

高エネルギー加速器研究機構大型シミュレーション研究成果報告書（平成 23 年度）

(Brief report of the program)

2012 年 5 月 24 日

研究責任者名 Name	中村 純 Nakamura Atsushi	所属機関 Affiliation	広島大学 情報メディア教育研究センター
受理番号 Proposal No.	(T)11-20	研究課題名 Program title	格子 QCD シミュレーションによる有限密度系の研究

研究を終了しましたので、下記の通り報告します。

成果の概要

Abstract

(和文) 有限密度格子 QCD の数値的計算は、高エネルギー重イオン反応、中性子星内部などの理解のための重要な情報を与えることが期待されている。しかし、符号問題のために、モンテカルロ計算の適用が難しく、最も挑戦的な数値シミュレーションとなっている。我々は、クローバー項を含むウィルソン・フェルミオン作用と、改良されたゲージ作用を使って、虚数化学ポテンシャルのプログラムの開発を行った。虚数化学ポテンシャルは、符号問題を持たないため、適当な関数形を仮定することで、実化学ポテンシャルへ解析接続を行い、またそのフーリエ変換を通してカノニカル分配関数の計算を行うことで、有限密度系の情報を得ることが出来る。さらに、有限密度 QCD のシミュレーションを行うためには、経路積分の測度に現われるフェルミオン行列式を直接取り扱う必要がある。Staggered フェルミオンについては縮約公式が知られていたが、Wilson フェルミオンについてはそのような式が知られていなかった。我々はその公式を構築し、さらにその計算の中で非常に高い精度が必要とされる部分に対し可変精度コードを作成した。公式は完成して公表しており、また、 $8^3 \times 4$ のサイズでコードのテスト計算も終了した。次回の研究課題の応募では、これらのコードをさらに大きい格子サイズでの計算も扱えるよう KEK スーパーコンピュータ用に最適化を行っていきたいと考えている。

(英文) Numerical studies of finite density lattice QCD are very important for understanding high energy heavy-ion collisions and neutron stars. However, because of the sign problem, its Monte Carlo calculation is very difficult and becomes one of the most challenging numerical simulations.

We developed a code with the imaginary chemical potential, which employs Wilson fermions with the clover-terms, and an improved gauge action. Imaginary chemical potential results in no sign-problem: we can continue its results to the real chemical potential and also we can construct a canonical partition function from it through Fourier transformation.

For the finite density lattice QCD simulation, it is necessary to calculate the fermion determinant in the path-integral measure. A reduction formula was found for the Staggered fermions, but for Wilson fermions, such a formula was not known. We found a formula for this purpose. It was realized that extremely high accuracy is necessary at an intermediate step, and we developed a variable accuracy code. The formula was published and a test simulation was finished. We plan to tune this code for KEK super-computers in the next application.

研究成果を公開しているホームページアドレス

研究成果の 公表	口頭研究発表 件数	査読付きの学術論文数	プロシーディング 論文数	その他 (投稿中を含む)
	5	0	2	1

成果の公表リスト（それぞれの枠に番号をつけて記入願います。）

口頭研究発表
<ol style="list-style-type: none">1. “格子 QCD シミュレーションによる高密度低温領域の研究”, 元木伸治, 永田桂太郎, 中村純, 26pGA-11, 日本物理学会第67回年次大会, 2012年3月26日, 関西学院大学2. “Wilson フェルミオン行列式に対する縮約公式を用いた有限密度格子 QCD の研究”, 永田桂太郎, 中村純, 26pGA-12, 日本物理学会第67回年次大会, 2012年3月26日, 関西学院大学3. “Studies of finite density lattice QCD based on reduction formula of fermion determinant”, 永田桂太郎, 元木伸治, 中村純. HPCI 戦略プログラム分野5研究会「計算的手法による素粒子論研究の広がり」 - 2011年12月19日, KEK 小林ホール4. “有限密度格子 QCD の研究と高密度への挑戦”, 永田桂太郎, 元木伸治, 中村純. 素核宇融合による計算科学の進展 - ミクロとマイクロのかけ橋の構築 - 2011年12月4日, 合歓の郷5. “Finite Density Lattice Simulation - Small Lattice but Big Dream”, K.Nagata, A.Nakamura, 2nd International Workshop on Quarks and Hadrons under Extreme Conditions - Lattice QCD, Holography, Topology, and Physics at RHIC/LHC -, Nov. 17 (Thu.) - 18 (Fri.), 2011, Raiosha 2F, Hiyoshi campus, Keio University.
査読付きの学術論文(URL を記載)
プロシーディング論文(URL を記載)
<ol style="list-style-type: none">1. “Lattice QCD and High Baryon Density State”, Atsushi Nakamura, Keitaro Nagata, Shinji Motoki, Yoshiyuki Nakagawa, Takuya Saito Proceedings of BARYONS'10, AIP (arXiv:1109.0490), http://arxiv.org/abs/1109.0490v12. “QCD Phase Diagram with Imaginary Chemical Potential”, Keitaro Nagata, Atsushi Nakamura, Proceedings of Hadron Nuclear Physics (HNP) 2011, EPJ web of conference (arXiv:1109.0475), http://arxiv.org/abs/1109.0475v1
その他（学位論文、紀要、投稿中の論文を含む）（URL を記載）
<ol style="list-style-type: none">1. “Towards extremely dense matter on the lattice”, Keitaro Nagata, Shinji Motoki, Yoshiyuki Nakagawa, Atsushi Nakamura, Takuya Saito, to appear in <i>Progress of Theoretical and Experimental Physics (PTEP)</i>, (arXiv:1204.1412), 2012, http://arxiv.org/abs/1204.1412v1
特記（本研究に関係した、新聞記事・著作、受賞など）