

私たちがいま使っているコンピュータは、情報を0と1で表現して計算を行っている。そこに、0と1の量子力学的重ね合わせ状態も導入することで、超高速に計算を行うコンピュータが量子コンピュータである。1994年に因数分解を高速で行う量子アルゴリズムが発見されたことを契機に、量子コンピュータの研究は一気に加速した。それから20年が経過したが、現在の状況はどうだろうか？

当初提案された量子コンピュータは、0と1の重ね合わせが可能な量子ビットを多数用意して、量子状態をユニタリ演算（量子論理演算）によって操作する、ゲート演算型とよばれるタイプである。ゲート演算型量子コンピュータは、超伝導素子を用いた実装で、現在、9量子ビットの演算まで実現している。量子誤り訂正などの実装も含め、実用には $10^5 \sim 10^8$ 量子ビットの動作が必要となるため、今後さらなる技術の進展が必要である。超伝導素子以外の系での実装も議論されており、集積化に有利な固体素子に限っても、ダイヤモンド中の欠陥、シリコン量子ドット、同位体シリコンの核スピンなど、多くの系が研究されている。

最近になって、まったく異なるアプローチが着目されている。一般に、巡回セールスマン問題などの組み合わせ最

適化問題は、統計力学のイジング模型におけるエネルギー最適化問題としてとらえ直すことができる。このイジング模型 ( $S_z$  のみの模型) のハミルトニアンに、横磁場などの非可換な演算子 ( $S_x$  など) を導入すると、量子ゆらぎによってエネルギー最適化が大幅に加速することが知られている。これが「量子アニーリング」である。この手法は、数年前にベンチャー企業が量子アニーリング型コンピュータを発売したことで、一躍有名となった。いまのところ、この手法で高速に解ける問題は小規模なものに限られており、今後、実用的な大規模問題を解けるかどうかが鍵となってくる。

現在、量子コンピュータの研究は、海外の多くの企業が研究開発に出資するなど、応用研究がクローズアップされている。その一方で、物理学として残された課題も多い。まず、ノイズに頑強な量子ビットを集積化するためには、基礎研究の視点から何らかのブレークスルーが必要である。また、上述した2つのタイプ以外に、量子コンピュータの賢い実装法があるかもしれない。人類が莫大な自由度をもつ量子状態を自在に操ることをめざしていく途上で、物理学に重要な新概念がもたらされることを期待している。