

氏名(本籍)	内山 祐介 (新潟県)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博 甲 第 7105 号		
学位授与年月日	平成26年 7月25日		
学位授与の要件	学位規則第44条第2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	Stochastic Dynamics for Large Deviations and Long-memory in One-dimensional Defect Turbulence (大偏差と長期記憶を持つ1次元欠陥乱流の確率動力学)		
主査	筑波大学 教授	工学博士	金野 秀敏
副査	筑波大学 教授	工学博士	京藤 敏達
副査	筑波大学 教授	工学博士	藪野 浩司
副査	筑波大学 教授	工学博士	初貝 安弘
	(数理物質科学研究科)		
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	羽田野 祐子

論文の要旨

平衡状態から遠く離れた複雑な時間・空間変動を記述可能な「複素ギンスブルグ・ランダウ方程式」と呼ばれる物理モデルが知られている。モデルに含まれるパラメータの組を変化させることによって、多様な時間空間変動が生成される。ヒトの心臓において、ごく最近、この方程式の「ホール解」と呼ばれる特異点を伴う非線形波動が超音波を用いた実験でその存在が検証されている。しかし、心臓疾患のひとつである心室細動の状態は、多数の「ホール」や「欠陥」などの非線形波動が生成・消滅を繰り返す複雑な「欠陥乱流」と呼ばれる時間空間パターンが生ずる領域に対応する。そこでは、力学的な記述で状態を定量的に表現することはできず、確率論的な記述が不可欠になる。論文ではまず、複雑な相互作用をしている波動（非線形素励起）が「ホール」と「欠陥」及び、「変調振幅波」の3種類であることを解明し、それらが長期記憶を持つ多変量ポアソン過程に従うことを明らかにした。3種の非線形素励起の寿命分布や再帰時間の分布はいずれも指数分布にはならず、共鳴構造と厚い裾（べき乗則）を持つ分布となった。これらの欠陥乱流領域での数値実験の結果を説明するため、非定常マスター方程式を基礎に数理モデルを構成し、その厳密解を用いて異なる非線形素励起の数分布、ならびに寿命（再帰時間）分布の両方の特性を説明可能な確率モデルの構築に成功した。さらに、「ホール」の数値実験データから速度揺らぎの統計解析を行い、その振幅分布が厚い裾を持つだけでなく、長期記憶も有することを発見した。この速度揺らぎの特性を記述できる新しい「長期記憶を有する一般化コーシー過程」の構築も試みている。

審査の要旨

【批評】

現実の心室細動は3次元の時空間で起こっている現象であり、今回、定性的な物理的な対応が存在すると推定される複素ギンスブルグ・ランダウ方程式の「空間1次元の欠陥乱流」とは定量的には大きく異なる現象である。しかしながら、空間1次元モデルの欠陥乱流の状態数値解析と、1次元の欠陥乱流特性を記述する一般化マスター方程式の理論として高い水準に達している。また、ホール速度の確率動力学の理論も、分布関数がべき乗になっていることが再現できるだけでなく、記憶効果も表現できるモデルに拡張できていることは、評価に値する。2次元系や3次元系への拡張を行い、現実の現象の解析に使えるような成果を出されることを期待したい。

【最終試験の結果】

平成26年5月29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。

【結論】

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。