

審査の結果の要旨

氏名 浮田 純平

視覚野神経細胞の特徴を調べる手法として、細胞の受容野（細胞を最も強く活動させるような視覚入力）を可視化する新たな手法を開発した。提案手法の特徴は、細胞の活動に関する仮説、特に視覚入力に対する反応の非線形性に関する仮説をまったく必要とせず、網羅的に受容野を可視化できる点である。本論文では、提案手法の有用性を多数の種類のデータを用いて示したのち、活動の特徴が未知であったマウス高次視覚野のデータに適用することで、マウス高次視覚野の新しい性質を提案した。

1. 手法の提案

提案手法は 3 ステップからなる。まず画像と、それに対する細胞の反応のペアのデータセットを大量に取得する。次に畳み込みニューラルネットワークを用いて、画像に対する細胞の反応を回帰するモデル（エンコーディングモデル）をコンピュータ上で作成する。最後に、エンコーディングモデルの出力を最大にする画像を生成することで、受容野を可視化する。

2. シミュレーションデータの解析

まず受容野構造が既知のデータセットをシミュレーションにより作成し、提案手法により正しく受容野が可視化できることを実証した。特に、視覚野において知られている様々な非線形性を導入したデータを用いて実証することで、多様な種類の細胞に汎用的に適用可能であることを示した。さらに、異なるランダムな初期値から複数回受容野生成のプロセスを行うことで、網羅的に受容野を生成することができ、非線形性を可視化できることを示した。

3. 一次視覚野のデータの解析

画像に対するマウス一次視覚野神経細胞の活動のデータを二光子カルシウムイメージング法により取得し、提案手法を適用した。まずエンコーディングモデルの作成の際には、畳み込みニューラルネットワークを用いたモデルが他の機械学習モデルより高い汎化性能を示した。また受容野を可視化した結果、ガボールフィルター様の画像が生成でき、先行研究と一致する受容野が生成できることを示した。さらに 2.と同様に複数回の受容野生成を行うと、毎回似た画像が生成される細胞と、平行移動の関係にある画像が生成される細胞の 2 種類が存在することを定量的に示した。

4. 二次視覚野のデータの解析

最後にマウス二次視覚野のデータを取得し、提案手法を適用した。その結果、一次視覚野と同様なガボールフィルター様の受容野を持つ細胞も存在した一方、複数のガボールフィルターの組み合わせのような受容野を持つ細胞が多数発見された。

以上、本論文は畳み込みニューラルネットワークを用いることで多様な視覚野細胞の受容野を仮説フリーに可視化できることを示した。また提案手法を用いることで、反応性が未知であったマウス二次視覚野の受容野構造を提唱した。本研究で提案された手法は汎用的に感覚野の受容野解析に適用可能であり、脳内情報処理の解明に役立つと期待できる。

よって本論文は博士（医 学 ）の学位請求論文として合格と認められる。