

Kawasaki Quantum Summer Camp 2024

# 量子テレポーテーション

Jul 31, 2024

沼田祈史

Kifumi Numata

IBM Quantum



IBM Quantum

# Day 2

13:00-14:00 量子コンピューター見学

14:00-15:20 量子ハードウェア入門

15:20-15:30 Break

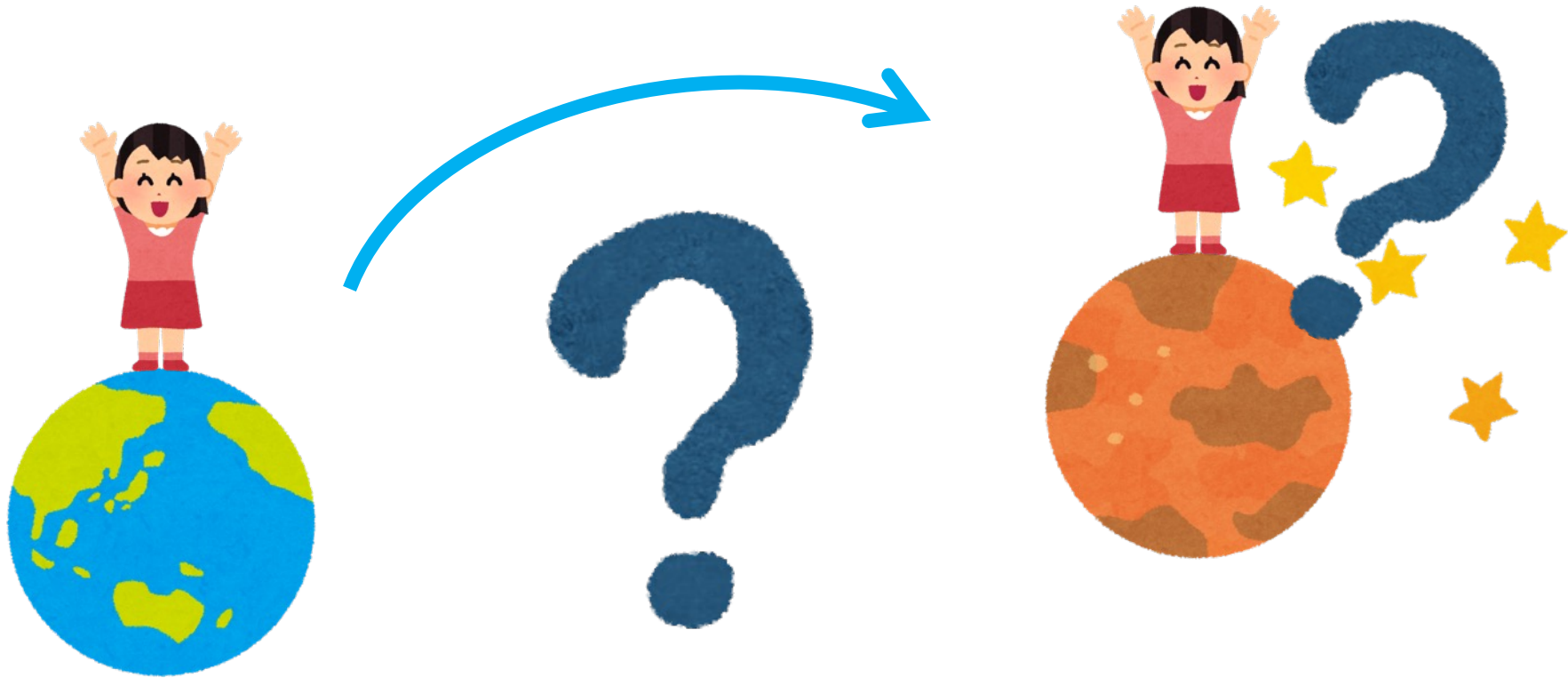
15:30-16:00 量子テレポーテーション

16:00-16:55 量子機械学習

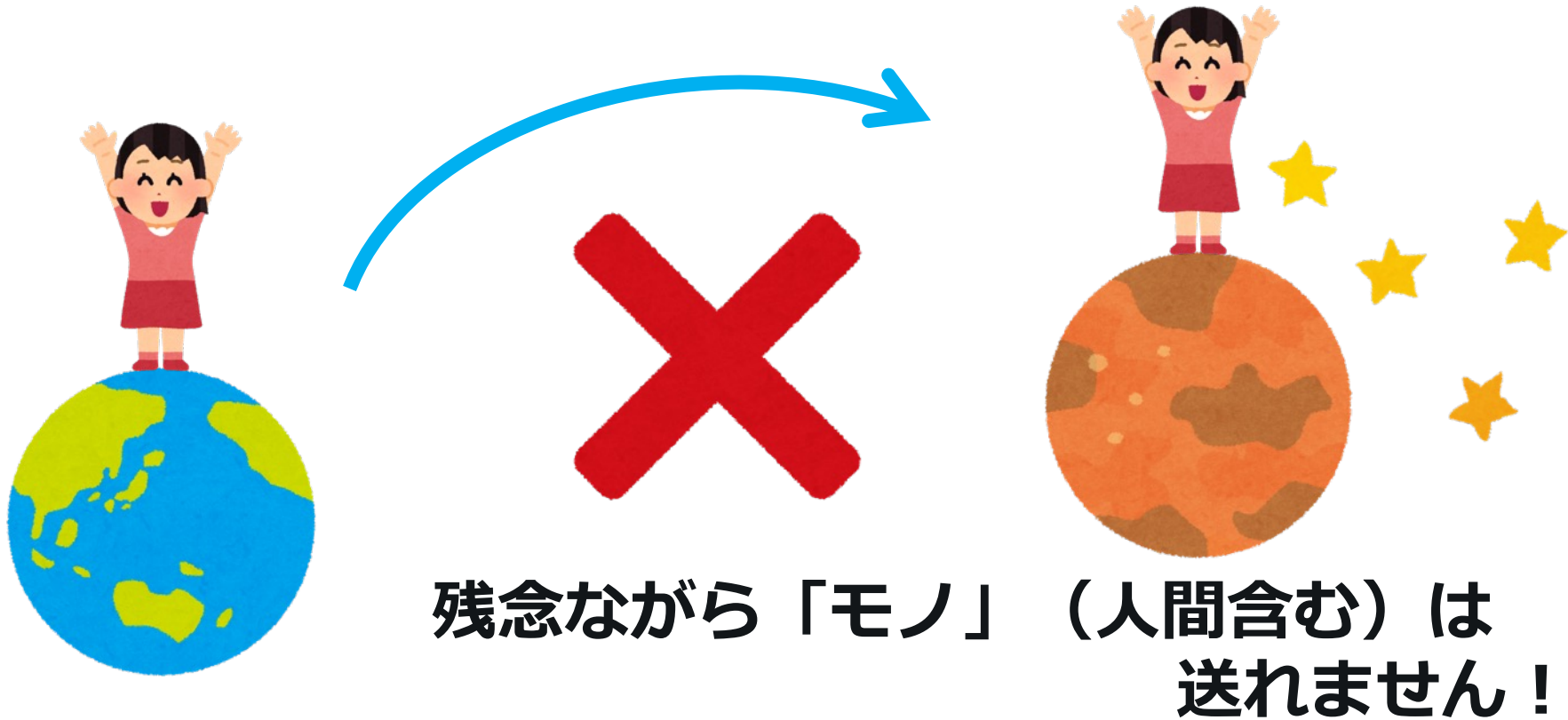
16:55-17:00 グループワークに向けたアイデア

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)

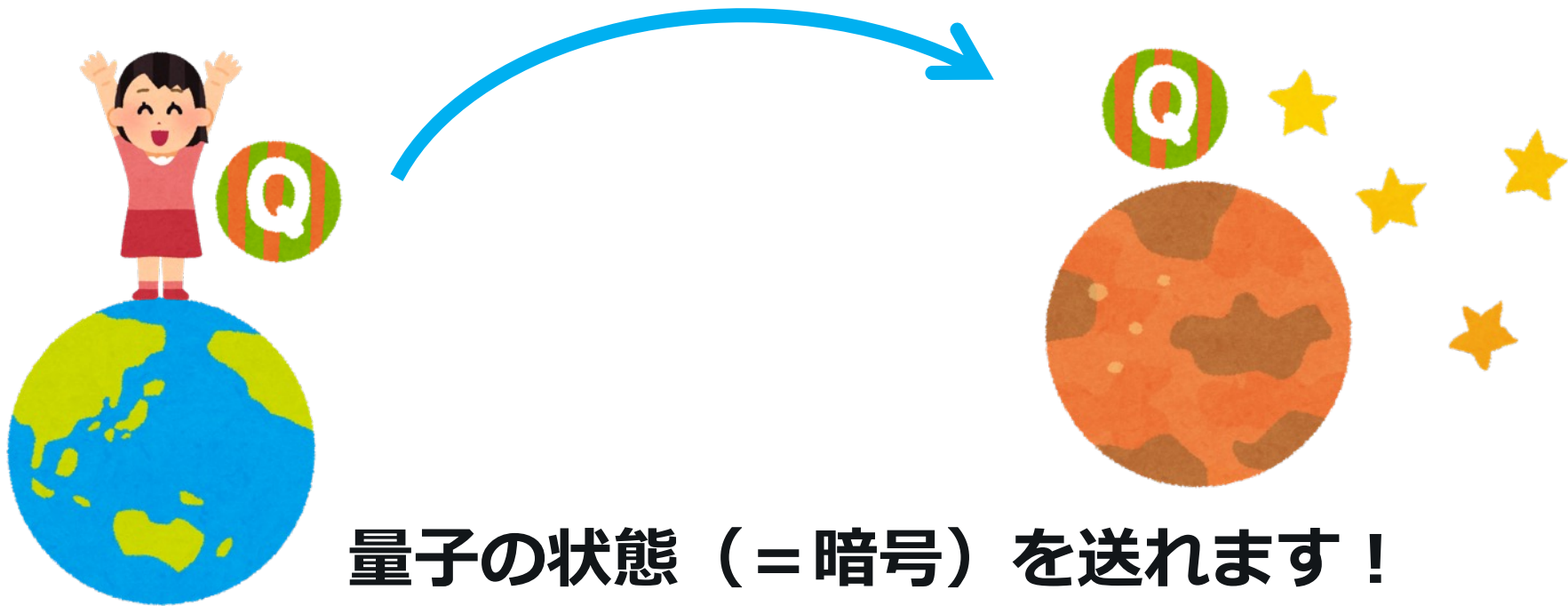
# 量子テレポーテーションとは？ (予想例)



# 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？



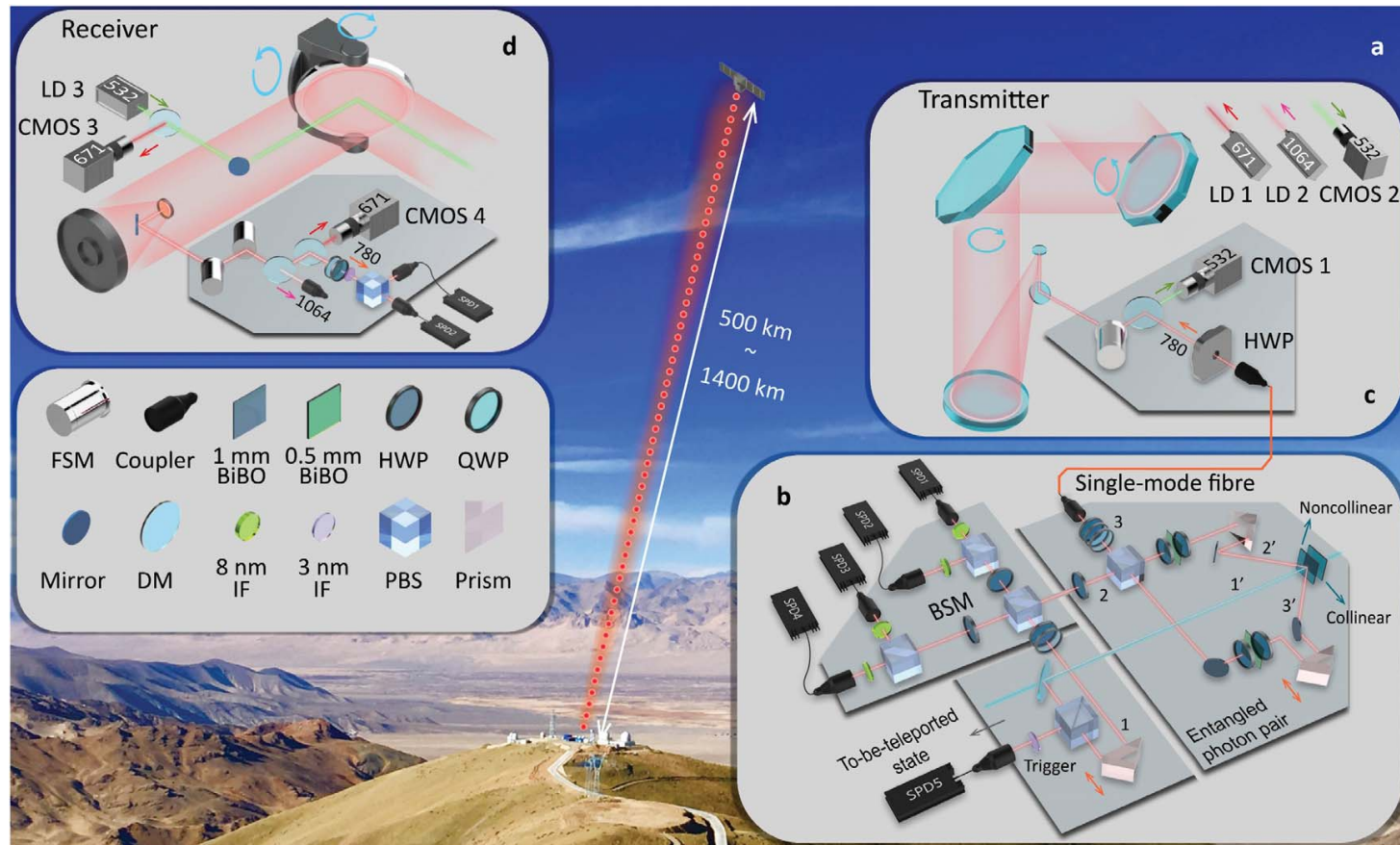
**量子の状態（＝暗号）を送れます！**

# 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



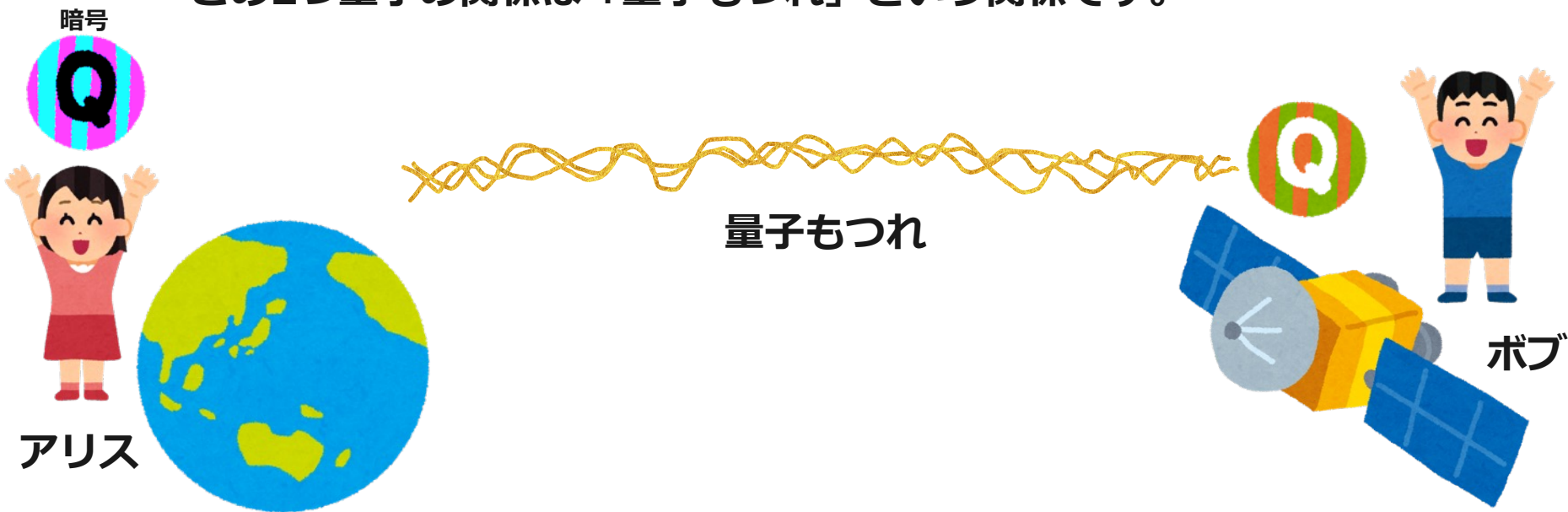
出典 : <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1707/1707.00934.pdf>



# 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。



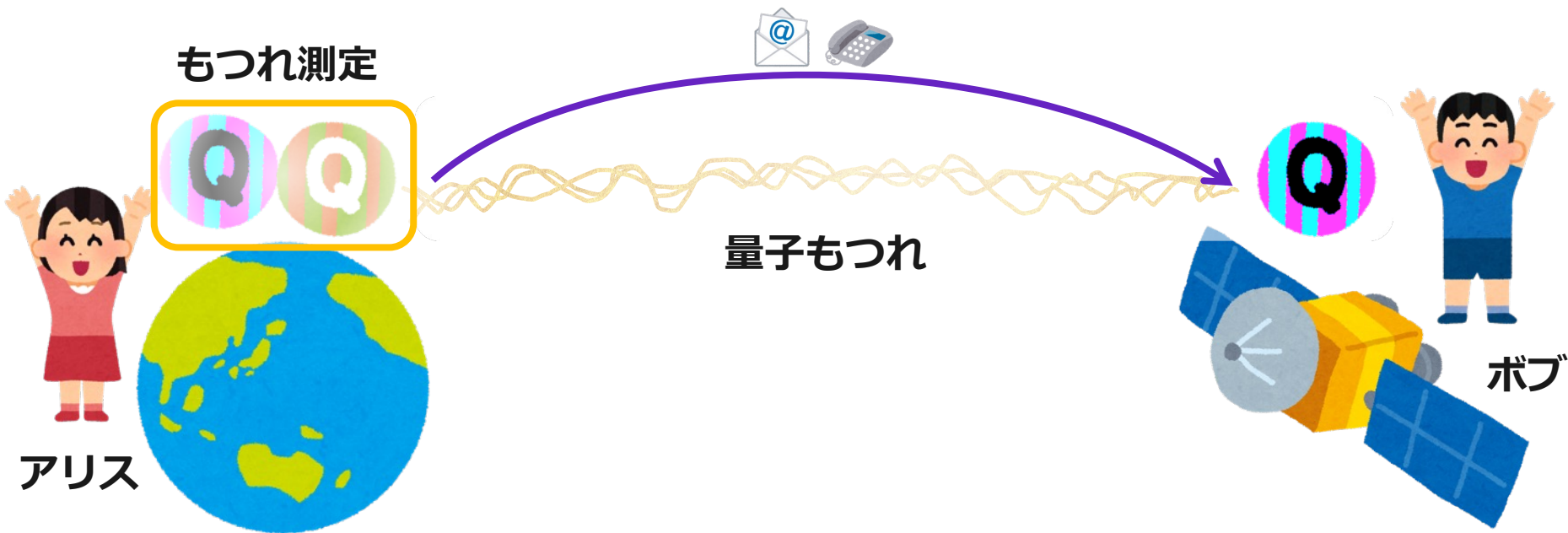
# 量子テレポーテーションの Protokol

(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。）

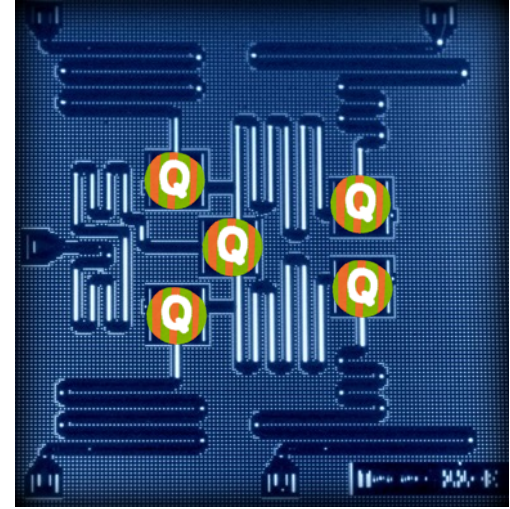
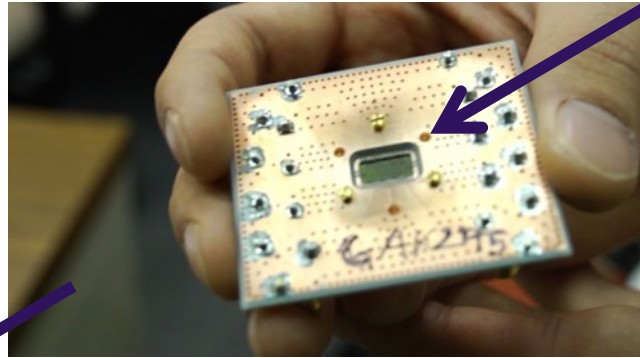
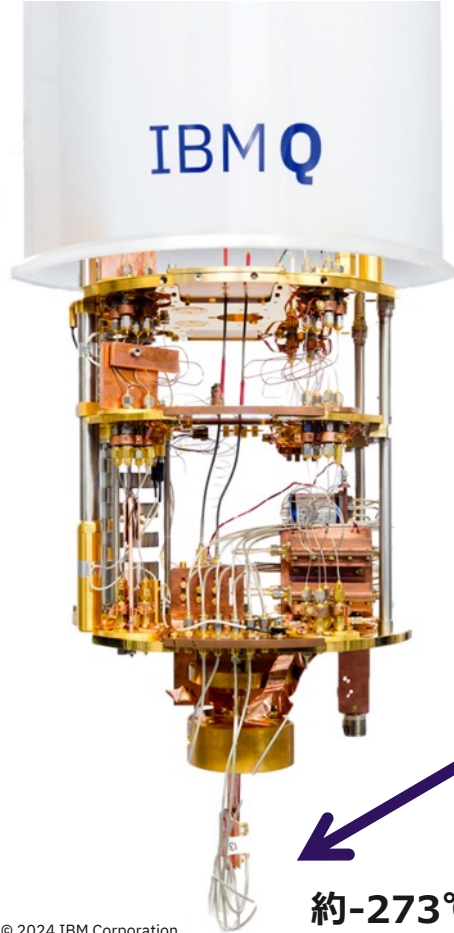


# 量子テレポーテーションの Protokol

(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！

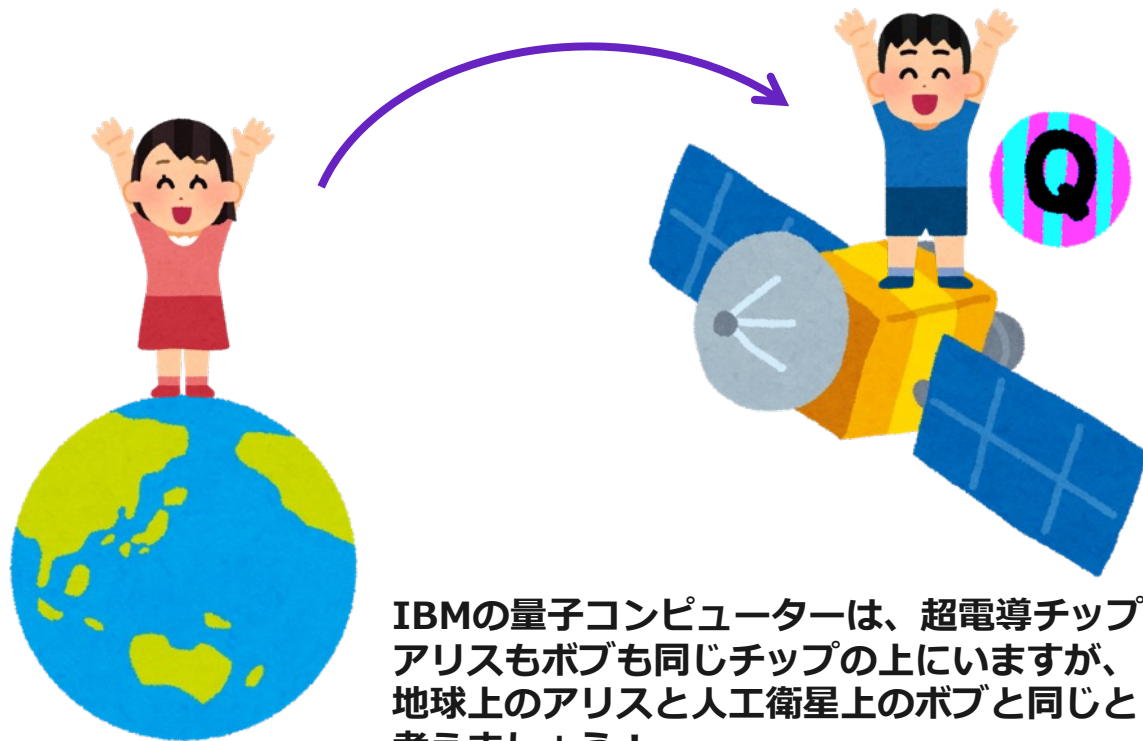


# IBMの量子コンピューター

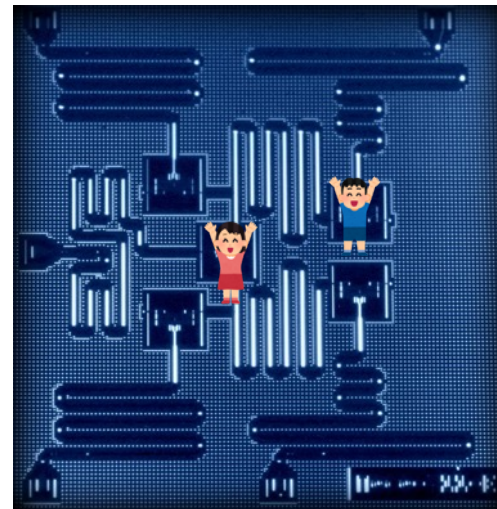


ケルビン  
約-273℃ (0.015K)の低温で量子状態を実現

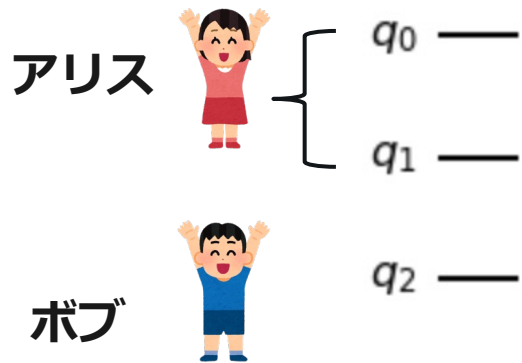
# アリスからボブに暗号（量子状態）を送ります



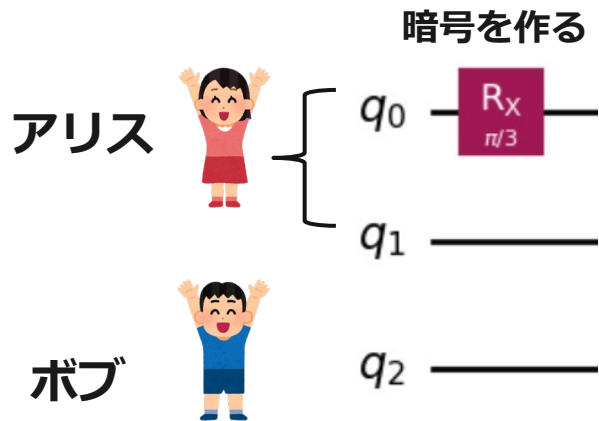
IBMの量子コンピューターは、超電導チップなのでアリスもボブも同じチップの上にはいますが、地球上のアリスと人工衛星上のボブと同じと考えましょう！



# テレポーテーションの量子回路



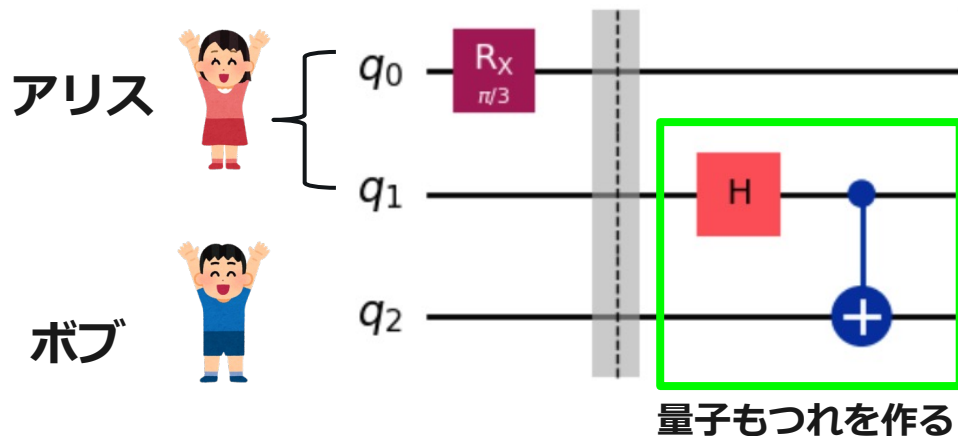
# テレポーテーションの量子回路



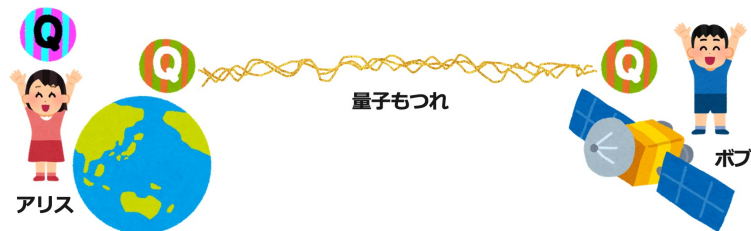
(1) 地球のアリスがある量子 **Q** (暗号) を持っています。



# テレポーテーションの量子回路

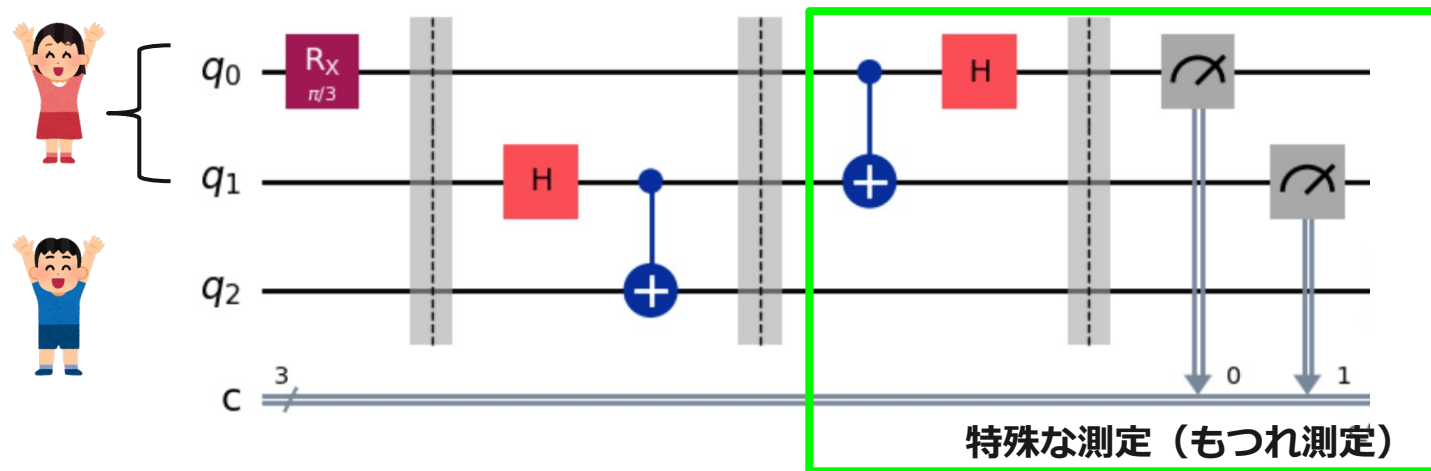


(2) 特別な関係にあるふたごの量子 **Q** が地球と人工衛星の上にあります。  
この2つ量子の関係は「量子もつれ」という関係です。





# テレポーテーションの量子回路



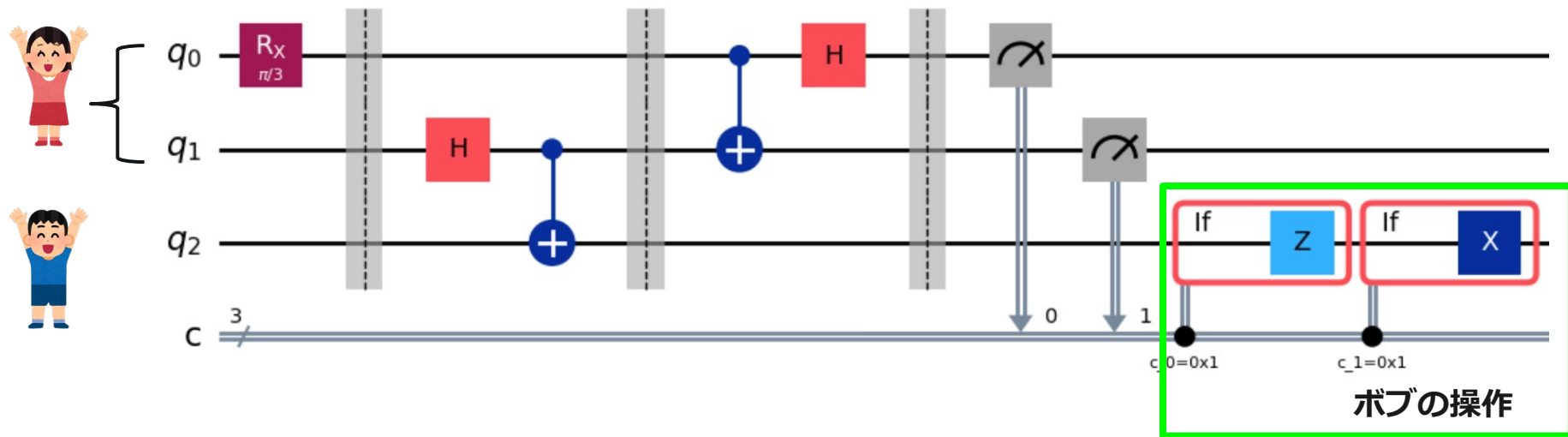
(3) 地球のアリスが地上の2つの量子に特殊な測定（もつれ測定）をします。

(量子もつれ状態)

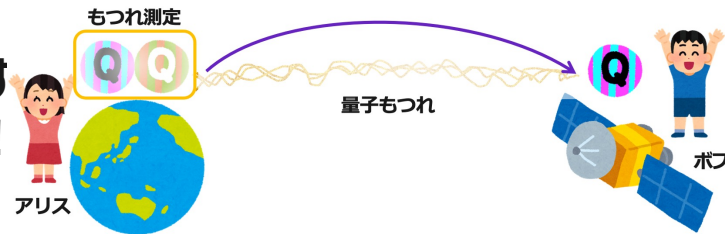


ります。)

# 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！

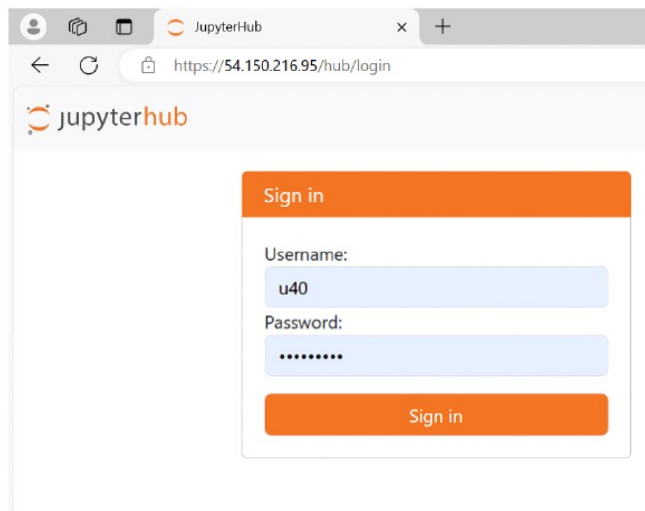


# JupyterHubでの実行

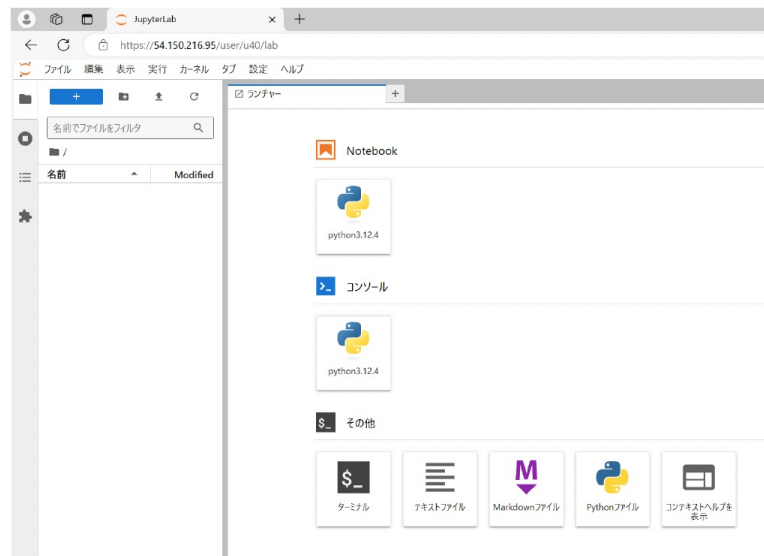
(1) Webブラウザ（ Edge、Safari、Chrome、Firefoxなど）で  
<https://54.150.216.95>にログイン。



(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 pycsf
```

参照ブログ : <https://qiita.com/kifumi/private/51a5d2a420e6318f78fb>

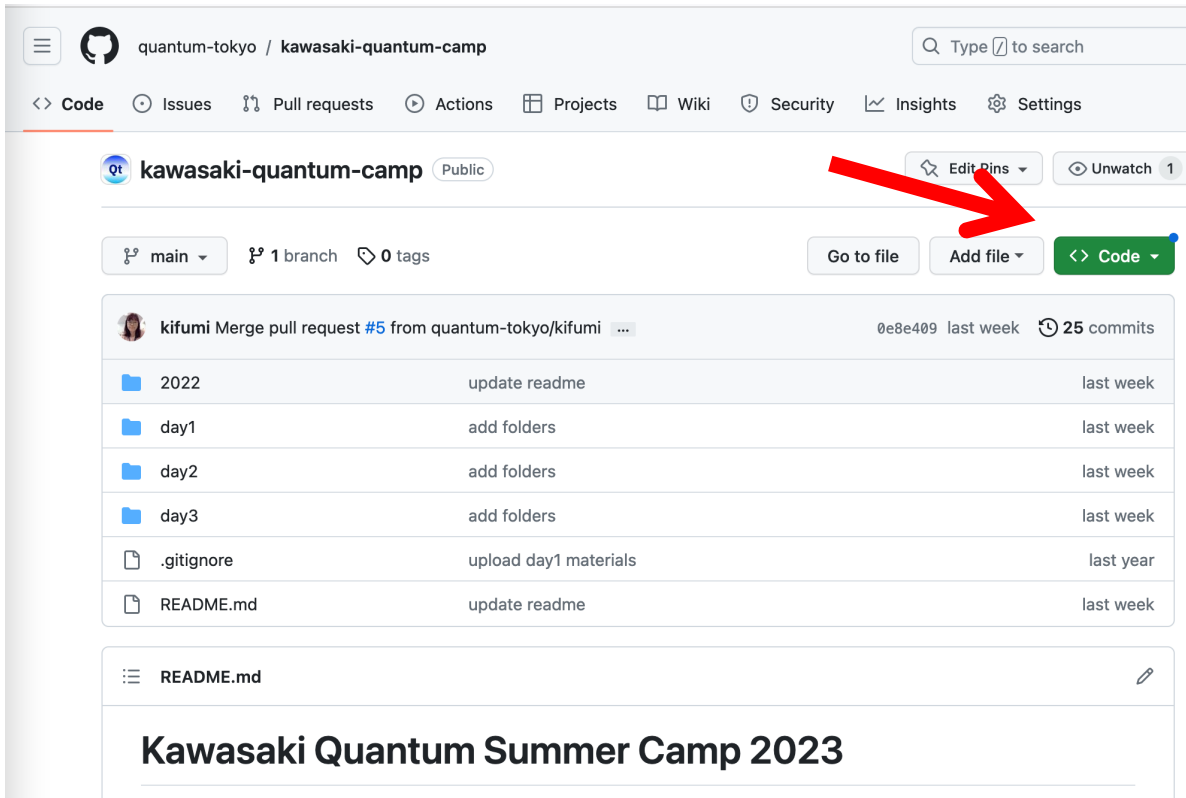
(2) qBraid (<https://www.qbraid.com>) を使う。

実機で実行する場合は、以下のコマンドを実行する必要があります。

```
%pip uninstall --yes simplejson
```

# ハンズオンの資料

URL: [ibm.biz/kwskgit](https://ibm.biz/kwskgit)



The screenshot shows the GitHub repository page for 'kawasaki-quantum-camp' by 'quantum-tokyo'. The repository is public and has 1 branch (main) and 0 tags. A red arrow points to the 'Code' button in the top right corner. Below the repository name, there is a table of files and folders with their commit history.

File/Folder	Commit Message	Commit Hash	Time
2022	update readme	0e8e409	last week
day1	add folders		last week
day2	add folders		last week
day3	add folders		last week
.gitignore	upload day1 materials		last year
README.md	update readme		last week

Below the table, there is a section for the 'README.md' file, which contains the title 'Kawasaki Quantum Summer Camp 2023'.

# (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

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

a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

