

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	量子系と古典系における実時間と虚時間の動的な 効果
Title(English)	Study on real and imaginary time dynamical effects in quantum and classical systems
著者(和文)	奥山真佳
Author(English)	Manaka Okuyama
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11046号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:西森 秀稔,笹本 智弘,古賀 昌久,金森 英人,DAS BHANU PRATAP,細谷 暁夫
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11046号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	奥山真佳		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	西森秀稔	教授	審査員	Bhanu Das	教授
	審査員	笹本智弘	教授		細谷暁夫	特命教授
		古賀昌久	准教授			
		金森英人	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Study on real and imaginary time dynamical effects in quantum and classical systems」と題し、5章および4つの付録から構成されている。

第1章「Introduction」では、量子アニーリングや量子相転移などの観点も踏まえながら、本論文における研究の背景や目的を述べている。

第2章「Quantum annealing」では、量子アニーリングおよび量子速度限界の一般的な解説をしている。量子アニーリングの定式化から始め、量子断熱定理の適用により計算時間と量子相転移の次数が関連していることを述べて量子相転移の研究の意義を示したあと、その量子相転移研究の対象の例として平均場モデルを導入している。平均場モデルの解析では静的近似が広く用いられるとして、当該近似の正しさの検証を行うという問題設定をしている。さらに、データベース探索のグローバルアルゴリズムの観点から量子速度限界の解説を述べ、古典速度限界との関連に言及している。

第3章と第4章が本論文の中核をなす。第3章「Exact partition functions for mean-field quantum spin systems」では、平均場モデルの典型例である横磁場 p スピンモデルおよびその拡張版に対して、秩序変数の虚時間依存性がないとする静的近似が厳密な結果を与えることを証明している。まず、鈴木・トロッタ分解を用いた分配関数の標準的な古典表現を導き、そこに秩序変数の虚時間依存性が現れることを示している。そして、秩序変数の虚時間依存性をどう決めるかという問題が最適制御問題の方程式を解く問題と等価になることを導いている。その上で、p スピンモデルの場合、虚時間依存性を無視する静的近似による解が、実は最適制御問題の方程式を満たしていることを示すことにより、静的近似の厳密性を導いている。さらに、同様の議論が、より複雑なホップフィールドモデル (有限パターン数の場合) やさらに一般化されたモデルに対しても成立することを示し、本解析手法の汎用性を強調している。加えて、以上で示されたモデルの厳密性の議論、特に最適制御問題の方程式の可解性が、古典非線形方程式の可解性と深くかかわっていることを指摘し、本章の結果が新たな可解モデルのクラスを導いている可能性を述べている。

第4章「Quantum speed limit and classical speed limit」では、量子速度限界に対応する古典速度限界の存在を議論している。量子速度限界は、時間とエネルギーの不確定性関係と関連していると考えると、古典力学に移行した場合には速度限界は存在しなくなるという結論に至る。申請者は、量子速度限界の起源はシュレディンガー方程式の解の構造にあり、古典力学においてもリュービル方程式の解の構造を調べることにより、量子力学の場合と同様の速度限界が導かれると主張している。実際に、リュービル方程式の解のスペクトル分解表現に単純な不等式を適用することにより、古典力学における速度限界を導出している。さらに、古典的な確率過程を記述するフォッカー・プランク方程式を時間を虚数にしたシュレディンガー方程式に書き換えることにより、フォッカー・プランク方程式においても速度限界が存在することを示している。やや別の視点として、キュー限界を実時間シュレディンガー方程式に適用して、グローバル問題における量子アニーリングの解が、実際に最適解であることを証明している。また、同じグローバル問題の虚時間シュレディンガー方程式に基づくアニーリング解の最適性も示している。

第 5 章「Conclusion」では全体を概観したあと今後の展望を述べている。第 3 章で解析した p スピン模型は実験においても実現可能なことや、第 4 章の古典速度限界のコロイド粒子系での検証可能性に言及している。

付録 A では、組み合わせ最適化問題およびシミュレーテッド・アニーリングの解説、付録 B では最適制御理論の解説、付録 C および D では本文で結果のみを紹介した計算の詳細を記述している。

以上を要するに、本論文は、量子多体系と古典多体系の静的および動的性質の解析に斬新な手法を導入して、従来近似解と考えられてきた結果の厳密性を証明するとともに、物理系の変化を特徴づける速度限界の式では量子性は本質的な役割を果たさないことを示し、本分野の研究に新たな地平を開いている。これは、申請者の学識の深さと独創性を十分に表しており、博士（理学）の称号付与にふさわしいものと判断される。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください