

革新的な量子情報処理技術基盤の創出
2021 年度採択研究代表者

2022 年度
年次報告書

伊藤 悦子

理化学研究所 数理創造プログラム
上級研究員

符号問題が生じる場の理論の古典量子計算法の開発

研究成果の概要

最終的な研究目標「空間 3 次元と時間 1 次元の時空における SU(3)ゲージ理論」の数値計算の実装・実行に向けて、さきがけ期間中にはこの理論をリダクションした低次元のゲージ理論の実装・実行・有効な計算法の開発を行う。特に従来のモンテカルロ法では計算が困難な符号問題が生じるパラメータ領域の計算を実行可能にしていくことが重要課題である。

2022 年度は、従来のモンテカルロ法で符号問題が生じる「トポロジカル θ 項をもつシュウィンガー模型」について研究を行い、1 本の論文を出版した(論文 1)。2021 年度出版した論文で、標準的なシュウィンガー模型に「力学的な粒子の電荷を 1 より大きい整数 q にすること」と「 θ 項を導入する」という2つの拡張を行い、その結果、 θ が大きくテスト電荷が力学的な電荷 q の整数倍ではない時に、「正負の電荷間に(引力ではなく)斥力が働く」という奇妙な現象が起こることを示した。2022 年度の論文(1)では、エネルギーの局所的構造や対称性の秩序変数 (カイラル凝縮・擬カイラル凝縮)を調べ、この奇妙な現象の背後にある理論構造についての理解を深めた。また、注意深く連続極限を取り、厳密に知られている結果と高精度で一致することを示し、ハミルトニアン形式に基づいた計算が非常に有望であることを示した。

また、古典モンテカルロ法を用いて有限密度 QCD のトイ模型の研究を行い、論文(2)と(3)を出版した。有限密度 QCD は符号問題の生じる理論である一方、中性子星の内部の理解に必要な重要な理論である。論文(2)(3)では、符号問題が生じないようにカラーの自由度を2に落としたトイ模型を考え、低温・有限密度領域で音速がこれまで知られていた「コンフォーマルバンド」を超えることを世界で初めて示した(論文 2)。また、有限密度領域では、ハドロン(陽子や中性子など)の質量が変化していく示唆を得た(論文 3)。

【代表的な原著論文情報】

1)" DMRG study of the higher-charge Schwinger model and its 't Hooft anomaly "

Masazumi Honda, Etsuko Itou, Yuya Tanizaki, JHEP 11 (2022) 1411

2)" Velocity of Sound beyond the High-Density Relativistic Limit from Lattice Simulation of Dense Two-Color QCD "

Kei Iida, Etsuko Itou, PTEP 2022 (2022) 111B01

3)" Probing hadron mass spectrum in dense two-color QCD with linear sigma model "

Daiki Suenaga, Kotaro Murakami, Etsuko Itou, Kei Iida,

Phys.Rev.D 107, 054001 (2023)