

研究種目：特定領域研究

研究期間：2006～2009

課題番号：18079005

研究課題名（和文） 不規則系の統計力学と古典および量子情報統計力学の境界領域の開拓

研究課題名（英文） Development of the interdisciplinary field of statistical mechanics of disordered systems and classical and quantum theory statistical-mechanical informatics

研究代表者

西森 秀稔 (NISHIMORI HIDETOSHI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：70172715

研究分野：統計物理学

科研費の分科・細目：物理学・数理物理・物性基礎

キーワード：統計力学，最適化

1. 研究計画の概要

スピングラスに代表される不規則系の統計力学と、古典および量子情報科学の境界領域を開拓する。特に、スピングラスの多重臨界点の位置の決定、トラス符号との関連、アニーリングアルゴリズムの開発に重点を置き、量子力学、統計力学、情報科学の境界領域の開拓を目指す。

2. 研究の進捗状況

スピングラスモデルの多重臨界点の位置を詳細に計算する理論的枠組みを完成させ、それを2次元系に適用した。双対性とゲージ理論を組み合わせることで、系統的に多重臨界点の位置を算出し、それにより、トラス符号の誤り訂正限界について高い信頼性で定量的な評価が出来るようになった。

次に、シミュレーテッド・アニーリングにおいては、古典的ハミルトニアンで表現されるエネルギー関数が与えられたとき、統計力学の方法に基づき人工的な温度変数を導入することによって状態空間の中の遷移を促し、温度を徐々に下げることによって最適解に到達することを目指す。これに対して、量子力学を利用した量子アニーリングでは、トンネル効果により状態間の遷移を誘導し、最適解の探索を行う。量子アニーリングにおいて、量子ゆらぎの強さをどう制御すれば最適解に確実に到達することが出来るかについて、重要な定理が証明されたことを受けて、目標とする基底状態に縮退がある場合の量子アニーリングの性

能評価を行った。その結果、一般には、縮退したすべての状態に単純な形での量子アニーリングによって到達することは困難であることが明らかになった。しかしながら、あらゆる基底間の遷移を同じ重みで許すようなアルゴリズムを採用するとこの困難は回避され、すべての状態に等確率で到達することも示すことが出来た。この後者の手法の問題点は、通常のコピューター上でシミュレーションを行うために量子・古典対応を実行すると、複雑な相互作用が出てきて実行方法が自明でなくなることである。しかしながら、残留エネルギーに関しては、縮退系についても、通常横磁場による方法を適用することにより量子アニーリングが漸近的に優れていることが明らかになった。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

多重臨界点の位置に関しては、厳密と考えられてきた予想式が必ずしも成り立たない例が見つかったことは、新たな成果であると同時に解明すべき問題があることを指し示している。量子アニーリングについては、収束証明や縮退している系の解明など、順調に進行している。

4. 今後の研究の推進方策

多重臨界点の位置に関して、さらに多数の例で理論的な予想、その改良版、数値計算の比較を継続し、統一的な観点の確率につとめる。量子アニーリングに関しては、実用化に向けて、従来困難とされていたいくつかの具体例

への適用を試みる。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

①M. Ohzeki, H. Nishimori and A. N. Berker, Multicritical points for the spin glass models on hierarchical lattices, Physical Review, E 77 (2008) 061116

②S. Suzuki, H. Nishimori and M. Suzuki, Quantum annealing of the random-field Ising model by transverse ferromagnetic interactions, Physical Review, E 75 (2007) 051112

③H. Nishimori, Duality in spin glasses, Journal of Statistical Physics, 126 (2007) 977-986

④S. Morita and H. Nishimori, Convergence theorems for quantum annealing, Journal of Physics, A 39 (2006) 13903-13920

〔学会発表〕(計1件)

H. Nishimori, Convergence properties of quantum annealing, The 23rd International Conference on Statistical Physics, Genoa, Italy, 2007年7月9日