

平成 21年 4月 27日現在

研究種目： 特定領域研究
研究期間： 平成 18 年度～平成 21 年度
課題番号： 18079004
研究課題名（和文） 確率的アルゴリズムの統計力学への応用と開発
研究課題名（英文） Development of probabilistic algorithms to statistical physics
研究代表者 福島 孝治（HUKUSHIMA KOJI）
東京大学・大学院総合文化研究科・准教授
研究者番号： 8 0 2 8 2 6 0 6

研究分野： 情報統計力学
科研費の分科・細目： 物理学・数理物理・物性基礎
キーワード： 統計物理学、情報理論、物性基礎論、計算物理学、不規則系

1. 研究計画の概要

確率的な状態更新であるモンテカルロ法と決定論的な状態更新である確率伝搬法が、大規模確率分布を扱う近似的アルゴリズムとして最近注目されている。これらの二種類の確率アルゴリズムは物理の分野で独立に発見され、様々な問題への応用を通じて相違点が明らかになってきた。本研究では、これらの確率アルゴリズムの相互的な性能評価と統計物理の問題へのさらなる展開を目的とする。

2. 研究の進捗状況

これまでの成果の一つは「稀な事象」を効率よくサンプルする確率アルゴリズムの開発と展開である。めったに起こらないがひとたび実現すると大きな物理的な効果をもたらす事象の研究のための数値計算法の導入を行ったが、合わせて新たな話題として、情報通信の誤り訂正符号の問題で大きな復号誤差を伴う通信ノイズの抽出に応用し、論文にまとめた。また、ランダム行列にも応用し、特に最大固有値がゼロになる、つまり全ての固有値が負になるランダム行列の抽出に成功し、その実現確率の行列サイズに関する漸近形を評価することができた。これまでは理論的に対称性の高い場合のみ解析的な研究がなされてきたが、今後は広く一般の場合の研究に対する数値的な手法が確立できたことになる。二つ目の成果は、この特定領域研究の主要な話題のひとつである情報理論やランダム系の統計力学の問題に共通する二重平均確率モデルに対する数値計算技法の開発である。特に、解析的にはレプリカ法がひとつの重要な手法になるが、その正当性を

吟味するために、レプリカ法の中でとられる極限問題を詳しく調べる必要がある。いわゆるレプリカ極限も問題であるが、我々の目的のひとつはその問題を非摂動的に調べるために数値計算手法を確立することであった。一見、非常に限定的な問題に思われるが、統計力学の手法により、かなり広いクラスの問題は熱欲が二つあり、時間スケールが分離している非平衡統計力学の問題に対応する。今年度はそこでの多体問題に対応できるモンテカルロ法を考案した。それが具体的に実装できることを確認し、生物進化の問題に応用することに成功した。そこでは、有限のレプリカ数の物理的実在を考え、有限温度の性質を使って、進化の重要な概念である頑強性の獲得に関する知見を得ることができた。3つ目の成果として、レプリカ対称性の破れに関する一般的な知見を得たことである。これはレプリカ理論の形式が自然に熱力学構造を持つことから、熱力学的な制約条件がレプリカ理論の中に十分条件として存在することを明示的に利用している。その結果、1段階のレプリカ対称性の破れる解の具体的な構成法を提案するに至った。このことは、レプリカ対称性の破れ方に対する普遍的な性質を明らかにしただけではなく、まだ厳密解が知られていない問題に対する解の構成法の処方箋を与えていることにもなる。今年度は疎結合スピングラス模型について、具体的な解を提示し、数値計算による検証を行った。その途中に解くべき式が、キャピティ理論の導出とまったく一致することも見出した。これにより、ほかの理論で陽に暗に仮定されていた前提条件のいくつかは正当化でき、また物理的な解釈を与えることができた。

3. 現在までの達成度

おおむね順調に進展している。

(理由)

新しいアルゴリズムの提案とその展開が実現できている点は満足できる点である。また、統計物理の文脈での結果も出ている。一方で、確率伝播法の性能評価に関して未成熟な点があるが、これまで理論的検証の困難であった準安定状態の個数に関する知見が昨年度に進んだことで今後の展開が期待される。

4. 今後の研究の推進方策

新しいアルゴリズムの成果は新しい知見を見出したときに得られるように思われるので、統計物理系への積極的な展開を行いたい。また、情報理論への展開は特定領域内での相互の情報提供を行いながら実現していく。

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 15 件)

A.Sakata, K.Hukushima, K. Kaneko, Physical Review Letters, 102(2009)14801.

K. Hukushima and Y. Iba, Journal of Physics: Conference Series, 95 (2008) 012005.

I.A.Campbell, K.Hukushima and H.Takayama, Physical Review Letters, 97 (2006) 117202.

[学会発表](計 47 件)

福島孝治, 日本物理学会 (2008 年 9 月, 岩手大学)

K.Hukushima, International Conference of Statistical Physics 23(2007 年 7 月, Italy, Genova)

K.Hukushima, 日米セミナー
"Simulations of complex behavior from simple models" (2007 年 7 月ハワイ)

[その他]

ホームページ :
<http://www.maildbs.c.u-tokyo.ac.jp/~fukushima/>