

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：12102

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25880005

研究課題名(和文) 群れにおける身体性と内部ゆらぎによるその運動的機能における研究

研究課題名(英文) Research on body as flock and its internal fluctuation which drives its dynamic motion

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) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：川魚の一種であるアユの群れの行動を画像解析により分析する方法を確立した。群れの中の個体は、群れ全体の情報を知り得ないにもかかわらず、うまく統制のとれた集団的運動をなぜ実現するのかを様々な尺度を通じて明らかにした。大きな成果としてあげられるのは、全体の情報に対しての個々の振る舞いが、スケールに依存しない振る舞いを示すことを明らかにしたことである。さらに、それらの結果は、我々が新しく提案したモデルと矛盾なく接続できることを明らかにした。各個体が、不完全な情報をもとに自らの行為を決定することが、局所的であるにも関わらず社会的=集団的な意味を帯びるということを実験・理論的に明らかにしたのである。

研究成果の概要(英文)：We establish method of a movement tracking in a laboratory condition for ayu (*Plecoglossus altivelis*). We found the mechanism that fishes can tune their behaviors (speed, direction and Levi-walk) against global behavior, although a fish in a group never has enough information of its belonged school and constructed a new model which matched well to our experimental results. We showed scale-free behaviors in a fish school for some global information. Our researches suggest fish's behavior with restricted knowledge can emerges various functional roles for both of experimental and theoretical aspects.

研究分野：非線形科学

キーワード：群れ 集団現象 探索搾取のジレンマ

1. 研究開始当初の背景

- (1) 動物の群れを理論的・実験的に解明しようという潮流が、近年顕著になってきており、中でも、ヨーロッパの STARFLAG なる組織が主導するムクドリ画像解析の研究は、当分野で抜きん出ており、2012 年当初のころは、その他にめばしい実験や解析はなかった。それ故、STARFLAG らの得られた結果はどれほどの一般性を持ちうるのか。何が群れ全体に当てはまる普遍的な現象で、何がムクドリに特殊な現象なのか、判別し難いところがあった。
- (2) 中でも、群れの中での個体の偏向的運動、つまり、ゆらぎは群れの中でスケールフリーという特殊な現象を示すことが判明しており、我々は当初からこの現象に注目していた。スケールフリー相関とは、一見整列して秩序立った運動をしているように見える群れでも、その中からゆらぎを抽出すると、スケールに依存しない広域にわたる相関領域を持つ現象である。STARFLAG は、このスケールフリー相関が、向きと速度の両方で成立することを明らかにしていた。
- (3) 我々は 2012 年にすでに世界に先駆けて、この現象を説明するモデルを提案しており、そのモデルにおいて、群れのなかのゆらぎこそが群れの運動を促進させ、また、激しい方向転換をはらんだ運動を実現するのに不可欠な要素であることを示していた。ゆらぎと群れの運動により深い関係を見出そうとするのが、研究開始した当初の目的であった。

2. 研究の目的

- (1) このようななかにあって、我々は、本モデルを軸にして、新たな実験環境をつくり、群れの運動を実際に解析することで、まず実験的に、STARFLAG らの提示している結果が、たとえば、魚やカニの群れにおいてどれほどの妥当性を持ちうるものかを検証する必要がある。
- (2) 最終的な目標としては、モデルと実験結果の整合性を確認するととどまらず、ゆらぎが群れの形成・解体に寄与するようなあらたな現象を明らかにすることを目的としていた。

3. 研究の方法

- (1) 我々は、現実の群れを解析し、その振る舞いを詳細に調べるため、実験室に大規模な水槽を設置し、魚が自由に泳ぎまわれるような環境を用意した。動いた魚の

動きは、高解像度カメラによって録画され、そのデータはコンピューターに自動的に送信されるように設定した。

- (2) 本研究において我々は、日本に生息する川魚の一種である鮎を使うことにした。鮎は稚魚のころ川の浅瀬で群れをなして生活し、値段も安価であるため、研究には適しているからである。
- (3) 録画されたデータは、解析用のソフトを用いて、その詳細な動きをトラッキングしデータとして出力し、その位置情報をもとに、速度の時系列や角度の変化率といったデータを得ることにした。

4. 研究成果

研究結果は大きく分けて 2 つに挙げられる。

- (1) まず、我々が明らかにしたことは、各個体は全体の情報をあらかじめもちえないにもかかわらず、その振る舞いに自己組織的な法則を見出したことが挙げられる。具体的に述べると、各個体は自らの進む方向を群れの中で常に微調整をするように強いられる。群れ全体の向きからあまりに遊離するようであれば、その個体は群れから離脱していきだろう。その判断の方法には、なんらかの法則性があるはずである。そこで我々は、平均向きに対する個体をとる向きの持続時間を計測し、その結果を頻度分布にまとめた。その結果我々は、各個体の向き調整の頻度分布はベキ則を示すことを明らかにした。ベキ則が暗示することは、各個体の向き変更の判断は、特徴的なスケールを持たず、個体と全体の関係を無効にするように働いていることを意味する。ここで得られた結果は、我々があらかじめ提案したモデルから得られることができ、ここから、不完全な情報下で、みずからの行為に言及することがこのような振る舞いを生み出す原因となりうることを示した。
- (2) 次に、全体の中での個体の軌跡がある特殊な現象を示すことを明らかにした。(1) で述べたように、各個体は全体の情報を知り得ないにもかかわらず、ある種の全体性をみずから立ち上げながら行動している。そうであるならば、その個体の軌跡にもある種の法則性が現れてもおかしくないはずである。そこで、我々は、重心周りの個体の運動から生じる軌跡を分析した。そこで我々は、個体の重心周りの軌跡は、生物が餌を採取するときを用いる最適な戦略として知られているレヴィウォークを行っていることを明らかにした。

(3) 次に、純粋なモデルの結果から、二次元下における、ゆらぎと運動の特殊な関係をあきらかにした。我々の得られた結果によると、群れはそのサイズが小さいときはランダムに近い振る舞いをみせ、群れのサイズが大きくなるにつれて、そのランダムネスが減少することをあきらかにした。これは、頂上からの捕食者である鳥類から身を守るための戦略として解釈できる。つまり、群れを大きくすることは、警戒レベルを上げることであり、外界の危険に集団単位でより早く気付くことができる。一方で、群れを小さくすることで、可動性が上がり、実際の攻撃に対して相手に予測できない運動をすることが可能になる。事実、群れには最適サイズがあって、そのサイズを何が決定するのかは、今だに議論的であるが、我々はその疑問に対してある一定の答えを提出することに成功したのである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

- 1) 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." **Proceedings of the 20th International Symposium on Artificial Life and Robotics**, (2015) 査読有
- 2) Hisashi Murakami, Takenori Tomaru, Yuta Nishiyama, Toru Moriyama, **Takayuki Niizato**, Yukio-Pegio Gunji. "Emergent Runaway into an Avoidance Area in a Swarm of Soldier Crabs." **PLOS ONE**. DOI: 10.1371/journal.pone.0097870 (2014) 査読有
- 3) **Takayuki Niizato**, Hisashi Murakami, Yukio-Pegio Gunji. "Emergence of Scale-Invariant Proportion in a Flock from Metric-Topological Interaction." **Biosystems** 119:62-68 (2014) 査読有
- 4) **新里高行**

”忌避-誘引の両義性からなる多様な群れの構造”

人工知能学会論文誌 Vol. 29 No1. pp201-206 (2014) 査読有

5) **Takayuki Niizato**

"Multiplicity of Interactions in an Asynchronous Updating Rule; Emergence of Collective Cognition." **Proceedings of the 12th European Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems**. 729-736 (2013) 査読有

6) **Takayuki Niizato**, Yukio-Pegio Gunji.

"Interactions between species and environments from incomplete information." **Biosystems**. 111:145-153 (2013) 査読有

7) 村上久, 西山雄大, **新里高行**, 榎本浩一郎, 戸田真志, 飯塚浩二郎, 郡司ペギオ幸夫. "群れの維持・形成に寄与する内的ゆらぎ" **計測自動制御学会論文集** 49:1 (2013) 査読有

〔学会発表〕(計 14 件)

- 1) **新里高行**, 村上久, 三具和希, 都丸武宜, 西山雄大, 園田耕平, 郡司ペギオ幸夫 第62回日本生態学会、『実験的・理論的見地からみる評価の二重性をともなう群れ』(口頭発表)、鹿児島大学(鹿児島)、2015年3月20日
- 2) Hisashi Murakami, Takenori Tomaru, **Takayuki Niizato**, Yuta Nishiyama, Kohei Sonoda, Toru Moriyama, Yukio-Pegio Gunji. 20th International Symposium on Artificial Life and Robotics, 『Collective behavior of soldier crab swarm in both ring- and round-shaped arenas』(口頭発表)、B-Con Plaza Beppu, Oita、2015年1月21日

3) **新里高行**, 村上久, 三具和希, 都丸武宜, 西山雄大, 園田耕平, 郡司ペギオ幸夫

第15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、『少数個体の作る群れ からみる群れの起源』(口頭発表)、東京ビックサイト(東京)、2014年12月15日

4) **新里高行**, 村上久, 三具和希, 都丸武宜, 西山雄大, 園田耕平, 郡司ペギオ幸夫

『少数個体からなる群れからみる群れの起源』第30回個体群生態学会.筑波大学(茨城)、2014.10.11. (ポスター)

5) **新里高行**, 村上久, 都丸武宜, 西山雄大, 園田耕平, 郡司ペギオ幸夫

『魚たちができること—実験的視点から—』第52回日本生物物理学会.札幌コンベンションセンター(北海道). 2014.9.26. (ポスター)

6) Hisashi Murakami, **Takayuki Niizato** and Yukio-Pegio Gunji.

" Noise in Shoaling Fish Appears as Several Power-law Behaviors." Proceedings of European Conference on Complex Systems 2014. Lucca, Italy. 2014. 9.22-9.26.(ポスター)

7) Kohei Sonoda, Hisashi Murakami, **Takayuki Niizato** and Yukio-Pegio Gunji.

" Propagating waves in flocks: a simulation study" Proceedings of European Conference on Complex Systems 2014. Lucca, Italy. 2014. 9.22-9.26.(ポスター)

8) **Takayuki Niizato**, Hisashi Murakami, Takenori Tomaru, Yuta Nishiyama, Kohei Sonoda and Yukio-Pegio Gunji.

" Various Power-law Behaviors in Fish schools from Empirical Results." JSMB/SMB 2014 Osaka. Osaka International Conventional Center. 2014. 7. 29. (ポスター)

9) **新里高行** 村上久 郡司ペギオ幸夫

2014年度人工知能学会全国大会、『I群れの運動の内在的な切り替え』(口頭発表)、2014年5月13日、ひめぎんホール(愛媛県松山市)

10) **Takayuki Niizato.**

TOWARD A SCIENCE OF CONSCIOUSNESS 2014、"Dynamical Identity of Self as the Concept System on Category Theory." (ポスター発表)、2014年4月25日、Tucson, Arizona-USA

11) **新里高行**

19th International Symposium on Artificial Life and Robotics、"Weak identity from Section-Retracton Perspective on Category theory"

(口頭発表)、2014年1月22日~24日、B-Con Plaza Beppu, Oita

12) **新里高行**

研究会発表「複雑系の科学」、『Inherent noise in fish school and power law』(口頭発表)、2014年1月20日~21日、京都大学基礎物理学研究所 パナソニック国際交流ホール(京都)

13) **新里高行**, 村上久, 郡司ペギオ幸夫

第14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、『川魚にみる中規模な群れの内的構造』(口頭発表)、2013年12月18日~20日、神戸国際会議場(兵庫)

6. 研究組織

(1) 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