

2024 年度年次報告書

量子・古典の異分野融合による共創型フロンティアの開拓

2023 年度採択研究代表者

奥田 拓也

東京大学 大学院総合文化研究科

助教

格子ゲージ理論シミュレーションへの量子情報理論的アプローチ

研究成果の概要

2024 年度(研究課題 2 年次)には、昨年度に引き続き測定型量子シミュレーションの理論的研究を進めるとともに、テンソルネットワークを用いた古典シミュレーションの研究、測定型量子シミュレーションの実機デモンストレーションに向けた準備を行った。

まず、測定型量子シミュレーションの理論的研究では、昨年度に扱ったモデルよりも一般的な、CSS 符号の構造を持つ広いクラスの量子多体系に対して、anomaly inflow の現象を明示的に記述する理論を構築した。特に、部分系対称性を持つトポロジカル秩序と、その対称性に守られたトポロジカル秩序の間で生じる anomaly inflow を扱い、測定型量子シミュレーションのリソース状態とトポロジカル物性の接点を理論的に明らかにした。

次に、テンソルネットワークによる古典シミュレーションの研究では、1+1 次元の量子電磁力学であるシュウィンガーモデルにおける臨界現象の解析を行った。ゲージ不変性を明示的に保証する行列積状態(MPS)表示と、それを用いた VUMPS アルゴリズムを独自に開発し、臨界質量の値を従来より二桁高い精度で決定することに成功した。

さらに、測定型量子シミュレーションの実機デモンストレーションに向け、クラウド上の量子コンピュータでの実行を見据えた準備も進めた。具体的には、シミュレーション回路の設計と古典コンピュータ上でのエミュレーションを可能にするプログラムを開発し、回路の検証とデバッグを行った。これにより、実機での実証実験に向けた基盤を整えた。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Okuda, T., Parayil Mana, A., Sukeno, H. Anomaly inflow, dualities, and quantum simulation of Abelian lattice gauge theories induced by measurements. *Phys. Rev. Research* **6**, 043018 (2024).
- 2) Okuda, T., Parayil Mana, A., Sukeno, H. Anomaly inflow for CSS and fractonic lattice models and dualities via cluster state measurement. *SciPost Phys.* **17**, 113 (2024).