

自己評価報告書

平成 23年 5月 2日現在

機関番号：13401

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008~2012

課題番号：20740218

研究課題名 (和文) 繰りこみ群と双対変換による多重臨界点の正確な位置の予言

研究課題名 (英文) Precise determination of the multicritical point by renormalization group and duality analysis

研究代表者

大関 真之 (OHZEKI MASAYUKI)

京都大学・大学院情報学研究科・助教

研究者番号：80447549

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：数理物理・物性基礎

キーワード：繰りこみ群, スピングラス, 双対変換, 厳密解, 量子情報

1. 研究計画の概要

統計力学の一手法である, 双対変換と繰りこみ群を合わせた新しい手法を, 古典情報, 量子情報の両面と関連したスピングラス模型の多重臨界点周辺で展開させる.

応用的にも, 物理学の観点から情報理論の根幹を見直す事に通じており, 重要である.

① 多重臨界点の正確な導出法の確立

② 量子情報の誤り訂正限界との関係

③ 分配関数の対称性を利用した解析

以上の三点を中心に解析的な研究を行ってきた.

2. 研究の進捗状況

予定していたよりも進行状況は良好であり, 想定以上の成果が出ている. 特に応用的な面に関して, 想定外の発展が引き続いている状況である.

① まず多重臨界点に関する導出方法に関しては初年度にほぼ完成をみた. 系統的な改善方法に関しても理解できており, 他の手法の追随を許さない精度での予言が可能となっている.

② 量子情報の誤り訂正符号はいくつか提案されているが, その中でもロバストさで優位なトーラス符号の修正限界を①で確立した手法で, 精密に予言する事が出来た. またトーラス符号だけでなく, さらに計算のバリエーションに富んだカラー符号と呼ばれるものが現在進行形で提唱・研究されているが, これに関しても①で完成した手法により精度よく予言する事に成功している. これは世界初の成果であり, 本研究課題の成功の一端を見せている.

③ これまでは情報理論との接合を念頭に置いてきたが, 統計力学の範囲で双対変換のように分配関数の対称性を関連した Jarzynski 等式を利用して, 厳密な解析を非平衡統計力学に及ぶ範囲にまで手を伸ばしている. 非平衡統計力学と情報理論の接合点を見出す研究において, 数値計算ではなく, 厳密な解析を行う点でユニークな研究成果を挙げ始めており (実際に新聞報道もされており, 解析的研究ながら内外の注目が少なからず向けられている), 今後の発展方向のひとつであると確信している.

3. 現在までの達成度

① 当初の計画以上に進展している.

(理由) 当初目標である, 多重臨界点の計算方法に関しては確立しており, 多方面での応用研究が現在進展しているため.

また分配関数の対称性を利用する点で, 非平衡統計力学との関連にも注目した新しい方向性を示している点からも予想外の発展を示している事が明らかである.

4. 今後の研究の推進方策

三年目から量子情報周辺の研究環境の進展があわただしく, 関連研究 (カラー符号の発展) が盛んとなっている. しかしながら本研究内容の独自性が今なお際立っており, 新規の課題に対しても適用できる事は本研究課題の方向性が間違っていない事を暗示している. トーラス符号やカラー符号に対しても

適応できる普遍的な構造に注目する事で、量子情報分野に対しての統計力学的なアプローチで業界をリードしながら、関連研究全体を俯瞰した結果を導く事を念頭に置く。

また本研究課題終了後も意識した、萌芽的な研究として非平衡統計力学と情報理論との関連を、Jarzynski 等式およびスピングラスの解析を中心に行っていく。

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 14 件)

① 大関真之

Quantum Annealing with Jarzynski Equality
Physical Review Letters, 105, 050401-1~4 (2010)、査読あり

② 大関真之、西森秀稔

Nonequilibrium Relations for Spin Glasses with Gauge Symmetry

Journal of Physical Society of Japan, 79, 084003-1~4, (2010)、査読あり

③ 大関真之

Accuracy threshold of topological color codes on the hexagonal and square-octagonal lattices
Physical Review E, 80, 011141-1~6, (2009)、査読あり

④ 大関真之、西森秀稔

Analytical evidence for the absence of spin glass transition on self-dual lattices

Journal of Physics A: Mathematical and Theory, 42, 332001-1~10, (2009)、査読あり

⑤ 大関真之

Locations of multicritical points for spin glasses on regular lattices

Physical Review E, 79, 021129-1~14, (2009)、査読あり

[学会発表] (計 35 件)

① 大関真之

高次元干渉通信路とランダム磁場イジングモデルの相転移現象、

日本物理学会第 66 回年次大会、平成 23 年 3 月 28 日、新潟大学

② 大関真之

Nonequilibrium work distribution in quantum annealing、

The third international workshop on Dynamics and Manipulation of Quantum

Systems、平成 23 年 2 月 14 日、東京大学

③ 大関真之

Nonequilibrium work distribution in quantum annealing、

International Symposium “Nanoscience and Quantum Physics 2011”、平成 23 年 1 月 26 日、東京工業大学

④ 大関真之

Nonequilibrium relations in spin glass with gauge symmetry、

International Meeting on Frontier in Spin Glass Theory、平成 23 年 11 月 18 日、東京工業大学

⑤ 大関真之

ゲージ対称性と Jarzynski 等式によるスピングラスの平衡・非平衡解析、

日本物理学会 2010 年秋季大会、平成 23 年 9 月 25 日、大阪府立大学

[図書] (計 2 件)

① 大関真之、西森秀稔

量子アニーリング、
日本物理学会誌、66、(2011)、252-4

② 大関真之

スピングラス模型の臨界点と双対変換～厳密解を求めて～、
物性研究、94 (4)、(2010)、440~527

[その他]

[1] 受賞

① 大関真之

JPSJ Papers of Editor's choice
“Nonequilibrium Relations for Spin Glasses with Gauge Symmetry”、日本物理学会

② 大関真之、

平成 21 年度手島精一記念研究賞博文論文賞、
東京工業大学

[2] 新聞報道

大関真之

科学新聞 2010 年 9 月 17 日号.

「スピングラスとジャルジンスキー等式—京大・東工大グループ厳密な関係式解明」