

2023 年度年次報告書

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

伊藤 悦子

京都大学 基礎物理学研究所

准教授

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。

2023 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(論文 1), 1本のプレプリントを arXiv に投稿した(論文 2)。論文 1 ではハミルトニアン形式で書き下した理論で QCD でいう「ハドロン」に対応する複合粒子の質量スペクトルの計算法を3つ提案し、それを $\theta=0$ の場合に関してテンソルネットワーク法(DMRG)を用いて実装, 実行した。その結果は理論的な予想と無矛盾であり、手法によらず精密に決まることを示した。現在さらに符号問題の生じる θ がゼロではない領域に応用し、従来法ではデータの取れなかった領域まで精密な結果が得られるという示唆を得た(論文準備中)。また論文 2 では、同領域の御手洗氏や藤井氏と共同研究を行い、シュウィンガー模型のハミルトニアンをブロック埋め込みを提案し、その実時間発展した際の真空持続振幅の end-to-end の計算量推定を行い、先行研究より有効な計算法であることを示した。

また、有限密度 QCD のトイ模型の解析的研究も行い論文(3)(4)を出版した。低温・有限密度領域でハドロン相互作用(論文 3)や質量スペクトル(論文 4)が密度とともに変化していく示唆を得た。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Calculating composite-particle spectra in Hamiltonian formalism and demonstration in 2-flavor QED_{1+1d}, Etsuko Itou, Akira Matsumoto, Yuya Tanizaki, *JHEP* 11 (2023) 231
- 2) End-to-end complexity for simulating the Schwinger model on quantum computers, Kazuki Sakamoto, Hayata Morisaki, Junichi Haruna, Etsuko Itou, Keisuke Fujii, Kosuke Mitarai, *arXiv*: 2311.17388
- 3) Chemical potential (in)dependence of hadron scatterings in the hadronic phase of QCD-like theories and its applications, Kotaro Murakami, Etsuko Itou, Kei Iida, *JHEP* 02 (2024) 152
- 4) Mass spectrum of spin-one hadrons in dense two-color QCD: Novel predictions by extended linear sigma model, Daiki Suenaga, Kotaro Murakami, Etsuko Itou, Kei Iida, *Phys.Rev.D* 109 (2024) 7, 074031