

Kawasaki Quantum Summer Camp 2025

量子テレポーテーション

Jul 30, 2025

沼田祈史

Kifumi Numata

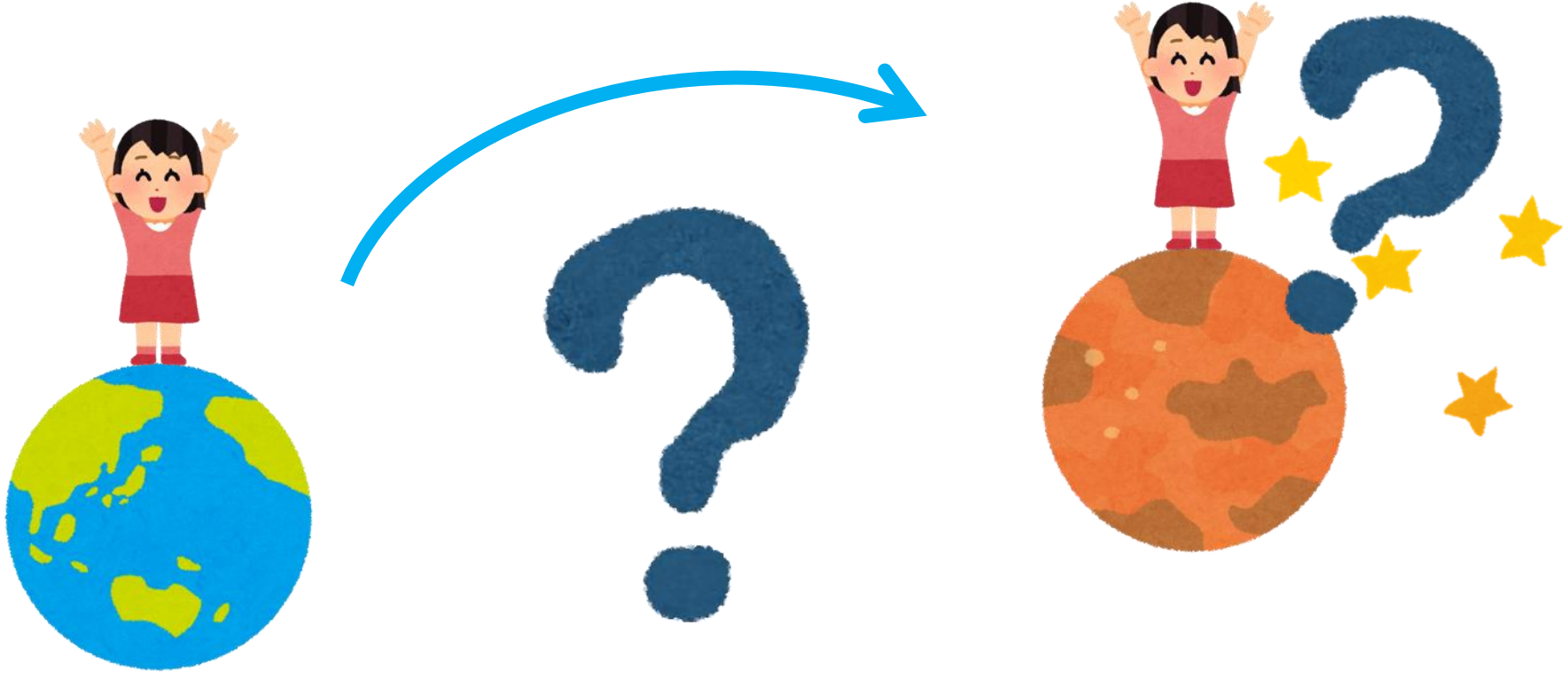
IBM Quantum



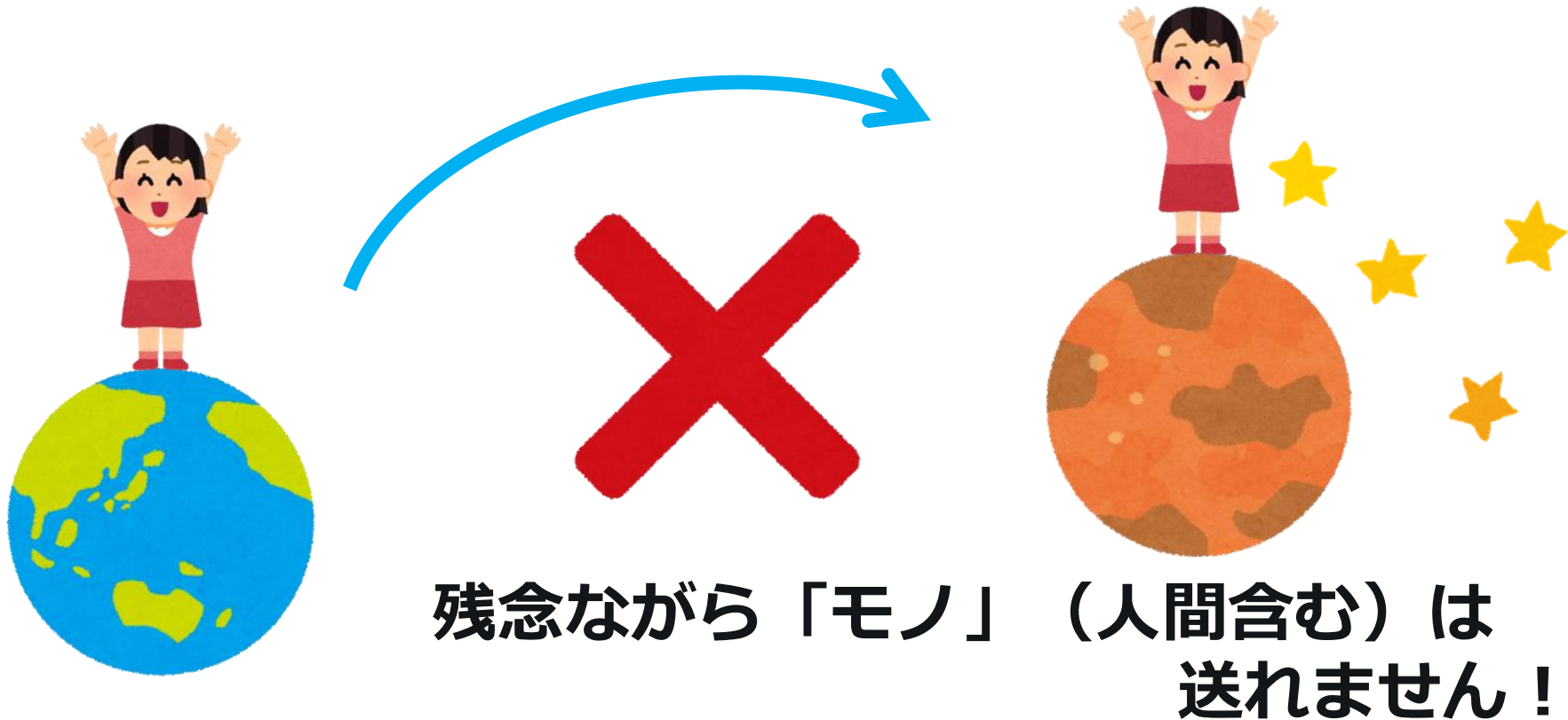
IBM Quantum

はじめに：
量子テレポーテーションとは何だと思いますか？
(予想)

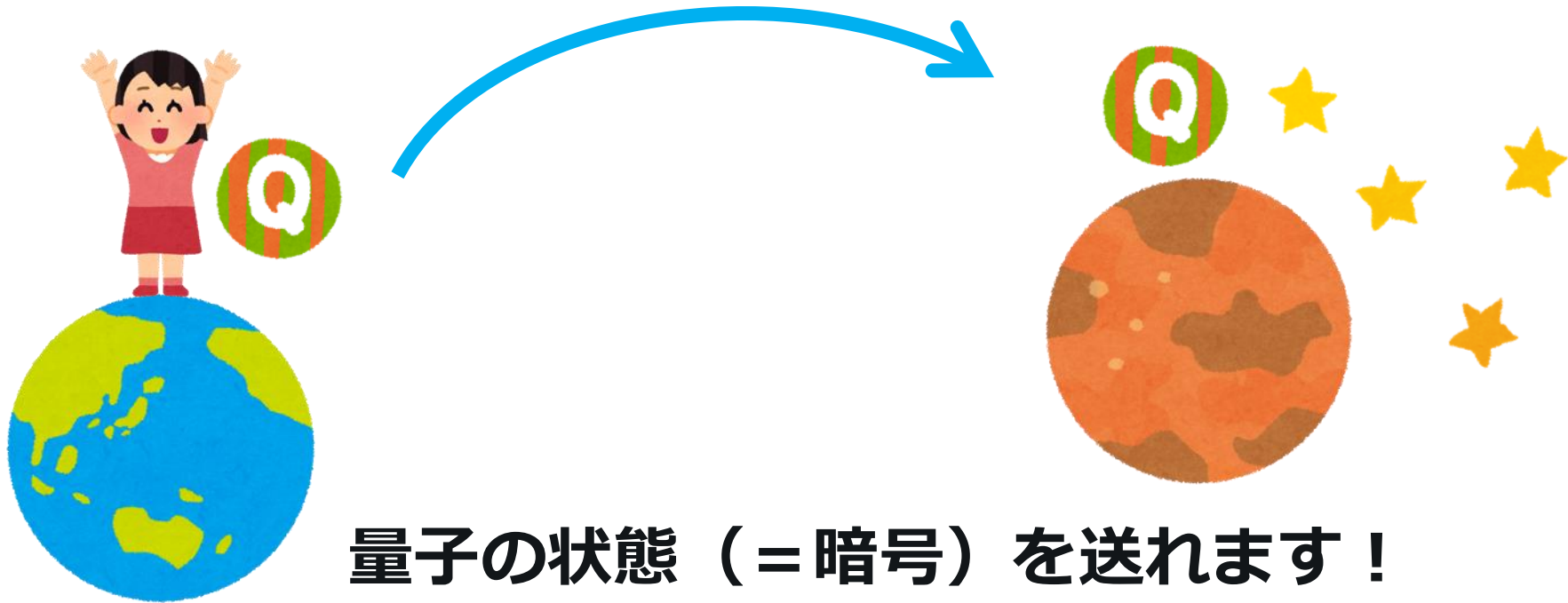
量子テレポーテーションとは？ (予想例)



量子テレポーテーションとは？



量子テレポーテーションとは？



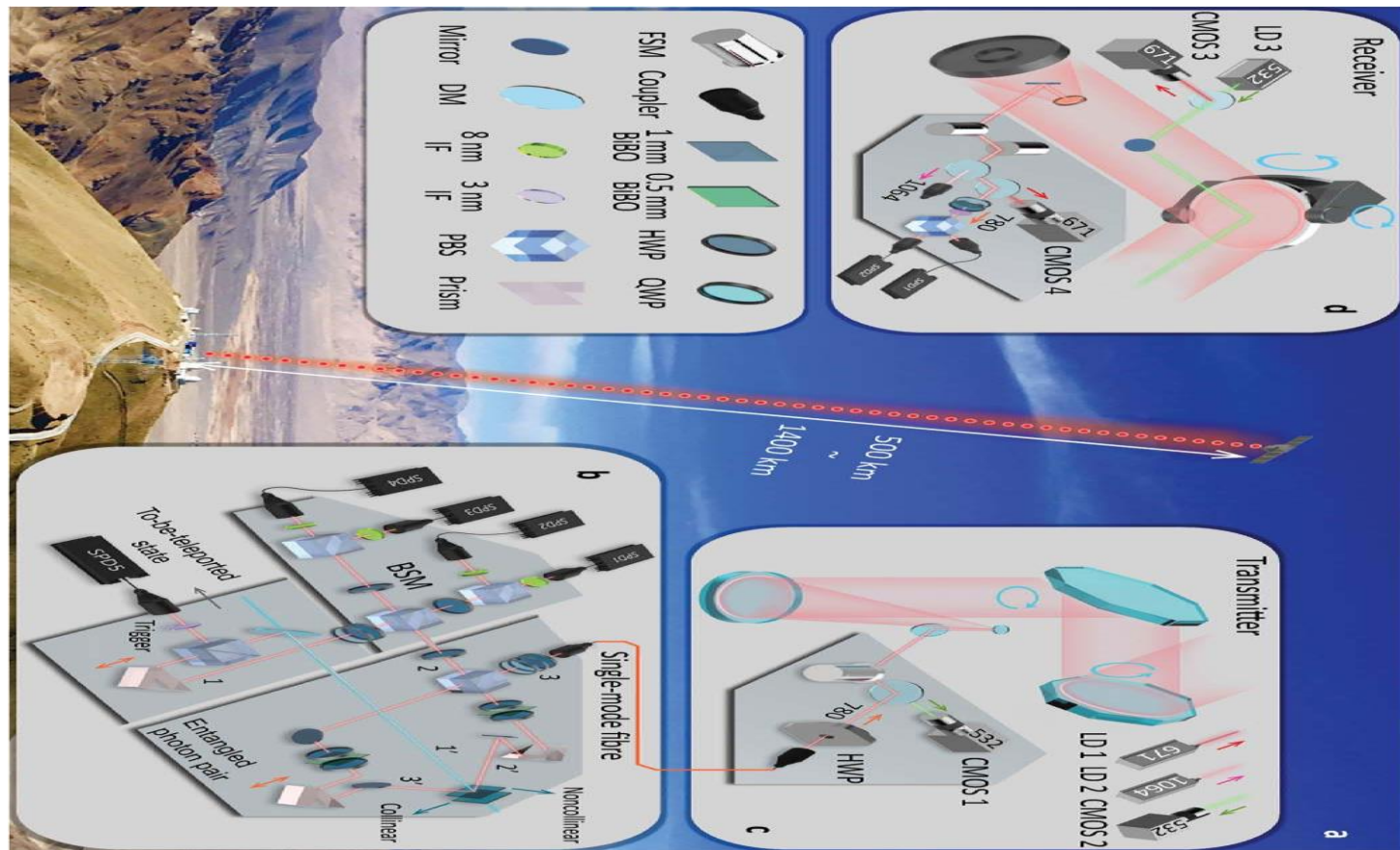
量子の状態（＝暗号）を送れます！

量子テレポーテーションとは？



人工衛星に送った実験があります。

地上と通信衛星間の量子テレポーテーションの例

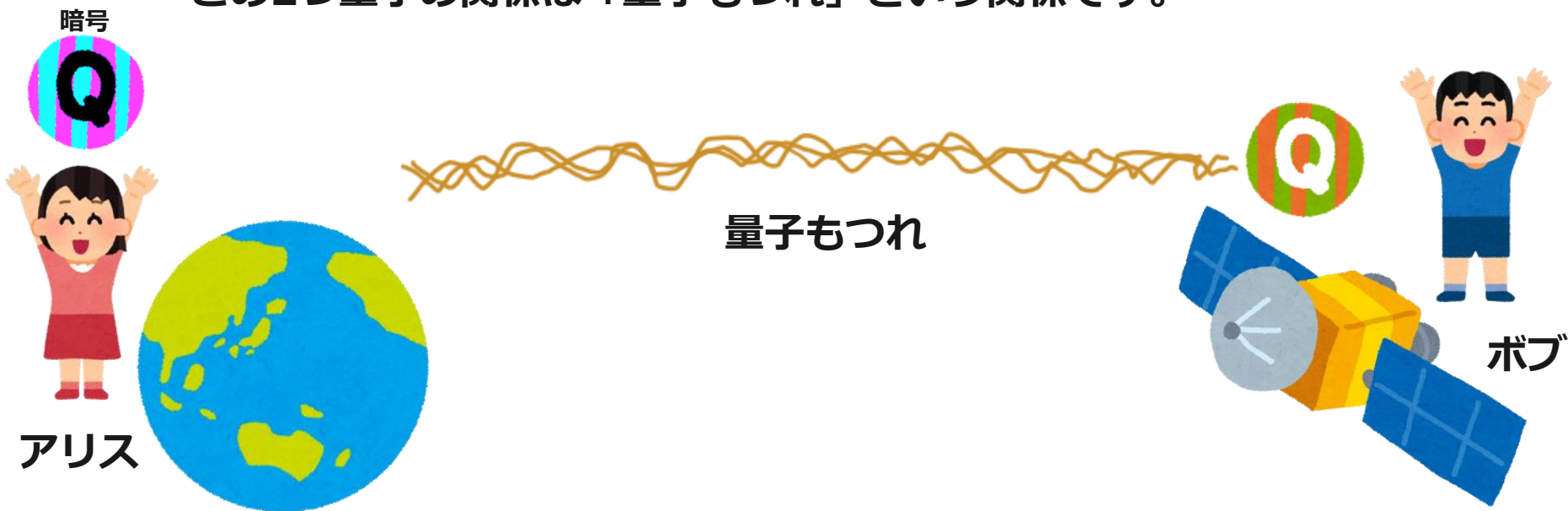


出典 : <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1707/1707.00934.pdf>

量子テレポーテーションの Protokol

(1) 地球のアリスがある量子  (暗号) を持っています。

(2) 特別な関係にあるふたごの量子  が地球と人工衛星の上にあります。
この2つ量子の関係は「量子もつれ」という関係です。



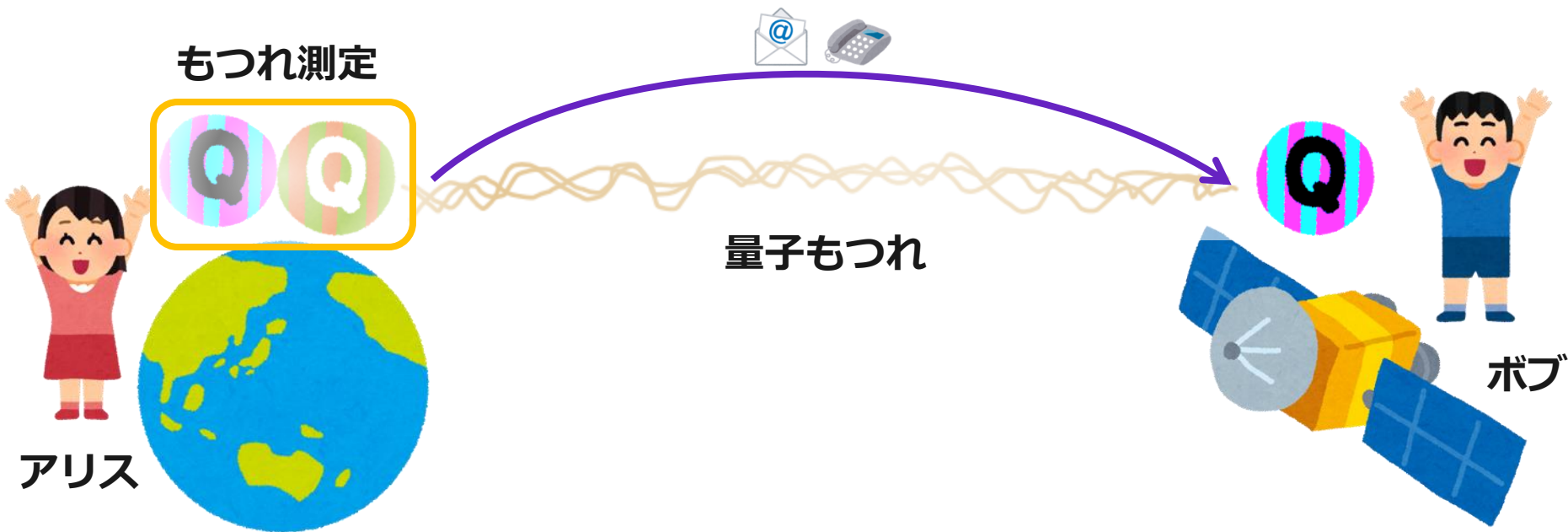
量子テレポーテーションの Protokol

(3) 地球のアリスが地上の2つの量子に特殊な測定（もつれ測定）をします。
（量子もつれ状態にあるボブの量子の状態が瞬時に変わります。）

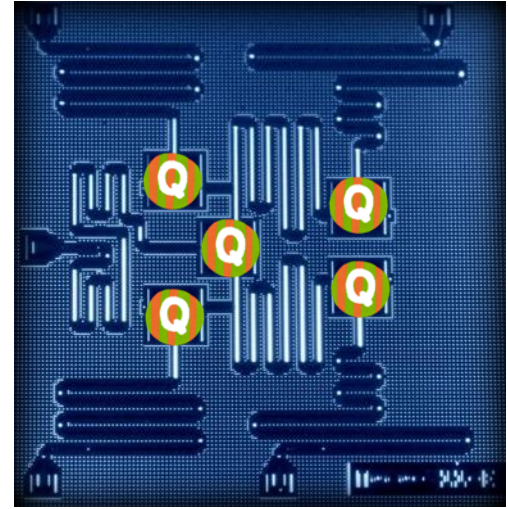
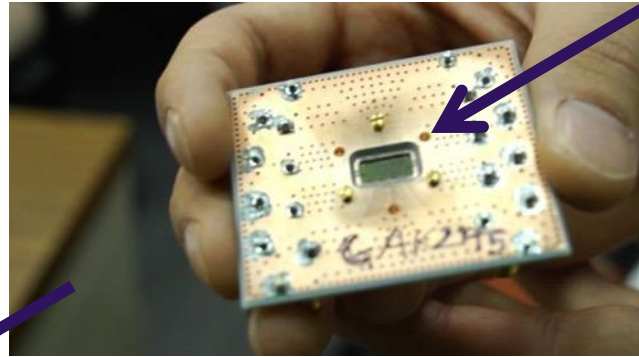


量子テレポーテーションの Protokol

- (4) アリスが測定結果をメールや電話でボブに送り、
ボブはもらった結果をもとに自分の量子を補正します。
ボブの量子がアリスの持っていた暗号に変化します！

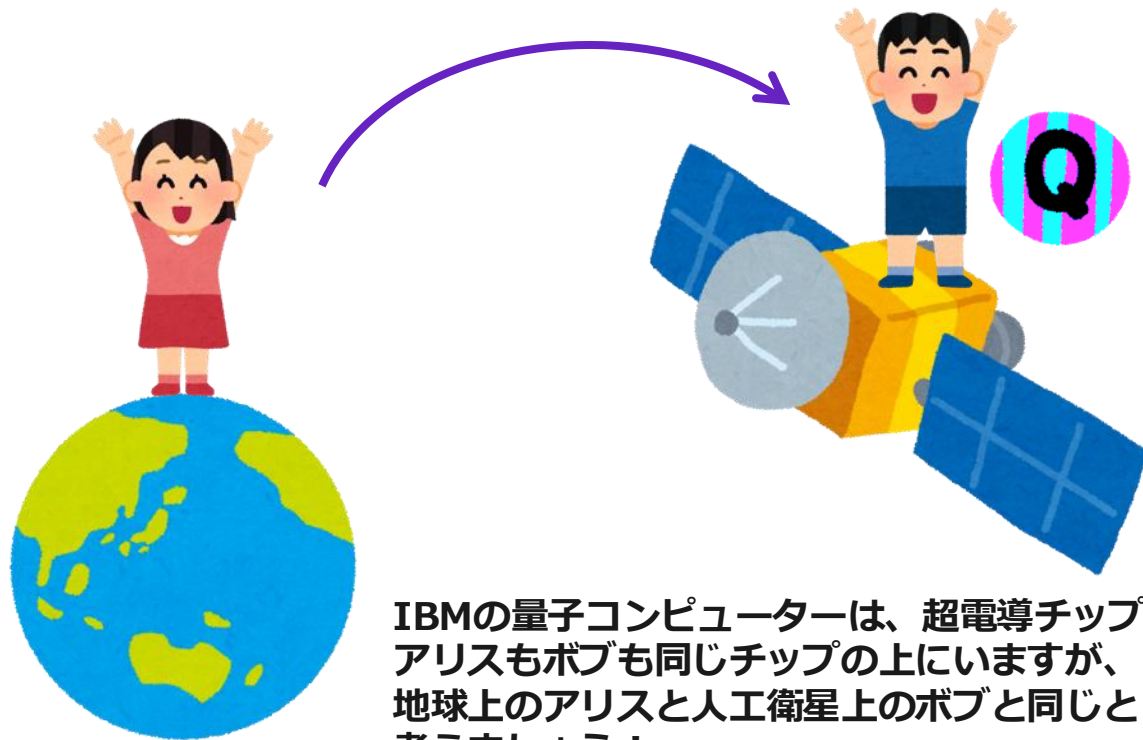


IBMの量子コンピューター

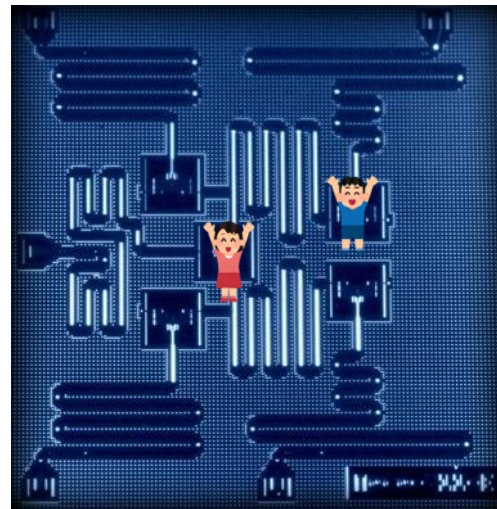


ケルビン
約-273℃ (0.015K)の低温で量子状態を実現

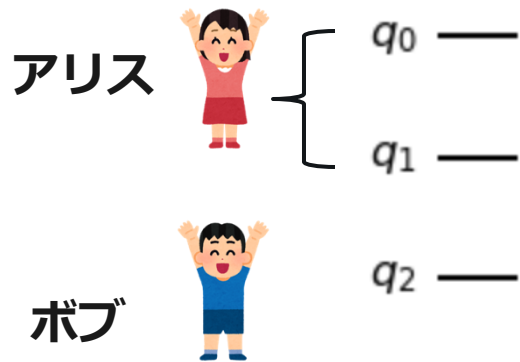
アリスからボブに暗号（量子状態）を送ります



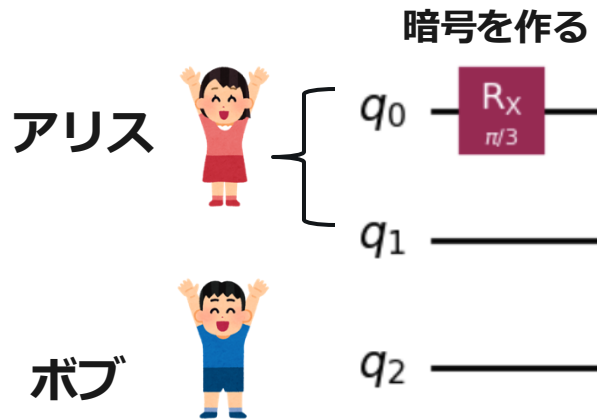
IBMの量子コンピューターは、超電導チップなのでアリスもボブも同じチップの上にはいますが、地球上のアリスと人工衛星上のボブと同じと考えましょう！



テレポーテーションの量子回路

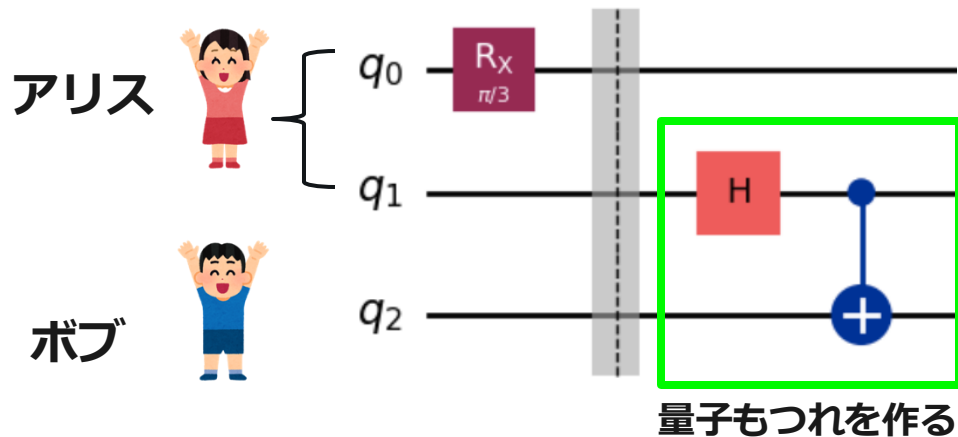


テレポーテーションの量子回路

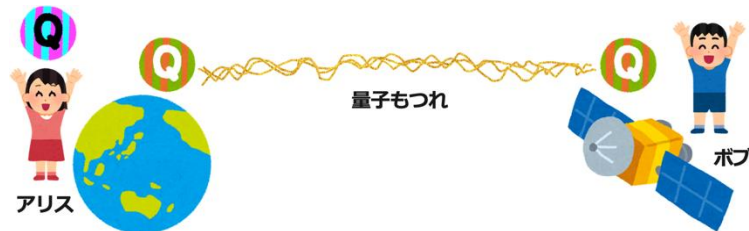


(1) 地球のアリスがある量子  (暗号) を持っています。

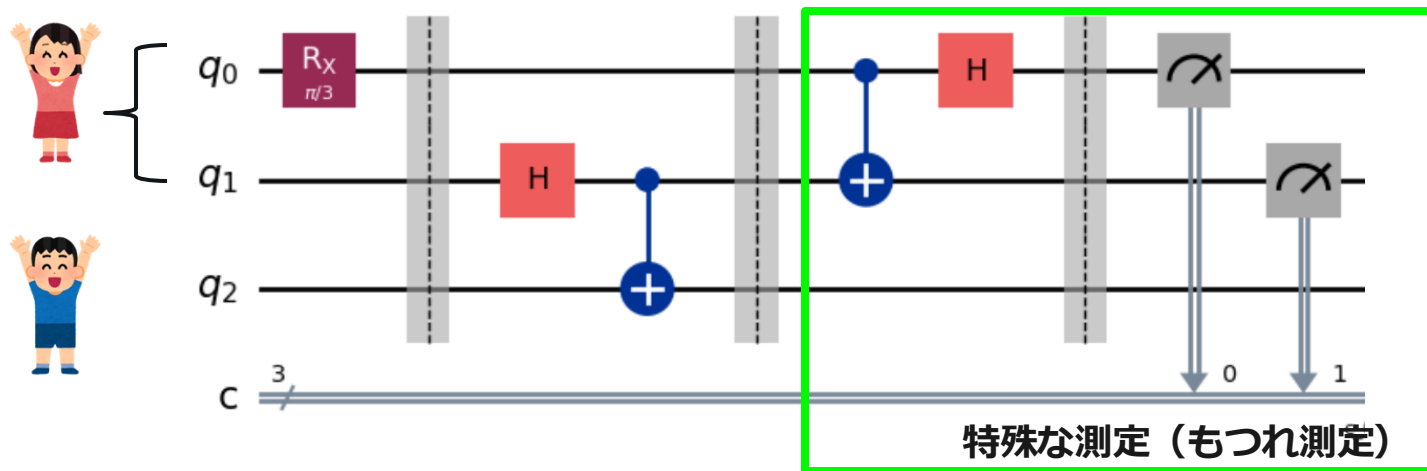
テレポーテーションの量子回路



(2) 特別な関係にあるふたごの量子 **Q** が地球と人工衛星の上にあります。
この2つ量子の関係は「量子もつれ」という関係です。



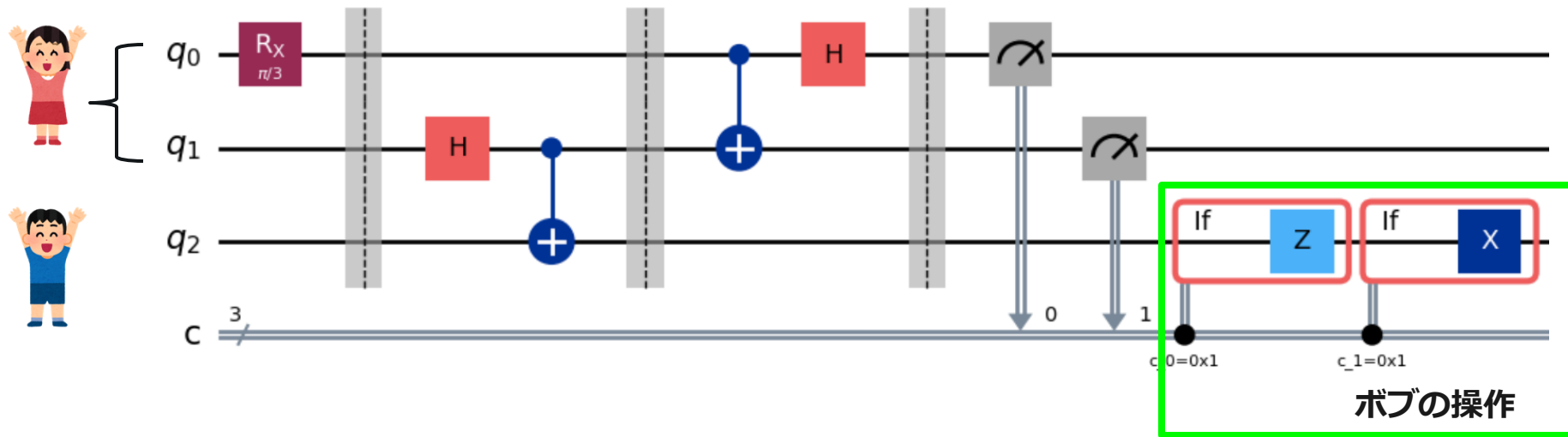
テレポーテーションの量子回路



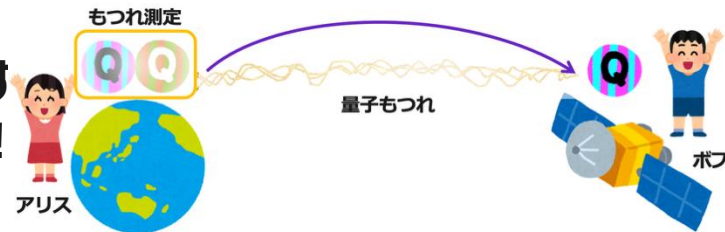
(3) 地球のアリスが地上の2つの量子に特殊な測定（もつれ測定）をします。
(量子もつれ状態にあるボブの量子の状態が瞬時に変わります。)



テレポーテーションの量子回路



(4) アリスが測定結果をボブに送り、
ボブはもらった結果をもとに自分の量子を補正します
ボブの量子がアリスの持っていた暗号に変化します！



(補足) 量子テレポーテーションアルゴリズムの詳細

Qiskitではビットの並びが|q2 q1 q0>です

$$|\psi_0\rangle = |00\rangle \otimes (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle)$$

Aliceの持っている暗号

$$|\psi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle) \otimes (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle)$$

エンタングルメント

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha|000\rangle + \alpha|110\rangle + \beta|001\rangle + \beta|111\rangle)$$

$$|\psi_2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha|000\rangle + \alpha|110\rangle + \beta|011\rangle + \beta|101\rangle)$$

q0が1の時のみq1にXを操作

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha(|00\rangle + |11\rangle)|0\rangle + \beta(|01\rangle + |10\rangle)|1\rangle)$$

αとβでまとめる

$$|\psi_3\rangle = \frac{1}{2}(\alpha(|00\rangle + |11\rangle)(|0\rangle + |1\rangle) + \beta(|01\rangle + |10\rangle)(|0\rangle - |1\rangle))$$

q0にHを操作

$$= \frac{1}{2}((\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle)|00\rangle + (\alpha|1\rangle + \beta|0\rangle)|10\rangle + (\alpha|0\rangle - \beta|1\rangle)|01\rangle + (\alpha|1\rangle - \beta|0\rangle)|11\rangle)$$

q2にそのまま暗号が
現れている

q1が1の時は
q2にXゲートをかける

q0が1の時は
q2にZゲートをかける

q0とq1が1の時は
q2にXゲートとZゲートをかける

