

2025年3月19日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

量子もつれを破壊しないで特性評価できる アルゴリズムを開発

— 量子情報処理のセキュリティ強化や情報処理能力向上に期待 —

【発表のポイント】

- 量子コンピューターの量子特性の測定精度を向上させるため、量子もつれ^(注1)の検出を最適化する量子アルゴリズムを提案しました。
- 局所測定による量子もつれの破壊を防ぐため、非局所測定法を導入し、もつれの状態を保護するものであり、検出と保護の両方を行う量子アルゴリズムが使われたのは今回が初めてです。
- 量子コンピューター、量子通信、量子暗号などに応用可能なものであり、実社会における情報セキュリティ向上や情報処理能力の向上に寄与することが期待されます。

【概要】

量子もつれは量子力学の基本概念であり、量子コンピューターは量子もつれの上に構築されています。同時に、量子コンピューターはその性質を調査し、明らかにするための強力なツールでもあります。

東北大学学際科学フロンティア研究所の Le Bin Ho 助教と英国ロンドンのパブリックスクールであるセント・ポールズ・スクールの Haruki Matsunaga 氏は、量子コンピューターによる量子もつれの検出を強化し、もつれて（エンタングルして）いるかどうかを判定する手法のエンタングルメント・ウィットネスによる測定を最適化する、変分エンタングルメント・ウィットネス方式（VEW）を提案しました。従来の局所的な測定では量子もつれを破壊してしまうことがありますが、本研究では非局所的な測定法によって、量子もつれの破壊を引き起こすことなく量子特性を測定するアプローチを導入しました。量子もつれの検出と保護の両方を行う量子アルゴリズムが使われたのは今回が初めてです。

本アルゴリズムは、量子コンピューター、量子通信、量子暗号などの分野で応用され、実社会における情報セキュリティ向上や情報処理能力の革新に寄与することが期待されます。

本成果は、3月4日、米国物理学会の学術誌 Physical Review Research に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

量子もつれの検出と保護は、量子コンピューター、量子通信、量子暗号といった量子技術の発展において重要な課題です。特に、もつれの存在を確認するために広く用いられる非局所性の概念は、量子システムの基礎的な理解においても重要な役割を果たしています。学术界と産業界では、精度の高いもつれ検出手法の開発に強い関心が寄せられています。しかし、CHSH 不等式^(注2)の破れを利用したもつれの測定は、遠く離れた量子系では期待値の測定が困難であり、さらに局所測定によってもつれが破壊されてしまうという課題があります。

これらの課題を解決しない限り、量子もつれを活用した高精度な量子センシングや分散型量子計算の実現は困難です。特に、量子ネットワークの発展には、遠隔地にある量子系のもつれを維持しながら正確に検出する技術が不可欠です。さらに、実験的な制約を考慮すると、従来の手法では大規模な量子システムへの適用が難しく、新しい測定技術の開発が求められています。

今回の取り組み

本研究では、量子コンピューターによる量子もつれの検出を強化し、エンタングルメント・ウィットネスによる測定を最適化する、「変分エンタングルメント・ウィットネス方式 (VEW)」という新しい方法を提案しました。従来の局所的な測定では量子もつれを破壊してしまうことがありますが、この方法は、非局所的な測定法（遠く離れた場所に影響を与えるような方法）によって、波動関数の崩壊を引き起こすことなく量子特性を測定するアプローチです。量子もつれの検出と保護の両方を行う量子アルゴリズムが導入されたのは今回が初めてであり、従来の測定の課題を克服するものです。

今後の展開

本研究がもたらす社会的な影響は、量子技術の進展に直結しています。量子もつれの解析に関する新しいアルゴリズムは、量子コンピューター、量子通信、量子暗号などの分野で応用され、これらの技術が実社会におけるセキュリティ向上や情報処理能力の革新に寄与する可能性があります。特に、量子暗号技術の安全性を高めることができれば、情報社会におけるデータ保護に革命的な進展をもたらすでしょう。

学術的な観点からも、本研究は量子力学の理解を深め、量子もつれの性質を新たに解明するための重要なステップとなります。量子コンピューターの開発を加速させるとともに、量子もつれを測定・保護するための信頼性の高い方法が提供され、今後の研究に新たな道を開くことが期待されます。

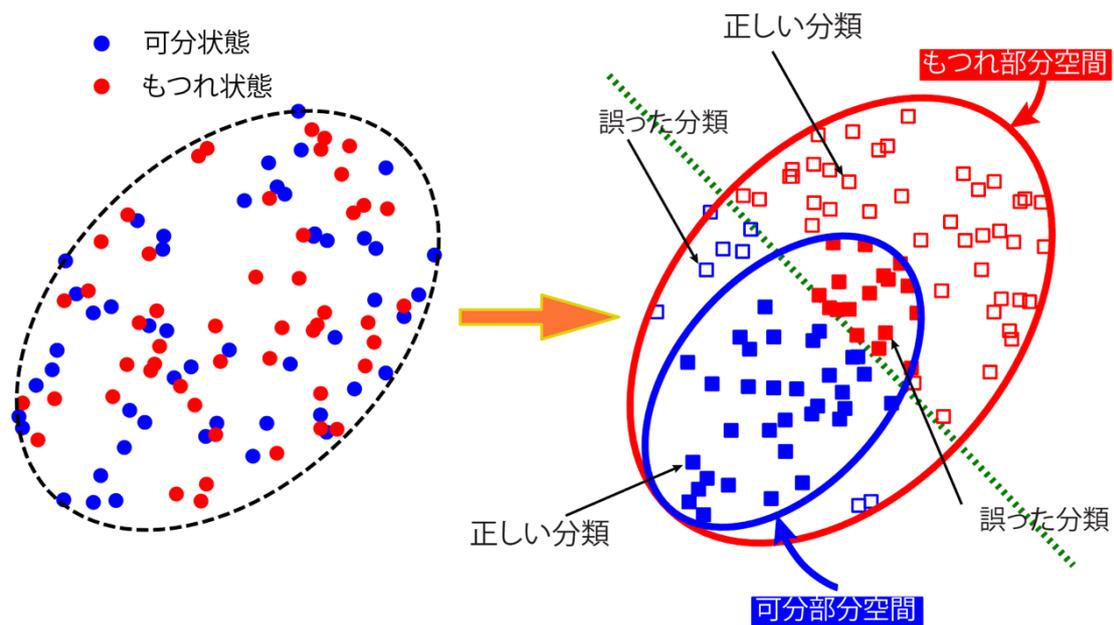


図 1. 変分エンタングルメント・ウィットネス (VEW) 方式の可視化。左：評価を待つ多くの量子状態が並んでいます。各状態は VEW 法を使用して一つずつ分析されます。右：結果に基づいて、状態はもつれ部分空間（赤い楕円）または可分部分空間（青い楕円）に分類されます。

【謝辞】

本研究は、JSPS 科研費 23K13025 の助成を受けたものです。

筆頭著者の Haruki Matsunaga 氏（セント・ポールズ・スクール）は、Le Bin Ho 助教の指導のもと、東北大学で夏期研究を行いました。

【用語説明】

- 注1 量子もつれ：複数の粒子間に量子力学的な相関がある状態。量子もつれ状態にある2つの光子（電子、量子ビットなど）では、片方の状態が決まるともう一方の状態もそれに応じて決まり、その関係は粒子間の距離に依存しないといった特異的な性質である。これを応用した量子計算、量子テレポーテーション、量子暗号などが研究されている。
- 注2 CHSH 不等式：二体系の特定の観測量について、量子もつれなど量子力学固有の現象がなければ保たれる不等式。CHSH 不等式を検証することによって、量子力学的状態が実際に存在するかどうかを確かめることができる。1969年に不等式を提唱した米国の物理学者である John Clauser、Michael Horne、Abner Shimony、Richard Holt の4人の名字の頭文字から名付けた。

【論文情報】

タイトル : Detecting and protecting entanglement through nonlocality, variational entanglement witness, and nonlocal measurements

著者 : Haruki Matsunaga, Le Bin Ho

*責任著者 : 東北大学学際科学フロンティア研究所 新領域創成研究部

助教 Le Bin Ho

掲載誌 : Physical Review Research

DOI : 10.1103/PhysRevResearch.7.013239

URL : <https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.7.013239>

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学学際科学フロンティア研究所

助教 Le Bin Ho

TEL: 080 -7853-1252

Email: binho@fris.tohoku.ac.jp

(報道に関すること)

東北大学学際科学フロンティア研究所

特任講師 児山 洋平

TEL: 022-795-4353

Email: yohei.koyama.e2@tohoku.ac.jp