

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月14日現在

機関番号：11501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23653196

 研究課題名（和文） 二者同時計測によるインタラクティブな  
ニューロフィードバックシステムの提案

 研究課題名（英文） A proposal for an interactive neurofeedback system with simultaneous  
EEG recording of two people

研究代表者

大村 一史 (OMURA KAZUFUMI)

山形大学・地域教育文化学部・准教授

研究者番号：90431634

研究成果の概要（和文）：本研究では、セルフコントロールの効果的なトレーニングを促進するために、モバイル計測に適した携帯型脳波計を用いた二者同時計測によるニューロフィードバックシステムの提案を目的とした。従来の単独型とは異なる対戦型というインタラクティブなトレーニングスタイルを導入することによって、より短時間にトレーニング効果を引き出しうるニューロフィードバックシステムを構築し、そのシステムの信頼性・妥当性を検証した。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to propose an interactive neurofeedback system with simultaneous EEG recording of two people. This system uses a compact wireless bioamplifier. We developed a novel neurofeedback system by implementing an interactive training style to elicit quick and effective training outcomes. We also confirmed the reliability and validity of this system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・臨床心理学

キーワード：臨床心理学、セルフコントロール、実験系心理学

## 1. 研究開始当初の背景

機能的磁気共鳴画像法（functional magnetic resonance imaging: fMRI）に代表されるニューロイメージングを用いた認知神経科学研究が隆盛を極める中、従来脳研究に使用されてきた脳波（electroencephalogram: EEG）を利用した応用研究が見直され始めている。特に、医工学領域を中心として、非侵襲式の BMI（brain-machine interface）または BCI（brain-computer interface）と呼ばれるヒトと機械をつなぐ新技術が注目を集めている。脳波は、fMRI、PET や脳磁図に比べ、大がかりな装置を必要とせず、安価で手軽に利用しやすいメリットがある。さらにその応用拡大の背景には、計測技術の進歩に伴い、非

常にコンパクトな脳波計が登場し、モバイル計測にも十分耐えうる仕様になってきたことなども挙げられる。そのような流れの中で、脳波を用いてセルフコントロールを目指すニューロフィードバック（neurofeedback）または脳波フィードバック（EEG feedback）という手法にも改めて陽の光が当たるようになってきた。ニューロフィードバックとは、自身の脳活動をリアルタイムでモニタリングしながら、脳活動のセルフコントロールを促進させる行動改善トレーニングの一形態である。このニューロフィードバック自体の概念は 1970 年代前後からすでに提唱されていた。近年の装置の小型化といったハードウェアの進歩と視覚や聴覚に働きかけるマルチメディア技術を利用したフィードバック

制御が可能なソフトウェアの進歩との相乗効果により、教育、医学、スポーツや芸術など多岐にわたる領域でその応用範囲が拡大してきている。

ニューロフィードバックは対象とする障害や疾患などによって、いくつかのトレーニングパラダイムに細分化される。ある電極部位から記録される一つまたは複数の周波数帯域の脳波をターゲットにして、その脳波の振幅を増大または減少させることで、トレーニングを進めていくことになる。教育分野での適用が盛んな注意欠陥・多動性障害（attention-deficit/hyperactivity disorder: ADHD）においては、電極部位 Cz から記録される脳波を利用し、 $\theta$  帯域の活動を減少させるとともに、 $\beta$  帯域の活動を増大させるパラダイム（ $\theta/\beta$  トレーニング）や頭皮上緩電位（slow cortical potentials: SCPs）をネガティブ方向にシフトさせるパラダイム（SCP トレーニング）がよく利用される。このようなトレーニングにより、注意を保持しながらもリラックスした状態を作り出せる。いずれのパラダイムにおいても共通することは、ニューロフィードバックの学習者がすぐにこのような状態を作り出せるわけではなく、トレーニングには数週間から数ヶ月単位の長い期間を要することである。現在のトレーニングは学習者が一人でニューロフィードバックに取り組むスタイルが主流であるが、脳波の二者同時計測により対戦型/協力型ゲームのような他者との脳活動を通じたコミュニケーション要素を盛り込むことで、より効果的にトレーニングを進めていくことを可能とするインタラクティブなニューロフィードバックシステムを提案したいと考えた。当然ながら、トレーニング効果の有効性を巡っても賛否両論が存在し、その利用には慎重を期す必要があることから、システムの提案と共に、それが神経基盤に及ぼす作用機序をも含めて包括的に検討することを目指した。

## 2. 研究の目的

本研究では、セルフコントロールの効果的なトレーニングを促進するために、モバイル計測に適した携帯型脳波計を用いた二者同時計測によるニューロフィードバックシステムを提案した。従来一人の学習者に対して単独に行われてきたニューロフィードバックに対戦型/協力型というインタラクティブなトレーニングスタイルを導入することによって、より短時間にトレーニング効果を引き出しうる次世代型のインタラクティブなニューロフィードバック環境の確立を目的とした。具体的には、(1) 二者同時計測ニューロフィードバックシステムの構築、(2) 構築したシステムの信頼性・妥当性の検証、(3)

構築したシステムを用いたセルフコントロールプログラムの開発を試みた。

## 3. 研究の方法

### (1) 二者同時計測ニューロフィードバックシステムの基礎構築

多人数同時計測の基礎として二者同時計測のニューロフィードバックシステムの構築を中心に行った。ハードウェアとして Bluetooth 無線技術によるモバイル計測に適した MindMedia 社の脳波計 NeXus-10 を用いて、 $\theta/\beta$  トレーニングトレーニングを中心に、ターゲットとした脳波状態が出た場合に、その程度に応じてフィードバックを与えるソフトウェア BioTrace+を組合せたシステムを整備した。単純に、二者の脳活動をそれぞれ独立に学習者にフィードバックするだけにとどまらず、二者間の脳波の相関やコヒーレンスを解析し、それらを利用したフィードバック情報を利用することで、脳活動の相乗効果を高めることが可能なシステムに発展させるための基礎システムを目指した。例えば、単純なフィードバックとしては、ターゲットとする脳波をコントロールして、脳を” activate” させたときは上側の四角形がハイライトされ、スマイルマークがフィードバックされる。脳を” deactivate” させるのに成功したときは、下側の四角形がスマイルマークと共にハイライトされるようなものがあるが考えられるが、これに二人の脳波がシンクロしたときには音や色の変化といった情報を加えるなどのアイデアを盛り込んだマルチメディア環境を有効に利用したものを提案することを見据えた。

### (2) 構築したシステムの信頼性・妥当性の検証

二者同時計測のニューロフィードバックシステムを用いて、健常大学生約 2 名を研究協力者として試験的運用を行う。二者の学習者に対して、ソフトウェアが適切なフィードバックを与えることが出来るかを確認した。その際に、安全性、ユーザビリティなどを慎重に評価しながら、システムの改善を試行錯誤した。

### (3) 構築したシステムを用いたセルフコントロールプログラムの開発

ニューロフィードバックを用いたトレーニングの効果を検討するために、安静時脳波を用いた脳波状態の検討や、連続遂行課題（Continuous Performance Task: CPT）遂行中の脳活動の検討を行った。さらに単独型システムと二者同時計測システムとの比較を通じて、同時計測によるインタラクティブシステムの効果を神経基盤に及ぼす作用機序の観点から検証した。行動評価に基づく効果

の検討だけでは、客観性に欠けるため、多チャンネルの高性能デジタル脳波計を利用した解析 (Quantitative EEG: QEEG) を利用して、安静時脳波の比較および CPT 遂行時の事象関連電位を評価指標として N2 や P3 の振幅や潜時がトレーニング前後でどのように変化したかを検討して評価方法を提案した。この作用機序の解明に加えて、プログラムの適用のし易さ、具体的なスケジュールプラン等の比較・検討を行い、より安全かつ効果的にニューロフィードバックを利用できるプログラムの提案までを目指した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 二者同時計測ニューロフィードバックシステムの基礎構築

無線技術によるモバイル計測に適した生体アンプをベースにシステムを組み、頭皮上の電極部位 Cz から導出された脳波を元に  $\theta/\beta$  パワー値を算出した (図 1)。当研究室において以前から研究を展開している、「身体で覚える」ニューロフィードバックの視点から、脳波に加え、自律神経系の指標として、脈波から導出される心拍および心拍変動も併せてコントロールの対象とした。ターゲットとした心拍数と  $\theta/\beta$  の比率がともに閾値よりも下回った状態の場合に、その時間に応じて学習者に得点が加算される報酬型のフィードバックを与えるソフトウェアを作成した (図 2)。システムの画面構成としては、指導者用のプライマリモニタ 1 台と学習者用のセカンダリモニタ 1 台を用意し、それぞれに専用のモニタリング画面 (プライマリモニタ: 指導者用) とフィードバック画面 (セカンダリモニタ: 学習者用) を提示する方法を採用した。これにより、二人の学習者は同時にセカンダリモニタを使用することになるものの、二者同時計測によるニューロフィードバックが可能な基本システムを構築することができた。

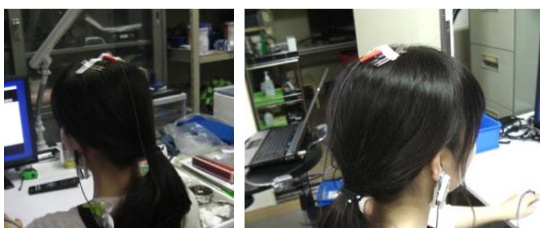


図 1 基本システムの電極装着例

次に、構築した基本システム (指導者用プライマリモニタ 1 台、学習者用のセカンダリモニタ 1 台) を拡張し、無線技術によりセカンダリモニタの画面をタブレット端末上に提示するシステムの作成を試みた。これにより、現行システムでは同一のセカンダリモニタ画面を利用していた二人の学習者 (学習者

A および学習者 B) に対して、独立した画面提示が可能になることを想定した。しかしながら、無線通信による画面更新遅延のタイムラグや、通信接続の不安定性などにより、現段階では現実的なシステムとはならなかった。このため、運用コストを鑑みて、現行の基本システムのままだが現時点での最良の選択肢であると判断した。ただし、システムのタブレット端末上での運用は、今後も開発を継続する予定である。



図 2 学習者へのフィードバック画面例

度重なる試行錯誤の結果、ベースとなるトレーニング内容は、以前より継続して行っていて、もっとも安定感のある  $\theta/\beta$  トレーニングを用い、ターゲットとした  $\theta/\beta$  パワー値の比率 (基準の閾値は 2.0 に設定) を下回った脳波状態の場合に、その時間に応じて、それぞれの学習者に得点が加算される報酬型のフィードバックを与え、得点を競い合う形式が最適と判断した。今後はある目的達成のために互いが協力し合う協調型の形式の導入を予定している。二者間の脳波の関連を解析し、それらを利用したフィードバック情報を提供することで、脳活動の相乗効果を高めることが可能なソフトウェアの開発を検討中である。

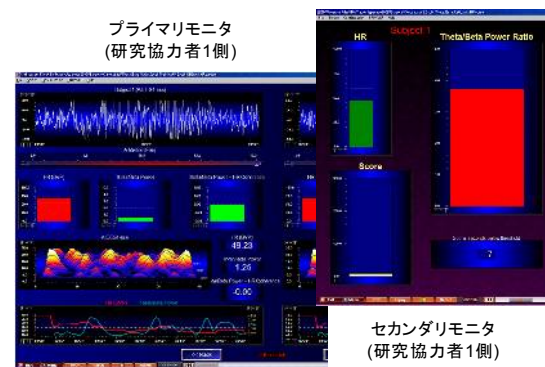


図 3 研究協力者 1 側のシステム画面例

##### (2) 構築したシステムの信頼性・妥当性の検証

構築したシステムの信頼性・妥当性を検証するために、研究協力者 2 名を対象として試験的運用を行った。研究協力者はコンピュータの画面上に表示される自分の心拍数と  $\theta/\beta$  パワー値をモニタリングしながら、い

ずれの値も各人に合わせてターゲットとして設定した閾値よりも低い状態を保つよう教示された。プログラムは、両方のターゲット値をクリアした状態1秒につき1点の点数が加算され、良好な状態であることをフィードバックした。研究協力者はできるだけ高い点数を得ることを報酬として動機付けを行った。心拍数のターゲット値は、それぞれの研究協力者の安静時の値を目安に設定した。 $\theta/\beta$  パワーのターゲット値は、健常成人の平均値 2.0-2.5 に基づき 2.0 に設定した。ターゲット値を超えた場合には不快音が鳴り、望ましい状態ではないことが研究協力者にフィードバックされた。複数回にわたる試行から、2名の研究協力者に対して、作成したソフトウェアが適切なフィードバックを与えることが確認された。しかし、数値による詳細な比較を行うまでにはいたらず、単独型との比較、あるいは、対戦型と協調型との比較を行うことなどが今後の課題として残った。

### (3) 構築したシステムを用いたセルフコントロールプログラムの開発

実際の運用に際して、適切な効果が上げられるシステムに洗練させていくために、多チャンネル脳波計を利用した安静時脳活動や事象関連電位を指標として導入し、実行機能測定課題などを利用して、心理・生理の両面からトレーニング効果を評価できる方法を検討中である。特に、デフォルト・モード・ネットワークの観点から、安静時脳活動をトレーニング効果の指標に導入することは有望であると考えられるため、研究協力者8名に対して、閉眼および開眼状態で、それぞれ3分間の安静時脳波を測定した。この脳波データは併せて取得した質問紙データとともに現在解析中である。



図4 実際のトレーニングの様子

二者同時計測のニューロフィードバックは、ゲーム的要素が強い分、トレーニングに対するコミットメントが単独型よりも高くなることがメリットとして挙げられるが、反面、指導者がトレーニング時に行う言葉かけが難しいというデメリットも指摘できた。今

後は、安全性、ユーザビリティなどを慎重に評価しながら、システムの改善を重ね、トレーニングとその評価を適切に運用し、心理-脳神経プロファイルを統合した評価・介入システムへと昇華させていくことを計画している。

### 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2件)

- ① 大村一史. 脳波に基づく Default-mode network から迫る発達障害の神経基盤. 山形大学紀要(教育科学), 査読有, 15巻4号, 2013, 25-39.
- ② 大村一史. ガンマ帯域活動を対象とした ADHD 研究の新展開. 山形大学紀要(教育科学), 査読有, 15巻3号, 2012, 25-36.

[学会発表] (計5件)

- ① 大村一史. 教育講演 「個に応じた適切な支援を導く神経教育的アプローチ」. 日本 K-ABC アセスメント学会 第15回山形大会(招待講演), 2012年08月05日, 山形大学(山形市).
- ② 大村一史. 教育講演 「脳研究から捉えた個性の理解に基づく介入の提案」. 第12回 日本音楽療法学会東北支部学術大会(招待講演), 2012年06月23日, 山形テルサ(山形市).
- ③ Omura, K., Suzuki, E., Yamaguchi, K., & Kusumoto, K. Electrophysiological responses of speed-accuracy trade-off on a continuous performance task in non-clinical children. Cognitive Neuroscience Society 2012, 2012年04月04日, The Palmer House Hilton (Chicago, IL, USA).
- ④ 大村一史. 一般公開講演 「脳研究から理解する発達障害の個性」. 第29回 山形音楽療法研究会研修会, 2011年12月11日, 山形市総合福祉センター(山形市).
- ⑤ Omura, K., Suzuki, E., Yamaguchi, K., & Kusumoto, K. Event-related potential variability related to personality traits on a continuous performance task. Cognitive Neuroscience Society 2011, 2011年4月4日, Hyatt Regency San Francisco (San Francisco, CA, USA).

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

大村 一史 (OMURA KAZUFUMI)  
山形大学・地域教育文化学部・准教授  
研究者番号：90431634