

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	とのさき ようすけ 外崎 陽介
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 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) 強制外力・フィードバック下の非線形散逸波のダイナミクスと その2変数位相記述	
論 文 調 査 委 員	(主査) 太田 隆夫 教授 小貫 明 教授 篠本 滋 准教授

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	外崎 陽介
論文題目	強制外力・フィードバック下の非線形散逸波のダイナミクスとその2変数位相記述		
(論文内容の要旨)			
非線形非平衡系における時間的振動現象と時間的に変化しない空間周期構造については古くから多くの研究があり、また、その表現法については理論的な発展もある。しかし、時間的にも空間的にも振動する現象、すなわち、非線形散逸波のダイナミクスと応答に関する研究は非常に少ないのが現状である。しかしながら、最近のナノ・メゾスケールでの非平衡状態の実現とその計測技術の進展は、非線形散逸波の実験を可能にしている。この状況は散逸の強い系にロバストに存在する波の研究が今後重要になるであろうことを示唆している。 本学位論文では非線形散逸波の外力に対する応答とフィードバックによる応答の理論的研究を行った。考察する系として先に導入されていた化学反応と相分離が共存するモデル方程式を採用した。この方程式系は時間変化しない様状態が、有限の波数をもつ擾乱によって不安定化しHopf分岐を起こす。分岐が起こったあとは化学物質の濃度の濃淡が縞模様や水玉模様となり、それがあある方向に一定速度で伝搬するという性質を示す。 本学位論文では、まず、この非線形散逸波が時間空間周期的な外力にどのように応答するかを調べた。計算機シミュレーションは主として、空間1次元で行った。外力の空間周期は非線形散逸波の周期に固定し、外力の進む速度と外力の強さを変化させて詳細な相図を作成した。パラメータに依存して、外力の速度に引き込まれて伝搬する波、外力に引き込まれることなく時間周期的に変調を受けながら伝搬する波、進行と後退を周期的に繰り返す波、右向きの波に対して右向きの外力をかけたにもかかわらず、進行方向を反転して左向きに進む波などの多彩なダイナミクスを発見した。さらに、引き込み・非引き込みの境界では、サドル・ノード分岐が起こる場合とHopf分岐が起こる場合の二つがあり、しかも、この二つの分岐線がBodganov-Takens分岐点でつながっているという著しい構造を見いだした。なお、予備的な研究として空間2次元に進行する周期外力をかけたときの濃度パターンの変化に関する計算機シミュレーションも行っている。 これらの数値シミュレーション結果を理解するための理論解析を発展させた。非線形偏微分方程式の示すダイナミクスを解析するには、系に本質的な自由度に着目して変数を削減する縮約が必要となる。振動子系は時間並進不変性を破るため、位相が重要な遅い変数となる。いわゆる、リミットサイクル振動の引き込み・同期理論と本質的に異なる点は、本理論では2種類の位相変数を導入することである。二つの位相変数に対する連立常微分方程式を弱非線形近似で導出し、その解を調べることにより、計算機シミュレーションで得られた4つの応答ダイナミクスとBodganov-Takens分岐点の存在を明らかにすることができた。 フィードバックによる応答では濃度の濃淡周期を空間的に一様にずらして系に入れることによる波の伝搬の反転や、停止を計算機シミュレーションでみつけ、2変数位相方程式でこれらの現象が説明できることを示した。また、予備的な研究として、過去の濃度の濃淡の情報を系に入れる、いわゆる、時間遅れフィードバックの研究も行っている。			

(論文審査の結果の要旨)

化学反応と相分離が起こるモデル方程式系に基づき、非線形散逸進行波の外力とフィードバックに対する応答を計算機シミュレーションと理論解析による研究を行った。本研究の独創的なところは以下の点であろう。非線形振動子の振動外力による引き込み・同期については古くから多くの研究がある。その中でも、リミットサイクルについては、その閉軌道の位置を表現する位相に対して時間発展方程式を構成する、いわゆる、位相ダイナミクスが方法論としてほぼ、確立している。本研究はこれまでの理論にさらに、新しい重要な知見を与えるものである。それらを列挙すると

(1) 非線形散逸波に対する進行波型の外力では、その速度、強度を帰ることによって、外力の速度に引き込まれて伝搬する波、外力に引き込まれることなく時間周期的に変調を受けながら伝搬する波、進行と後退を周期的に繰り返す波、右向きの波に対して右向きの外力をかけたにもかかわらず、進行方向を反転して左向きに進む波などが発生することを計算機シミュレーションで見いだした。

(2) 引き込み、非引き込みの境界では、リミットサイクルの場合で知られているサドル・ノード分岐だけではなく、Hopf 分岐も起こり、しかも、この二つの分岐線が Bodganov-Takens 分岐点でつながっていることを発見した。

(3) リミットサイクル振動では 1 個の位相変数で理論が構成できるのに対し、非線形散逸波では 2 種類の位相変数が必要であることを明らかにし、その理論を定式化することによって (1)、(2) の計算機シミュレーション結果をほぼ完全に理解することができた。

(4) なぜ、2 種類の変数が必要かを、モデルによらない一般的考察を行い、系の左右変換対称性に起因することを明らかにした。

(5) 非線形散逸波のフィードバックに対する応答では空間シフトフィードバックと時間シフトのフィードバックの両方について、数値計算と 2 変數位相ダイナミクスによる解析を行っている。

これらの成果に加え、次の残された問題にも言及している。

(あ) 上のリストの (4) は波の形に前後を区別する非対称性がある場合は、さらに検討が必要である、

(い) 2 種類の位相変数が必要であることに整合するように、外力のある非線形散逸波に対する振幅方程式を導出することは未解決である。

審査における申請者の説明は必ずしも、十分わかりやすいとは言えない部分もあったが、上述の成果は申請者の高い能力を表すものであり、独自性のある重要な新しい結果がえられている。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認められる。また、平成 23 年 12 月 28 日に論文内容とそれに関連した事項について試問を行った。その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降