

# 論文審査の結果の要旨

氏名 齊 亮

本論文は全6章よりなり、tSSS (temporal Signal Space Separation) という MEG データのノイズ除去ソフトの改善を行った上で、MEG データを用いて、BCI (Brain computer Interaction) において重要な連続的な運動の予測法の開発を行った。

第1章では、運動システムを含む BCI 研究の現状を述べ、MEG 計測装置とそのノイズ状態、また動き特徴選択とその予測に関するデータ解析法について記した。また研究の意義と論文全体の概要を述べた。

第2章では、脳活動の情報損失がほぼ発生しない高精度のノイズ除去法 (compensation tSSS) を提案した。これは単一試行のデータから、手の動きを高精度で予測する上で非常に重要である。Taulu らによって開発された方法は、マグネトメータ及びグラディオメータを共に備える Elekta 製の MEG システムを主眼に開発され、グラディオメータのみのシステムにおいては、有効性は示されていない。Taulu らの方法の検討の結果、脳活動が三分の一から二分の一まで減衰することが明らかになったので、時間情報を用いて脳活動とノイズを認識して分離する手法を提案し、ノイズ抑制を実現し脳活動の損失を回復する手法を提案した。

第3章では、棒を用いた一次元運動の予測に関する研究を示した。四人の非熟練 BCI 被験者から MEG を用いて取得したデータを使用した。被験者が棒を左右に運動させている時の脳活動と手の位置の同時計測を行った。運動予測に効果的な周波数帯域を探索するために、100Hz 以下の帯域で脳活動のスペクトルを求め、このスペクトルと実際の運動の相関関係を調べた。ここで得られた最適な特徴集合を用いた動きの予測を行い、提案手法によるノイズ除去の影響と、予測の効率性について確かめた。提案手法によるノイズの前処理を行った単一試行データを用い、実際の手の動きと脳活動から予測された手の動きの相関を求めたところ、平均が 0.32 ( $p < 0.001$ ) となり、選択された特徴の有効性と、ノイズ除去に用いた提案手法の効率性が統計的に示された。

第4章では、第3章の解析をさらに改良するため、被験者に依存した周波数帯域を用いることでより高い精度の運動予測を実現できることを示した。第3章の結果と比べて予測性能の向上が見られたことから、予測性能における最適周波数帯が被験者に依存することが示された。さらに、被験者ごとに選択する周波数帯を複数にすること (combined model) により予測性能が顕著に改善することも確認された。全被験者における予測性能から、相関に基づく特徴選択を用いることで、単一試行 MEG データからでも、100 に満たない少ない特徴数で優れた動きの予測 ( $r = 0.47$ ) が可能であること結論付けた。

第5章では、我々が提案した特徴選択法の頑健さを確かめるために、異なる運動サイクルや入力デバイス (トラックボール) 用いて実験を行った。さらに、活動源解析の結果から、我々の特徴選択法で選択される周波数帯が、運動野及び体性感覚野の動き関連の活動から生じることを確認した。本実験では、運動軌道の予測が視覚関連反応に基づく可能性を排除するため、視覚刺激の提示を行わず、セルフペースで運動を行うよう被験者に教示した。このような場合でも、有効に本手法が適用可能であ

ることが示された.

第6章では、一連の研究を総括し、将来の展望について議論した。本研究は、ECoGやEEGを用いた先行研究と一貫する腕の動き予測に関連する脳活動の特徴を明らかにした。その特徴の選択法を提供し、単一試行データからの運動軌道予測を実現した。本手法を用いることで、非侵襲計測でも侵襲計測を用いたものに劣らない高精度の運動軌道予測が実現できることを示した。

なお、本論文第3章は、武田常広との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。