

事象関連電位をどう使うかー若手研究者からの提言 (3)

2006年11月4日(土) 13:00-15:00

福岡国際会議場 410会議室

企画趣旨説明

松山東雲女子大学 中尾美月

シリーズ第3回目をむかえるこのワークショップでは、事象関連電位の研究を始めたばかりの人や、これから始めようとしている人たちを対象に、事象関連電位の魅力をアピールすることを目指している。今回は「言語研究に事象関連電位をどう使うか」というテーマに焦点をあてる。話題提供者は心理学もしくは言語学領域において、事象関連電位を武器に研究をすすめている新進気鋭の若手研究者であり、自身の実験データはもちろん、言語研究に事象関連電位を使うことのおもしろさを余すことなく紹介する。その後、言語学および認知生理心理学のそれぞれの第一人者、そしてフロアを交えた刺激的な議論を通じて、言語研究における事象関連電位の役割、そして言語という枠を超えたツールとしての事象関連電位の意義を、包括的に考えてみたい。

1. 企画趣旨説明 中尾 美月 (松山東雲女子大学)
2. 「単語認知研究における脳波、事象関連電位の可能性」 松本 敦 (名古屋大学)
3. 「文、ならびにプライミングパラダイムを用いた日本語の格助詞処理の研究：ERPは何を教えてくれるのか？」 曾雌 崇弘 (首都大学東京)
4. 「文処理研究における事象関連電位の有用性」 大石 衡聴 (九州大学)
5. 指定討論 酒井 弘 (広島大学)
入戸野 宏 (広島大学)
6. 総合論議

このシリーズ企画は、事象関連電位の“魅力”や“面白さ”をもっと多くの人に知ってほしいという若手研究者の思いに端を発している。そこで、それぞれの話題提供者には、「**ここが面白い！ 事象関連電位を使った言語研究**」という主張を交えた話題提供をお願いしている。参加者のニーズは様々であろうが、今回のワークショップを通じて、「事象関連電位を使ってみたい」さらには「事象関連電位研究を使って言語研究がしてみたい」と思う人が一人でも増えることを願ってやまない。

単語認知研究における脳波，事象関連電位の可能性

名古屋大学環境学研究科・日本学術振興会

松本 敦

単語は言語研究のみならず，意識研究や感情研究，記憶研究等の様々な心理学・神経科学的研究の場で刺激として用いられる。そのため，単語の持つ様々な要素，その形態，音韻，意味，そしてそれらの情報の統合過程などの理解は言語研究だけでなく広く心理学研究全体に重要な示唆を与えるものであると考えられる。本発表では単語認知研究・心理学的研究において事象関連電位（ERP）がどのような事実を明らかにできるのか，そして明らかに出来ないのかを議論していきたい。

「ここが面白い！ERP 研究」

VS. 行動研究

ERP において各成分（e.g. P300, N400）がそれぞれどのような処理を反映しているのかということに関しては多くの研究によって明らかにされている。従って，各成分の振る舞いを検討することによって様々な処理がどのように行われているのかを視覚的に検討することが可能である。またよく言われることであるが，高い時間分解能を持つため処理の時間的關係を明らかにできる。

VS. fMRI, PET, MEG

神経活動の計測手法としての ERP がこれらの手法よりも優れている点は少ない。fMRI, PET に対しては圧倒的に空間分解能に劣り，MEG は ERP と変わらない時間分解能で高い空間分解能を持つ。しかし，心理学的研究の為のツールとして考える時，少なくとも現状では ERP は非常に大きな威力を発揮する。なぜなら 30 年以上に及ぶ生理心理学者の多くの研究により，どのような実験変数によりどの成分がどのように変化するのか，つまり，各成分がどのような処理に対応しているのかという知見が豊富に存在するからである。多くの心理学的研究ではモデルを構築し，その妥当性を検討していく。ERP はそのための「指標」として他の計測手法より優れていると感じている。

現実的な問題として計測の手軽さも ERP の大きな強みであろう。大掛かりな装置を使う他の計測手法ではデータを「ちょっと取ってみる」というのはなかなか難しいが ERP では比較的簡単に計測を行うことができる。また，子どもに対しても比較的簡単に実験を行うことができるため，言語獲得など，発達的な視点が重要視される研究を行いたい場合には大きな威力を発揮すると考えられる。MEG と比較すると加算回数が少なくすむため複雑な（実験要因の多い）計画を組みやすいというのも利点の一つに挙げられるのではないだろうか。

「ここが面白い！ERP を使った言語研究」

ヒトの認知における多くの処理過程がそうであるように，単語の認知にはその処理過程において意識的処理過程，無意識的処理過程という 2 つの過程を経ていると考えられている。ERP を用い

ることでこれら 2 つの処理をモニターすることが可能になる。話題提供者は閾下プライミングパラダイムを用いて単語認知における意識的処理と無意識的処理を ERP 上において分離した。その結果、意識的な処理は頭頂、中心部に分布を持つ陰性の電位 (N400) に反映され、無意識的な処理は左半球の前頭部、側頭部に惹起する陰性成分 (Left Front Lateral Negativity: LFLN) に反映されることが明らかとなった。これらの処理は時間的に重畳しており、意識的処理と無意識的処理が並列的に行われる可能性を示唆している。また、無意識的処理が反映された成分は単語の形態処理を反映するとされる成分(150-250ms)よりも遅い潜時帯に現れ、閾下プライミング課題における無意識的処理過程が、形態処理よりも高次の処理レベルで生起している可能性を示した。

このように、ERP を用いることにより、捉えるのが難しい無意識的な処理過程を視覚的にとらえることが可能となり、さらに先行研究との比較により、実験操作が単語処理におけるどの段階にどのように影響を与えるのかを議論することができる。

「ERP の限界と問題」

ERP はその有用性の一方で、やはり大きな問題も抱えている。最大の問題点はその空間分解能の低さである。これは単純に脳の活動場所を特定し難いということの意味しない。脳波は多くの領域の活動の総和であり、その計測の時点で複数の領域の活動が混合されている。特に言語のような高次の処理になれば、一つの成分が反映する処理過程は単一であるとは考えがたく、しばしばそのデータの解釈に困難をきたす。最近では独立成分分析のような手法も用いられて対処法が考慮されているが、位置的に近い領域で時間的にもほぼ同時に起こる活動を分離することは不可能である。

また、ERP は脳波の一つの特殊な形でしかない。ERP 算出のための平均化の際、試行毎に位相の揃わない成分は、たとえ課題に関連してその振幅が変化していたとしても相殺されて消えてしまう。さらに、振幅の非常に小さい 20Hz 以上の高周波数成分は検討が不可能である。こういった事実から考えてみても、ERP に反映されない処理過程が多くあることは容易に想像できる。

もし、ERP が反映する処理だけを研究の対象とするならば、研究の可能性を大きく狭めてしまうだろう。自分の検討したいものがどの脳機能計測に反映されやすいのかをよく吟味し、それにあった指標を選ぶのが最良の方法であろう。

文、ならびにプライミングパラダイムを用いた日本語の

格助詞処理の研究：ERPは何を教えてくれるのか？

首都大学東京大学院

曾雌 崇弘

tkososhi@ybb.ne.jp

1. 導入

本発表では、文、ならびにプライミングパラダイムを用いた格助詞（「が」、「を」など）の脳内言語処理に及ぼす効果を調べた事象関連電位（ERP）研究を2つ紹介する。どちらの実験でも比較する条件の主な違いは「格助詞があるかないか」である。見た目で見えるこの単純な違いでも、脳内言語処理に及ぼす効果をERPを通してみると、想像していた以上に複雑であったりするので、パズルを解くような感じで話を聴いていただければ幸いである。

2. プライミングパラダイムを用いた格助詞処理のERP研究

単語間（名詞と動詞）の意味的つながりの処理に格助詞がどのように影響を与えるかを、プライミングパラダイムを用いて調べた。条件として、(1)に示すように、意味つながりと格助詞の要因を組み合わせで4タイプ設けた。

(1)	<i>prime</i>	2	<i>target</i>	
	雨戸	非単語	冷ます	(統制条件：意味つながりなし / 格助詞なし)
	雨戸	非単語	閉める	(条件1：意味つながりあり / 格助詞なし)
	雨戸を	非単語	閉める	(条件2：意味つながりあり / 正しい格助詞)
	雨戸が	非単語	閉める	(条件3：意味つながりあり / 間違った格助詞)

(時間)

被験者26名を意味判断課題、語彙判断課題に半分ずつ振り分けた。ERP波形は、*target*のところで比較した。

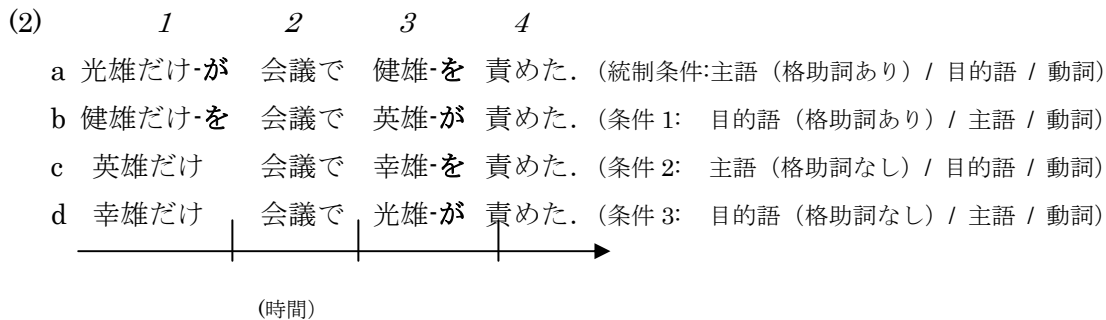
意味判断課題群と語彙判断課題群ともに、意味つながりあり条件（条件1~3）が、ERP波形の比較基準となる意味つながりなし条件に比べ、N400（刺激呈示後400msあたりでピークを向かえる陰性のERP成分で、意味処理を反映していると考えられている）の振幅の減衰（N400プライミング効果）が見られた。しかしながら、両課題群では潜時、頭皮上分布で、N400プライミング効果が異なって現われた。意味判断課題群では、格助詞ありの条件2、3のERP効果が、格助詞のない条件1の効果に比べ50msほど早く現われた。一方、頭皮上分布は、条件1から3の間に違いが見られなかった。語彙判断課題では、意味判断課題の場合とは逆に、格助詞なしの条件1の効果が、格助詞ありの条件2、3の効果に比べ50msほど速く現われた。頭皮上分布においても条件1から3の間で差が見られた。条件1の効果は、過去のプライミングERP研究で報告されている頭皮上分布と類似して、中央部から頭頂部にかけて観察された。正しい格助詞を*prime*が持つ条件2では、左半球でも有意なN400プライ

ミング効果が観察された。一方、間違った格助詞を含む条件 3 の効果は頭皮上後方部では見られず、前方部に限定された。

N400 プライミング効果が課題により異なって現われたことは、2 つの課題が質の異なる意味処理過程、もしくは方略を引き起こしたことを示唆している。意味判断課題は、予測の方略、語彙判断課題は意味的統合過程を主に引き起こしたと考えられる。語彙判断課題群の効果に話を限定すると、この課題群では格助詞の文法的要因により、潜時、分布の両方で条件 1 から 3 の N400 プライミング効果の違いが生じた。この違いは、意味的統合という言語処理過程において格助詞がどのように機能するか的一端を示していると言えよう。

3. 文呈示パラダイムを用いた「かき混ぜ文」の ERP 研究

日本語は、語順がかなり自由な言語で、例えば、「太郎君が 次郎君を 誉めてたよ。」という文は、「太郎君が」と「次郎君を」を「かき混ぜ」て「次郎君を 太郎君が 誉めてたよ。」と言い換えられる。このような日本語の特性を生かし、短期記憶にかき混ぜられた単語を「保持」する処理と、保持した単語を別の単語と関連付ける「統合」処理の ERP 効果を調べるために ERP 実験を行った。過去の複数の研究で「保持」、「統合」の ERP 効果が再現されているので、今回の実験では、逆に、かき混ぜ文ではなくても「保持」に関連した ERP 効果が出るか、「統合」の性質（簡単かどうか）で異なる ERP 効果が出るかどうかを調べた。刺激文は、語順と格助詞の要因を組み合わせで 4 条件設けた。被験者は 20 名で、文呈示後に、内容判断課題をやってもらった。



ここでは、単語 1 から 3 までの連続した ERP 波形と単語 3 における ERP 波形の比較結果を報告する。(2a) の統制条件に比べて、(2b) のかき混ぜ文では、単語 1 から 3 において、頭皮上前方部の電極で持続性の陰性 ERP 効果が観察された。(2d) のかき混ぜ文と統制条件 (2a) の比較でも、単語 1 から 3 で持続性陰性効果が観察された。一方、(2c) の条件 2 と統制条件 (2a) の比較では、(2c) の持続した陰性効果が単語 1 から 2 では同じように観察されたものの、単語 3 のところでは、(2b) と (2d) の場合とは異なり、途中で陰性効果が消えた。この違いをさらに調べるため、単語 3 の領域だけの比較を行った。(2b) と (2d) のかき混ぜ条件では、統制条件に比べ、頭皮上前方部で陰性効果が観察され、単語 1 から 3 の比較における持続した陰性効果と極性 (±) が同じであった。一方、(2c) と統制条件 (2a) の比較では、(2c) の陽性 ERP 効果が頭皮上右後方部で観察され、かき混ぜ条件 (2b) と (2d) の陰性効果とは極性が反対であった。

言語の ERP 研究での持続性陰性効果は、語順の転換（言語学的には、「移動」という概念で表現される）を含む文と関連付けられて考察される傾向があった。しかしながら、(2c) のような語順の転換が無い文（主語/目的語/動詞）でも持続性陰性効果が観察されたので、この効果は、かき混ぜられた単語 1 と格助詞がない単語 1 の言語処理上の共通点は何か、という観点から考察する必要がある。(2c)

の単語 3 における陽性効果は、「統合の難しさ（負荷）」を反映していると議論されることがよくある。しかしながら、かき混ぜ条件（2b）と（2d）（文呈示後の内容判断課題の正答率がより低かった）の同じ位置（単語 3）で陰性効果が観察されたことを考慮すると、（2c）の陽性効果が統合の負荷を反映していると議論するのは難しい。

4. まとめ：「ここが面白い！ERPを使った言語研究」

少ない経験から言わせてもらえば、最も面白いと感じるのは、予測を一応は立てて実験をしたものの、それを裏切るような ERP の結果が出てきてしまった時だろう（いつもそうだけれども）。そのような時、自分が言語学を通して考えていた以上に、「生」の言語処理は複雑怪奇だと感じる。複雑な言語処理を ERP を使って解明するには、シンプルな実験パラダイムが最適だと個人的には思うが、現状ではプライミングパラダイムに勝るものはないだろう。しかしながら、言語処理の未知の側面を理解するには、新しい ERP の実験パラダイムを考え出す必要もあるだろう。それを日々考えているのもなかなか面白いことではある。

文処理研究における事象関連電位の有用性

九州大学大学院人文科学府

大石 衡聴

我々が発する言語（特に文）は、音韻、語彙、統語、意味、談話など複数のレベルにおける情報が統合された結果の出力である。他者が発した文を入力として受け取った際、我々は統合されていた情報をいったん個々のレベルに分解し、そしてまたそれを統合するという処理を瞬時のうちに実行し、発信者の意図するところを理解している。このような認知的プロセスをここでは文処理と呼び、文処理を可能としている心的装置を文処理装置と呼ぶ。

本発表では、上記のような高速かつダイナミックな認知的プロセスである文処理がどのようにして遂行されているのかについて検討するにあたって事象関連電位（Event-Related brain Potential: ERP）を用いることの有用性について述べる。さらに、ERP の特長を活かして実施した話題提供者の最新の研究の成果を報告することを通して、ERP を使った文処理研究の面白さをお伝えしたいと考えている。

言語処理研究においてしばしば用いられるのは、被験者に文を黙読で読み進めてもらい、ある語が入力された際に被験者が何らかの困難さ、すなわち処理負荷を感じるか否かを何らかのツールを用いて検証するという方法である。ここでは、まず、「処理負荷」をキーワードとして、ERP の有用性について簡単に述べる。

1. 高い時間解像度

ERP を記録することにより、文を黙読している間の脳活動の電気的変化をミリ秒単位で観ることができる。したがって、文中のどの語が入力された際に被験者が処理負荷を感じたのか、また、その語が入力されてからどれくらい経ってから処理負荷を感じ始めたのかをかなりの精度で知ることができる。

2. 多次元の指標

ERP 成分は極性、頭皮上分布、潜時帯など複数の点から定義されるため、ある語の入力による処理負荷を反映して惹起された ERP 成分と別の語の入力による処理負荷を反映して惹起された ERP 成分の間の相違点を複数の観点から比較することができる。

3. 処理負荷の「質」の違いを反映

これまで、主に欧米の言語を対象とした研究により、文処理の意味的・談話的側面における処理負荷を反映して N400 と呼ばれる ERP 成分が、統語的側面における処理負荷を反映して P600 と呼ばれる ERP 成分が惹起されることが明らかになっている（Hagoort, Brown, & Osterhout, 1999; 大石, 2006; among others）。このように、文処理のある特定の側面に敏感な ERP 成分があることが明らかになっているので、ある語の入力によって生じた処理負荷が文処理のどの側面における困難さを反映しているのかを知ることができる。

・「ここが面白い！ERP を使った言語研究」

文処理研究に ERP を用いることの利点として挙げた以上の 3 点のうち、話題提供者が最も注目するのは「3. 処理負荷の「質」の違いを反映」である。例えば次の 2 つの文を読み比べていただきたい。

- (1) a. 岸本が政策を発表した首相に反旗をひるがえした。
b. 岸本が新製品を発表した首相に反旗をひるがえした。

(1a, b) をオンラインで読み進める際、日本語母語話者は最初の動詞「発表した」が入力された際に当該の文が「岸本が政策を／新製品を発表した」という単文であると解釈する傾向がある。したがって、「首相に」が後続した際、日本語母語話者は当該の文が「政策／新製品を発表したのは岸本ではなく、首相である」と解釈しなおすことを余儀なくされる。このことから、(1a, b) ではともに「首相に」が入力された際に「再解釈」という処理が行われることになる。さらに、(1b) では、日本語母語話者は「首相が新製品を発表した」という解釈が自分の持つ世界知識と合致しないことを即座に認識するように思われる。もし我々の脳の中でこのような「世界知識との一致性」までもが即座に計算されているとするならば、(1b) における「首相に」が入力された際には、「再解釈」に伴う処理負荷と「世界知識との不一致」による処理負荷という異なる 2 つの処理負荷がかかると想定される。理論的には上記のような予測が成り立つが、この予測が妥当であるかどうかを検証するためには、性質の異なる処理それぞれに敏感な指標を用いる必要となるが、処理負荷の質の違いを反映することができるという ERP の特長を利用すればそれが可能である。本発表では、上記の (1a, b) のような文を用いて実施した実験の結果を踏まえ、ERP を使った文処理研究の面白さについてさらに述べたいと思う。

[参考文献]

Hagoort, P., Brown, C. M., & Osterhout, L. (1999). The neurocognition of syntactic processing. In P. Hagoort & C. M. Brown (eds.) *The Neurocognition of Language*, 273-316, Oxford UK: Oxford University Press.

大石衡聴 (2006). 解析器の再分析処理を統率する原理について. 『認知科学』, 13(3), 455-466.

指定討論

広島大学大学院教育学研究科

「育む・学ぶ」ことばの脳科学プロジェクト研究センター

酒井 弘

講師の方々からの興味深い話題提供ありがとうございます。すべての講師の方々になんらかの形で指摘されているように、ERP は高い時間解像度を持っていることが、言語研究のツールとして最も魅力的なところの一つだと思います。本庄巖先生の「言葉をきく脳しゃべる脳」という本のなかの「時をコードする脳」という一節に、言語の本質は時間軸に沿って情報がベルトコンベアのように流れて行くなかで、はじめて意味が生まれるところにあるという指摘がありましたが、まさに至言だと思います。時間解像度が高いという ERP の特性は、時間軸に沿って情報が少しずつ「逐次的」に処理されて行くという本質を持つ言語の研究において、大きく貢献できると思われまます。しかし落とし穴も、そこにあります。解像度が高く、かつ頭皮上分布や極性など複数の情報が同時に得られるため、実験計画に先立ってしっかりしたモデルが与えられていないと、結果をめぐって恣意的な解釈の可能性が生まれたり、そもそも実験をデザインするにあたってどのような結果が予測できるかわからなくなるという危険性が常に存在します。一方で、現在提案されている単語処理や文処理のモデルはかなり複雑で、研究分野になじみのない方にとっては、実験をデザインする際にどのような予測が引き出されるのか、考えやすいとは言えません。しかし前提となるモデルの解釈があやふやだと、興味深いデータが得られても、それが何を意味しているのかさっぱりわからないといった可能性もあります。この点が、言語研究に ERP を使用する際の「敷居の高さ」の一因となっているような気がします。

そこで私からは、講師のみなさまに、(1)単語認知もしくは文処理の研究をする際に想定されているモデルはどのようなものか、(2)そのモデルの長所、短所はどこか、(3)ERP はモデルのどの部分を検討するために役に立つのか、お聞きしたいと思います。発表資料を拝見するだけでは、これらの点が必ずしも明らかではなかったように思われるので、適宜補っていただければと思います。これから ERP を使用して言語研究を始めようとする方々にとっては、それぞれの先生方が考えられた実験のデザインと結果の予測が、なぜ、どのように引き出されたのか、大いに興味があるでしょうし、それがわかれば、自分で実験を考える時に大いに参考になるはずです。

答えていただきやすくするために、それぞれの講師の方々の中で、わたしがモデルとの関係と
言う問題意識のもとで、興味を持った点を挙げておきます。

(1) 松本先生のご研究は、単語認知の過程には意識的処理過程と無意識的処理過程の大きくわけて二つの過程、形態処理過程も加えれば少なくとも三つの異なる過程が含まれていることを明らかにされたのですね。でも単語認知の全体的な過程の中で、その三つの過程がどのような位置づけになるのか、よくわかりません。まず形態情報の処理でないとすると、いったい「何を」意識的・無意識的に処理する過程なのですか？例えば、意味情報の処理だとすると、単語認知の過程は大きく形態処理と意味処理の二つの部分に分かれるとお考えですか。もしくは他にも別の処理過程、例えば両者を結びつけるような、抽象的なレベル (lemma レベルなど) の処理過程もあるのでしょうか。また、もし意味処理の過程が

意識的・無意識的過程に分かれるとすると、形態処理にも意識的・無意識的過程がある可能性はないのでしょうか。

(2) 曾雌先生のご研究は、ちょうど松本先生のご研究と大石先生のご研究の間を結びつける性格を持っていますね。実験1の格助詞なし条件とは基本的に単語の処理過程を調べたもので、格助詞あり条件はシンプルな句構造の処理について調べたもの、実験2は依存関係を含む複雑な分構造について調べたものですから、これらは順に、より低次の処理は高次の処理に含まれる関係にあるように思うのですが、その理解は正しいのでしょうか。また、どの実験でも多かれ少なかれ統語処理と意味処理の二つの過程を含んでいると思われるのですが、処理過程の階層性と統語処理と意味処理という異なるレベルの処理はどのように関係しているのでしょうか。これらを踏まえた上で、それぞれの実験では格助詞の有無という要因を操作することによって、どのような結果を予測されていたのでしょうか。

(3) 大石先生のご研究はいわゆるガーデンパス文の主名詞の部分で、事象関連電位を計測した実験ですね。主名詞を処理する際に負荷を生じさせる原因として、統語構造を再構築するコストと、文脈との意味的整合性を計算するコストという異なるコストが考えられて、事象関連電位を用いることで、両者を分離して取り出せると言うお話しでした。それではこの二つの処理過程は、お互いにどのような関係にあるのでしょうか。例えば意味的整合性の計算には、統語構造の再分析が前提として必要されるのでしょうか。それとも両者は平行して進められるのでしょうか。もし一方が他方の前提となるのなら、相互にどのような影響を与え合うことが予測されるのでしょうか。また、日本語母語話者は最初に動詞が入力された時点で、単文であると予測すると書かれていましたが、だとすると統語構造の再分析に先立って、むしろ予測がはずれたことによって生ずる事象関連電位成分が計測される可能性はないのでしょうか。

指定討論

広島大学大学院総合科学研究科

入戸野 宏

それぞれの発表要旨を興味深く読ませていただきました。私は、言語研究の現状をあまり知らないもので、その他の研究テーマとの関連という点からいくつか質問したいと思います。

[松本敦先生]

ERP の長所と短所についてはそのとおりでと思います。確かに、学問的には、テーマに最適なツールを使うのがよいでしょう。しかし、現実的には、私を含めて多くの大学の研究者は fMRI を使う施設的・時間的余裕がありません。ERP くらいなら何とか個人営業でもやっていける。そうときに松本先生ならどうしますか？

「ERP が反映する処理だけを研究の対象にするならば、研究の可能性を大きく狭めてしまうだろう」というのはもっともです。しかし、逆に、いろいろな測度を使えば使うだけ、研究の意義は高まるのでしょうか？ 極論すれば、fMRI がなければ優れた研究はできないのでしょうか？

たとえば、社会心理学ではいまでも質問紙に頼ることが多いです。質問紙が反映する処理だけを研究の対象にしていると、研究の可能性が狭まるのでしょうか？ 研究対象を限定したときにはそうですが、新しい研究テーマを創造するときに質問紙法はまだまだ有効です。ERP も“行動測度のデラックス版”（入戸野, 2005）として使えば、新しい視点にもとづく萌芽的／ゲリラ的な研究ができるでしょう。もちろん、それで研究は完結しませんが、本当に意義のあるテーマなら、fMRI などを用いた研究（共同研究を含む）に発展していくでしょう。

他分野にインパクトを与えた ERP 研究をひとつだけあげるとすれば、“私たちが意図を自覚する約 0.5 秒前から脳では運動の準備が始まっている”ということ運動準備電位のデータに基づいて提案した Libet のものでしょう（Libet, 2004）。方法論に対する批判は多いですが、自由意志について単純な課題で果敢に取り組んだことは評価できます。言語研究において ERP を用いたそのような野心的なテーマが探せるのでしょうか？

[曾雌崇弘先生]

他の研究分野と関連するものとして、プライミングパラダイムに注目しました。プライミングは、さまざまなレベルで生じる生体の基本的な適応機能だと思いますが、言語処理におけるプライミングと他のレベル（注意や感情）におけるプライミングはどういう関係になっているのでしょうか？ 言語はやはりモジュール性が強いのか、それともある面では類似性があるのか？ この点についてどう考えますか？

もう一つは、持続性の電位（緩徐電位, slow wave）の扱いです。言語処理でも単語レベルでなく文レベルになると、時間的な系列性が入ってきますね。この点については言語と音楽の類似性が指摘されていますが、運動を含めた他の過程でもありそうです。このような時間的につながった処理過程を ERP を使ってどのように分析していくかに興味があります。

[大石衡聴先生]

他の研究分野との関連では，“処理負荷”というキーワードが重要だと思いました。わりとよく使われる概念ですが，なかなか扱いにくいです。“処理負荷が ERP の振幅に反映される”というときには，“負荷が大きくなるほど強い神経過程を伴うはずだ／強い神経過程を引き起こしたのだから処理がたたくさん行われたはずだ”というやや循環的な仮定をします。そうすることで，ERP の振幅が処理負荷の指標として使えることになるのですが，実験場面ではそう単純にはいきません。処理負荷には，刺激側の要因と参加者側の要因があります。たとえば，極端な場合，刺激を見ていないときや理解しようとしないうちは，ERP の振幅が小さくなるはずですが。このときは処理負荷が小さかったとするのでしょうか？ 処理負荷と ERP 振幅が一義的に対応しないことは，P300 成分について議論されています (Kok, 2001)。言語研究において，このあたりを解決する具体的な方法はあるのでしょうか？

引用文献

- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38, 557-577.
- Libet, B. (2004). *Mind time: The temporal factor in consciousness*. Cambridge: Harvard University Press. 下條信輔(訳)(2005). *マインドタイム：脳と意識の時間* 岩波書店
- 入戸野 宏 (2005). *心理学のための事象関連電位ガイドブック* 北大路書房

指定討論に対する返答

名古屋大学環境学研究科・日本学術振興会

松本 敦

単語処理における無意識的過程と意識的過程

心理学的モデルでは単語の視覚的処理に関してはその形態、音韻、意味の3つの表象が想定されている。それぞれの表象を担う神経活動が惹起することによってそれぞれの表象が活性化する。この3つの表象の活性化に関しては必ずしも刺激に対する意識（awareness）を必要としないとされている。つまり形態、音韻、意味とそれぞれの処理において無意識的処理が存在すると考えられる。一方、自動的に起こる表象の活性化とは別に Top down 的に処理される経路の存在も仮定されている。これら複数の過程が単語認知には存在しているがどういった脳の活動が意識的処理と無意識的処理を分けるのかは現在のところ明らかになっていない。

ERP に反映されやすい処理，反映されづらい処理

例えば、一般に ERP では無意識的処理過程を捕らえるのは難しいと考えられている。そのため、無意識的な処理過程を ERP で検討する場合には周到な実験計画と入念な先行研究のレビューが必要となる。無意識的処理は ERP には反映されないとする論文もいくつか散見できる。それに対して、Top down 的な処理に対しては ERP は敏感に反応する。文脈からの逸脱や、処理負荷の変化には非常に敏感なので、統語処理などの高次な処理に対しての方が反応性はよいとおもわれる。ただし、高次な処理になればなるほど様々な処理が混入して解釈が難しくなり、それを防ぐために洗練された実験計画が必要である。

指定討論に対する返答

首都大学東京大学院

曾雌 崇弘

<入戸野先生のご質問に対する回答>

言語の ERP 研究における持続性陰性効果は、King & Kutas (1995)の報告を皮切りに、2000 年代に入って徐々に報告されるようになりました。入戸野先生が言われるように、数秒間にわたる ERP 波形の解析は眼球運動などの artifact の影響をもろに受けます。その中でも特に深刻なのは drift artifact であると思われます。この影響を押さえるために線形補正を EEG epoch に行う解析方法もあるようですが、私は基本的に線形補正を行わずに長潜時 ERP の解析を行っております。

長潜時 ERP の条件差の解釈に関しましては、入戸野先生が言われるような問題は重要であると思います。また、長潜時 ERP の効果の解釈自体に加え、部分的な短潜時 ERP の効果（ベースライン補正を各エポックに対して行った場合）との厳密な関係も考慮にいれなければならないと思います。長潜時 ERP の効果は、時間的に距離が離れた言語要素間の処理を反映するものという仮定を前提に解釈しておりますが、介在する言語要素の局所的な処理がどのように長潜時 ERP 効果に貢献しているのかという問題は未決であると思いますし、私も興味を持っています。

600 ms 周期の言語処理のループモデルを、今回の 2 つの実験と他の実験結果から提案しました。600 ms を 1 周期といたしましたのは、持続性陰性効果が局所的な処理が難しい言語要素の出現後 600 ms あたりから観察されるという結果に基づいています。持続性陰性効果が、関連する言語要素の予測に結びついているという解釈に基づき、600 ms の時間枠が局所的な言語処理の 1 ループに等しいと考えました。他の行動指標との整合性に関しては現段階で厳密な照合をしておりますが、プライミングの ERP 実験でしばしば報告されているように行動データと ERP データの乖離もありえますので、両方のデータを付き合わせるにはそれぞれの指標が言語処理のどの部分に敏感であるかを考慮しながら行う必要があると思います。

<酒井先生のご質問に対する回答>

プライミング実験は局所的な言語処理を調べることを、かき混ぜ文の実験は非局所的な言語処理を調べることを目的としました。ここで言う言語処理とは、言語学的統合を意味しておりますが、特に、単語と単語の結合という計算的な側面に焦点をあてています。複雑な言語表現、例えば、文や節などの理解には、個々の単語間のつながりを局所的に処理する必要があると思います。この局所的な言語学的統合の諸相を機能範疇である格助詞を操作しプライミングパラダイムを用いて調べました。結果は、ご報告いたしましたように 600 ms 以前の潜時帯で、局所的な統合処理の違いを示していると思われる ERP 効果の違いが見られました。酒井先生が言われるように、この ERP 効果の違いは統語的、意味的処理の違いと言えるかもしれません。しかしながら、今回の報告では統語的、意味的という概念を使うよりは、activation というプライミング効果の説明でしばしば使われる概念を基本に、activation の状態がどのように後続の言語処理に関わるのかという観点から解釈を与えました。activation-overpassed process が統語的処理に対応し、activation-prolonged process が意味的処理に対応していると言っています。前者の activation-overpassed process に関しましては、発表当日に酒井先生からご指摘をいただきましたように、その詳細は私もまだはっきりとは分かっていません。文レベルの実験では、

より複雑な言語表現の統合処理を調べましたが、結果は 500, 600 ms 周辺で、もしくは周辺から見られる ERP 効果が重要であると思いました。持続性陰性効果が局所的な統合が難しい言語要素呈示後 600 ms から出現し、予測される関連した言語要素呈示後 500 ms で陽性効果が出現したので、これをプライミング実験の結果と合わせて、ループモデルを提案しました。

指定討論に対する返答

九州大学大学院人文科学府
大石 衡聴

<酒井先生からいただいた質問・コメント>

私 (=大石) は今回の発表の中で、文処理中に得られた解釈が語用論的に妥当性が低い場合 (言い換えるならば、得られた解釈が世界知識と合致しない場合) には N400 成分の振幅が統制条件 (すなわち、解釈の語用論的妥当性が高い条件) に比べて有意に大きくなるというデータを公表しました。そのデータは以下のような文ペアを用いて実施した実験にて得られたものです。

- (1) a. 政策を発表した首相に岸本が反旗をひるがえした。
b. 新製品を発表した首相に岸本が反旗をひるがえした。

(1a) では下線を引いた「首相に」という名詞句が入力された際に「首相が政策を発表した」という (関係節) 解釈が行われると想定されます。この解釈は語用論的に妥当性の高いものです。一方、(1b) では「首相が新製品を発表した」という (関係節) 解釈が行われると想定されますが、この解釈は明らかに語用論的妥当性の低いものです。実験の結果、先述の通り、語用論的妥当性が高い条件 (= (1a)) に比べて語用論的妥当性が低い条件 (= (1b)) で N400 振幅が有意に大きいことが明らかになりました。私はこの N400 振幅の差が語用論的妥当性の高低により生じるものだと結論付けましたが、このことに関して酒井先生から次のような質問をいただきました。

酒井先生からいただいた質問: (1b) の「首相に」で見られた N400 振幅の増幅は語用論的妥当性の低さを反映しているのではなく、「新製品を発表した」までの時点で予測された名詞の集合の中に「首相」という名詞がなかったからではないのか? すなわち、単に語彙的予測における逸脱 (言い換えるならば語彙的処理のレベルでの逸脱) を反映しているのではないか?

この質問に対する私の返答を以下に記します。

大石の返答: 確かに、(1b) で観られた N400 振幅の増幅は、ある意味、語彙的処理レベルでの逸脱を反映しているかもしれない。というのも、どのレベルまでの処理を語彙的処理と定義するかによって、語彙的処理と語用論的処理とはほぼ同義になると考えられるからである。語彙的処理を「心的辞書から各単語の意味を取り出すこと」と定義した場合には、単に「首相」という名詞で指示される意味が取り出されるだけなので、(1a-b) 間で N400 振幅に差が生じるとは考えられない。一方、語彙的処理が、語彙的予測との一致・不一致の計算という処理まで含むような処理であると定義した場合には (1b) における N400 振幅の増幅が「語彙的処理における逸脱」を反映しているといえるかもしれない。しかしながら、語彙的予測とは先行文脈 (ここでは「新製品を発表した」) により得られるものであり、先行文脈が存在する時点で語用論的予測も働く。すなわち、語彙的処理レベルでの逸脱と語用論的処理レベルでの逸脱は区別できるものではないと考えられる。したがって、現時点では (1b) において観られた

N400 振幅の増幅が語彙的処理レベルにおける負荷を反映しているのか、それとも語用論的処理レベルにおける負荷を反映しているのかは明らかではない。

シンポジウム当日には上記のように返答しましたが、後日、酒井先生からいただいた質問についてより深く検討した際、より良い返答となりうるものを得ることができましたので、ここに記したいと思います。

シンポジウムの際、私は (1) に加えて以下の (2) のような文ペアを用いて実施した実験の結果も報告しました。

- (2) a. 岸本が政策を発表した首相に反旗をひるがえした。
- b. 岸本が新製品を発表した首相に反旗をひるがえした。

(2)のように、主節の主語(「岸本が」)が文頭にある場合には、(1b)のときとは異なり、最初の動詞(「発表した」)が入力された時点で単文解釈が行われる傾向があることが多くの先行研究により明らかにされています。この時点で単文解釈が行われるということは「新製品を発表した人物」が「岸本」で特定されたことに他なりません。「新製品を発表した人物」が特定されたのならば、「新製品を発表した人物」に関する語彙的な予測が行われると想定することは妥当性が低いと考えられます。それにもかかわらず、(2a)に比べて(2b)の方が「首相に」が入力された際のN400振幅が有意に大きいという実験結果が得られています。このことから、少なくとも本研究で観られたN400振幅の増幅が単に「語彙的処理における負荷」を反映しているという結論は蓋然性が低いと考えられます。無論、(1b)で観られたN400は語彙的処理レベルでの逸脱を反映しており、一方、(2b)で観られたN400は語用論的処理レベルでの逸脱を反映しているという可能性も考えられます。理論的に質の異なる処理レベルにおける負荷がそれぞれN400に反映されるのかどうかは現段階では明確ではないため、今後の研究を待たねばなりません。

<入戸野先生からいただいた質問・コメント>

私(=大石)の発表での主旨は、ある語が入力された際に質の異なる処理が(ほぼ)同時に行われると理論的に予測される場合であっても、ERPを利用することによってそれらの処理それぞれに伴う負荷が発生しているのか、さらにはそれらの負荷のうちどちらが先に発生するのかなどといったことまで観ることができるというものでした。そのような内容に関し、入戸野先生から次のような質問およびコメントをいただきました。

入戸野先生からいただいた質問・コメント：処理負荷の“量”は自己ペース読文法における読み時間によって測れるが、ERPを使えば、N400とP600という異なる成分によって“質”の異なる処理負荷を測れるというご発表でした。ひとつの事象に対して複数の反応が得られるERPの利点をうまく活かした研究と思います。

さて、ERPが処理負荷を反映する指標になるというとき、次の3つの可能性があります。(1)呈示された言語材料と文脈によって作られた期待との不一致を検知する神経過程がERPとしてあらわれる、(2)その不一致を解消・統合するために必要な神経過程がERPとしてあらわれる、(3)(2)と相関して生

じるが、言語理解には必須ではない付加的な神経過程が ERP としてあらわれる。処理負荷の指標として使うのであれば、刺激（独立変数）と反応（従属変数）の相関関係が確立されていなければ構いません。しかし、言語処理についての理解を深めるには、その成分がどのような神経過程を反映しているか、ある程度は分かっていた方がよいでしょう。このような理論的な考察も含めて、N400 と P600 という ERP 成分は、質の異なる処理資源を反映するツールとしてどのくらい確立されている／利用できるとお考えですか？

この質問に対する私の返答を以下に記します。

大石の返答：私の個人的見解としては、N400 であれ P600 であれ、(1)と(2)の両方が含まれていると考えています。(3)に関しては、私が勉強不足であるせいもあって、あまりはっきりとしたことは言えません。ただ、P300 と P600 は同種のものではないという研究報告はあります。

また、N400 と P600 という ERP 成分が質の異なる処理資源を反映するツールとしてどのくらい確立されている／利用できるかという質問に関してですが、これらがそれぞれ質的に異なる成分であることは極性・潜時帯といった ERP 成分の特徴の点からも明らかですし、意味的な逸脱が生じるように実験刺激を操作した際には統語的逸脱を反映する P600 は惹起されないというデータはたくさんありますし、その逆もまた然りです。また、N400 の振幅量が意味的側面における負荷量に比例して大きくなるということに関してはそれを支持するデータがたくさん報告されていますが、P600 に関しては N400 ほどには明らかになっていません。ですので私は読み時間のような処理負荷の「量」に敏感な指標と組み合わせて検討するようにしています。

演者紹介

(登場順)

■中尾 美月 (なかお みづき) mizuki@shinonome.ac.jp

略歴

1994年 広島大学 教育学部 心理学科卒業

2000年 広島大学 大学院教育学研究科 実験心理学専攻 博士課程後期 単位取得退学

2002年 博士(心理学) 広島大学

現職

山形県立大学 人文学部 人間心理学科 講師

現在のテーマ

N400に反映される言語処理過程の検討

主要業績

Nakao, M., & Miyatani, M. (in press) Dissociation of semantic and expectancy effects on N400 using Neely's version of semantic priming paradigm: N400 reflects post-lexical integration. In T. Sakamoto (ed.), *Communicating Skills of Intention*, Tokyo: Hitsuji Shobo.

中條和光・中尾美月 (2005). 作業記憶容量と文章読解時の眼球運動. *読書科学*, **49**, 41-51.

■松本 敦 (まつもと あつし) s040319d@mbox.nagoya-u.ac.jp

略歴

2002年 名古屋大学 文学部 人文学科卒業

2004年 名古屋大学 環境学研究科 修士課程修了

現職

名古屋大学 環境学研究科 博士後期課程3年

日本学術振興会特別研究員

現在のテーマ

fMRI, 脳波(ERP, 時間-周波数解析)を用いた意識の神経基盤の解明

主要業績

Matsumoto, A., Ichikawa, Y., Kanayama, N., Ohira, H., & Iidaka, T. (in press). Gamma band activity and its synchronization reflect dysfunctional emotional processing in alexithymic persons. *Psychophysiology*.

Matsumoto, A., Iidaka, T., Nomura, M., & Ohira, H. (2005). Dissociation of conscious and unconscious repetition priming effects on event-related potentials. *Neuropsychologia*, **43**, 1168-1176.

■曾雌 崇弘（そし たかひろ） tksoshi@yahoo.co.jp

略歴

東京都立大学 大学院修士課程修了（2002年） 修士（英文学）

現職

東京都立大学 大学院博士課程3年

現在のテーマ

言語の統合処理のERP研究

主要業績

Hagiwara, H., Soshi, T., Ishihara, M., & Imanaka, K. (to appear). A topographical study on the ERP correlates of scrambled word order in Japanese complex sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience*.

Soshi, T., & Hagiwara, H. (2004). Asymmetry in linguistic dependencies: Linguistic and psychophysiological studies of Japanese right dislocation. *English Linguistics*, **21**, 409-453.

■大石 衡聴（おおいし ひろあき） oishih@lit.kyushu-u.ac.jp

略歴

平成14年度 九州大学 大学院人文科学府 修士課程修了 文学修士

現職

九州大学 大学院人文科学府

現在のテーマ

文理解における再分析処理メカニズムの解明

主要業績

大石衡聴（2006a）. 解析器の再分析処理を統率する原理について. *認知科学*, **13(3)**, 455-466.

大石衡聴（2006b）. 再分析における処理負荷を増大させる非統語的要因 — 解釈の語用論的妥当性 —. *信学技報 IEICE Technical Report, TL2006-15(2006-07)*, 5-10.

■酒井 弘（さかい ひろむ） hsakai@hiroshima-u.ac.jp

略歴

1994年3月 京都大学 大学院文学研究科（言語学専攻） 単位取得退学

1996年12月 University of California, Irvine Ph. D. in Social Science

現職

広島大学 大学院教育学研究科 助教授

「育む・学ぶ」ことばの脳科学プロジェクト研究センター

現在のテーマ

語彙・文法・意味などの言語情報がリアルタイムでどのように処理されるのか、言語間の違いが文処理や外国語学習にどんな影響を与えるのかを調べています。

主要業績

*文処理の実験的研究

Tamaoka, K., Sakai, H., Kawahara, J., Miyaoka, Y., Lim, H.-J., and Koizumi, M., (2005). Priority Information Used for the Processing of Japanese Sentences: Thematic Roles, Case Particles or Grammatical Functions? *Journal of Psycholinguistic Research*, **34**, 281-332.

*生成文法による日本語統語論研究

Fukui, N. and Sakai, H., (2003) The Visibility Guideline for Functional Categories: Verb Raising in Japanese and Related Issues. *Lingua, Special Issue, Formal Japanese Syntax and Universal Grammar: The Past 20 Years*, **113 (4-6)**, 321-375.

その他

「育む・学ぶ」ことばの脳科学プロジェクト研究センターHP

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/cbl/index.html>

■入戸野 宏 (にっとの ひろし) nittono@hiroshima-u.ac.jp

略歴

1993年 大阪大学 人間科学部 卒業

1998年 大阪大学 人間科学研究科 博士後期課程 修了 博士 (人間科学)

現職

広島大学 大学院総合科学研究科 助教授

国際心理生理学機構 (I.O.P.) 理事 (Director)

International Journal of Psychophysiology 編集委員 (Action editor)

現在のテーマ

インタラクティブな環境 (コンピュータ作業) における脳の情報処理

主要業績

入戸野 宏 (2006). 映像に対する注意を測る一事象関連電位を用いたプローブ刺激法の応用例ー. *生理心理学と精神生理学*, **24(1)**, 5-18.

Nittono, H. (2006). Voluntary stimulus production enhances deviance processing in the brain. *International Journal of Psychophysiology*, **59(1)**, 15-21.

その他

ホームページ

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/nittono/>