

論文審査の結果の要旨

氏名 秋光 淳生

本論文は「Self-organization through spike-timing dependent plasticity based on spatiotemporal coding (時空間情報コーディングに基づく STDP による自己組織化)」と題し6章よりなり、同期した神経細胞の活動が情報を表現しているという観点から大脳皮質の自己組織化モデルを提案し、その振る舞いを数値的に解析して、神経細胞が空間的な発火頻度とより精緻な時間タイミングの両方を利用して情報処理を行っていることを示すものであり、英文で執筆されている。

第1章は「序論」であり、脳における情報コーディングに関する理論的および実験的な議論を簡潔にまとめ、また本論文の目的を述べている。

第2章は「スパイクタイミング依存型学習 (STDP) の平衡特性」と題し、STDP について、これまでの実験結果および理論的な研究を概説し、特にポアソン入力に対する学習後の結合荷重の平衡点について述べている。

第3章は「局所的な同期連鎖パターンを用いた STDP による自己組織化」と題し、大脳皮質の構造を模したネットワークを用いて、自己組織化を行うモデルを提案しその振舞いについて論じている。まず、STDP によって、短い結合遅延を持つ結合荷重を強化することで自己組織化するモデルの仕組みについて述べ、このモデルを用いて、局所的に同期した入力パターンに対してトポロジカルマップが形成され、さらに同期の程度が高い場合には分散発火が生じることを、シミュレーションにより示すことに成功した。

第4章は、「高く同期した入力に基づく局所的に分散した発火パターンの自己組織化」と題し、STDP による自己組織化を通じて、入力の発火集団の同期の程度が高い場合に、結合遅延の持つばらつきを反映して、巨視的には連続的でありながら局所的には分散した発火パターンが自己組織化することを示している。大脳皮質の初期視覚野では隣接する神経細胞では、似た刺激に対して近い神経細胞が反応するが、物体認知の最終段階である IT 野では各パターンに

対する反応は皮質野の近い神経細胞であっても大きく異なることが知られている。しかし、一方で連続的に入力を変化させて、神経細胞の活動を巨視的に観察すると活動は皮質上を連続的に変化することが知られている。つまり IT 野においては巨視的には連続的でありながら局所的には分散した発火パターンが生じていることが示唆される。本モデルは IT ニューロンの振る舞いをうまく説明することに成功している。

第 5 章は、「空間的に滑らかに変化する発火パターンが自己組織化するための長い結合遅延の効果」と題し、遠方との相互作用を考慮に入れた自己組織化モデルの振る舞いを述べ、興奮性の相互結合の中に、結合遅延の長いシナプス結合が適度な割合で存在している時、束状のクラスター発火が空間的に滑らかに変化するようなトポロジカルマップが形成されることを示している。初期視覚野の神経細胞は同一の刺激を受けた場合であっても受容野周辺の刺激に応じて異なる反応を示すことが知られている。このような反応の背景には外側膝状体のフィードバックが重要な役割を示すことが示唆されている。本モデルは外側膝状体とのフィードバック結合が適度な割合で存在することが、連続的に変化するパターンを空間的に滑らかに変化させる役割を果たしていることを示した。

第 6 章は結論であり、上記の内容をまとめている。

以上これを要するに、本論文は、同期した神経細胞の活動が情報を表現しているという観点から大脳皮質の自己組織化モデルを提案し、その振る舞いを数値的に解析して、神経細胞が空間的な発火頻度とより精緻な時間タイミングの両方を利用して情報処理を行っていることを示したもので、脳科学と情報工学の分野の発展に貢献するところが少なくない。

したがって、博士（工学）の学位を授与できると認める。