

氏 名	さ 佐 さ 々 しん いち 真 一
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 1300 号
学位授与の日付	平 成 3 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 一 専 攻
学位論文題目	Defect Chaos in Electro-Hydrodynamic Convection of Nematic Liquid Crystals (液晶対流系における欠陥カオス)
論文調査委員	(主 査) 教 授 蔵 本 由 紀 教 授 恒 藤 敏 彦 教 授 福 留 秀 雄

論 文 内 容 の 要 旨

本申請論文は、液晶対流系における欠陥カオス現象に対して微分方程式モデルを提案するとともに、その理論的並びに数値的解析を行ったものである。

ネマティック液晶に、そのディレクター方向に垂直な交流電場をかけると、電磁流体的対流が生じることが知られており、非平衡開放系におけるパターン形成やカオス・乱流等を研究するための模範的現象として近年大きな関心を集めている。系は準2次元的な場であり、外場の強さ V とその振動数 ω を独立に変化させることによって、さまざまなパターンが現れ、また多様な運動を示す。申請者は、特に、ロール構造と呼ばれる縞状の定常対流パターンが V の増加とともに不安定化し、パターンの自発的乱れが発生する状況に焦点を当てた。アスペクト比の大きい液晶を用いた実験によれば、発生当初の弱い乱れはトポロジカルな欠陥の自発的生成・消滅と欠陥の複雑な運動によって特徴づけられる。このような現象を説明する理論は存在しなかったが、申請者は種々の物理的考察を行うことによって独自のモデルを導き出し、それを解析した結果、上記のような実験事実を見事に再現する結果を得た。

液晶対流系のダイナミクスを記述するきわめて複雑な基礎方程式は、ロール構造の発生時点においては大幅に縮約され、小振幅方程式と呼ばれる比較的単純な非線形偏微分方程式に帰着することが知られている。しかし、この方程式は運動ポテンシャルを持つので、系は最終的にはポテンシャル極小点に対応する定常パターンに落ち着くことになり、上記のような複雑な挙動を説明できない。申請者は、小振幅方程式では考慮されていないが目下の現象にとっては本質的に重要と思われるいくつかの効果を取り入れた。また、系が持つべき対称性の要求や非圧縮性条件等によって、補正項の具体的な形が決定された。

申請者は、このようにして得られたモデル方程式の解を、解析的手段と計算機シミュレーションの両面から調べた。方程式は常に定常なロール解を持つことから、まずその線形安定性が解析的に調べられ、実験から得られている安定性ダイアグラムを良く再現することがわかった。実験においては、欠陥カオスはロールパターンのジグザグ不安定性を通じて現れるので、以後の解析はその点に集中して行われた。申請

者は、いわゆる位相ダイナミクス法を用いて、ジグザグ不安定点近傍においてモデル方程式を更に縮約し、非線形の位相方程式を導いた。この方程式は、位相のひずみが増大して欠陥が生成される前段階までの系の発展を正しく記述するものである。欠陥の生成とその運動を記述するための縮約法は未だ存在せず、申請者は計算機シミュレーションによってこれを詳細に調べた。その結果、実験で見られるような欠陥の特徴的な運動が得られるとともに、欠陥の総数の時間変化がべき則に従う振動数スペクトルを持つことを見いだしている。

論文審査の結果の要旨

液晶対流系は、通常流体の熱対流系と比較した場合、空間的広がり大きい系を容易に実現できること、連続的に変化させることができる二つのパラメータを持つために多様なパターンを出現させること、等においてすぐれており、実験的にも理論的にも近年急速に関心を集めている系である。特に、規則的な時間・空間構造を持つパターンが、制御パラメータの変化とともにその安定性を失い、カオス状態に至る機構を明らかにすることは焦眉の課題である。少数自由度力学系のカオス発生に関する研究においては、近年めざましい進歩があったが、空間的に広がった大自由度系における対応する問題は、その本質的な部分が今後の研究にゆだねられている。広がった系における弱いカオス状態を特徴づけるものとして、位相乱流と欠陥乱流（欠陥カオス）という概念が近年提出されており、後者を追求した申請論文のテーマはきわめて重要かつ時宜にかなったものである。液晶のダイナミクスを記述する基礎方程式は確立されているが、それはきわめて複雑であり、これをまともに扱うことによって複雑なパターンダイナミクスを論じることが殆んど不可能である。したがって、本質を失うことなく、どのようにして発展方程式を取扱い可能なレベルにまで縮約しうるか、ということが最大のポイントとなる。申請者は、従来から知られている標準的な縮約法に加えて、種々の物理的考察や対称性の考察を行うことによってこれに成功し、独自の微分方程式モデルを提出した。このモデルの特に重要な点は、ロールの変形によって誘起される流れの効果を含むことである。これによって方程式は従来提出されていたものとは異なって運動ポテンシャルをもはや持たず、したがって実験において見られるような非定常的なパターンの運動の記述が初めて可能となったのである。流れ項の重要性は、熱対流においては既に知られていたが、いち早くその重要性を液晶対流系においても予想し、具体的なモデル構築を通じてそれを証明した意義は大きい。液晶対流系に限らず、現実の非線形系の多くは複雑であるが、それにもかかわらず出現するパターンダイナミクスには多くの点で普遍性が見られる。複雑な系を圧縮することによって欠陥カオスという普遍性性質を抽出することに成功した申請者のアプローチは、それゆえ一つの具体系にとどまらない一般的な意義を持つものと思われる。

得られたモデルはいくつかの未知パラメータを含むが、それらの値を適当に選ぶことにより、解の振舞いは種々の点で実験を見事な一致を示す。その第一は、定常ロール解の線形安定性ダイアグラムである。また、ロール解が適当な条件の下でジグザグ不安定を起し、亜臨界分岐によって直接的に欠陥形成にまで至るといふ点、更に、計算機シミュレーションによって見いだされた欠陥の特徴的な運動など、いずれも実験が示す性質と良い一致を示し、提出されたモデルの妥当性を強く示唆している。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。

なお、主論文及び参考論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した研究分野について試問した結果、合格と認めた。