

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第8条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	嘉田 久嗣 (かだ ひさし)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1168 号
○授与年月日	2017 年 3 月 31 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	大脳皮質ネットワークモデルにおける異常同期の抑制とその電子回路への実装
○審査委員	(主査) 徳田 功 (立命館大学理工学部教授) 宮野 尚哉 (立命館大学理工学部教授) 北野 勝則 (立命館大学情報理工学部教授)

<論文の内容の要旨>

大脳皮質では、外部刺激がない条件下でも、神経細胞集団が低頻度で不規則な非同期発火を持続する「自発発火」と呼ばれる現象が観測される。自発発火を維持するためには、興奮性シナプス結合が対数正規分布に従うことが重要であることが近年、寺前らによって理論的に示され注目を集めている。ただし、寺前らのモデルでは、興奮性シナプス結合における双方向結合やその結合強度の相互相関については考慮されていない問題が残されていた。本博士論文では、興奮性シナプス結合間の相互相関が考慮された新たな神経ネットワークモデルが提案されている。生理条件に対応する相互相関に設定した場合、神経細胞集団が異常同期発火を起こし、自発発火の特性を満足しなくなることが報告されている。この同期現象は、興奮性神経細胞に入力される強い共通の抑制性入力によって引き起こされることが示唆され、問題の解決策として、抑制性神経細胞から興奮性神経細胞への結合に対数正規分布特性を導入することで、異常同期が抑制され、自発発火の特性を満足する状態が復元できることが示された。

博士論文は 5 章から構成されている。第 1 章では、研究背景として自発発火活動に関する従来研究について述べられている。第 2 章では、興奮性シナプス結合間に相互相関を導入した新たな神経ネットワークモデルが導入され、興奮性神経細胞同士の同期現象が観測されることが報告されている。第 3 章では、抑制性神経細胞から興奮性神経細胞への結合強度に対数正規分布を導入することにより、同期現象を抑制できることが示されている。第 4 章では、同期抑制が実際の物理系である電子回路でも実現できることが

実証されている。第5章では、まとめと今後の展望が述べられている。

<論文審査の結果の要旨>

本論文の扱う自発発火は、ノイズ源として、確率共鳴などの脳の情報処理に重要な役割を果たすと考えられ、長年の研究対象であったが、その生成メカニズムについては未解決であった。寺前らの近年導入した対数正規分布型の神経細胞ネットワークモデルがブレークスルーとなり、自発発火のメカニズムの理論的理解が大きく前進した背景がある。寺前らの研究では、生理条件で十分に考慮されていない点があり、拡張性に問題が残されていたが、本論文はその補完を行う意味でも重要な結果となっている。特に生理条件に則して、興奮性シナプス結合間の相互相関を導入すると、同期発火が起こることを指摘した点は重要な問題提起となっている。さらに、抑制性細胞から興奮性細胞への結合が同期・非同期を制御する鍵となり、この結合に対数正規分布特性を導入することで、同期を抑制し、生理条件を満足する自発発火活動が実現できることを示したことは大変意義深い。対数正規分布は多数の弱い結合と少数の強い結合を持つ分布であり、弱い結合と強い結合のばらつきが同期を破壊するのに重要な役割を果たす。生理実験でも対数正規分布特性は観測されており、理にかなったモデルといえる。また、階層型ネットワークモデルとリカレントネットワークの二種類のモデルに対して数値計算を行っただけでなく、電子回路でも同期が抑制できることを確認しており、物理的実在においてもその有効性を確認している。多数の細胞集団から成るリカレントネットワークの力学解析は一般に困難を伴い、数値計算による分析が中心であったが、階層型ネットワークモデルでは相関関数の計算も可能であり、理論的な裏付けもなされている。抑制性結合の重要性は、脳神経系の実験研究でもこれまでに指摘されていたが、同期の制御という観点での機能に関する議論は稀であり、この意味でもユニークである。また、同期・非同期の制御は、脳神経系の病理状態を引き起こす癲癇や脳神経系の発達過程にも見られるものであり、今後の医療応用も期待される。

以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士学位を授与するに相応しいものと判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者が本学大学院理工学研究科機械システム専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じて日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文の公聴会は、2017年2月3日（金）13時00分～14時00分イーストウイング1階メディアラボ2において行われた。公聴会では、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者嘉田久嗣に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、同期を破壊するための結合分布の条件、対数正規分布の生成起源、数理モデルの

一般性などに関する質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。学位申請者は、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。