

氏 名	すえ たに ひろ みち 末 谷 大 道
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 45 号
学位授与の日付	平 成 13 年 11 月 26 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	Scaling Structures of Riddled Basins and On-Off Intermittency (リドルドベイスンとオンオフ間欠性のスケーリング構造)
論文調査委員	(主 査) 教 授 藤 坂 博 一 教 授 木 上 淳 教 授 船 越 満 明

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、広い範囲の非線形力学系で観測されるリドルドベイスン (riddled basin, “穴だらけの吸引領域”) とオンオフ間欠性の特徴づけに関して統計力学的な観点から新しい方法を提案し、数値実験を行いその有用性を明らかにしたものである。本論文の構成は以下の通りである。

第1章では、本論文でテーマとするリドルドベイスンおよびオンオフ間欠性の発生状況と発生機構の概要が述べられている。

第2章では、不変部分空間に閉じ込められたカオスの線形安定性を調べるために、不変部分空間に垂直な方向の局所リアプノフ指数 (横断リアプノフ指数) を導入している。そのゆらぎスペクトルについて解説し、不変部分空間の安定性とリドルドベイスンとオンオフ間欠性の基本的な発生メカニズムについて詳述している。不変部分空間に垂直な方向のダイナミクス、ベイスンの割合およびリドルド構造を特徴付けるために導入された不確定性指数に関してこれまで知られているリドルドベイスンの特徴について述べられている。また、不変部分空間からの距離の時間変化の定常確率密度、スペクトル強度およびラミナー (不変部分空間近傍に滞在する状態) 継続時間分布に関するオンオフ間欠性の統計量のスケーリングの特徴が詳しく述べられている。

第3章では、2次元写像力学系においてリドルドベイスンに属する点の近傍の領域内で別のアトラクタに吸引される領域の割合によって決定される指数と、その点の不変部分空間への射影された点における不変部分空間に沿う方向のリアプノフ指数と不変部分空間に垂直な方向の (横断) リアプノフ指数の関係を導いた。これを用いて、これまで行われてきたリドルドベイスンのスケーリングの特徴づけを多重フラクタルの観点から拡張し、リドルドベイスンの多重スケーリング構造を特徴付ける特異性スペクトルを導入した。区分的に線形な2次元非線形可解モデルを用いてリドルドベイスンの多重フラクタル構造を決定する特性関数を厳密に導びき、同構造の存在を明らかにした。

第4章では、オンオフ間欠性を示す変数の強い非ガウスのゆらぎと自己相似性に関する統計力学的な定式化とモデルを用いた数値計算の結果をまとめている。オンオフ間欠性の発生点直後ではゆらぎの相関時間 T が極めて大きくなる。前半では、時間的粗視化スケールが T より十分大きな場合にオンオフ間欠性に対する2次元区分的線形写像可解モデルを提案し、一般化 Perron-Frobenius 作用素の最大固有値を求めることによりモーメント特性関数やゆらぎスペクトル等の大偏差統計量を求めている。モーメント特性関数は2階微分に不連続性が生じる異常性を見出している。これはオンオフ間欠性の普遍的特性である可能性を指摘している。後半では、粗視化スケールが相関時間より十分短い領域で存在するゆらぎの相似性を利用し、粗視化変数を特徴付ける指数のゆらぎの統計的独立性の仮定のもとに大偏差統計を応用して粗視化変数の確率密度の漸近形を導出している。さらに、この仮定の正当性を確かめるために、オンオフ間欠性を示す複数のモデルを用いて数値実験を行い、確率密度の漸近形を特徴付けるゆらぎスペクトルがオンオフ間欠性発生点近傍で、モデルの詳細によらず同じ関数形を持つ可能性を指摘している。

第5章は、本論文のまとめにあてられている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、広義の非線形振動子結合系で不変部分空間に閉じ込められたカオス運動がそれぞれ安定、不安定になるときに観測されるリドルドベイスン（riddled basin, “穴だらけの吸引領域”）およびオンオフ間欠性の統計的特徴づけを、多重フラクタルと大偏差統計理論を用いて定式化しその有効性を明らかにしたものである。

リドルドベイスンの構造に関しては、これまで、ベイスンの割合や不確定性指数を用いて特徴付けることが行われてきた。本論文では、二つのベイスンの混在の様子を表す指数の局所ゆらぎを導入することにより、リドルドベイスンが多重フラクタル構造をもつことを初めて見出した。さらに、可解モデルを用いて特異性指数スペクトルを厳密に導出し、リドルドベイスンの多重フラクタル構造が実際に存在することを示した。

間欠性ゆらぎは強い非ガウス性が特徴であり、発生点近傍のオンオフ間欠性ゆらぎ（変数空間での不変部分空間からの距離）の相関時間は非常に長い。可解非線形写像を用いて相関時間より大きな粗視化時間をもつ粗視化変数の確率密度を与える大偏差統計量を導出した。オンオフ間欠性の発生点では、モーメント特性関数の2階微分に不連続性が現れることを見出した。この結果は、これまで唯一知られていた相乗確率過程モデルの結果と一致しており、本論文の結果は、このような異常性がオンオフ間欠性の普遍的な特性であることを示唆している。

相関時間より短い領域では通常の大偏差解析を用いることはできないが、粗視化変数の粗視化スケール依存性で定義される指数のゆらぎに着目し、言わば“強相関領域の大偏差統計解析”を提案し、複数のモデルを用いてその正当性を調べた。粗視化変数の確率密度の漸近形を特徴付けるゆらぎスペクトルはモデルによらずよく一致すること結果が得られた。これは、オンオフ間欠性の強相関領域での普遍則の存在を示唆していると考えられる、

上で述べたように、本論文での研究は、カオスの統計力学的研究に関して新しい知見をもたらし、この分野の研究の進展に寄与した。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13年9月21日に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。