

# MIT Technology Review

Published by KADOKAWA / ASCII



## Quantum Computing

次世代コンピューター競争のゆくえ



# CONTENTS

- 001 CEO 独占インタビュー  
初の「量子超越性」実証でグーグルは何を目指すのか
- 010 グーグルの「量子超越性」実証は  
何を意味するのか？
- 016 グーグル「量子超越性」実証  
IBM の研究者が反論
- 019 量子コンピューターとは何か？  
ニュースを読む前に押さえてほしい基礎知識
- 027 量子超大国を目指す中国で  
「量子の父」と呼ばれる男
- 036 量子インターネットとは何か？  
中国が牽引する新技術の基礎知識
- 044 兵器としての「量子技術」激化する  
米中開発競争の行方
- 053 量子コンピューターで時間を巻き戻した？  
お騒がせ新研究の真相
- 056 中国の研究チームが発見した  
「量子暗号を破る」新手法
- 061 ポスト量子暗号とは何か？  
量子コンピューター時代の新たな脅威に備え
- 068 量子コンピューターのリアル  
不足する専用部品に商機あり

グーグルが「量子超越性」を達成したとの2019年9月のニュースはコンピューター業界で大きな反響を呼んだ。コンピュータ史に残る偉業であるのは確かだが、「量子超越性」とは実際には何を意味するのか？ グーグルのサンダー・ピチャイ CEO への独占インタビューやIBMによる反論、量子コンピューターの基礎知識に加え、「量子大国」中国が注力する量子通信など、量子テクノロジー関連のこの1年間の動向をお届けする。



# CEO 独占インタビュー 初の「量子超越性」実証で グーグルは何を目指すのか

by Gideon Lichfield

「量子超越性を実証した」とする論文を発表した  
グーグルのサンダー・ピチャイ CEO（最高経営責任者）が、  
MIT テクノロジーレビューの独占インタビューに応じた。

**グ**ーグルの研究チームは、ネイチャー誌に 10 月 23 日に掲載された論文や自社のブログ記事において、「量子超越性」を史上初めて実証したと主張している。グーグルの 53 キュービット（量子ビット）の量子コンピューター「シカモア (Sycamore)」が、世界最速のスーパーコンピューターで 1 万年かかる計算を、200 秒でやってのけたというのだ（論文の草稿は先月、ネット上でリークされていた）。

実施した計算自体には実用性はほとんどない。一連の乱数を出力しただけだ。シカモアが量子コンピューターのあるべき姿で実際に稼働することを示すために選ばれた作業に過ぎない。実用的な量子マシンが登場するのは何年も先のことで、技

術的なハードルは高く、たとえ実現したとしても従来のコンピューターを凌駕できるのは特定の作業においてのみであろう。

それでもなお、重要な節目であることに変わりはない。グーグルのサンダー・ピチャイ CEO（最高経営責任者）は今回の量子超越性実証を、ライト兄弟の 12 秒間の初飛行になぞらえている。成果が得られるまでさらに 10 年以上かかるかもしれないプロジェクトに、グーグルがすでに 13 年費やしている理由を理解するため、ピチャイ CEO に話を聞いた。

以下のインタビューは、明確さを保つために要約・編集されている。また、インタビューは、IBM の研究者がグーグルの量子超越性に関する

主張に反論する前に収録された。

#

——グーグルには、非常に限られた特定のタスクを実行する量子コンピューターがあります。量子超越性をさらに広く実証するには何が必要でしょうか？

より一般化し、より長時間稼働できるようになり、より複雑なアルゴリズムを実行できるように、さらに多くのキュービットを備えたフォールト・トレラントな（耐障害性のある）量子コンピューターを構築する必要があるでしょう。ですがご存じのとおり、どんな分野でも大きなブレークスルーを得ようと思ったら、どこかで始めなくてはなりません。例えるなら、ライト兄弟です。ライト兄弟の最初の飛行機は12秒しか飛行できなかった。実用性はありません。ですが、飛行機が飛べるという可能性を示しました。

——複数の企業が量子コンピューターを所有しています。たとえばIBMは、オンラインで量子コンピューターを多数稼働させ、クラウドで使える

ようにしています。IBMのコンピューターでグーグルと同じことができないのはなぜでしょう？

グーグルのチームが達成できた理由について主にお話ししましょう。量子超越性の達成には多くのシステム工学、つまりスタックのすべての層に取り組む能力が必要です。これは、システム工学の観点で見ると極めて複雑なものです。まさにウェハーから手を付け、文字通りゲートをエッチングするチームがいて、ゲートを作成しています。そして人工知能（AI）を使った最良の結果のシミュレーションや理解が可能なところまで、スタックの層を築き上げるのです。

——論文の最後では「近い将来の有益な応用までには、創造的なアルゴリズムが1つあればいい」と書かれています。それがどのようなものになりそうか、想像はつきますか？

量子が本当に刺激的なのは、宇宙の仕組みが本質的に量子的だということです。ですから、自然界をさらに深く理解できるようになるでしょう。まだ黎明期ですが、量子力学は分子や分子過程をシミュレーションする能力で輝きを見せ、そのよ

---

### 注1：ハーバー法

空気中の窒素と天然ガスや蒸気由来の水素を合成して肥料用のアンモニアを製造する方法である

ハーバー・ボッシュ法からは、世界の二酸化炭素排出量の1.44%、温暖化ガスの総量の1%強が生み出されていると推定される。

---

うな領域で最大の性能を発揮できると考えています。創薬がすばらしい例です。もしくは肥料ですね。肥料用のアンモニアを製造する「ハーバー法」からは、世界の二酸化炭素排出量の2%が生み出されています（「注1」を参照）。自然界では、同じプロセスがもっと効率的に実行されています。——では、ハーバー法の改良のような応用例が実現するまでにどれくらいかかりそうですか？

おそらく10年程度でしょう。十分な性能で動作する量子コンピューターを構築できるまでにはまだ数年かかります。他の応用の可能性としては、優れた電池の設計が含まれるでしょう。いずれにせよ、化学分野ということになります。そういったことをより深く理解できるようにするために、予算を割くつもりです。

——量子コンピューターに注目している人々ですら、核融合のようになるかもしれないと言います。つまり、次なる50年間の折り返し地点を回ったばかりだということです。かなり困難な研究プロジェクトのように思えます。グーグルのCEOであるあなたがそれほど入れ込んでいるのはなぜで

しょうか？

コンピューティング分野でこれまでに見られたような進化がなかったら、グーグルは現在の地点にいなかったでしょう。ムーアの法則のおかげで計算能力は高まり、多くの製品で数十億人のユーザーに対して大規模にサービスを提供できています。ですから根本的に、グーグルはコンピューター科学にどっぷり浸かった企業だと自覚しています。ムーアの法則は考え方にもよりますが、サイクルの終焉にあります。量子コンピューティングは、コンピューティングで私たちが前に進み続けるために必要な多くの要素の1つなのです。

私たちがワクワクしているのには別の理由もあります。単純な分子を取り上げましょう。カフェインには243かそこらの状態があります（実際には1048、「注2」を参照）。従来型コンピューターでは現在、分子の基本構造すら理解できないことが分かっています。気候変動や医療の領域において、やがて量子コンピューティングが進歩を牽引する日が来るだろうと私が確信しているのは、そういった理由からです。

---

### 注 2: カフェイン

24 個の原子を持つカフェインは、1048 種類の量子状態、すなわちそれらの原子の配列で存在できる。

従来型コンピューターでカフェインを完全に再現するには、全地球の原子の数（1049 ~ 1050）に近い 1048 ビットが必要となる。1 ギガバイトのメモリーチップは約 1010 ビット。

---

——ファスト・カンパニー（Fast Company）誌におけるあなたのプロフィールでは、2012 年に AI が自力で猫の写真を特定する作業を学習しているのを見たときに「予兆」を感じたと説明されています（ピチャイ CEO は次のように語ったとされている。「この技術は拡大していき、宇宙の仕組みを解明するかもしれない。人類として取り組むべき最も重要な事柄になるだろう」）。量子コンピューティングも AI と同じくらい重要だと感じられますか？

間違いなく重要です。研究室で実際にキュービットを物理的に操作して、重ね合わせの状態に持っていくことができたのも、自分にとっては同じくらい深遠な瞬間でした。なぜなら前に述べたとおり、それこそが自然界の仕組みだからです。これまで存在していなかった、まったく新たな可能性を切り開いたのです。

——本格的な作業ができる量子システムの実現までには長い時間がかかるかもしれません。とても速い進歩に慣れているグーグルのような会社で、忍耐にどう対処していくのですか？

ご存知のように、私はハルトムート・ネヴェン博士と時間を共にしていました。主任ハードウェア・サイエンティストのジョン・マルティニス博士と共に、量子チームを率いている人物です。私が材料科学の博士号を途中であきらめたことや、高温超伝導に取り組んでいたことはお話ししました。26 年前のことですが、私は研究室で座りながら、「うわあ、やり遂げるには大きな忍耐が必要になるな」と思いました。そして、そのような忍耐力は自分にはとてもないと感じました。量子研究に長らく携わっているチームのメンバーをとて尊敬しています。しかし、ほぼすべての基礎的なブレークスルーはそのような過程を通りまです。量子システムの構築にはそのような長期のビジョンが必要なのです。

今回のような節目に気分が高揚している理由はこうです。物事には長い時間がかかりますが、こうした節目がテクノロジーの進展を後押ししてきたのです。IBM の「ディープ・ブルー」がチェス・チャンピオンのゲイリー・カスパロフを破ったのは 1997 年でした。ディープ・マインドの「アル

**eムックは、MITテクノロジーレビュー  
有料会員限定サービスです。  
有料会員はすべてのページ（残り67ページ）を  
ダウンロードできます。**

**ご購入はこちら**



**<https://www.technologyreview.jp/insider/pricing/>**

No part of this issue may be produced by any mechanical, photographic or electronic process, or in the form of a phonographic recording, nor may it be stored in a retrieval system, transmitted or otherwise copied for public or private use without written permission of KADOKAWA CORPORATION.

本書のいかなる部分も、法令または利用規約に定めのある場合あるいは株式会社 KADOKAWA の書面による許可がある場合を除いて、電子的、光学的、機械的処理によって、あるいは口述記録の形態によっても、製品にしたり、公衆向けか個人用かに関わらず送信したり複製したりすることはできません。