

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16060

研究課題名(和文)不完全な情報下での個体の振る舞いが作る群れが担う多岐的な機能の研究

研究課題名(英文)Studies on Multiple Functions of Collective Behavior Under Uncertain Information

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)：鮎の群れの運動を解析することを通じて、動物が群れをなすときに担う様々な性質を明らかにした。まず、鮎は単体でも複数匹でもレヴィウォークという探索と採食を両立した振る舞いを行っていることを解析的に厳密に示すことに成功した。一方、それぞれの軌跡を分析したところ、その全体としての軌跡は匹数の変化とともに明確に違いがあることを明らかにした。また、一方で鮎の主観的・客観的な位置を定義し、両者の不一致が群れの規模が大きくなるほど激しくなり、それが運動全体に影響を与えている可能性を明らかにした。年度の最後には、群れの各個体の運動における非同期性と多機能性とを関係づける道筋をつけた。

研究成果の概要(英文)：Our analysis of fish schools (Ayu) showed the possibility of inherent multiple functions for collective behavior. First, we showed that Ayu groups use the optimal strategy, known as Levy walk, for exploring behavior. Interestingly, although this strategy was used in both cases, that is, a single fish and a group fish, their trajectories were completely different. On the other hand, we defined the global and local perspective for the fish position in groups and found the degree of discrepancy between them resulted in different collective motions. Our results suggests inherent discrepancy inside the group enables them to have many options to behave. Finally, we found the asynchronous timing behaviors inside the flocks which would connect multiple functions in the group.

研究分野：非線形科学

キーワード：群れ 集団現象 自己組織化

1. 研究開始当初の背景

近年に急速に発展してきた群れの画像解析の結果、群れは綺麗に整列して動いているわけではなく、むしろ、内部は複雑に揺らいでおり、ノイズに満ちていることが見出された。内部の個体はどのようにしてこのノイズに満ちた状況からある全体としての秩序を作り出しているのだろうか？ここには、いくつかの問題がある。まず、第一に、ノイズと秩序の一見相矛盾するものをいかに理論的に両立させるのか、という問題である。また、第二に、そのような相矛盾した性質が群れの中で共立している理論的意味が不明である点である。しかし、研究開始当初の状況では、このような問題はあまり真剣に考えられてはいず、まずはそこに何らかの見通しを実験やシミュレーションを通して与える必要があった。

2. 研究の目的

そのような問題を考えるにあたって、代表者は、群れの中の各個体が持つ情報の不完全さそのものに着目することで、これらの課題に取り組もうと試みた。個体の運動が多分にノイズを含みながらも、ある程度の秩序が保たれているのは、個体の持ちうる情報の有限性、また、それゆえに生じる「ある行為を一つの意味に閉じることができない」といった描像をうまく研究において展開していく必要がある。それには、与えられた情報は不完全でありながらも、全体に何かしと言及するシステムを構想しなくてはならない、と代表者は考えた。情報の不完性から言及される全体という概念は、「全体」という概念の基盤を揺るがし、「全体」をカッコに入れたままダイナミックに駆動するシステムを構想するために不可欠であろう。

以上の背景を元に、本研究はスタートした。不完全な情報を元に立ち上げる群れとしての全体性を明らかにするということは以下の二つのことを意味する。まず、前に述べたように、情報の不完全性から構築される全体は、常に「全体」を立ち上げながらも、その基盤を揺るがすような群れ=システムの姿を明らかにするということである。また、第二に、そのようなカッコつきの「全体」は、一つの意味のみを生み出すのではなく、その不定性ゆえに、群れることで新たな性質を自らのうちに見出すという過程を含んだシステムを構築することでもある。だからこそ、我々は「群れること=協力すること」を進化の文脈で語ることができたり、「群れること=繁殖すること」といった複数の文脈で群れを語るができているのである。

本研究の目的は、そのような様々な機能を担う母体の発生を明らかにすることを通して生成の現場を理論化することにある。

3. 研究の方法

複数匹の鮎を用いて、その軌跡を解析することで、研究目的を達成しようと考えた。具体的には、10匹の鮎を10分間トラッキングし、その軌跡を様々な統計方法を用いて分析した。実験用の水槽は、縦横3mで深さ10cmほどの擬似的な二次元水槽であるため、魚の運動は二次元に拘束される。

運動を二次元化することには二つのメリットがある。一つは、トラッキングの効率化であり、もう一つは、飼育用タンクとは異なる環境(飼育用タンクは縦1.5m、横50cm、深さ70cmほどののである)に入れることで、慣れない環境にすることで、魚に蒸れやすい状況を設定することができるからである。

トラッキングは、ライブラリーの専用ソフトを使用し、時間解像度は0.1秒とした。実験に用いる鮎は年魚であるため、毎年、栃木県の養殖所から稚魚の状態で購入し、一年間飼育した。なお、全ての実験は筑波大学の動物倫理基準に従っており、魚に対する苦痛は最小限にして行われた。

4. 研究成果

鮎の群れの運動を解析することを通じて、動物が群れをなすときに担う様々な性質を明らかにした。まず、鮎は単体でも複数匹でもレヴィウォークという探索と搾取を両立した振る舞いをしていることを解析的に厳密に示すことに成功した。一方、それぞれの軌跡を分析したところ、その全体としての軌跡は匹数の変化とともに明確に違いがあることを明らかにした。これは、研究目的で述べたカッコに入れられた「全体」の一つの発現であるということができる。つまり、鮎は統計的には同じ振る舞いをしてながらも、探索範囲を複数匹になることで変化させ、質的に異なる振る舞いを生成することに成功したのである。代表者の得た実験結果は、2015年に京都で行われた国際学会 SWARM で高い評価を得て、Swarm セクションで最優秀論文賞を受賞した。

また、一方で鮎の主観的・客観的な位置を定義した。主観的位置とは、それぞれの個体から見た全体の姿であり、客観的位置とは、全体から見た個体の位置を意味する。非常に興味深いことに、代表者は、この主観的位置と客観的位置のねじれが、個体数の増加とともに変化していることを明らかにした。具体的に言えば、両者の不一致が群れの規模が大きくなるほど激しくなり、それが群れとしての空間探索方法に影響していることを示した。これらの結果は、2016年度の国際学会ですでに発表済みである。

年度の最後には、群れの各個体の運動における非同期性の定量化に成功した。これは、鮎がレヴィウォークをしている代表者の研究結果をもとに、新しく作り出した測定方法である。群れの中の行為の非同

期性を量的に明らかにすることは、群れの中で流れる時間が単一的でなく、複数の時間の流れがあり、それが貼り合わさることでひとつの群れとしての時間が形成されていることを意味する。代表者の研究結果は、非同期な時間と群れの多機能性を関係付ける可能性を示唆しており、これについては継続して行っていく予定である。

以上に述べたように、代表者は研究当初に掲げた目標に対して、研究期間内におおよその見通しを立てることに成功した。これ以後は、この見通しをもとに、シミュレーションや鮎の実験を通してさらなる研究を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 7 件)

1. Kohei Sonoda, Hisashi Murakami, Takayuki Niizato, Yukio-Pegio Gunji. Field of safe travel in swarm. *Artificial Life and Robotics* 21(4) 379-383 (2016)
2. Takenori Tomaru, Hisashi Murakami, Takayuki Niizato, Yuta Nishiyama, Kohei Sonoda, Toru Moriyama, Yukio-Pegio Gunji. Information transfer in a swarm of soldier crabs. *Artificial Life and Robotics* 21(2) 177-180 (2016)
3. 新里高行, 村上久, 三具和希, 都丸武宣, 西山 雄大, 園田耕平, 郡司ペギオ幸夫 「少数個体の鮎(*Plecoglossus altivelis*)が形成する群れとその個体数による振る舞いの変化」計測自動制御学会論文集 第 52 巻 5 号 pp.257-263, 2016.
4. Takayuki Niizato. Weak Identity from the Section-Retracton Perspective of Category Theory. *Artificial Life and Robotics* 20(2) 166-172 (2015)
5. Takayuki Niizato, Yukio-Pegio Gunji. Ongoing Processes in a Fitness Network Model under Restricted Resources. *PLOS ONE*. DOI:10.1371/journal.pone.0127284 Published: May 18 (2015).

6. Hisashi Murakami, Takayuki Niizato, Takenori Tomaru, Yuta Nishiyama, Yukio-Pegio Gunji. Inherent noise appears as a Lévy walk in fish schools. *Scientific Report*. DOI: 10.1038/srep10605 Published 03 June (2015)
7. Hisashi Murakami, Takenori Tomaru, Takayuki Niizato, Yuta Nishiyama, Kohei Sonoda, Toru Moriyama, Yukio-Pegio Gunji. Collective behavior of soldier crab swarm in both ring- and round-shaped arenas. *Artificial Life and Robotics* 20: 315-319. (2015)

[学会発表](計 9 件)

1. 新里高行, 村上久, 三具和希, 都丸武典, 西山雄大, 園田耕平, 郡司ペギオ幸夫. 第 16 回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, 『群れが形成するネットワークからみる図地構造』(口頭発表)、名古屋国際会議場, 2015 年 12 月 15 日
2. 村上久, 新里高行, 都丸武宜, 西山雄大, 郡司ペギオ幸夫. 第 16 回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, 『内的ゆらぎの群れ内情報伝達への貢献』(口頭発表)、名古屋国際会議場、2015 年 12 月 15 日
3. 園田耕平, 村上久, 新里高行, 飯塚浩二郎, 郡司ペギオ幸夫. 第 16 回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, 『非対称な接触による群れの行動』(口頭発表)、名古屋国際会議場、2015 年 12 月 15 日
4. 郡司ペギオ幸夫, 村上久, 都丸武宜, 新里高行. 第 16 回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, 『ミナミコメツキガニの群れに認められる逆ベ

イズ推論』(口頭発表)

名古屋国際会議場、2015年12月15日

5. **Takayuki Niizato**, Hisashi Murakami, Kazuki Sangu, Takenori Tomaru, Yuta Nishiyama, Kohei Sonoda and Yukio Gunji.
"Difference in the searching strategy of *Plecoglossus altivelis* between single individuals and groups"(Oral), SWARM 2015: The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics., Kyoto University., 2015. 10. 28.
6. Kohei Sonoda, Hisashi Murakami, **Takayuki Niizato**, Yukio Gunji. "Field of Safe Travel in Swarm"(Oral), SWARM 2015: The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics., Kyoto University., 2015. 10. 28.
7. Hisashi Murakami, **Takayuki Niizato**, Takenori Tomaru, Yuta Nishiyama, and Yukio Gunji. "Schooling fish change internal movement strategy due to their density"(Oral)
Kyoto University., SWARM 2015: The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics., 2015. 10. 28.
8. Yukio Gunji, Hisashi Murakami, Takenori Tomaru, **Takayuki Niizato**. "Following the Shadow beyond Pursuit and Escape Mechanism in the Swarm of Soldier Crabs."(Oral), SWARM 2015: The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics., Kyoto University. 2015. 10. 28.
9. **新里高行**, 村上久, 三具和希, 都丸武典, 西山雄大, 園田耕平, 郡司ペギオ幸夫.
第53回生物物理学会、『少数個体がつくるアユの群れに内在する相互作用構

造』(ポスター発表)、金沢大学、2015年9月15日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新里 高行 (Takayuki Niizato)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：00700163