

論文審査の結果の要旨

氏名 田中 剛平

同等な機能を持つ複数の要素が互いに相互作用することによって、集団として動的な機能を創発する現象の例が、生体系、物理系、工学系には多く見られる。これらの現象はしばしば非線形力学系の結合系モデルによって再現される。特に個々の要素がカオス力学を有するとき、集団は複雑な振る舞いを示すことが多いが、これらの発生要因や安定性の機構を数理科学的手法によって理解することは、個別現象の理解だけでなく新しい力学現象の発見や非線形理論の発展にとって重要である。また、非線形性を持つ演算素子の結合系は、人工ニューラルネットワークのように、新しい計算原理に基づく情報処理に応用できる可能性を持つ。本論文では、結合カオス写像系における集団現象の理解を目指すと共に、そのような集団現象を利用した情報処理システムの提案を目的とする。

本論文は、"Analyses and Applications of Collective Behaviors in Coupled Chaotic Maps"（和文題目 結合カオス写像系における集団現象の解析と応用）と題し、全6章より成る。

第1章では、結合写像系に関する一般的な研究背景や注目すべき集団現象の概要を説明している。また、本論文の構成を示し各章の位置付けを明確にしている。

第2章では、カオスの遍歴現象と間欠カオスの関係について考察している。まずサブクリティカルタイプの分岐現象直後に現れる局所的なアトラクタ痕跡を分類し、それらの存在下では、大域的な条件に依存して間欠カオスまたはカオスの遍歴が出現すると述べている。特に、クライシスと呼ばれる大域的分岐現象とシステム内部に存在する時間スケール差は、従来あまり注目されていないカオスの遍歴現象の機構であると主張している。これらの2つの機構はそれぞれ続く2つの章の研究動機となっており、本章は本論文の根底にある問題意識を説明する役割を果たしている。

第3章では、高次元力学系に見られるカオスの遍歴現象の発生機構の理解を目的として、2次元結合カオス写像系における間欠現象を解析している。この間欠現象はカオスアトラクタとベイスン境界の接触（クライシス）によってロバストに誘導されることを、カオスアトラクタの分岐、ベイスン構造の定性的及び定量的変化、不変多様体の解析を通じて明らかにしている。本章の結果は、従来高次元力学系に特有であると言われてきたカオスの遍歴現象の一般的な機構のひとつが低次元力学系を通じて理解できるという新しい観点を与えている。

第4章では、生体細胞の情報伝達に関わるとされる集団的発火活動を理解するため、バースト写像の環状結合系における発火パターンについて調べている。2つの代表的なバーストの同期パターンは、一様解が埋め込まれている不変部分空間の局所的安定性によって切り替わり、それは結合パラメータ値に依存することを明らかにしている。また、発火活動が創発するパラメータ

領域において、バーストの同期と伝播から構成される複雑なパターンを発見し、その機構をカオス的遍歴の概念を用いて説明している。これらの結果は、生体細胞の発火パターンを左右する本質的な要因の理解に貢献するものである。

第 5 章では、多値連想記憶システムとして動作するサークル写像結合系を 2 種類提案している。カオスダイナミクスを含み特徴的な分岐現象を示す 2 種類のサークル写像を設計し、適切な結合様式でネットワークを構成すると全体として望ましい振る舞いが実現できることを示している。さらに数値実験により、提案した手法があるパラメータ範囲においては従来の多値連想記憶モデルより良い結果を与えることを示している。多値連想記憶システムはカラー画像の復元や認識に応用できる情報処理機構の一つであり、結合写像系を利用した新しい計算原理の可能性を示したと言える。

第 6 章では、本論文で扱った 3 種類の結合カオス写像系に関して、得られた結果の新規性を整理し今後の課題についてまとめている。

以上のように、本論文は結合カオス写像系の理論及び応用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 3 章は Miguel A. F. Sanjuan および合原一幸、4 章と 5 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結果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。