



D. Deutsch : Quantum Theory, The Church-Turing Principle and The Universal Quantum Computer

Proc. Roy. Soc. Lond. A400, 97 (1985)

80年前、量子力学は我々に新たな世界観をもたらした。あらゆる物理現象は、見ていない時には相反する状態を同時に実現しており、目に見える物理現象はそのほんの一部に過ぎない。量子力学の誕生から60年後、英オックスフォード大学の物理学者 David Deutsch が、この見えない多重状態を使う計算機である量子コンピュータを提唱した。それがこの論文である。

今ある計算の道具はすべて、目に見える現象でデータを表現している。指の形、ソロバン玉の位置、トランジスタの電流などだ。この場合、一度に処理できる情報量は、素子数 N に対して入力可能な 2^N 個の入力値の中のたった1つだけである。

量子コンピュータはこのカベを突破した。量子力学的に振る舞う素子を N 個連結すれば、 2^N 個すべての入力値をこの多重状態で表わすことができる。物理学用語で言う「線形重ね合わせ」だ。この系を操作すれば 2^N 個のデータを一括処理でき、桁外れの膨大な平行計算が実現する。これが量子コンピュータの超高速計算を可能にする、量子パラレルイズムの原理である。

ただし計算結果も 2^N 個の出力の線形重ね合わせになるため、普通に読み出したのでは1つを残してすべて失われてしまう。これでは平行計算の意味がないので、あらかじめ計算結果を干渉させ、目的に合った答えを抽出するという離れ業が必要になる。論文は、量子コンピュータのこうした一連の計算操作を定式化し、量子コンピュータ研究の原点となった。

筆者の Deutsch は当時 32 歳。専門は量子重力理論だが、コンピュータ少年のはしりでもある。パソコンはまだなかったが、高校の時にはリレーを使った計算機を作り、大学では導入されたばかりのメインフレームで円周率を計算して遊んだ。

趣味のコンピュータを本業の理論物理学と結びつけるきっかけを作ったのは、米 IBM の Charles Bennett であ

る。その頃 Bennett は、「Information is Physical (情報は物理的である)」というスローガンを掲げた Landauer とともに、計算の熱力学的な限界を追求していた。また MIT の Fredkin や Toffoli と、エネルギーの散逸のない可逆コンピュータの構築にも取り組んでいた。

1981年、Deutsch は米テキサス大学で開かれたセミナーで Bennett と出会った。その時初めて計算は物理的な過程であると知り、同時に量子力学によって計算理論を拡張できる可能性に気づいたという。

一方で Richard Feynman も量子力学を使って計算を拡張する量子シミュレーションの考え方を打ち出し、具体的な方法を模索していた。Deutsch の論文はこうした時代背景の中に出てきたのである。

しかし1985年のこの論文では、Deutsch は量子コンピュータによる計算の高速化に成功していない。実際、この論文には「計算の平均時間は減少しない」との誤った証明が入っている。高速計算の可能性に最初に気づいたのは、数学者 Richard Jozsa である。彼は1980年代の後半に Deutsch を訪ね、彼が作りつつある新たな量子計算アルゴリズムが、計算量を決定的に減らすことを見抜いた。これは Deutsch を驚かせ、2人は共同で最初の高速度計算アルゴリズムを完成し、1992年に発表する。

しかし、このアルゴリズムでも、実は量子力学的演算を実行するためのゲート数が素子数 N に対して 2^N で増加してしまう。このため一握りの理論家を除いて、ほとんど誰にも興味を持たれなかった。Peter Shor が因数分解を多項式時間で解く有名なアルゴリズムを作り、量子コンピュータ研究が離陸するのは、その2年後である。

量子コンピュータの父とも言える Deutsch だが、量子コンピュータを実際に作ることに興味がない。彼にとって量子計算とは、量子力学を普遍的に記述する新たな言語である。量子計算を使って物理学理論を書き直し、新たな発展をもたらすことを目指して思索を重ねている。

(平成16年4月15日受付)

山本喜久 / Stanford University, 国立情報学研究所

古田 彩 / 日経サイエンス編集部
aya.furuta@nex.nikkei.co.jp