

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 20 日現在

機関番号：82505

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22730595

研究課題名（和文） 事象関連脳電位による新たな弁別推定アルゴリズムの開発

研究課題名（英文） A new algorithm for examining stimulus discrimination using event-related brain potentials

研究代表者

松田 いづみ (MATSUDA IZUMI)

科学警察研究所・法科学第四部・研究員

研究者番号：80356162

研究成果の概要（和文）：本研究では、他者がある刺激を他の刺激と弁別しているか否かを脳電位から推定する新しい手法を開発した。判定に用いる刺激呈示回数と電極数をできるだけ減らすことを目指した。まず、刺激を弁別しているときには、刺激提示後 400–1000 ms に後頭部優位に陽性電位が生じることを明らかにした。さらにこの脳電位に注目すると、刺激呈示回数 5 回・後頭部の 1 電極での計測であっても、弁別を有意に正しく推定できることが分かった。本研究の成果は、犯罪捜査のためのポリグラフ検査やブレイン-コンピュータインタフェースを使った意思伝達システムに応用できると期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a new method for examining whether a person can discriminate a specific stimulus from other stimuli using event-related potentials (ERPs). We aimed to reduce the numbers of stimulus repetitions and recording electrodes used for judgment as small as possible. First, we found that a late positive potential with an occipitally dominant scalp distribution was elicited 400–1000 ms after stimulus onset when a participant discriminated a certain stimulus from the other stimuli. Then, we demonstrated that the late positive potential enabled a statistically significant judgment about whether a person discriminated a stimulus from the other stimuli, even when only five stimulus repetitions and one occipital electrode were taken into the calculation. The finding of the present study can be applied to polygraph tests for criminal investigations and communication systems using brain-computer interface.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,000,000	0	1,000,000
2011 年度	600,000	0	600,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,600,000	0	1,600,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：弁別、事象関連電位（ERP）、隠匿情報検査、意思伝達

## 1. 研究開始当初の背景

“言葉や行動を介さずに他者の気持ちや考えを知りたい”。この目標を達成するために

は、生理反応の測定が有効である。特に近年、測定技術の発達により、フィールドで脳波が測定できるようになってきた。その

ため、脳波、そして刺激に対する脳波の変化である事象関連脳電位 (event-related potential: ERP) を用いて他者の心理状態を探ろうとする試みが盛んに行われている。ただし、脳波にあらわれるのは脳の神経活動の一部である。したがって、思考などの複雑な心理状態を ERP から推定することは、現状では難しいだろう。

しかし、“ある刺激を他とは弁別しているかを知りたい”という限定的な目標であれば、ERP も十分に有効である。ある刺激を呈示したときの ERP と、他の似たような刺激を呈示したときの ERP を比較し、両者に有意な違いがあれば、その刺激を弁別していると推定できる。

ERP から弁別が推定できると、さまざまな場面で応用可能である。例えば、いくつかの商品のうち、他者がどの商品が気に入っているのかを ERP から推定するのは、弁別推定課題の一つといえる。

さらに、弁別の推定が有効な状況として、犯罪捜査場面がある。被疑者が犯人であれば、取調べにおいて“事件については知らない”と主張するだろう。一方、被疑者が無実であっても同じことを言うだろう。この場合、言葉からは被疑者が本当に事件について知らないのかは分からない。しかし図 1 のように、いくつかの似たような項目の中に、犯人であれば弁別できる項目を混ぜて被疑者に呈示し、各項目に対する生理反応を測定すれば、生理反応の違いから、被疑者が事件に関する項目を弁別しているか否か、つまり事件について知っているか否かを調べることができる。このような検査はポリグラフ検査または隠匿情報検査と呼ばれる。現在は生理指標として心拍数・呼吸などの自律神経系反応が測定されているが、ERP を追加すればさらに検査精度が上がり期待できる。

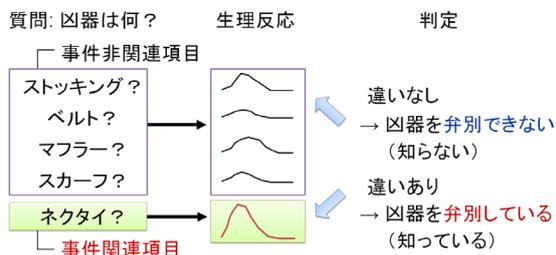


図1. 隠匿情報検査の例

このように、ERP から弁別が推定できれば応用的価値が高いが、実現には大きな壁がある。それは、ノイズの問題である。刺激呈示後の脳波には、刺激に対する変化(信号)の他に、背景脳波など(ノイズ)が重畳している。1回の刺激呈示では、ノイズ

により信号はほとんど観測できない。そこで通常は、各刺激を何十回も呈示し、刺激呈示後の脳波を加算平均することで、ノイズを減らすという手続きがとられる。しかし、刺激を何十回も呈示するのは応用場面では難しい。もちろん、独立成分分析などの信号処理によりノイズを除く方法も開発されているが、この場合は多くの電極を頭皮に装着することが必要になる。現場応用を目指すのであれば、できるだけ少ない刺激呈示回数・電極数で測定した ERP から、弁別の推定を行える方法を開発しなければならない。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、ERP による弁別の推定を、刺激呈示回数や電極数が少なくても行えるような手法を開発することである。そのために、以下の2段階で研究を行った。

- (1) 弁別をしているときの ERP の特徴を明らかにする
- (2) (1)の特徴にもとづき、少ない刺激呈示回数・少ない電極数から弁別を推定するための統計的手法を検討する

## 3. 研究の方法

### (1) 弁別時の ERP の特徴を調べる

隠匿情報検査場面を想定して ERP データを収集した。これは、隠匿情報検査が刺激弁別にもとづく検査としてすでに犯罪捜査で活用されているためであった。事件に関連する刺激とそれ以外の刺激に対する ERP の違いが、どのような潜時・頭皮上部位に生じるのかを検討した。

実験では、20名の成人がアクセサリーまたは電化製品のいずれか1つを模擬的に盗んだ。その後、アクセサリーに関する隠匿情報検査と、電化製品に関する隠匿情報検査を受けた。各検査では、5つのアクセサリーもしくは電化製品の名前が音声で1回ずつ呈示された。呈示間隔は22秒であった。これを1ブロックとして、呈示順序をかえて12ブロックくり返された。実験参加者は、“盗んでいても無実を装うこと”、“各項目が呈示されたら右手のボタンを押すこと”を教示された。参加者にとっては、2つの検査のうち1つには盗んだ項目が含まれており(弁別あり条件)、もう1つには含まれていなかった(弁別なし条件)。

検査中、頭皮上128部位から脳波を記録した。オフラインで0.1-30 Hzのバンドパスフィルタをかけ、両耳差連結基準に再基準化した。各条件(弁別あり・なし)・各項目(事件関連・非関連項目)で、項目呈示時点にそそえて脳波を加算平均し、ERP波形を算出した。事件関連項目は、弁別あり

条件では実際に盗んだ項目，弁別なし条件ではランダムに割り当てた項目とした。弁別あり条件の ERP を，時空間主成分分析により成分に分け，どの成分に項目間の差がみられるかを調べた。これらにより，弁別の有無を反映する ERP 成分を特定した。

## (2) 弁別の統計的推定法を検討する

(1)で特定した ERP 成分の潜時・頭皮上分布を利用して，少試行・少電極でも弁別を正しく推定できる統計的手法を検討した。

まず，弁別を反映する ERP 成分が顕著に生じる頭皮上部位において ERP を計測し，事件関連・非関連項目間での違いを数量化した。数量化には，① 項目ごとに ERP のピーク振幅を求め，項目間の差を求める方法（頂点振幅法），② 項目ごとに ERP を一定時間区間で平均し，項目間の差を求める方法（区間平均法），③ 事件関連・非関連項目間の ERP の差波形を求め，その差波形のピーク振幅を求める方法（差波形振幅法）の3つを用いた（図2）。

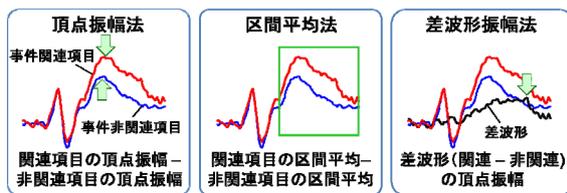


図2. 数量化方法の比較

各手法で数量化した事件関連・非関連項目間の ERP の違いにもとづき，参加者が事件関連項目を弁別しているか否かを判定した。判定はブートストラップ法を用いて次のように行った。まず，ブロックを重複をゆるして抽出し，新たな加算平均 ERP 波形を求めた。次に，新たな加算平均波形を①-③の方法で数量化した。これを100回くり返し，得られた分布の平均について90%信頼区間を求めた。信頼区間の下限が0以上であれば弁別あり，それ以外は弁別なしと判定した。数量化方法間で判定成績を比較した。判定成績は，正判定率と Receiver Operating Characteristic (ROC) 曲線から評価した。ROC 曲線下面積の95%信頼区間の下限が0.5以上であれば，その方法で弁別の有無が有意に正しく判定できたことになる。また，数量化方法間で ROC 曲線下面積が異なるかについて，Hanley and McNeil (1983)にもとづき検定した。

## 4. 研究成果

### (1) 弁別時の ERP の特徴

図3に，後頭部における ERP の総加算平均波形を，条件別（弁別あり・なし）・項目別（事件関連・非関連項目）に示す。

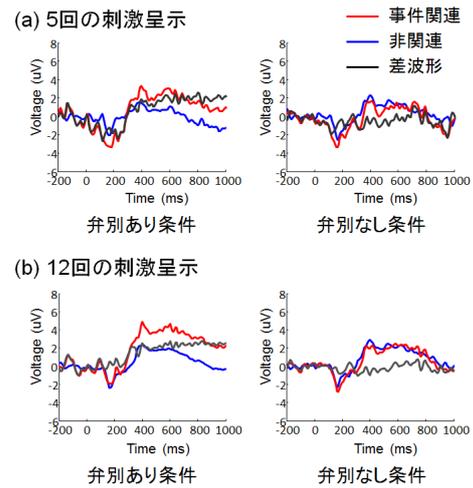


図3. ERPの総加算平均波形(Oz部)

図3aは刺激呈示回数5回(1-5ブロック)で，図3bは刺激呈示回数12回(1-12ブロック)で加算平均したERPである。いずれも弁別あり条件において，刺激呈示後約400-1000msに，事件関連・非関連項目間の違いがみられた。

弁別あり条件の刺激呈示回数12回での加算平均ERPを，時空間主成分分析によりERP成分に分解した。事件関連・非関連項目間に有意差がみられたのは，N2成分 ( $p = .044, d = 0.301$ )・P3成分 ( $p = .041, d = 0.293$ )・後期陽性電位 (late positive potential: LPP) 成分 ( $p = .002, d = 0.726$ )であった（図4）。効果量から，特にLPP成分において，事件関連・非関連項目間の違いが顕著であることが示唆された。LPP成分は，刺激呈示後約400msから1000msにかけて生じる，後頭部優位の成分である。

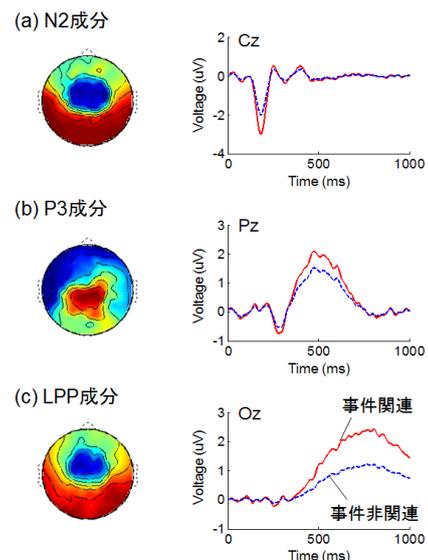


図4. 項目間で違いがみられたERP成分

### (2) 弁別推定のための統計的手法の検討

研究 1 にもとづき、LPP を利用して弁別の有無を判定する方法を検討した。後頭部の 1 箇所 (Oz 部) から計測した脳波を刺激呈示回数 5 回 (1-5 ブロック) で加算平均し、算出された ERP 波形から LPP を数量化して判定に用いた。

表 1 は、事件関連・非関連項目間の LPP の差を頂点振幅法・区間平均法・差波形振幅法により求め、ブートストラップ法を用いて弁別あり・なしを推定したときの判定成績である。ROC 曲線下面積の 95%信頼区間から、どの方法で LPP を数量化しても、刺激呈示回数 5 回のデータで有意に正しく弁別の有無が推定できることがわかった。ただし、差波形振幅法を用いた場合の正判定率が最も高かった。また、ROC 曲線下面積も、差波形振幅法の方が頂点振幅法よりも大きい傾向にあった ( $p = .054$ )。

表 1. 刺激呈示回数 5 回の場合の判定成績

	N	LPP 数量化法		
		頂点振幅	区間平均	差波形振幅
<b>正判定率</b>				
弁別あり条件	20	.350	.350	.650
弁別なし条件	20	.850	.850	.800
<b>ROC 分析</b>				
曲線下面積		.703	.754	.769
95%信頼区間		.524-.842	.576-.881	.600-.888

### (3) まとめ

研究 1 から、少なくとも隠匿情報検査手続きにおいては、刺激弁別の有無は刺激提示後 400-1000 ms に後頭部優位に生じる LPP に顕著にあらわれることが分かった。また研究 2 から、この LPP に注目することで、少ない刺激呈示回数 (5 回)・少ない電極数 (後頭部の 1 電極) から弁別の有無を推定できることが分かった。特に、刺激間の ERP の差波形に注目することで、より正確に弁別が推定できることが示された。

本研究は“特定の刺激を弁別しているか否か”を調べる状況を想定した。一方で、“複数の項目のうち、どの刺激を弁別しているのか”を調べたい場合もある。この場合は、“各項目と他の項目との LPP の違いを調べて、その違いが最も大きい項目を、他とは弁別していると推定する”ことで、本研究の成果がそのまま応用できると考えられる。

LPP は刺激に対する付加的・意図的処理

を反映するとされている (García-Larrea & Cézanne-Bert, 1998)。したがって、参加者が弁別した刺激に対して意図 (e.g., 伝えよう/隠そう) を持っている状況下では、LPP にもとづく弁別推定が特に有効だと考えられる。今後の応用場面での利用が大いに期待される。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Matsuda, I., Nittono, H., & Ogawa, T. (2011). Event-related potentials increase the discrimination performance of the autonomic-based Concealed Information Test. *Psychophysiology*, 48, 1701-1710. doi: 10.1111/j.1469-8986.2011.01266.x.
- ② Matsuda, I., Nittono, H., & Ogawa, T. (in press). Decomposing cognitive processes underlying the concealed information test by event-related potentials. *International Journal of Biomedical Soft Computing and Human Sciences*.

[学会発表] (計 7 件)

- ① 松田いづみ・入野宏・廣田昭久・小川時洋・高澤則美 (2010). 隠匿情報検査における事象関連電位と自律系反応: 模擬窃盗検査とカード検査の比較. 第 28 回日本生理心理学会大会 (生理心理学と精神生理学, 28, p.105)
- ② Matsuda, I., Nittono, H., Ogawa, T. (2010). Discrimination performance of event-related potentials in the autonomic-based Concealed Information Test. 15th World Congress of Psychophysiology (*International Journal of Psychophysiology*, 77, p.285-286)
- ③ 松田いづみ・入野宏・小川時洋 (2010). 隠匿情報検査における事象関連電位の定量化法の比較. 日本心理学会第 74 回大会 (日本心理学会第 74 回大会論文集, p.910)
- ④ 板垣俊・足立信夫・松田いづみ・木村元洋 (2010). 関連電位をどう使うか(7) 一応用的視点と他領域との接点. 日本心理学会第 74 回大会 (日本心理学会第 74 回大会論文集, WS(53))

- ⑤ Matsuda, I., Nittono, H., Ogawa, T. (2010). Central processes underlying the autonomic-based concealed information test: An event-related potential study. 29th International Congress of Clinical Neurophysiology (*Clinical Neurophysiology*, 121, p.293-294)
- ⑥ 松田いづみ・入戸野宏・小川時洋 (2011). 隠蔽情報検査における隠蔽意図が事象関連電位と自律系反応に及ぼす効果. 第29回日本生理心理学会大会 (生理心理学と精神生理学, 29, p.116)
- ⑦ Matsuda, I., Nittono, H., Ogawa, T. (2011). Effects of intention to conceal on central and autonomic responses in a concealed information test. 51th Annual Meeting of Society for Psychophysiological Research (*Psychophysiology*, 48, S39)

[その他]

ホームページ等

<http://researchmap.jp/read0085552>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

松田 いづみ (MATSUDA IZUMI)  
科学警察研究所・法科学第四部・研究員  
研究者番号：80356162

### (2)研究分担者

なし

### (3)連携研究者

なし

### (4)研究協力者

入戸野 宏 (NITTONO HIROSHI)  
広島大学・大学院総合科学研究科・准教授  
研究者番号：20304371

小川時洋 (OGAWA TOKIHIRO)  
科学警察研究所・法科学第四部・主任研究官  
研究者番号：60392263