

| | |
|----------|---|
| 氏名 | つかもと なおふみ 塚本直史 |
| 学位(専攻分野) | 博士(情報学) |
| 学位記番号 | 情博第300号 |
| 学位授与の日付 | 平成20年3月24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 | 情報学研究科複雑系科学専攻 |
| 学位論文題目 | Phase Dynamics in Nonlinear Systems (非線形系における位相ダイナミクス) |

論文調査委員 (主査) 教授 船越満明 教授 西村直志 教授 木上 淳

論文内容の要旨

本論文においては、時間的あるいは空間的な振動現象の振動状態を記述する変数である位相に注目することによって、非線形系で観測されるパターン形成や同期の現象の解明を行っている。

第1章では、非線形素子を結合した系や非線形場の振る舞いの位相を用いた記述に関する、これまでの研究の発展およびその問題点について述べた後、本論文の概要について説明している。

第2章では、リミットサイクル振動子が空間に連続的に分布し、振動子間の相互作用の距離が長い(非局所的な)場合に対して、断熱近似と単純な摂動論を用いた方法、および位相縮約法の2つの方法を適用し、高次までの摂動展開を行うことによって位相方程式を導出している。前者の方法では、非局所的な相互作用を持つ複素ギンツブルグ・ランダウ方程式(CGLE)に対して高次の位相方程式を得ている。後者の方法では、一般の非局所的な相互作用をもつ振動場に対する高次の位相方程式を導出し、具体例として非局所的な相互作用を持つCGLEにこの方法を適用して、前者で得られたものと同一の位相方程式を得ている。また、非局所的な相互作用をもつ振動場においても位相乱流が可能であり、それが上記の位相方程式で記述できることも示している。

第3章では、非局所的な相互作用をする双安定場において、二つの安定状態の各々に対応する領域の境界に形成されるフロント構造の位置を“位相”に対応させることによって得られる位相方程式を用いて、フロント構造のトランスバース不安定性を調べている。そして、トランスバース不安定性には二つのタイプがあり、そのいずれが起こるかは相互作用の非局所性の強さで決まることを示している。また、上記の不安定性によって形成される迷路状空間構造のもつ局所的な周期構造を、その空間振動の“位相”で記述する可能性についても考察している。

第4章では、複素ギンツブルグ・ランダウ方程式(CGLE)から、CGLEの振幅自由度を位相に繰り込んだ繰り込み位相のみに関する写像である複素ギンツブルグ・ランダウ写像(CGLM)を導出している。そして、このCGLMが、位相記述が適用可能であると従来から思われていたCGLEの時空パターンだけでなく、スパイラル、振幅乱流、振幅変調波などの位相記述が破綻する時空パターンも定性的・統計的に再現できることを示している。

第5章では、周期性の強いカオス振動を示す素子を結合した系において、各素子の振動の位相の差に関するリターンマップを用いてカオス位相同期(CPS)に関する解析を行い、位相差のダイナミクス、および各素子の振動振幅のカオス性がこのダイナミクスに与える影響を調べている。その結果、素子間の結合強度がCPSが発生する結合強度よりわずかに小さいときに観測される“位相差の間欠的振る舞い”の直感的な解釈を得ている。また、リターンマップのデータにある平均操作をすることによって、長時間で見ると同期していないが大半の時間帯では位相差がロックされる“擬似的な同期状態”を表すと考えられる振る舞いを見出している。

第6章では、得られた結果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、時間的あるいは空間的な振動を示す非線形系で観測されるパターン形成や同期の現象について、この振動状態を記述する変数である位相に関するモデル方程式に基づいて挙動の解明を行っているものである。

第2章では、空間に連続的に分布したリミットサイクル振動子の相互作用が非局所的である場合について、2つの方法を用いた高次までの摂動展開を行うことによって、振動子の位相に関する方程式を導出している。この種の系に対する高次までの摂動展開は、これまでその困難さからほとんど行われていなかったため、本論文でそれに成功したことは高く評価される。また、これまでの研究では拡散的な空間結合をした振動場において位相乱流が起きることが知られていたが、本論文では、非局所的相互作用の振動場においても位相乱流が起り、それが上記の位相に関する方程式で記述できることを示した。これは、物理的に重要な系である非局所的相互作用の下での振動場の挙動の解明に貢献する結果であると判断される。

第3章では、非局所的な相互作用をする双安定場において、二つの安定状態に対応する領域の境界のフロント構造の位置を位相に対応させて得られる位相方程式を用いて、この構造のトランスバース不安定性を調べた。その結果、この不安定には2つのタイプがあり、相互作用の非局所性の強さによっていずれが起こるかが決まることを示した。この結果は、従来調べられていなかった、相互作用の非局所性の強さに対するトランスバース不安定の依存性を初めて明らかにした点で、高く評価できる。

第4章では、複素ギンツブルグ・ランダウ方程式 (CGLE) から、CGLEの振幅自由度を位相に繰り込んだ繰り込み位相だけに関する写像である複素ギンツブルグ・ランダウ写像 (CGLM) を導出し、このCGLMが、通常の意味では位相記述が破綻するCGLEの時空パターンも定性的・統計的に再現できることを示した。このことは、CGLMを導出する際に無視した振幅の緩和過程がCGLEのダイナミクスにおいて本質的ではないことを示しており、大変重要な結果であると言える。

第5章では、周期性の強いカオス振動を示す素子を結合した系において、素子間の結合強度がカオス位相同期の発生する結合強度よりわずかに小さいときに見られる興味深い現象である位相差の間欠的振る舞いに関して、各素子の振動の位相の差に関するリターンマップを用いた解析に基づく直感的な解釈を得ている。また、リターンマップに関するある平均操作から、長時間で見ると同期していないが大半の時間帯では位相差がロックされる擬似的な同期状態を表す振る舞いも見出している。これらの結果は、結合カオス振動子系における同期や位相差の変化に関するより進んだ理解をもたらすものとして高く評価できる。

以上のように本論文のいずれの研究においても非線形力学における重要な問題に取り組み、高い成果が得られているといえる。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成20年2月22日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。