

# 08

## 小さな窓から量子世界の全てをコントロール

### 量子系の間接的制御が持つ可能性を探る

#### どんな研究

量子的な系の全てを直接制御できることは稀です。仮に直接制御をしようすると、ノイズがそのシステムに混入してしまいます。本研究では、ノイズを減らすために、あえて直接制御を避けて**間接的に量子系を制御をした場合の制御上の影響を数学的に探究しています。**

#### どこが凄い

間接的に量子系を制御しようとするとき、一般にどのような制御が可能になるのかを明らかにしました。その結果、直接制御可能な量子系の**自由度が3以上あればそれ以外の直接制御不可能な量子系の自由度がどれほど大きくても実質的には任意に制御できるなどの普遍的な事実を発見**しました。

#### めざす未来

量子系を間接的に自在に制御できるようにすることで、量子計算機をはじめとする**量子情報処理におけるノイズ問題のブレイクスルー**を起こします。これによって、遠隔での完全秘密乱数共有や巨大な因数分解といった、量子情報処理によって初めて可能になる機能を実際に実現します。

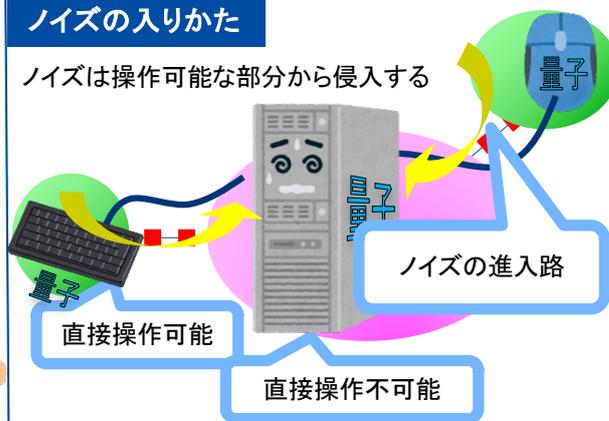
#### 現在の量子計算機



- ・ I社やG社の量子計算機は53量子ビット使えるようになったが、ノイズも混入
- ・ スケールが大きくなるとノイズは増加
- ・ 数千ビット以上の大きい数の因数分解には、ノイズを小さく抑えて、数百万量子ビット必要

#### ノイズの入りかた

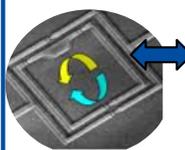
ノイズは操作可能な部分から侵入する



新しい方針：**あえて制御の容易性を犠牲にしてノイズの侵入を防ぐ**

#### ノイズを減らすための理論的手段

直接制御できないがノイズの影響を受けにくい量子系を、多少ノイズの影響は受けるが直接制御できる小さな量子系と相互作用させて、全体を量子計算機として利用



例: 超電導量子ビット

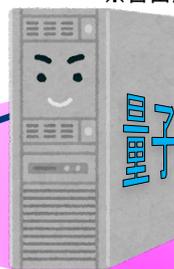
ノイズが減少?!



#### 一疑問一

制御可能な自由度 $\times$ を減らせば制御回路からのノイズは減少するが、ちゃんと制御できるのか?

※自由度: 3量子ビットならば8



例: ダイヤモンド中のNVセンタ

発見した事実: **自由度が2つの場合はダメだが、3つ以上あれば自在に量子系全体を制御可能**  
**いかなる相互作用でも成り立つ普遍的な事実 (詳細は右に)**

➡ **ノイズを低く抑えつつ量子ビットの数を飛躍的に増やせる可能性が!!!**

#### 数学的背景

間接制御の場合、実行可能な操作(行列)の集合が下記の形式で必ず書けることを発見

$L \approx$

$$\mathcal{L}(su(d_S) \otimes J \cup i I \otimes [J, J])$$

$J$ という集合が満たす条件(特定の操作に関して閉じている)から、背後の量子的なシステムが存在する空間が持つべき構造を発見

直接制御できる一部の量子系の次元が2次元か3次元以上かによって、 $J$ に要求される条件が変わることが左記の普遍的な事実を保証

#### 関連文献

- [1] G. Kato, M. Owari, K. Maruyama, "Algebra and Hilbert space structures induced by quantum probes," *Annals of Physics*, Vol. 412, 168046, 2020.  
[2] G. Kato, M. Owari, K. Maruyama, "Hilbert space structure induced by quantum probes," in *Proc. 11th Italian Quantum Information Science conference (IQIS2018)*, 2019.

#### 連絡先

加藤 豪 (Go Kato) メディア情報研究部 情報基礎理論研究グループ  
Email: cs-openhouse-ml@hco.ntt.co.jp

