

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18235

研究課題名(和文)自己駆動粒子系における情報伝播に関する研究

研究課題名(英文)Study on Information Propagation in Self-Driven Particle System

研究代表者

園田 耕平 (Sonoda, Kohei)

立命館大学・情報理工学部・助教

研究者番号：90638628

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、動物の群れがみせる中枢システムがないまま自律的なうごきをみせる巨大な群れに潜むメカニズムを明らかにすることである。その理論的モデル研究の成果を海外研究誌に発表し、国内の学会においても複数件の研究報告をおこなった。
また、当初の計画には含まれていなかったが、「動物の心に関する定義」を共同研究者らとともに提案し、発表を行った。「動物に心はあるのか？」という問いは、「動物の群れに意識があるのか？」という問いと本質的に同じであると考え、議論した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究が提案した群れの理論モデルは、本来相容れない「平均化相互作用」と「個体間相互作用」を両立し、群れ内部の高速情報伝播を可能とした。そして、現実の動物の群れにおけるダイナミックな旋回運動を理論的にはじめて説明することに成功した。この結果は、当該分野において貢献は非常に大きいと考えるが、発表しただけで海外の研究者からコンタクトをもらうなど大きな反応をもらった。
また、本研究がきっかけとなり、「動物の心」に関する哲学的議論につなげることができ、分野をこえた共同研究ができたことは意義深い。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to elucidate the mechanism behind the huge group of animals that show autonomous movement without the central system that animals show. The results of that theoretical model research were published in overseas research journals, and multiple research reports were made at domestic academic societies.
Also, although not included in the original plan, I proposed and made a presentation with the collaborators on "Definition on animal mind". We argued that the question "Does the animal have a mind?" is essentially the same as the question "Is the group of animals conscious?"

研究分野：動物行動学

キーワード：動物行動 群れ 自己駆動粒子系

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまでの群れ行動の理論では、誘引・整列化・忌避などの規則は全て平均化相互作用を暗黙的前提としている。これはノイズの拡散が抑えられるため、群れの維持や安定性が非常に高くなる利点がある。この平均化は中枢なき個体の集団を群れとしてまとまりのある動きをつくるのには欠かせない普遍的な相互作用である。この相互作用がないならば、多くの個体が局所的な情報をもとに動くため、局所的な群れ(少数の群れ)を形成することは可能であるが、全体としてのまとまりを維持することが困難になる。そのため、当該分野で提案される理論モデルはすべからずこの平均化相互作用を仮定せざるを得ない。平均化相互作用を仮定しないモデルがあるならば、即座にその群れは瓦解するといえる。これはちょっとした摂動により群れ行動が崩壊、もしくは、分裂をしてしまう。つまり、平均化相互作用は群れ内部に発生したノイズである周囲個体と異なる小さな動きを打ち消す働きをもっている。しかしながら、群れ行動に本質的で重要な高速情報伝播が遅くなる。

一方で、本研究が導入する個体間相互作用はそれと相反する側面をもち、ノイズに弱い部分もあるが、速い伝播が可能である。また、実在の動物の群れにおいても、主要なインタラクションとして、個体間相互作用はすでに観測されている。

重要な点は「この平均化と個体間相互作用の相反する作用をどのように両立するか」である。その問題への提案として、本研究の方法論は「閾値による相互作用の切り替え」で両立するものである。そして、従来モデルでは実現不可能であった情報伝播波を実現している。

これまでの研究において、物理学ベースの平均化作用の問題点を発見し、個体間相互作用モードの導入による希少性情報の伝播を実現した。先頭個体の急旋回の情報伝播による速度相関を計測すると、本モデルでは先頭個体の摂動角度に対する平均速度の相関が高い。しかし、従来モデルでは相関が減少する。

本研究ではこれまでの研究を発展させ、動物行動学の理論のみならず、データマイニングに応用していき、社会的な貢献もふまえる。

2. 研究の目的

これまでの群れ行動の理論では、平均化相互作用を暗黙的前提として、群れの維持や安定性を説明している。しかしながら、近傍相互作用の足し合わせから作られる全体性では、群れの本質である高速な情報伝播が発生しなくなる。

本研究の目的は、相互作用する粒子系である“自己駆動粒子系”における平均化相互作用に疑問を呈し、個体間相互作用の導入による“情報伝播波”機構の解明・実装である。

この機構は、平均化作用でノイズとして消去される希少情報を伝播する。例えば、動物の群れにおける捕食者の早期発見による方向転換の情報を高速伝播できる。そして、ソフトウェアに関して、粒子群最適化問題に応用することで、分野横断的に研究を進めていく。

3. 研究の方法

本研究の目的は、群れの平均化と個体間相互作用の両立による情報伝播波機構の分野横断的な実装である。下記の Working Package (WP) を遂行することにより、目的を達成する。

WPA: 理論モデルの一般化とその解析

WPB: (未着手のため詳細を省く)

WPC: (未着手のため詳細を省く)

以下、WPA の概要である。

WPA: 理論モデルの一般化とその解析

理論モデルでは、平均化と個体間相互作用のモード切り替えを一般化させた情報伝播波機構を構築する。閾値よりも大きい変化を生じさせた近傍個体に、特異的に個体間相互作用させる。このシンプルな仕組みにより、希少性情報にも関わらず優先的に隣接個体に伝播する。

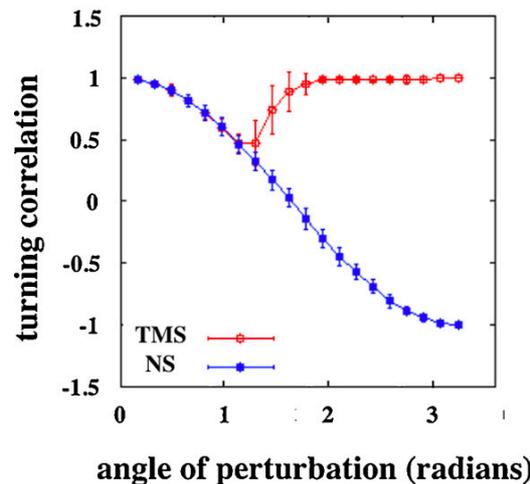
4. 研究成果

(1) 本研究では、提案メカニズムに関して構成論的モデルを構築し、少数の先頭個体による緊急回避行動が群れ全体へと伝搬する動きを再現できた(一般化ではなく、基礎モデルの構築と解析を行った)。

この動きは当該分野において、その発足当初から重要性を指摘されてきたが、理論的に再構築することが極めて難しかった。その理由としては、群れを形成するためには「平均化相互作用」を前提としているためである。提案モデルでは、そこに高速情報伝播が可能である「個体間相互作用」を組み合わせた。具体的な方法としては、しきい値を設けることで、通常は両立しない2つの相互作用を切り替えることで共存させた。この相互作用の切替により、群れをダイナミックな動きを引き起こす高速情報伝播波のモデル化に成功した(文献[1])。

モデルの主要な結果は下図のとおりである。先頭個体を急旋回させたときに、群れがその動きを全体に伝えて群れとして旋回行動ができるかどうかを検証した。先頭個体の動きという希少情報を高速に伝搬できれば、旋回行動が可能となる。従来モデル(NS)では先頭個体の旋回角度があがるごとに相関が減少するが、これは群れ全体が旋回していないことを意味する。その反対に、提案モデル(TMS)では先頭個体の旋回角度によらずに高い相関をみせ、群れ全体の旋回行動が観測された。つまり、先頭個体の旋回行動を起点とした「高速情報伝播波」が生じている傍証となる。

このほかの解析を含めた研究成果をまとめ、国際学会誌 BioSystems に投稿し、受諾された。



200 個体のグループの摂動に対する応答の分析。摂動として、TMS（提案）モデルのグループの先頭において 1 個体が急旋回を行う。NS モデルは BOID（従来）モデル。Angle of perturbation：旋回個体の旋回角度。Turning correlation：旋回角度に対する群れの反応後の平均進行角度との相関。提案モデルにおけるモード切替のしきい値は 0.4π [rad]。(図は文献[1]から引用)

(2) また、国内学会・計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会においても、上記のモデルをさらに発展させたモデルを提案し、その研究成果の一部を報告した。

(3) 当初の計画には含まれていなかったが、「動物の心に関する新しい定義」について、共同研究者らとともに考察・提案を行った。「動物に心はあるのか？」という問いは動物学において古くから議論され、様々な定義が提案されてきた。本発表では「動物の創発的行動の発現による心の定義」を提案した。それは広義には、動物の群れが意識をもつのか、という本研究の問いと根源的には一致するものである。日本認知科学会にて発表と議論を行った。

文献[1]: K. Sonoda, H. Murakami, T. Niizato, T. Tomaru, Y. Nishiyama, Y. -P. Gunji, "Propagating wave based on transition of interaction within animal group", *BioSystems*, 185(104019): 1-9, 2019 (DOI: 10.1016/j.biosystems.2019.104019)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 T. Moriyama, K. Sonoda, H. Saito, M. Migita | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Mind as a behavioral inhibition network | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Frontiers in Psychology, section Theoretical and Philosophical Psychology | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyg.2020.00832 | 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 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 K. Sonoda, H. Murakami, T. Niizato, T. Tomaru, Y. Nishiyama, Y. P. Gunji, | 4. 巻 185(104019) |
| 2. 論文標題 Propagating wave based on transition of interaction within animal group | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 BioSystems | 6. 最初と最後の頁 1-9 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.biosystems.2019.104019 | 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3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 森山徹、園田耕平、右田正夫、齋藤帆奈 |
| 2. 発表標題 心の新しい定義：行動抑制ネットワーク / New definition of mind: the behavioral inhabitation network |
| 3. 学会等名 日本認知科学会第36回大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 園田耕平 |
| 2. 発表標題 群れの高速情報伝播と知覚について |
| 3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 園田耕平 |
| 2. 発表標題 群れの"うごめき"をつくりだすインタラクションに関する考察 |
| 3. 学会等名 共創学会第2回年次大会 |
| 4. 発表年 2018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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|