

グループセミナー

藤村 晴伸（ふじむら はるのぶ）

大阪大学 理学研究科 物理学専攻

博士後期課程 2年

発表時間の目安：10~15分



自己紹介

名前：藤村 晴伸（ふじむら はるのぶ）

[自分のHP](#)



所属：素粒子理論研究室 西岡グループ

専門分野：理論物理（場の量子論、量子もつれ、非平衡現象、量子計算）

出身：滋賀県

B2の時の夏合宿@長野



趣味：ランニング(学部時代は陸上部に入っていました。)
バドミントン(去年から始めました。)

毎週研究室メンバーでバドミントンをしています！



好きなこと：運動、友達とダべること、ポケモンなど

場の量子論

量子もつれ

非平衡現象

量子計算

場の量子論

量子もつれ

非平衡現象

量子計算

今回はこの二つのトピックについてお話しします。

非平衡系における新奇現象：ムペンバ効果



常温水

冷凍庫に入れて待つ



氷

非平衡系における新奇現象：ムペンバ効果



常温水

冷凍庫に入れて待つ



氷



お湯

冷凍庫に入れて待つ



氷

質問：常温水とお湯、どちらが早く凍ると思いますか？

非平衡系における新奇現象：ムペンバ効果



常温水

冷凍庫に入れて待つ



氷



お湯

冷凍庫に入れて待つ



氷

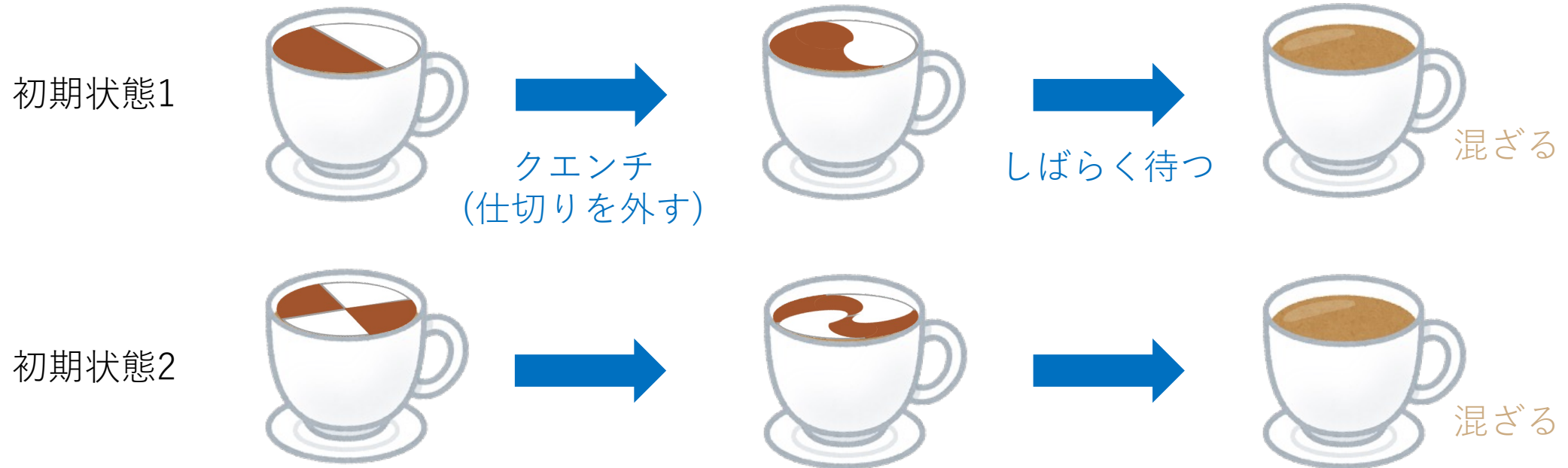
直感に反して、お湯の方が常温水よりも早く凍ることがある！＝ムペンバ効果

非平衡量子系における新奇現象：量子ムペンバ効果

このような直感に反する新奇現象は量子系でも起こる。

対称性の破れた状態
(非平衡状態)

対称性の回復した状態
(平衡状態)



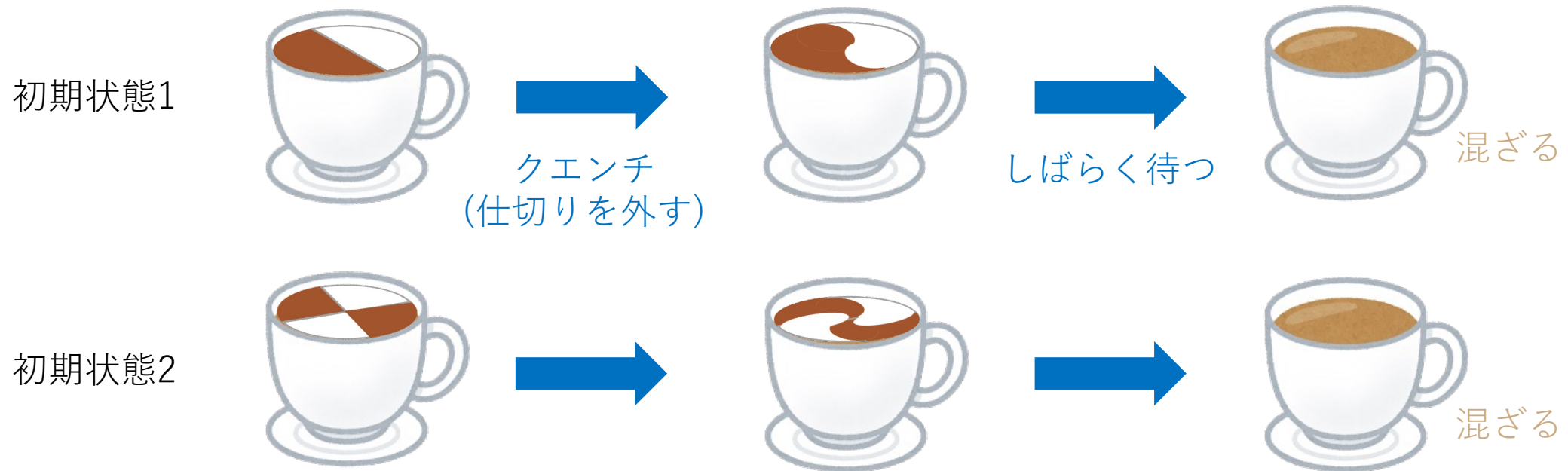
直感的には初期状態2の方が早く対称性が回復しそうだが…

非平衡量子系における新奇現象：量子ムペンバ効果

このような直感に反する新奇現象は量子系でも起こる。

対称性の破れた状態
(非平衡状態)

対称性の回復した状態
(平衡状態)



量子Mpemba(ムペンバ)効果

対称性の破れの大きい状態ほど対称性の回復が早くなる現象。
(初期状態1の方が対称性の回復が早い)

量子ムペンバ効果を調べる方法

このような非平衡現象をどうやって調べるか...? → 量子情報の知識を用いる!

保存電荷の固有ベクトルを基底として密度行列を行列表示する。

$$\rho_A = \begin{pmatrix} \square & * & * \\ * & \square & * \\ * & * & \square \end{pmatrix}$$

↑
非対角成分

対称性の破れた状態
(非平衡状態)

$$\rho_{A,S} = \begin{pmatrix} \square & & & \\ & \square & & \\ & & \square & \\ & & & \square \end{pmatrix}$$

ブロック対角行列

対称性の回復した状態
(平衡状態)

対称性の破れを定量化する量：Entanglement Asymmetry

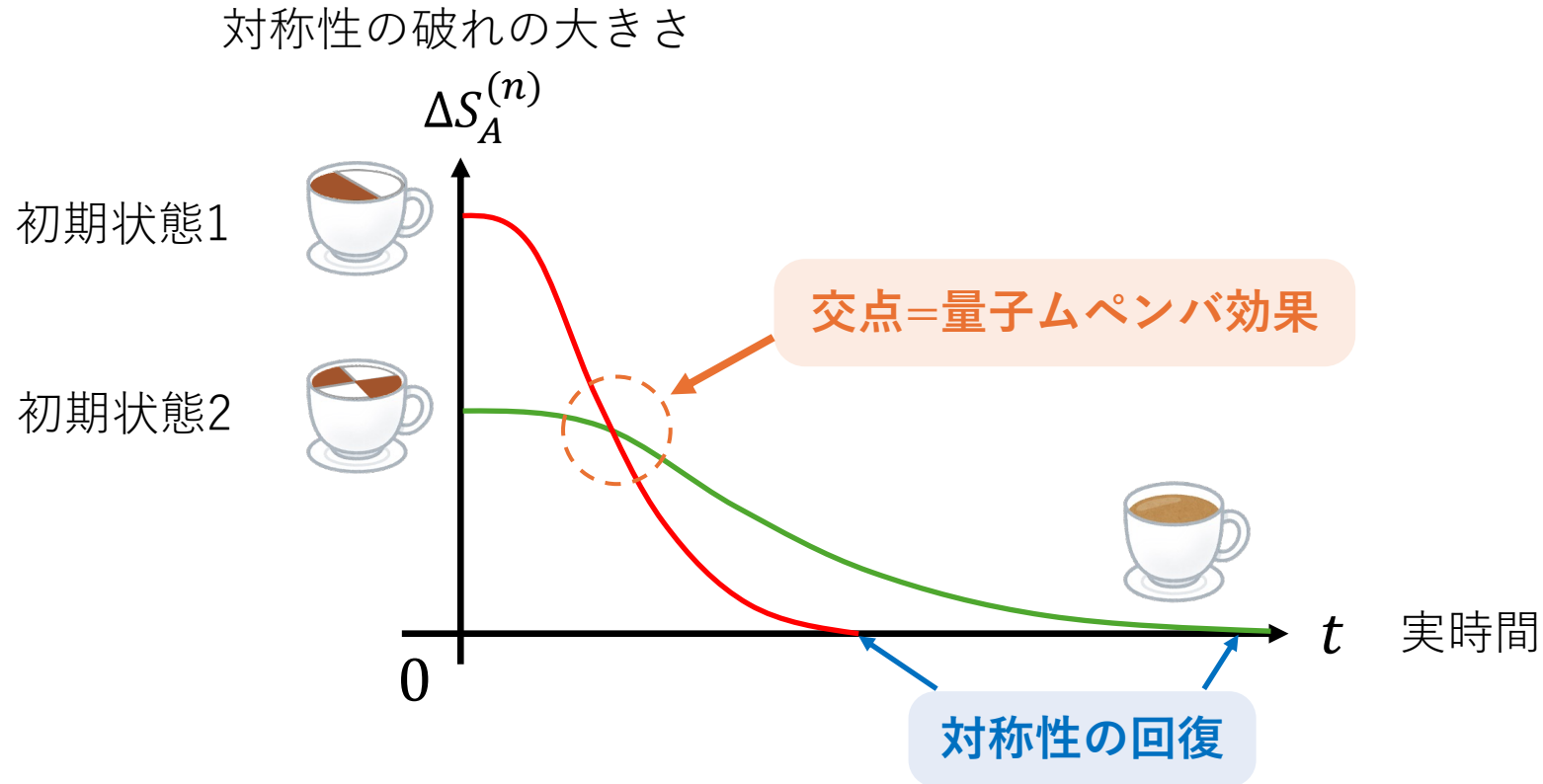
[Filiberto Ares, et al, 2022]

$$\Delta S_A = S(\rho_{A,S}) - S(\rho_A) \quad : \text{量子もつれの差}$$

$S(\rho)$: エンタングルメントエントロピー

量子ムペンバ効果を調べる方法

Entanglement Asymmetryの実時間発展を計算できたとする。



Entanglement Asymmetryの実時間発展を解析することで、量子ムペンバ効果を調べられる。

量子ムペンバ効果を調べる方法

ただし、Entanglement Asymmetryは非局所的な量子情報量。
一般に非平衡状態の実時間発展を計算することは難しい...

先行研究の状況

- 量子ムペンバ効果の原理や条件はまだよくわかっていない。
- 理論解析は簡単なスピン系や共形場理論のみ。
- 数値計算でも非平衡系や実時間発展を扱うことは難しい(指数関数的な計算コストがかかる)。
モンテカルロ法が使えない。テンソルネットワークにも限界が...
- 現状は小さいサイズの系のみ計算可能。
- 特に自由度の多い量子多体系や場の量子論の解析が困難

量子ムペンバ効果を効率的に解析する方法を考える必要がある！

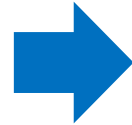
自分の研究について

本研究のアプローチ：量子コンピューティング(量子計算)

現在のコンピュータ

1 0 1 ...

0か1のビット列として情報を処理。

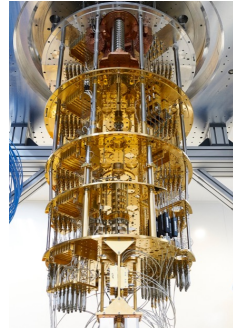


量子コンピュータ

量子力学の原理を用いた次世代のコンピュータ。

1 1 1 ...

0でも1でもない状態の羅列を扱える。
全く新しい計算原理。



本研究では量子ムペンバ効果を調べるための量子アルゴリズムを考案し、その有用性を示した。

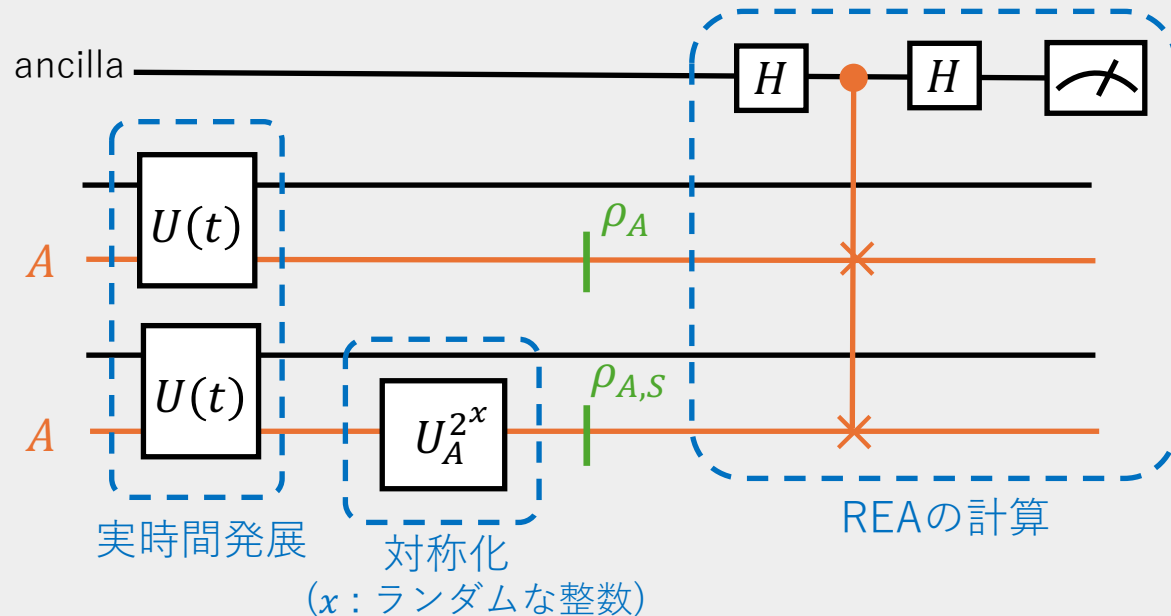
自分の研究について

要点だけざっくり説明。

アイデア：指数関数的な計算処理を含め、**全て量子コンピューター上で行う。**
(古典コンピューターを使わない方法)

$$\rho_A, \rho_{A,S} = 2^{N_A} \times 2^{N_A} \text{ 行列} \quad N_A: \text{系のサイズ}$$

本研究で考案した量子回路 ($n = 2$ の例)



$\rho_A, \rho_{A,S}$ の構成や Entanglement Asymmetry の
実時間発展の計算を全て量子計算で行える。

自分の研究について

従来の方法

- ・ 指数関数的な計算コスト： $\mathcal{O}(2^{3N})$, N ：系のサイズ
- ・ 必要なメモリも指数関数的： $\mathcal{O}(2^{2N})$



本研究の手法のメリット

- ・ 必要な測定回数が系のサイズに依らない
 $N_{\text{shot}} = \mathcal{O}(\epsilon^{-2})$, ϵ ：求める精度
- ・ 量子回路の複雑性のスケーリングが冪則
of 2 qubit gates $\sim N^\#$, # of T gates $\sim N^\#$

大きい系でも短い時間で計算可能！

必要なリソースが少ない！

従来手法と比べて指数加速を実現！場の量子論といった自由度の多い量子論の解析に最適。

また、実際にSchwinger model(2次元量子電磁気学)で本研究の手法が使えることを実証した。

- 私は大阪大学D2の藤村晴伸(ふじむらはるのぶ)と申します。
- 理論物理と量子情報をやっています。
- 今回は非平衡系における新奇現象(量子ムペンバ効果)を紹介した。
- 本研究では量子ムペンバ効果を効率的に解析する量子アルゴリズムを考案し、指数加速を実現した。

ポスター発表します！詳しいことを知りたい方はぜひ！

非平衡量子系における新奇現象のための量子アルゴリズム



藤村晴伸

大阪大学 理学研究科 物理学専攻

共同研究者：藤井啓祐、本多正純、Le Duc Truyen (Ongoing)

HP:

