

IBM Quantum

第1回 Qiskitハンズオン研修 入門編

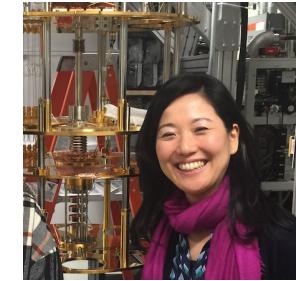
Intro to Coding with Qiskit

IBM東京基礎研究所
量子コンピューティング 量子開発者コミュニティー
小林 有里



自己紹介

【講師】 小林有里 (こばやし・ゆり)
日本アイ・ビー・エム株式会社
東京基礎研究所 量子コンピューティング
Quantum Developer Community担当



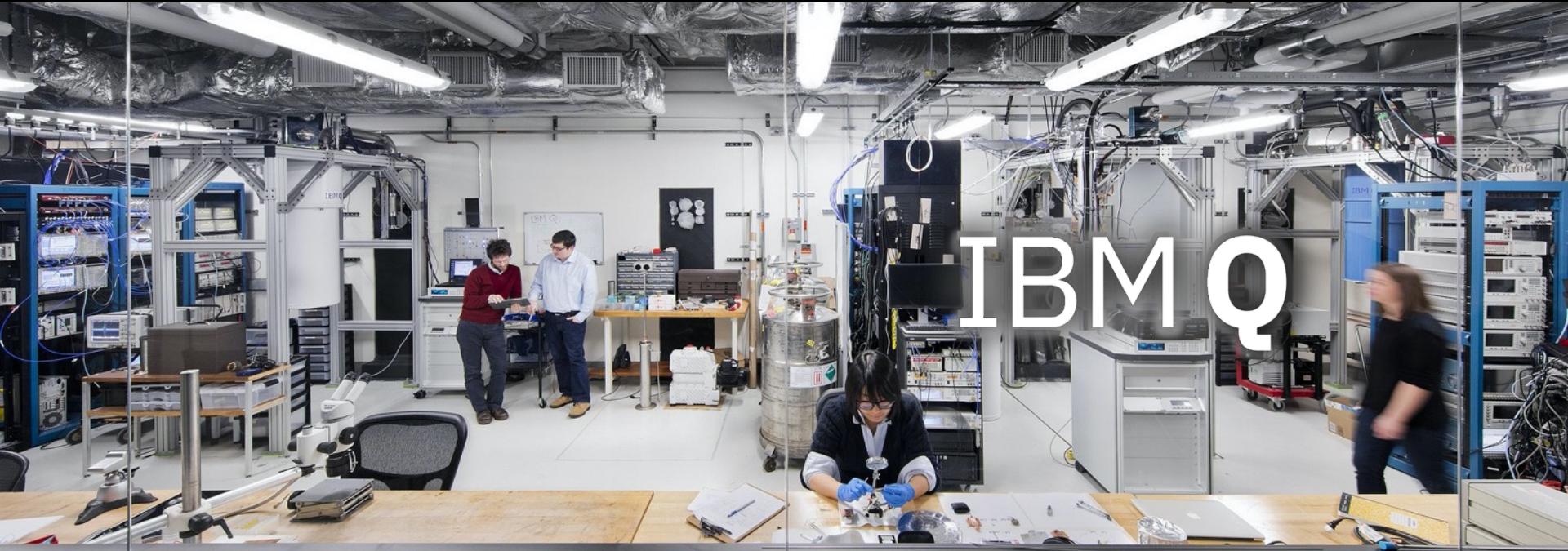
【経歴】

- 物理学科 固体物理 有機超伝導体 材料研究
- 日本IBM（株）ソフトウェア組込開発事業に配属。ストレージ製品の開発に従事。
- 2014年に日本IBM 東京基礎研究所に入所。
- ワークプレイス・アクセシビリティをテーマにAIを活用した障害者や高齢者の就労支援技術の研究およびソリューション開発に従事。
- 2019年より量子コンピューティングチームにて、Qiskitの開発者向けコミュニティを担当。Qiskitの研修、大学での授業展開をはじめ、量子コンピューターを使ったプログラミングコンテスト、ハッカソンの主催などを通じて、量子ネイティブと呼ばれる量子コンピューターをつかいこなせる世代の育成に注力。

本日の学習の目標

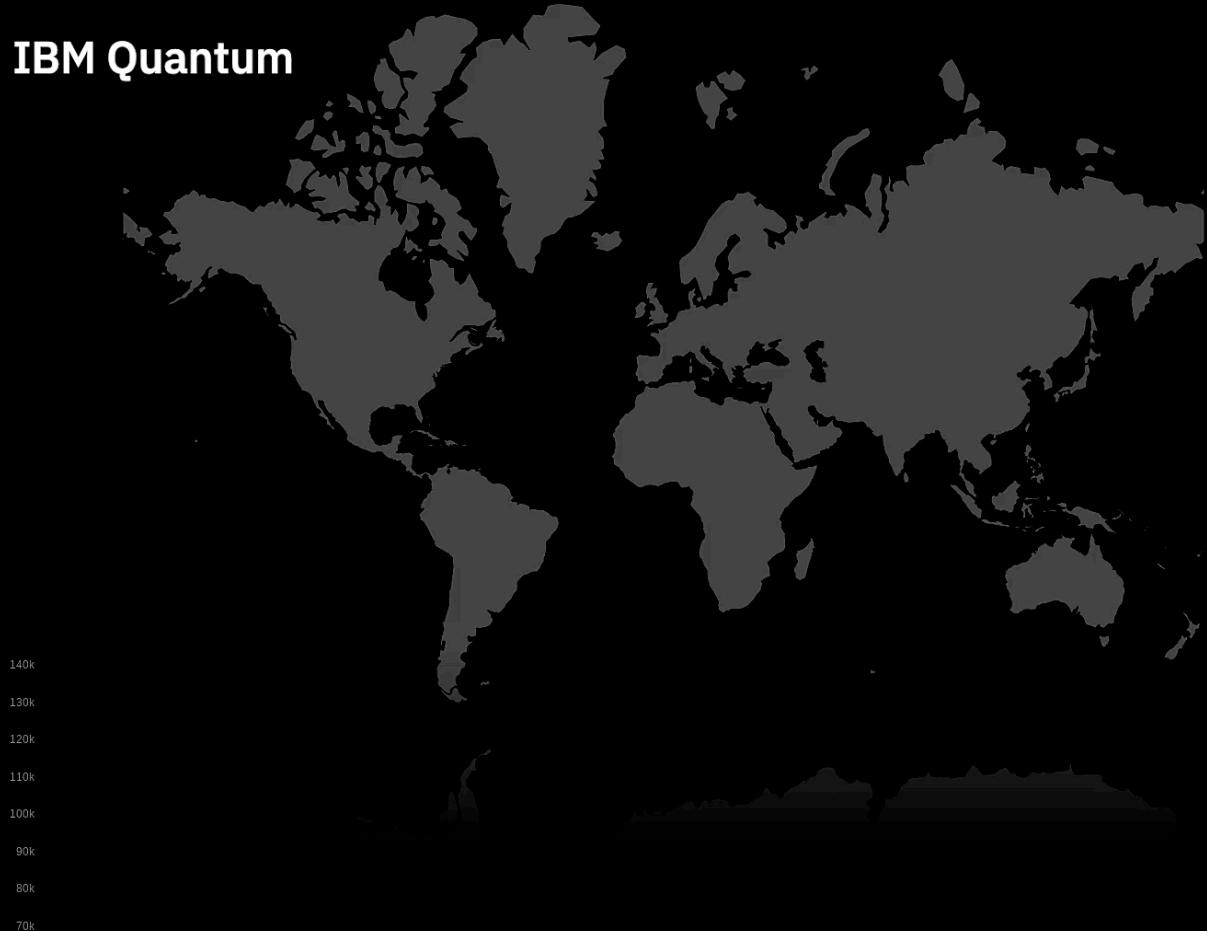
- 量子計算の特徴の理解
- Quantum Experienceの基本的な使い方の習得
- Qiskit上での簡単な量子回路の作成、およびシミュレーターと実機での実行ができるようになる

IBMは量子コンピューターを世界に先駆けて
世に送り出しました。



<https://www.research.ibm.com/ibm-q/>

IBM Quantum



Quantum Chips

130k

Quantum Simulators

72k

Users

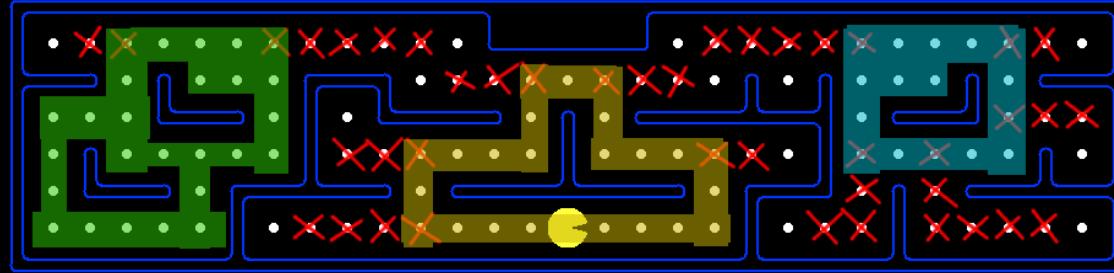
0.0

Top countries

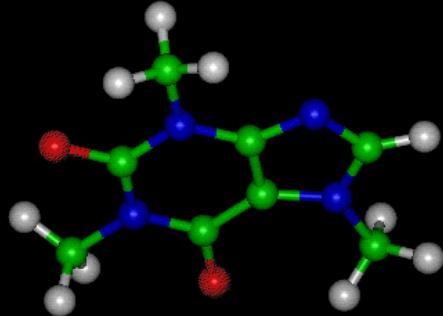
New countries

量子コンピューター学習する動機

古典コンピューターが得意としている分野において優位性をもたらす可能性があります。



特定の最適化問題



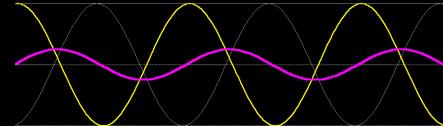
化学シミュレーション



素因数分解

古典計算との違い：量子力学の原理に基づく量子計算

重ね合わせ
Superposition



2^n

扱えるデータ量が指数的に増える
並列演算ができる

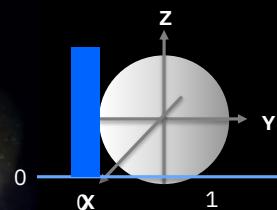
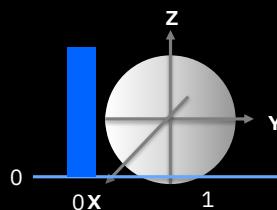
0

1

観測



量子もつれ
Entanglement



量子もつれを利用して
求めている解の効果的な導出を行うことができる

量子状態について

ケット表現

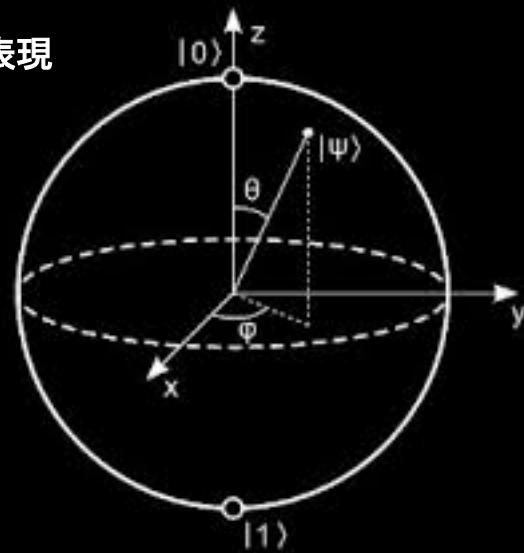
$$\Psi = \underline{\alpha} |0\rangle + \underline{\beta} |1\rangle$$

確率振幅

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \quad \alpha, \beta \in \mathbb{C}$$

観測 : $|\alpha|^2$ の確率で $|0\rangle$ 、 $|\beta|^2$ の確率で $|1\rangle$

ベクトル表現



量子ビットの状態はブロッホ球の中心からのびる
状態ベクトルとして表現することができます。

$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

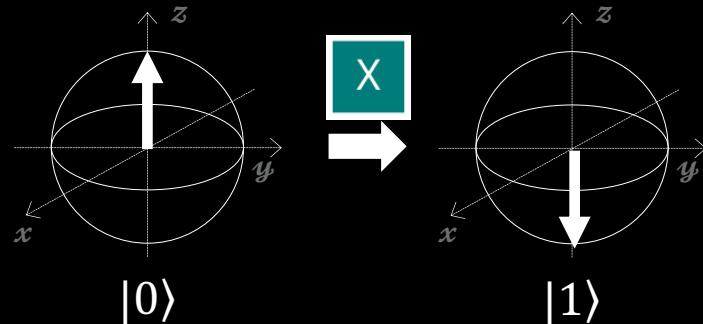
$$X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

量子ゲート：反転ゲートX

論理ゲートのNOTに相当する量子ゲート

量子ビットの状態をx軸回りに180°回転

1入力、1出力



$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \text{ と表されます。} \quad X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$X|0\rangle = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = |1\rangle$$

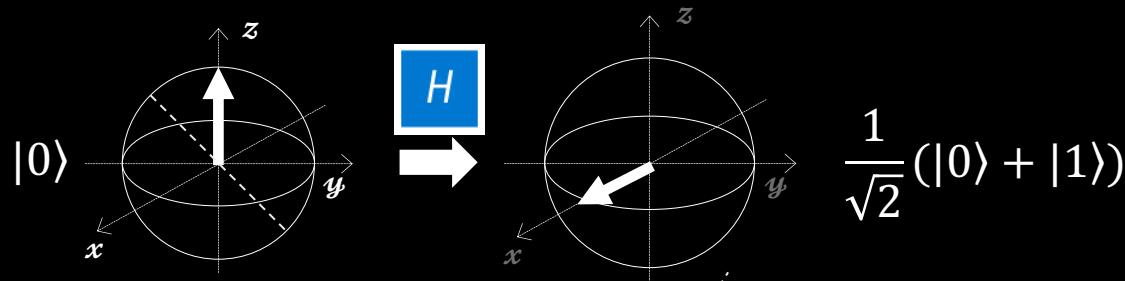
$$X|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = |0\rangle$$

量子ゲート：アダマール H

量子重ね合わせ状態を作る際に利用されることが多い。

量子ビットの状態をx軸とz軸の間の軸の回りに180°回転

1入力、1出力



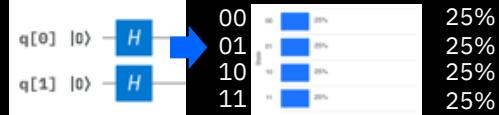
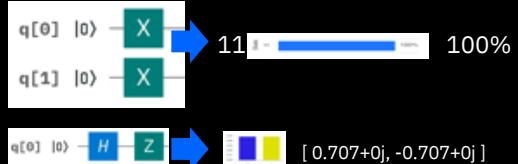
$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

$$HH = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = I$$

$$H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$$

$$H|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$$

代表的な量子ゲートの紹介

ゲートの種類	説明	IBM Q Experience上のアウトプット例
アダマールゲート 	重ね合わせ状態をつくるのに用いられる	 q[0] $ 0\rangle$ - H -> 00 (00: 25%, 01: 25%, 10: 25%, 11: 25%) q[1] $ 0\rangle$ - H -> 01 (00: 25%, 01: 25%, 10: 25%, 11: 25%)
制御ノットゲート 	もつれをつくるのに用いられる (論理ゲートのXORに相当) 2量子ビットに適用。	 q[0] $ 0\rangle$ - H -> 00 q[1] $ 0\rangle$ - $+ \otimes I$ -> 11 (00: 50%, 11: 50%)
パウリX, Y, Zゲート 	X: 反転ゲート $ 0\rangle \rightarrow 1\rangle$, $ 1\rangle \rightarrow 0\rangle$ Y: 位相反転とビット反転の両方を引き起こす $ 0\rangle \rightarrow i 1\rangle$, $ 1\rangle \rightarrow -i 0\rangle$ Z: $ 0\rangle$ には何もせず、 $ 1\rangle$ には位相反転, $ 0\rangle \rightarrow 0\rangle$, $ 1\rangle \rightarrow - 1\rangle$	 q[0] $ 0\rangle$ - X -> 11 (11: 100%) q[1] $ 0\rangle$ - X -> 11 q[0] $ 0\rangle$ - H - Z -> [0.707+0j, -0.707+0j]
位相シフトゲート 	S : 位相を $\pi/2$ 回転 T : 位相を $\pi/4$ 回転	 q[0] $ 0\rangle$ - H - S -> [0.707+0j, 0+0.707j] q[0] $ 0\rangle$ - H - T -> [0.707+0j, 0.5+0.5j]

IBM Q とQiskit

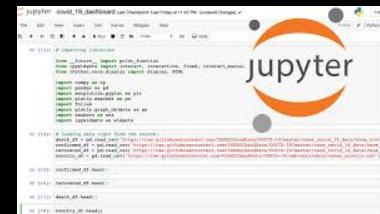
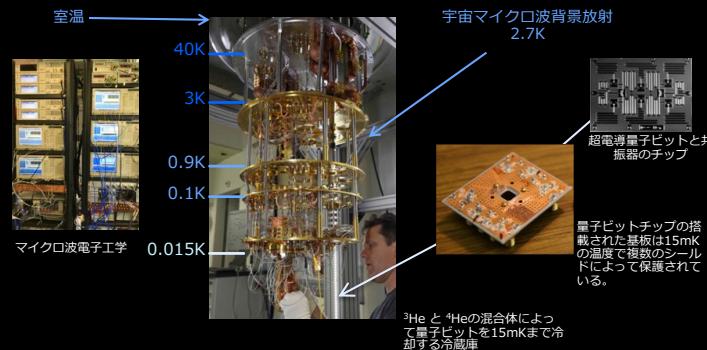
IBM Q: IBMが提供する量子コンピューターの実機

Qiskit: IBMが提供するPythonベースの量子コンピューターフレームワーク(OSS)

- ・量子シミュレーターと実機へのrequestの両方の機能をもちあわせる

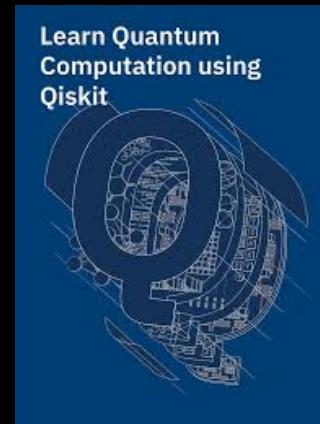
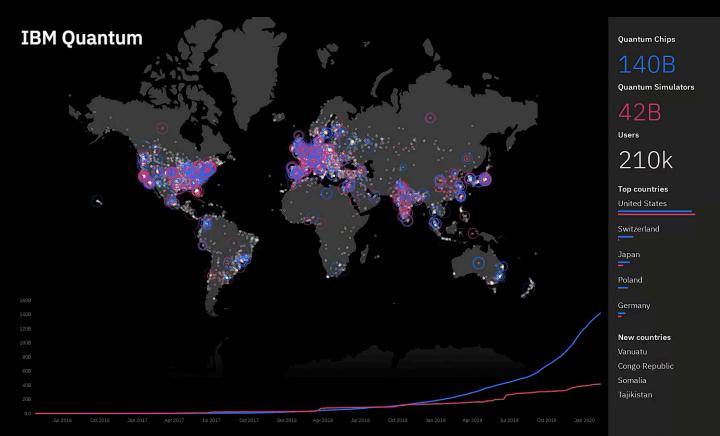
IBM Q Experience : クラウド上の実行環境

- ・Composerと呼ばれるGUIとNotebookの環境を提供



Qiskitを学習する動機

- 実機にアクセスして量子計算を試せる数少ないプラットフォーム
 - 現在18の量子システムを公開 + 高速な量子シミュレーターも用意
- 最も利用されている量子コンピューターフレームワークのひとつ（登録ユーザー240K以上）
- 自習可能な教材（Qiskit Textbookやオンラインチュートリアル）が豊富



IBM Quantum Experience (IQX)で 量子計算を試してみよう！

The screenshot shows the IBM Quantum Experience (IQX) web interface. At the top, there is a navigation bar with tabs: "IBM Q Experience", "* Untitled Experience", "Getting Started ...", "Untitled Experiment...", "Result 5cfea3a4...", and a user icon. Below the navigation bar, a large banner displays the URL <https://quantum-computing.ibm.com/>. On the left side, there is a sidebar titled "Qiskit Tutorials" which lists several notebooks: "jupyter", "basics", "aqua", "chemistry", "start_here.ipynb", "optimization", "artificial_intelligence", and "aer". In the center, there is a "Circuit composer" section. It features a grid of quantum gate icons: H, +, ID, U3, U2, U1, Rx, Ry, Rz, X, Y, Z, S, S†, T, T†, cH, cY, cZ, cRz, cU1, cU3, +, Barrier, Operations, Subroutines, and a "q[0]" register input field.

IQXで体験する初めての量子計算（使い方ガイド）
<https://www.ibm.com/developerworks/jp/library/iqx-getstart>

量子アルゴリズムの紹介：グローバーのアルゴリズム

グローバーのアルゴリズム

- Grover のアルゴリズムは、非構造化データベースの中から求めている解を探し当てる代表的な量子アルゴリズムの一つ。
- N 個の箱が並ぶ巨大貨物の中から、アタリを見つけたい場合、古典アルゴリズムだと総当たりで探索するしかない。1回でみつかる確率は平均 $\frac{1}{N}$ 回。
- Groverのアルゴリズムを使うと \sqrt{N} ステップで探索可能。箱の数が多いほど探索効率が高まる。



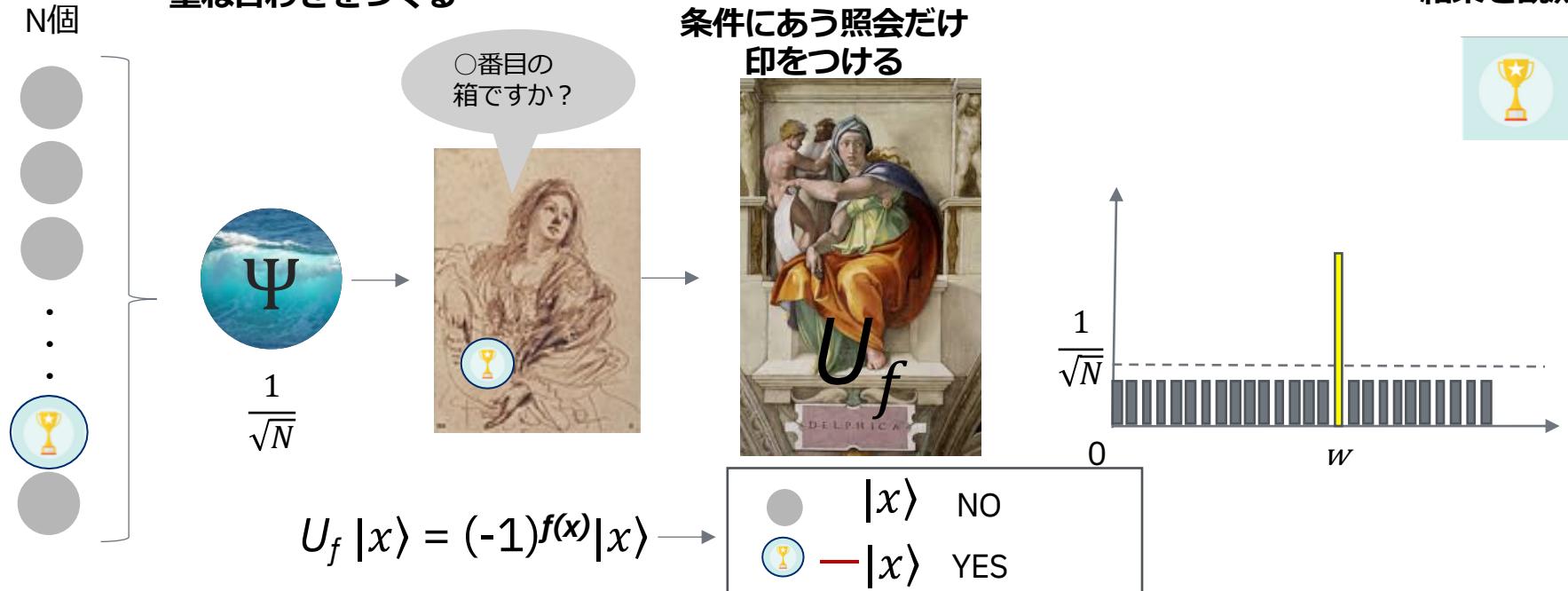
問合せ関数（オラクル）

- オラクル：条件にあうクエリをかけたときだけYESと答えてくれる関数

重ね合わせをつくる

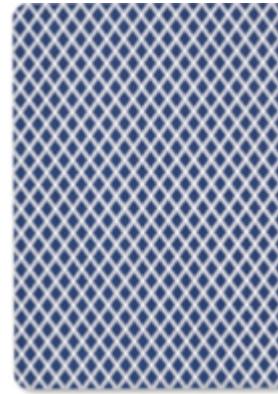
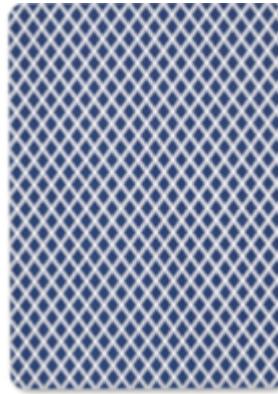
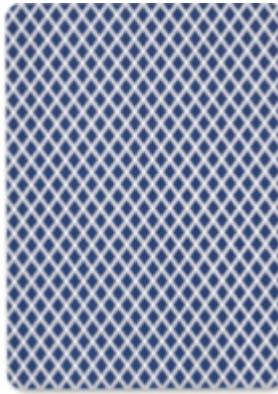
オラクル関数が 条件にあう照会だけ 印をつける

解の確率振幅を高める 結果を観測



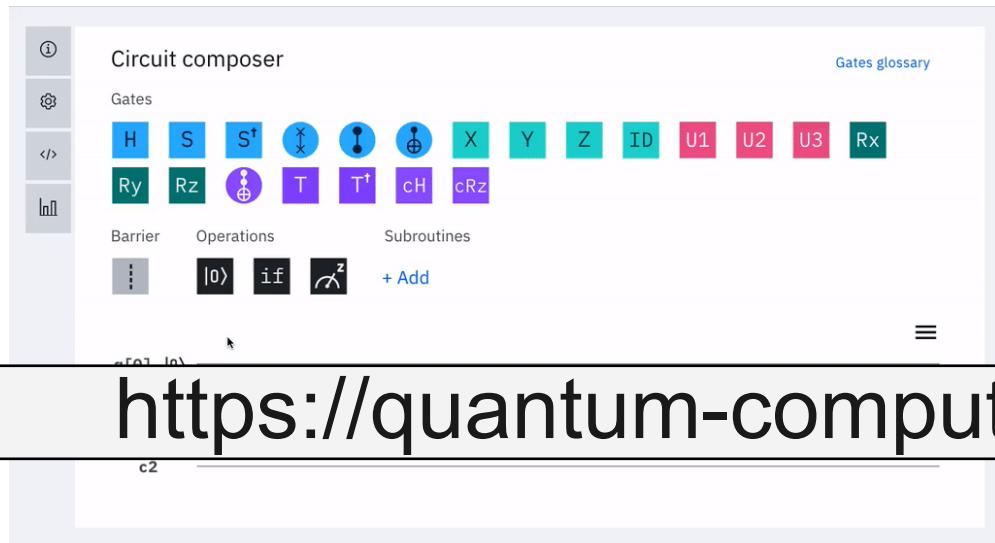
グローバーのアルゴリズムをつかった4 Card Monte

さきほどの探索問題を単純化します。
4枚のトランプの中からクイーン($|11\rangle$)を探しましょう



本物の量子コンピューターで解いてみましょう

- IBM Quantum Experienceをつかって五線譜のようなUIで
- 量子回路を組むことができます。

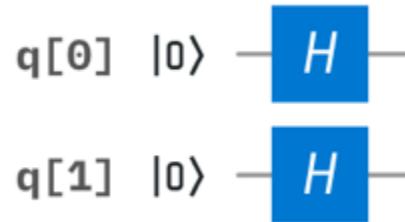


<https://quantum-computing.ibm.com/>

グローバーの探索回路をつくる - ステップ 1

Step 1: 重ね合わせをつくる

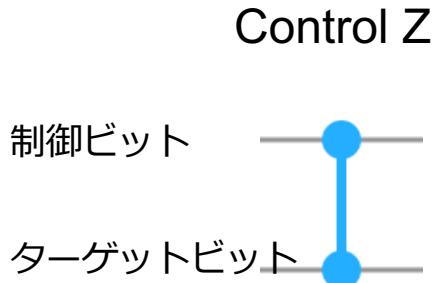
ふたつの量子ビット $q[0], q[1]$ にアダマールゲートを作用させて重ね合わせの状態をつくります。



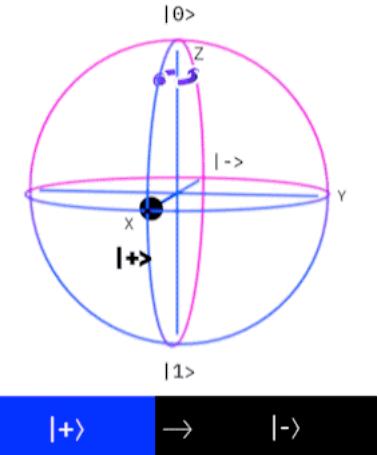
$$|0\rangle|0\rangle \rightarrow (H \otimes H) \rightarrow \frac{|0\rangle+|1\rangle}{\sqrt{2}} \frac{|0\rangle+|1\rangle}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} (|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle + |11\rangle)$$

グローバーの探索回路をつくる - ステップ 2

Step 2: 探している解の位相を反転させる



制御ビットが1のときだけ
ターゲットビットを反転させます
(反転: z軸回りに180回転)



$$|00\rangle \xrightarrow{H \otimes H} \frac{1}{2}(|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle + |11\rangle) \xrightarrow{\text{CZ}} \frac{1}{2}(|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle - |11\rangle)$$

$$|x\rangle = |11\rangle - |x\rangle$$

グローバーの探索回路をつくる - ステップ 3

Step 3: 確率振幅の増幅

振幅増幅手法によって、重ね合わせ状態の平均値の周りで反転を繰り返します
[アダマール変換 ($H \otimes H$)]と[ビット変換 ($X \otimes X$)]と[制御 Z ゲート (cZ)]を使います。 (diffusion、または反転オラクルDと呼ばれる)



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

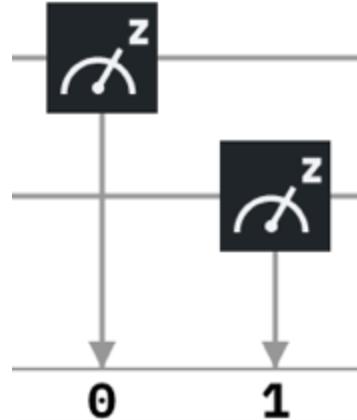
$$\xrightarrow{H \otimes H} \frac{1}{2}[(|0\rangle + |1\rangle)|0\rangle + (|0\rangle - |1\rangle)|1\rangle] \xrightarrow{X \otimes X} \frac{1}{2}[(|0\rangle + |1\rangle)|1\rangle - (|0\rangle - |1\rangle)|0\rangle]$$

$$\xrightarrow{cZ} \frac{1}{2}[(|0\rangle - |1\rangle)|1\rangle - (|0\rangle - |1\rangle)|0\rangle] \xrightarrow{X \otimes X} \frac{1}{2}[-(|0\rangle + |1\rangle)|1\rangle + (|0\rangle - |1\rangle)|1\rangle]$$

$$\xrightarrow{H \otimes H} \frac{1}{2}[-|1\rangle(|0\rangle + |1\rangle) + |1\rangle(|0\rangle - |1\rangle)] = -|11\rangle$$

グローバーの探索回路をつくる - ステップ 4

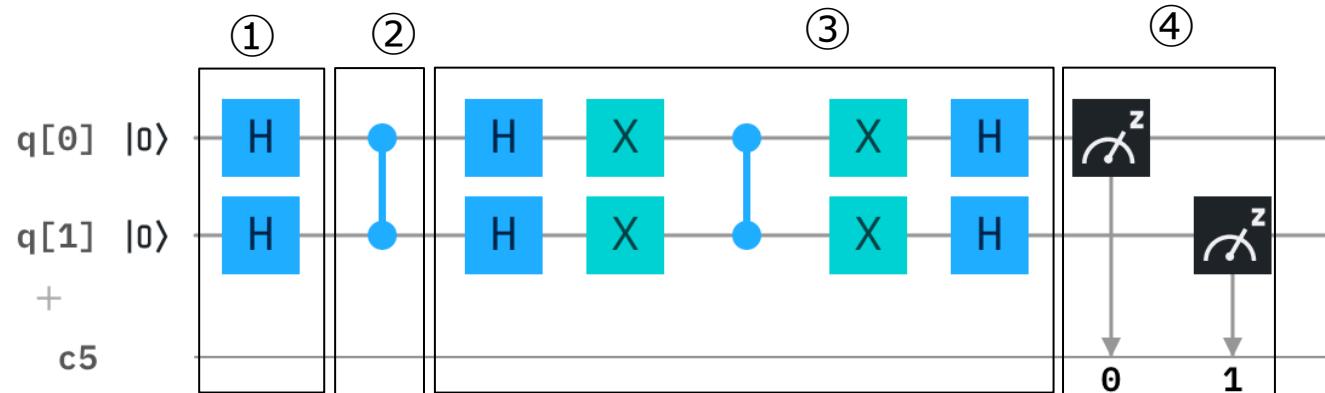
Step 4: 観測（測定）を行います



グローバーの探索回路

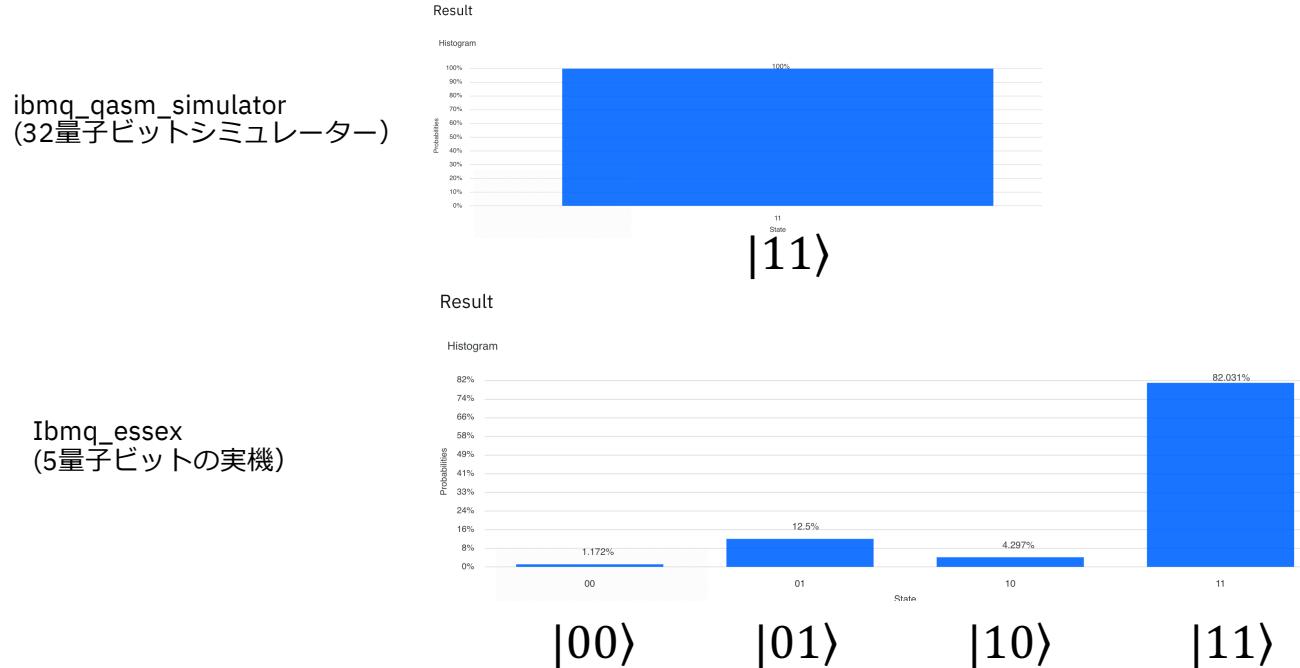
まとめ

- ①重ね合わせをつくる (superposition)
- ②探している解の位相反転 (oracle)
- ③振幅を高める (diffusion)
- ④測定 (measure)

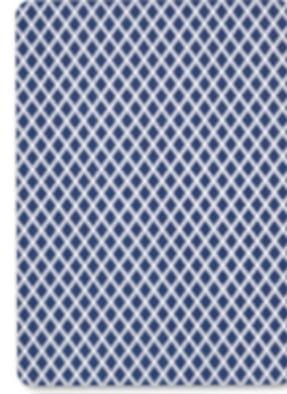
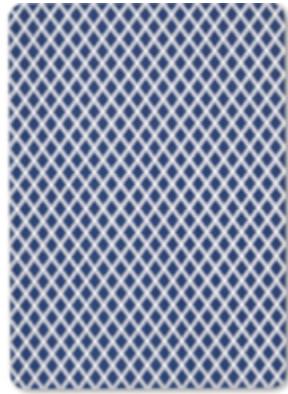
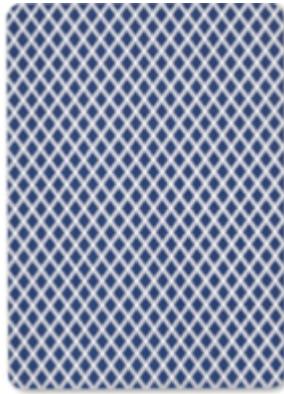
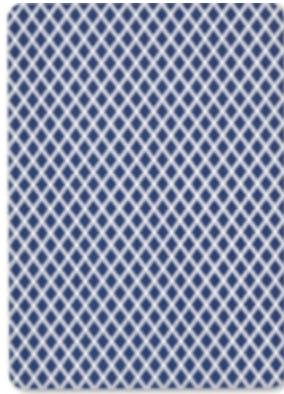


グローバーの探索アルゴリズム

実機の量子コンピューターの結果のほうはノイズがのっているのが見えます

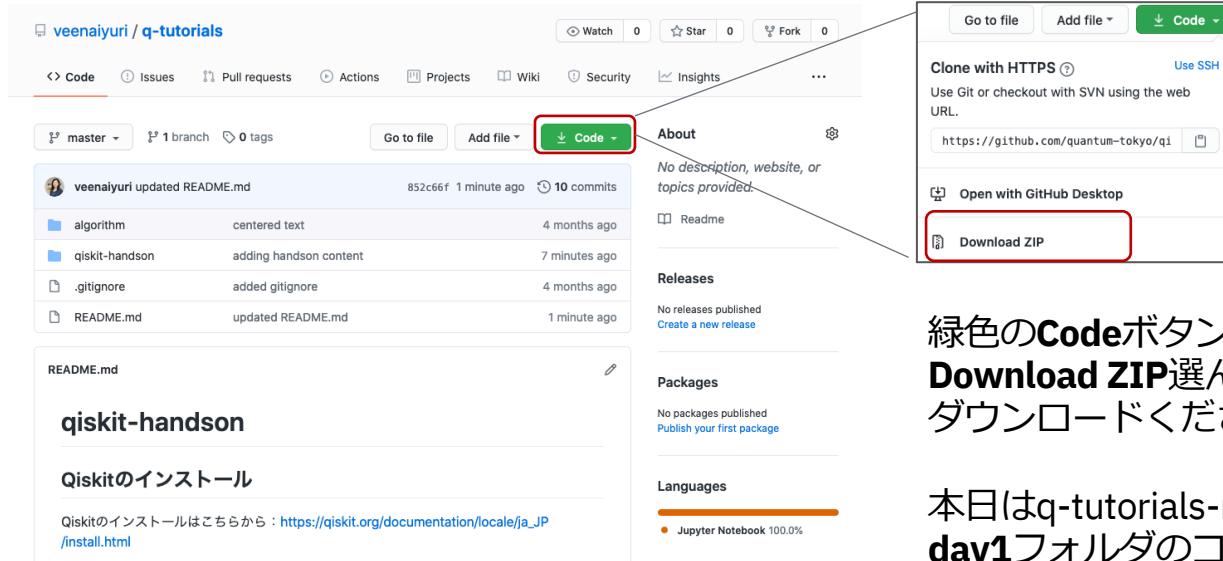


無事に1回で引き当てました



Qiskitハンズオン演習にうつります

- 本日のハンズオンは、予め用意されたJupyter Notebookを利用します。
 - https://bit.ly/qiskitho** にアクセスしてください。



緑色の**Code**ボタンを押して、一番下の
Download ZIP選んでコンテンツを
ダウンロードください。

本日はq-tutorials-masaterというフォルダの中の
day1フォルダのコンテンツ*を使います。

実行環境はローカルPCか、IBM Quantum Experience
のどちらかを利用できます。

*敢えて多めに演習課題を用意しています。

本日のまとめ

- 量子力学の性質を利用して計算を行う
- 従来のコンピューターよりも速いのではなく、特定の領域において異なる原理で効率良く問題を解く
- 量子計算は量子ゲートを組み合わせたプログラム（回路）で実行される
- Quantum Experience 上でのグローバー回路の実行
- Qiskit 上での回路作成とシミュレーターおよび実機での実行

Qiskitのさらなる学習のために

- 本日の演習問題でやり残したところを解いてみてください。

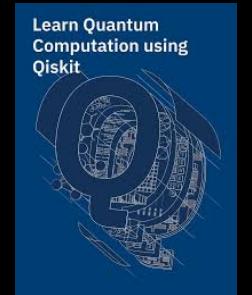
【その他学習教材】

- Qiskitのオンライン教科書（Qiskit Textbook）
- <https://qiskit.org/textbook/preface.html>

- Qiskit Documentationのチュートリアル

- <https://qiskit.org/documentation/>

- Quantum TokyoのYouTubeチャンネル



ありがとうございました。