

論文審査の結果の要旨

氏名 北園 淳

下側頭皮質は、我々の脳の中で視覚情報処理の最終段階にあたり、物体認識を司るとされる。本論文では、この下側頭皮質の性質を解明するため理論的なアプローチを行っている。第2章では、神経回路モデルの解析、第3章と第4章では、多神経細胞活動データの解析、第5章では単一神経細胞の特性の推定手法の提案を行っている。

第2章では、神経回路モデルの解析を行っている。下側頭皮質では、刺激に対する反応性が似た神経細胞が集まったコラムと呼ばれる構造が存在することが知られている。Wangらの実験では、横顔や正面顔など様々な向きの顔画像をサルに提示した際の神経活動を記録し、顔の向きの変化に対応して、コラムの位置が連続的に変化することが示されている。このコラムの位置の連続的な変化は、メキシカンハット型相互作用によって説明できるとされてきた。しかしながら、近年の生理学実験によって、コラムよりもさらに微細なパターンがあることが示唆されている。第2章では、このコラムより微細なパターンによって、顔の識別が行われるという仮説を立て、新たな神経回路モデルを提案し解析している。提案した神経回路モデルは、従来のメキシカンハット型相互作用を持つモデルに対して、連想記憶モデルの自己相関型相互作用を取り入れることで拡張を行ったものである。提案モデルに対して、統計力学的な手法を用いてモデルのパラメータについて系統的な解析を行い、提案モデルによって、仮説の情報表現様式を実装可能であることを示している。

第3章では、神経活動データの解析手法の提案と実データへの適用を行っている。近年の生理学実験により、神経細胞集団によって顔の識別が行われている可能性が示唆されており、識別の担い手となる神経細胞集団を抽出する解析が重要性を増している。このような解析には、特徴選択と呼ばれる手法が有効である。特徴選択によって、顔の識別に寄与し得る神経細胞の組合せを選び出すことが可能になる。従来の特徴選択の手法は、最適な神経細胞の組合せを一つだけ選択する手法である。しかしながら、最適な神経細胞の組合せが一つだけとは限らず複数存在する場合には、それらの手法は適切ではない。このような場合には、全神経細胞の組合せについて顔の識別に対する寄与の度合いを評価する、全数探索を行う必要がある。そこで第3章では、下側頭皮質で計測されたスパイクデータに対して全数探索を行った結果を示している。その結果予測通り、顔の識別について高い性能を持つ神経細胞の組合せが複数存在することを示している。

第4章では、第3章で議論した神経細胞の組合せに対する網羅的な評価を、効率的に行うアルゴリズムを提案する。第3章では、神経細胞の全組合せに対して顔の識別に関する性能を評価した。しかしながら、このような全組合せに対する評価の計算量は神経

細胞数の指数のオーダーで発散してしまう．そこで，全数探索を行わずに効率的に，高い識別性能を持つ神経細胞の組合せを網羅的に抽出する手法が必要となる．第4章では，交換モンテカルロ法を用いた新手法を提案している．提案手法では，識別性能が高い特徴量の組合せを重点的に探索し，効率的に抽出する．提案手法によって，第3章で行った全数探索の結果を，効率よく推定可能であることを示している．

下側頭皮質の情報処理においては，神経細胞同士のリカレントな相互作用が重要であることを示している．この神経細胞同士の相互作用は，電気的特性が樹状突起上でどのように分布しているかに依存しているとされる．そこで第5章では，神経細胞の樹状突起の電気的特性を推定する手法を提案している．提案手法では，マルコフ確率場と呼ばれる手法を用いることによって，SN比の低いノイジーなデータから精度良く膜抵抗値を推定することを可能としている．さらに提案手法を，ラインプロセスと呼ばれる手法を用いて拡張し，膜抵抗値が樹状突起に沿って急峻に変化する場合にも対応可能な推定手法を提案している．

以上のように，本論文は，神経回路モデルとデータ解析という理論的なアプローチを用いて，下側頭皮質における情報表現について新たな知見を得ることに成功している．また第3章と第4章で開発したデータ解析手法は，神経活動データに限らず他の高次元データにも適用可能であり今後の発展が期待されるなど，神経科学に留まらない有用性を有している．

なお，本論文第2章は，大森敏明と岡田真人，第3章と第4章は，永田賢二，中島伸一，萬田暁，永福智志，田村了以，岡田真人，第5章は，大森敏明，青西亨，岡田真人との共同研究であるが，論文提出者が主体となって解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．

以上 1965 字