

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：13102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560303

研究課題名(和文)脳波による指運動情報の予測 -脳波バーチャルキーボードに向けて-

研究課題名(英文) Prediction of finger movements from electroencephalogram for constructing a virtual keyboard using brain signals

研究代表者

南部 功夫 (Nambu, Isao)

長岡技術科学大学・工学研究科・助教

研究者番号：40553235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、直感的で操作が容易な脳情報バーチャルキーボード構築に向けた基礎検討を行った。最初に、脳波(EEG)を用いて、運動実行時および想起時の個々の指運動(想起)を予測できる可能性を明らかにした。次に、機能的核磁気共鳴画像法(fMRI)により、運動準備時には対側の運動前野や補足運動野に高精度な指運動情報(系列)が含まれることがわかった。最後に、機能的近赤外分光計測(fNIRS)を用いた運動情報の抽出を目指し、fNIRS信号に混在する頭皮血流アーチファクトを除去し、脳活動の推定精度を向上させる手法を開発した。以上の結果は、脳情報を利用したバーチャルキーボード構築に貢献すると期待される。

研究成果の概要(英文)：In this research, we explored a possibility to make a virtual keyboard system using brain signals. First, we measured brain activity using an electroencephalogram (EEG) and showed a possibility for decoding individual finger movements or its imagery from EEG signals. Next, using functional magnetic resonance imaging, we found that types of sequential finger movements can be decoded from preparatory brain activities in the premotor and supplementary motor areas contralateral to the moving hand. Finally, we proposed a method for reduction of systemic artifacts from scalp layers in functional near-infrared spectroscopy and evaluated its effectiveness. Taken all together, our results suggest that we can predict finger movements from non-invasive brain imaging techniques. This techniques could be used for constructing a brain-based virtual keyboard in future.

研究分野：脳計測工学、生体情報処理

キーワード：脳活動 EEG fNIRS BCI 運動

## 1. 研究開始当初の背景

近年、脳情報を用いてロボットアームやコンピュータなどの外部機器の操作を実現するブレインコンピュータインターフェース (Brain-Computer Interface: BCI) の研究が進んでいる。この BCI は特に身体が不自由な患者などに対して行動の補助や身体の代替機能として期待されている。この BCI の中でも脳波 (Electroencephalogram: EEG) や機能的近赤外分光計測 (functional near-infrared spectroscopy: fNIRS) などの非侵襲脳計測装置を用いた研究は盛んに行われてきた。例えば、従来研究では、EEG データを基に文字の入力やキーボードの操作を実現している。しかし、これらは提示される刺激に注意を向けるような受動的な課題 (視覚オドボール課題) などが用いられ、実際に外部機器に行わせる操作と異なる認知課題実行時の脳情報を検出している場合が多い。このような手法は、非直感的であり、操作が容易ではないため、高精度化も難しい可能性があった。

## 2. 研究の目的

本研究では、脳波 (EEG) からの指運動情報予測による直感的で操作が容易な脳波バッチャルキーボード構築に向けた基礎検討を行った。具体的には指のキーボード操作に対応するよう、個々の指運動情報に着目した実験課題を行い、機械学習を用いた解析により運動を予測できるかを調べた。また、機能的核磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging: fMRI) や fNIRS を含む非侵襲脳機能計測で手指の運動情報がどの程度含まれるのかについても検討を行った。

## 3. 研究の方法

本研究では以下の3点に関し、検討を行った。

### (1) EEG による指運動情報の予測

実験では、被験者に(薬指を除く)個々の指運動を行ってもらい、その時の脳活動を EEG で計測した。各運動は約2秒間の屈伸運動とし、どの指を動かすかは被験者にディスプレイ上で教示を行った。頭表に配置した64チャンネル EEG システム (Biosemi 社製) から EEG データを計測し、どの指を動かしているかをフィッシャーの線形判別により予測した。また、同様の実験を、運動を想像する想起課題においても実施した。

### (2) fMRI による指運動系列情報の予測

指運動系列がどの脳領域に表現されているかを調べるため、fMRI による実験を実施した。実験では、被験者に3つの指による運動系列を2パターンのどちらかをなるべく早く実行する課題を行ってもらい、その時の脳活動を計測した。2つの系列パターンは事前に訓練を行ってもらった。解析では、実施する系列

を準備している時間 (準備時) と実際に運動を行っている時間 (実行時) の2つの時間に分け、スパースロジスティック回帰 (Sparse Logistic Regression: SLR) による判別を行った。

### (3) fNIRS の信号処理 (アーチファクト除去) と運動情報の抽出

fNIRS を用いた運動情報の抽出を目指し、fNIRS 解析において問題とされる頭皮血流アーチファクトの除去手法の開発ならびに、手指による把持運動時の予測を行った。アーチファクト除去では、まず、通常よりも短い送受光プローブ間距離を持つ計測チャンネル (短距離チャンネル) を用いて計測された fNIRS 信号に主成分分析を行うことで、頭皮血流アーチファクトを同定した。次に、同定された成分を組み込んだ一般線形回帰モデルを用いて、脳活動成分を正確に推定した。最後に、fMRI で得られた脳活動と比較することで、この手法の有効性を検証した。

また、この手法を適用してアーチファクト除去を行った fNIRS 信号から、左右どちらの手で把持運動を行っているかサポートベクターマシン (SVM) を用いた解析により予測できるかどうかを調べた。

## 4. 研究成果

### (1) EEG による指運動情報の予測

個々の指の運動情報の予測について検討した結果、運動実行時のデータについては、複数の指の組み合わせ (親指 vs 中指、親指 vs 小指、人差し指 vs 中指、人差し指 vs 小指、中指 vs 小指) で有意に判別 (二値判別) できることがわかった。最も判別率が高くなったのは親指と中指の判別で被験者平均 67.3% であった。運動想起時のデータについても、複数の組み合わせ (親指 vs 人差し指、親指 vs 小指、人差し指 vs 中指、人差し指 vs 小指) で有意差が見られたが、その判別率は減少しており、最大で被験者平均 61.1% (人差し指 vs 中指) となった。ただし、各被験者でのデータを確認すると、運動実行で 80% 以上、運動想起で 70% 以上の場合も見られた。これにより、個々の指運動情報を EEG により抽出できる可能性を示唆した。予測精度は未だ十分でないことから、今後は解析手法の検討などによる精度向上を目指す。

また、脳機能結合解析や運動前エラー時の周波数解析などを用いることで、EEG からの適切な運動情報やエラーの抽出できる可能性を明らかにした。

### (2) fMRI による指運動系列情報の予測

指の系列運動パターンを判別できるか検討したところ、運動実行時には、運動している手 (右手) の対側および同側の運動野、感覚野、頭頂領域、小脳など指運動に関連する広範囲の脳領域で判別ができた。一方、運動準備時

には対側の運動野のみで有意な判別結果が得られた。対側運動野についてさらに詳細に調べたところ。特に運動前野や補足運動野の脳活動パターンの違いにより系列情報の判別が行われていることがわかり、これらの領域が指運動系列の情報を運動前に持っていることを示唆した。また、運動情報の抽出のための新規アルゴリズムの開発を行い、SLRの判別器を複数組み合わせることで精度が向上することを明らかにした。

(3) fNIRSの信号処理(アーチファクト除去)通常より短い短距離チャンネルの信号を利用した除去手法(提案手法)の有効性について検証したところ、短距離チャンネルを使わない従来手法よりも正確に頭皮血流アーチファクトを同定することができ、かつ脳活動の推定精度も向上することが分かった。これにより、本提案手法の有用性を示すことができた。

また、運動している手の判別を行ったところ、提案するアーチファクト除去を適用することで有意な判別精度向上が見られた。

以上より、fNIRS計測において頭皮血流アーチファクトを除去し正確に脳活動を同定する手法を用いることで、手指運動情報を抽出できる可能性を示した。今後は、fNIRSとEEGを組み合わせた精度向上に向けて検討を行う。

#### 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 6 件)

佐藤貴紀、南部功夫、和田安弘  
機能的近赤外分光法を用いたブレイ  
ン・コンピュータ・インターフェースに  
対する頭皮血流除去の効果, 電気学会  
論文誌C, 137(5), 717-723, 2017. 査読  
有

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejc/137/5/137\\_717/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejc/137/5/137_717/_article/-char/ja/)

Isao Nambu, Takuya Ozawa, Takanori Sato, Takatsugu Aihara, Yusuke Fujiwara, Yohei Otaka, Rieko Osu, Jun Izawa, Yasuhiro Wada

“Transient increase in systemic interferences in the superficial layer and its influence on event-related motor tasks: a functional near-infrared spectroscopy study,” *Journal of Biomedical Optics*, 22(3), 035008, 2017. 査読有.

<https://doi.org/10.1117/1.JBO.22.3.035008>

Isao Nambu, Takahiro Imai, Shota Saito, Takanori Sato, Yasuhiro Wada

“Detecting motor learning-related fNIRS activity by applying removal of systemic interferences”, *IEICE Transactions on Information and Systems*, E100-D(1), 242-245, 2017. 査読有

<https://doi.org/10.1587/transinf.2016EDL8132>

Takanori Sato, Isao Nambu, Kotaro Takeda, Takatsugu Aihara, Okito Yamashita, Yuko Isogaya, Yoshihiro Inoue, Yohei Otaka, Yasuhiro Wada, Mitsuo Kawato, Masa-aki Sato, Rieko Osu,

“Reduction of global interference of scalp-hemodynamics in functional near-infrared spectroscopy using short distance probes,” *NeuroImage*, 141(1), 120-132, 2016. 査読有

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.06.054>

Isao Nambu, Nobuhiro Hagura, Satoshi Hirose, Yasuhiro Wada, Mitsuo Kawato, Eiichi Naito

“Decoding sequential finger movement from preparatory activity in higher-order motor regions: a functional magnetic resonance imaging multi-voxel pattern analysis”, *European Journal of Neuroscience*, 42(10), 2851-2859, 2015. 査読有

<https://doi.org/10.1111/ejn.13063>

Satoshi Hirose, Isao Nambu, Eiichi Naito

“An empirical solution for over-pruning with novel ensemble-learning method for fMRI decoding”, *Journal of Neuroscience Methods*, 239, 238-245, 2015. 査読有  
<https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2014.10.023>

[学会発表](計 11 件)

Tetsuro Hayashi, Hiroshi Yokoyama, Isao Nambu, Yasuhiro Wada

“Prediction of Individual Finger Movements for Motor Execution and Imagery: an EEG Study”, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2017)*, Banff, (Canada) (発表決定).

林哲郎, 横山寛, 南部功夫, 和田安弘, “実運動と運動想起における指運動の予測: 脳波による検討”, 電子情報通信学会 MBE 研究会, 機械振興会館(東京都), 2017年3月14日

中村大輝, 佐藤貴紀, 南部功夫, 和田安弘, “fNIRS計測時の頭部運動アーチフ

アクトを除去するGLM解析の検討", 電子情報通信学会, 信越支部大会, 長岡技科大(新潟県長岡市), 6C-2, p. 80, 2016年10月8日

小田祐太, 佐藤貴紀, 南部功夫, 和田安弘, "fNIRS を用いた運動想起時の脳活動に対する頭皮血流除去の効果", 電子情報通信学会, 信越支部大会, 新潟工科大(新潟県柏崎市), 5B-3, p. 67, 2015年10月3日

横山寛, 井澤淳, 南部功夫, 和田安弘, "ベータ波の位相同期は運動切り替えにおける左右の手の選択のプロセスを反映する", 電子情報通信学会, 信越支部大会, 新潟工科大(新潟県柏崎市), 5C-2, p.70, 2015年10月3日

林哲郎, 山根彰太, 南部功夫, 矢野昌平, 和田安弘, "EEG を用いた運動抑制エラーの単試行分類における特徴量に関する検討", 電子情報通信学会, 信越支部大会, 新潟工科大(新潟県柏崎市), 5B-4, pp. 63, 2015年10月3日

横山寛, 南部功夫, 井澤淳, 和田安弘, "Switch specific activity is reflected beta-power phase synchronization: an EEG study", 第38回日本神経科学大会(Neuroscience2015), 神戸国際会議場(兵庫県神戸市), 2015年7月29日(2p195)

横山寛, 南部功夫, 井澤淳, 和田安弘, "心的回転課題を用いた手の運動想起切り替えにおける時系列脳波の検討", 電子情報通信学会 NC 研究会, 玉川大学(東京都町田市), 2015年3月17日(信学技報, vol. 113, no. 500, NC2014-127, pp. 221-226)

齊藤翔太, 佐藤貴紀, 南部功夫, 和田安弘, "fNIRS を用いた利き手及び非利き手で運動学習時の脳活動の検討", 電子情報通信学会, 信越支部大会, 信州大学(長野県長野市) 8D-2, p. 119, 2014年10月4日

小澤拓也, 佐藤貴紀, 南部功夫, 和田安弘, "fNIRS 信号による把持運動手の二値判別: 事象関連デザインにおける検討", 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(LE2014), 金沢大学(石川県金沢市), 2014年9月19日(pp. 377-382)

横山寛, 南部功夫, 井澤淳, 和田安弘, "Temporal Changes of Brain Wave during Switches in motor imagery", 第37回日本神経科学大会(Neuroscience2014), パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)2014年9月12日(p2-120)

横山寛, 南部功夫, 井澤淳, 和田安弘, "心的回転課題を用いた手の運動想起切り替えにおける時系列脳波の検討",

第8回 Motor control 研究会, 筑波大(茨城県つくば市), 2014年8月9日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

## 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・工学研究科・助教  
研究者番号: 40553235

### (2) 研究分担者

和田 安弘 (WADA, Yasuhiro)  
長岡技術科学大学・工学研究科・教授  
研究者番号: 70293248

### (3) 連携研究者

大須 理英子 (OSU, Rieko)  
国際電気通信基礎技術研究所・研究員  
研究者番号: 60374112