

馬場 翔太郎 (Shotaro Baba)

工学系研究科物理工学専攻 沙川研究室 博士課程2年



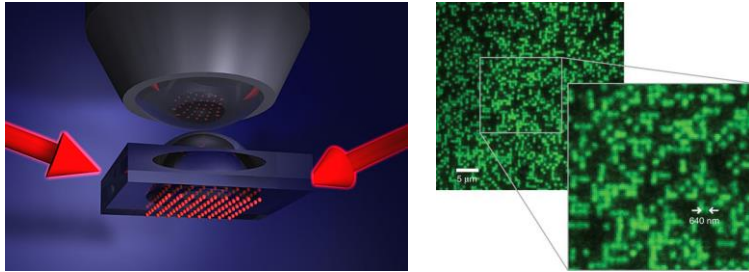
研究テーマ：機械学習による量子多体ダイナミクスの制御方法の構築

- スキル：
- C++, Python, Julia等複数のプログラミング言語を研究に利用.
 - 研究室の計算機, ネットワークの管理

- 経験：
- 複数の研究会の世話人, 座長
 - 文化祭の企画の班長

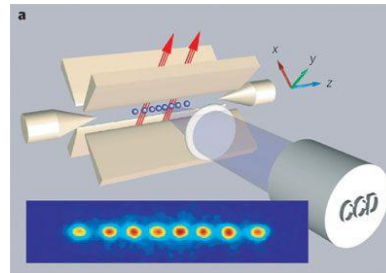
量子多体系の実験的な実現

冷却原子系



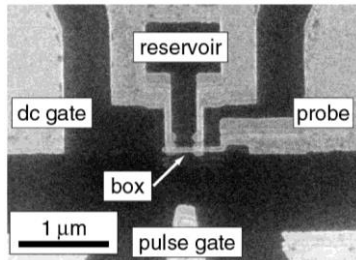
W. S. Bakr et al., Nature (2009)

イオントラップ

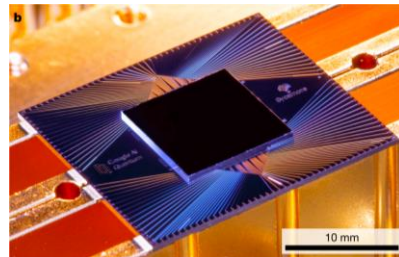


R. Blatt & D. Wineland, Nature (2008)

超伝導量子ビット



Y. Nakamura et al.,
Nature(1999)



F. Arute et al., Nature (2019)

量子情報処理, 量子計算に向けて...

目的の量子状態を作る技術の発展が必要

なぜ強化学習か？

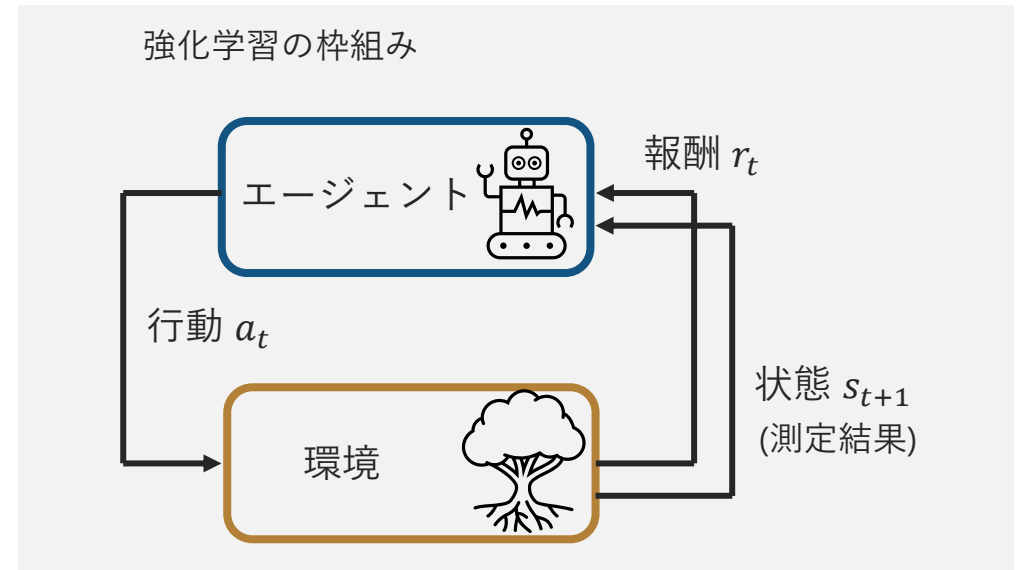
- 量子多体系の制御に関する解析的なアプローチは限定的
- 量子多体系はサイズが大きくなると数値計算が困難→従来の数値的最適化手法に限界

解析的な解が無く、更に実験系のノイズが含まれた状況に
応用できる量子状態準備プロトコルの構築方法は？

- ➡ **機械学習**
- 教師あり学習
 - 教師なし学習
 - **強化学習**

強化学習

- 設定した報酬を最大化するような行動を選ぶ戦略を自動的に学習する
- エージェントは状態 s_{t+1} と報酬 r_t のみを知ることができる (環境に関する完全な情報を知らない)



エージェント(制御器, 学習者): 環境に作用する行動を選ぶ

環境: 制御する対象 例: 量子系

研究の設定

- 目的：フォック状態と猫状態をつくるプロトコルの構築

量子計算，量子計測等の実用的な応用に必要

フォック状態については，強化学習を用いない解析的な先行研究あり

→先行研究より高速なプロトコルの発見を目指す

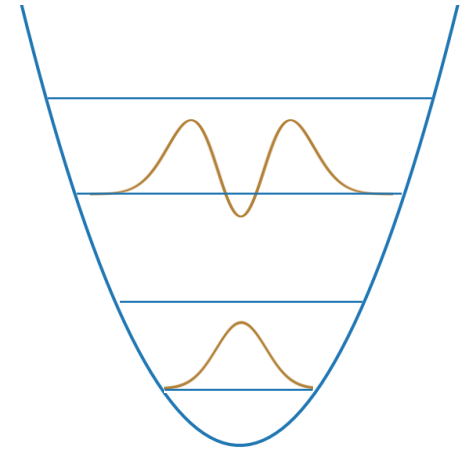
M. A. Simón *et al.*, PRR. **2**, 023372 (2020).

- 系:
$$H(t) = \frac{p^2}{2M} + \alpha x^2 + \frac{V(t)(1 - x^2/D(t)^2)^2}{}$$

制御項: x^2, x^4 (非線形)

簡単のため, 偶数番目のフォック状態, 対称な猫状態に目的を限定
空間的に対称

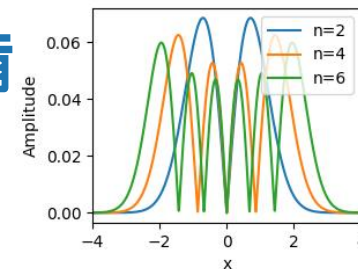
$V(t)$ & $D(t)$ は離散的



- 報酬：目的の状態と現在の状態の波動関数の重なり（忠実度） $|\langle \psi_{\text{target}} | \psi(t) \rangle|$
- 測定結果（状態）：占有数（状態ごとの波動関数の重み） $\{|\langle n | \psi(t) \rangle|\}_{n=0, \dots}$

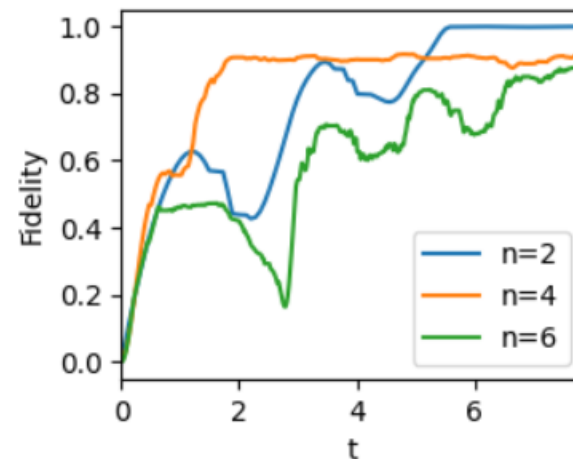
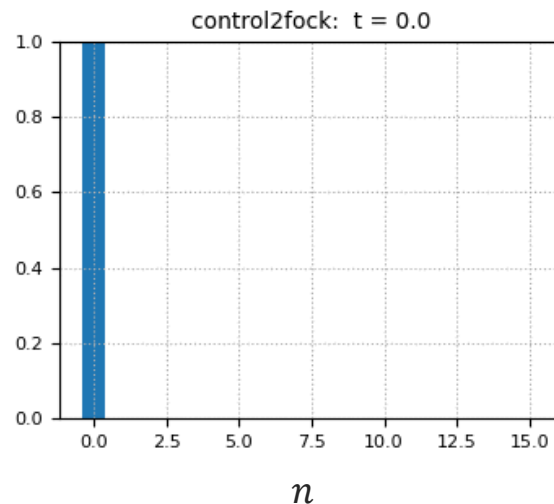
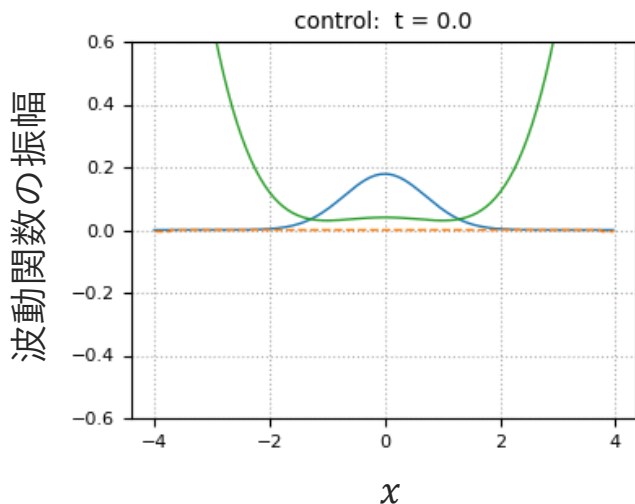
結果: 深層強化学習を利用したフォック状態の準備

2, 4, 6番目のフォック状態の準備



- 深層強化学習を用いた2番目のフォック状態の準備プロトコル

- 忠実度 $|\langle \psi_{\text{target}} | \psi(t) \rangle|$



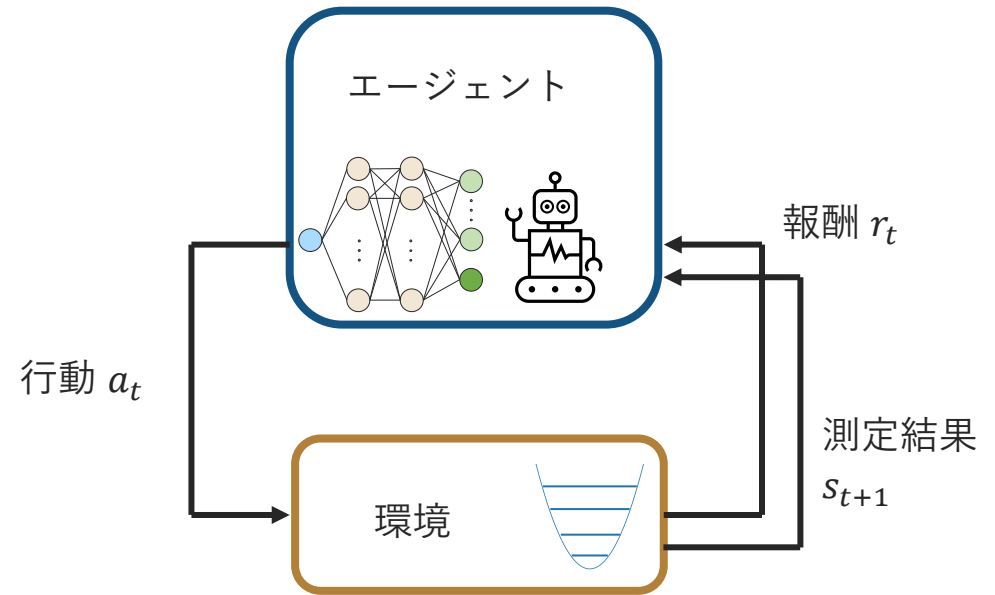
- 制御しているポテンシャル
- 波動関数の実部
- - - 波動関数の虚部

- 大きなnのフォック状態は準備が難しい
大きなnのフォック状態の波動関数が複雑だから？

- 強化学習を利用しない先行研究に比べ1/10以下の時間で準備可能
←ノイズの影響を受ける実験系での応用で有利

結果のまとめ

- 目的： フォック状態と猫状態をつくるプロトコルの構築
- 方法： 深層強化学習
- 結果：



- フォック状態が強化学習を利用しない方法より高速に準備できた
- 猫状態がフォック状態と同じセットアップで準備できた
(強化学習による先行研究なし)

- 次のステップ：
 - 数値的最適化手法との比較
(stochastic gradient descent (SGD), GRAPE, CRAB)
 - 量子多体系の制御へ

業績

- 学術雑誌 (査読有り)

- S. Z. Baba, Y. Nakata, Y. Ito, R. Hisatomi, Y. Nakamura and K. Usami, "Optical heterodyne imaging of magnetostatic modes in one-dimensional magnonic crystals", Phys. Rev. B 100, 104437 (2019).

- 物理学会

- 馬場翔太郎, 久富隆佑, 中田陽介, 宇佐見康二, 中村泰信, 「マグノンブリルアン散乱のヘテロダイナミクスによる局在モードイメージング」, 日本物理学会 第 73 回年次大会, 25aK303-2, 東京理科大学, (2018 年 3 月)
- 馬場翔太郎, 金子和哉, 伊與田英輝, 沙川貴大, 「固有状態熱化仮説の背後の統計分布」, 日本物理学会 第 74 回年次大会, 16pG214-1, 九州大学, (2019 年 3 月)
- 馬場翔太郎, 金子和哉, 伊與田英輝, 沙川貴大, 「量子多体 scar の近似的な $SU(2)$ 代数構造の数値的検証」, 日本物理学会 秋季大会, 10aL3-10, オンライン開催, (2020 年 9 月)