

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第8条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	松井 文宏 (まつい ふみひろ)
○学位の種類	博士 (理学)
○授与番号	甲 第 1117 号
○授与年月日	2016 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	量子不可逆性の誕生と寿命 ～量子カオス系の場合～
○審査委員	(主査) 菅原 祐二 (立命館大学理工学部教授) 清水 寧 (立命館大学理工学部教授) 池田 研介 (立命館大学理工学部:特別任用教授)

<論文の内容の要旨>

本学位論文の主たるテーマは、対応する古典力学系がカオスの挙動を示す量子力学系 (量子カオス系) を用いることにより、たとえ少数自由度であっても十分に長い時間スケールで古典系の不可逆性を模倣した現象 (量子不可逆性) が実現されることを示し、その不可逆性の「寿命」が相互作用する自由度間のエンタングルメントと密接な関係にあることを示すことである。付録の第 3 章を除き、本論文は、大きく第 1 章と第 2 章の 2 部構成から成る。

まず第 1 章では、量子的な撃力回転子 (KR) を雑音源として組み込んだエネルギー輸送モデル「撃力量子ダンパー」(KQD) の挙動を計算機シミュレーションによって解析している。KR 系として 2 自由度の結合量子 Arnold's Cat Map 系を用いた場合に、自由度間の結合定数を変化させることによって「転移的」に不可逆的なエネルギー輸送 (“熱化”) が実現することを示している。

第 2 章では、第 1 章で論じた量子不可逆性の由来を探るため、2 自由度の量子 Arnold's Cat Map 系に焦点を絞って詳細な解析を行っている。量子不可逆性の時間スケールの定量的な指標として「寿命」を提案し、それが 2 自由度間のエンタングルメントと深く関わっていることを計算機による数値解析と理論的なモデルを用いて詳細に議論している。特に興味深い結論として、少なくともここで解析しているモデルでは、従来見積もられてきたハイゼンベルク時間よりもはるかに長い時間スケールで古典的な不可逆性を模倣するという現象が見られることを明らかにした。

<論文審査の結果の要旨>

本学位論文の審査に関して、2016年4月27日（水）15時～18時30分において学位論文公聴会を開催した。トータル3時間半となる長時間の発表は、休憩を挟みながら全体で4部構成から成り、非専門家向けの丁寧なレビューも含みながら、本論文の第1章と第2章の内容をほぼ過不足なく解説したと言える。論文審査の結果、本学位論文は学位授与に値すると判断した。以下、審査の要点について述べる。

「論文内容の要旨」でも述べたように、量子カオス系を用いることによって、たとえ少数自由度の量子力学系であっても、十分に長い時間スケールにおいて「量子不可逆性」が実現することを示すのが本学位論文の主要テーマである。全体を通じ論理的かつ十分な客観性を持たせながらこの主張が正しいことを論じている点で本学位論文は高く評価される。特に量子不可逆性の「寿命」を正確に測る方法を提案し、それを数値的に解析することによって、従来見積もられてきたハイゼンベルク時間よりもはるかに長い時間スケールで量子不可逆性の実現し得ることを明らかにした点は、学術的に高く評価される。また、未だ明確な解釈が与えられていないものの、2自由度の量子 Arnold's Cat Map 系の間の結合定数に関する「転移的な」ふるまいの発見は、物理的に非常に興味深い帰結を含んでいると考えられる。更に、自由度間のエンタングルメントの度合いを表す数学的指標として、従来知られているエンタングルメント・エントロピーを物理的に補完する「遷移エントロピー」を導入して独自の解析を行っている点も評価に値する。

公聴会終了後、以上の点を審査委員3名で協議し、確認した。その後、可否投票を行い、全員一致で本学位論文は学位授与に値すると結論づけた。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者と本学大学院理工学研究科基礎理工学専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じ、日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文の審査に関して、2016年4月27日（水）15時～18時30分ウエストウイング7階数学物理系会議室2において公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者松井文宏に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、「KR系とエネルギーの輸送先の調和振動子を近共鳴に選ぶのは適切か?」、「結合定数についての転移的なふるまいは何らかの相転移とみなし得るか?」、「量子不可逆性の寿命は何によって決まっているか?」、「遷移エントロピーの物理的解釈は?」、等の質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。学位申請者は、本学学位規程第18条第1項該当者であり、論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していると確認した。

以上の諸点を総合し、学位申請者に対し、本学学位規程第18条第1項に基づいて、「博士（理学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。