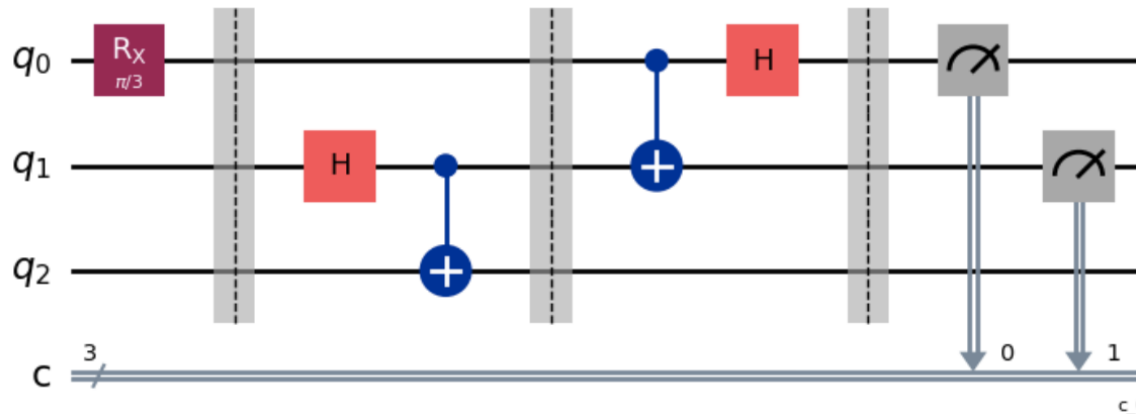


量子テレポーテーション

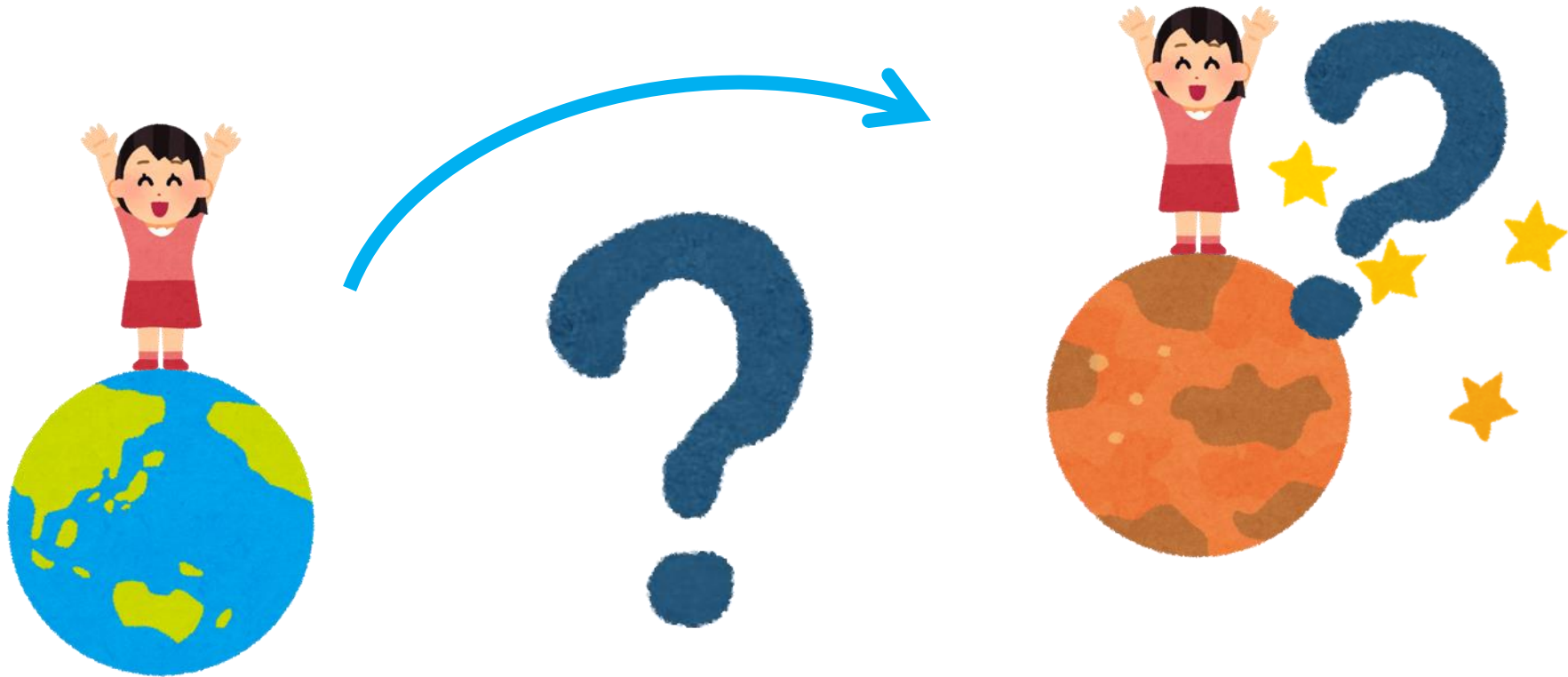
Jul 30, 2025

沼田祈史
Kifumi Numata
IBM Quantum

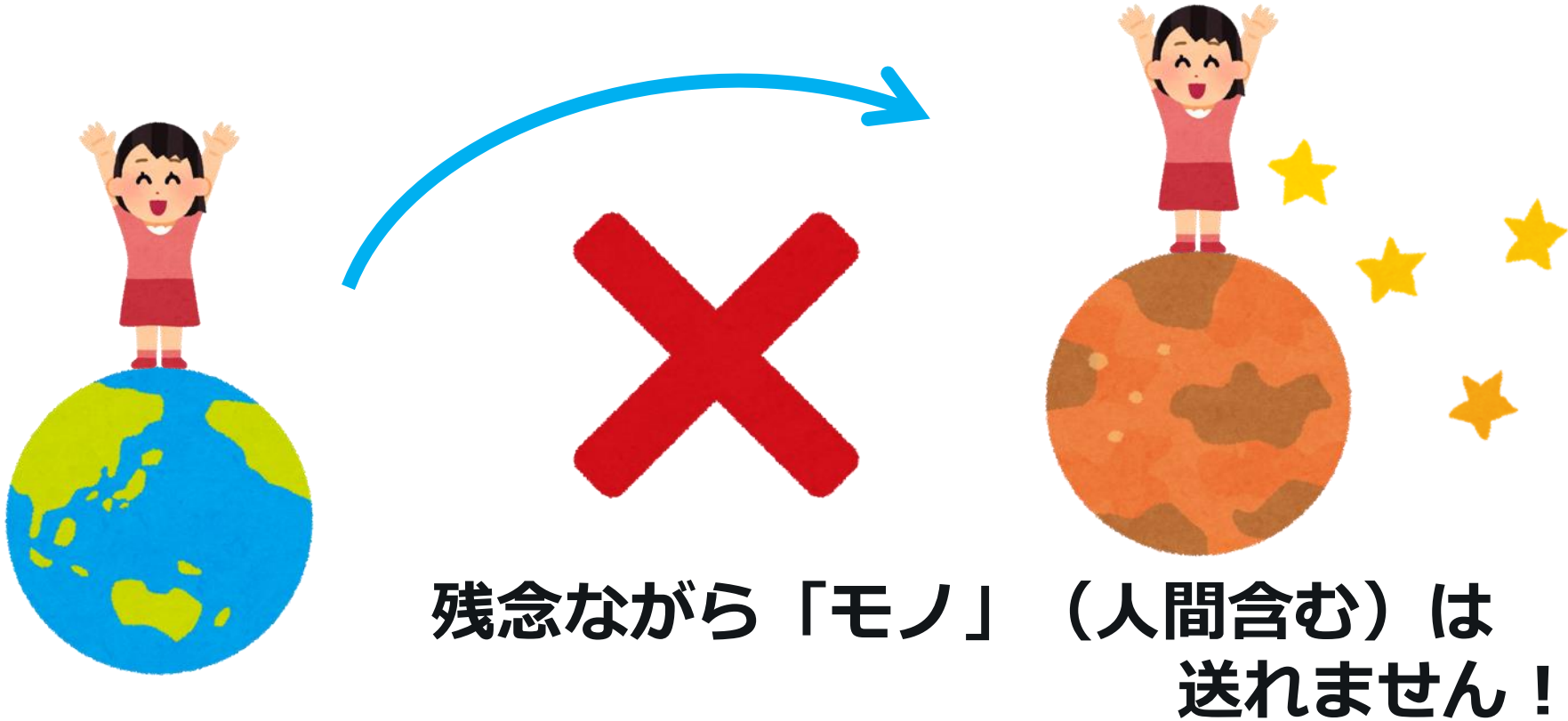


はじめに：
量子テレポーテーションとは何だと思いますか？
(予想)

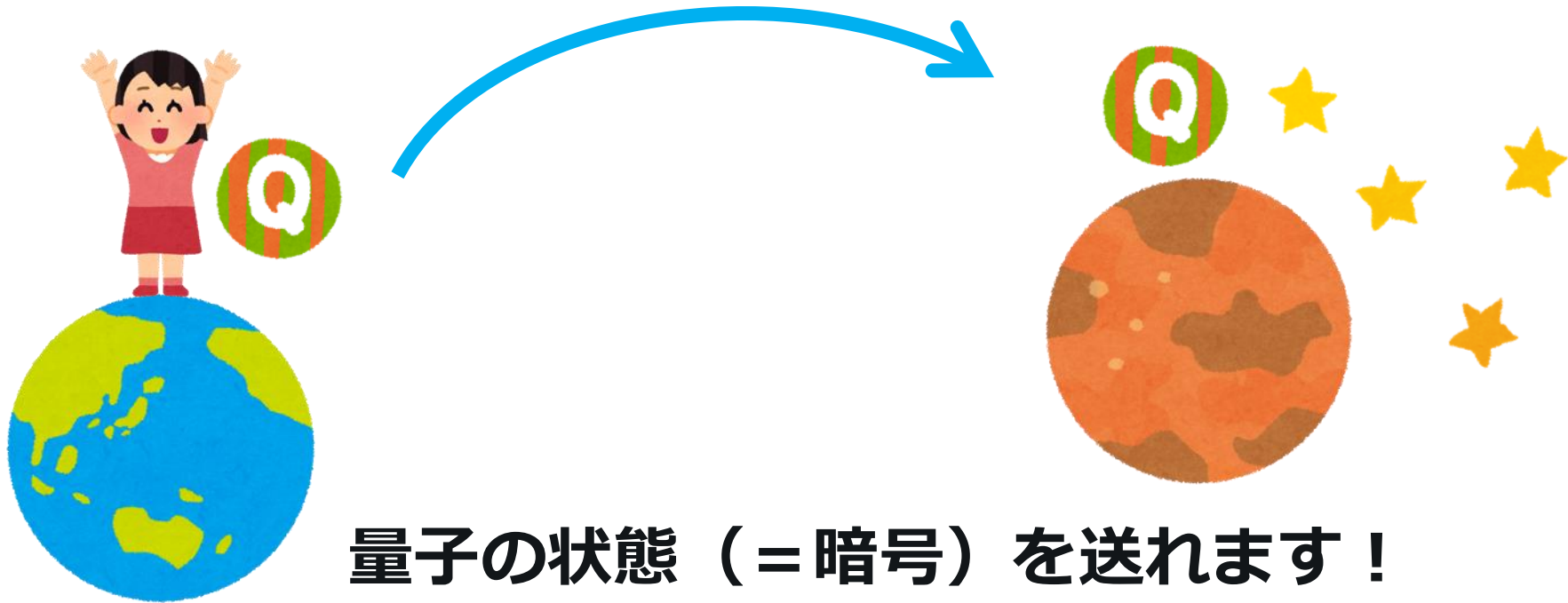
量子テレポーテーションとは？ (予想例)



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？



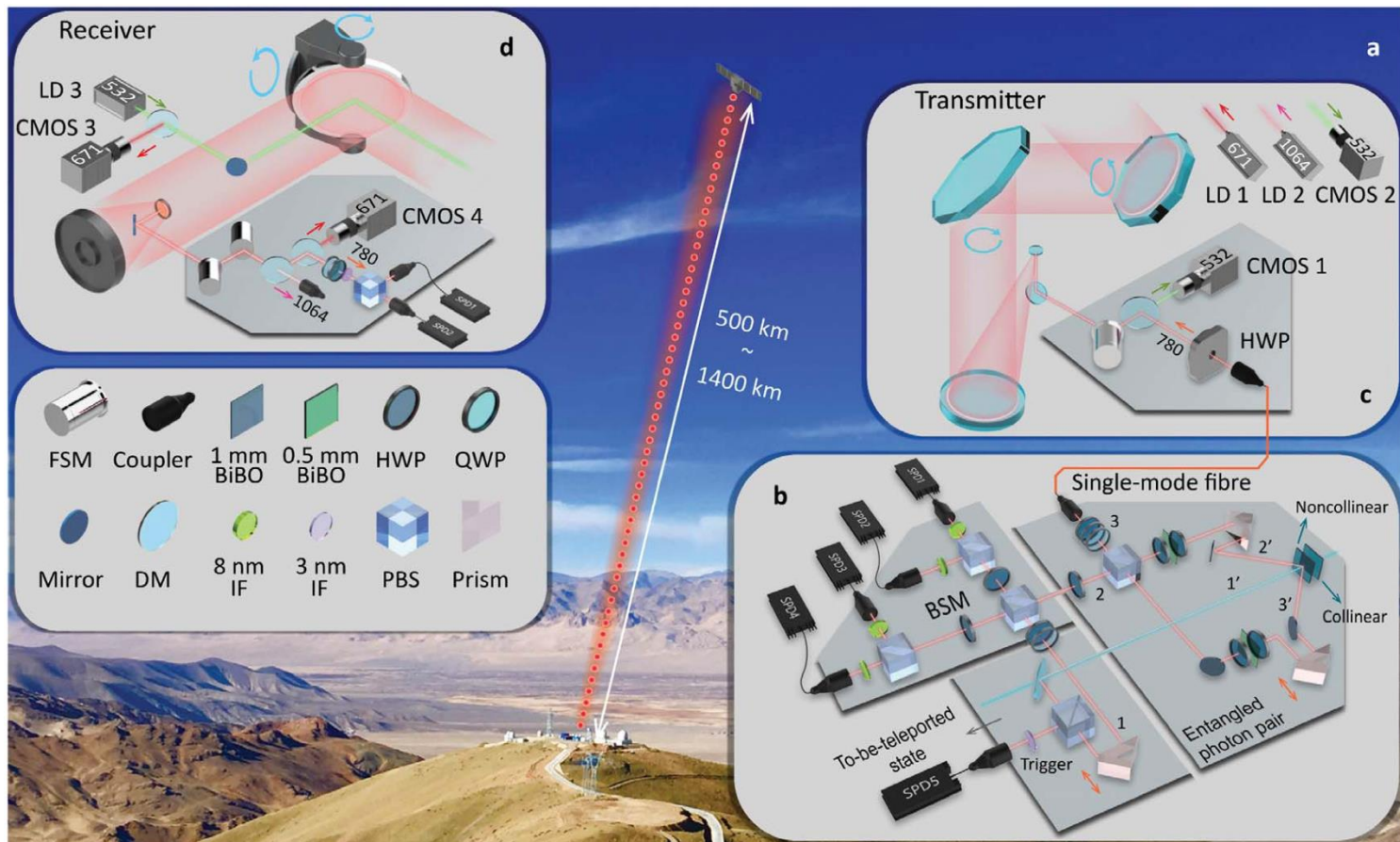
量子の状態（＝暗号）を送れます！

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。

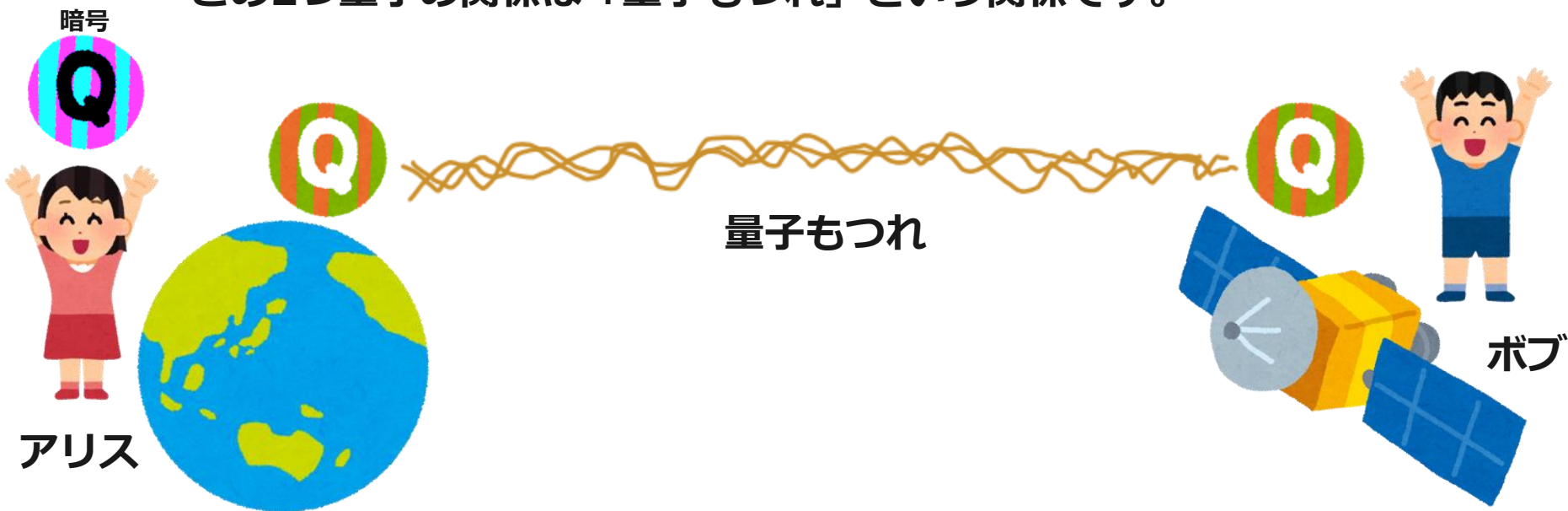
地上と通信衛星間の量子テレポーテーションの例



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。



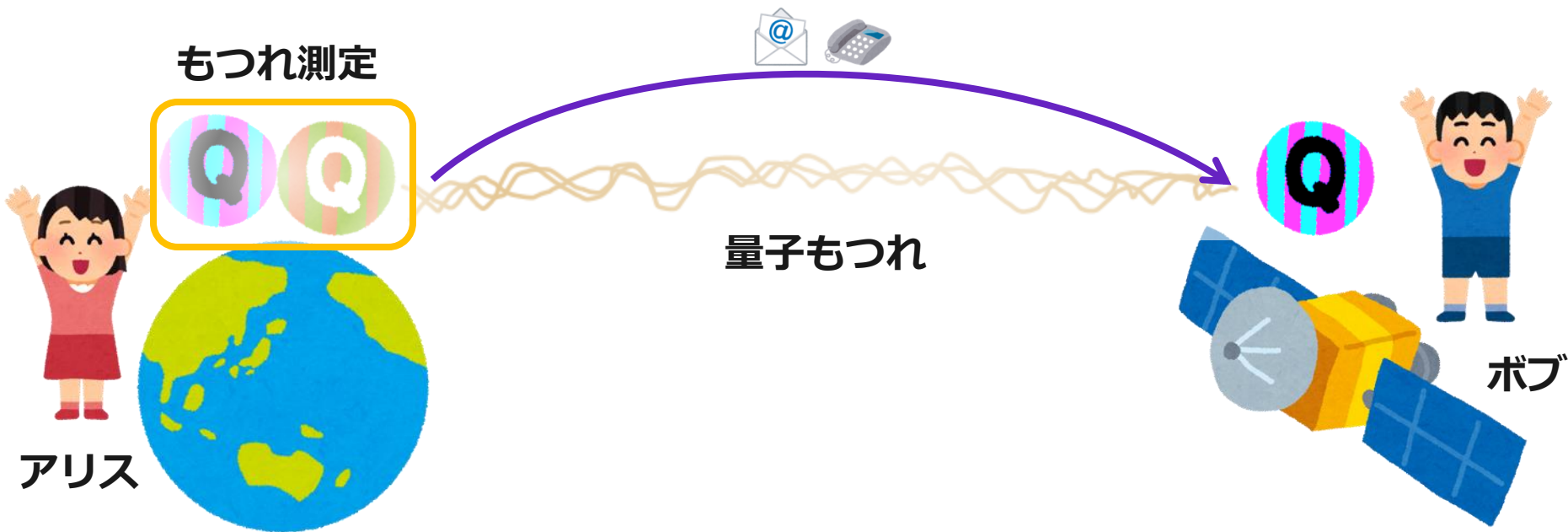
量子テレポーテーションの Protokol

(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。）

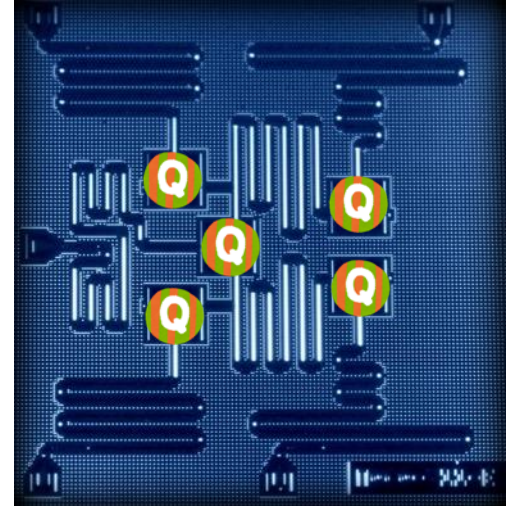
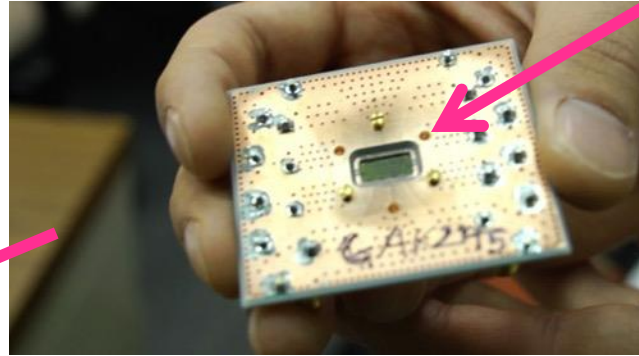
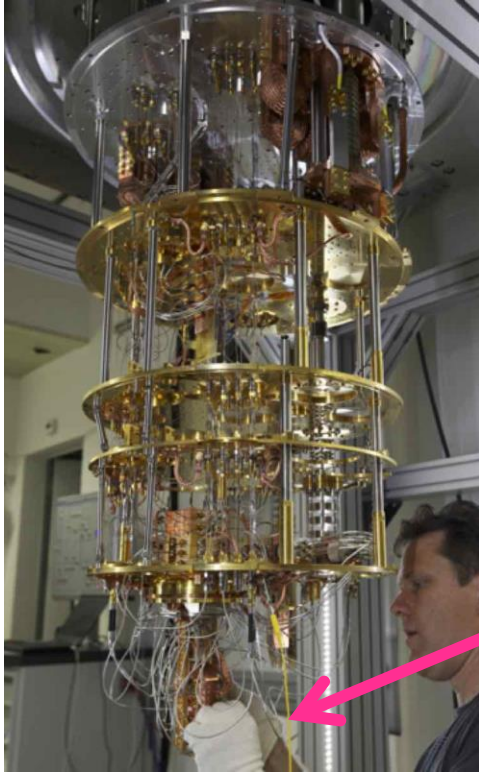


量子テレポーテーションの Protokol

- (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！

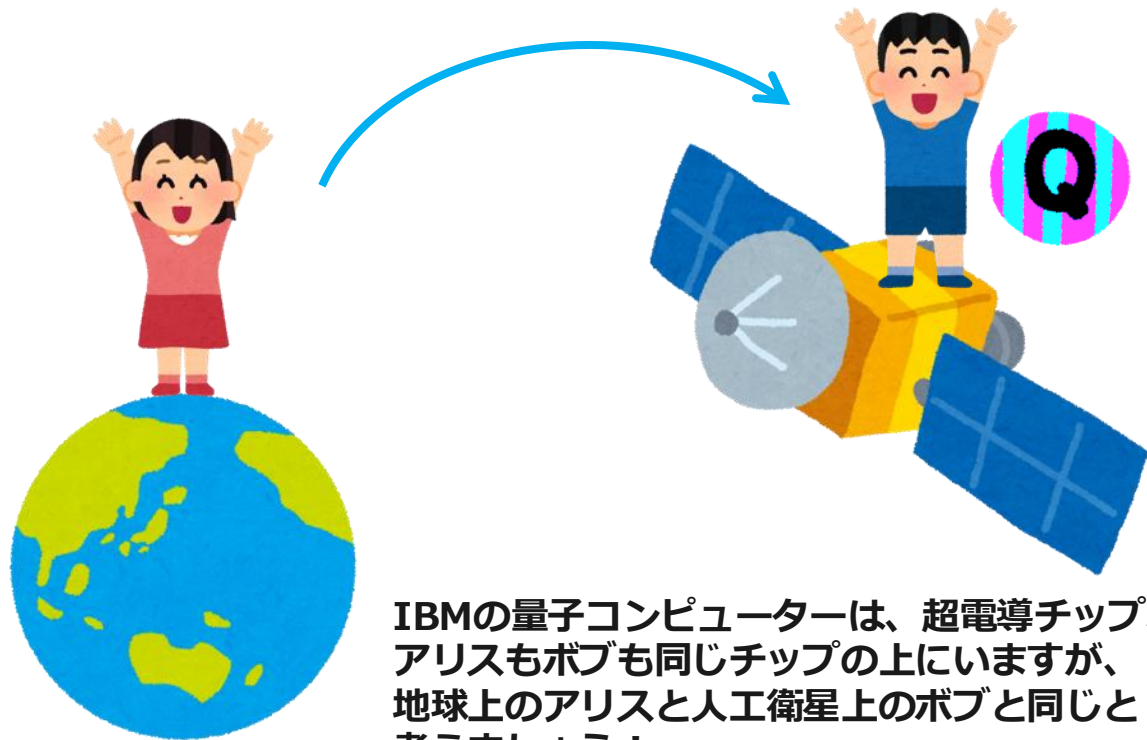


IBMの量子コンピューター

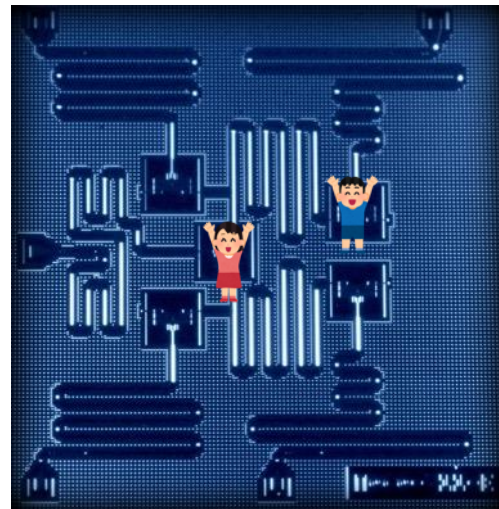


ケルビン
約-273℃ (0.015K)の低温で量子状態を実現

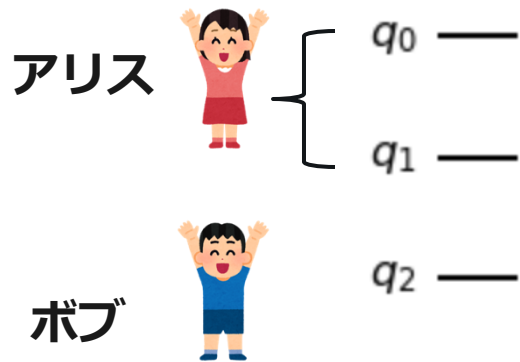
アリスからボブに暗号（量子状態）を送ります



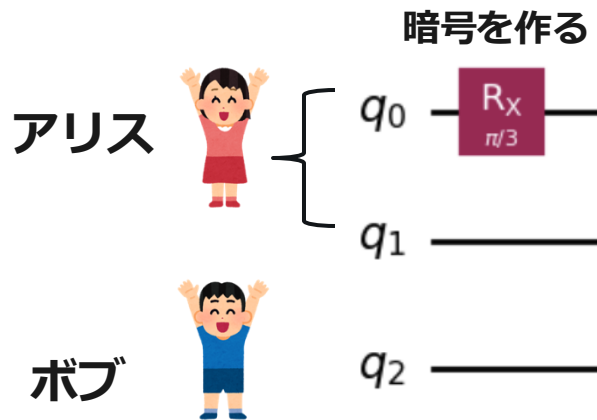
IBMの量子コンピューターは、超電導チップなのでアリスもボブも同じチップの上にはいますが、地球上のアリスと人工衛星上のボブと同じと考えましょう！



テレポーテーションの量子回路

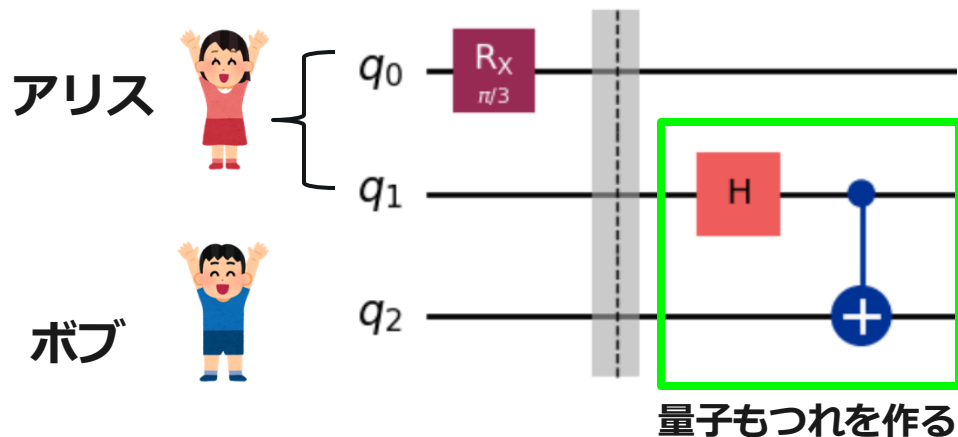


テレポーテーションの量子回路

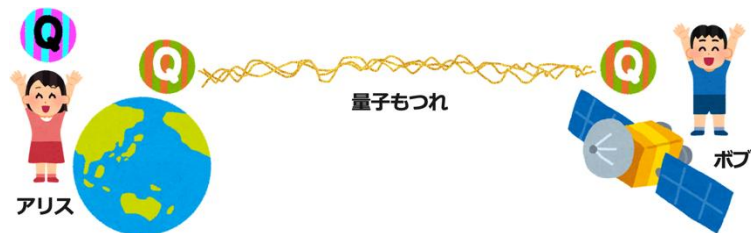


(1) 地球のアリスがある量子  (暗号) を持っています。

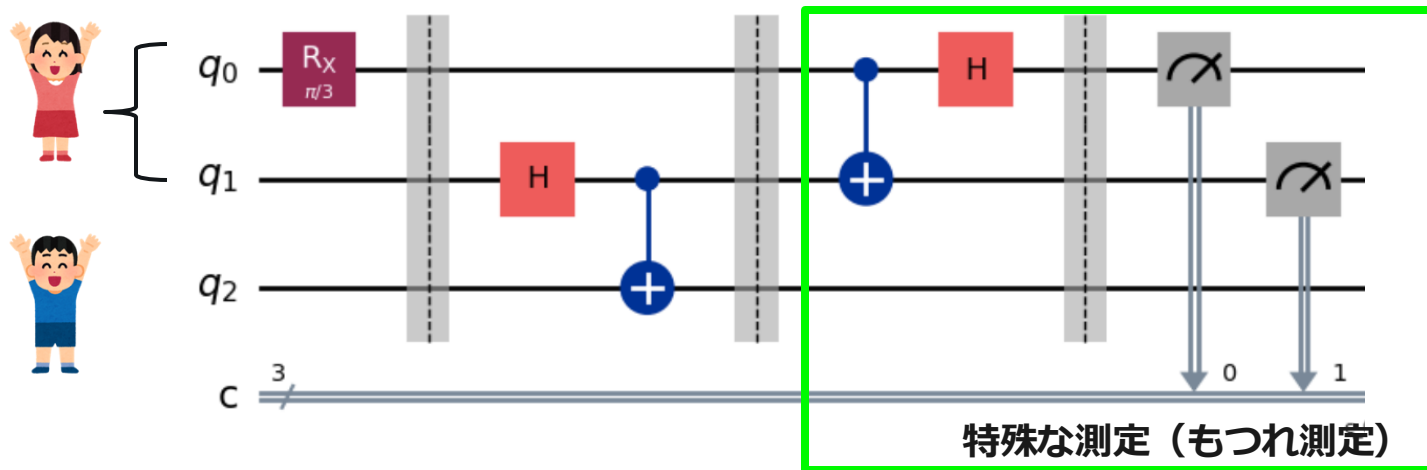
テレポーテーションの量子回路



(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。



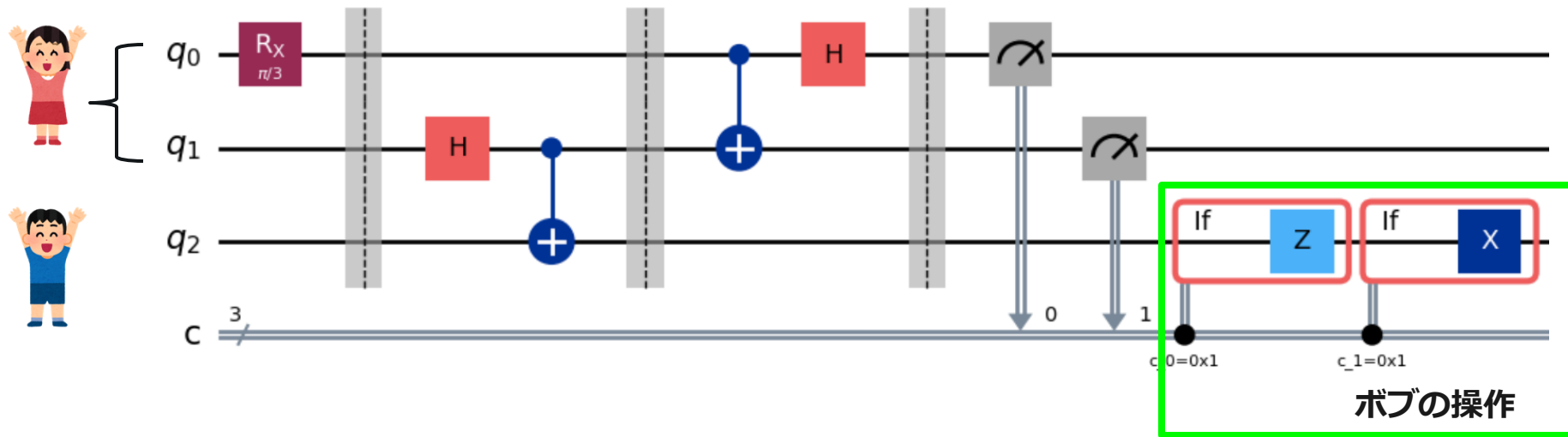
テレポーテーションの量子回路



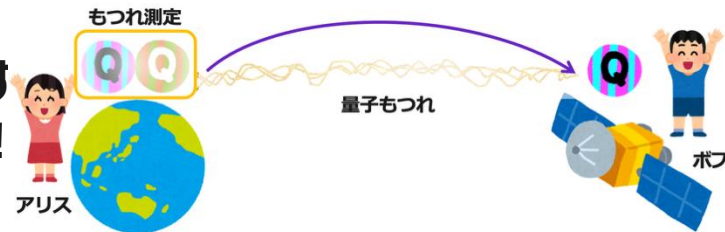
(3) 地球のアリスが地上の2つの量子に特殊な測定（もつれ測定）をします。
（量子もつれ状態にあるボブの量子の状態が瞬時に変わります。）



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！

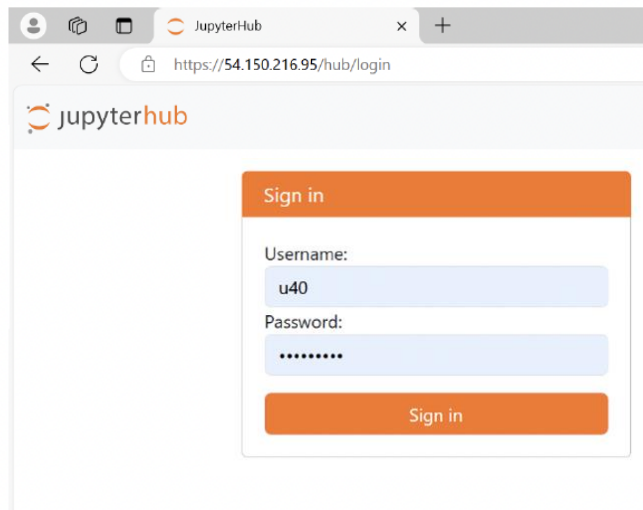


JupyterHubでの実行

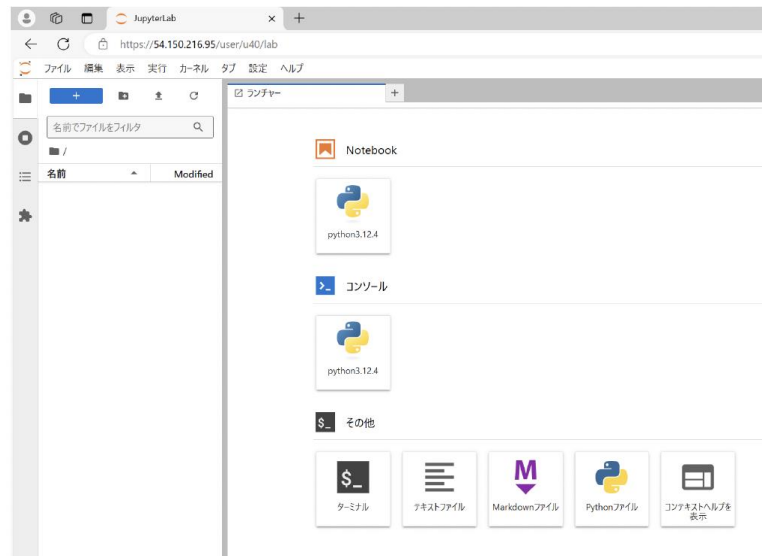
(1) Webブラウザ（ Edge、Safari、Chrome、Firefoxなど）で
<https://54.178.57.208/>にログイン。



(2) ユーザ名とパスワード（メールで配布）を
入力して、「Sign in」をクリック。



(3) この画面になったら成功です！



Kawasaki Campが終わった後、Qiskitを実行する場合

(1) Google Colabratory (<https://colab.research.google.com/>) を使う。
毎回、以下のコマンドを最初に実行する必要があります。

```
!pip install qiskit qiskit[visualization] qiskit-ibm-runtime qiskit-aer
```

```
!pip install qiskit-algorithms qiskit-nature scikit-learn
```

```
!pip install --prefer-binary pyscf
```

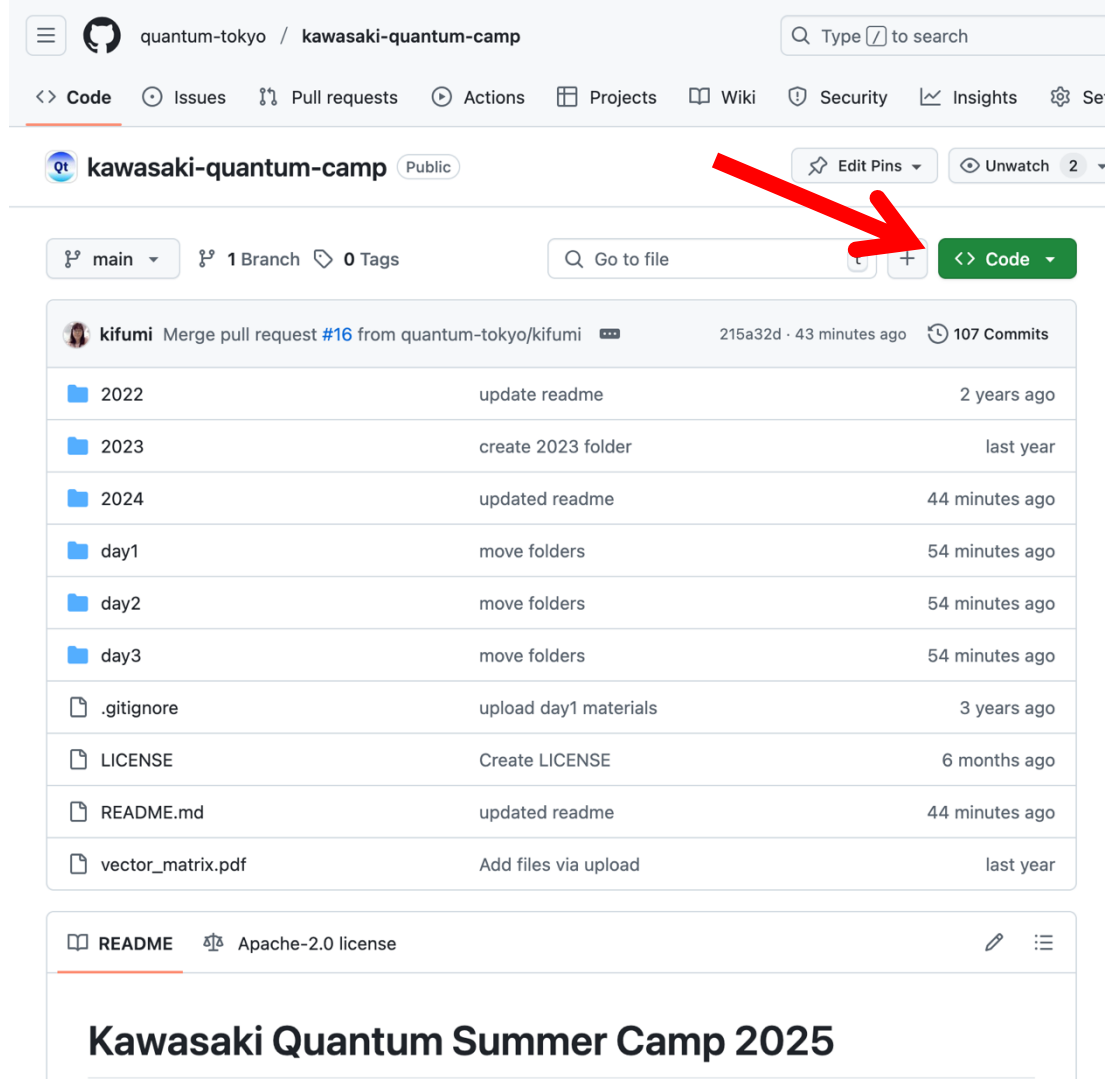
参照 : https://quantum-tokyo.github.io/introduction/get_started/colab.html

(2) qBraid (<https://www.qbraid.com>) を使う。

参照 : https://quantum-tokyo.github.io/introduction/get_started/qbraid.html

ハンズオンの資料

URL: ibm.biz/kwskgit



quantum-tokyo / **kawasaki-quantum-camp** Type / to search

<> Code Issues Pull requests Actions Projects Wiki Security Insights Settings

kawasaki-quantum-camp Public Edit Pins Unwatch 2

main 1 Branch 0 Tags Go to file Code

kifumi Merge pull request #16 from quantum-tokyo/kifumi 215a32d · 43 minutes ago 107 Commits

2022	update readme	2 years ago
2023	create 2023 folder	last year
2024	updated readme	44 minutes ago
day1	move folders	54 minutes ago
day2	move folders	54 minutes ago
day3	move folders	54 minutes ago
.gitignore	upload day1 materials	3 years ago
LICENSE	Create LICENSE	6 months ago
README.md	updated readme	44 minutes ago
vector_matrix.pdf	Add files via upload	last year

README Apache-2.0 license

Kawasaki Quantum Summer Camp 2025

(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

