

機関番号：13904

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21700286

研究課題名（和文）

脳波周波数解析によるヒトのあいまいな知覚状態の抽出

研究課題名（英文） Estimation of perception states from a single-trial EEG recording

研究代表者

南 哲人 (MINAMI TETSUTO)

豊橋技術科学大学・エレクトロニクス先端融合研究所・特任准教授

研究者番号：70415842

研究成果の概要（和文）：

本研究では、単一試行に対する脳波（EEG）からある事物が隠れている二値化画像（隠し絵）を見たときの知覚状態を推定することを目的とした。6名の被験者に対して、ある事物を含む二値化画像とそのカラー画像を、二値化画像→カラー画像→二値化画像の順で呈示し、その二値化画像が呈示されている時にボタン押しによって、その画像内の事物を認識できたかを判断させた。サポートベクターマシン(SVM)を用いて認知状態の推定を行ったところ、入力として、ベータ帯のパワーを用いた時に、最も良い判別率が得られた。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study was to classify perception states. Subjects were presented with binarization images and color images. The best classification accuracy was obtained when the beta band power was used as an input feature. Additionally, the conversion matrix of SVM was analyzed. As a result, the association of the memory was reflected in the alpha band activity in the parietal and parietal temporal region, thereafter, the contrast process comes into being in the beta band activity in the frontal region; finally, the cognitive process accrues in the gamma band activity in the right occipital temporal region.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：認知神経科学

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：視覚認知, 隠し絵, EEG, 周波数解析, SVM

## 1. 研究開始当初の背景

脳内神経機構に関する知識は、脳の個々の部位がどのような機能的役割を果たしているかを解析することによって得られてきた。しかしながら、脳機能、特に、高次脳機能は、脳における局所的な活動だけでなく、それら

の局所的な活動の全体的な統合が重要とされている (Friston, 2001, Le van Quyen, 2003; Stam, 2005)。Rodriguez(1999)は、顔画像を認知するときの脳波のガンマ帯(30-50Hz)の位相関係を調べ、顔を認知しているときは、脳全体におけるグローバルな同

期現象が起こっていることを示した。このような認知現象だけでなく、他の高次認知機能、たとえば、注意においても (Gross et al., 2004)、記憶においても (Tallon-Baudry et al., 2001)、脳全体のグローバルな同期現象が重要であることが言われている。

脳活動に対するインテリジェントセンシングの工学的応用を目指すブレインコンピュータインターフェース・ブレインマシンインターフェース(BCI/BMI)技術は、これまで、主に局所的な脳の活動の大きさをとらえることを基盤としてきた。しかしながら、前述のように、高次認知機能は、脳全体のグローバルな同期現象で表現されていると考えられ、高次認知機能に関する BCI 技術の発展のためには、グローバルな同期現象の利用は不可欠と考えられる。しかし、これら豊富な認知情報を含んでいると考えられるグローバルな同期現象に関する情報を BCI 技術に適用しようとする研究はまだまだ少ない(Gyles et al., 2004; 2005)。

そこで、本研究では、上記のように、近年ますます、その重要性が着目されている、脳波のセンサー間の位相同期などを中心とした脳全体のグローバルな同期情報を用いた、新しい BCI 技術の基礎開発を目指すものである。

研究代表者は、これまで、主に脳磁図(MEG)を用いて、認知現象において生じる MEG センサー間および脳皮質間のグローバルな同期現象について神経科学的に研究してきた。具体的には、1つの図形の観察において複数の見えが意識に昇る知覚交替現象における MEG 信号に対して位相同期解析を行った。その結果、30-50Hz のガンマ帯周波数領域において、知覚交替約 1200ms 前から、右前頭と後頭領域の間の位相同期が高まり、それが、反応時間付近の交替約 500ms 前まで続くという推移を示した。この結果は、知覚交替前に、高次脳領域と感覚脳領域が再帰的な相互作用を起していることを示唆しており、いままで不明瞭であった知覚闘争における脳内ダイナミクスを明らかにすることができた(図 1 参照)(Minami et al., 2007)。そのほか、同様に MEG を用いて、右手正中神経電気刺激における第一次体性感覚野と第二次体性感覚野のベータ帯(15-25Hz)における位相同期現象も示した(Minami et al., 2007)。

このように、脳全体における一時的なグローバル同期現象は、MEG や脳波 (EEG) のような時間分解能の高い脳機能計測手法でとらえられることが分かった。そして、現職である豊橋技術科学大学に移ってから、周波数情報を利用した BCI 技術(高井など, 2008)や脳波成分 P300 を利用した認知状態判別(横田など 2008)などの BCI 技術研究を行うようになったのをきっかけに、これまで研

究してきた脳内における同期現象が、BCI 技術に応用できないかと考えるに至った。

## 2. 研究の目的

本研究では、ヒトがどのように視覚的情報を理解しているかの脳システムの理解と共に、ヒトの理解度を脳活動から抽出する技術の開発を目的として、被験者に、カラー画像を二値化したモノクロ画像(図 1 参照)を見せたときの、対象が何であるのか認知できず、あいまいな時の脳の状態(あいまいな脳状態)と、その後、答えであるカラー画像を見せて、同じモノクロ画像を見ているが、対象をはっきり認知出来た時の脳の状態(はっきりとした脳状態)を、測定が比較的簡便で、BCI 技術などの工学的応用に適用しやすい脳波を用いて計測する。この実験のポイントは、被験者が同じ画像を見ているにもかかわらず、はっきりとした脳状態とあいまいな脳状態を作り出すことができる点にある。

このような隠し絵を見ているときの脳波を計測し、ブレインコンピュータインターフェース (brain computer interface:BCI)、ブレインマシンインターフェース (brain machine interface:BMI) で使用されている認識性能の優れた学習モデルの一つであるサポートベクターマシン(Support Vector Machine:SVM)を用いて単一試行で隠し絵を見たときの認知状態推定を行い、更に行った推定が神経科学に基づいた推定であるかを調べることも目的とする。

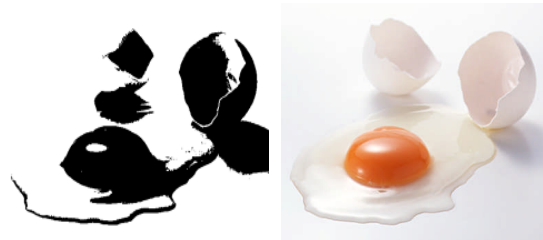


図 1 : モノクロ画像とカラー画像

## 3. 研究の方法

### (1) 被験者

男女 6 名(男性 4 名, 女性 2 名, 平均年齢 22.0 歳)が被験者として実験に参加した。全ての被験者には、実験内容について十分理解してもらい、参加の同意を得た上で実験を行った。なお、本実験は国立大学法人豊橋技術科学大学安全衛生委員会「ヒトを対象とする研究」審査会の承認を受け行われた。

### (2) 実験タスク

ある事物が含まれるカラー画像と、そのカラー画像を知覚が困難になるように二値化した画像の組合せを 1 セットとし、計 120 セットの画像組を使用し実験を行った。実験自体は 3 ブロックあり、各ブロックおよそ 10 分で 40 試行行われる。また 1 試行は二

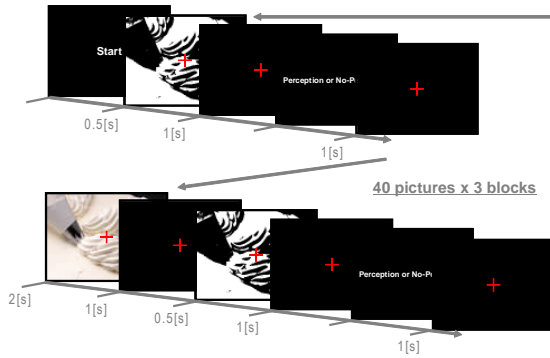


図 2：実験の流れ

値化画像 → カラー画像 → 二値化画像の順に呈示するものとする。その呈示された二値化画像が知覚できたかをボタン押しで判断するというタスクを行った。この手順で呈示することで、同じ画像において分からなかった状態と分かった状態の二状態を作り出せると考えた。その実験手順を図 2 に示す。解析では、一回目の二値化画像で分からなかったと応答し、二回目の二値画像で分かったと応答したときの画像呈示時の脳波を使用した。

### (3) 解析手法

記録した脳波について、ウェーブレット解析を用いて、振幅情報と位相情報を取り出した。さらに、各周波数領域（シータ帯、アルファ帯、ベータ帯、ガンマ帯）ごとに、特徴量として、パワー (Power)、チャンネル内位相同期 (ITC)、部位間位相同期 (SPLVc)、領域ごとにまとめた部位間位相同期 (SPLVa) の 4 つを計算した。各特徴量について、t 検定による特徴選択を行った場合と行わなかった場合の 2 種類の方法を使って、特徴量を SVM に入力し、Leave one out 法を用いて、

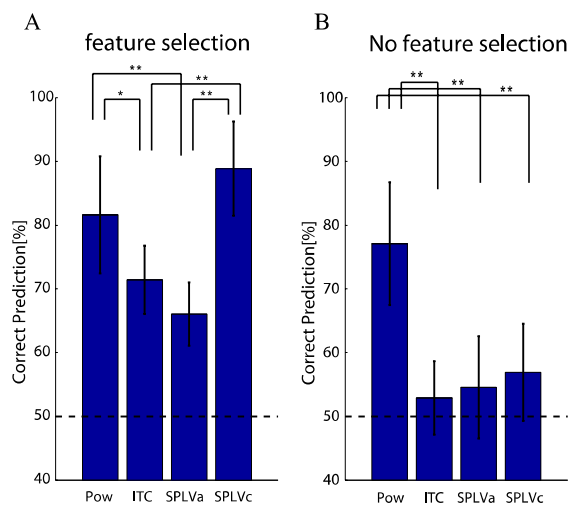


図 3：特徴選択を行った場合と行わなかった場合の 4 つの特徴量の判別率

どの特徴量が、もっとも、「分かった」「分からない」の違いを判別できるかを検討した。

## 4. 研究成果

### (1) 単一試行の状態推定結果

t 検定による特徴選択を行った場合と行わなかった場合の 2 種類の方法に対して、Power、ITC、SPLVa、SPLVc の 4 つの特徴量の判別率を被験者ごとに計算し、その特徴量の主効果と判別に有意な特徴量を one-way repeated measure ANOVA + 多重比較を用いて解析した。その被験者平均結果を図 3 に示す。

特徴選択を行った場合、特徴量の主効果を確認でき ( $F(3, 15) = 18.518, p < 0.0001$ )、Power と SPLV(channel) は他の特徴量に比べて、判別精度が高いことが分かった。一方、特徴選択を行わなかった場合も特徴量の主効果を確認でき ( $F(3, 15) = 37.011, p < 0.0001$ )、Power は他の特徴量に比べ判別精度が高いことが分かった。

更に ANOVA + 多重比較を用いて、4 つの特徴量に対して周波数帯ごとの判別精度の調査を試みた。その結果、特徴選択を行った場合、SPLVc のみ主効果があり ( $F(3, 15) = 6.354, p < 0.01$ )、判別に beta 帯、gamma 帯が重要な役割を果たしていることが分かった。しかし、特徴選択を行わなかった場合、Power のみ主効果があり ( $F(3, 15) = 4.495, p < 0.05$ )、判別に beta 帯が効いていることが分かった。従ってこれらの結果より、特徴選択有り無しに関わらず beta 帯は判別率が高いことが分かった。

### (3) 変換行列のトポプロット結果

特徴選択を行った場合と行わなかった場合の両方に対して、知覚の認識を反映した脳の活動に基づいた状態判別を行っているかどうかを調査するため、SVM の変換行列の空間、時間分布を解析した。具体的には、Power と SPLVc の判別率を計算した時の SVM の変換行列を用い、「SVM の変換行列 (Weight) の平均 = 0」という仮説で t 検定を適用し、Power の場合は、p 値を頭皮上にプロットした (図 4 参照)。

図 4 より、特徴選択を行った場合に比べ、特徴選択を行わなかった場合のほうが周波数帯、時間に関係なく位相同期の有意な箇所が増えたことが分かる。また Power において特徴選択の有無に関わらず、判別に有意な箇所が 4 箇所見つけた。その箇所は alpha 帯や beta 帯での 100-200ms の時間帯の前頭頭頂、前頭頭頂側頭、beta 帯での 400-500ms の時間帯の前頭頭頂部、gamma 帯での 200-400ms の時間帯の後側頭、gamma 帯での 500-600ms の時間帯の左後側頭、gamma 帯での 0-100ms の時間帯の左頭頂側頭であった。

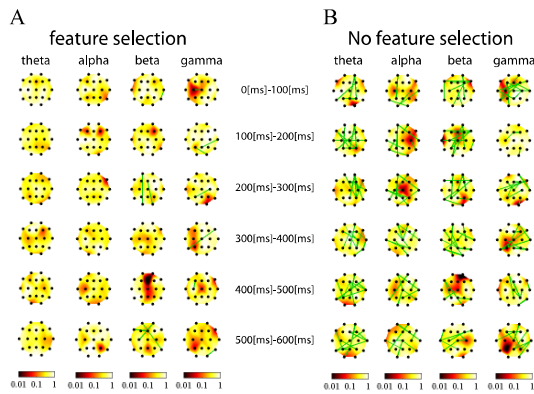


図 4: 特徴選択を行った場合と行わなかった場合の変換行列の分布

#### (4)まとめ

二値化画像→カラー画像→二値化画像の順に呈示することで、同じ画像において認識状態と非認識状態の二状態を作り出し、それらの状態判別を行った。二値化画像を見せたときの脳活動を判別するために 4 つの特徴量 (Power、ITC、SPLVa、SPLVc) を用いると、特徴選択有り無しに関係なく Power を使えば約 80 %の判別率で分かった場合の状態が分からなかった場合の状態かの違いを判別できた。それだけではなく、特徴選択を行った場合 SPLVc ならば約 90 %の状態判別を行うことができた。

また、時系列で見ると前頭頭頂、前頭頭頂側頭の 100-200ms の alpha 帯の知覚表象形成を手助けするトップダウンの処理、続いて 200-400ms の後側頭の gamma 帯活動の知覚表象形成、その後 400-500ms の beta 帯の記憶との照合が行われた後に、500-600ms の gamma 帯において認識・符号化が行われたことによる表象形成の促進が行われていると示唆された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① Minami, T., Goto, K., Kitazaki, M. and Nakauchi, S. (2011), Effects of color information on face processing using event-related potentials and gamma oscillations, *Neuroscience*, 査読有、Vol.176, Pages 265-273.
- ② 則竹洋介, 南哲人, 中内茂樹 (印刷中), 単一試行に対する EEG を用いた二値化視覚情報の知覚状態推定、電子情報通信学会論文誌、査読有
- ③ 高井英明, 南哲人, 長谷川良平 (印刷中), P300 に基づく認知型 BMI における効率の良い刺激提示方法の検討, 日本感性

工学会論文集、査読有

- ④ 橋本陽平, 南哲人, 長谷川良平, 中内茂樹 (印刷中), 商品キャラクタに対する認知状態と脳波の関連, 日本感性工学会論文集、査読有
- ⑤ 横田悠右, 南哲人, 中内茂樹 (印刷中), ERP に基づく視覚刺激における不自然さの推定, 日本感性工学会論文集、査読有
- ⑥ 中島加恵, 南哲人, 中内茂樹 記憶色の強さが事象関連電位 P3 に与える影響 日本感性工学会論文誌、査読有、9(2), 235-242 (2010).
- ⑦ Minami T., Goto K., Kitazaki M. and Nakuchi S. Asymmetry of P3 amplitude during oddball tasks reflects the unnaturalness of visual stimuli. *NeuroReport*, 査読有、Vol.20, pp. 1471-1476 (2009).
- ⑧ 後藤紀美子, 南哲人, 北崎充晃, 中内茂樹 顔認知処理に与える色情報の影響と時間特性 日本感性工学会論文誌、査読有、第 8 巻 pp. 527-534 (2009).
- ⑨ Yokota, Y., Minami, T. and Nakauchi, S., Multisensory processing and gamma band activity in the unnaturalness and cross-modal priming, *Brain Topography and Multimodal Imaging*, 査読有, pp. 27-30 (2009)
- ⑩ Noritake, Y., Minami, T. and Nakauchi, S., Estimation of ambiguous states from a single-trial EEG recording, *Brain Topography and Multimodal Imaging*, 査読有, pp. 27-30 (2009)

[学会発表] (計 4 件)

- ① Noritake, Y., Minami, T. and Nakauchi, S., EEG Study of insight process of hidden figures, 7th Annual ECNS/ISNIP Conference (First Joint Meeting of ECNS / ISBET / ISNIP, Istanbul Turkey), (2010/09/14-18) (ISBET2010 Award)
- ② Nakajima, K., Minami, T. and Nakauchi, S., EEG Study of insight process of hidden figures, 7th Annual ECNS / ISNIP Conference (First Joint Meeting of ECNS / ISBET / ISNIP, Istanbul Turkey), (2010/09/14-18)
- ③ Minami, T., Takai, H. and Hasegawa, P. R., Efficient methods of presenting visual stimuli for the P300-based cognitive interface, 7th Annual ECNS / ISNIP Conference (First Joint Meeting of ECNS / ISBET / ISNIP, Istanbul Turkey), (2010/09/14-18)
- ④ 則竹洋佑, 南哲人, 中内茂樹, EEG を用いた二値化画像によるあいまいな認

知状態の分類, 第 32 回日本神経科学  
大会第 32 回日本神経科学学会,  
Neuroscience Research, Vol. 65(Suppl),  
p. S174 (2009/9/16-18 名古屋国際会議  
場)

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.tut.ac.jp/teach/main.php?mode=detail&article=573>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

南 哲人 (Tetsuto Minami)

豊橋技術科学大学・エレクトロニクス先端

融合研究所・特任准教授

研究者番号 : 70415842