

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 量子ハイブリッド組合せ最適化アルゴリズム開発

2. 個人研究者名

平石 秀史（日本大学理工学部数学科 准教授）

3. 事後評価結果

本研究では組合せ最適化問題に対する量子・古典ハイブリッドアルゴリズムの構築を目的としている。このため、中・小規模量子ゲート計算機において量子アルゴリズムを設計する上で効果的な分解が可能となる条件の解明と NISQ への実装を目指した。本研究では、組合せ最適化問題を解く上で基礎的なサブルーチンとして期待される、グラフ上の量子探索アルゴリズムである量子ウォークの省サイズ回路構成方法とイジング分配関数計算の近似率向上が可能なグラフクラスの検討を行った。前者については量子算術演算を QFT を用いて位相上で行うことにより、従来よりもサイズが小さい実装方法を見出し、IBM の NISQ 上で既存の手法よりも高い精度を実現した。後者については量子グラフ状態を用いた内積表現を用いて多項式長の回路サイズでイジング分配関数を計算するアルゴリズムの改良に取り組んだ。特に密な二部グラフの場合に近似率が改善できる制約条件を見出した。また、このアルゴリズムを拡張することによりイジング分配関数計算以外へのグラフ上の数え上げ問題を量子状態の内積表現を通じて近似計算する回路を構成できた。

当初の基本的アイデアは、グラフ構造を古典で解ける部分と解けない部分に分割して後者を量子コンピュータで行うことによって小規模な量子コンピュータでも効率的な計算を行うことであったが、これについての検討はなされていない。これは調査の結果、問題の難しさが判明したことにより、効率的に計算できる構造の研究にシフトしたことによる。研究を進めるうえで致し方ないところもあるが、採択の理由が、この組み合わせ最適化問題に対する量子-古典ハイブリッドアルゴリズムの創出への期待であっただけに残念な思いが残る。実機での実行が困難であるとしても分割法に関する量子アルゴリズムは提案・検討できるはずなので研究計画の修正方針には検討の余地があったように思われる。また、実機での実証にこだわりすぎた部分もあるように思われる。先行して理論研究をすすめるとより大きなインパクトが得られることが期待できる。

本研究期間中に研究者が異動したことに伴う研究環境の変化により、量子アルゴリズムの実機での実装・実験のための研究補助者の確保といった研究実施体制の構築や、人件費などの研究費の執行に困難があったようである。

グラフ最適化は極めて重要かつ有望な応用であり、量子コンピュータへの適用を探索する上で挑戦的な課題である。今後は量子ウォークやイジング分配関数の研究と組み合わせ、これらの研究と最適化との関係を明確にし、有用なアルゴリズム提案へとつなげていくことが期待される。当初のアイデアは野心的であったが、方法論を再考して目標が達成されれば社会に対して大きなインパクトが見込める。

なお、研究者はさきがけ期間中に東京大学大学院情報理工学研究科助教から日本大学理工学部数学科准教授に昇任した。