

工学心理学における事象関連電位の利用と展望

○入戸野 宏 (広島大学総合科学部)

1. はじめに

心理学における事象関連電位 (event-related potential: ERP) の利用は 1960 年代半ばに始まり, その後 40 年間にわたって研究が積み重ねられてきた。さまざまな弱点が指摘されつつも, 現在では信頼できる安定した技術に成長している。筆者は, ERP を測度とした研究を 10 年以上続けてきた。“ERP は何よりも素晴らしい” と主張するつもりはないが, 今回のシンポジウムでは, ERP の長所を再発見して強調するとともに, 今後の研究の方向性について私見を述べる。

2. ERP の紹介

ERP は, 特定できる事象に時間的に関連した脳の電位変化であり, ふつう加算平均法によって求める。生起時点が特定できない事象については, たとえ脳内で生じていたとしても, ERP を測定できない。ERP は, もっとも基礎のレベルでは, 操作的に定義され, 特定の理論的立場に依存しない現象であるといえる。

ERP の研究を体系的に進めるには, 成分 (component) を同定する必要がある。ERP 成分は, 主として頭皮上の電位分布と実験操作への応答性から定義される。特定の頭皮上分布をもち, 特定の実験操作に対して出現・変化する電位を, ERP 成分とみなす。

ERP 成分を理解するには, 2 つの相補的なアプローチがある。ひとつは, 実験変数をさまざまに操作して, それに対する成分の振幅や潜時の変化を調べるという実験心理学的なアプローチである。このアプローチを通じて, 特定の ERP 成分を惹起できるさまざまな実験パラダイムが提案されてきた。もうひとつは, ERP 成分の発生源を明らかにする神経科学的なアプローチである。脳損傷患者から ERP を測定する神経心理学的研究, 脳外科手術時に留置した脳内電極から ERP を測定する研究, 薬理学的な研究, PET や fMRI 等の脳機能イメージング法を併用した研究などにより, ERP 成分の基礎となる神経活動についての検討が行われている。このような検討は, 前者のアプローチで得られた実験パラダイムを用いて行われることが多い。

特定の ERP 成分が出現することが明らかな実験パラダイムを用いれば, その ERP 成分が脳のどこで生じ

ているかを直接調べなくても, その ERP 成分が反映している過程について研究を進めることができる。ERP 波形全体ではなく, 特定の ERP 成分に注目して研究を行うことにより, 心理学と神経科学の橋渡しが可能になる。

3. ERP の長所・短所

脳機能イメージング法と比べた ERP の長所として, 以下の 3 点が挙げられる。(1) 神経の電気活動を即時に反映するので反応時間を中心とした認知実験と相性がよい。(2) ERP 成分に注目することで 1 秒以下の短時間におこる現象を数段階に分けて検討できる。(3) 実験室外でも比較的手軽に測定できる。

他方, ERP の短所として, (1) 電極装着に時間がかかる, (2) 加算平均のために試行の反復が必要である, (3) 大きな動作中は測定できないといった点が指摘されてきた。これらの問題は, 近年の高入力インピーダンス脳波計の開発と信号処理技術の発展によって大幅に改善されつつある。

4. 工学心理学における ERP の利用

工学心理学 (engineering psychology) は, 道具やシステムのデザインに応用できる人間の心理特性 (能力や限界) について明らかにする心理学の一分野である。実際に道具やシステムのデザインを行う人間工学や生体工学のような工学分野と, 心理特性の理論化・一般化を目指す実験心理学の中間に位置づけられる (Wickens & Hollands, 2000)。用いる道具によって人間の心理活動が強く影響をうけることは日常経験からも明らかである。そうだとすれば, 人間と道具のかかわりを検討することは, 心理学の基礎として考えることもできる (入戸野, 2003)。

工学心理学で ERP を利用した研究は, 古くから行われている (e.g., Donchin et al., 1986)。認知過程を歪めずに並行して記録でき, しかも実験室外でも測定可能であるという ERP の長所は, 道具やシステムを使っているときの人間の認知活動の検討に有用である。

筆者は, コンピュータ作業中の認知過程に注目し, ERP を用いた一連の研究を行ってきた。古典的な実験心理学では, 実験者が刺激を呈示し, 実験参加者に判断や反応を求めるといった課題が多く用いられてきた。これに対して, 日常生活では, 自分で運動することに

よって刺激を得るといふ状況がよくある。たとえば、コンピュータ作業では、ユーザーは意図的にコンピュータに働きかけ、その結果として刺激を知覚している。この状況における刺激の処理は、従来の受身的な状況と異なっているのだろうか？ この疑問を解決するために、自己ペースオドボール課題 (Nittono & Ullsperger, 2000) を考案し、同じ刺激セットを用いて、自分でボタンを押して刺激を呈示する Self 条件と、同じ間隔で刺激が自動的に呈示される Auto 条件で得られる ERP を比較した。一連の研究により、知覚的に逸脱した低頻度刺激が随意運動後に呈示されると、P3 (P3a) 成分が増大することが示された (Nittono, 2004, 2005a; Nittono et al., 2003)。この現象の背後にあるメカニズムはまだ明らかでないが、筆者は、行為と知覚は共通の表象を持ち、互いに促進・干渉するという共通符号化説 (common coding theory; Prinz, 1997) の観点からの説明を試みている (Nittono, 2006)。

このような新しい実験パラダイムは、一方では脳機能イメージング研究と結びついて、神経科学的なアプローチが可能になる。また、他方では、実際場面に適用することで、たとえばユーザビリティ評価などにも利用可能になると考えられる。たとえば、コンピュータを使っているときにマウスクリックしても画面に変化が起らなければ、“おやっ”と思う。このような場面でも ERP を測定することができる。マウスクリック後の刺激欠落によって2相性の反応——右側頭・頭頂部優勢の陰性電位と中心部優勢の陽性電位——が惹起されることが報告されている (Nittono, 2005b)。

5. 今後のERP研究についての私見

筆者にとって ERP の最大の魅力は、虫メガネや顕微鏡と同じように、“見えないが確かに存在するものを見えるようにしてくれる”という点にある。行動測定ではほとんど差がないが、何か異なっているような気がする2つの条件で ERP を測定すれば、直観を支持する差が得られることが少なからずある。そうやって新しい心理現象を発見できれば、そこから新しい研究を始めることができる。

脳機能イメージング法が盛んな現在、ERP を用いた研究を充実させるために、以下の3つが重要であるように思う。(1)ERP を測定・分析するための方法論をおろそかにしない、(2)自分が扱う ERP 成分については

最低限の神経科学的知識をもつ、(3)脳機能イメージング法では扱いにくいテーマを設定する。ERP の長所を活かせば、まだまだ面白い研究ができると信じている。

引用文献

- Donchin, E., Kramer, A. F. & Wickens, C. D. (1986). Applications of brain event-related potentials to problems in engineering psychology. In M. G. H. Coles, E. Donchin & S. W. Porges (Eds.) *Psychophysiology: Systems, processes, and applications*. New York, Guilford Press. Pp. 702-718.
- 入戸野 宏 (2003). 事象関連電位 (ERP) と認知活動: 工学心理学での利用を例に 行動科学, 42, 25-35.
- Nittono, H. (2004). The action-perception paradigm: A new perspective in cognitive neuroscience. *International Congress Series*, 1270, 26-31.
- Nittono, H. (2005a). Event-related potentials recorded during human-computer interaction. *Proceedings of the First International Conference on Complex Medical Engineering* (May 15-18, 2005, Takamatsu, Japan), 715-719.
- Nittono, H. (2005b). Missing-stimulus potentials associated with a disruption of human-computer interaction. *Psychologia: An International Journal of Psychology in the Orient*. In press.
- Nittono, H. (2006). Voluntary stimulus production enhances deviance processing in the brain. *International Journal of Psychophysiology*. In press.
- Nittono, H., Hamada, A., & Hori, T. (2003). Brain potentials after clicking a mouse: A new psychophysiological approach to human-computer interaction. *Human Factors*, 45, 591-599.
- Nittono, H., & Ullsperger, P. (2000). Event-related potentials in a self-paced novelty oddball task. *NeuroReport*, 11, 1861-1864.
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9, 129-154.
- Wickens, C. D., & Hollands, J. G. (2000). *Engineering psychology and human performance* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.