

2023 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

研究課題初年次である 2023 年度は、測定型量子シミュレーションの理論的研究を行なった。測定型量子シミュレーションとは、研究代表者と助野裕紀氏が論文 *SciPost Physics* 14, 129 (2023) で提唱した、ハミルトニアン形式の格子ゲージ理論の時間発展をシミュレートする枠組みであり、シミュレートするモデルに応じて準備したリソース状態(近距離エンタングルメントを持つ量子状態)に対して適応的な単一キュービット測定を行うことでロッタター化した時間発展を実現する。

シミュレートされる理論とリソース状態は、定義される空間の次元が後者の方が一つ大きくなっており、ホログラフィックな対応になっていることを予想していた。2024 年 2 月に発表した Parayil Mana 氏・助野氏との共著プレプリントでは、この対応を極めて具体的にすることに成功した。すなわち、シミュレートされる理論の低エネルギー極限である「トポロジカル秩序」とリソース状態が持つ「対称性に守られたトポロジカル(symmetry-protected topological = SPT)秩序」に対して自然な分配関数の定義を与え、後者が境界を持つ時に両者のゲージ変換が等しくなることを定量的に示した。また、Z2 ゲージ場がヒッグス場と結合した理論である Fradkin-Shenker モデルを測定によりシミュレートするプロトコルを提案した。さらに、Wegner モデルという一般化されたゲージ理論や Fradkin-Shenker モデルに対して、双対性の変換を測定により実現する方法を与えた。近年大きな注目を集めている量子多体系が測定に対して示す性質を、本研究は独自の切り口で説明することに成功している。

またゲージ不変な行列積(1次元テンソルネットワーク)表示による、格子ゲージ理論の古典シミュレーション法の開発を進めた。