

P300 応用 認知科学の立場から

入戸野 宏

要旨 事象関連電位の P300 波が発見されてから 50 年近くが経過した。P300 の機能的役割についてはいまだ明らかでないが、惹起される条件はほぼ解明されている。本稿では、まず P300 の基礎知識を認知科学の立場から簡潔にまとめる。次に、医療以外の分野における P300 の応用例として、プローブ刺激法による注意配分量の推定、隠匿情報検査による記憶の検出、ブレイン-コンピュータインタフェースについて紹介する。

Key Words : P300, event-related potential, probe stimulus method, concealed information test, brain-computer interface

はじめに

事象関連電位 (event-related potential: ERP) の P300 波は、1964 年から 65 年にかけて世界の複数の研究室でほぼ同時に発見された¹⁾。P300 が注目を集めたのは、それが高振幅であったことに加え、心理的な要因によって変化したからである。発見当初から P300 は心理学・認知科学と深いつながりがあった。それから 50 年近くが経過し、さまざまな知見が蓄積されている。

ERP 研究に占める P300 研究の割合は、以前と比べて減っている。その理由の一つとして、P300 の電源(発生源)が分散しており、P300 が生じることの機能的役割も明らかでないことが挙げられる。神経科学の立場からは深く追究するのが難しい成分なのである。しかし、P300 には、他の ERP 成分と比べて信号/ノイズ比が高いという特徴がある。覚醒中の脳波にはあまり含まれない周波数帯域 (1-2 Hz, デルタ帯域) で高振幅に出現するので、少ない加算平均回数でも検討できる。P300 は応用場面に適した ERP 成分であるといえる。

本稿では、医療以外の分野における P300 の応用

について述べる。最初に、認知科学の立場から知っておきたい P300 の基礎知識を 5W1H (What, Who, When, Where, How, Why) の形式で概説する。次に、応用例として、プローブ刺激法による注意配分量の推定、隠匿情報検査による記憶の検出、ブレイン-コンピュータインタフェースの 3 つを紹介する。

P300 の基礎知識

1. P300 とは何か? (What)

P300 は、事象からおおよそ 300 ms 以降に陽性の最大振幅を示して出現する脳電位である。頭皮上では中心頭頂部でもっとも大きく記録される。“P300” の代りに“P3” という名称を好む研究者もいる。初期の誘発電位とは異なり、内因性の電位である P300 の頂点潜時は、刺激や課題によって変化する。そのため 300 という添字に実体がなく、3 番目の陽性波として番号で呼んだ方が合理的であるという理由による。

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) から構成されている²⁾。P3a は P3b よりも潜時が約 60-80 ms 短く、より前頭優位に現われる。P3a と P3b は、次のような 3 刺激オドボール課題を行うことで比較的独立に記録できる³⁾。標準

刺激（1940 Hz）と標的刺激（2000 Hz）の類似性を高くして弁別を難しくする。そこに物理的に逸脱した刺激（500 Hz）を提示すると、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。

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⁴⁾。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⁵⁾。手がかり刺激によって次に出てくる刺激が予測できないときは、実際の刺激（光か音）が提示されてから約 300 ms 後に頂点振幅に達する陽性波が生じた。Picton¹⁾ の総説によると、P300 に相当する波は、同じ年に出版されたベルギーの Desmedt ら⁶⁾ やイギリスの Walter⁷⁾ の論文でも報告されている。P300 は、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よって、発見されるべくして発見された電位だといえる。なお、“P300” という名称が論文に登場するのは 1970 年以降である⁸⁾。それまでは P3⁹⁾ または late positive component⁵⁾ と呼ばれていた。

3. いつ生じるか？ (When)

P300 が惹起される条件はほぼ明らかになっている。主な条件として、(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）が挙げられる。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。Johnson¹⁰⁾ は、P300 の振幅について 3 次元（鼎立, triarchic）モデルを提案した（図 1）。このモデルでは、主観的確率（まれであるほど振幅が大きい）と刺激の意味（有意性が高いほど振幅が大きい）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が少ないほど振幅が大きい）の次元が乗算的に影響することで、P300 の振幅が決まると主張する。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¹¹⁾。現在のところ、以上の 4 つが P300 振幅を規定する心理的要因であると考えられる。このほかに、生理的要因として、

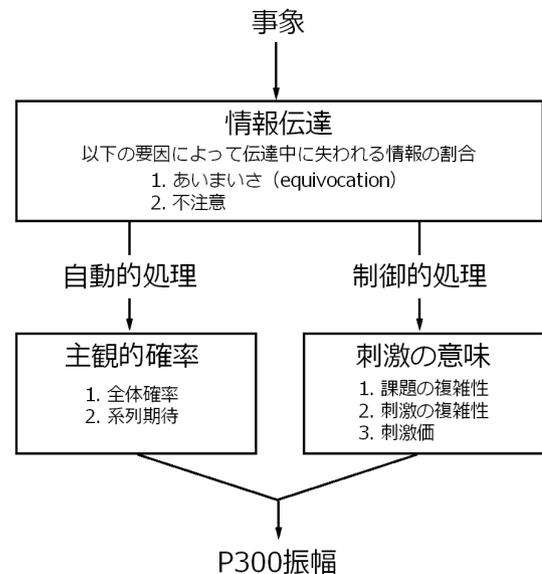


図 1 P300 振幅の 3 次元（鼎立）モデル¹⁰⁾

覚醒や疲労、摂食などが影響することが知られている¹²⁾。

P300 の潜時については、刺激評価に要する時間であり、反応時間とは独立した指標であると考えられている。この主張は、(1) P300 振幅は刺激の意味に関連して変化するのだから刺激評価は P300 の頂点よりも前に終わっているはずだという論理と、(2) P300 潜時と反応時間は異なる変数に影響される（刺激を弁別しにくくすると P300 潜時と反応時間はどちらも延長するが、刺激と反応の組み合わせを複雑にすると反応時間だけが延長する）という知見に基づいている¹³⁾。しかしながら、P300 潜時を主要な測度とする研究は減少傾向にある。計測と解釈の両方に難しさがあるためである。低周波の電位変化である P300 は明瞭な頂点を持たないことがあり、頂点潜時の同定はノイズに影響されやすい。また、観察された P300 潜時の変化が、P300 自体の変化であるのか、他成分の重畳によるのかは自明でない。図 2 に示すように、P300 に N2 が重畳すると、P300 自体に変化がなくても潜時が見かけ上後ろに移動することがある。このとき、波形上には N2 に相当する波が現われていないことに注意してほしい。標準化された実験パラダイムにおいて得られる P300 潜時を、群間や処置前後で比較することには記述的価値がある。しかし、P300 潜時そのものに心理学的な意味づけをすることは難しい。

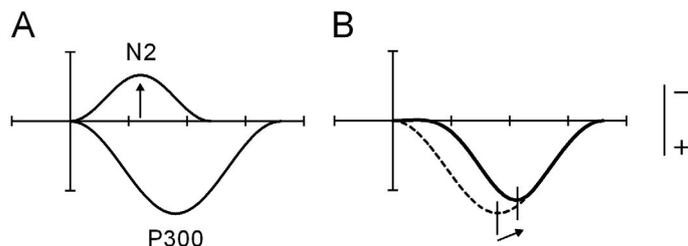


図2 成分重畳によるP300頂点潜時の見かけ上の移動(模式図)

4. どこから生じるか? (Where)

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・二次元的に検討されることが多かった。しかし、神経科学的手法(頭蓋内記録, 脳損傷患者研究, 電源推定, fMRI との比較等)により, P300に関連する脳部位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, 下頭頂皮質, 帯状皮質などがあり, P3b(標的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, 頭頂間溝, 内側側頭皮質(海馬と嗅周皮質)などがある¹⁴⁾。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, これらすべての活動が頭皮上で記録されるわけではない。たとえば, 海馬で生じる神経活動は頭皮上には大きく現われてこない。そのため, 頭皮上で広範に記録されるP300の主要電源は大脳皮質にあると考えるのが妥当である。それは大きく2つのクラスター主にP3aに関連する外側前頭前皮質と, P3aとP3bの両方に関連する側頭-頭頂接合部とその隣接領域—にまとめることができる¹⁵⁾。

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活動する必要がある。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¹⁵⁾。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(約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(約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, それぞれの脳部位におけるニューロンの求心性シナプス入力を促進する。その結果, シナ

プス後電位が増えてニューロンの脱分極が生じ, 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)が形成される。これがP300として頭皮上で記録されるという仮説である。刺激の提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活動することになる。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試みている。

6. 何のために生じるか? (Why)

P300の機能的役割については, 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*誌上における論争では, 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)^{16,17)}に対して, リューベック医科大学のRolf Verlegerが厳しい批判を行い, 文脈終結仮説(context closure hypothesis)¹⁸⁾を提案した。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的刺激)が提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。文脈更新仮説の欠点として, P300の発生と記憶更新を結びつける直接的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¹⁹⁾。P300 が反映する過程として、他にも、事象分類²⁰⁾、神経抑制²¹⁾、意思決定¹⁵⁾、知覚分析と反応を結びつける過程¹⁹⁾といった仮説が提唱されているが、現在でも決定版はない。

P300 の応用例

上述のように、P300 の電源や機能的役割は完全には解明されていない。しかし、P300 が惹起される条件さえ明らかであれば、応用は可能である。以下に3つの例を紹介する。共通しているのは、P300 振幅を“注意”の指標として扱うことである。P300 は、刺激に注意を向けていると振幅が大きくなり、向けていないと小さく（生じなく）なる。そのため、P300 振幅は刺激に向けられた注意の量を反映する指標となる。この理論的解釈は、その他の実験変数（刺激の物理的属性や刺激間間隔、提示確率など）が一定であるという条件の下で成り立つことに気をつけてほしい。P300 を応用した研究を行うときは、この点を正確に統制するようにする。

1. プローブ刺激法による注意配分量の推定

P300 振幅は、刺激に向けられる注意の量を反映するが、刺激や課題の複雑性によっても影響を受ける。そのため、ある対象にどのくらい注意を向けていたかを P300 振幅を指標として直接測ることは難しい。また、事象のオンセットが明瞭でなければ ERP を算出できないので、直接 P300 を測定できない対象もある。

プローブ (probe) 刺激法は、ある課題や状況に向けられている注意量を、別の刺激に対する反応から間接的に推定する方法である²²⁾。プローブとは“探り針”の意味である。一度に使える注意（注意資源）の量には限界があるという仮定の下に、余っている注意資源の量を調べる。P300 を出現させるには、プローブ刺激を低頻度で提示し、それに注意を向けさせればよい。主課題に向けられる注意資源量が多くなれば、プローブ刺激に向けられる注意資源量が減り、P300 の振幅も小さくなる。プローブ刺激法を用いて、航空機や自動車を操縦しているときのメンタルワークロードを測ろうとする研究が 1970 年代から行われてきた。

プローブ刺激法は、テレビや映画に対する関心を測るときにも利用できる。図 3A に示すように、関心

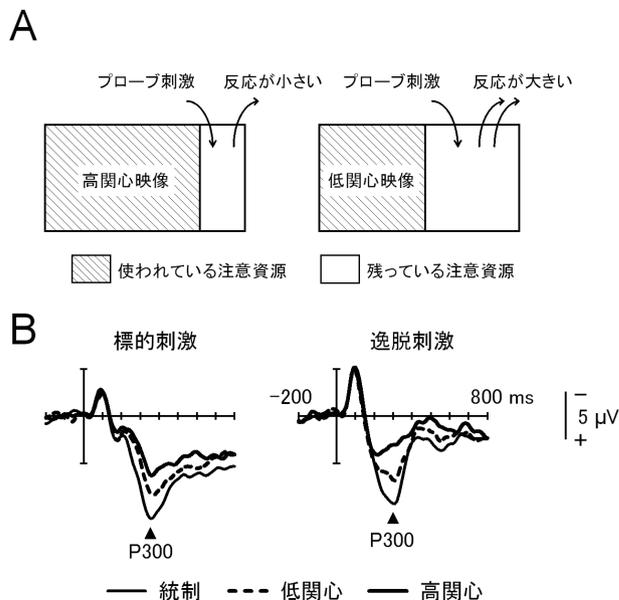


図 3 プローブ刺激法による注意配分量の推定²³⁾

A: プローブ刺激法の原理, B: 中心正中部 (Cz) における ERP 波形

の高い映像は、関心の低い映像に比べて、より多くの注意資源を消費するはずである。利用できる注意資源の量が一定だとすると、プローブ刺激に向けられる注意資源の量が減る。そのためプローブ刺激に対する P300 の振幅が小さくなると予想できる。実験参加者に関心の高い映像（アクション映画）と中程度の映像（科学教材映画）を音声なしで見せながら、プローブ刺激として音を提示した²³⁾。P300 を測定するために、3種類の音—70%の確率で提示される中音（1800 Hz、標準刺激）、15%の確率で提示される高音（2000 Hz、標的刺激）、15%の確率で提示される低音（500 Hz、逸脱刺激）—をランダムな順序で聞かせ、高音に対してボタン押しを求めた。音に注意を向けることにより、低頻度で提示されるプローブ刺激に対して P300 が出現する。刺激のオンセット間隔は平均 1.5 秒であった。統制条件として、静止画を見ながら高音に対してボタン押しを行っているときの反応も測定した。

図 3B に示すように、標的刺激に対しても逸脱刺激に対しても P300 が出現した。どちらも統制条件で最大となり、高関心映像を見ている条件で最小となった。変化が最も大きかったのは逸脱刺激に対する P300 振幅で、統制条件の半分以下（55%減）になった。標的刺激にはボタン押しが求められているので、たとえ映

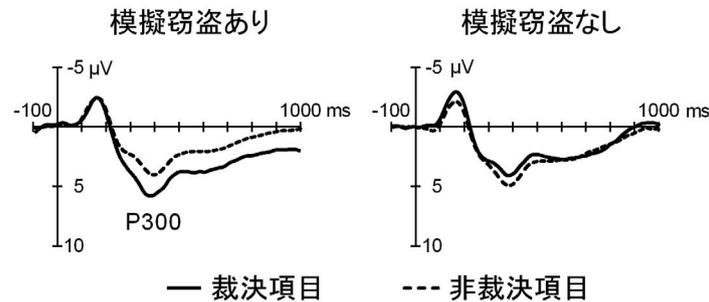


図4 隠匿情報検査で得られた頭頂正中部 (Pz) における ERP 波形²⁶⁾

像が面白かったとしても注意を向けざるをえない。しかし、逸脱刺激には行動反応が求められていないので、余裕がなければ処理を省略できる。そのため、P300 振幅の条件差は、逸脱刺激に対する P300 (P3a が多く含まれる) において顕著に認められたと考えられる。

2. 隠匿情報検査による記憶の検出

隠匿情報検査 (concealed information test: CIT) は、犯罪捜査などで、被検査者が隠している記憶を心理生理学的な測度によって検出する方法である。“虚偽検出”や“ウソ発見”と呼ばれることもあるが、ウソをついているかどうかを調べているわけではない。皮膚コンダクタンス反応や心拍、呼吸といった自律神経系活動が主に測定されるため、ポリグラフ検査とも呼ばれる。1980 年代後半から P300 を用いた CIT も開発されてきた^{24, 25)}。

たとえば、窃盗事件でネックレスが盗まれたとする。犯人と警察だけが盗品を知っている場合、ネックレスを似たような貴重品 (イヤリング、腕時計、ブローチ、指輪) に混ぜて、音声や写真で 1 つずつランダムに提示する。5 つの刺激を等確率で提示するので、被検査者が盗品であるネックレスを知らなければ、すべての刺激に対する反応は同じになるはずである。しかし、ネックレスに気づけば、盗品 (提示確率 20%) とそれ以外の貴重品 (80%) が別のカテゴリとして認識されるため、低頻度刺激となる盗品に対して高振幅の P300 が出現する。また、盗品は犯人にとって有意義性が高いことから、P300 振幅は増大する。図 4 に、このような課題で測定された ERP 波形を示す²⁶⁾。5 つの物品名を 22 秒に 1 回の割合で聴覚提示した。模擬窃盗を行ったときは、盗品 (裁決項目) に対して、その他の物品 (非裁決項目) よりも大きな P300 が出現

した。他方、模擬窃盗を行っていないときは、盗品とそれ以外の物品で P300 振幅に差がなかった。

このように、P300 に基づく CIT では、虚偽や隠蔽に伴う反応ではなく、裁決項目に対する記憶の有無を検査している。しかし、図 4 をみると、P300 の後にも裁決項目と非裁決項目の差が持続しているのが分かる。これは、陽性徐波 (positive slow wave: PSW) または後期陽性電位 (late positive potential: LPP) と呼ばれる電位である²⁷⁾。最近の研究から、この電位が隠蔽に関連した認知処理によって生じることが明らかになった²⁸⁾。日本における CIT 研究は、現場における応用という面で世界トップレベルにある^{29, 30)}。

3. ブレイン-コンピュータインタフェース

前項で紹介した CIT は、本人が隠そうとしている情報を検出する方法である。反対に、本人は伝えたいのに筋肉を動かさずに伝えられない場面 (筋萎縮性側索硬化症のような病気や戦闘機の操縦のように重力負荷がかかった特殊環境) において、生体信号から意図を読み取る方法をブレイン-コンピュータインタフェース (brain-computer interface: BCI または brain-machine interface: BMI) という。CIT と BCI は、言葉や行動以外の方法でヒトの思考内容を読み取ろうとする点で、同じ現象の裏表である³¹⁾。実際、P300 を用いた BCI と CIT は同じ研究者によって提案された^{32, 33)}。

BCI においても、注意を向けているまれで有意義な事象に対して出現するという P300 の特性が利用されている。Farwell と Donchin³²⁾ は、アルファベットを 6×6 の行列状に並べて提示し (図 5)、行または列をランダムな順序で光らせた (1 秒間に 8 回 [100 ms オン, 25 ms オフ] または 2 回 [100 ms オン, 400 ms オフ])。



図5 P300を用いたブレイン-コンピュータインタフェースの画面例³²⁾

実験参加者には、特定の文字に注意を向け、その文字が光った回数を黙って数えるように教示した。注意を向けた文字が光るのはまれで有意義な事象なので、P300が生じる。それぞれの行と列が光るタイミングに合わせてERPを求め、最大のP300が生じた行と列を特定するアルゴリズムを使うことにより、注意を向けていた文字を検出することができた。95%の精度で検出するための平均所要時間は1文字あたり26.0秒であったという。その後、さまざまな改善が加えられ、情報伝達効率の向上が図られている。脳波を用いたBCIでは、緩徐皮質電位（slow cortical potentials）や基礎律動（ベータやミュー）に注目することもある。P300を用いたBCIの利点として、特別な訓練がいらないことが挙げられる³⁴⁾。

おわりに

本稿では、認知科学の立場から、P300の基礎知識とそれに基づく応用例を紹介した。P300の電源は分散しており、P300が生じることの機能的役割も明らかになっていない。しかし、信号/ノイズ比が高いため、応用場面で扱いやすいERP成分であるといえる。P300を用いた研究を成功させる秘訣は、振幅や潜伏の変化を一義的に解釈できるように、実験変数をうまく統制することにある。

謝辞

データの提供と初稿へのアドバイスをいただいた松田いづみ先生（科学警察研究所）に感謝します。

文献

- 1) Picton TW: The P300 wave of the human event-related potential. *J Clin Neurophysiol* 9: 456-479, 1992.
- 2) Knight RT, Scabini D: Anatomic bases of event-related potentials and their relationship to novelty detection in humans. *J Clin Neurophysiol* 15: 3-13, 1998.
- 3) Comerchero MD, Polich J: P3a and P3b from typical auditory and visual stimuli. *Clin Neurophysiol* 110: 24-30, 1999.
- 4) Friedman D, Ritter W: Samuel Sutton: 1921-1986. *Psychophysiology* 25: 244-247, 1988.
- 5) Sutton S, Braren M, Zubin J, et al: Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science* 150: 1187-1188, 1965.
- 6) Desmedt J-E, Debecker J, Manil J: Mise en évidence d'un signe électrique cérébral associé à la détection par le sujet, d'un stimulus sensoriel tactile. *Bull Acad R Med Belg* 5: 887-936, 1965.
- 7) Walter WG: Brain responses to semantic stimuli. *J Psychosom Res* 9: 51-61, 1965.
- 8) Smith DBD, Donchin E, Cohen L, et al: Auditory averaged evoked potentials in man during selective binaural listening. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 28: 146-152, 1970.
- 9) Ritter W, Vaughan HG, Costa LD: Orienting and habituation to auditory stimuli: a study of short term changes in average evoked responses. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 25: 550-556, 1968.
- 10) Johnson R: A triarchic model of P300 amplitude. *Psychophysiology* 23: 367-384, 1986.
- 11) Gonsalvez CJ, Barry RJ, Rushby JA, et al: Target-to-target interval, intensity, and P300 from an auditory single-stimulus task. *Psychophysiology* 44: 245-250, 2007.
- 12) Polich J, Kok A: Cognitive and biological determinants of P300: an integrative review. *Biol Psychol* 41: 103-146, 1995.
- 13) McCarthy G, Donchin E: A metric for thought: a comparison of P300 latency and reaction time. *Science* 211: 77-80, 1981.
- 14) Halgren E, Marinkovic K, Chauvel P: Generators of the late cognitive potentials in auditory and visual oddball tasks. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 106: 156-164, 1998.
- 15) Nieuwenhuis S, Aston-Jones G, Cohen JD: Decision making, the P3, and the locus coeruleus-norepinephrine system. *Psychol Bull* 131: 510-532, 2005.
- 16) Donchin E: Surprise!...Surprise? *Psychophysiology* 18: 493-513, 1981.
- 17) Donchin E, Coles MGH: Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behav Brain Sci* 11: 357-374, 1988.
- 18) Verleger R: Event-related potentials and cognition: a critique of the context updating hypothesis and an alternative interpretation of P3. *Behav Brain Sci* 11: 343-356, 1988.
- 19) Verleger R, Jaśkowski P, Wascher E: Evidence for an integrative role of P3b in linking reaction to perception. *J Psychophysiol* 19: 165-181, 2005.
- 20) Kok A: On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology* 38: 557-577, 2001.

- 21) Polich J: Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clin Neurophysiol* 118: 2128–2148, 2007.
- 22) 入野宏: 映像に対する注意を測る—事象関連電位を用いたプローブ刺激法の応用例—。生理心理学と精神生理学 24: 5–18, 2006.
- 23) Suzuki J, Nittono H, Hori T: Level of interest in video clips modulates event-related potentials to auditory probes. *Int J Psychophysiol* 55: 35–43, 2005.
- 24) 久保賢太, 入野宏: 事象関連電位の P300 を用いた虚偽検出。人間科学研究 (広島大学大学院総合科学研究科紀要 I) 2: 101–114, 2007.
- 25) Rosenfeld JP: P300 in detecting concealed information. In Verschuere B, Ben-Shakhar G, Meijer E (eds). *Memory Detection: Theory and Application of the Concealed Information Test*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 63–89, 2011.
- 26) Matsuda I, Nittono H, Ogawa T: Event-related potentials increase the discrimination performance of the autonomic-based Concealed Information Test. *Psychophysiology* 48: 1701–1710, 2011.
- 27) Hajcak G, MacNamara A, Olvet DM: Event-related potentials, emotion, and emotion regulation: an integrative review. *Dev Neuropsychol* 35: 129–155, 2010.
- 28) Matsuda I, Nittono H, Ogawa T: Identifying concealment-related responses in the concealed information test. *Psychophysiology* 2013 (in press).
- 29) Osugi A: Daily application of the concealed information test: Japan. In Verschuere B, Ben-Shakhar G, Meijer E (eds). *Memory Detection: Theory and Application of the Concealed Information Test*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 253–275, 2011.
- 30) Matsuda I, Nittono H, Allen JJB: The current and future status of the Concealed Information Test for field use. *Front Psychol* 3: 532. 2012.
- 31) Kubo K, Nittono H: The role of intention to conceal in the P300-based concealed information test. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 34: 227–235, 2009.
- 32) Farwell LA, Donchin E: Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 70: 510–523, 1988.
- 33) Farwell LA, Donchin E: The truth will out: interrogative polygraphy (“lie detection”) with event-related brain potentials. *Psychophysiology* 28: 531–547, 1991.
- 34) Wolpaw JR, Birbaumer N, McFarland DJ, et al: Brain-computer interfaces for communication and control. *Clin Neurophysiol* 113: 767–791, 2002.