

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K23416

研究課題名(和文)非対称散逸系における補助変数を含むラグランジアン of 物理的有効性の検討

研究課題名(英文) Consideration of physical nature of Lagrangian including auxiliary variables in asymmetric dissipative systems

研究代表者

石渡 龍輔 (Ishiwata, Ryosuke)

東北大学・東北メディカル・メガバンク機構・助教

研究者番号：30850648

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：自動車、魚、鳥、昆虫などを個体として考えて、集団の性質や運動を考える試みが多くなされ、数理的なモデルも多数提案されている。本研究の大きな目的は、数理的なモデルを用い、魚や鳥などの集団に見られる動的な自己組織化パターンを創発する自己駆動粒子のエネルギーを考察することである。具体的には、非対称相互作用を含む非対称散逸系について補助変数を含むラグランジアンを構成し、得られたラグランジアンが自己駆動する個体のエネルギーとして妥当であるかどうかを調べることで、構成した擬似ラグランジアンの幾何学的性質を考察することを目的とした。前段階として非対称散逸系における揺動散逸関係について国際論文誌に成果を報告した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

魚群や鳥の群れなどの自己駆動粒子の集団運動は、集団全体としての巨視的運動が大きく揺らぎ、多数の準安定な流動形態に遷移する。また自己駆動粒子集団の運動では、高熱源から低熱源への熱流の流れのような動的安定な非平衡定常運動が見られる。

非平衡定常的な集団運動の安定性や集団全体の空間構造などを少数の特徴量であらわすことは、様々な時空間スケールで現れる運動に共通した性質を見出すために役立つであろう。

また、交通流において非対称散逸系は渋滞現象発生メカニズムなども説明することから、非対称散逸系の性質自体を調べることも応用の観点から重要であると考えている。

研究成果の概要(英文)：Many attempts have been made to consider the properties and motions of populations by considering automobiles, fish, birds, and insects as individuals, and many mathematical models have been proposed. The main purpose of this study is to use mathematical models to consider the energy of self-driven particles that create the dynamic self-organizing patterns seen in populations such as fish and birds. Specifically, we construct a Lagrangian with auxiliary variables for an asymmetric dissipative system with asymmetric interactions, investigate whether the obtained Lagrangian is reasonable as the energy of self-driven individuals, and consider the geometric properties of the constructed pseudo-Lagrangian. As a preliminary step, we reported the results of our research on the fluctuation dissipation relation for asymmetric dissipative systems in an international journal.

研究分野：数理物理・物性基礎

キーワード：非対称散逸系 線形応答理論 自己駆動粒子

1. 研究開始当初の背景

既存の物理学における物体とみなせない自動車、歩行者集団、魚、鳥、昆虫などの集団運動が、研究対象になっている。集団運動の構成要素は、様々な種類の個体なので、集団運動は「個体同士がお互いに影響を及ぼしながら運動する協同現象」とみなすことができる。ただし、個体同士の影響は相互作用と異なり、作用反作用や運動量保存の法則を満たさないものである。このような影響は空間的な非対称性をもち、非対称相互作用とよばれる。非対称相互作用と物理量の散逸を含む非保存系が、非対称散逸系である。

理学的な観点だけでなく、生体を模倣する応用面を考えた場合でも、生物の集団運動にみられる普遍的性質の理解は重要であろう。かといって、非対称散逸系を表現する運動方程式を考えた場合、いわゆるラグランジアンやハミルトニアンが存在しない場合が多い。そのため、物体の運動に用いることのできた数多くの手法が応用できないという困難がある。

エネルギーの定義ができない状況において、非対称性と系全体の物理的な性質に見られる関係性を明らかとすることをおこなってきている。

2. 研究の目的

魚、鳥などの個体の動きを再現できるモデルにおいてエネルギーを定義することを考える。しかし、鳥や魚などの自己駆動する個体では、駆動力を自ら生み出し環境に散逸することを繰り返しているため、エネルギーの定義は難しい。具体的にいうと、自己駆動する個体を数理モデルで表現したときに共通して表れる空間的に非対称な相互作用(非対称相互作用)が、エネルギーの定義を困難にさせている。

解析力学におけるナイーブなラグランジアンが存在条件と等価であるヘルムホルツ条件を用いて、非対称相互作用を含む簡単な数理モデルと一般的な相互作用だけを含む数理モデルを比較したところ、非対称相互作用を含むモデルはヘルムホルツ条件を満たさないことがわかった。他方で、1986年に報告された研究(Caviglia, G. Composite Variational Principles, Added Variables, and Constants of Motion. *Int J Theor Phys* 25, 139-146 (1986))によると、補助変数を取り込むことで任意の運動方程式に対応する形式的なラグランジアンが導出される。このとき、以下の2つのことを本研究の目的とする。

- (1) 補助変数を含むラグランジアンは自己駆動する個体のエネルギーとしての性質を持つかを確認する。
- (2) 非対称相互作用を含む数理モデルにおいて、補助変数の導入が解析力学の幾何学的な側面にどのような影響を与えているかを解明する。

3. 研究の方法

補助変数を含んだラグランジアンを調べながら、非対称性と系全体の物理的な性質の関係を調べる。とくに、エネルギーとも密接に関係する揺動散逸関係が、非対称散逸系においてどのような影響を受けるかについて調べ、補助変数を含んだラグランジアンを構成した際に非対称性の影響を考察する足掛かりとする。

補助変数の幾何学的な性質を調べている稀有な研究(Cantrijn, F., Crampin, M., Sarlet, W.,

Evading the inverse problem for second-order ordinary differential equations by using additional variables. Inverse Problems 3, 51-63 (1987)) を調査し、非対称相互作用を含む数理モデルの場合に表れる補助変数の幾何学的な意味合いを考察することをこころみる。

4 . 研究成果

先行研究の調査に時間を多く費やしたため、補助変数を加えたラグランジアン¹の物理的性質を解明するところまでは現段階では至っていない。

本研究の目的は、補助変数を含んだラグランジアンという抽象的な量についての考察であり、並行して非対称散逸系を多様な物理的な性質から理解することも行うことも行った。研究活動により非対称相互作用において非対称性の度合いの大きさと揺動散逸関係(線形応答関係式)の破れの度合いが比例していることが明らかとなり、その成果をオープンアクセスにして国際物理学論文誌 Physical Review E で報告した。

現状で研究が不十分だった補助変数を加えたラグランジアン¹の物理的性質の考察について、今後とも先行研究の調査と考察をすすめていくことを考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ishiwata Ryosuke, Yaguchi Reo, Sugiyama Yuki	4. 巻 102
2. 論文標題 Correlations and responses for a system of n coupled linear oscillators with asymmetric interactions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 012150-1--11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevE.102.012150	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 石渡龍輔, 杉山雄規
2. 発表標題 1次元最適速度モデルの緩和過程におけるWasserstein計量空間における特徴量変化と感応度パラメーター変化の関係
3. 学会等名 物理学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------