

第1章

ミクロな世界の物理法則…
基本ルールからエネルギーの表し方、計算の原理まで

量子力学の基礎

藤井 啓祐

第1章～第3章では量子コンピュータの仕組みや量子コンピュータがどのように使われているかについて、GUIやPythonでプログラムできるシミュレータを用いて解説します。

また、「そもそも量子力学とは何か」という方のために、量子力学の導入部分のまとめを用意しました。ぜひ、本稿をもとに実際にシミュレータなどを動かして、量子コンピュータに触れてみるきっかけにしたいかと思います。

第1章では、量子コンピュータの学習に役立つ量子力学の解説を行います。

● 加速する量子コンピュータ開発

2014年にグーグルが量子コンピュータのデバイス開発に参加して以降、量子コンピュータのデバイス開発がめざましく発展しています。特に、これまで量子情報分野の研究者が研究対象とする実験装置であった量子コンピュータに対して、今では多くの人がクラウドでアクセスし、量子回路を実行できるようになりました。

2019年にはグーグルが50量子ビットを超える規模の量子コンピュータを実現し、特定のタスクにおいては、スーパーコンピュータよりも速いということを発表して話題になりました。その後、スーパーコンピュータによるシミュレーション技術も進化し、現在、量子コンピュータと従来コンピュータが拮抗している状況です。また、2021年にはIBMから100量子ビットを超えるマシンが発表されています。

● 量子力学をどこまで理解する必要があるか？

量子コンピュータを勉強し始めるときによく聞かれる質問は「量子力学をどこまで勉強する必要がありますか？」というものです。この質問への回答は、量子コンピュータのどのような側面に興味があるかということ而异ります。われわれが日常的にコンピュータを使うときに、このコンピュータの中で動作しているCPUの仕組みや、そのCPUを構成している半導体の物理について詳しく知っているかということ、そんなこ

とはないと思います。それと同じように、量子コンピュータを使う、という立場に立ったときには最低限の量子コンピュータのルールを知ればよく、必ずしも量子力学を深く理解する必要はないかもしれません。

それでも、量子コンピュータの計算原理は、従来のコンピュータと大きく異なるので、量子力学についての理解が量子コンピュータの理解の大きな助けになることは確かです。

ここでは、そのような目的であり入りせず最小限の量子力学についての知識を解説します。

ミクロな世界を記述する…
量子力学の基本ルール

量子力学とはミクロな世界を記述する最も基本的な物理法則です。この物理法則は状態の記述の仕方、時間発展の記述の仕方、測定結果の統計性に対応する次の3つのルールから構成されます。

- ルール1…量子状態は複素ベクトルで記述される
- ルール2…時間発展はシュレーディンガー方程式で記述される
- ルール3…測定結果を得る確率は射影演算子から計算される

● ルール1…量子状態は複素ベクトルで記述される

▶量子力学におけるベクトルの表記法

ミクロな世界の対象物は、適切な基底をとってくることで、複素ベクトルとして、

$$|\psi\rangle = \begin{pmatrix} c_1 \\ \vdots \\ c_d \end{pmatrix} \dots\dots\dots(1.1)$$

のように表されます。ここで使われている $|\dots\rangle$ という記号はディラックのブラケット表示と呼ばれる表記方法で、列ベクトルを記述するときに用います。

列ベクトルを全部書いていると場所をとるので、ベクトルとしておなじみの $\vec{\psi}$ と表記したいところですが、列ベクトルと行ベクトルが区別できないため $|\psi\rangle$ のように表記します。ディラック表記では、行ベクトル