

論文審査の結果の要旨

氏名 小川 雄太郎

本論文は 5 章からなり、第 1 章では、本研究の背景、目的ならびに構成が記述されている。背景として神経細胞の情報伝達およびワーキングメモリについての心理学的・生理学的知見をまとめている。そしてワーキングメモリに関する研究における現在の問題点を挙げ、研究の目的を大脳皮質内神経細胞集団においてカラム内相互作用とカラム間相互作用がどのようにワーキングメモリの実現に寄与しているのかを明らかにすることと定めている。

第 2 章においては、near-infrared spectroscopy (NIRS)を用いたワーキングメモリ課題における脳活動の測定を実施している。本章では、コントロール課題を簡易課題とする心理実験を行い、NIRS におけるワーキングメモリのパフォーマンスとの相関関係を調べている。その結果、統計的に有意な相関関係が得られ、NIRS 信号からワーキングメモリに伴う脳活動を高精度に評価できることが示された。

第 3 章においては、ワーキングメモリ課題に伴う電気活動から、カラム内相互作用とカラム間相互作用のパラメータ変数を推定する手法を提案している。本章で扱うモデルには非線形性および視床-皮質構造に起因する時間遅れ項が含まれており、またノイズの大きさが不明である。そのような数理モデルのパラメータを推定するために、本研究では既存の 2 つの手法をマージする手法を提案している。具体的には数学的取扱いの難しい遅れ時間については、モンテカルロ法をベースとしたパーティクルフィルタに準じた扱いをし、その他のパラメータについては変分ベイズ法で推定を行い、最終的に誤差が最も少ないパラメータを推定値とする手法を提案している。その結果、モデルパラメータを適切に推定できることが数値シミュレーションによって示された。

第 4 章においては、ワーキングメモリ課題に伴う電気活動の同期現象を説明する数学的枠組みを構築している。これまでカラム内相互作用およびカラム間相互作用の変化が同期強度にどのように寄与するかは定かではなかったため、本章では視床-皮質モデルを出発点として、このモデルから同期強度の理論値を計算する手法を構築している。具体的手順としてはまず系のもつ最大固有値の成分に着目した中心多様体縮約を実行し、時間遅れモデルを時間遅れのないモデルへと変形している。その後、位相モデルへと変換した後に、フォッカープランク方程式へ変形している。さらにフォッカープランク方程式の定常解を解析的に求め、位相差の分布から位相同期強度を算出している。はじめに導出した位相応答関数が妥当であることを摂動法および adjoint 法との比較で確認した後、複数のパラメータ条件で位相同期強度の数値シミュレーションを行い、理論値と一致することが確認された。本章ではさらに、構築した位相同期強度の理論値導出手法

を用いて、ワーキングメモリ課題時の位相同期現象における生理学的知見との融合を試みている。具体的にはワーキングメモリ課題時の脳内の変化をモデルパラメータの変化として表現し、実験によって観測される位相同期現象を再現するために必要な性質を数理的に検討した。その結果、2部位間の結合強度の増強に加えて、各部位に入るノイズ成分の低下が重要であることが示唆された。

以上、設定した課題に対して開発した信号処理手法・装置を用いた実験・解析結果に基づき、第5章で結論と展望について総括している。なお、本論文第2章、第3章、第4章は、小谷潔、神保泰彦、山口郁博との共同研究であるが、論文提出者が主体となって信号処理手法の開発、実験、解析、数理モデル構築を行っており、論文提出者の寄与が十分であると判断する。従って、博士（科学）の学位を授与できると認める。

以上 1503 字