

## 論文内容の要旨

氏 名 佐藤 貴紀

機能的近赤外分光法 (functional near-infrared spectroscopy: fNIRS) は非侵襲かつ簡便に脳活動を計測することが可能であることから、臨床現場をはじめとする多くの研究で使用されている。しかしながら、計測された fNIRS 信号には頭皮での血流変化がアーティファクトとして混入することが問題とされている。頭皮血流変化の一部は課題の実行に伴って変化するため、脳活動由来の信号であると誤って評価され、実際には賦活していない脳部位で偽陽性の脳活動評価を引き起こす可能性がある。また、通常のフィルタリングや加算平均処理では除去することが難しい。この問題に対して先行研究では、通常のソース-ディテクター間距離のチャンネル (長距離チャンネル) の信号から主成分分析 (principal component analysis: PCA) や独立成分分析 (independent component analysis: ICA) を使用して頭皮血流を分離する解析的手法や、通常よりもソース-ディテクター間距離の短いチャンネル (短距離チャンネル) を用いて計測した頭皮血流を除去する手法が提案されている。しかしながら、前者の手法では相関のある頭皮血流と脳血流とは分離することが出来ず、後者の手法では多くの短距離チャンネルが必要であるために広範囲の計測は困難であるという問題がある。

予め賦活部位が予測できない場合や、広い部位の賦活が予想される場合等には広範囲計測が必要であるため、広範囲計測に対応可能な高精度な頭皮血流除去手法が必要である。そこで本研究では、少数の短距離チャンネルからグローバルな頭皮血流を推定し、推定した頭皮血流成分と機能的な脳血流モデルで構成される一般線形モデル (general linear model: GLM) を使用して、頭皮血流の影響を除外した脳活動を推定する手法を提案する。本手法は、頭皮血流の部位ごとの差異は小さいと仮定し頭皮血流のグローバルな成分のみに着目することで、使用する短距離チャンネルの数を大きく削減し広範囲計測への対応を可能にする。

本手法の仮定が妥当であることを検証するために、両半球の運動関連部位に配置した 18 個の短距離チャンネルを使用して手指運動課題中の fNIRS 信号を計測した。結果として、酸素化ヘモグロビン濃度長変化 (Oxy-Hb) に含まれる頭皮血流の部位ごとの差異が小さく、その主要な成分が PCA を使用して少数の短距離チャンネルから抽出できることを確認した。

次に、提案手法が頭皮血流の影響を除去し脳活動の推定を改善できることを確認するために、前実験で計測された頭皮血流をもとに作成した合成データを使用したシミュレーションを行った。結果として、4 個の短距離チャンネルを使用する提案手法が 43 個の長距離チャンネルから頭皮血流の影響を除去することが可能であることを確認した。

第三に、脳梗塞患者を含む被験者へ短距離チャンネルと長距離チャンネルの両方を使用した fNIRS 計測を行い、PCA と ICA を使用する従来の頭皮血流除去手法との比較を行った。まず、fNIRS 信号へのモデルの当てはまりの良さを評価するために決定係数を比較したところ、提案手法は従来手法と比較して有意に高い値を示した。この結果は、提案手法が fNIRS 信号を回帰するモデルとして最も適していることを示唆している。次に、同じ課題で別に計測された機能的磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging: fMRI) のデータと比較し、脳活動推定精度を評価した。計測データを頭皮血流と脳血流の相関が低いデータと高いデータに分けて従来手法と提

案手法を比較したところ、低相関データでは有意差がないのに対し、高相関データでは提案手法が有意に低い推定誤差を示した。これは、従来手法では対処できない高相関データでも、提案手法は高精度に頭皮血流を除去可能であることを示唆している。

最後に、fNIRS 計測の応用として brain-machine interface (BCI) に対する提案手法の効果を検討した。BCIとは計測した脳活動信号からそのヒトの行動や意図を推定し、その結果を文字入力やロボットアーム等の制御信号に変換する技術である。本研究では、右手・左手・両手でのボール把握運動および安静の4つの状態を識別する分類に提案手法を適用した。結果として、頭皮血流除去前後で有意に分類精度が向上した。このことから、提案手法による頭皮血流除去が脳活動推定を改善するだけでなく、その応用的利用に対しても効果的であることが示唆された。

提案手法は、従来手法では対応できない広範囲計測での高精度な頭皮血流を実現した。提案手法は非常に単純なアルゴリズム (PCA と GLM) を使用し、また必要とする短距離チャンネル数も少数であるため、従来使用している fNIRS 装置に比較的容易に実装することができ、多くの fNIRS 研究で有用であると考えられる。