

論文審査の結果の要旨

氏名 香取 勇一

脳内の神経ネットワークによる情報の表現（ニューラルコーディング）の解明は今世紀の科学の主要課題となり得る大きな問題である。また実際の神経ネットワークが示す同期状態と非同期状態の遷移（過渡的同期現象）といった特徴的なダイナミクスがどのように脳の機能に結びつくのかを明らかにすることは重要である。本論文では活動電位を生成する神経細胞モデルを用い、その情報伝達に関する解析を行うことで、各神経（ニューロン）の性質や神経ネットワークの構造が、脳の情報表現に与える影響を理論的に解析した。更に生理実験で観測されている過渡的同期現象を、数理モデルを用いて定量的に再現することで、そのメカニズムの解明を試みた。また脳の高次機能に関連する情報表現においても同期・非同期の遷移が重要な役割を果たす可能性を示している。本論文は脳内の神経ネットワークが示す過渡的同期現象の機構とそれに関連するニューラルコーディングを、数理的手法により解明したもので、今後の生理実験の計画および計算神経科学理論の発展に対して大きな影響を与えることが期待される。

本論文は、“**Transient Synchrony and Neural Coding**”（和文題目 過渡的同期現象とニューラルコーディング）と題し、全5章より成る。

第1章では、神経ネットワークのダイナミクスとニューラルコーディングに関して、先行研究を紹介し、本研究の位置付けを明確にしている。

第2章では、電気結合を含む神経ネットワークが示す同期・非同期の遷移ダイナミクスと情報伝達効率との関係を研究している。同期状態、非同期状態の各期間において、レートとテンポラルの2つのコーディング方式の効率を定量化し、同期状態においてはテンポラルコーディングが、非同期状態においてはレートコーディングがそれぞれ優位に機能することを示した。さらにこれらのコーディングの効率が電気結合の結合強度に依存することを示した。これまでに過渡的同期現象の機構は非線形力学の分野において研究がなされてきたが、本章の研究ではこれをニューラルコーディングの観点から捉え、2つのコーディング方式が時間的に切り替わりながら出現する可能性を示した点が新しい成果である。

第3章では、下オリーブ核において観測されている同期・非同期の遷移現象のメカニズムに関する研究を行っている。本章の研究では双安定性をもったニューロンモデル、同期活動を促進する電気結合、状態遷移を引き起こすノイズの3つの要素を取り入れた神

経ネットワークのモデルを提案している。さらにニューロンの発火パターンをそのタイミングに基づき特徴付ける統計量を導入し、これを用いて下オリーブ核ニューロン群の生理実験データを再現すべくモデルパラメータの推定を行い、その発火タイミングを定量的に再現することに成功している。さらに提案モデルをその力学系の安定性に注目し解析することで、下オリーブ核のニューロン群が示す複雑な活動パターンのメカニズムを明らかにしたことは極めて重要な成果である。

第4章では、脳の高次機能における過渡的同期現象の役割を研究している。先行研究のゴール到達行動計画課題におけるサルの前頭前野から同時多電極測定実験では、行動の最終ゴール、中間ゴールの位置を表現する神経細胞が存在し、さらに課題期間中にこれらの表現が有意な同期発火と共に遷移することが明らかになっている。しかし、このような課題遂行における神経ネットワークのメカニズム、特徴的な同期発火の役割は明らかではない。本研究では活動電位を発生するニューロンモデルを用い、行動計画課題における前頭前野の働きを再現するモデルを提案しており、課題遂行に必要な感覚情報の保持、同期発火を伴うゴール表現の切り替えなどの行動計画課題の遂行に必要な機能を再現している。同期発火という神経ネットワークの特徴的なダイナミクスが脳の高次機能に関連することを示した点は新しく、また今後の更なる発展を期待することもできる。

第5章では、本論文の結論をまとめるとともに、今後の発展の可能性について議論している。

以上のように、本論文はニューラルコーディングと過渡的同期現象の理論的研究に関して大きな成果を上げ、複雑理工学上貢献するところが大きい。なお、本論文の第2章は合原一幸および増田直紀、第3章は平田祥人、鈴木秀幸、合原一幸、Eric J. Lang, 第4章は合原一幸との共同研究であるが、論文提出者が主体となって問題を提起しその導出を行ったもので、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。