

日本心理学会第71回大会ワークショップ

事象関連電位をどう使うかー若手研究者からの提言（4）

2007年9月19日（水）13:30～15:30

東洋大学 白山キャンパス 6号館 2階 6217教室

企画趣旨

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を対象に、その魅力や楽しさを伝えることを目指している。今回は、事象関連電位の最も有名な成分であるP300をとりあげる。P300研究のこれまでの経緯について簡単に解説した後、3名の話題提供者に「タイムプレッシャーとメンタルワークロード」、「ワーキングメモリ容量の個人差」、「睡眠心理学における利用」という観点から、P300に関する研究を紹介していただく。実際に研究を行うことで初めて気がついた注意点やこれから始める人へのヒントなど、論文に載っていない情報を積極的に提供していただくように依頼した。P300研究の現状を概観することで、心理学における今後の利用可能性についてフロアの方々とともに探っていきたい。

本ワークショップは、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。次の3種類の参加者を想定している。

A. ERP研究を始めたばかりの人

「自分の実験が“正しい方法”に基づいているか心配だ。」

B. ERPに多少興味はあるが、どうつきあってよいか分からない人

「自分でもやってみたいが、機材や分析方法などが難しそうによく分からない。」

「“何に使えるか”、“何に使うのがよいか”がはっきりせず、今ひとつ魅力に欠ける。」

C. 実際に研究しているが、なにか行き詰まりを感じる人

「ERPを使った研究をしているが、今のテーマでいいのか不安になる。」

参加者のニーズはそれぞれ異なるだろうが、今回のワークショップを通じて、少しでも有益な情報を持ち帰っていただきたいと願っている。

これまでに開催したワークショップの議事録は、<http://home.hiroshima-u.ac.jp/erp>において公開しているので、ご覧いただきたい。

*2007年9月27日作成

ワークショップの進め方

次のような順序でおこなう。

1. イントロダクション (20分)

「P300 研究の歴史と現状」 入戸野 宏 (広島大学)

2. 話題提供 (各 20 分発表, 5 分質疑)

「タイムプレッシャーとメンタルワークロード」 白石 舞衣子 (広島大学)

「ワーキングメモリ容量の個人差と P300」 土田 幸男 (北海道大学)

「ERP (P300) の睡眠心理学への応用」 高原 円 (神奈川歯科大学)

3. 指定討論 (5分)

片山 順一 (北海道大学)

4. 指定討論への回答 (各 3分)

5. 総合討論 (10分)

論点を明確にするため、それぞれの話題提供者に、次の 3 つの質問を提起し、各自の意見を述べてもらうという形式で進めていきたい。

(1) P300 はどのように使えるか？

自分の研究テーマにとって P300 はどのように役に立つか？

(2) 他の成分や手法と比較したときの利点は何か？

なぜ ERP をわざわざ測定するのか？ また P300 に注目する理由は？

(3) P300 を用いた研究を成功させるための秘訣は何か？

研究を進めるなかで得られた実用的なヒントを教えてください。

フロアへのお願い

- ・ 話題提供者の発表に対して、ぜひ積極的に質問していただきたい。
- ・ 最後の総合討論では、活発な意見交換を期待している。

P300 研究の歴史と現状

入戸野 宏 (広島大学大学院総合科学研究科)

3名の話題提供者による P300 研究の実例紹介に先立ち、P300 に関するこれまでの知見を簡単にまとめる。報告書やニュース記事を構成するときの基本要素である 5W1H の形式に従い、以下の 6 つの観点から述べる。

1. P300 とは何か? (What)

P300 は、刺激呈示後およそ 300 ms に頂点をもって出現する陽性の脳電位である。頭皮上では中心頭頂部でもっとも大きく記録される。P3 または LPC (late positive component/complex) ともよばれる。振幅が最大に達するまでの時間 (頂点潜時) とそのときの振幅 (頂点振幅) を測定することが多い。頭皮上で記録される P300 波は、少なくとも 2 つの下位成分 (P3a, P3b) から構成されるといわれる (e.g., Knight & Scabini, 1998)。P3a は P3b よりも潜時が約 60–80 ms 短く、前頭中心部で優勢に現れる。P3a と P3b は、たとえば 3 刺激オドボール課題を行うことで比較的独立して記録できる (Comerchero & Polich, 1999; Nittono, 2006)。標準刺激 (1940 Hz) と標的刺激 (2000 Hz) の弁別が難しい課題において、物理的に逸脱した刺激 (500 Hz) が呈示されると、逸脱刺激に対しては短潜時で中心部優勢の P300 が、標的刺激に対しては長潜時で頭頂部優勢の P300 が出現する。前者の P300 には P3a が P3b よりも多く含まれ、後者の P300 には P3b が P3a よりも多く含まれると考えられている。

2. 誰が発見したか? (Who)

P300 の発見者は、ニューヨークの Samuel Sutton とするのが一般的である (Friedman & Ritter, 1988)。1965 年の *Science* 誌において予測課題中に得られる誘発電位について報告した (Sutton, Braren, Zubin, & John, 1965)。この論文には、手がかり刺激によって次の刺激が光か音か確実に予測できないときは、刺激の呈示から約 300 ms 後に頂点をもった陽性波が生じることが明瞭に示されている (ただし、この論文では“P300”という名称は使われていない)。Picton (1992) の総説によると、P300 に相当する波は、まったく同じ年に、ベルギーの Desmedt, Debecker, & Manil (1965) やイギリスの Walter (1965) によっても報告されている。したがって、P300 は、特別な才能をもった一研究者によって偶然発見されたというよりも、ヒトの心理活動を支える神経基盤に対する関心の増大と測定機器の進歩に伴い、発見されるべくして発見された電位だといえる。

3. いつ生じるか？ (When)

P300が生じる条件については、過去40年以上にわたる知見の積み重ねにより、かなり明らかになっている。大きな変数として、(1)まれに生じる事象であること、(2)意味のある事象であること(課題に関連している/動機づけの観点から重要である)の2つがある。前者は主観的確率(subjective probability)、後者は刺激の意味(stimulus meaning)とよばれる。Johnson (1986)は、P300の振幅について3次元モデル(triarchic model)を提案した。このモデルでは、主観的確率と刺激の意味の2次元が加算的に作用し、そこに情報伝達(information transmission, 刺激のあいまいさや不注意によって失われる情報の割合)の次元が乗算的に影響することで、P300の振幅が決まると仮定する。これらの次元とは別に、近年では標的刺激間の間隔が長くなるとP300振幅が大きくなることが示されている(e.g., Gonsalvez, Barry, Rushby, & Polich, 2007)。現在のところ、以上の4つの変数がP300振幅を規定する要因であると考えられる。

4. どこから生じるか？ (Where)

しばらく前まで、P300は“頭皮上の広い範囲で高振幅に出現する電位”として表面的・二次元的にのみ理解されることが多かった。しかし、近年の神経科学的手法(頭蓋内記録、脳損傷患者、電源推定、fMRIとの比較等)により、P300に関連する脳内の電気活動が明らかになりつつある。頭蓋内記録によって得られた知見をまとめると、P3a(低頻度刺激に対する反応)に関連する脳部位として背外側前頭前皮質、縁上回、帯状回などがあり、P3b(標的刺激に対する反応)に関連する脳部位として腹外側前頭前皮質、上側頭溝、上頭頂小葉後部、内側側頭皮質(海馬と嗅周皮質)などがある(Halgren, Marinkovic, & Chauvel, 1998)。しかし、頭皮からの距離やニューロンの布置などを考慮すると、これらの脳部位の活動すべてが頭皮上で記録されるわけではない。たとえば、海馬の活動はおそらく頭皮上では大きく記録されない。頭皮上で記録されるP300の電源は、主に2つのクラスタにまとめられる。外側前頭前皮質(主にP3aに関連)と側頭-頭頂接合部(temporal-parietal junction: TPJ, P3aとP3bの両方に関連)である(Nieuwenhuis, Aston-Jones, & Cohen, 2005)。

5. どのように生じるか？ (How)

P300が発生するためには、上述のような広範な皮質領域が同時に発火する必要がある。そのメカニズムについて、青斑核-ノルアドレナリン仮説が提案されている(Nieuwenhuis et al., 2005)。脳幹(橋)の青斑核にはノルアドレナリン作動性のニューロンが集まっている。青斑核のニューロンは持続的・自発的に発火しているが(0-5 Hz)、まれな刺激や意味のある刺激に対して一過的に発火頻度を増やす(20 Hz)。その活動電位は軸索を伝わり、先ほど述べた脳内のさまざまな部位においてノルアドレナリンを放出する。ノルアドレナリンは神経修飾物質として、その場所にあるニューロンへの求心性のシナプス入力を促進する(感度を上げる)。それに伴い、ニュー

ロンの細胞体周辺が脱分極して、細胞体周辺がマイナス、皮質表面がプラスの電流双極子（ダイポール）ができる。これが P300 として頭皮上で記録されるという仮説である。刺激の呈示から青斑核が興奮するまでに約 150–200 ms、その信号が軸索を伝わり放出されたノルアドレナリンが作用するまでに約 150 ms かかるので、刺激の約 300–350 ms 後に広範囲の皮質領域が一斉に発火することになる。この仮説は証明されたわけではないが、P300 の発生に関してニューロンのレベルから合理的な説明を与えている。

6. 何のために生じるか？（Why）

P300 の機能的意義（P300 が生じることで何が起こるのか）については、現在でもコンセンサスが得られていない。1988 年に出版された *Behavioral and Brain Sciences* 誌上における大論争では、米イリノイ大学の Emanuel Donchin が提唱していた文脈更新仮説（context updating hypothesis; Donchin, 1981; Donchin & Coles, 1988）に対して、独リュベック大学の Rolf Verleger が厳しい批判を行い、文脈終結仮説（context closure hypothesis; Verleger, 1988）を新たに提案した。このやり取りに対して、世界中の 20 の研究グループからコメントが寄せられた。文脈更新仮説では、予期しない事象が環境に生じると作業記憶（メンタルモデル）を更新する必要が生じ、その更新過程が P300 に反映されると仮定する。これに対して、文脈終結仮説では、待っていた刺激（たとえばオドボール課題における低頻度標的刺激）が呈示されると認知処理が一段落するので、その終結過程が P300 に反映されると仮定する。どちらの仮説にも欠点がある。文脈更新仮説に対する反論として、P300 の発生と記憶更新を結びつける明白な証拠がないことが挙げられる。他方、文脈終結仮説に対する反論として、予期しない刺激は予期していた刺激よりも実際には大きな P300 を惹起することが挙げられる。文脈更新仮説は現在でも公には否定されていないが、文脈終結仮説については提唱者自身が欠点を認めている（Verleger, Jaskowski, & Wascher, 2005）。P300 が反映する認知過程としては、他にも、事象分類（event categorization; Kok, 2001）、抑制（inhibition; Polich, 2007）、意思決定（decision making; Nieuwenhuis et al., 2005）、知覚分析と反応を結びつける過程（Verleger et al., 2005）といった仮説が提唱されている。現在でも決定版はないが、神経科学の知見の蓄積に伴い、理論の輪郭は定まりつつあるといえる。

P300 の発見から 40 年以上経った。P300 が生じる条件については、ほぼ解明されている。P300 の発生源やメカニズムについても、神経科学の発展によって具体的で合理的な説明が可能になった。最後に残された難問は、P300 の機能的意義の解明である。そのためには、実験課題を工夫して仮説を実証するとともに、神経科学の知見と矛盾しない理論（表現）を構築する必要がある。この作業は、ある意味で心理学者に課せられた宿題といえよう。

引用文献

- Comerchero, M. D., & Polich, J. (1999). P3a and P3b from typical auditory and visual stimuli. *Clinical Neurophysiology*, **110**, 24-30.
- Desmedt, J. -E., Debecker, J., & Manil, J. (1965). Mise en évidence d'un signe électrique cérébral associé à la détection par le sujet, d'un stimulus sensoriel tactile. *Bulletin de l'Académie Royale de Médecine de Belgique*, **5**, 887-936.
- Donchin, E. (1981). Surprise!...Surprise? *Psychophysiology*, **18**, 493-513.
- Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences*, **11**, 357-374.
- Friedman, D., & Ritter, W. (1988). Samuel Sutton: 1921-1986. *Psychophysiology*, **25**, 244-247.
- Gonsalvez, C. J., Barry, R. J., Rushby, J. A., & Polich, J. (2007). Target-to-target interval, intensity, and P300 from an auditory single-stimulus task. *Psychophysiology*, **44**, 245-250.
- Halgren, E., Marinkovic, K., & Chauvel, P. (1998). Generators of the late cognitive potentials in auditory and visual oddball tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **106**, 156-164.
- Johnson, R., Jr. (1986). A triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology*, **23**, 367-384.
- Knight, R. T., & Scabini, D. (1998). Anatomic bases of event-related potentials and their relationship to novelty detection in humans. *Journal of Clinical Neurophysiology*, **15**, 3-13.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, **38**, 557-577.
- Nieuwenhuis, S., Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005). Decision making, the P3, and the locus coeruleus-norepinephrine system. *Psychological Bulletin*, **131**, 510-532.
- Nittono, H. (2006). Voluntary stimulus production enhances deviance processing in the brain. *International Journal of Psychophysiology*, **59**, 15-21.
- Picton, T. W. (1992). The P300 wave of the human event-related potential. *Journal of Clinical Neurophysiology*, **9**, 456-479.
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, **118**, 2128-2148.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, **150**, 1187-1188.

- Verleger, R. (1988). Event-related potentials and cognition: A critique of the context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. *Behavioral and Brain Sciences*, **11**, 343-427.
- Verleger, R., Jaskowski, P., & Wascher, E. (2005). Evidence for an integrative role of P3b in linking reaction to perception. *Journal of Psychophysiology*, **19**, 165-181.
- Walter, W. G. (1965). Brain responses to semantic stimuli. *Journal of Psychosomatic Research*, **9**, 51-61.

タイムプレッシャーとメンタルワークロード

白石 舞衣子 (広島大学大学院教育学研究科)

本ワークショップでは、タイムプレッシャーを含むメンタルワークロードが人間の認知活動を支える情報処理過程のどこに影響しているのかを検討するための、情報処理過程を区分して評価するツールとしての P300 の有用性(LRP 等を併用)を紹介する。

メンタルワークロードとは

メンタルワークロード(mental work load: MWL)は精神的な作業負荷の総称であり、精神的負荷(mental stress)と精神的負担(mental strain)を含む。MWL やストレスの原因となるストレッサーといった作業負荷は、日常生活において人間の認知活動に影響を与えるということは明らかである。しかし、それらが認知活動を支える情報処理過程のどこにどのように影響するかについては不明である。作業負荷が情報処理過程に影響を及ぼす機序を検討するにあたり、認知系と反応系の両方の過程の変動を受ける反応時間のような行動指標よりも、認知系と反応系の過程を区別して検討できる ERP を用いることが有効であると考えられる。

情報処理過程を区分して評価するツールとしての ERP

Dien, Spencer, & Donchin(2004)は、単純な弁別課題における認知系の情報処理過程とそれらに関連した ERP 成分について次のように示している。

第1段階：刺激登録(Stimulus registration)の段階で、刺激事象が生じたという単純な登録であり、聴覚および視覚刺激に対して生じる外因性成分である P1 や N1 に反映される。

第2段階：刺激選択(Stimulus selection)の段階で、刺激事象が課題に関連した感覚チャンネルの一部であると、さらなる分析の対象となり、Processing Negativity(PN)が惹起される。

第3段階：刺激同定(Stimulus identification)の段階で、刺激の同一性あるいは刺激のタイプが決定される。関連する成分として、視覚性 N2 や N400, P-SR (positivity-simple reaction)が挙げられるが、モダリティ間あるいは課題間で共通の ERP 成分は報告されていない。

第4段階：刺激分類(Stimulus categorization)の段階で、刺激同定後、刺激を課題に関連したカテゴリーに分類する過程であり、P300 に反映される。

一方、反応系の情報処理過程と関連する ERP 成分として、偏側性準備電位(lateralized readiness potential: LRP)が挙げられる。LRP は反応選択時の左右の運動野の頭皮上から記録された電位を加工したもので、運動準備や運動実行に密接に関連している(Coles, 1989)。Osman & Moore(1993)によれば、刺激同期 LRP は運動の活性化開始前の過程を反映し、反応同期 LRP は運動の活性化開始後の過程を反映する。

これらの認知系および反応系の処理段階を反映する ERP を複数用いることで、入力から出力までの情報処理過程を切り離して推定することができ、それぞれの過程に及ぼす MWL の影響を詳細に検討することができるだろう。

情報処理過程に及ぼすタイムプレッシャーの影響について検討した実験の紹介

人間は時間的制約を受けながら、意思決定しなければならない時にタイムプレッシャー(以下、TP)を感じる。時間的制約の認識とそれに伴う焦り、急ぎ、慌てなどを総称して TP と呼ぶ。

情報処理過程内の「刺激評価過程」、「反応選択過程」、「反応実行過程」の3つの過程に及ぼす TP の影響について、それぞれの過程を反映する ERP 成分を同時に記録して検討した。刺激評価過程は ERP の P300 成分に、反応選択過程は刺激同期 LRP に、そして反応実行過程は反応同期 LRP に、それぞれ反映される。

さらに、作業負荷(課題の難易度や、課題を困難にする原因)の違いが TP 効果に影響する可能性を考慮して、実験1では刺激評価(知覚的符号化)の難易度を、実験2では反応選択の難易度を操作し、それぞれの状況における TP 効果を情報処理の3つの下位過程別に評価した。2つの実験で一貫して、課題として文字の弁別課題を用いた。また、TP を反応に許される時間によって操作し、参加者のストレスとなっていたかどうかを、MWL 評価尺度である NASA-TLX(Task Load Index, 芳賀・水上, 1996)を用いて確認した。

その結果、実験1では、刺激評価が困難な条件においてのみ、TP の影響を受けて P300 潜時が短縮した。反応同期 LRP 潜時は作業負荷の違いに関わらず、TP の影響を受けて短縮した。実験2では、P300 潜時は TP の影響を受けなかった。一方、反応選択が困難な条件では、刺激同期 LRP 潜時および反応同期 LRP 潜時が TP の影響を受けて短縮した。以上の結果から、刺激評価が困難な時には TP によって刺激評価過程が短縮し、反応選択が困難な時には TP によって反応選択過程および反応実行過程が短縮することが示唆された。このように、P300 および LRP を指標とすることで、情報処理過程に与える TP の影響は一様でなく、作業負荷によって変化することが明らかとなった。

他の成分や手法と比較した時の利点

他の成分と比較して、P300 は robust に出現すること、加算回数は20回程度でよいこと、潜時の同定が比較的容易であること、刺激の縛りが少ないことを合わせて考えると、扱いやすく、ERP を研究に最初に導入する際の成分として適していると考えられる。また、先行研究が豊富であり、これまでの知見を自分の研究に活かせる可能性が高い。

P300 を用いた研究を成功させる秘訣

作業負荷などの条件の影響を検討する場合は、その条件の影響が観察された先行研究のパラダイムやパラメータに準拠する。ERP 研究を始めた最初の段階では、波形中の P300 が先行研究と同様に出現しているかどうかの確認をした上で、自分で設定した新たな条件の影響を検討するのがよい。

【補足】二重課題法を用いた P300 振幅とメンタルワークロード研究

篠田・國分・芳賀(1998)や Baldwin & Coyne(2005)は、二重課題法を用いて主課題の困難度が上昇するにつれ、副課題における P300 振幅が減衰することを示し、P300 振幅がメンタルワークロードの指標となり得ることを報告している。Baldwin & Coyne(2005)は、参加者に主課題として自動車の運転シミュレーションを、副課題としてオドボール課題を行ってもらい、メンタルワークロードの影響を調べた。その結果、道が混雑しているか否かという認知的反応の負荷に対して、P300 振幅、行動指標および主観的評価の全てが敏感であった。一方、視界が良好か否かという知覚的な負荷に対しては、P300 振幅のみが敏感であり、複雑な環境におけるメンタルワークロードを評価するには、P300 や他の ERP 成分を含む生理指標、行動指標、主観的指標といった複数の指標を組み合わせて捉える必要性を述べている。

引用文献

- Baldwin, C. L., & Coyne, J. T. (2005). Dissociable aspects of mental workload: Examinations of the P300 ERP component and performance assessments. *Psychologia*, **48**, 102-119.
- Coles, M. G. H. (1989). Modern mind-brain reading: Psychophysiology, physiology, and cognition. *Psychophysiology*, **26**, 251-269.
- Dien, J., Spencer, K. M., & Donchin, E. (2004). Parsing the late positive complex: Mental chronometry and the ERP components that inhabit the neighborhood of the P300. *Psychophysiology*, **41**, 665-678.
- 芳賀 繁・水上直樹 (1996). 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定 人間工学, **32**, 71-79.
- Osman, A., & Moore, C. M. (1993). The locus of dual-task interference: Psychological refractory effects on movement-related brain potentials. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **18**, 1292-1312.
- 篠田晴男・國分三輝・芳賀 繁 (1998). 二重課題法によるメンタルワークロード要因の心理生理的評価 人間工学, **34**, 37-44.

ワーキングメモリ容量の個人差と P300

土田 幸男（北海道大学大学院教育学研究科）

本ワークショップでは、ワーキングメモリ容量の個人差がどのような注意機能に関わっているのかを検討するためのツールとして、P300の有用性を紹介する。

ワーキングメモリ容量とは

二重課題法を用いたスパンテストで測定されるワーキングメモリ（以下、WM）容量の個人差は、記憶や貯蔵それ自体ではなく、Baddeleyのモデルでいう中央実行系の注意機能を反映していると考えられている（Engle et al., 1999）。しかしながら、この注意機能が具体的にどのような機能なのかは未解明な部分が多い。本研究はP300をWMに関わる注意機能を反映するツールとして用いて、WM容量の個人差との関わりを検討した。

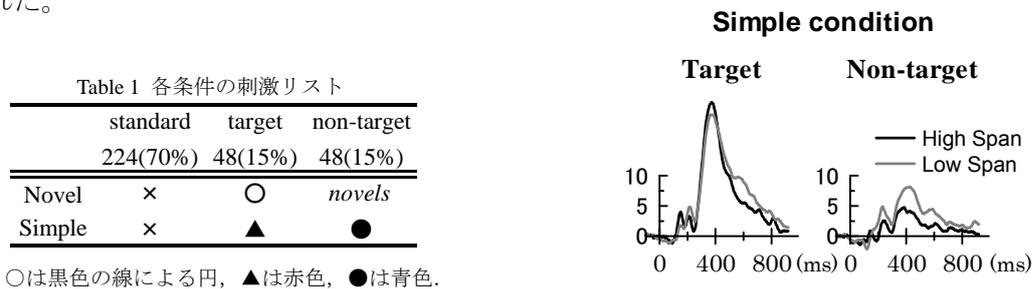
オドボール課題と P300

P300を惹起するのに頻繁に用いられる課題がオドボール課題である。この課題では2種類の刺激の一方が高頻度で（標準刺激）、他方が低頻度で（標的刺激）ランダムな順序で呈示され、被験者には標的刺激に対する反応が求められる。オドボール課題には様々な種類が存在し、惹起するP300には下位分類がある。標的刺激に対して惹起するP3b、低頻度な非標的刺激や新奇な属性を持った非標的刺激に対して惹起するP3aといった種類が存在する。特にP3bについては非常に多くの研究が行われており、理論的説明がなされている。有力な仮説の1つとして文脈更新仮説がある。これによれば、P3bはWM内の文脈の更新を反映していると考えられている（Donchin & Coles, 1988）。また、P3a振幅は注意の補足の程度を反映すると考えられている（Friedman et al., 2001）。

ワーキングメモリ容量の個人差と各 P300 の関係

リーディングスパンテスト得点によって分類されたWM容量の高群と低群で、視覚3刺激オドボール課題により惹起した各P300振幅が異なるかどうかを検討した。非標的刺激がNovelな条件とSimpleな条件を設けた（Table 1）。両条件で、標的刺激はPz優勢なP3bを惹起した。P3b振幅はNovel, Simpleのどちらの条件においてもWM容量による違いは見られなかった。非標的刺激に対して惹起したP300は、Novel条件とSimple条件で傾向が異なった。Novel条件の新奇非標的刺激はCz優勢なP3aを惹起した。一方、Simple条件の単純非標的刺激はP3bと同様に、Pz優勢なP3aを惹起した（Fig. 1）。これらの非標的のP3振幅に対して群×条件×部位の三要因の分散分析を行った。その結果、群と条件の間に交互作用が見られた（ $F = 4.58, p < .05$ ）。

Simple 条件の非標的に対してのみ WM 容量低群の方が高群よりも P3a 振幅が大きいことが示された。



○は黒色の線による円, ▲は赤色, ●は青色.

Fig. 1 Pz における WM 容量高・低群の単純非標的に対する ERP

ワーキングメモリ容量の個人差はどのような認知機能と関わっているのか

標的刺激に対して惹起された P3b 振幅は Novel 条件でも Simple 条件でも WM 容量による違いはなかった。3 刺激オドボール課題での文脈更新機能は WM 容量の個人差と関わっていないことが示唆された。非標的に対しては、Novel 条件では Cz 優勢な、Simple 条件では Pz 優勢な P3a が惹起した。P3a 振幅は注意の補足の程度を反映すると考えられているが、Novel 条件の顕著性が高い新奇標的に対する P3a 振幅では WM 容量による違いがないことが示唆された。一方、Simple 条件の非標的に対して惹起された P3a 振幅は、WM 容量低群の方が高群よりも振幅が大きかった。本来注意を向ける必要のない単純非標的に対し、WM 容量低群では注意が補足された可能性が示唆された。このことは WM 容量高群の方が低群よりも優勢反応の抑制に優れている (Kane et al., 2001; Long & Prat, 2002) と報告されていることと関連しているかもしれない。特にリーディングスパンテストは抑制機能が関わっているという報告があるが (De Beni et al., 1998), この抑制機能は言語情報だけではないドメインフリーな機能である可能性が示唆された。

個人差研究で P300 はどのように使えるか

1 つは本研究のように、特定の仮説に則ってその振幅が何を反映するのかを特定して用いるというのが挙げられる。この立場では解釈が固定されるため、それが長所にも短所にもなりうる。もう 1 つとしては、よりジェネラルに注意資源の配分量を反映する指標として用いることが挙げられる。こちらの立場では解釈がより広がるが、その分多義的になりやすい。用いる課題を慎重に考慮する必要があるだろう。

他の成分や手法と比較したときの利点はなにか? 他の手法と比較した場合、fMRI や PET などと比較して時間分解能が高いことが挙げられる。他の成分と比較した場合、P300 は 20 回程度の加算で成分が抽出できることが利点として挙げられよう。このことは個人差研究のような多くの人数を被験者として必要とする研究では大きな利点となるだろう。

P300 を用いた個人差研究を成功させるための秘訣はなにか？ERP は、それ自体の個人差が非常に大きいことを考慮する必要がある。経験的に、P300 が大きい被験者はその他の成分も大きい場合が多い。絶対振幅だけで特定の要因（WM 容量、性格など）を論じるのは難しいだろう。本研究のように条件間での効果を見る、あるいは引き算を用いる、ピーク振幅の比率を求めるなど、ERP そもそもの個人差を解消する必要があるだろう。

また、アーチファクトの問題もある。ERP 研究では瞬きが入った試行はアーチファクトが乗ったとして分析から除外する。個人差研究の場合大量の被験者が必要なため、瞬きが多い被験者に遭遇する可能性も必然的に上昇する。解決法としては通常の ERP 実験と同様である。瞬きを抑えやすい課題、瞬きをする箇所がある課題を用いる。被験者には万全の体調で実験に参加してもらい、適時充分な休息を取る。被験者のモチベーションを高める、といったことが挙げられる。しかしながら、それでも完全に解消できるということはないだろう。最終的にはより多くの被験者を集めて補強するしかないといえる。可能ならば複数人でチームを作って、被験者集めをより強力にすることが望ましい。チームで研究を行えば被験者を共有することも可能となり、それぞれの負担が減少するだろう。

また、P300 は複合成分であり、様々な要因が含まれている成分である。P300 を用いた個人差研究を成功させるには、個人差の指標か課題により頑健なものを用いる方が良いだろう。特に ERP 課題は何をやっている課題なのかはっきりしたものを用いるべきである。P300 が何を反映しているのか、本当に惹起しているのかという点を明らかにするためにも、用いる ERP 課題は先行研究を参考にして厳選する必要があるだろう。

個人差研究における P300, ERP の今後 これまで、WM 容量の研究では「記憶」の側面に注目した研究が多かったが、近年注意課題パフォーマンスとの関連が注目されている。注意の働きを見るツールとして、時間分解能に優れた ERP は最適なツールであるといえよう。今回のように P300 を文脈更新仮説などに則って行う実験ではなく、注意資源配分量を示すツールとして用いることでより広く研究をすることができるだろう。

引用文献

- Engle R. W., Kane M. J., Tuholski S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence and functions of the prefrontal cortex. A. Miyake, P. Shah, Eds., *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. 102-134, Cambridge University Press, New York
- Donchin E., Coles M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences*, **11**, 357-374.

- Friedman D., Cycowicz Y. M., Gaeta H. (2001) The novelty P3: an event-related brain potential (ERP) sign of the brain's evaluation of novelty. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, **25**, 355-373
- Kane M. J., Bleckley M. K., Conway A. R. A., Engle R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, **130**, 2, 169-183.
- Long D. L. & Prat C. S. (2002) Working memory and Stroop interference: An individual differences investigation. *Memory and Cognition*, **30**, 2, 294-301.
- De Beni, R., Palladino, P., Pazzaglia, F., Cornoldi, C. (1998) Increases in intrusion errors and working memory deficit of poor comprehenders. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, **51A**, 2, 305-320.

睡眠心理学における ERP (P300)

高原 円 (神奈川歯科大学高次脳・口腔科学研究センター)

イントロ～意識を求めて～ 睡眠心理学

ヒトの意識を覚醒と睡眠の連続体と捉えれば、覚醒の認知プロセスを調べるとき、睡眠中の認知プロセスを理解することもまたその理解に貢献するものであると位置づけられる。睡眠中のヒトは、自ら気づくことができるという意味での意識は低下しているが、全くないわけではない。また、レム睡眠中の脳の活性は、覚醒中よりもむしろ高いくらいであるともいわれる。つまり、睡眠中のヒトには見るべきものがないという長年の誤解は現在では完全に否定されている。覚醒、睡眠の各状態は、異なる脳活動を反映した結果であるといえる。

ある人が目を閉じていて、覚醒しているか、タヌキ寝入りをしているか、判別する簡単な方法は脳波である。また睡眠が浅いのか、深いのか、あるいは、レム睡眠であるのか、ノンレム睡眠であるのかを決定する国際基準は脳波による。ERP が睡眠研究に適しているのは、このように睡眠研究にとって脳波が重要であるからということと同時に、睡眠中には明確で正確な行動反応を示すことができないため、脳活動を測定することが有効であることが関係している。

世間の睡眠に関する関心が高まる中、学術的には医療や神経科学が中心であり、心理学の立場での研究は少ない。しかし、睡眠が科学的関心を呼ぶようになった 1950 年代から、睡眠研究には心理学で開発された研究法が多く取り入れられてきた。睡眠は生理現象であると同時に主観的体験と切り離せないことから、総合科学としての『睡眠心理学』は、睡眠学の中でも重要な位置を占めると考えられる。われわれの睡眠中の意識水準はどのように変化しているのだろうか。P300 を用いることで、その認知過程の変化を観察することができる。

睡眠中の ERP に関する研究

睡眠中の見張り番機構は、覚醒中の環境変化の検出機構とは異なる性質を持つことは、数多くの睡眠中の ERP の研究報告が証明している(International Journal of Psychophysiology の 46 巻 3 号 (2002)は睡眠中の ERP に関するレビュー特集になっている)。睡眠脳波が睡眠の進行に従って変化するように、ERP 成分もまた睡眠の影響を受けてさまざまな様相を呈する。入眠とともに、覚醒を代表する N100, MMN, P300 振幅は減衰し、P200, N300, N550, P900 振幅が増大する。

入眠すると、脳波は前頭から徐々に徐波化していき、血流量が低下していく。ノンレム睡眠では、P300 は、個人の名前のような強い意味を持つ刺激を使用すれば、惹起される可能性もあるとされている(Perrin らの研究)。レム睡眠は、脳波が覚醒に近い波形を示すのに覚醒閾値が高いことは逆説的であるということから、逆説睡眠とも呼ばれている。P300 は、逸脱刺激が低頻度かつ

高強度の場合にのみ、観察可能であり(Cote らの研究など)、音のピッチの差では惹起されないとされている(Colrain & Campbell, 2007)。

レム睡眠期の意図的注意に関する研究 Takahara et al. (2006)

<目的>特定の刺激に対する注意が及ぼす睡眠期の ERP 変化について調べること。

<方法>

参加者：右利きの大学生・大学院生 20 名（男性 10 名，女性 10 名，20-24 歳）

刺激：標準刺激 1000 Hz (90 %) 逸脱刺激 2000 Hz (10 %)

持続時間 50 ms, 刺激間間隔 1450 ms

イヤホンを通して，ランダムに呈示した(60dB/SPL)。

手続き：覚醒実験(約 20 分)+睡眠実験(終夜)

注意条件...逸脱刺激に対し，行動反応を要求し，睡眠中もできるだけ反応するように教示した。

無視条件...すべての刺激を無視していた。

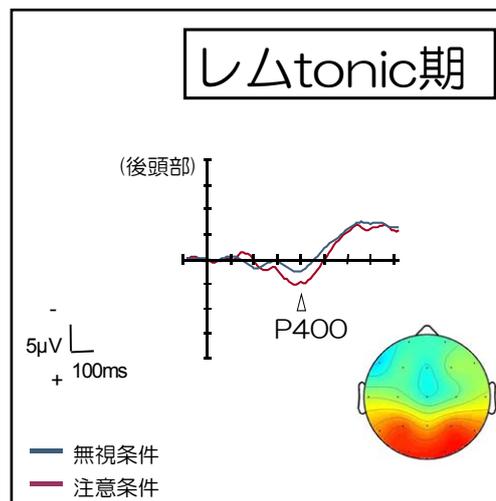
※実験順序はカウンターバランスをとった

<結果>

レム睡眠期には，まれな刺激に対しては覚醒中の P300 よりも後頭部優勢の P400 が出現した。レム睡眠期の後期陽性成分は，睡眠時に特有の処理過程を反映していると考えられる。また，意図的な注意を喚起した条件の方が，無視条件に比べて P400 振幅が増大していた。ノンレム睡眠である睡眠段階 2 の後期陽性成分にはそのような効果は反映されなかった。

<考察>

睡眠中にも認知機能は作動しており，睡眠の現象を壊さずにその機能を計量することができた。レム睡眠期の後期陽性成分は，意図的な注意の効果を反映した。



質問に対する回答

(1) P300 はどのように使えるか？

- 様々な意識状態に関連する認知プロセスをプローブすることができる。
- 臨床モデルや病態理解としての可能性

睡眠剥夺(Peszka et al., 2002), 不眠症(Devoto et al., 2003; Sforza et al., 2006), 睡眠慣性(Bastuji et al, 2003)のような，睡眠に関する現象と P300 を用いた研究もある。

(2) 他の成分や手法と比較したときの利点は何か？

- 単純なパラダイム，少ない負担で， 高次の認知処理プロセスを推測できる。
- 行動反応を要求しない。
- 動機づけや意識的気付きの程度とは，(一応)独立している。

(3) P300 を用いた研究を成功させるための秘訣は何か？

- 加算回数
- 魅力的な戦略の立て方
- 睡眠への理解...いつでも寝かせれば良いというものではない，など。

最後に～ERP と睡眠心理学

覚醒中の機構と比較することで，睡眠が分かる。睡眠への理解を深めることで，覚醒中の機構の理解が補足される。お互いが手を携えてコミュニケーションしていく必要がある。ERP を用いた睡眠研究は広範にわたり魅力を放っているが，まだまだ単純な領域に留まっており，心理学的に興味深い部分は残されている。ぜひ多くの人に興味を持ってもらいたいと思う。

指定討論

問い： 各睡眠段階での認知プロセスの詳細が分かったとして，それらをどのようにして（連続体としての）覚醒の認知メカニズムと統合してゆくのか？

回答： 睡眠・覚醒を含めた統合的意識理論として，ホブソンの AIM モデルがある。

また，睡眠とは何か，そのとき何が起こっているのか，様々の状態と比較する中で，何が付随現象か，それらはなぜ必要なのか，などについて考察することは興味深いことだと思う。統合的に考えることは，現象理解の一助になると考えられる。

引用文献

- Bastuji H, Perrin F, & Garcia-Larrea L. 2003 Event-related potentials during forced awakening: a tool for the study of acute sleep inertia. *Journal of Sleep Research*, 12, 189-206.
- Colrain, I.M., & Campbell, K.B. 2007 The use of evoked potentials in sleep research. *Sleep Medicine Reviews*, 11, 277-93.
- Cote, K., & Campbell, K. 1999a P300 to high intensity stimuli during REM sleep. *Clinical Neurophysiology*, 110, 1345-50.
- Cote, K., & Campbell, K. 1999b The effects of varying stimulus intensity on P300 during REM sleep. *NeuroReport*, 10, 2313-18.

- Devoto A, Violani C, Lucidi F, & Lombardo C. 2003 P300 amplitude in subjects with primary insomnia is modulated by their sleep quality. *Journal of Psychosomatic Research*, 54, 3-10.
- Hobson, J.A., & Pace-Schott, E.F. 2002 The cognitive neuroscience of sleep: neuronal systems, consciousness and learning. *Nature Reviews Neuroscience*, 3,679-93.
- Perrin, F., García-Larrea, L., Mauguière, F., & Bastuji, H. 1999 A differential brain response to the subject's own name persists during sleep. *Clinical Neurophysiology*, 110, 2153-64.
- Perrin, F., Bastuji, H., & García-Larrea, L. 2002 Detection of verbal discordances during sleep. *NeuroReport*, 13, 1345-49.
- Peszka J, & Harsh J. 2002 Effect of sleep deprivation on NREM sleep ERPs and related activity at sleep onset. *International Journal of Psychophysiology*, 46, 275-86.
- Sforza E, & Haba-Rubio J. 2006 Event-related potentials in patients with insomnia and sleep-related breathing disorders: evening-to-morning changes. *Sleep*, 29, 805-13
- Takahara, M., Nittono, H., & Hori, T. 2006 Effect of voluntary attention on auditory processing during REM sleep. *Sleep*, 29, 975-82.