

革新的な量子情報処理技術基盤の創出
2021 年度採択研究者

2021 年度 年次報告書

伊藤 悦子

理化学研究所 仁科加速器科学研究センター
協力研究員

符号問題が生じる場の理論の古典量子計算法の開発

§ 1. 研究成果の概要

最終的な研究目標である「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のが目標である。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。

2021 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、2本の論文を出版した。

1つ目の論文¹⁾では、1次元空間中に正と負のテスト電荷を置いた時のポテンシャルを測定した。我々のハミルトニアン形式と断熱準備法を用いて質量の小さい領域での解析解との一致を確認し、計算を実装するのに必要な計算量を見積もった。また θ 項があっても計算手法に変更を加えることなく実行可能であることを示した。

2つ目の論文²⁾では、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つの拡張を行った。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。ハミルトニアン形式で**模型を定式化することで符号問題を解消し、この形式と相性のよい量子アルゴリズムを用いたことで、 θ が大きな領域の計算可能になった事**に新しさがある。また、この論文の数値計算により、テスト電荷間のサイトには外側より低いエネルギー状態が生じてそれが崩壊しないことが分かり、その背後にある(近年の場の理論で発展してきた)高次対称性の理解に貢献できた。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Classically emulated digital quantum simulation for screening and confinement in the Schwinger model with a topological term”, Phys. Rev. D 105, 014504
- 2) “Negative string tension of a higher-charge Schwinger model via digital quantum simulation”, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2022, Issue 3, March 2022, 033B01