

# 回転する巨大な魚群の形成メカニズム

## [1] 要旨

魚は向きの揃った群れや渦状の回転する群れなど、多様な集団パターンを示す。魚を自己駆動する粒子とみなした様々なモデルによって、集団パターンの再現が試みられてきた。今回提案された魚群のモデルでは、各個体が相互作用できる個体数を制限するトポロジカル相互作用、および回避行動による群れへの回帰を表現する自律的な引力相互作用が取り入れられた。このモデルによって、球状、トーラス状、およびリング状の巨大な回転魚群の形成メカニズムが解明されるとともに、群れのサイズと個体数の間にべき乗則が成り立つことが示された。

## [2] 本文

自然界ではバクテリアや昆虫、鳥など、多くの生物がさまざまな形の群れを作って運動する。中でも魚は、向きを揃えて一方向に進む群れに加えて、球状、トーラス状、リング状の回転する群れを形成する。個々の魚は特定の回転方向を持たないにもかかわらず、集団となった場合に群れとして回転する現象は、生物間の相互作用による自発的対称性の破れの一例と考えられ、多くのモデルが提案されてきた。それらの多くは、魚を極性を持つ自己駆動粒子とみなし、粒子間距離に依存する相互作用を仮定している。従来のモデルではトーラス状とリング状の回転魚群が再現された一方、群れのサイズの再現性には多くの課題が残されていた。たとえば個体数が大きいほど引力によって群れの直径が小さくなり、その結果数千匹の個体が同時に相互作用するなど、観測事実と整合しない側面が見られた。また回転のメカニズムについても、群れの大半の個体が直接相互作用することが必要とされていた。一方、自然界では  $10^4$  オーダーの魚が高密度の群れを形成し、群れの中では視覚や流れを介した長距離相互作用は遮蔽される。つまり、各個体は群れ全体の挙動を感知することなく、近くにいる少数の魚との情報交換のみによって、体長の数十倍以上に及ぶ巨大な魚群を形成するということができる。また、群れの密度が高いほど遮蔽距離が短くなることから、相互作用は一定距離以内の個体間ではなく、一定数の近接する個体間に制限されるとする考え方がある。このような相互作用はトポロジカル相互作用とよばれ、鳥（ムクドリ）の群れのモデルで初めて導入された。

東北大学大学院理学研究科の研究グループは、トポロジカル相互作用と魚類特有の回避行動を組み合わせた新しいモデルを提案し、巨大な回転魚群が形成されるメカニズムを解明した。回避行動は、群れへの回帰を促す自律的な引力相互作用として導入され、回転対称性の自発的破れを生むことが示された。多様な集団パターンの相図が得られるとともに、群れのサイズと個体数の間にべき乗則が成り立ち、既存の観測結果を再現することが示された。この成果は JPSJ の 2022 年 6 月号に掲載された。

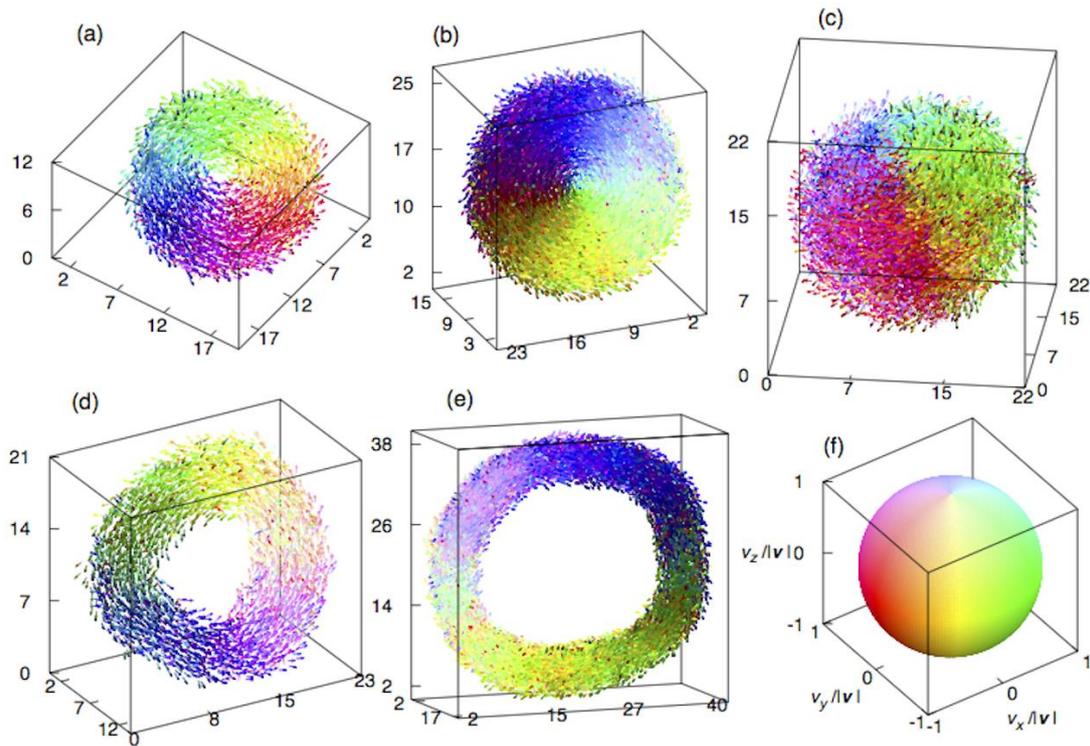


図1. (a), (b) トーラス状, (c) 球状, (d), (e) リング状の回転する群れ. (a), (d) は 3000 粒子, (b), (c), (e) は 10000 粒子の系. 矢印の長さは体長に対応し, 色は粒子の速度方向を色付け規則(f)に従い示す.

図1(a)-(e) は本研究のモデルを用いたシミュレーションの結果であり, 体長の数十倍のサイズのトーラス状, 球状, リング状の回転魚群を示す. (c) のような球状の魚群は自然界ではベイト・ボール (bait ball) として観察されるが, 理論モデルにおいては今回初めて得られたものである. さらに集団パターンの相図が示され, 各個体が相互作用できる個体数が小さいときのみ巨大回転魚群が形成されることが判明した. また, トーラス状魚群の大きさを表す射影面積と個体数の間に (個体数)  $\propto$  (射影面積) $^{\nu}$  という関係式が成り立つことが示された. 得られたべき指数  $\nu=1.283$  は, ニシンやサバの群れで観測されているべき指数 1.329 に近く, このモデルが一定の定量性を持つことを示す.

本研究は, 巨大な群れの形態が局所的な相互作用によって柔軟に変化する点を示した点や, 魚類特有の行動様式と群れの形態を結び付けた点で, 生物の集団運動の研究に新たな視点を提供するものと言える.

原論文 (2022年5月31日公開済)

[Emergence of a Giant Rotating Cluster of Fish in Three Dimensions by Local Interactions](#)

Susumu Ito and Nariya Uchida, *J. Phys. Soc. Jpn.* **91**, 064806 (2022).

<情報提供: 伊藤 将 (東北大学大学院理学研究科物理学専攻)  
内田 就也 (東北大学大学院理学研究科物理学専攻) >