

氏名(本籍)	鈴 木 章 夫 (北 海 道)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	博 甲 第 5894 号
学位授与年月日	平成 23 年 7 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	システム情報工学研究科
学位論文題目	非均質大自由度系における非線形確率過程の特徴抽出法と応用

主査	筑波大学教授	工学博士	金 野 秀 敏
副査	筑波大教授	工学博士	岡 本 栄 司
副査	筑波大学教授	工学博士	京 藤 敏 達
副査	筑波大学准教授	博士(工学)	羽田野 祐 子

### 論 文 の 内 容 の 要 旨

気象などの自然現象や巨大で複雑な工学システムでは、非均質大自由度のシステムは普遍的に多数存在する。既存の時系列解析では、均質で自由度が少ないという仮定の基に解析理論や解析手法が提案され適用されてきた。しかし、近年のコンピュータの高速化と大量のデータの解析がなされるようになると、既存の均質性を前提とした解析法は定量的な評価としては様々な問題が内包している。本論文では様々な非均質大自由度系の非線形時系列データを用いて新しい非線形特徴量の推定法を研究した。観測された時系列データに拘る様々な問題点を克服する様々な手法を提案し、システムの内部状態をより正確に把握する方法を見いだしている。新手法を適用することにより、システムのより精緻な予測や制御に資する情報抽出が可能となると期待される。

2章では非線形特徴量の推定と非線形確率モデルの同定に関するレビューが展開されている。時系列のフラクタル的な特性と高次元位相空間の再構成法を適用し、特徴量を抽出する方法が説明されている。また、非線形確率過程の普遍的な側面を定量化し、確率的な動的モデルを作成する方法も紹介されている。3章では非平衡定常状態の垂直管を上昇する気液二相流をボイド率や圧力変動の時系列を用いて解析する新手法の提案を行っている。既存の方法の安易な適用は物理的に不適切な結果を導く。位相空間の局在領域を限定する新手法を用いることにより、スラグ流、気泡流など、流動様式が異なる領域でも流動様式を正確に判定可能であることを検証している。4章では、「日常生活をしている状態におけるヒトの心電図時系列」の長時間の過渡特性解析を行い、ヒトの疲労度の評価法を提案し、その有効性を検証している。5章では心室細動時に心臓の表面に形成される電位変動の数値モデルを用いて、非均質で大自由度の回転らせん波乱流と呼ばれる複雑な状態の時系列を発生させ、心室細動が発生時の位相特異点に注目した非線形確率過程の特徴抽出解析を行い、位相特異点が超ガンマ過程に分類される確率過程に従う事や位相特異点の生成消滅の寿命が指数則に従うことを数理的に明らかにしている。また、数値モデルのパラメータ値を観測時系列データのみから決定する方法を例証した。

### 審 査 の 結 果 の 要 旨

混相流などの流動様式が極めて複雑なシステムの特徴量の局所情報に注目した抽出法や統計平均を援用した新しい解析の有効性に関し、ボイド率のデータではうまくいったが、圧力変動のデータでは相関次元が正しく求められない理由について質問があった。圧力変動のデータの場合、計測センサーの位置でノイズが混入するのが原因である。

ポイント相関と遅れ時間の最適化の方法の同時適用により相関次元の値が真の値からずれている箇所があるのはどのような理由があるのかという質問があった。プラトー部が完全に水平になっていないためであり、これを改善するためには解析に使用するデータの位相空間の領域を狭くするなどの工夫が必要である。

混相流のボイド率はパイプの下部と上部で不均一であり、相関次元のモデルは変化しないのかという質問があった。ボイドの合体が進んだスラグ流のときには秩序状態となるが、気泡流のときには複雑化するので、相関次元は変化する。秩序形成パラメータとして利用するという立場で特徴抽出を行う。

心臓の数理モデルにおいて、モデルに主要なカリウム、カルシウムなどのイオンチャネルの動的振る舞いは考慮されているが、心室細動のモデルとしては、血液の循環や心臓の収縮などが考慮されておらず、現実の心臓のモデルとしては簡単すぎるので、現象論的なモデルや解析方法が作成できたという主張は言い過ぎではないかという批判があった。近年、3次元の詳細な心筋モデルの数値計算がスーパーコンピュータを用いて実行されているが、実在の心臓との現実的な対応は未だ完成の域に達していない。本論文で提案しているのは解析手法であり、光学イメージングの実データが入手できれば、位相特異点の抽出とその後の解析は同様に実行でき、持続する心室細動の現象論的非線形モデルは構築でき、モデルのパラメータ推定も可能となるので診断や予測にとって有望であると期待される。

今後の課題が結論より長く、記述内容や長さのバランスをとる必要があるのではないかという批判があった。

平成23年6月2日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。この結果とリスク工学専攻における達成度評価による結果に基づき、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。