

審査の結果の要旨

氏名 竹中 一仁

本論文は「大規模神経システムのダイナミックネットワークマイニング」と題し、高時間解像度で計測した多点神経活動データから脳の情報ネットワーク構造をボトムアップに抽出する手法の開発と評価についてまとめたもので、全7章からなる。神経活動解析の歴史は長い、従来は特定の脳部位について外的に設定された特定の状況や事象と関連する活動を解析する個別機能研究が主流であり、システム全体の内部ダイナミクスは対象外であった。一方、近年の計測技術の進歩により、脳全体の活動を対象とした多点の時間変化を同時に計測できるようになった。特に皮質表面に多数の電極を配置する Electrocortigraphy (ECoG) は、高時間解像度での多点同時計測に適した最近の手法である。そのデータから、多数の脳部位の活動関連すなわちネットワーク構造の時間変化を抽出する解析法を実現すれば、脳のシステム全体の内部ダイナミクスの理解に大きく寄与すると考えられる。以下の各章では、上記の目的に向けて、ECoG で計測される神経活動に関する考察と、大規模神経データから教師なしに情報構造を抽出する新たな解析法の開発、評価、考察を行っている。提案手法は、サル ECoG データのみから麻酔および覚醒状態に特有のネットワーク状態とその変化や、エサ取り課題におけるエサへの注目といった各時刻特有のネットワーク状態を教師なしに抽出できた。

第1章「序論」では、脳の活動の多くが本質的に外部観測不可能な内部状態である事について述べるとともに、大規模な神経活動データから教師なしに情報構造を抽出することが内部状態を推定する手段として有効であることを説明している。また、脳の複数領域を覆う多点同時計測性と高時間解像度を両立することがこのような解析法にとって重要であることを示し、それを満たす計測手法として ECoG を用いてこれに適した情報抽出法を提案することを本論文の目的としている。

第2章「神経活動計測手法の発達と大規模データ解析」では、神経活動計測手法の発達とそれに伴い発達してきた解析手法について、単一領域の脳機能の解析から脳全体のネットワークとしての解析へと変化してきた背景について述べる。さらにそのような大規模なデータの解析に必要な統計手法について述べ、本論文の位置づけと理論的な基礎付けを行う。

第3章「ECoGによる神経活動計測とダイナミックネットワークマイニング」では、ECoGによる神経活動計測の特性について詳しく述べ、ECoGにより複数領域の関係性に基いた神経活動に内在する構造を教師なしに抽出することが可能となることを説明する。そしてこれを実現する解析手法として複数領域の相関や因果関係を表現した関係性行列の時系列データに対して混合ディリクレ過程(DPM)と無限関係モデル(IRM)を組み合わせた解析を行うダイナミックネットワークマイニングを提案する。

第4章「前肢運動デコーディングによる脳内情報の時間変化に対する解析」では、ECoGによる計測データがもつ情報についてサルの前肢運動を神経活動から回帰することで解析している。これにより脳内の情報は特定の部位に局在しており、この部位が時間と共に変化していくことを確認している。

第5章「関係性特徴による視覚刺激の判別」では、複数部位の関係を示す相関や因果関係特徴を持つ情報についてサルに提示した視覚刺激を神経活動から判別することで解析する。その結果、視覚刺激の判別に対しては視覚野内の相関特徴が有効であり、同じ視覚刺激が異なる方向に移動する場合には、視覚野内の時間差つき相関特徴が有効であることを確かめ、そこから ECoG によって計測される視覚野の情報はその瞬間に見える視野内の情報と直接対応していることを考察している。

第6章「神経活動からのダイナミックネットワークマイニング」では、二つの実験に提案手法を適用し、特徴的な関係性構造が繰り返し出現することを確認することで、教師なしで神経活動に内在する情報構造を抽出することの有効性を示している。まずサルに麻酔投与実験を行い、脳全体の関係性が麻酔中に大きく変化し、麻酔から回復すると麻酔前と同じ関係性へと復帰すること、およびこの変化が麻酔薬と投与と共に徐々に変化する過渡的な応答であることを確認している。また視覚野内の活動の因果関係において、覚醒開眼時に見られる関係性構造が閉眼麻酔時にも再現していることを発見している。さらにエサ取り実験においては、エサへの注目に対応した時間帯に特定の関係性構造が出現することを確認している。

第7章「結論」では、以上を総括した上で、高時間解像度、多点同時計測という性質を持つ神経活動計測データから関係性構造を教師なしに抽出するダイナミックネットワークマイニングの開発とその有効性の検証が本論文の学術的寄与であると結論づけている。

以上、これを要するに、本論文は、神経活動の解析において、従来とは全く異なる大規模データからの内在構造の抽出というアプローチを提唱し、多点同時計測データからネットワーク構造の時間変化を抽出する新たな解析法を開発を行い、その有効性を示したものである。これは、従来の仮説検証型と相補的な構造発見型という新しい神経科学のアプローチを提示し、その実現への端緒を開くものといえる。

以上の理由から、本論文は知能機械情報学上貢献するところ大である。よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。