

審査の結果の要旨

氏名 船水 章大

本論文は、脳の情報処理機構を明らかにすべく、実験動物から得た神経活動パターンと行動のデータを対象にして、デコーディングによる解析手法を試み、その有効性を論じている。本論文は、序論（第一章）、神経活動パターンの解析（第二章、第三章）、行動の解析（第四章、第五章）、考察（第六章）、結論（第七章）からなり、全七章で構成される。

第一章の「Introduction」では、脳の情報処理機構の解明を目指す研究に関して、従来手法の問題点を議論し、本論文の研究目的を導出している。当該分野では、脳の計算アルゴリズムやパラメータを適宜仮定し、それらにより、実際の神経活動や行動の計測データを説明する手法が有望である。ただし、従来研究では、単一のアルゴリズム・パラメータしか仮定していないことが多い。脳の柔軟な情報処理では、アルゴリズムやパラメータは、時々刻々と状況に応じて変化し得るはずである。そこで、本論文では、脳の情報処理機構は、様々なアルゴリズムやパラメータ、さらには、個々の神経細胞を動的に使い分けていると仮定した。この仮説を実証するための有望な手段として、機械学習が概説されている。

第二章の「Dynamic system of neural activities」では、聴皮質の神経細胞群では、音周波数表現に寄与する神経活動の特徴は、音圧に応じて異なることを、サポートベクターマシンを用いた次元縮約法で示している。低音圧の音周波数では、高発火頻度の神経活動が重要である。一方、高音圧での音周波数表現では、時空間的な神経活動パターンが重要であること、また、高発火頻度とともに低発火頻度の神経活動も重要であることを示している。特に、低発火頻度の神経活動は、詳細な周波数識別に寄与することを示唆している。

第三章の「Identification of an appropriate decoder for analyzing neural activities」は、第二章の次元縮約手法の有用性を評価している。サポートベクターマシン・k近傍法・重回帰分析を用いて、音周波数のデコーディング精度を比較したところ、サポートベクターマシンが、他の識別器よりも優れており、聴皮質の解析では、サポートベクターマシンが有用であることを示している。

第四章の「Dynamic system of algorithms」では、自由選択課題時のラットの選択行動を、モデルフリー戦略とモデルベース戦略で解析している。その結果、学習途上では、ラットの行動はモデルベース戦略に適合した。一方、学習成立時では、ラットの行動は、モデルフリー戦略に適合する。これらの結果から、ラットの行動戦略は、学習に応じて、モデルフリーからモデルベース戦略に動的に切り替わることを示している。

第五章の「Dynamic system of parameters」では、不確実性を考慮したベイジアンQ学習と、不確実性を無視した通常のQ学習を用いて、ラットの選択行動を解析している。その結果、ラットの行動は概して、ベイジアンQ学習に適合すること、また、ラットの行動に適合するベイジアンQ学習では、不確実性は選択行動を促進することから、ラットは不確実性選好であることを示している。ただし、報酬確率の高い環境では、ラットの行動には通常のQ学習が適合する。これらの結果は、不確実性の役割は環境に依存することを示している。

第六章の「General discussion」では、前章までの知見を総括・考察するとともに、将来の研究の展開を議論している。本研究で試みられた手法の妥当性を議論したうえで、機械学習を利用した研究手法は、脳の計算モデルをトップダウン的に仮定して、実際の実験データと比較・検討する研究戦略にも、計測データか

ら脳の計算モデルをボトムアップ的に提案していく研究戦略にも有用であることを論じている。

第七章の「Conclusion」は、本論文で得られた知見を総括している。本論文では、デコーディングによる研究手法を用いて、感覚刺激に応じて個々の神経細胞の役割が変化すること、学習段階に応じて学習アルゴリズムが変化すること、学習条件に応じてアルゴリズム内の特定パラメータの役割が変化することを示した。これらのケーススタディーから、脳の情報処理機構が、様々なアルゴリズムやパラメータ、さらには、個々の神経細胞を動的に使い分けていることを検証する手段として、デコーディングによる解析を確立した。

本論文は、脳の情報処理機構のように、動的かつ複雑なシステムを解明するために、デコーディングによる解析を確立した点に、学術的な貢献が認められる。これは、神経科学分野に留まらず、工学的・情報学的にも顕著な価値を有する。

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。