

非平衡ソフトマターの構造形成とダイナミクス

豊田理化学研究所 客員フェロー 太田 隆夫

目的

ソフトマターは高分子、液晶、コロイドなどを含み、私たちの生活と密接に関係している。その熱平衡状態の性質はかなり理解が進んでいるが、非平衡状態での構造とダイナミクスについてはさらに開拓すべき多くの課題がある。化学エネルギーを自律的に力学エネルギーに変換して運動を行う、いわゆる、アクティブソフトマターのダイナミクスに対する理論的研究を行い、異なるダイナミクス間の転移と集団運動の発現機構を解明する。

方法

アクティブソフトマターに対して私たちが数年前に提唱した「変形可能な自己推進粒子」に基づき、その個別、および、集団ダイナミクスの研究を行う。個別運動では「這う」と「泳ぐ」ではダイナミクスが異なることを正しく考慮した理論を構築する。

重心の並進、重心周りでの回転と変形の自由度が非線形的にカップルするため、あたかも、生体細胞のような運動が可能である。このダイナミクスの理論的研究を遂行する。

集団運動では以下の研究を計画している。各粒子がバラバラに運動している無秩序状態から粒子集団がコヒーレントな運動を行う状態の転移点近傍では、一様な秩序状態は不安定で、秩序状態の領域が狭いバンドとなって伝搬することが知られている。私たちは、さらに、伝搬するバンドは衝突によって壊れず、可積分系のソリトンのように個性を保存することを見いだしている。この現象を数値的、かつ、解析的に研究し、散逸系におけるソリトンのダイナミクスの起源を解明する。最近、桑山氏（筑波大学）らは細胞性粘菌突然変異株では、飢餓状態でバンド状の波が発生し衝突によって壊れないことを発見している。この実験と私たちの理論との比較検討も行う。

ソフトマター研究では数年来行ってきた、2成分高分子混合系の相分離における電場と剪断流によるドメインの変形ダイナミクスとそれに起因するレオロジー挙動の理論的研究も進める。

期待される成果

これまでの自己推進粒子の研究では、並進運動のみに着目するのがほとんどであった。私たちは自己駆動には並進の他に自転も重要であることを強調して理論研究を行ってきた。実験的には生体細胞、油滴、複合Janus粒子での自転運動の研究がある。私たちが計画している変形、自転、並進の結合ダイナミクスの研究は、単一自己推進粒子の新しい運動形態の予言を目指しており、広範なアクティブマターの理解に寄与することが期待できる。さらに、揺らぐ生体細胞の運動や外力に対する応答の研究を行うことにより、非線形ダイナミクスのみならず非平衡統計力学の進展を計る。

相互作用する柔らかな自己推進粒子集団におけるトラベリングバンドのソリトンの振る舞いは内外においてこれまで理論的に報告されていない。関係していると思われる実験的研究が、ごく最近、桑山らによって報告されており、その関係を明確化するのは重要な課題である。

自己推進粒子系に限らず、非線形散逸系における波のソリトンの振る舞い自体が、これまでほとんど観測されていない。私たちのモデルにおけるトラベリングバンドのソリトンの振る舞いのメカニズムを解明することにより、非線形ダイナミクスの新しい展開が始まる可能性がある。