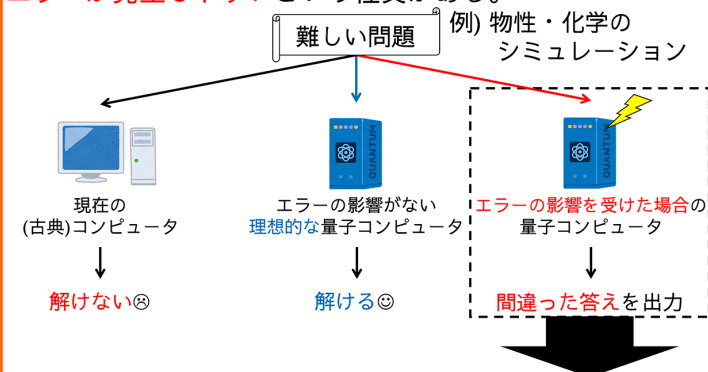


<p>どんな研究</p>	<p>より多くの量子ビットを持つ量子コンピュータの実現が進む一方で、量子ビットが増えると、ある量子ビットへの操作が他の量子ビットにエラーを引き起こし計算結果が正しくなくなる可能性が増します。本研究は、量子コンピュータの計算結果の正しさを検証する技術を提案します。</p>
<p>どこが凄い</p>	<p>従来の検証手法は、エラー訂正が可能なフルスペックの量子コンピュータを想定していました。しかし、エラー訂正技術は高コストなため、近未来に実現する量子コンピュータはエラー訂正ができません。我々の手法は、そのようなフルスペックではない量子コンピュータに適用可能な検証技術です。</p>
<p>めざす未来</p>	<p>近未来の量子コンピュータは維持に高度な技術が必要なため、個人での所有は困難です。そのため、クラウド化とエラー検知の両立が重要であり、計算結果の検証は特にこの両立に必須です。われわれの手法を発展させ、世界中どこでも量子コンピュータの恩恵を受けられる社会の実現をめざします。</p>

背景と成果の概要

量子コンピュータは、**高い計算能力を有している一方で、エラーが発生しやすい**という性質がある。



計算結果がエラーの影響を受けていないかの検証が重要

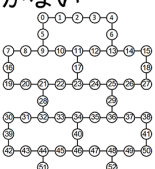
✓ キーポイント: 古典コンピュータ、または検証される量子コンピュータよりも量子ビット数が少ない量子デバイスで、計算結果の検証を行いたい

われわれの成果^[1] NISQ... Noisy Intermediate-Scale Quantumの略 **NISQコンピュータ(エラー訂正機能がない近未来の量子コンピュータ)の出力が正しいかを検証する方法の発見**

NISQコンピュータ

近未来に実現すると期待されている量子コンピュータは、

- 計算途中に発生したエラーを訂正する機能がない
 - 疎結合のため、2量子ビット操作が限定的
- **長時間の複雑な計算を行うことが困難**

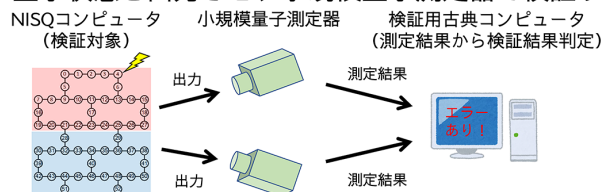


IBMのNISQコンピュータチップ (模式図)

課題 フルスペック量子コンピュータ用の**既存の検証手法**は、複雑な量子計算が実行できているかをチェックするので、**NISQコンピュータへの適用が困難**

提案する検証手法の詳細

アプローチ 検証対象のNISQコンピュータに、計算結果を表す量子状態を出力させ、小規模量子測定器で検証する。

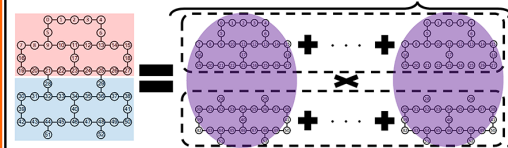


問題点 出力を2分割し個別に測定すると、(赤と青の間の)量子状態の関係性(量子相関)の情報が得られず、検証ができない

解決策 量子相関を相関がない量子状態の和・積^{*}で表現し、上記の測定を繰り返すことで和・積の必要部分だけチェック

→ **量子相関の情報を失わず、正しい検証が可能に!!**

着眼点 一般には“状態”の数が多くと検証精度が悪化→NISQの場合は実は多くならない



着眼点 掛け算を全て検証すると検証時間が長くなる → ランダムに $O(S^{2/3})$ 個 (紫のパターン) だけ検証すれば十分

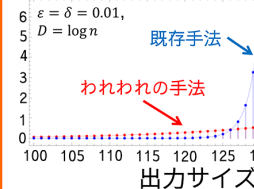
既存手法^[FL11]との比較

既存手法よりも、少ないサンプル数(NISQコンピュータの動作回数) S で検証を行うことができる。

ϵ : 検証精度(誤差の値)
 δ : 誤差が ϵ 以上になる確率
 D : 2分割した出力にまたがる量子操作の数
 NISQコンピュータの場合、 $D = O(\log n)$

$$S = O\left(\frac{2^{12D}}{\epsilon^6} \left(D + \log \frac{1}{\delta \epsilon^4}\right)^3\right)$$

サンプル数($\times 10^{44}$)



130量子ビットを扱える NISQコンピュータにおいて、従来手法よりも800万倍以上少ないサンプル数で検証が可能

関連文献

[1] Y. Takeuchi, Y. Takahashi, T. Morimae, S. Tani, “Divide-and-conquer verification method for noisy intermediate-scale quantum computation,” *Quantum*, Vol. 6, p. 758, 2022.

連絡先

竹内 勇貴 (Yuki Takeuchi)
 メディア情報研究部 情報基礎理論研究グループ