

アクティブソフトマターとしての自走コロイド粒子

(東京大学大学院理学系研究科) 佐野 雅己

【はじめに】

ソフトマターを非平衡条件下に置くと、その柔軟さのゆえに大きな応答や輸送現象を示す。非平衡状態の中でも特に、一様等方な外場という条件の下で、対称性を破った運動や変形を持続的に起こすような物質をアクティブマターあるいはアクティブソフトマターと呼ぶことにしよう。アクティブマターの研究は、非平衡統計力学やソフトマター物理の中から生まれた最近の研究動向の一つにすぎないが、その現代的な意義を明確にすることは重要と考える。ここでは、アクティブマターの非平衡科学における意義について述べた後、その最も簡単な例と考えられる自走コロイド粒子を取り上げ、その運動や相互作用、集団運動、さらには生体運動との関連について説明する。

【研究背景と最近の実験】

アクティブマターの例としては、非平衡効果を利用して自ら動き回る自己駆動粒子や、化学エネルギーを力学的仕事に変えて運動する分子モーター、またそれら構成要素の複合体である細胞運動などが考えられる。物体が粘性や摩擦などの散逸がある中で動き続けるためには、外部からのエネルギー供給が避けられない。保存力による相互作用に起因する散逸を伴わない運動や、散逸が伴う運動でも原因と結果の対称性が同じである運動は、パッシブな運動と呼んでアクティブな運動と区別する。キュリーの原理は、原因の対称性が結果にも表れることを要求するので、一様な外場や反応物質の濃度場などのスカラー量からはベクトル的な運動は生じないはずである。したがって、物体の変形や運動が持続的に起こるとすれば、一様な外場や反応物質濃度場から、対称性を破って特定の運動や変形モードへのエネルギー移動が起こり、かつそれが持続するためには必然的に散逸を伴う。キュリーの原理を破る簡単な方法としては、物体自体の対称性を破るか、膜やフィラメントなどの非等方な境界条件の利用などが考えられる。前者の例として、粒子に非対称性を導入した Janus 粒子がある。また、後者の例としては分子モーターなどがある。また、応答の非線形性を利用して力と流れの対称性を変換することも可能である。そのような例としては、系の不安定性による自発的対称性の破れを用いて、自発運動モードへのエネルギー移動を行う機構が考えられる。ここでは、簡単な例として非対称性を導入した Janus 粒子を考えるが、Janus 粒子の集団を考えると、まず自己集合などの平衡構造によって集団を形成し、さらに不安定性による非平衡構造によって集団運動モードを形成する現象が観察される。このようにアクティブマターを、平衡構造と非平衡構造（散逸構造）の協調現象と捉え、自走運動をゆらぎやモードの選択による対称性の変換と散逸の増大と捉えることで多くのことが見えてくる。

【参考文献】

- (1) Shimoyama, Hayakawa, Sugawara, Mizuguchi, Sano, PRL, 76, 3870-3873 (1996)
- (2) H.R. Jiang, N. Yoshinaga, M. Sano, PRL, 105, 268302 (2010).
- (3) Y. T. Maeda, J. Inose, M.Y. Matsuo, S. Iwaya, M. Sano, PLoS ONE 3 (11), e3734 (2008)
- (4) T. Hiraiwa, M. Y. Matsuo, T. Ohkuma, T. Ohta, and M. Sano, EPL, Vol. 91, 20001 (2010).