

# 量子とヨガと コンピューター

## A theorist of errors

Nature Vol.433(9)/6 January 2005

イスラエルのハイファにあるアインシュタイン通りで育った Dorit Aharonov は、物理学を研究する運命だったのかもしれない。しかし、最終的に量子コンピューターを専門に選ぶまで、彼女は別の問題に関心を寄せていた。

Haim Watzman が報告する。

Dorit Aharonov のオフィスに入ると、秩序から無秩序への突然の移行を体験する。エルサレムにあるヘブライ大学コンピューターサイエンス学部のビルの廊下は、白く整然として殺風景だ。しかし、Aharonov のオフィスに一步足を踏み入れると、赤とオレンジ色の模様のクッション、論文の別刷り、枝編み細工の家具がごちゃ混ぜになっている。これこそが、乱雑さがあるレベルに達すると、量子の世界が私たちが日々経験している古典的な世界に切り替わることを証明した理論家にふさわしい環境だろう。

Aharonov は、量子コンピューターの基礎理論を専門としている。量子コンピューターはまだ実現してはいないものの、巨大な整数の因数分解といった、従来のコンピューターには困難な仕事をも量子力学の威力を利用してやってのけるだろう。Aharonov は現在 34 歳だが、すでにそうした目標の実現に重要な貢献をしている。環境はノイズをとまなうにもかかわらず、量子コンピューターは確実かつ正確に機能しうることを証明したのだ。

物理学への適性は、Aharonov の家系に強く遺伝している。彼女のおじ、

Yakir Aharonov はテルアビブ大学の物理学者だ。彼女の父も数学者で、彼女が小さいときに数の美しさについて教えてくれた。後に彼女は物理学と数学を学部の専攻に選んだが、当初は量子の世界には関心を持っていたわけではない。彼女は、物理学を使って脳を研究したいと考えていた。

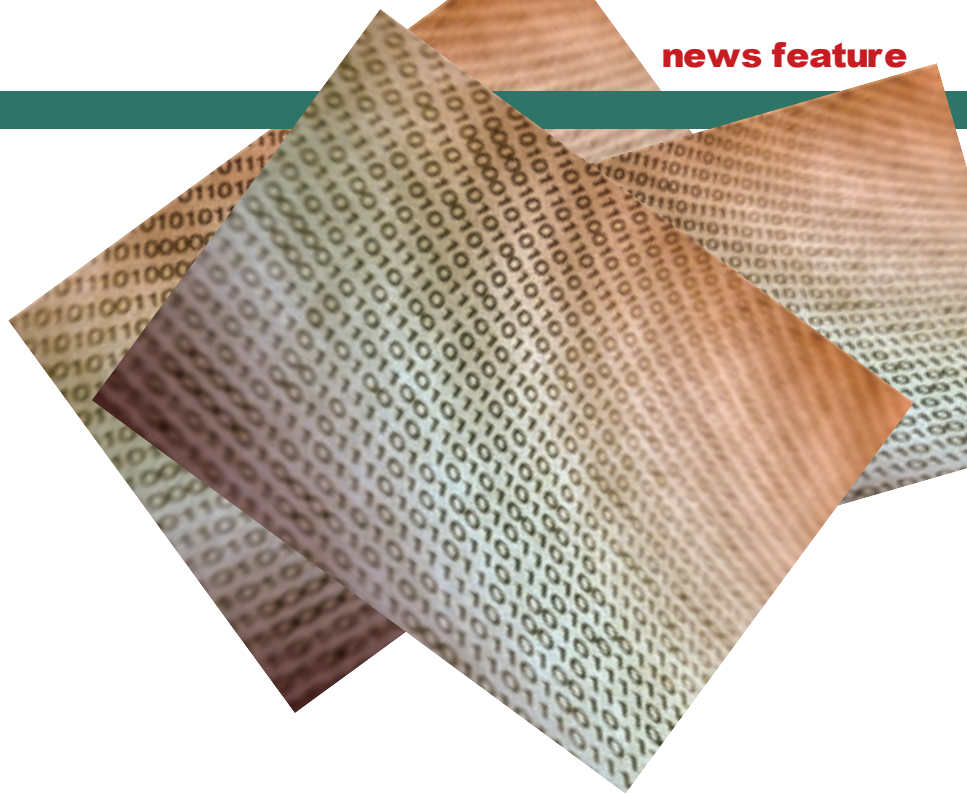
### 偶然の出会い

「私は意識の問題を解決したかった」と Aharonov は振り返る。しかし、その問題は現在の科学で手の届く範囲を超えた難問だと彼女は考え始めた。「ある日結婚式に出席していたら、友人のひとり、『脳の研究でどういう分野を選ぶべきだろうか』とアドバイスを求めてきたの。私は彼に、コンピューターサイエンスの人たちが何をやっているかを調べるべきよ、とアドバイスしたわ」と彼女は話す。

Aharonov は、そんな自分のアドバイスを我ながらもっともだと思い、自分自身も相談できる人を見つけようとヘブライ大学のコンピューターサイエンス学部のビルに行った。教えられた先は Michael Ben-Or のところだった。Ben-Or の部屋のドアをノックすると

き、何か重要なことが起ころうとしているという強い感じがあった、と彼女は言う。そして、実際にそのとおりになった。Ben-Or は量子コンピューターについて彼女に語った。「量子コンピューターは私をとりこにしたわ。そこには数学、物理学、哲学のすべてが含まれていたから」と彼女は話す。

1994 年当時、Ben-Or ら理論家が直面していた問題は、量子コンピューターが動作不能になるのをどうやって防ぐかという問題だった。あらゆるコンピューターは動作時にエラーを起こす。量子コンピューターはエラーの影響を特に受けやすい。これは、演算の土台となっている量子状態がきわめてデリケートだからだ。量子情報は原子核のスピン状態といった複雑な現象に蓄えることができるが、この情報は粒子が環境と相互作用すると簡単に失われうる。コンピューターが環境から完全に分離されることはありえないので、系には常にノイズがあるはずだし、エラーが起こることは避けられないだろう。そのうえ、エラーの訂正は計算を行うのとはほぼ同じくらい難しい。それでは、確実に量子計算を行うことは可能なのだろうか。



「それが私が Dorit に出した問題だった」と Ben-Or は言う。彼は、Aharonov の学位論文の指導教官になり、後に彼女の共同研究者になった。Aharonov は Ben-Or と研究を進め、系のノイズが一定して低レベルであれば、量子コンピューターは正確な計算結果を出せることを証明した<sup>1</sup>。

インスブルック大学（オーストリア）の理論物理学者 Peter Zoller は「彼女はこの分野でもっとも優秀な若手研究者の一人だと思う」と話す。Zoller は量子コンピューターを作りたいと考えている。Aharonov は実際の量子コンピューター作成の基礎となるであろう理論の構築に貢献してきた、と Zoller は話す。彼はその例として、量子コンピューターのエラー許容度に関する研究のほかに、Aharonov がカリフォルニア大学バークレー校で研究しているときに Oded Regev らと示した重要な証明を挙げた<sup>2</sup>。この証明は、量子計算の2つの既存のモデルが実際は等価であることを示し、その結果、量子アルゴリズムを書くことが容易になった。

バークレー校にいる間に Aharonov は量子コンピューターの研究をさらに広げ、量子力学の基本的な難問に取り

組み始めた。なぜ、量子力学の法則は素粒子の世界では明らかなのに、日々の生活では目にするのがないのか。世界が、量子的なふるまいから古典的なふるまいへ切り替わるのは、どのポイントなのか。それは単なるスケールの問題なのだろうか。

Aharonov は、ノイズを伴う量子系の多くにおいて、それより上では古典的なふるまいへの移行が避けられなくなるノイズレベルが存在することを示した。ほかの理論では、量子的ふるまいから徐々に変化すると予測しているが、Aharonov によるとそういった従来の予測よりもずっと急に切り替わるのだという<sup>3</sup>。

Aharonov の特徴はその大胆さにある、と Ben-Or はみる。彼女は大学院生のとき、その分野の指導的人物とコンタクトをとって議論するのをためらわなかった、と Ben-Or は振り返る。モデル等価に関する論文で Aharonov と共同研究したニューヨーク市立大学の数学者 Zeph Landau は、「彼女は研究に神経を集中しているが、ひとつのことだけにとらわれてはいなくて、ほかのことについても議論したりする時間を見つけている」と評する。

「生活と仕事のバランスをとることは、研究にとってとても大切なこと」と Aharonov は話す。多くの理論家と同じように、彼女も研究についてまったく考えていないときにこそ、もっともよいアイデアが出るという。毎日参加しているヨガの会が特に効果がある、と彼女は話す。「ヨガをすると霧が晴れ、直観力が鋭くなる。無理に努力しないときほど、アイデアはクリアだわ」

あらゆるものの相互連結性をとる東洋の思想も、彼女の研究に影響している。たとえば、Aharonov は量子コンピューターを実現することには執着していない。「量子コンピューターを作る研究で得られるもっとも興味深い結果は、それは不可能だという発見だと思うの。量子コンピューターの実現に失敗することで、まったく新しい物理学が発見されるかもしれないのよ」と彼女は話した。 ■

Haim Watzman は、イスラエルのエルサレムを拠点とするフリーランスライター。

1. Aharonov, D. & Ben-Or, M. Preprint at <http://xxx.lanl.gov/quant-ph/9611025> (1996).
2. Aharonov, D. et al. Preprint at <http://xxx.lanl.gov/quant-ph/0405098>, (2004).
3. Aharonov, D. Phys. Rev. A 62, 062311 (2000).