

論文審査の結果の要旨

氏名 五十嵐 康彦

本論文では、5章からなり、我々の脳の中で神経細胞の情報処理メカニズムの解明するため、一次視覚野の神経回路モデルに生体内の神経ダイナミクスを組み込み、その情報処理への影響について理論的な研究を行っている。第1章については、神経回路内の情報処理において問題となっている、神経細胞同士の結合によるノイズ間の相関についてその歴史的な背景とともに述べている。第2章、第3章ではシナプス抑圧によって時間的にノイズ間の相関を減少させ、情報処理を環境に応じて最適化することを示す。また、第4章では近年の電気生理でも計測されている高次発火相関をモデル化し、3次相関の理論解析し、その情報処理への役割について研究を行っている。第5章では第2章から第4章をまとめている。

第2章では、短時間で変化する神経回路モデルの理論解析を行っている。ニューロンの発火直後、シナプスの伝達効率が減少することでシナプス抑圧が生じる。このシナプス抑圧は一つのニューロンだけでなく、脳内全体のマクロな性質にも影響すると考えられている。そこで本論文では確率的に発火する2値ニューロンモデルのネットワークにおいて、シナプス抑圧が系のマクロな性質にどのような影響を与えるのかを平均場理論によって解析を行った。具体的には、ニューロンの発火状態とシナプスの伝達効率との間に同時刻で独立性が成立することを用いて、平均発火率およびシナプスの伝達効率のノイズ平均のみで閉じたミクロな平均場方程式を導出した。この理論を用いて、一次視覚野のネットワークの解析をしたところ、シナプス抑圧をもつネットワークがアクティベーター・インヒビター（活性因子・抑制因子）系であるため、振動解を持つことを示した。さらに、この振動モードが結合強度によって変調することができることを報告した。

第3章では、シナプス可塑性は、ニューロンの平均発火率に影響を与えるだけでなく、ニューロンペアのトライアルごとの反応のばらつきにある相関にも影響を与える。ニューロン間の発火相関は集団符号化にも影響を与え、小さな発火相関でさえも情報をニューロン集団の発火状態に符号化する際に大きな影響を与える。これまでの先行研究ではシナプス可塑性の発火相関への影響は考慮されてこなかった。そこで本研究では、先行研究を拡張し、短時間シナプス抑圧を組み込んだモデルにおける相関の理論を構築した。この理論を用いることで、シナプス抑圧によるネットワーク全体の発火相関の変化を調べることができ、またパラメータを変化させることで系統的な影響を調べることが可能にする。その結果、発火相関に対する影響を調べたところ、自己相関だけでなく、ネットワーク全体の相互相関が減少することを示した。2章と3章の結果からフィッシャー情報量を計算したところ、このシナプス抑圧による発火状態の無相関化によって、フィッシャ

一情報量を増加することを報告した. このように 2 章, 3 章の枠組みを組み合わせることで, 短時間に変化する神経回路の情報処理への寄与を包括的に議論する枠組みを提案した.

第 4 章では, 第 2 章, 第 3 章と従来議論されてきた平均発火率や 2 つのニューロン間の 2 次発火相関だけでなく, 3 ニューロン以上が相関して発火する高次発火相関が有意に存在することが網膜や視覚野での同時計測において報告されている現状を踏まえ, 高次発火相関, 特に 3 次発火相関の情報処理における役割について研究を行った. 具体的には, 各ニューロンの共通ノイズと発火ダイナミクスの非線形処理によって生じた高次発火相関構造が, ニューロン間の結合構造によってどのような影響があるのか, 一次視覚野モデルを用いて調べた. その結果, Ohiorhenuan らの電気生理実験の計測結果を再現するだけでなく, このモデルによって生成されたニューロンの 3 次発火統計量が外界の情報キャリアになりうることを示し, 高次発火相関と情報処理との関係を初めて報告した.

以上のように, 本論文は神経回路モデルを用いた理論的なアプローチを用いて, シナプス可塑性やニューロン間の高次発火相関といった, 生体内の神経細胞レベルの現象がどのように情報処理へ寄与しているのか, 包括的な枠組みを提案し, その結果, 新たな知見を得ることに成功した.

なお, 本論文第 2 章は, 大泉匡史, 大坪洋介, 永田賢二と岡田真人, 第 3 章は大泉匡史と岡田真人, そして第 4 章は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 1885 字