

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K20641

研究課題名(和文)動物の群れが示す多様な振る舞いを実現する包括的アルゴリズムの解明

研究課題名(英文)Constructing the inclusive algorithm which can explain various group formation

研究代表者

新里 高行(Niizato, Takayuki)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：00700163

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、申請者は相互予期を通じた曖昧な指示を通じた群れモデルを構築した。本研究を通じて、互いに「おおよその位置」を把握することで、群れが一つに纏まることを助け、また、「おおよその位置」であるが故に群れが一つの状態にまとまりすぎるのを回避するという、一見相容れない状態を矛盾なく実現することに成功した。さらに、このような曖昧な指示は、実際に鮎の群れを構成する上で、個体数に応じたさまざまな構造を作り出すのに貢献していることを、データ分析を通じて示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で解読しようと試みた曖昧な相互作用とは、群れにいる他者の行動を未来を含めて大まかに知覚することであり、その知覚を通して一つの社会性を実現する。本研究において示したことは、そのような相互作用を持つ動物の群れは単なる足し算ではなく、常に異質なものを取り込みながら群れのあり方自体を変容させていくという開かれたプロセスであることを示唆するものである。我々の研究を通して、群れの個性に合わせた活用という道が開かれるかもしれない。

研究成果の概要(英文)：In this study, we constructed a new flocking model as a mutual prediction via ambiguous references. Our model has succeeded in achieving different states that are seemingly difficult to reconcile. In other words, knowing each other's "approximate position" helps to integrate the flocks while at the same time avoiding extreme convergence. Furthermore, our data analysis revealed that such ambiguous interactions contribute to the formation of various causal structures in real fish schools (sweetfish), according to the size of the school.

研究分野：複雑系

キーワード：自己組織化 統合情報理論 相互予期 臨界現象 魚の群れ

1. 研究開始当初の背景

魚や鳥の群れは形態形成、効率的な探索行動、素早い情報伝達などの複数の能力を持つが、それらを生成するアルゴリズムはこれまで独立に考えられていた。しかし、もし、「鳥や魚の群れに見られるこれらの振る舞いを一挙に説明できるような包括的アルゴリズムとは何か」が解明できれば、これまで別々に得られてきた知見を統一的に理解できるだけでなく、同型のアルゴリズムを基盤としている BOID 型分散型ロボットへの応用も期待できるだろう。

2. 研究の目的

本研究の目的は、特に魚や鳥の群れの代表的な振る舞いである形態形成、情報伝達、探索行動の3つの振る舞いを同時に実現できる包括的アルゴリズムを解明することである。本研究では、申請者の提案する個体間の不完全な指示による相互作用モデルを包括的アルゴリズムの候補とし、魼の群れによる実験的評価を同時に行うことで、これまでのモデルに変わる新しい基盤となる群れのモデルの構築を目指す。

3. 研究の方法

(1) 曖昧な指示を媒介にした相互予期による群れのモデルの構築

群れにおける曖昧な指示を相互予期という形で展開する。相互予期とは、互いの向かう位置をなんとなくしに把握する知覚のあり方を指し、特に近年はその効果が検証されてきている (Karamouzas, 2014)。この相互予期のモデルを我々が2018年に発表したモデルをベースに3次元に発展させ、より細かいダイナミクスを検証することで、実験データとの比較やこれまで報告されなかった新しい現象の予測を行う。

(2) 小規模のアユの群れに統合情報理論を適用した曖昧な指示とその効果の検証

アユの群れの小規模(2~5匹)の軌跡データに統合情報理論を適用することで、個体群ごとの因果構造の違いを調べる。もし、相互作用が個体数によって変化しないならば、群れの個体数が増えても顕著な変化はそこまで観測されないはずである。これを BOID モデルと比較することで、生物の群れに固有な構造が生じていることを示す。これにより、アユは確定的な相互作用を持たず、曖昧な相互作用を用いている可能性を逆説的に援護する。

4. 研究成果

(1) 曖昧な指示を媒介にした相互予期による群れのモデルの構築

私たちはこのモデルをうまく作成することに成功し、現在論文執筆中の段階にある。ここでは、我々の得た結果で興味深いものを挙げる。

前に述べた通り、曖昧な指示をベースにした相互作用は群れがまとまることを促進するだけでなく、まとまりすぎること回避する。直感的には、まとまりすぎるとき互いの差異が目立ち、バラバラである時は互いの類似点が目立つということの意味する。さて、我々のモデルによると、個体数が1000匹を超えても、自然界で見られるような急激な旋回を実現する。一般的に、大量の個体群からなる群れが、どのような意志の一致を見せてこのような急激な旋回を可能にするのかということは重

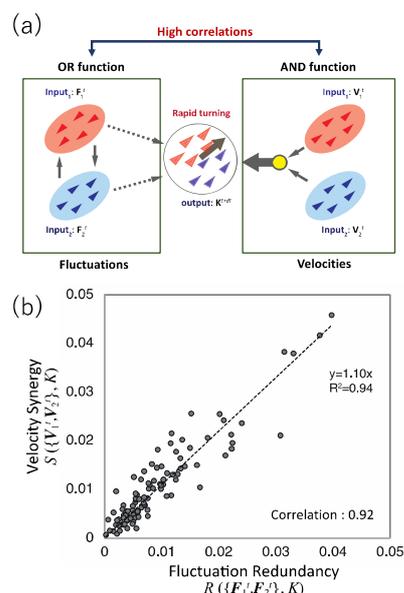


図1: 群れにおける AND 回路と OR 回路

重要な問いである。そこで我々は、群れ内部のゆらぎと速度ベクトルの分布を同時に比較することで、急激な旋回の起源を説明することを試みた。詳細な方法は複雑なため割愛するが、情報理論における部分情報分解(PID)として知られる方法で得られた情報を分解した。これにより、急激な旋回時には、ゆらぎと速度ベクトル分布が互いに補償し合うような構造を持っていることが明らかになった(図1)。つまり、システムはゆらぎとしてはOR回路のようなものを採用することで自身の変化に鋭敏化し、この鋭敏化の度合いがそのまま速度ベクトルのAND回路的な構造とリンクしていることがわかった。これは、群れが臨界状態にあることをうまく活用することで、急激な旋回を行っていることを意味している。

(2) 小規模のアユの群れに統合情報理論を適用した曖昧な指示とその効果の検証

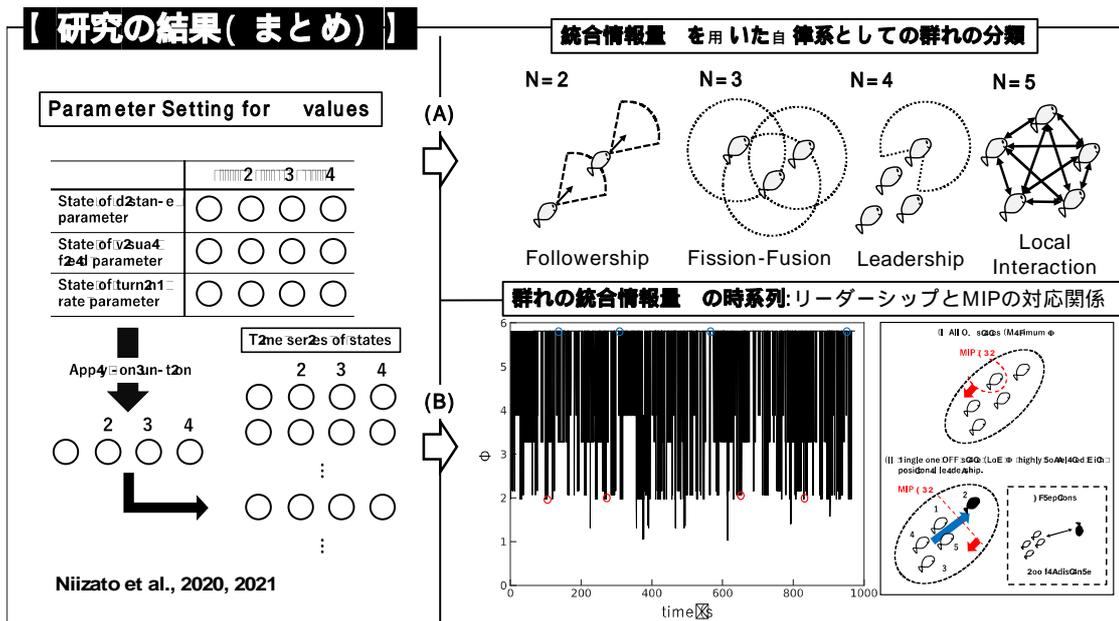


図2: 研究結果のまとめ(上図: 個体数による分類・下図: リーダーシップの創発)

小規模のアユの群れの統合情報理論による分析では、多くの結果が得られた(Niizato et al., 2020, 2021)。ここでは上の図と対応させつつ、得られた結果を簡潔に述べる。分析で用いた統合情報理論は、脳科学では意識のレベルを明らかにするために提唱されたものであるが、申請者はこれを動物の群れに応用することでこれまでに得られることのなかった豊富な構造を見出した。

1. Takayuki Niizato et al., Entropy 【2020年発表:IF 2.49】

アユの2匹から5匹の群れに統合情報理論を適用し詳細に調べることで、アユの群れは個体数に応じて、部分と全体の関係を質的に変化していることを明らかにした。これまで、群れのサイズは程度の違いとしか理解されてこなかったが、実際にはそれぞれ情報理論的には異なる因果構造を持っていることが明らかになった。

2. Takayuki Niizato, et al. Proc. SWARM2019 【Best Paper Award finalist: SWARM 2019】

アユの2匹から5匹にIITを用いて、同じサイズの部分個体群でも埋め込まれる環境に応じて【業績1】で得られた関係とは別の関係が生じることを解明したものである。

3. Takayuki Niizato et al. PLoS ONE. 【2020年発表:IF 2.77】

IITを用いて、群れのサイズが4匹を超えた時に初めてリーダーシップが登場することを明らかにしたものである。本論文ではさらに、相互情報量や移動エントロピーなどではこの関係を導くには不十分であること、BOIDなどの単純なモデルでは再現不可能なことを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Sonoda K, Murakami H, Niizato T, Tomaru T, Nishiyama Y, Gunji YP	4. 巻 185
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 Bio Systems	6. 最初と最後の頁 104019
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shirakawa T, Niizato T, Sato H, Ohno R	4. 巻 182
2. 論文標題 Levy-walk pattern in the exploratory behavior of the Physarum plasmodium	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bio Systems	6. 最初と最後の頁 52-58
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.biosystems.2019.103985.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takayuki Niizato, Kotaro Sakamoto, Yoh-ichi Mototake, Hisashi Murakami, Takenori Tomaru, Tomotaro Hoshika, Toshiki Fukushima	4. 巻 15
2. 論文標題 Finding continuity and discontinuity in fish schools via integrated information theory.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0229573
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0229573	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 Niizato Takayuki, Sakamoto Kotaro, Mototake Yoh-ichi, Murakami Hisashi, Tomaru Takenori, Hoshika Tomotaro, Fukushima Toshiki	4. 巻 22
2. 論文標題 Four-Types of IIT-Induced Group Integrity of Plecoglossus altivelis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Entropy	6. 最初と最後の頁 726 ~ 726
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/e22070726	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 Niizato Takayuki, Sakamoto Kotaro, Mototake Yoh-ichi, Murakami Hisashi, Nishiyama Yuta, Fukushima Toshiki	4. 巻 25
2. 論文標題 Revealing the existence of the ontological commitment in fish schools	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 633 ~ 642
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-020-00658-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 NIIZATO Takayuki	4. 巻 61
2. 論文標題 Classification of Causal Structure in <i>Plecoglossus altivelis</i> via Integrated Information Theory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Seibutsu Butsuri	6. 最初と最後の頁 027 ~ 029
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2142/biophys.61.027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	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 2件)

1. 発表者名 Toshiki Fukushima, Takayuki Niizato
2. 発表標題 Information storage and transfer in ayus (<i>Plecoglossus altivelis</i>)
3. 学会等名 AROB 26th (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takayuki Niizato, Kotaro Sakamoto, Yoh-ichi Mototake, Hisashi Murakami, Yuta Nishiyama, Tomotaro Hoshika, Toshiki Fukushima
2. 発表標題 Heap Paradox in fish schools
3. 学会等名 SWARM 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福島俊紀, 新里高行
2. 発表標題 アユの振る舞いが互いに及ぼす影響の情報理論的解析
3. 学会等名 日本動物行動学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Andrew Schumann	4. 発行年 2020年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 190
3. 書名 Swarm Intelligence From Social Bacteria to Humans	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>鮎は4匹以上の群れになるとリーダーが出現する http://www.tsukuba.ac.jp/wp-content/uploads/200406nizato-1.pdf</p> <p>「群れ」はサイズに応じて異なる性質を持つ https://www.tsukuba.ac.jp/journal/technology-materials/20200706140049.html</p>

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
---------	---------