

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：13102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24800027

研究課題名(和文) 事前に運動意図を予測する準備型ブレイン・コンピューター・インターフェース

研究課題名(英文) Prediction of intention before actual movement using preparation-based Brain-Computer Interfaces

研究代表者

南部 功夫 (Nambu, Isao)

長岡技術科学大学・工学部・助教

研究者番号：40553235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では運動前の脳活動から運動準備やエラーに関連した情報を抽出し外部機器の操作や運動支援を行うインターフェース構築を目指し、脳波(EEG)を用いた運動前の脳活動計測、解析アルゴリズムについての検討、および機能的近赤外分光計測画像法(fNIRS)を用いた運動時脳活動計測を行った。運動前のEEGデータを解析することにより、行動のエラー(正しい行動か誤った行動か)を予測(判別)できる可能性を示すことができた。また、将来的な精度向上のため、粒子群最適化を用いたEEG解析アルゴリズムや、EEGと組み合わせるためのfNIRS脳活動についての検討を行い、その有用性およびその応用可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：The goal of this research is to extract information about preparation or errors of movements from pre-movement or pre-stimulus brain activity, and to construct brain-computer interfaces that control external devices or support intended movements from brain activities of users. For this purpose, I conducted following three projects: measurement of brain activity using electroencephalogram (EEG) before movements, development of classification algorithm for EEG data, and measurement of brain activity during movements using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). The results suggest that predicting occurrences of errors is possible from EEG data during pre-movement period, although further improvements are needed. Also, this research suggests feasibility of new algorithm using particle swarm optimization and a possibility of combining fNIRS with EEG during movement tasks for improving an accuracy.

研究分野：脳情報インターフェース

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：脳情報インターフェース 非侵襲脳活動計測 EEG fNIRS 運動準備 事前脳活動

### 1. 研究開始当初の背景

近年、コンピュータやロボット、身体補助装置などの外部機器を脳活動から直接操作するブレイン・コンピュータ・インターフェース (BCI) の研究が国内外で盛んに行われている。BCI は病気や事故で身体機能を失った方の生活を支援し、コミュニケーションを可能とし、さらに健常者に対しても考えただけで操作できる新しいインターフェースとなる可能性を秘めている。

この新技術の開発を目指し、これまで国内外で非侵襲脳活動を利用した BCI 研究が多く行われてきたが、使用者にとって自然ではない脳活動を利用した研究が多い。特にこれまでの研究では運動を想像する課題 (Imagery) を実験に採用するものが多く報告されている。しかし想像という課題は、本来の運動から考えて自然なものではなく、行うのが難しい。実際に、運動はほとんどの人が同じように行うことができるにも関わらず、想像課題は個人差が大きく全くできない人もおり、長期間のトレーニングが必要なケースになる。非侵襲 BCI の精度と操作性を高めるためには、より自然な脳活動を利用し使用者の負担を減らすことが望ましい。

### 2. 研究の目的

本研究では、より自然な脳活動として運動準備脳活動に注目した。通常、運動するときには事前に脳内で準備が行われていることが明らかになっており (運動準備脳活動)、この準備には運動意図 (ゴール) も含まれている。また、運動前の脳活動には、間違えてエラーを発生させてしまった原因に関連した脳活動や、運動の適切な切り替えに関連する脳活動も含まれる。このような運動前の脳活動は日常の動作時にも見られる自然な脳活動であるため、この情報を抽出することができれば、事前に運動意図や運動エラーを予測し、外部機器の操作や運動の支援に利用することができる。

申請者がこれまでに行った研究では、核磁気共鳴法 (fMRI) を用いて計測した運動直前の脳活動から複雑な系列指運動 (タイピング) の予測ができる可能性を示した。このように運動直前の脳活動を利用することで、運動前に BCI を操作もしくは使用者の行動支援を行うことができる可能性は非常に高いと考えられる。

そこで、本研究ではヒトの運動を対象とし、運動前の非侵襲脳活動 (運動準備脳活動、刺激提示前の脳活動) からユーザの意図を抽出する運動準備型 BCI の可能性を検討した。将来的にこの BCI は、コンピュータやロボットなどの外部機器を操作するだけでなく、運動支援・補助によるリハビリテーションやトレーニング、事故を未然に防ぐアラートシステムへの応用が想定される。

### 3. 研究の方法

本研究では、以下の3つについて検討を行った。

#### (1) EEG によるエラー発生前の脳活動の検討

運動前の脳活動から抽出した情報を利用するインターフェースの構築のため、運動エラー時の事前脳活動を調べた。また、運動前の脳活動を用いて単試行でのエラー予測が可能かを検討した。実験課題には、あらかじめ指定した視覚刺激提示のときに運動を行わず、それ以外のときにはボタン押しを行う、Go-NoGo 課題を採用した。この課題を行っているときの EEG データを計測し、それらをオフライン解析により、行動前の EEG データから行動のエラー (正しい行動が誤った行動か) を予測 (判別) した。判別にはサポートベクターマシン (SVM) を利用した。

#### (2) EEG による運動の切り替え時の脳活動の検討

異なる運動を切り替えたときの脳活動 (EEG) を調べ、運動切り替えを促進させることができる可能性を検討した。実験では、提示された手の画像が右手であるか左手であるかを自分の手の運動想起により判断し、それに対応したボタンを押す課題 (心的回転課題) を採用した。このときに前の試行と同じ手が繰り返し提示された条件と、前の試行とは異なる手が提示された条件の運動前 EEG データを比較することで、異なる想起を切り替えた時の脳活動を調べた。

#### (3) EEG 解析アルゴリズムの検討

EEG データから行動 (運動情報、意図情報) を高精度で予測 (判別) するためのアルゴリズムの開発を行った。特に、EEG データのチャネル選択を効果的に行うことができる粒子群最適化 (PSO) を組み込んだアルゴリズムについて検討を行った。

#### (4) fNIRS による運動時脳活動の検出

時間分解能に優れた EEG と空間分解能に優れた機能的近赤外分光計測画像法 (fNIRS) を組み合わせた高精度 BCI の構築に向けて、fNIRS による脳活動計測を実施し、解析手法やアーティファクト除去について検討した。

### 4. 研究成果

(1) Go-NoGo 課題時における運動前の EEG データを計測し、周波数解析 (全試行平均) を行ったところ、8-12Hz のアルファ帯域や 3-5Hz のシータ帯域において、エラー発生時 (NoGo 刺激時に誤ってボタンを押してしまった場合) と、指示通りに正しく行動できた (NoGo 刺激時にボタンを押さない) ときに違いが見られた。また、その運動エラーが単試行で事前に予測できるか SVM による判別解析を行ったところ、行動前の EEG データから行

動のエラー（正しい行動か誤った行動か）を予測（判別）ができる可能性を示した（最大で約70%）。これらの成果は、単試行のEEGデータを用いてエラーを事前予測できる可能性を示した初めての研究であると思われる、今後のBCIへの応用が期待できるものである。ただし、まだ十分な精度ではなく、その判別率も被験者で異なり、チャンスレベルと比べて有意差が見られない被験者もいることがわかった。今後はエラーに関連した特徴的なデータの抽出および最適な判別アルゴリズムの検討を重ねる必要がある。

（2）心的回転課題時の運動（反応）前の脳活動データをEEGで計測し、切り替え時の脳活動を調べたところ、運動切り替え時と運動繰り返し時には、ベータ帯域(20-25Hz)の事象関連脱同期(ERD)に違いがあることを示した。さらに詳細な検討により、切り替えに関連する脳活動を同定し、それらを利用したインターフェースへの構築を検討していく予定である。

（3）EEGデータの判別率の向上のため、粒子群最適化(PSO)を用いて時系列EEGデータの特徴量（チャンネル）および判別器（フィッシャーの判別分析）のパラメータを最適に決定するアルゴリズムを作成した。その性能を検討するため、別のEEGデータに適用したところ、判別率の向上が見られ、その有効性を示すことができた。今後、運動時（運動前）のEEGデータの解析に利用し、精度の向上を検討する。

（4）NIRSの脳活動情報を組み込んだBCIの構築に向け、NIRSを用いた運動時の脳活動計測およびその解析方法について検討した。fNIRS信号に含まれる頭皮血流に由来するとされるアーティファクト成分を、通常より短距離のプロープにて計測したデータを利用し、一般線形モデルを用いた解析に組み込むことで、運動時間が短い事象関連デザインや運動学習時の脳活動をNIRSで計測可能であることを示した。これにより、将来的にfNIRSを空間脳活動情報として組み込むことができる可能性を示した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Alejandro Gonzalez, Isao Nambu, Haruhide Hokari, Yasuhiro Wada, "EEG channel selection using Particle Swarm Optimization for the classification of auditory event-related potentials," (査読有), *The Scientific World Journal*, vol. 2014, Article ID 350270, 11 pages, 2014. doi:10.1155/2014/350270.

〔学会発表〕(計 8 件)

山根彰太, 南部功夫, 和田安弘  
"EEG 信号による運動抑制反応エラーの事前予測についての検討",  
電子情報通信学会 MBE 研究会, 2014 年 3 月 18 日

横山寛, 南部功夫, 井澤淳, 和田安弘  
"タスク切り替え時の事象関連脱同期の時系列的な変化に関する検討",  
電子情報通信学会 MBE 研究会, 2014 年 3 月 18 日

Takuya Ozawa, Takatsugu Aihara, Yusuke Fujiwara, Yohei Otaka, Isao Nambu, Rieko Osu, Jun Izawa, Yasuhiro Wada,  
"Detecting Event-Related Motor Activity Using Functional Near-Infrared Spectroscopy," *6th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering (NER2013)*, San Diego (USA), 2013 年 11 月 8 日.

Shota Saito, Takahiro Imai, Takanori Sato, Isao Nambu, Yasuhiro Wada,  
"Evaluation of Motor Learning by fNIRS signal analysis using a general linear model," *6th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering (NER2013)*, San Diego (USA), 2013 年 11 月 6 日.

山根彰太, 南部功夫, 和田安弘  
"EEG 信号で計測した波を使用した運動抑制反応時のエラー予測",  
電子情報通信学会, 信越支部大会, 7A-3, pp.107, 2013 年 10 月 5 日

横山寛, 南部功夫, 井澤淳, 和田安弘  
"EEG を用いたタスク切替えに関する脳活動の検討",  
電子情報通信学会, 信越支部大会, 7A-2, pp.106, 2013 年 10 月 5 日

山根彰太, 南部功夫, 和田安弘  
"Investigation of EEG signals before failure to inhibit motor responses,"  
計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム(LE2013), 2013 年 9 月 12 日

横山寛, 南部功夫, 相原孝次, 大須理英子, 井澤淳, 和田安弘  
"A study on enhancement of switching motor imagery by EEG Neurofeedback,"  
計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム(LE2013), 2013 年 9 月 12 日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

南部 功夫 (NAMBU, Isao)  
長岡技術科学大学・工学部・助教  
研究者番号：40553235

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：