

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： テンソルネットワークによる量子状態圧縮技術の高度化

2. 個人研究者名

上田 宏（大阪大学量子情報・量子生命研究センター 准教授）

3. 事後評価結果

当初計画にあったクリロフ部分空間法に類似した手法による量子回路生成手続きについては海外研究者との競合もあって中断しているが、より自身の強みを生かす形で計画を変更して成果を上げている。当初より構想されていたテンソルネットワークの知見を活かした量子回路表現の研究開発に関して、自動量子回路符号化アルゴリズム (AQCE) を開発した。この AQCE アルゴリズムは 2-3 量子ビットでは十分な精度で所望の量子状態が得られることを量子コンピュータの実機で確かめている。また、AQCE の知見を活かして、任意の量子多体系の基底状態を最良近似できるツリーテンソルネットワーク構造を状態のエンタングルメントエントロピーを監視しながら動的に探索するアルゴリズムを開発した。さらに、物性物理で多く見られる対称性を仮定して問題を限定することによって 1000 量子ビット級の厳密なシミュレーションを行うソフトウェア QS³ を開発し GitHub で公開している。これらのことから本プロジェクトでの目的は達成したものと評価できる。

プロジェクト期間中に理研から阪大への異動に伴って研究開発環境が変化した。研究費を適切に利用することで問題なく対応できている。

開発された QS³ ソフトウェアは公開され広くコミュニティで利用できるようになっている。ノイズを考慮した 1000 量子ビット程度のランダム量子回路シミュレーションが行えることは、近い将来大規模 NISQ 型量子コンピュータが出現した際のベンチマークや正常動作の検証に用いるデータセットを提供できる。また、既存の古典的データを自動的に量子回路化する AQCE は従来のコンピュータ技術で得られたデータを量子コンピュータ上で走らせるための重要なツールとなりうる。これらのことから、近い将来の量子コンピュータ開発に有用なツールを開発する基盤が作られている。同時に、テンソルネットワークそのものに対する新たな知見も得られており、物性物理の研究に還元することも期待できる。今後、本プロジェクトで開発されたツール群を拡張することにより、量子多体系ダイナミクス の 解 明、離散格子点上の希薄粒子系の物理への貢献が期待できる。また、これらの物理的問題に帰着できる問題群の探求によりさらに適用範囲を拡大することを希望する。

本プロジェクトで導入された近似的な量子回路表現と分割統治による最適化は、今後の量子コンピュータに有用な概念であると評価できる。また、大規模シミュレーションや量子回路の自動生成は実機や応用ソフトウェアの開発に活用されることが期待できる。今後は、開発されたツールの研究開発現場での有効性を実証してゆくことが必要である。そのためには、ツールの高度化・一般化のみならず、ユーザインターフェースの開発も重要である。また、量子コンピュータの開発者や古典コンピュータサイエンスの研究者、マテリアルその他の応用分野の研究者などとの協働によるさらなる発展を期待する。

なお、本研究者は本プロジェクト期間中に大阪大学量子情報・量子生命研究センター准教授に昇任した。