

氏名 柳 田 達 雄

学位（専攻分野） 博士（学術）

学 位 記 番 号 総研大乙第10号

学位授与の日付 平成7年9月27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 Statistical and Constructive Modeling for  
Chaotic Phenomena

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 田 辺 國 士

教 授 伊 藤 栄 明

教 授 尾 形 良 彦

教 授 尾 崎 統

助 教 授 田 村 義 保

教 授 金 子 邦 彦（東京大学）

教 授 北 原 和 夫（東京工業大学）

## 論文内容の要旨

本論文は、複雑な現象を統計学的、動力学的接近法でモデル化する方法について論じたものである。論文は4章からなりそれぞれ次のような内容である。

第1章では、典型的なカオス力学系であるLorenz系が生成する軌道を符号化し、その統計的振る舞いを2体相互作用によって定義されるGibbs分布によってモデル化し、パラメータをKullback-Leibler情報量を最小化する方法で推定している。推定された2体相互作用のGibbs分布をもちいて相関関数を再現することはできるが、Kolmogorov-Sinaiエントロピーの振る舞いを再現する事はできないことを示した。

第2章では、脈動型変光星の不規則な光度変化を調べている。データをカオス力学系が生成したと考えることができるのは一般に次元の低いカオスの場合であり、高次元カオスの可能性がある変光星の振る舞いを力学的観点からとらえる事は困難である。そこで変光星の統計的性質を調べるために自己回帰モデルを用いてパワー・スペクトラムの推定を行っている。モデルのパラメータはYule-Walker法によりAICを最小化し決定している。従来この分野ではこのような統計的モデルに基づく方法は用いられていなかったが、これによって既知の周期成分の他に新しい周期成分を発見している。

第3章では、熱対流現象を解析している。熱対流の主な物理的要因である浮力・熱拡散・粘性・非圧縮性効果・移流を簡約化された差分式で定式化し、変数である温度・速度場に逐次作用させることによって時間発展を求めている。これにより、対流臨界点での振る舞い、カオスへの分岐現象、時間空間間欠運動に普遍的に観測される分布のベキ則、乱流状態で温度分布がガウスから指数分布へ変化する遷移、パターン形成時に見られるスケーリング則などの現象が再現されることを示した。これらの定性的性質は、細部を詳細にモデル化しなくとも現れ、構造安定性があることを示唆している。

第4章では、沸騰現象を簡約化された動力学モデルにより解析している。沸騰現象は、原理的には流体運動を記述するNavier-Stokes方程式と相転移のダイナミクスに従っていると考えられるが、気液二相が混在しその境界は時間空間的に不規則に変化するためNavier-Stokes方程式を基礎とした数値シミュレーションを実行するのは困難である。そこで、物理的要因としての熱拡散・相転移・浮力による気泡の鉛直方向の運動・潜熱だけを考慮した動力学モデルを構築して沸騰遷移過程を解析している。このモデルは核沸騰パターンから膜沸騰パターンへの遷移を示し、発熱体の温度と熱流束の関係を示す沸騰特性曲線の定性的な振る舞いを再現している。Lyapunov指数を調べた結果、沸騰状態は時空カオスであり、その不安定性は主に気泡の生成・消滅時に生成されている事を示している。

## 論文の審査結果の要旨

博士論文の審査の申請のあった柳田達雄君の論文を審査した。論文に沿って研究成果が公開発表され、終了後に口述による専門知識等の試験をもあわせて行った。公開発表における質疑にたいして明確な解答を述べ、研究課題にたいする的確な位置づけと展望をもっていることを示した。また口述試験によって、統計科学及び物理学の知識において、本学の研究科を終了した者と同等以上の能力があることを確認した。申請者は、物理学の素養を基礎にして統計科学を学び、複雑な動力的現象を解明するために、「カオス」と「統計モデル」という2つの方法を用いて、計算機を駆使して課題に取り組んでおり、この分野の発展に貢献することが期待される。以下に述べる論文の評価および上記の結果から、審査委員会は、柳田達雄君に博士（学術）を授与するのに十分な内容を備えていると判断した。

### 博士論文の評価

第1章のカオス力学系の統計解析は、力学系の統計的解析の可能性と限界を示すという点において意味ある成果である。第2章の脈動型変光星の不規則な光度変化の解析は、この分野のデータに自己回帰モデルを用いた解析を行うことにより、これまで知られなかった周期成分を見いだすことが出来た点を評価できる。第3章、第4章の熱対流現象と沸騰現象の解析は、従来の偏微分方程式を基礎におく物理学的モデルの離散近似に基づく数値シミュレーションではなく、簡約化された離散的モデルから出発して、対流や沸騰現象を解析しようと試みた点に独創性がある。要素的プロセスを巧みに組み合わせて離散的モデルを構築し、従来の数値シミュレーション法では出来なかった実験事実の再現を可能としている点が評価できる。また、実験不可能なパラメータ領域への予想も行っている点も興味深い。要素的プロセスを巧妙に構成して動的な離散モデルを構築する方法は新しい試みであり、これからの統計科学、物理学における動的現象のモデル化に対して一つの方向を与える価値ある研究である。

本論文の主要部分はPhysics Letters、Physica D等の国際的な学術誌に掲載されており、国際的にも評価を受けている。