

アクティブマターの非平衡物理学
Nonequilibrium physics of active matter

宮崎州正

Kunimasa Miyazaki

名古屋大学物理

Department of Physics, Nagoya University

秋の夕暮れ時にムクドリが大群をなして飛ぶ姿を見たことがある。何千羽もの鳥の群れが雲のように形を変えながら目まぐるしく動く姿に、感動を超えて恐怖を感じたことを覚えている。ムクドリに限らず、動物や微生物の大群はしばしば、我々の想像を絶する不思議な協同運動をする。イワシ、バクテリア、アリ、さらには細胞の集団は典型的な例であろう。この協同運動の原因は、少数のリーダーの優れた統率でも、群れを構成する個体の高い知能でもなく、個性のない個体が従うごく簡単な運動ルールだけである。個性のない構成要素が膨大な数集まって創発する巨視的現象。これはまさに統計力学の恰好の研究対象だ。原子や電子と決定的に違うのは、ムクドリの運動はニュートン方程式に従わない点である。

この数十年、生物集団の運動が、統計力学の分野で盛んに研究されている。物理学者の常で、鳥を鳥のまま扱うことはなく、簡単な運動ルールに従う質点や球でモデル化し、普遍性の抽出を指向する研究が圧倒的に多い。さすがにこのモデルを生物と呼ぶのには憚りがあるのだろう。我々はこのモデルを「アクティブマター」と称している。ニュートン方程式に従わないから、アクティブマターは必然的に非平衡系である。従来の非平衡物理の研究では、速度勾配や強い外力を印可するなど、系の境界条件で制御された系を扱うことが多かったが、この方法で局所平衡の仮定を破るような面白い現象が観測されることはまれである。一方、アクティブマターでは、構成要素のレベル、ミクロのスケールで強い非平衡系となっているため、巨視的な創発現象も実に豊かである。我々のグループでは、アクティブマターの「揺らぎ」に注目した理論研究を行っている。特にブラウン運動の基礎方程式であるランジュバン方程式やフォッカープランク方程式を拡張したごく簡単なモデルを扱い、そこから普遍性を探ることに興味がある。揺らぎは統計力学の最重要

概念であり、エントロピー第二法則も揺らぎ無しには説明できない。アクティブマターにおいても事情は同じである。アクティブマターは詳細つり合いの原理や揺動散逸定理を破る。その結果、巨視的物量の示量性や示強性など熱力学の大前提も破壊してしまう。線形応答理論の基礎をなす時間反転対称性を満たさないためにオンサーガーの相反定理も破れてしまう。定常状態でも角運動量が有限になりボーアの定理を破ることもある。引力相互作用もないのに相分離したり、二次元なのに相転移が起こることもある。アクティブマターは、物理学の非常識の間屋であり、統計力学研究の沃野なのだ。本講演では、アクティブマター物理学の紹介と最近の研究の流れを俯瞰したあとで、我々の最近の研究成果である、アクティブマター系における揺らぎの消失現象（これをhyperuniformityと呼んでいる）、アクティブマターのガラス転移（アクティブガラス）についてお話したい。