

氏 名	しま 島 伸 一 郎
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2858 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学位論文題目	実効的に非局所的な空間相互作用を持つ反応拡散系における回転らせん波

論文調査委員 (主 査) 助教授 篠 本 滋 教 授 小 貫 明 助教授 早 川 尚 男

論 文 内 容 の 要 旨

幾つかの成分が拡散しないと言う特徴を持ち、実効的に非局所的な空間相互作用を持つ自励振動子系と等価な、あるクラスの反応拡散系について考える。この系を非局所結合振動子系と呼ぶ事にする。

この系において、回転らせん波と呼ばれる動的パターンの構造を理論的に調べた。その結果、回転中心付近において、振動子がバラバラに個別運動する領域が存在し、空間の不連続性を伴う回転らせん波が形成され得る事が分かった。このらせん波を「キメラらせん波」と呼ぶ。具体的な系として、非局所結合 FitzHugh-南雲系を導入する。この系において、キメラらせん波の生成を数値計算により確認した。この様な奇妙な現象が起こるのは、振動子間の相互作用が非局所的に働く事に由来する。結合強度が小さい程、相互作用の非局所性は顕著になり、ある臨界強度以下でコアの異常が発生する。この臨界値を簡単な仮定の下に導出した。次に、最も基本的な非局所結合振動子系である、非局所結合 complex Ginzburg-Landau モデルにおいてもキメラらせん波が生成される事を確認した。これにより、現象がこのクラスの反応拡散系において普遍的な構造である事が示唆された。

次に、弱結合の極限を考える事で、ダイナミクスを位相縮約し、より詳細な理論的、数値的解析を行った。コア付近における振動子の個別運動の寄与が統計的に相殺された結果、平均場の運動は定常回転と言う仮定の下、我々はこの時間と空間に依存する平均場と言う量に対する自己無撞着方程式を導出した。その解とそれより予言される個別振動子の振動数分布は、数値シミュレーションの結果と大変良く一致した。

更に、相互作用の非局所性に起因する、別のタイプの奇妙な回転らせん波の存在を報告する。キメラらせん波の空間の不連続性は2次元的な領域として現れたが、別のパラメタ領域では、中心付近において1次元的な、切れ込み状の不連続構造を伴う回転らせん波も存在し得る事が分かった。これを「切れ込みらせん波」と呼ぶ。非局所結合 FitzHugh-南雲系、非局所結合 complex Ginzburg-Landau 系、非局所結合位相振動子系のそれぞれの系において、数値計算により切れ込みらせん波が生成される事を確認し、現象がこのクラスの反応拡散系において普遍的な構造である事を示唆した。また、切れ込みの構造を数値的に調べ、現象の詳細を明らかにした。更に、パラメタに依存してキメラらせん波と切れ込みらせん波の間の安定性が転移する様子を、非局所結合位相振動子モデルにおいて数値的に調べた。その結果、履歴現象が存在する事が明らかになった。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

申請論文は、実効的に非局所的な空間相互作用を持つ反応拡散系において、新しいタイプの回転らせん波が生成され得る事を理論的に明らかにするものである。

相互作用の非局所性に起因して、回転中心付近において、振動子がバラバラに個別運動する領域が存在し、空間の不連続性を伴う回転らせん波が形成され得る事を明らかにした。このらせん波は「キメラらせん波」と呼ばれる。また、別のタイ

プの奇妙な回転らせん波の存在も報告している。キメラらせん波の空間の不連続性は2次元的な領域として現れたが、別のパラメタ領域では、中心付近において1次元的な、切れ込み状の不連続構造を伴う回転らせん波も存在し得る事が明らかにされた。このらせん波は「切れ込みらせん波」と呼ばれる。この様に、空間の不連続性を伴う動的パターンが形成され得る事は、これまでに報告の無い新しい現象であり、学術的にも大変興味深い。これらとは別の種類の空間不連続性を伴うパターンが形成される可能性を示唆し、分野に新しい可能性を与える研究成果である。

また、弱結合の極限を考える事で、キメラらせん波のダイナミクスに対し、位相記述が有効である事を示している。これはキメラらせん波が、その空間不連続性と関連し、位相特異点を持たないと言う事情に由来する。これは位相特異点を必ず伴う既存の回転らせん波には無い特徴であり、興味深い。

論文内容は純粋に理論的な研究であるが、実際の系への適用の可能性は高く、今後の実験的な報告が期待される。また、論文の構成は全般に大変に丁寧で分かりやすく、論理的であり、示唆に富む。理論の展開も美しい。

論文内容とそれに関連した口述試問をおこなったが、その発表では既存の研究の紹介に始まり、自分の研究の位置づけを明らかにしつつ、研究の論点を整理してその成果が報告された。話の展開は明朗であり、聴衆に研究の全容を明らかにし、その重要性を納得させる物である。また、様々な質問が挙げられたが、全てに對し的確な返答がされた。論文調査委員会は、申請論文が学位に値すると判断し、論文を合格と認めた。