

「群れ」はサイズに応じて異なる性質を持つ
～統合情報理論を用いて動物が群れをなす意味を探る～

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を用いて鮎の群れを分析することで、鮎の群れは群れのサイズに応じて異なる性質を持っていることを発見しました。
2. 鮎の群れは決して同じような程度の違うものではなく、内的に異なる因果構造を持つシステムであることが明らかになりました。
3. 本研究結果は、動物の群れは「群れることの意味」を柔軟に変化させることで、「いつから群れをなすのか」という問いを無効にしてい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^{※1}を適用し、鮎の群れは群れのサイズの変化に伴って、自身の内的な因果構造を質的に変化させていることを明らかにしました。

これまで、「群れ」に関する研究のほとんどは、群れの内部の情報伝達について大きな関心を払ってきました。しかしながら、どれくらいの個体数が集まれば「群れをなしている」と言えるか、また、ある個体数を超えると一気に群れとなるのか、それとも徐々に変わっていくため明確に決定することはできないのか、など、一つの自律的なシステムとしての群れが、質的にどのような性質を持っているかについてはあまり研究がなされてきませんでした。

本研究では、規模の小さい動物(鮎)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しました。その結果、鮎の群れは、それぞれのグループ(群れ)サイズに応じて、異なる内的な因果構造を持つシステムであることを明らかにしました。具体的には、個体数が2匹のとき、「追いか(chasing)」という目の前の個体を追いか、個体数が3匹のとき、「分裂-融合(fission-fusion)」という決まった方向性を持たない運動をします。さらに、個体数が4匹を超えると「リーダーシップ」を持った個体が現れ、個体数が5匹になって初めて、個体間相互作用が、群れとしてのまとまりを作る上で強い意味を持つようになります。

本研究で得られた結果が示唆することは、動物の群れは「群れることの意味」を柔軟に変化させることで、「いつから群れをなすのか」という問いの前提を無効にしているのではないかと、ということです。群れの意味は柔軟に変化するが故に、様々な多様性を内在させる一つのシステムのあり方なのです。本研究を応用することで、グループサイズに応じた様々なチームワークのあり方を明らかにすることができるかもしれません。

本研究の成果は、2020年6月30日付「Entropy」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の研究は近年盛んに行われています。しかし、一言に「動物の群れ」といっても、どれくらいの個体が集まれば「群れをなしている」と言うことができるのでしょうか。また、そもそも「群れている」とはどのような状態を指しているのでしょうか。これまでの研究の多くは、この問いをあまり重要視せず、十分大きな群れを用意すれば良いと、暗黙理に考えてきました。しかし、もし動物の群れがもつとずっと小規模な(2匹から10匹)群れの場合はどうでしょうか。このような小規模の群れを調べるには、そもそもその個体たちは群れているのか、と言う問いをもはや無視できません。そこで本研究では、「動物の群れはいつから始まるのか？」という問いに妥当性があるのかについて、統合情報理論を用いて検証することを試みました。

研究内容と成果

本研究では、この問題に対して、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)に適用することで、「群れる理由は柔軟に変化する」という仮説に到達しました。統合情報理論は、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。本研究グループはこれまでに、群れの一体性を「群れとしての統合度」として計算することで、3匹と4匹の魛の群れの間には質的なギャップが存在することを明らかにしています(Niizato and Sakamoto et al., 2020)。

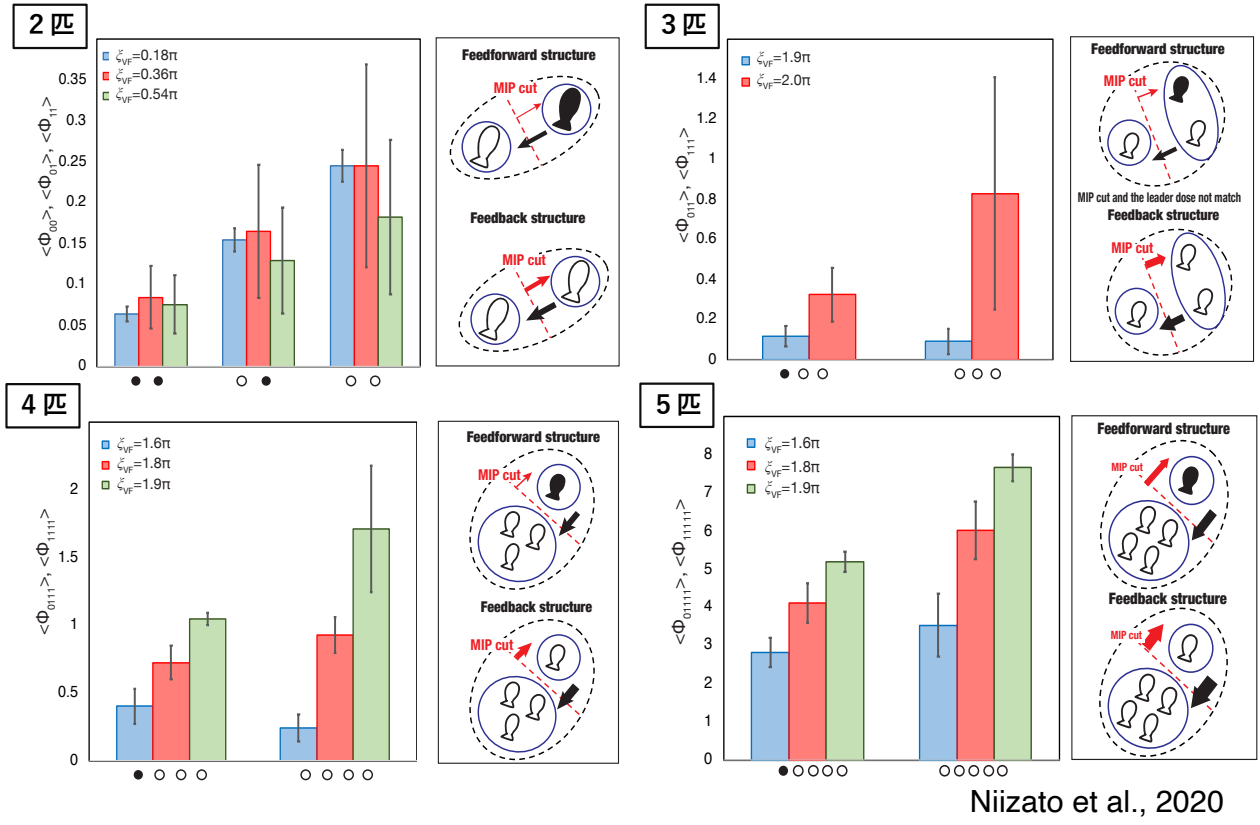
この結果をより深く分析したところ、魛の群れは個体サイズが変化するのに応じて、全く質の異なる自律的なシステムとして分類できることが明らかになりました。具体的には、個体数が2匹のとき、魛たちは「追いかけ(chasing)」と呼ばれる構造を作ります。これは、前方にいる個体を追いかけることで統合度を上げることを意味しています。個体数が3匹では、「分裂—融合(fission-fusion)」という因果構造を作ります。この構造を持つとき、魛たちは特に互いにくっついたり離れたりすることで統合度を上昇させます。個体数が4匹のときは、以前の研究で明らかにした通り、群れの中にリーダーシップと呼ばれる構造が現れます。そして、個体数が5匹になると、リーダーシップ構造に加えて、個体同士が作り出す相互作用の不均質性が強い統合度を作り出す要因となります(図1、図2)。我々はそれを「相互作用的(interactive)」と名付けました。

本研究結果は、「どれくらい集まれば群れをなしているのか？」という問いに対して、動物の群れはサイズを変更させるごとに「群れることの内的な意味」を柔軟に変化させているが故に、この問いは無効である、という解答を与えます。つまり、「群れの定義」を一義的に定めることができないため、「群れがいつから始まるか」という問いが、実は意味をなしていないということの意味するのです。

今後の展開

今回、「群れの統合度」を適切に用いることで、群れがサイズに応じてその内的な構造をダイナミックに変化させていることが明らかになりました。別の種の群れを調べれば、別の因果構造が見つかるかもしれません。その意味で、「群れをつくる」ということは決して一義的な出来事ではなく、多様な変化を本質的に内在したものであることを示唆しています。

参考図



局所的な相互作用から得られる統合情報量ΦとMIP-cut

図1: 魷の群れの内的な因果構造

(左図)局所的な相互作用を元に計算した魷の群れの内的な因果構造を示したもの。内的な因果構造は統合情報量Φと MIP cut^{注2)}によって定義される。左図の棒グラフは、ある視野(ξ)が与えられたときの、それぞれ群れの状態(○:ON, ●:OFF)に対応する統合情報量の大きさを意味する。

(右図)左図と MIP cut から得られる内的な因果構造。MIP-cut がおかれる場所は群れの状態に応じて異なる。

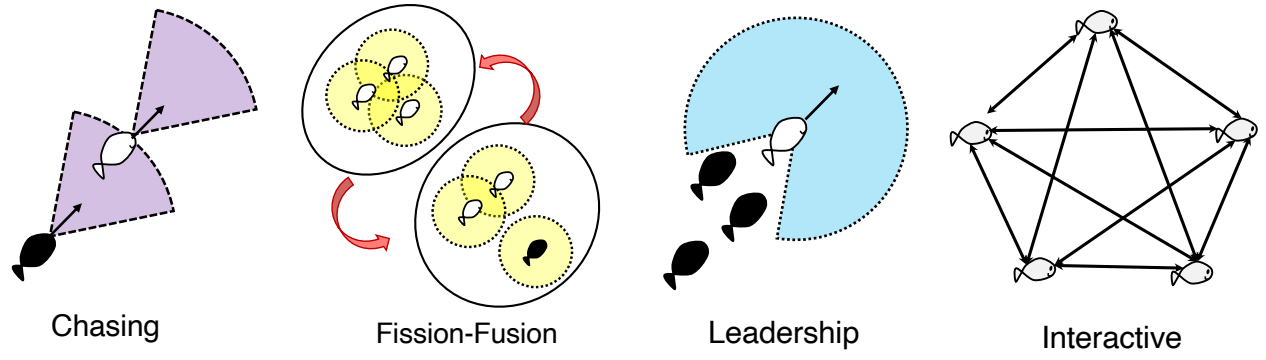


図 2: 異なるシステムとしての群れ

図1の分析などから得られるグループサイズ毎に与えられる異なるシステムとしての群れ。それぞれのグループサイズに応じて、4つの異なる自律的システムとして分類することが可能。

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、様々な脳と直接の関係を持たない分野にも応用されつつあります。

注2) 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。すなわち、システムを何らかの形で切断するときに、どう工夫しても損失する情報量(Φと呼ばれる量)です。例えば、切断する時に損失する情報が大きければ大きいほど、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】 Four-Types of IIT-induced Group Integrity of *Plecoglossus altivelis*

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

【掲載誌】 Entropy (DOI: 10.3390/e22070726)

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