain Research Reviews*, 59, 55–73.
- Brouwer, H., Fitz, H. & Hoeks, J. C. J. (2012). Getting real about Semantic Illusions: Rethinking the functional role of the P600 in language comprehension. *Brain Research*, 1446, 127–143.
- Federmeier, K. D., & Kutas, M., (1999). A rose by any other name: long-term memory structure and sentence processing. *Journal of Memory and Language*, 41, 469–495.
- Ferreira, F., & Clifton, C., Jr. (1986). The independence of syntactic processing. *Journal of Memory and Language*, 25, 348–368.
- Frazier, L., & Rayner, K. (1982). Making and correcting errors during sentence comprehension: Eye movements in the analysis of structurally ambiguous sentences. *Cognitive Psychology*, 14, 178–210.
- Hagoort, P., Brown, C., & Groothusen, J. (1993). The syntactic positive shift (SPS) as an ERP measure of syntactic processing. In S. M. Garnsey (Ed.), *Language and Cognitive Processes. Special issue: Event related brain potentials in the study of language* (Vol. 8(4), pp. 439–483). Hove: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hoeks, J. C. J., Stowe, L. A., & Doedens, G. (2004). Seeing words in context: The interaction of lexical and sentence level information during reading. *Cognitive Brain Research*, 19, 59–73.
- Kim, A., & Osterhout, L. (2005). The independence of combinatory semantic processing: Evidence from event-related potentials. *Journal of Memory and Language*, 52, 205–225.
- Kolk, H. H., Chwilla, D. J., van Herten, M., & Oor, P. J. (2003). Structure and limited capacity in verbal working memory: A study with event related potentials. *Brain and Language*, 85(1), 1–36.
- Kos, M., Vosse, T., van den Brink, D., & Hagoort, P. (2010). About edible

- restaurants: conflicts between syntax and semantics as revealed by ERPs. *Frontiers in Psychology*, 1, 1–11.
- Kuperberg, G. R., (2007). Neural mechanisms of language comprehension: challenges to syntax. *Brain Research*, 1146, 23–49.
- Kuperberg, G. R., Kreher, D.A., Sitnikova, T., Caplan, D. N., & Holcomb, P. J. (2007). The role of animacy and thematic relationships in processing active English sentences: evidence from event-related potentials. *Brain and Language*, 100, 223–237.
- Kuperberg, G. R., Sitnikova, T., Caplan, D., & Holcomb, P. J. (2003). Electrophysiological distinctions in processing conceptual relationships within simple sentences. *Cognitive Brain Research*, 17(1), 117–129.
- Kutas, M., & Federmeier, K. D. (2000). Electrophysiology reveals semantic memory use in language comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(12), 463–470.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potential reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203–205.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature*, 307, 161–163.
- MacDonald, M. C., Pearlmutter, N. J., & Seidenberg, M. S. (1994). The lexical nature of syntactic ambiguity resolution. *Psychological Review*, 101, 676–703.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113.
- Osterhout, L., & Holcomb, P. J. (1992). Event-related potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language*, 31, 785–806.
- Trueswell, J. C., & Tanenhaus, M. K. (1994). Towards a lexicalist framework of constraint-based syntactic ambiguity resolution. In C. Clifton, L. Frazier, & K. Rayner (Eds.), *Perspectives on sentence processing* (pp. 155–179). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- van de Meerendonk, N., Kolk, H. H. J., Vissers, C. T. W. M., & Chwilla, D.J. (2010). Monitoring in language perception: mild and strong conflicts elicit different ERP patterns. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22, 67–82.

van Herten, M., Chwilla, D. J., & Kolk, H. H. J. (2006). When heuristics clash with parsing routines: ERP evidence for conflict monitoring in sentence perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 1181–1197.

Can “Semantic P600” effects be the evidence for the existence of semantic-processing stream?

Hiroaki OISHI
(Ritsumeikan University)

Recently a growing number of studies have found that a specific type of semantic/thematic anomaly would elicit a P600 effect, which has been considered as an index of syntactic-processing difficulty, suggesting (i) that there exists a semantic-processing stream which operates independently from syntactic-processing stream and (ii) that the output of semantic processing stream can, at least under certain circumstances, challenge the output from syntactic-processing stream and (iii) that the conflict between those outputs results in a so-called “Semantic P600” effect. The present study, however, points out that Semantic P600 effects can be task-relevant components and examined whether a Semantic P600 effect would be elicited even when participants are not asked to do a secondary task like plausibility judgment task. We recorded event-related brain potentials (ERPs) when participants passively read semantically/thematically-reversible Japanese sentences (e.g., literal translation: *the leaves of eucalypts-NOM the koala on a tree-ACC took-a-bite-into*) in the absence of a plausibility judgment task. We found a larger N400 effect but no P600 enhancement in response to the target words. We argue (i) that the plausibility-judgment task might motivate readers to actively anticipate how the incoming sentence will develop and (ii) that the P600 effects observed in the previous studies might reflect the processing load associated with reanalysis processes resulted from the mismatch between the tentative thematic-role assigned to the argument(s) and the argument structure of the verb which was actually encountered. We conclude that the so-called Semantic P600 effects are task relevant and that they cannot be the evidence for the existence of semantic-processing stream.