

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 太田洋輝

自然には様々なタイプの動的現象が見られる。着目した現象を理解するために、その運動を記述する微分方程式や確率過程などの時間発展法則が考えられてきた。その際、個々の現象の記載を超えて、物理学の基礎に位置づけられる法則まで昇華することで、物理学の発展に関わってきた。19世紀の電磁気学や流体力学の確立はその典型例だし、20世紀に入ってからの動的臨界現象の理解やより多様で広い自然現象に対する非線形力学の手法による分類も同じ範疇にある。その延長上にある展開のひとつとして、近年、「稀に生じるミクロな動的事象の協同的力学」への関心が高まっている。そのような現象は、ガラス、粉体、泡など、構成要素が不規則に混みいつている系で観測され、幾つかの証拠から既存の動的現象の分類に入らないことが示唆されている。

提出された太田洋輝氏の博士論文では、以上の背景を踏まえ、関連する複数の現象を具体的に解析し、個々の現象の機構を明らかにし、明晰な特徴づけを行うことにより、それらが真に新しいクラスとして理解されるのかどうかを問題にしている。第1章で、その問題意識が整理された後、第2章、第3章、第4章、第5章でそれぞれ異なる現象が解析される。第6章のまとめと併せて、それらの内容が87ページにまとめられている。

具体的に、第2章では、希釈ボンディングモデルの力学が解析される。ランダムグラフ上で定義されたモデルを考えることで、自然な集団変数が定義される。平衡統計力学の場合と異なり、ランダムグラフ上のモデルでも集団変数の力学を厳密に書き下すことはできない。しかし、それでも、そこで導入された集団変数により、多段階緩和を含む奇妙な力学が見出される。また、第3章と第4章では、この方法と類似の考えを使って、ランダム磁場イジングモデルと運動論的拘束モデルがそれぞれ解析される。

第3章では、特別な集団変数を介在することで、ある初期条件での磁化の時間発展を記述する発展方程式が厳密に閉じることが示される。その結果として、磁化の力学の分岐解析が厳密に行なわれ、先行研究で「乱れによって誘起された臨界点」と呼ばれていた点が、ふたつのサドルノード分岐の合体点として捉えられる。その点のまわりのゆらぎの動的過程の解析により、臨界的異常性が定量的に特徴づけられる。それに対し、第4章では、少数の集団変数による記述では特異性を明白に捉えることができないことが示される。その場合でも、系統的な近似列が構成され、動的指数についての非自明な予想が提出される。

第5章では、ニューローナルアバランチと呼ばれる現象が念頭におかれ、サドルノード分岐する要素が大域結合する多体系が考察される。出発点となるモデルの単純さのため、集団変数のゆらぎの動力学的臨界的性質を特徴づける指数が厳密に導出される。第3章で考察したモデルにおいてサドルノード分岐する領域に着目した場合と同じ結果になるが、新しい解析方法にもとづいた議論がなされている。

一見すると、第2章から第5章までの各章で扱った対象に統一性がないように思われるが、「実現しにくい条件をひとたび満たすと、動き始めることができる要素」の集まりが作る集団的動力学を解析しているという点からは、全て同じである。しかし、第5章のモデルと第3章のモデルのあるパラメータ領域がサドルノード分岐で書けていることを除いて、それぞれの章のモデルの振る舞いに定量的な共通性があるわけではない。また、第2章から第4章までの解析手法に共通する部分はあるが、よく記述できる程度が質的に異なっている。つまり、興味ある現象群を分類し、明晰な特徴づけを行い、真に新しいクラスがあるかどうかを明らかにしようとする課題に対して、完全な答えを提出しているわけではない。それでも、第6章で議論されているように、予期せぬところからのつながりも見えつつあり、最終的な答えに向かっている様子は十分に理解される。

以上のように、太田洋輝氏はその論文において、いくつかの現象に関して、稀に生じるミクロな動的事象の協動的動力学を記述した。特に、第3章において提示された明晰な解析方法は、今後の研究のひとつの拠点を与えるのは間違いないと思われる。また、第4章で議論された系のように、特異性の記述が難しい場合には、今後も更なる検討が必要であろうが、その解析手法によって到達できる限界点が明示的にされたことは将来の検討の前提になるだろう。すなわち、本論文は、新しいタイプの集団動力学の理解を目指した試行錯誤の総体として重要な意義を持っていると判断される。

なお、本論文の内容は、第2章、第3章、第4章、第5章がそれぞれ論文として出版されている。第3章、第5章の内容は、共同研究の結果であるが、申請者が主体的に取り組んで得たものである。第2章、第4章の内容は申請者の単独研究で得た知見である。

したがって、本審査委員会は博士(学術)の学位を授与するにふさわしいものと認定する。