

変革を駆動する先端物理・数学プログラム (FoPM)

国外連携機関長期研修 報告書

氏名	田宮志郎
所属部局	工学系 研究科 物理工学 専攻
受入先	Institute for Quantum Optics and Quantum Information - IQOQI Vienna, the Austrian Academy of Sciences
日程	西暦 2022年 2月 20日 ~ 西暦 2022年 3月 20日

【受入先での研究内容】

今回の研修では、受入先の研究機関である IQOQI Vienna の Marcus Huber グループにて量子アルゴリズムと量子誤り訂正符号の研究を行った。

(1) 高速な量子機械学習アルゴリズムの構築

量子コンピュータとは、従来の計算機とは異なる量子論の公理にしたがって動作する計算機である。量子コンピュータ上でスケラブルに実行可能な量子アルゴリズムは、素因数分解や量子シミュレーションなど様々なタスクにおいて従来の計算機で動作するアルゴリズムに対する高速性が示されている。その中で量子コンピュータがひいては量子力学がどのようなタスクに優位性を示すのかについて理解を深めるために、機械学習などで重要な役割を果たすサンプリングタスクへの応用を視野に入れてアルゴリズムの構成を試みた。

(2) ランダム量子回路によって生成される量子誤り訂正符号の性能評価

量子情報処理を行うためにはノイズから量子状態を保護する量子誤り訂正符号が必要不可欠である。特にランダムな量子回路によって生成される誤り訂正符号は量子通信において原理限界に近い高符号化率を達成するという点で興味深いだけでなく、ブラックホール物理学や量子カオスなどの基礎物理学への理解に貢献する興味深い研究対象である。今回の研修では、ランダム量子回路によって生成された量子誤り訂正符号についての性能評価の手法とその応用の探索を行った。

【成果】

(1) 滞在期間の中で機械学習や数値解析の専門家との議論により、従来の計算機では困難だが量子アルゴリズムによって高速化が見込めるサンプリングタスクの候補を得た。またそのうちの一つのタスクについては自由電子のダイナミクスとの関連性が明らかになったことにより、アルゴリズム構成を与えることに成功した。今後はゲート分解を考えることで既存のアルゴリズムに対する高速性を示すことを目標とする。

(2) 受入先研究機関への滞在前に確立していた性能評価の手法について、現地の共同研究者との議論を通じて理解を深めた。また独立エラーと相関エラーに対するランダム量子回路の量子誤り訂正能力についての興味深い相違を発見し、その現象に対する解釈を得た。またランダム回路に関心のある受入先研究機関の研究者と議論し、測定誘起相転移と呼ばれるランダム量子回路と量子誤り訂正符号と関係が示唆されている物理現象についての知識を得た。我々の量子誤り訂正符号の性能評価手法を応用するテーマとして有望だと考える。

【現地での経験】

・セミナー・講演

IQOQI Vienna で開催されたワークショップ Quantum information processing and quantum machine learning (QIP-QML 2022)にて講演を行った。変分量子アルゴリズムにおける回路最適化を効率良く実行する最適化手法について発表した論文、Stochastic gradient line Bayesian optimization for efficient noise-robust optimization of parameterized quantum circuits について発表し、関連分野の研究者と議論を行った。特に変分量子アルゴリズムの実験実証を行っている研究グループとの議論では、該当研究室の光学系を用いた実装のボトルネックと提案したアルゴリズムがその解消にどのように貢献できるかについて議論を行なわれ、有意義であった。

- ・現地の研究者との交流

滞在先の IQOQI 同じ研究棟の研究者が共同で使用するお茶部屋があり、軽食を取りながら様々な分野の研究者と交流を深めることができた。その中で自身の研究と関係が示唆される複雑ネットワークについての知識を得られたことはよい収穫であった。また滞在当時はコロナ禍の影響で研究環境の制限を経験したが、日本と海外の研究環境との相違を知ることで、帰国後の生産的な環境づくりに活かすことができた。