

氏 名	きた はた ひろ ゆき 北 畑 裕 之
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	論 理 博 第 1466 号
学位授与の日付	平 成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Spatio-temporal pattern formation in reaction-diffusion systems coupled with convection and geometrical effect (対流および幾何学的影響を受けた反応拡散系における時空間パターン形成)
論文調査委員	(主 査) 教 授 吉 川 研 一 教 授 小 貫 明 教 授 太 田 隆 夫

論 文 内 容 の 要 旨

本学位論文は4部10章からなっており、反応拡散系と対流現象の結合、ならびに境界の効果についての研究を主題としている。第1部では研究の動機ならびに本分野における過去の研究についての紹介を行っている。第2部では主に反応拡散系と対流現象の結合についての研究の結果を報告している。第3部では反応拡散系での時空間自己組織化における境界の影響に関する研究の報告を行っている。最後に第4部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部は第1章、第2章よりなり、第1部では研究の動機について述べている。反応拡散系は非平衡開放系を記述するモデルとして広く用いられてきたが、固定された場であることが前提となってきた。しかしながらほとんど全ての現実の系では、対流の効果や境界の効果を考慮に入れる必要があり、とくに空間スケールの減少とともにこのような効果が重要になることが予想される。第2章は過去の研究、基礎的な知見についてであり、反応拡散系、Marangoni効果、表面張力、Belousov-Zhabotinsky (BZ) 反応の実験・モデル化に関する学問の到達点を概説している。

第2部は第3章から第6章よりなる。第3章では、BZ反応の化学振動反応に伴って界面張力が振動し、その結果、対流が発生する現象を実験的に観察し、反応拡散移流方程式を基にして数値計算を行った結果を示している。第4章では、BZ反応の微小液滴の油相上での自発的運動についての実験結果ならびにそのメカニズムについて液滴内の対流を考慮して議論している。また、その際、液滴サイズの減少が運動を生み出す要因となっていると結論づけている。第3・4章の内容は *Journal of Chemical Physics* 誌、*Progress in Theoretical Physics Supplement* 誌で公表されている。第5章では、水面で表面張力差により駆動される樟脳粒の運動について紹介し、次に樟脳膜の展開により発生する対流についての実験的、理論的解析、そして、対流により自発運動が制御される現象に関して説明している。本章の内容は、*Physical Chemistry Chemical Physics* 誌において公表されている。最後に第6章では、フェナントロリン粒が水溶液と反応しつつ表面張力差によって駆動される系、水・アルコールの二相分離系においてアルコール液滴が界面張力差に駆動されて自発的に運動する系、そして、界面活性剤水溶液中、ガラス基板上で油滴が自発的に運動する系など、界面張力差に駆動されて液滴が自発的に運動する系についての実験結果の紹介、および議論、数値計算の結果が報告されている。本章の内容は、*Physica D* 誌において公表されている。

第3部は第7章から第9章よりなる。第7章では、内径がだんだんと細くなっていくガラスキャピラリー中でのBZ反応の挙動についての実験結果について報告されている。化学波はある内径になると進行が徐々に遅くなり、停止、消滅する。その挙動に関して、化学種の濃度が境界の影響を受けると仮定して議論し、実験結果と比較考察している。本章の内容は *Journal of Physical Chemistry B* 誌で公表されている。第8章では、同じく徐々に細くなっていく反応場を光感受性BZ反応を用いることで、光照射により実現している。この場合も細い領域で化学波が消えるが、光強度によっては、2つおきに波が消滅するなど特異的な現象が観察された。そのメカニズムについても簡単なモデルを仮定して議論している。第9章では、リング状の反応場を伝播する化学波の形状について議論し、更には、そのリング状の反応場を二つ結合させた場での

化学波の挙動についての実験結果，ならびに数値計算，理論的解析の結果を報告している。本章の内容は *Journal of Physical Chemistry A* 誌において公表されている。

第4部は第10章よりなり，全体の総括とこれからの展望について述べている。今後考えられる実験，この研究を行うに際して起こってきた問題点，そして，今後取り組むべき課題に関して述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は対流現象や境界条件と結合した反応拡散系について実験的・理論的な研究を扱っている。これまで反応拡散系に関しては，実験的，理論的にさまざまな研究が行われてきたが，そのほとんどにおいては，場自体が固定され，そのサイズが無限に大きいと仮定されてきた。有限のサイズの場合，場そのものが運動する系に関する実験，理論的解析はほとんど行われてこなかった。しかしながら，現実の非平衡開放系におけるパターン形成現象を考えると，むしろ純粋な反応拡散系のみで記述できるものは少なく，反応拡散系によって発生するパターンが流れや運動を引き起こし，また逆に流れや運動がパターンに影響している系も多い。また，有限のサイズを持つ系では境界が重要な役割を果たしており，むしろ生命現象などに至っては境界の効果はきわめて大きな影響を及ぼす。このように現実の系に即して，反応拡散系と対流現象，境界の効果との結合を考えた本論文は学問的な意義が大きいと考えられる。以下にその具体的な意義を述べる。

本論文の第一部においては対流現象と反応拡散系との結合について述べている。過去に界面張力変化による対流の発生については Marangoni 効果と呼ばれ広く研究されていたが，本論文では Marangoni 効果を介した反応拡散系によるパターンと対流現象との結合に関する研究が報告されている。その中で，パターンのスケールと対流のスケールが同程度になる時に二つの現象がカップルして興味深い現象が見られるとしている。このように系のスケールを考慮しつつ実験系をデザインし，反応拡散系と対流の発生が結合する系を実現した。また，この対流との結合を利用することにより自発的運動を生み出す系をデザインしたことも大きな成果の一つであると言える。このような研究は今後，化学エネルギーから運動を生み出す生物の分子機械のモデル実験系としても利用できる可能性があり，大きな意義がある。

第二部においては，反応拡散系と境界の結合に関する研究の結果について述べている。その中で，反応拡散系によるパターンの特徴的なスケールと着目する系のスケールを比較して，いくつかの場合に分類し系統的に論じている。これまでに，反応拡散系のサイズを小さくしてその影響を見ろという研究は多少なされているが，システムのスケールと反応拡散系に特徴的なスケールとの比較という立場で全体をまとめるような研究はなされていない。本論文では，実験的にはその中のある特殊な場合についてのみ実験系が実現されているが，他のスケールにおける実験系の構築も期待される。また，システムサイズを変化させた時に実験的に観察された化学波の消滅という現象は，生体内の神経の伝播においても実際に起こりうることであり，このような化学波の伝播の特異性は生理学の面でも重要な研究課題である。

以上に述べた点から総合的に判断し，本学位申請論文は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。また物理学をはじめとする基礎的学問に関する学識は優れたものと判定した。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。