

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	早川 龍
論文題目	Quantum algorithm for persistent Betti numbers and topological data analysis (パーシステント・ベッチ数およびトポロジカルデータ解析に関する量子アルゴリズム)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は量子アルゴリズムに関する理論的研究である。量子アルゴリズムの研究は量子計算における重要な分野の一つであり、古典では高速に計算する方法が知られていないような問題に対し、量子計算を用いることにより高速な計算を実現するアルゴリズムを開発することを目的とするものである。</p> <p>本論文では、特に、近年機械学習の分野において注目を集めているトポロジカルデータ解析において重要となる「パーシステント・ベッチ数」の近似値を高速に推定する量子アルゴリズムの開発を行った。ベッチ数の近似値を推定する量子アルゴリズムについては、Lloydらの先行研究があるのみであり、より重要な量であるパーシステント・ベッチ数の推定についてはこれまで高速な量子アルゴリズムは知られていなかった。</p> <p>今回、本論文において、初めて、パーシステント・ベッチ数の近似値を高速に推定する量子アルゴリズムが提案された。このアルゴリズムにおいては、量子特異値分解や、ブロックエンコーディングといった、ここ数年提案されてきている新しい手法をふんだんに使い、また、パーシステント・ベッチ数の推定をハミルトニアン基底状態の縮退度に関連付けるというアイデアにより、高速な量子アルゴリズムを実現した。</p> <p>この量子アルゴリズムは現在知られている最も高速な古典アルゴリズムと比較して、高速であることが指摘されている。(定数精度の近似については実は古典でも高速に計算できることがつい最近指摘されたが、本論文で示した多項式分の1精度の領域ではまだ量子の優位性がある。)</p> <p>本論文で得られた成果は、実用的でありしかも古典のベストのアルゴリズムに比べて量子の優位性があるような量子アルゴリズムの実現、という量子計算の分野において最も重要なゴールに対し、重要な一歩となるものである。また、本アルゴリズムの計算量理論的視点からの量子優位性についても、DQC1モデルで判定できる問題のクラスとの関連がわかっており、今後の進展が期待される。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は近年機械学習等の分野で重要になってきているトポロジカルデータ解析に関して、パーシステント・ベッチ数の近似値の推定を高速に行う量子アルゴリズムを理論的に構成したものである。

本論文については審査の結果、博士の学位にふさわしい、結果の新規性、重要性が高いレベルで認められた。とりわけ、パーシステント・ベッチ数の推定の機械学習やトポロジカルデータ解析における意義、その推定をハミルトニアンの基底状態の縮退度にマップする技術的方法、量子特異値分解やブロックエンコーディングをどのように使用して高速アルゴリズムを実現したのか、量子アルゴリズムの速度の見積もり、古典のアルゴリズムと比較しての量子の優位性についての詳細についての技術的内容について検討がなされた。

また、本論文の成果が今後量子計算の分野においてさらに、どう貢献していくのか、とりわけ、計算量理論的視点からの量子優位性の証明や、量子化学等の他の分野における高速な量子アルゴリズムの開発、といった点についても検討がなされ、本成果の将来の有望性も認められた。本成果をベースに、高速量子アルゴリズムに関する研究の今後のさらなる発展が強く期待される。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和6年1月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降