

量子テレポーテーション

村上 祐子 (Yuko Murakami)

広島大学 AI・データイノベーション教育研究センター

授業の目標

量子テレポーテーションについて、
「何ができる技術なのか」「何ができないのか」を理解すること

今回、紹介すること

- 量子テレポーテーションの基本的な考え方
- どのように量子通信や量子インターネットにつながるか
- 量子テレポーテーションの限界と、現時点で実現が難しい理由

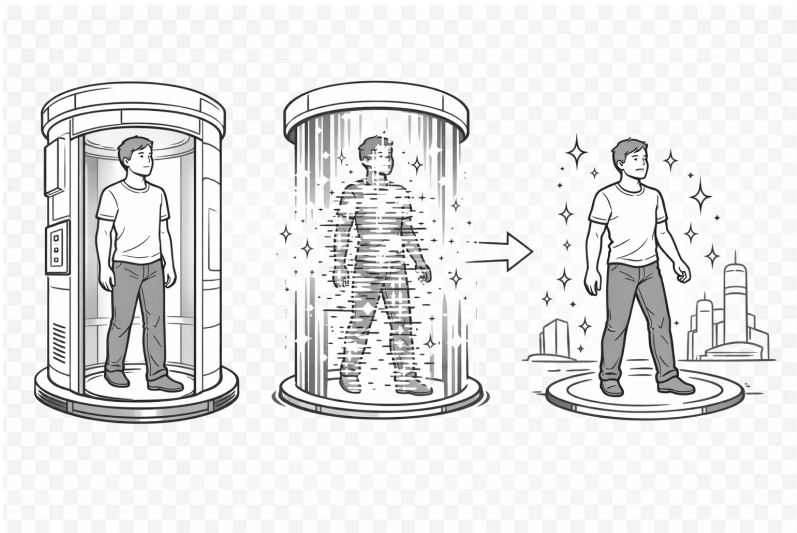
キーワード

量子テレポーテーション, 量子もつれ, 量子通信/量子インターネット

こんなことを聞いたことはありませんか？

「量子テレポーテーション」と聞いて、何を想像しますか？

- SFに出てくるような物体の瞬間移動？
- 光よりも早く情報を送ることができる？
- 超能力のような何か？



量子テレポーテーション

量子状態の情報を、離れた場所にある別の物体に正確に写し取る技術

→物体がどのような“ふるまい方”をしているかを表す情報

例)「人そのもの」ではなく「その人の設定情報」を送るような技術

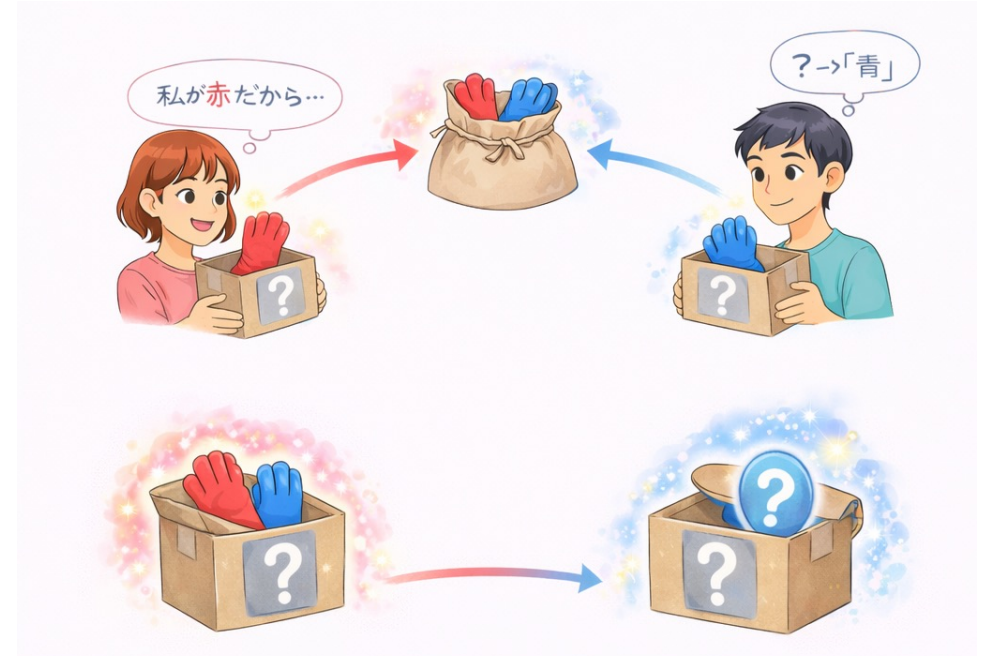
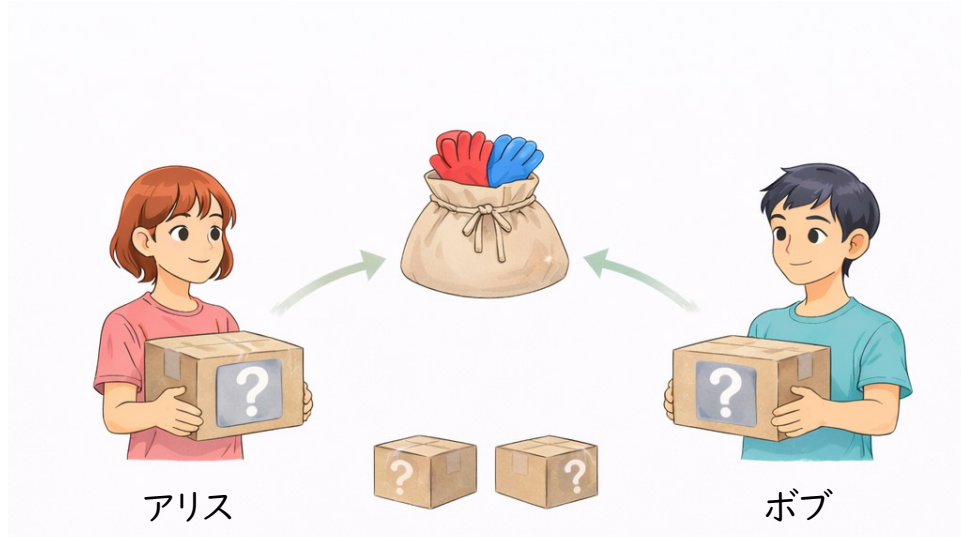


「量子テレポーテーション」によくある誤解

- 物体が瞬間移動するの? → **×**
 - 元の物体が移動することはない
 - 物体そのものが瞬間移動するわけではない
 - 量子テレポーテーションは「引っ越し」ではなく「状態の再現」
- 光よりも早く情報を送ることができる → **×**
 - 量子テレポーテーションには必ず人の操作と通信が必要
 - 測定結果は**普通の通信**（古典通信）で送られる
 - だから、光より速く情報が届くことはない

量子もつれ

2つの物体の状態が距離に関係なく強く関連する現象
ただし、観測するまでは、それぞれの状態は一つに決まっていない



- 一組の手袋は赤と青の組み合わせと決まっている
- 量子もつれでは、測定するまで、赤か青かは決まってない

測定した瞬間に、2つの結果が同時に確定し、必ず対応した結果になる

量子テレポーテーションの流れ

ある「状態の情報」を、離れた場所で再現する仕組み。

- ① アリスは「送りたい情報Gをもつ状態」を用意する
- ② アリスとボブが、量子もつれした状態を共有する
- ③ アリスが、自分の持つ2つの状態を同時に測定する
- ④ 測定結果を古典通信でボブに送る
- ⑤ ボブが測定結果に応じて操作すると、情報Gが再現される

量子テレポーテーションの流れ

① 送りたい情報を用意



② 関連づけられた状態を共有

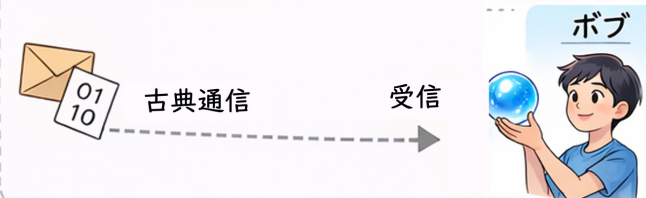


③ 2つを同時に測定

測定結果を状態として得る



④ 測定結果を送る



⑤ 情報に応じて操作

→元と同じ状態が再現



- 状態は移動しない→再現される
- 古典通信が必要(光より早くはない)

例題

量子テレポーテーションで『できないこと』を1つ挙げて説明してください。

解答例

たとえば…

- 物体そのものを、瞬間的に別の場所へ移動させること
- 光よりも速く情報を送ること
- 人間の意識や感情を伝えること

量子テレポーテーションはなぜすごいのか①

量子通信の基盤

量子通信基盤として量子テレポーテーションを用いる場合、量子状態そのものを送るのではなく、測定結果という古典情報を通信することで受信側で量子状態が再現される。



量子テレポーテーションはなぜすごいのか②

量子テレポーテーションは離れた場所でも量子情報を正しく再現できる

量子状態は:

- ✗ コピーできない
- ✗ そのまま中継できない
- ✗ 距離が伸びるほど壊れやすい



量子もつれと古典通信を組み合わせることで、長距離量子通信の基盤になる

量子テレポーテーションはなぜすごいのか③

量子インターネットへの応用

- 量子情報をやり取りできる新しい通信ネットワーク
 - 離れた量子コンピュータや量子センサなどをつなぐ
 - 量子テレポーテーションは、
 - 離れた量子装置同士を結びつける
 - 量子情報を中継するための基本的な仕組み
- 未来のインターネットを支える部品のような存在

量子テレポーテーションが実用化すると 何ができるようになる？

量子テレポーテーションがあると



- 盗聴されたかどうか分かる

(安全性の高い通信)



- 離れた場所の量子コンピュータをつないで協力させられる

(連携)

量子通信の限界

- 古典通信が必要

量子もつれだけでは情報は伝わらず、測定結果を送って、はじめて状態を再現できる

- 光速は超えない

測定結果は古典通信で送る必要があるため、情報の伝達速度は光速に制限される

- 実験環境が必要で、非常に難しい

ノイズに弱い量子状態を保ち、高精度な測定と制御を行う必要がある

まとめ

この講義では以下を紹介しました。

- 量子テレポーテーションは、量子状態の情報を、離れた場所で再現する技術である
 - 粒子そのものが移動したり、光より速く情報が伝わったりするわけではない
- 量子もつれと古典通信を組み合わせることで、ノイズに弱い量子情報を正しく扱うことができる
- 今後、量子通信や量子インターネットの基盤技術として期待されている
- 一方で、光速を超えられない・実験が難しいといった限界もある

課題

もし量子テレポーテーションが実用化したら、社会で変わることを挙げてください。

Q&A

量子テレポーテーションでは、
物体そのものは移動しないんですか？

はい、物体そのものは移動しません。
移動するのは物体ではなく、
量子状態（物体のもつ性質）の情報です。

Q&A

Aliceが箱を開ける前にBobの手袋の色は決まっていますか？

いいえ。量子もつれでは、測定するまで情報そのものが定まっていません。あらかじめ隠された答えがあるわけではないのです。