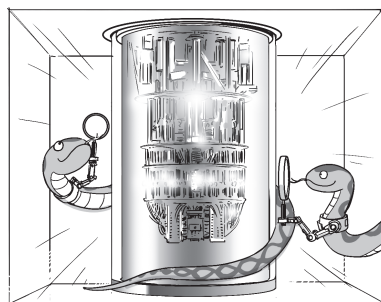


ちよこつと未来

動かす 量子コンピュータ

第2回 1量子ビットの演算

東野 仁政



今回は、基本的な1量子ビットの演算について学びます。量子コンピュータの演算を行列で表現するため、行列の計算が多く登場しますが、1つ1つはシンプルな計算が多いです。落ち着いて進みましょう。

1 古典ビットや1量子ビットを表す方法

古典コンピュータの情報の単位は0と1で表されるビットです。量子コンピュータの情報の単位と区別するため、古典コンピュータの情報の単位を古典ビット、量子コンピュータの情報の単位を量子ビットと呼びます。今回は以下に示す、1古典ビットや1量子ビットを表す方法を学びました。

▶ 1古典ビットをベクトルで表す方法

$$0_b = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, 1_b = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

▶ 1古典ビットのNOTゲートを行列で表す方法

$$\text{NOT} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

▶ 1量子ビット (量子状態) をベクトルで表す方法

量子ビットは $|0\rangle$ と $|1\rangle$ で表されます。 $|\rangle$ はケットという記号です。

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

ただし、 $a^2 + b^2 = 1$ となる実数 a 、 b を使って

$$a|0\rangle + b|1\rangle = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$$

▶ 1量子ビットの測定

$a|0\rangle + b|1\rangle$ を測定したときの値は、確率 a^2 で0、確率 b^2 で1となる

0を測定したら量子状態は $|0\rangle$ になり、1を測定したら量子状態は $|1\rangle$ になる

しかし、これだけでは量子コンピュータで計算できません。計算するためには演算処理が必要です。

表1
Xゲートの
入出力

入力	出力
$ 0\rangle$	$ 1\rangle$
$ 1\rangle$	$ 0\rangle$
$a 0\rangle + b 1\rangle$	$b 0\rangle + a 1\rangle$

1 量子ビットの基本的な演算

● Xゲート

古典コンピュータのNOTゲートは次のような演算です。

$$\text{NOT}(0_b) = 1_b \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{NOT}(1_b) = 0_b \dots\dots\dots(2)$$

この古典コンピュータのNOTゲートに相当する量子コンピュータの演算は、Xゲートと呼ばれます。Xゲートは古典コンピュータのNOTゲートと同じ行列を使って次のように書くことができます。

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

$|0\rangle$ や $|1\rangle$ にXゲートを適用すると、次のようになります。

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

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

Xゲートにより、 $|0\rangle$ が $|1\rangle$ に変わり、 $|1\rangle$ が $|0\rangle$ に変わりました。これは、古典コンピュータのNOT[式(1)、式(2)]と同じ演算になります。

また、量子コンピュータでは重ね合わせ状態 $a|0\rangle + b|1\rangle$ にも演算を行うことができます。これにXゲートを適用してみましょう。

$$X(a|0\rangle + b|1\rangle) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix} = b|0\rangle + a|1\rangle$$

$|0\rangle$ と $|1\rangle$ が入れ替わるため、この演算はビット反転とも呼ばれます。

Xゲートの入力と出力の関係を表形式で書くと表1のようになります。入力は1量子ビット、出力も1量子ビットになります。

