

鮎は4匹以上の群れになるとリーダーが出現する  
～統合情報理論を用いて生きた生物の群れの性質を分類する試み～

研究成果のポイント

1. 脳科学で注目されている統合情報理論<sup>注1)</sup>を用いて鮎の群れを分析し、4匹以上になるとリーダーシップをとる個体が現れることを明らかにしました。
2. 鮎では、群れのサイズが3匹と4匹との間に、システムとしての分断があることがわかりました。
3. 本研究結果は、統合情報理論により、従来の客観的な観察という手法では発見できなかった、システムとしての群れの性質を解明できることを示唆しています。

国立大学法人筑波大学 システム情報系 新里高行助教らの研究グループは、2匹から5匹までの鮎の群れに、統合情報理論を適用することで、群れのサイズが4匹以上になって初めて、群れの中にリーダーシップをとる個体が現れることを明らかにしました。

これまでの群れの研究の多くは、群れを客観的に観察したときの振り舞いを手がかりに、移動エントロピー（時系列データから因果関係を分析する手法）などを用いて、群れの中の個体間の情報がどのようにやりとりされているかに注目してきましたが、この手法では群れがシステムとしてどのように異なっているのかを理解することは困難です。例えば、3匹と4匹の群れには、群れのサイズ以外にどのような違いがあるのか、といった問いに、十分に答えられるものではありませんでした。

本研究では、規模の小さい動物の群れ内部の因果構造に注目し、統合情報理論を用いて分析することで、鮎の群れは3匹と4匹との間にシステムとしての分断があることを発見しました。この分断点を詳しく調べたところ、群れを客観的に観察したときに出現するリーダーシップに対応していることがわかりました。さらに興味深いことに、この結果は、BOID<sup>注2)</sup>などの人工的なシミュレーションモデルでは再現できず、実際の群れに特徴的な性質であることが明らかになりました。これは、これまでの研究では指摘されることがない、新しい知見です。

本研究は、統合情報理論が、これまでの手法では発見できなかった、群れの構造のシステムとしての違いを明らかにできることを意味しています。観察では数の違いにしか見えないものでも、実はそれぞれが個性を持った異なるシステムかもしれないのです。この方法を応用することで、人間についても、議論するのに適した人数や、楽しく過ごすのに適した人数などもわかってくるかもしれません。

本研究の成果は、2020年2月27日付「PLOS ONE」で公開されました。

\* 本研究は、科研費若手研究による研究成果です。

## 研究の背景

個体数が 1000 以上の大規模な動物の群れに関する研究は、近年盛んに行われています。同時に、それよりずっと小規模な(2匹から10匹)群れの振る舞いも、研究されてきました。小規模な群れは、個体たちの軌跡を相対的に長い時間、追跡することができるので、実際に群れの中でどのようなことが起こっているのかを調べるのに適しています。そのためには、実際に個体の行動を外側から眺めるほかに思えます。ある個体が動いた後に、どの個体がどれくらい反応するのか、これが群れの中で起こっている情報伝達を調べるときの一般的な手がかりとなります。確かに、このように客観的に観察できる振る舞いを頼りに、群れの中で何が起こっているのかを調べることは重要です。しかしながら、このような方法では、それが本当に群れをなしているのか否か、個体間ではなく、「群れ」としてはどんなつながりを持っているのか、という疑問に答えることはできません。

## 研究内容と成果

そこで本研究グループは、統合情報理論という近年脳科学で注目されている理論を、動物の群れ(生きた生物システム)に初めて適用することを試みました。統合情報理論は、イタリアの脳科学者 G. トノーニにより、意識の度合いを数理的に測定するための理論として提唱されましたが、その目的はあくまで、システムがどれくらい「一体」になっているかを測るものです。

本研究では、この理論を用いて「群れとしての統合度」を計測することで、3匹と4匹の鮎の群れの間には質的なギャップが存在し、それがグループとしてのリーダーシップの有無に対応していることを明らかにしました(参考図)。また、同様の分析を、BOLD という動物の群れの行動シミュレーションモデルでも行ったところ、そのようなギャップは見られませんでした。つまり、本研究により発見したギャップは、リアルな生物システムにのみ見られる特徴的な性質であることを示唆しています。

## 今後の展開

「群れの統合度」をうまく使っていくことで、小さい群れもそのサイズによって様々な個性を持っている可能性が示唆されるため、さらなる分類=個性を見つけることができないか、今後、研究を進めていきます。この手法が一般化されれば、どれくらいのサイズのグループが議論に適していて、どれくらいのグループサイズが安定した集団生活を送れるのか、などもわかるかもしれません。

## 参考図

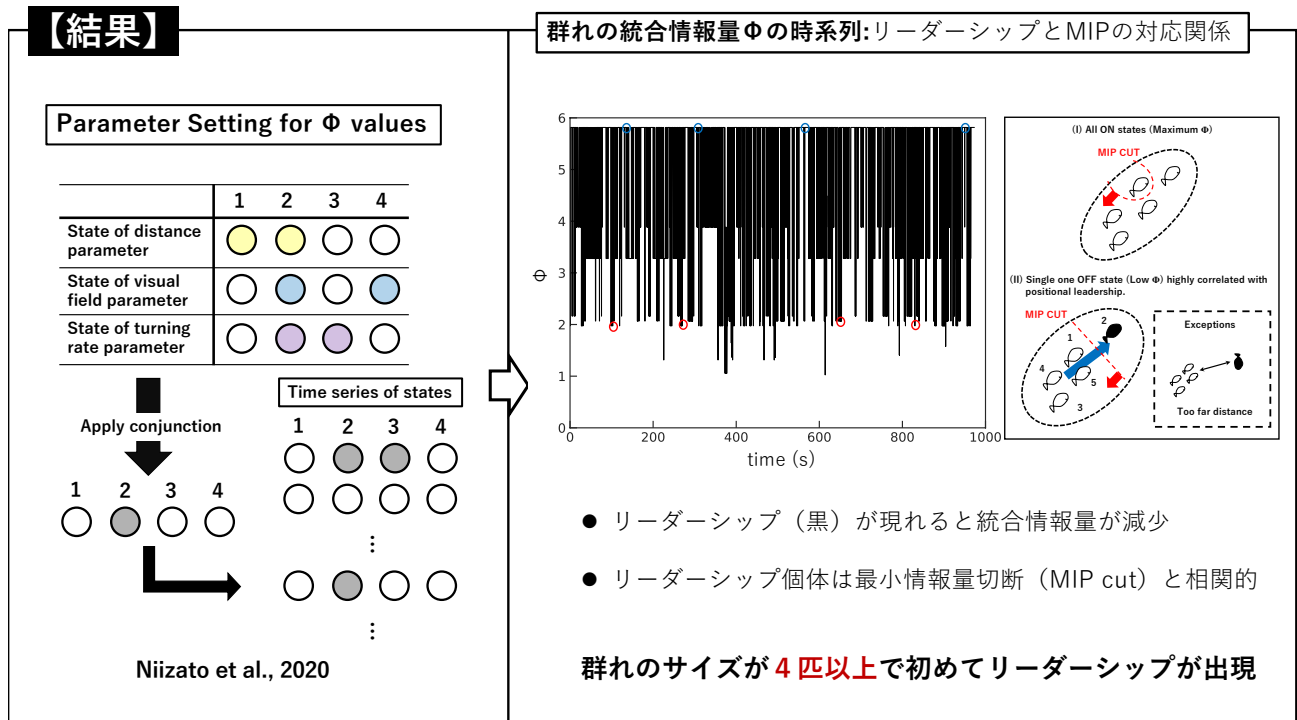


図 (左図) 統合情報量を計算するためのパラメーター設定法、(右図) 統合情報量  $\Phi$  の時系列。  $\Phi$  値が高いとき、群れは一つの統一体を成している。一方、  $\Phi$  が急激に減少しているときは、群れの中でリーダーシップが出現している。さらに、このリーダーに当たる個体と MIP cut<sup>注3)</sup> の場所には高い相関が見られた。これはリーダーと残り複数のフォロワーの間に非対象な情報の流れが存在していることを意味する。

## 用語解説

注1) 統合情報理論

2001年にイタリアの脳科学者トノーニが提唱した理論です。もともとは脳の発火ネットワークから人間の意識の状態を測定するものとして使われていましたが、近年では、脳と直接の関係を持たない様々な分野にも応用されつつあります。

注2) BOID

1990年代に提唱された、今でもよく使われる群れのモデルアルゴリズムです。遠すぎると近づき、近すぎると遠ざかり、ちょうどいい距離のところで位置を揃えることを、各々の個体が繰り返すことで、群れを作るモデルです。

注3) 最小情報量分割切断(MIP cut)

統合情報量は様々なシステムの分割を考えます。それらの中で最も情報量の損失が少ない分割の仕方が、最小情報量分割切断と呼ばれます。言い換えれば、システムを何らかの形で切断するとき、どう工夫しても損失する情報量 ( $\Phi$  と呼ばれる量) です。切断する時に損失する情報が大きいほど、そのシステムは強いつながりを持った統一体だということができます。

## 掲載論文

【題名】 Finding discontinuity and continuity in fish school via integrated information theory

【著者名】 Takayuki Niizato, Kotaro Sakamoto, Yoh-ichi Mototake, Hisashi Murakami, Takenori Tomaru, Tomohiro Hoshika, Toshiki Fukushima

【掲載誌】 PLOS ONE (DOI:10.1371/journal.pone.0229573)

問合わせ先

新里 高行(にいざと たかゆき)  
筑波大学 システム情報系 助教