

氏名	小谷野 由紀
学位（専攻分野）	博士（理学）
学位記番号	千大院理博甲第理122号
学位記授与の日付	平成30年3月31日
学位記授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Self-propelled Motion and Collective Effect of Active Elements in Nonequilibrium Systems (非平衡系における活性素子の自己駆動運動および協同現象)
論文審査委員	(主査) 教授 音 賢一 (副査) 教授 中山 隆史 教授 倉澤 治樹 准教授 北畑 裕之 (外部審査委員) 東京大学大学院理学系研究科客員共同研究員 太田 隆夫

論文内容の要旨

生物に代表される自発運動は、秩序だった運動様相を見せる非平衡系であり、近年ではアクティブマターと呼ばれ、非平衡物理の一分野へと成長を遂げつつあるテーマである。アクティブマターは単一粒子の運動だけでなく、その集団の空間パターンや運動性にも強く興味を持たれている。一方、単体では運動性がないアクティブな素子も集団化すると方向性のある移流を引き起こし、パターン形成を行うことがある。本学位論文では、単一粒子のアクティブマターの運動と、アクティブな素子集団が協同的にもたらす拡散・移流現象の二つについて、具体的な系を用いた研究成果を示す。

前半では、自発運動を示す系として知られる、水面上での樟脳粒の運動について報告する。特に、系の対称性と実現される運動の関係に着目する。系が反転対称性や回転対称性を持つとき、抵抗係数などのパラメータを変えていくと樟脳粒は運動状態から静止状態へ転移する。この運動様相の変化は分岐現象と考えられ、実際に数理モデルを縮約することで分岐構造を調べた。

後半では、活性タンパク質集団が引き起こす生体内での拡散・移流現象について報告する。ここで活性タンパク質とはエネルギーを消費しながら自発的に形態変化する生体内タンパク質を指す。活性タンパク質の形態変化に伴って周囲の細胞質や細胞膜を掻き乱す現象を、流体に浸かったフォースダイポールによって引き起こされる流体効果としたモデルを用い、解析を行った。特に、活性タンパク質が局在化した構造によってもたらされる空間依存性のある拡散・移流現象について詳しく述べる。

論文審査の結果の要旨

近年、非平衡系の物理学の対象として、エネルギーを消費しつつ運動性を獲得するアクティブな系が興味を持たれている。特にそのようなアクティブな系の集団が協同的な時間発展を示す系はアクティブマターと呼ばれ、ここ十年程度にわたって盛んに研究が行われてきている。小谷野氏はそのようなアクティブな素子の自己駆動運動に関して、界面活性のある物質を水面に浮かべた際に自己駆動する系をベースとして数理モデルを構築し、対称性を考慮して解析を進めた。その結果、粘性などの物理的なパラメータが変化することで運動の様相がある閾値を境に質的に変化する分岐現象を見出した。また分岐現象によってどのような運動モードが現れるのかを系の対称性をもとに理論的に解析し、明らかにした。次に、そのようなアクティブな素子の集団が生み出す流体力学的効果について考察し、理論的に協同性によって受動的な粒子の集積が起こりうることを示した。これらの小谷野氏の研究は、具体的な実験系をもとに提案された数理モデルに対して理論的アプローチを行い、アクティブな単体の素子、およびその集団系の解析に対称性を考慮した少自由度系への縮約が有効であることを示す重要な結果である。また、取り上げた数理モデルはシンプルな仮定をもとに考案されたものであるため、他の系にも同様の理論的アプローチを適用することが可能である。このように小谷野氏の研究内容は非平衡条件下のアクティブ系の解析手法を提案するものであり、非平衡系のアクティブマターの解析を進めるうえで重要な知見を与えるものである。

1月18日に本論文に関して剽窃チェックを行い、問題がないことを確認した。

以上述べたように、審査委員会は本論文が博士（理学）の学位に値するものと判断した。