量子コンピュータで学ぶ
量子プログラミング入門

MARU LABO

第四章　構成した回路を観測する

本章の内容　　　　[全体目次 (./Contents.ipynb)](./Contents.ipynb)

観測の原理

qubitを観測すると、重ね合わせの状態は失われて、古典bit 0か1が観測される

一般に、n個の基底からなる量子の状態を観測すると、重ね合わせの状態は失われて、その基底の一つが観測される。

qubit $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$を観測した時、$|0\rangle$ (古典bit 0に対応)が観測される確率は$|\alpha|^2$、$|1\rangle$ (古典bit 1に対応)が観測される確率は$|\beta|^2$に等しい

一般に、先の量子の状態 $|\psi\rangle$を観測した時、重ね合わせの状態が失われて、基底$|i\rangle$が観測される確率は、$|\alpha_i|^2$ に等しい。 $|\alpha_0|^2 + |\alpha_1|^2 + |\alpha|_2|^2 + \cdots + |\alpha_{n-1}|^2 = 1$という条件は、観測によって、いずれかの基底が観測されるという条件と等しい。

コードのインポート

In [1]:

```
%matplotlib inline
%config InlineBackend.figure_formats = {'png', 'retina'}

import numpy as np
from qiskit import QuantumCircuit, ClassicalRegister, QuantumRegister
from qiskit import execute

# Import Aer
from qiskit import BasicAer
```

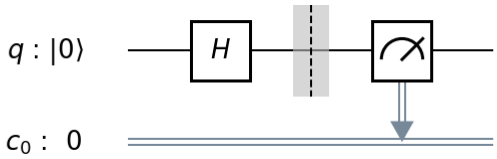
回路の出力を観測する

量子ゲート H 一つからなる回路の出力を観測する $H|0\rangle$

In [2]:

```
# 1 qubitの量子レジスターを生成する
q = QuantumRegister(1, 'q')

# q レジスターに作用する量子回路を生成する
circH = QuantumCircuit(q)

# qubit 0 に H ゲートを追加する。
circH.h(q[0])

# 1bitの古典レジスターを生成する
c = ClassicalRegister(1, 'c')

# 計測を含む量子回路を生成する
meas = QuantumCircuit(q, c)
meas.barrier(q)

# qubit 0 の計測結果を古典ビットにうつす
meas.measure(q,c)

# Qiskit の回路オブジェクトは、'+' 演算子で回路の合成を
# サポートしている
qc = circH+meas

# 回路を描画する
qc.draw(output='mpl')
```

Out[2]:



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

In [3]:

```
# Aerのqasm_simulatorを利用する
backend_sim = BasicAer.get_backend('qasm_simulator')

# 回路を qsam_simulator上で走らせる
# 実行の繰り返しの回数を shotsに指定する
# デフォルト値は、1024 である
job_sim = execute(qc, backend_sim, shots=1024)

# jobから結果を取り出す
result_sim = job_sim.result()

counts = result_sim.get_counts(qc)
print(counts)
```

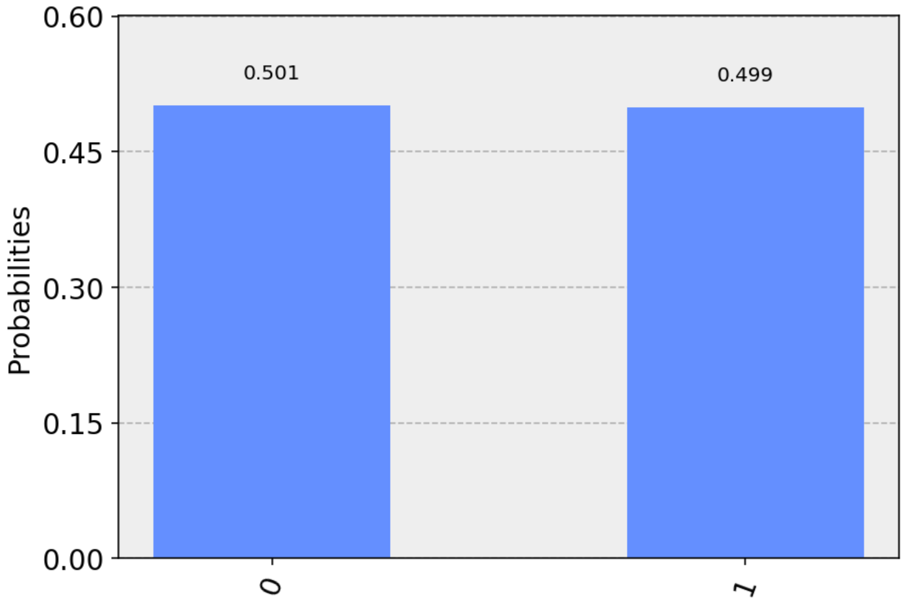
{'1': 511, '0': 513}

先の計算結果から $H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle$である。 これから、 0を観測する確率は、$(\frac{1}{\sqrt{2}})^2 = \frac{1}{2}$、1を観測する確率は、$(\frac{1}{\sqrt{2}})^2 = \frac{1}{2}$ に等しいことがわかる。シミューレーションの結果は、それを裏付けている。

In [4]:

```
from qiskit.tools.visualization import plot_histogram
plot_histogram(counts)
```

Out[4]:

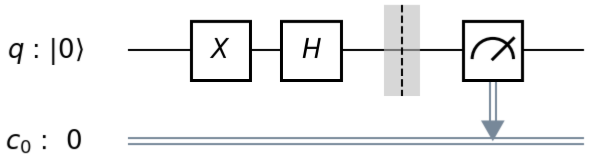


量子ゲート H 一つからなる回路の出力を観測する $H|1\rangle$

In [5]:

```
# 1 qubitの量子レジスターを生成する
q = QuantumRegister(1, 'q')

# q レジスターに作用する量子回路を生成する
circH = QuantumCircuit(q)

# qubit 0 に X ゲートを追加する。
circH.x(q[0])

# qubit 0 に H ゲートを追加する。
circH.h(q[0])

# 1bitの古典レジスターを生成する
c = ClassicalRegister(1, 'c')

# 計測を含む量子回路を生成する
meas = QuantumCircuit(q, c)
meas.barrier(q)

# qubit 0 の計測結果を古典ビットにうつす
meas.measure(q,c)

# Qiskit の回路オブジェクトは、'+' 演算子で回路の合成を
# サポートしている
qc = circH+meas

# 回路を描画する
qc.draw(output='mpl')
```

Out[5]:



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

In [1]:

```
# Aerのqasm_simulatorを利用する
backend_sim = BasicAer.get_backend('qasm_simulator')

# 回路を qsam_simulator上で走らせる
# 実行の繰り返しの回数を shotsに指定する
# デフォールト値は、1024 である
job_sim = execute(qc, backend_sim, shots=1024)

# jobから結果を取り出す
result_sim = job_sim.result()

counts = result_sim.get_counts(qc)
print(counts)
```

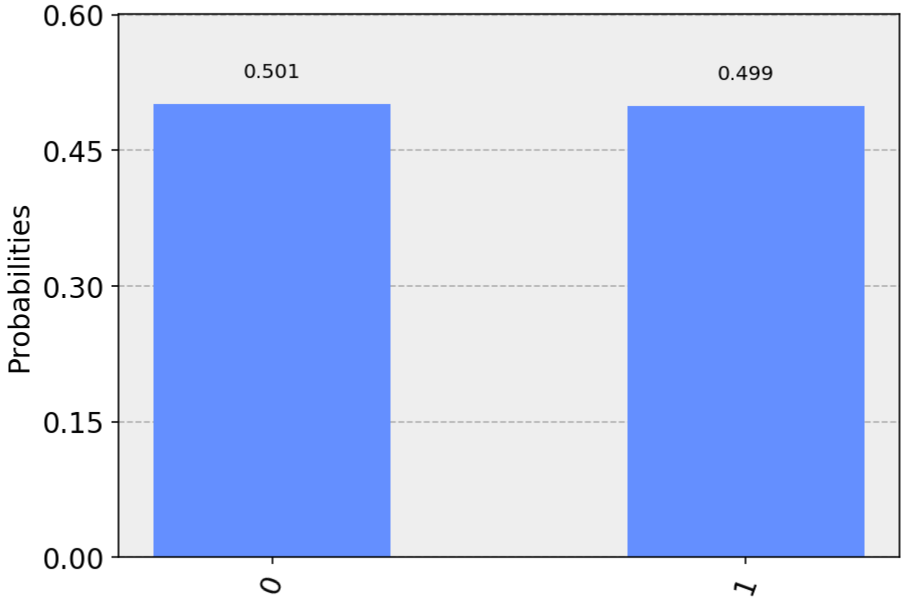
```
---------------------------------------------------------------------------
NameError                                 Traceback (most recent call last)
<ipython-input-1-90698d074de6> in <module>
      1 # Aerのqasm_simulatorを利用する
----> 2 backend_sim = BasicAer.get_backend('qasm_simulator')
      3 
      4 # 回路を qsam_simulator上で走らせる
      5 # 実行の繰り返しの回数を shotsに指定する

NameError: name 'BasicAer' is not defined
```

先の計算結果から $H|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle - \frac{1}{\sqrt{2}}|1\rangle$である。 これから、 0を観測する確率は、$(\frac{1}{\sqrt{2}})^2 = \frac{1}{2}$、1を観測する確率は、$(-\frac{1}{\sqrt{2}})^2 = \frac{1}{2}$ に等しいことがわかる。シミューレーションの結果は、それを裏付けている。

In [7]:

```
from qiskit.tools.visualization import plot_histogram
plot_histogram(counts)
```

Out[7]:



このことは、$H|0\rangle$と$H|1\rangle$の出力は、$|1\rangle$の成分の符号が反対であるにも関わらず、観測によっては区別がつかないことを意味している。

もっと一般に、状態 $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$と状態 $\alpha|0\rangle + e^{i\theta}\beta|1\rangle$は、$|e^{i\theta}\beta|^2 = |e^{i\theta}|^2|\beta|^2 = |\beta|^2$であるので、観測によっては区別がつかない。

量子ゲート $R_y(y = \pi/4)$一つからなる回路の出力を観測する

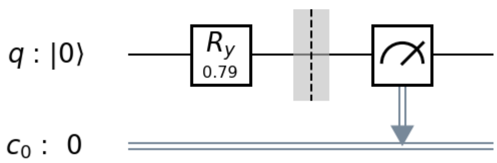
$R_y(\theta)$は、次の行列で表されるゲートである。

$$R_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta/2) & -\sin(\theta/2) \\ \sin(\theta/2) & \cos(\theta/2). \end{pmatrix}$$

In [8]:

```
# 1 qubitの量子レジスターを生成する
q = QuantumRegister(1, 'q')

# q レジスターに作用する量子回路を生成する
circ = QuantumCircuit(q)

# qubit 0 に Ry (y=π/4)ゲートを追加する。
circ.ry(np.pi/4, q[0])

# 1bitの古典レジスターを生成する
c = ClassicalRegister(1, 'c')

# 計測を含む量子回路を生成する
meas = QuantumCircuit(q, c)
meas.barrier(q)

# qubit 0の計測結果を古典ビットにうつす
meas.measure(q,c)

# Qiskit の回路オブジェクトは、'+' 演算子で回路の合成を
# サポートしている
qc = circ+meas

# 回路を描画する
qc.draw(output='mpl')
```

Out[8]:



$$R_y(\pi/4)|0\rangle = \begin{pmatrix} \cos(\pi/8) & -\sin(\pi/8) \\ \sin(\pi/8) & \cos(\pi/8). \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\pi/8) \\ \sin(\pi/8) \end{pmatrix} = \cos(\pi/8)|0\rangle + \sin(\pi/8)|1\rangle$$

よって、

0が観測される確率は$|cos(\pi/8)|^2 \approx (0.92388)^2 = 0.8536$、

1が観測される確率は $|sin(\pi/8)|^2 \approx (0.38268)^2 = 0.1464$となる

In [9]:

```
# Aerのqasm_simulatorを利用する
backend_sim = BasicAer.get_backend('qasm_simulator')

# 回路を qsam_simulator上で走らせる
# 実行の繰り返しの回数を shotsに指定する
# デフォールト値は、1024 である
job_sim = execute(qc, backend_sim, shots=1024)

# jobから結果を取り出す
result_sim = job_sim.result()

counts = result_sim.get_counts(qc)
print(counts)
```

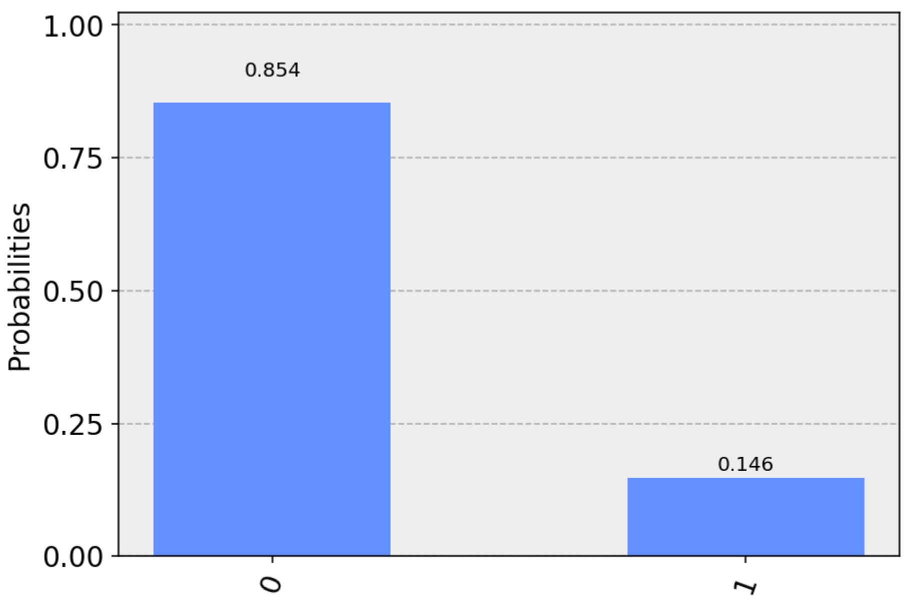
{'1': 150, '0': 874}

この値は、先の計算と、ほぼ一致する。
０が観測される確率は$|cos(\pi/8)|^2 = (0.92388)^2 = 0.8536$、
1が観測される確率は $|sin(\pi/8)|^2 = (0.38268)^2 = 0.1464$となる

In [10]:

```
from qiskit.tools.visualization import plot_histogram
plot_histogram(counts)
```

Out[10]:



前の章へ (./3_simulation.ipynb)　全体目次 (./Contents.ipynb)　次の章へ (./5_ibm_q.ipynb)

In [ ]: