

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

池田 達彦

理化学研究所 量子コンピュータ研究センター／科学技術振興機構
研究員／さきがけ研究者

多体波動関数物性の量子シミュレーション

研究成果の概要

本研究の目的は、商用量子コンピュータ実機および GPU シミュレータを使って量子多体系(特にその非平衡状態)の波動関数を解析するための技術的基盤を構築することである。量子多体系の数値解析は(系の自由度の)指数関数的に困難になるため少数自由度の解析に限られてしまうが、量子技術によってこの困難を乗り越えることを目標としている。ひいてはこの技術を用いて、物性物理学や量子統計物理学の未解決問題を解決することを目指している。

2022 年度は、量子多体系の波動関数の時間発展をシミュレートするために広く用いられている Trotter 分解の理論について成果が得られた。Trotter 分解は補助量子ビットなしに時間発展を小さな量子ゲートの集まりに近似的に分解し、NISQ 時代のダイナミクスシミュレーションの基礎理論として認知されているが、非平衡物性物理学で特に興味を持たれる時間依存ハミルトニアンの場合については十分に理解されていなかった。本研究では、このようなケースについて、Trotter 分解公式を「最小性」という観点から検討を行った。ここで最小性とは、与えられた精度(次数)を達成する分解の中でゲート数が最小になるという意味であり、量子コンピュータでの実装上特に重要になる観点である。検討の結果、これまで知られていた複数の 2 次精度の公式が最小であることを確認し、続いて既存の 4 次公式(鈴木公式)が最小ではないことを示し、さらに最小の 4 次公式を新たに発見した。加えて、最小ではないが既存の公式よりもゲートが少なくかつ誤差が小さい公式も発見した。これらの成果は、量子多体系の非平衡現象を量子コンピュータ上で精度良くシミュレートするための基礎になる理論である。次年度以降、この基礎理論をさらに発展させるとともに、これに基づく実機研究へ繋げていく。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Tatsuhiko N Ikeda, Asir Abrar, Isaac L Chuang, Sho Sugiura, “Minimum Fourth-Order Trotterization Formula for a Time-Dependent Hamiltonian,” arXiv:2212.06788