

自己評価報告書

平成23年 4月15日現在

機関番号：32601

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20740225

研究課題名 (和文) 量子アニーリングの大規模系に対する基礎付けと量子スピングラスへの応用

研究課題名 (英文) Foundation of quantum annealing in large systems and its application to quantum spin-glasses

研究代表者

鈴木 正 (SUZUKI SEI)

青山学院大学・理工学部・助教

研究者番号：30391999

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・数理物理・物性基礎

キーワード：物性理論、統計力学、計算物理、量子計算

1. 研究計画の概要 本課題では量子アニーリングの(1)基礎と(2)応用という二つの側面について研究を行う。

(1)基礎に関しては、熱力学極限における量子アニーリングの有効性を1次元ランダムイジング模型やランダム磁場イジング模型に対して調べる。研究手法としてはフェルミオン化の方法や密度行列繰り込み群などを用いる。

(2)応用に関しては量子アニーリングの考えを取り入れた量子モンテカルロシミュレーションにより、横磁場イジングスピングラスの静的・動的性質を調べる。調べる対象として横磁場中の無限レンジ模型や有限次元のスピングラスを取り上げる。

2. 研究の進捗状況

(1)量子アニーリングの基礎に関して、1次元のランダム磁場イジング模型において量子アニーリングが古典 (シミュレーテッド) アニーリングよりも誤差の減少が速いことを解析的に示した。この結果は一つの模型に対してのものに過ぎないが、それにより他の模型に対する量子アニーリングの有効性が類推できるようになった。したがって、本研究の成果は量子アニーリングの基礎付けにとって重要な意味を持つ。一方で、横磁場イジング模型において、量子アニーリングとは観点が少し異なるが、瞬間的にアニーリングを行った時に系がどのように緩和するか、という問に対しても研究を行った。それにより1次元横磁場イジング模型では物理量によって特徴的な時間スケールを持って緩和する場合とそうでない場合があることを明ら

かになった。1次元横磁場イジング模型は可積分という特殊な性質を持った系であるが、そのような系が実験的にも関心を持たれており、今後の研究の展開が期待される。さらに、2次元のキタエフ模型に対して遅い量子クエンチによる励起エネルギーを調べた。キタエフ模型に対する研究は今後の展開により量子アニーリングの基礎に密接に関わる可能性を持つものである。

(2)応用に関して、連続虚時間量子モンテカルロ法を使うことにより、量子・古典アニーリングを同時に行う方法を提案し、その有効性を2次元スピングラス模型で確かめた。これまでのところ、横磁場イジングスピングラスの性質を調べるには至っていないが、それに適した計算手法は開発されており、現在は計算を実行する段階にある。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(1)1次元ランダムイジング模型において量子アニーリングが古典アニーリングより速く誤差を減少させることを解析的に示すことができた。(2)横磁場イジングスピングラスを調べるには至っていないものの後は計算を行うだけの段階にいる。

4. 今後の研究の推進方策

残りの1年間で(2)の応用に関する研究を集中的に進める。2011年の夏までにシミュレーションを行い、秋以降に発表、論文執筆を行う予定である。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 5 件)

1. T. Hikichi, S. Suzuki, and K. Sengupta, “Slow quench dynamics of the Kitaev model: anisotropic critical point and effect of disorder”, *Phys. Rev. B* **82** 174305 (2010) 9 ページ, 査読あり

2. D. Rossini, S. Suzuki, G. Mussardo, G. E. Santoro, and A. Silva, “Long time dynamics following a quench in an integrable quantum spin chain: Local versus nonlocal operators and effective thermal behavior”, *Phys. Rev. B* **81** 144302 (2010) 17 ページ, 査読あり

3. S. Morita, S. Suzuki, and T. Nakamura, “Quantum-thermal annealing with a cluster-flip algorithm”, *Phys. Rev. E* **79** 065701(R) (2009) 4 ページ, 査読あり

4. S. Suzuki, “Cooling dynamics of pure and random Ising chains”, *J. Stat. Mech.* P03032 (2009) 10 ページ, 査読あり

5. S. Suzuki, “A comparison of classical and quantum annealing dynamics”, *J. Phys.: Conf. Ser.* **143** 012002 (2009) 9 ページ, 査読あり

〔その他の論文〕 (計 1 件)

1. S. Suzuki, “Quench dynamics of quantum and classical Ising chains: from the viewpoint of the Kibble-Zurek mechanism” in *Quantum Quenching, Annealing and Computation (Lecture Notes in Physics Vol. 802)*, edited by A. Das, A. Chandra and B. K. Chakrabarti, (Springer, Heidelberg, 2010) p. 114-143 30 ページ, 査読なし

〔学会発表〕 (計 11 件)

招待講演

1. S. Suzuki, T. Hikichi and K. Sengupta, “Non-adiabatic quench dynamics near anisotropic quantum critical point”, *Dynamics and Manipulation of Quantum Systems*, University of Tokyo, 14 February 2011

2. S. Suzuki, “Kibble-Zurek mechanism in quantum annealing and simulated annealing”, *International Symposium on Nanoscience and Quantum Physics 2011 (nanoPHYS'11)*, Tokyo Institute of Technology, 26 January 2011

3. S. Suzuki, T. Hikichi and K. Sengupta,

“Non-adiabatic quench dynamics near anisotropic quantum critical point”, *STATPHYS Kolkata VII*, Saha Institute of Nuclear Physics, Kolkata, India, 28 November 2010

4. S. Suzuki, “Comparison of quench dynamics in quantum and classical systems”, *International Workshop on Quantum Phase Transition and Dynamics: Quenching, Annealing and Quantum Computation (QAQC)*, Saha Institute of Nuclear Physics, Kolkata, India, 7 February 2009

5. S. Suzuki, “A Comparison of classical and quantum annealing dynamics”, *International Workshop on Statistical-Mechanical Informatics 2008 (IW-SMI2008)*, Sendai International Center, Sendai, Japan, 15 September 2008

一般講演

6. 鈴木正、引地匠、K. Sengupta 「量子相転移点で終わる量子クエンチのダイナミクス」日本物理学会、大阪府立大学、2010年9月25日

7. S. Suzuki, D. Rossini and G. E. Santoro, “Quantum quench of a quantum Ising chain”, *Dynamics and Manipulation of Quantum Systems*, University of Tokyo, 14 October 2009

8. 鈴木正「横磁場イジング模型における量子クエンチとキルク密度の時間発展」日本物理学会、熊本大学、2009年9月26日

9. S. Suzuki, S. Morita and T. Nakamura, “Quantum annealing by a quantum Monte-Carlo method with cluster algorithm”, *Dynamics and Manipulation of Quantum Systems*, University of Tokyo, 21 October 2008

10. 鈴木正、森田悟、中村統太「クラスターアルゴリズムによる量子アニーリング」日本物理学会、岩手大学、2008年9月20日

ポスター発表

11. S. Suzuki, T. Hikichi and K. Sengupta, “Quench dynamics of the uniform and non-uniform Kitaev model”, *Statistical Physics of Quantum Systems*, University of Tokyo, 2 August 2010

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕 (計 0 件)