

審査の結果の要旨

氏名 一木 信吾

一木信吾提出の論文は「Collective dynamics of self-driven particles with attachment and detachment (和文題目：吸脱着機構を持つ自己駆動粒子系の集団動力学)」と題し、本文六章から成っている。

本論文では、吸脱着機構を持つ自己駆動粒子系の集団動力学について、非対称単純排他過程と呼ばれる数理モデルを用いることで数学的に解析した結果が述べられている。非対称単純排他過程は、最も単純な非平衡系の確率モデルの一つとして知られている。これは単純なモデルではあるが、非平衡系や自己駆動粒子系に見られる様々な現象を捉える上で有効であり、交通流、群集運動及び生物などの集団動力学を表現するモデルとして盛んに研究されている。本研究では、既存の吸脱着機構を持つ非対称単純排他過程を拡張することで、吸脱着機構が系に及ぼす複雑な現象について平均場近似を用いて解析されている。そして得られた結果の精度がモンテカルロシミュレーションの結果と比較検証されている。さらに、具体的な系を取り上げ、その系を模したシンプルなシミュレーションモデルを分析することで、具体的な視点から吸脱着機構が系にもたらす影響について研究されている。各章の詳細は以下のとおりである。

第一章は序論として、粒子の出入りがある自己駆動粒子系の具体例及び非対称単純排他過程の基本的な内容が説明されている。

第二章では、吸脱着機構を持つ完全非対称単純排他過程に関連する過去の先行研究が解説されている。

第三章では、吸脱着機構を持つ周期系の完全非対称単純排他過程において、粒子の吸脱着が前方サイトの状態に依存して変化する拡張モデルが提案されている。そして定常状態の密度と緩和ダイナミクスについて平均場近似を用いることで、系が十分大きい場合において明示的な表現が得られている。定常状態と緩和ダイナミクスについてどちらもモンテカルロシミュレーションの結果と比較することで、得られた表現の精度が確認されている。さらに、緩和ダイナミクスについては、サイト数が小さい系のいくつかの確率推移行列を厳密に対角化することで得られた固有値から、サイト数の大きい系の緩和時間の推定が行われている。緩和ダイナミクスを解析することは一般的に難しいことから、系が小さい場合における解が大きなサイズの系の緩和ダイナミクスの精度の良い表現になっていることを示した成果は大いに評価できる。

第四章は、吸脱着機構を持つ開放系の完全非対称単純排他過程において、粒子の吸脱着が前後サイトの状態に依存して変化する拡張モデルが提案されている。最近、これと同様のモデルが他で提案されているが、本論文で提案されているモデルは、吸着レートと脱離レートが等しい場合しか調べていない先行研究のモデルを一般化したものである。この拡張モデルにおいても、系が十分大きい場合において平均場近似を用いることで定常状態における密度プロファイルの明示的な表現が得られている。そして第三章と同様に、モンテカルロシミュレーションの結果と比較することで系が十分大きい場合において、精度良く表現できることが確認されている。さらに、特徴的な現象である衝撃波の位置が、吸脱着レートに依存してどのように変化するかなど、類似モデルの先行研究では書かれていない現象について解析した結果が詳細に述べられている。先行研究のモデルの拡張及び現象の詳細な解析結果は新しい結果と評価できる。

第五章では、粒子の吸脱着機構を持つ自己駆動粒子系の具体例として金融商品取引所における連続ダブルオークションと呼ばれる取引メカニズムが取り上げられている。ここでは、オーダーブックと呼ばれる電子プラットフォーム上に現れる投資家の注文や取消しを粒子の吸脱着機構とみなし、具体的な視点から吸脱着機構がもたらす集団現象を捉える研究が行われている。特に、過去の価格変動のトレンドに追随するような投資家の集団行動に着目し、吸脱着レートを操作することでこの集団行動を表現したシンプルなシミュレーションモデルが提案されている。集団行動を組み込んだモデルから得られた結果には、一方向へ連続的に動いたときの価格変動幅の分布の裾部分にべき乗則と見られる現象が観測されることが示されている。この結果から、過去の価格変動に追随するような投資家行動の相互作用が、大きな価格変動を引き起こす要因の一つではないかと示唆されている。この研究によって、吸脱着機構に着目した本研究の社会的意義も示され、その応用は今後ますます広がると期待できる。

以上から、本論文は、吸脱着機構がもたらす複雑な現象の集団動力学に対して重要な結果を含んでおり、数理科学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。