

(論文内容の要旨)

本学位論文は、化学マランゴニ効果によるアルコール液滴の運動に関する研究を主題としており、7章からなっている。第1章では研究の動機ならびに本論文の概要について述べている。第2章では本論文の内容に関する過去の研究についての紹介を行っている。第3章では液滴の大きさの変化によるアルコール液滴の自発的運動のモード変化についての研究について報告している。第4章では、水面上に固定されたアルコール相が起こす自発的変形に関する研究の報告を行っている。第5章では、温度変化によるアルコール液滴の運動モード変化に関する研究の報告を行っている。第6章では、アルコール液滴の起こす不規則運動に関する研究について報告している。最後に第7章では全体の総括を行い、今後の展望を述べている。以下、各章の要旨を述べる。

第1章は2つの小節からなり、研究の動機と本論文の概要についてそれぞれ述べている。研究の動機の要旨は以下のようなものである。生物の運動は非平衡開放系で起こる運動である。アメーバの運動など生物の運動において形状と運動が密接に関係している。生物の運動の理解には生物の形状変化と運動のカップリングを明らかにしなければならないが、そのつながりを理解するために生物を用いて研究すると、系が非常に複雑であり解析が困難である。非平衡開放系においては平衡熱力学のような普遍的理論体系は構築されてはいないものの、非平衡開放系においても普遍的な性質があると期待される。そこで、境界の形状と運動がカップルした簡単なモデル系を用いて研究することによって、生物の運動理解に繋がると考えられる。本論文では非平衡開放系において形状変化と運動が同時に起こる系として、アルコール・水二成分の相分離系を選んだ。

第2章は2つの小節からなり、本論文の内容に関した過去の研究および基礎的な知見の紹介を行っている。それぞれの小節では表面張力に関する内容と非平衡開放系でのパターン形成に関する内容を述べている。表面張力に関する小節では、まず表面張力の定義について述べ、非平衡現象である「マランゴニ効果」について述べている。次にマランゴニ効果による物質の運動について述べている。非平衡開放系におけるパターン形成に関する小節では、散逸構造の一種であるターゲットパターン、スパイラルパターン、チューリングパターンなどについて述べている。

第3章～第6章は5つの小節からなり、それぞれの小節では、研究の目的、実験方法、結果、理論的考察、章の概要が述べられている。第3章ではアルコール液滴の大きさに応じた液滴の運動モード変化に関する研究について報告している。ペンタノール液滴を水面上に浮かべると自発的に運動する。この運動は液滴の大きさを大きくするにつれ、不規則運動・直進運動・分裂と運動モードが変化する。この運動モード変化はペンタノール・水・空気三重線の不安定化が特定波数以下で起こるために起こる。不安定化する波数を計算し、そのペンタノールの蒸発や溶け込みに対する依存性が実験と一致することを確認した。

第4章は第3章で述べた運動モード変化のメカニズムを明らかにするために、ペンタノール相を水面上に固定したときの自発的変形について報告している。ペンタノールを水相に固定したとき、三重線が自発的に変形し、特定波数以下の構造のみが現れる。三重線上には進行波が発生している。フェーズフィールドモデルを基にしたペンタノールの運動に関するモデルを構築し、これらの変形を再現した。

(論文内容の要旨)

第5章では温度を変化させたときの液滴の運動モード変化について報告している。水相の温度を上げると、液滴の運動モードが変化する体積が大きくなる。水相の物性値の温度依存性を調べ、第3章で得られたモード変化の臨界波数にそれらの数値を当てはめることにより、温度が高くなるとモード変化の体積が大きくなることを示した。

第6章では液滴が起こす不規則運動について議論している。ペンタノール液滴の体積が小さいとき、液滴は不規則運動を起こす。この運動を解析すると、短時間では直線的では長時間的に見るとブラウン動的に動いていることが分かった。長山博士の構築したマランゴニ効果による物質の運動に関するモデルを用いてこの運動を再現した。

最後に第7章は2つの小節からなり、それぞれの小節で全体の総括とこれからの展望について述べている。総括として、本論文の成果は、今後非平衡条件下での界面不安定現象一般の理解に繋がる可能性のある発展性の高いものであるとしている。さらにこの研究を行うに際して起こってきた問題点、及び今後掘り下げていくべき研究課題に関して論じている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文では化学マランゴニ効果によるアルコール液滴の自発的運動に焦点を当てて追求している。さらにその結果に基づきパターン形成と運動のカップリングについて論じている。アメーバなどの生物の運動を考えると、体の変形と運動が密接に関係している。例えば魚の表皮細胞であるケラトサイトは細胞核がなくても外部刺激によって変形させることにより動き続ける。生物の運動を理解する上で境界の形状の変化と運動のカップリングを明らかにすることは重要であるが、生物を直接扱うと系が非常に複雑であり解析が困難であり、因果関係が不明となることが多い。そこで生物の運動を非平衡開放系における自発的運動ととらえ、単純なモデル系を用いて、形状変化と運動のカップリングを調べることによって生物の運動の理解に繋がると期待される。このように非平衡開放系の運動での境界の形状変化と運動のカップリングを調べた本研究は学問的な意義が大きいと考えられる。

本論文の第3章において、アルコール液滴の大きさ変化による運動モード変化について述べている。また、第4章で水面上に固定されたアルコール相がどのような変形を起こすかを述べている。これらの結果から、アルコール・水・空気三重線上に自発的に生じる構造と液滴の運動がカップルすることによって運動モード変化が起こることを実験的に明らかにし、理論的解析を行った。ここから得られた知見は、生物中におけるパターン形成と運動のカップリングを考える上で大きな意義がある。また、反応拡散系を用いて系をモデル化し、運動を再現した。このモデルを拡張することによって、反応拡散系をもとにした生物運動のモデルの構築に繋がると考えられる。反応拡散系は数学的に古くから研究されてきた系であるため様々な解析方法が確立されており、構築されたモデルによって生物運動の理解が進むものと期待される。

第5章において、温度変化による運動モード変化について述べている。運動の制御という観点から見ると、外部環境の変化に対する運動モード変化に関する情報は重要である。ここから得られた知見は生物の運動制御に対して重要な示唆を与えるものとなっていると考えられる。

第6章において、アルコール液滴の不規則運動について考察している。不規則運動を調べることによって液滴が運動中にどのようなノイズを受けているのかの情報が得られる。液滴の運動から生物の運動を考察する上で、液滴の運動と生物運動で異なる部分を明らかにしておくかなければならない。運動中に受けるノイズを明らかにしておくことで、液滴運動の研究から得られた知見を生物運動に適用するに当たって、どのような修正を加えればいいのか分かる。この章の研究は互いに異なる系である液滴運動と生物運動の研究を架橋し、新しい総合的な知見を与えるものと期待される。

以上より総合的に判断し、本学位論文は高い独創性を持つ優れたものとなっており、学位取得に値するものであると言える。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、物理学に関する学識は優れたものがあると判定した。以上のことより、博士（理学）の学位論文として十分学問的価値を有すると判断し、合格と認めた。