

論文審査の結果の要旨

氏名 鳩村 拓矢

本論文は6章からなる。第1章はイントロダクションである。第2章、第3章では古典スピン系（多体系）の量子アニーリング、第4章、第5章ではボース-ジョセフソン接合を用いた、いわゆる猫状態の生成をとりあげ、非断熱時間発展の加速法に関する研究成果を述べる。第6章は本論文のまとめと、将来展望である。

第1章のイントロダクションでは、本論文の主題となる断熱時間発展の加速について、その背景と応用分野、先行研究の概略、問題点、および本論文の目的を説明する。続いて本論文と直接関係する反非断熱項を用いた断熱時間発展の加速法と、ルイス-リーゼンフェルトの不変量に基づく逆エンジニアリング法を、具体例と共に詳述している。

第2章では、断熱時間発展を用いて組合せ最適化問題をヒューリスティックに解くための、量子アニーリングの基本的なアイデアと、古典計算機を用いた量子アニーリングの実装にもちいられる古典アルゴリズムを説明している。また古典スピン系に対して先行研究で提案された、ルイス-リーゼンフェルトの不変量に基づく逆エンジニアリング法を紹介し、その問題点について述べている。

第3章では、古典スピン系に対して反非断熱項を加えて断熱時間発展を加速する、新しい手法の提案を行っている。古典スピン系中の1つのスピンの状態が、有効磁場中での2準位量子系の状態とみなせることに着目して、2準位量子系の反非断熱項から古典スピン系に対する厳密な反非断熱項を構成するというのが、本論文のアイデアである。先行研究と比べて、この新手法は多体系の励起状態の詳細を知らなくても実現できるという、大きな利点がある。本章では、相互作用が一定でサイトごとにランダムな縦磁場を加えた古典ランダムスピン系にこの手法を適用し、古典アルゴリズムによる量子アニーリングの断熱時間発展が大幅に加速され、100個程度までのスピン系で容易に高い確率で基底状態に到達することを実証した。一方で、一次転移や臨界点がある場合に基底状態に到達できないという問題点も指摘している。

第4章では、マクロに区別できる状態の量子力学的重ね合わせ、いわゆる猫状態と、それを特徴づける量子フィッシャー情報量について説明し、続いて猫状態を実現できる可能性のあるボース-ジョセフソン接合について、先行研究に基づき説明している。

第5章では、通常の冷却では実現の難しいボース-ジョセフソン接合における猫状態を、断熱時間発展の加速を用いて実現する手法と可能性について述べている。ここではホルシュタイン-プリマコフ変換の $1/N$ 展開による有限サイズ補正を考慮して、近似的な反非断熱項を構成している。この手法を用いた数値シミュレーションにより、量子フィッシャー情報量から猫状態とみなせる状態が、通常の時間発展よりも高速に実現できたことを示している。このような断熱時間発展の加速を実験的に行うことができれば、猫状態の実験的検証ができる可能性がある。

以上のように、本論文では多体系における断熱時間発展の加速法を研究し、古典スピン系における厳密な反非断熱項の提案とそれを用いた古典スピン系の量子アニーリング、ならびにボース-ジョセフソン接合における近似的な反非断熱項の導出と猫状態生成への応用を行った。これらの成果は、近年注目されている量子アニーリングを用いた組み合わせ最適化問題の解法や、エンタングルメントを利用した高精度な量子計測の発展に寄与する、博士にふさわしい大きな成果である。

なお、本論文第3章は、森 貴司氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。