



ExpertInsights@IBV

# 量子コンピューティングによる 飛躍の時

なぜ今始めるのか

IBM Institute for Business Value

---

## 量子コンピューティングの転換期

企業間の力関係を劇的に変えてしまうようなテクノロジーがある。例えば、インターネットである。多くの企業が、その創生期に戻ってやり直せたらどんなに良いだろう、と考えているかもしれない。しかし今再び、競合企業に一步先んずるチャンスが訪れようとしている。それは、量子コンピューティングである。このテクノロジーは日進月歩の発展段階にあり、現在、早期実用化フェーズにおける転換期に差し掛かろうとしている。量子コンピューティングは、ビジネス、科学、教育、政府のあり方を抜本的に変革する可能性を秘めている。

## 認識不足か、過熱気味か

「量子」という言葉は、何かしら驚異的なものを想起させる。「量子」と名付けるだけで注目を集めるため、さまざまな企業がインターネット・ブラウザ、バッテリー、釣り用リール、医療サービスなど、多岐にわたる商品のブランド名として使用している。しかし、今注目すべきは、量子コンピューターのプロトタイプの商用利用が始まったという事実である。

量子コンピューティングがなぜ画期的かといえば、それが量子力学という、物理現象を解き明かす非常に深淵な理論に基づいているためである。量子力学は、自然界を理解する基盤を提供する。同様に量子コンピューティングは、コンピューティング・ソリューションの基本的要素となる。量子コンピューティングは、素粒子の特性を利用して情報を処理する。著名な理論物理学者であるリチャード・ファインマンは、1981年の時点で量子コンピューターの可能性に気づいていた。<sup>1</sup> 現在、研究者たちは量子コンピューティングを、学術的理論の世界から商用化の世界の入口にまで前進させようとしている。

量子関連の研究において、著しい進歩を見せている分野が4つあるが、このレポートでは、そのうちの1つである量子コンピューティングに焦点を当てている。ちなみに他の3つとは、量子通信、量子暗号、量子センシングである。確かに、どのような問題にも対応可能な柔軟性を持つ、フォールト・トレ

ラントな量子コンピューターが商用化されるのは、10年以上先の話かもしれない。しかし、今後5年以内に、ビジネスが量子コンピューティングから何らかの形で恩恵を受ける可能性は十分にある。

量子コンピューティングの重要性については、認識不足と同時に過熱気味な傾向も見取れるが、ただそれも無理からぬことであろう。と言うのも、量子コンピューティングは、情報が同時に複数の状態、複数の場所に存在することを可能にするという、コンピューター・サイエンスにおける極めて重要な進化だからである。量子コンピューティング・アプリケーションでは、この特性を生かして効率性を高めている。

従来型コンピューターが量子コンピューターに完全に置き換えることはないだろうが、量子によるイノベーションは、新しいコンピューティングのパラダイムを提示する。量子コンピューティングは、現在のコンピューティング・インフラストラクチャーと協調して、以前は非現実的または不可能と考えられていた複雑な問題を解決できる。例えば、巨大な数の素因数分解は現在の暗号の基盤であるが、この計算に従来型コンピューターで挑戦すると、何兆年もの時間が掛かってしまう。しかし、量子コンピューターなら、そう遠くない将来に数分でこの計算を行ってしまうだろう。

### 量子コンピューティングにおける「量子」の役割

量子コンピューティングとは、新しいコンピューティングのパラダイムであり、ビジネス、科学、教育、政府に大きな影響を与える可能性がある。素粒子には「重ね合わせ」と「もつれ（エンタングルメントとも呼ばれる）」という2つの特性があり、これが量子コンピューティングに「量子の驚異」をもたらししている。

量子コンピューターの基本要素を量子ビットと言う。量子ビットは、量子を重ね合わせた状態で存在させることが可能であり、この重ね合わせによって、非常に強力な能力を持つことになる。例えば、2量子ビット・システムは4つの重ね合わせ状態を取ることができる。同様に、3量子ビット・システムは8つの重ね合わせ状態、4量子ビット・システムは16の重ね合わせ状態を取ることができる。量子ビットが増えるにつれて、量子コンピューティングの能力は指数関数的に高まっていく。

かつてアルベルト・アインシュタインが「不可思議な遠隔作用」と呼んでいた効果は、現在では量子もつれの現れとして理解されている。この量子もつれによって、量子アルゴリズムの実行速度は著しく速まり、膨大な選択肢のコンピューティング探索ができるようになる。

重ね合わせともつれを操ることによって、量子コンピューターは従来型コンピューターでは非常に複雑で指数関数的に計算量が増加してしまう問題を効果的に解決できるのである。

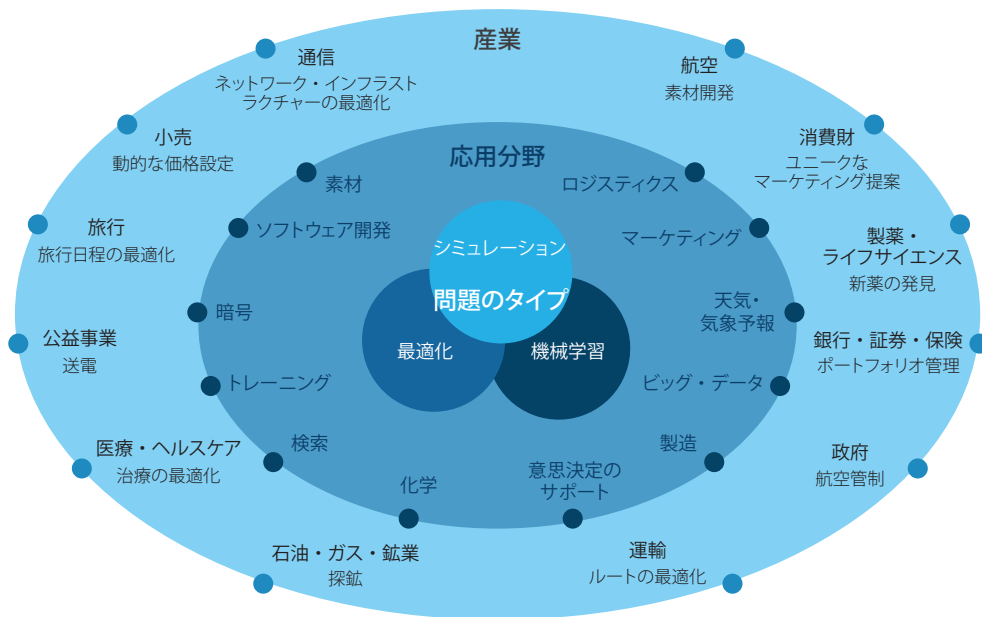
## ビジネスにおける量子コンピューティングの応用

かねてから量子コンピューティングの潜在能力の高さは公然の事実ではあったが、いよいよそれがビジネスにもたらす影響を探索する時期にきている。量子コンピューティングは、複雑なビジネス・システムの最適化を革命的に進展させると期待されており、基本的なロジスティクスから複雑な意思決定ま

で、あらゆる領域のビジネス・プロセスを著しく効率化する可能性がある(図1参照)。量子コンピューティングは、既知の問題をより高速に解決するだけでなく、未知の問題を解決できる、新しいツールとなる可能性を秘めている。

図1

量子コンピューティングは、さまざまな応用分野や産業の問題解決に貢献し得る



例として、50の都市に及ぶ旅行日程や、50人のシフト勤務のスケジュールなど、50個の項目が含まれるロジスティクスの問題を考えてみよう。最適な順序を選択するには、30,414,093,201,713,378,043,612,608,166,064,768,844,377,641,568,960,512,000,000,000,000通りの組み合わせを考慮しなくてはならない（コラム参照）。人間は従来、この種の意思決定を直感や過去の経験に基づいて行ってきた。最もコスト効率の高い、最適な並びを計算するには、強力なスーパー・コンピューターをもってしても何年も掛かるだろうし、たとえ解が得られたとしても、近似解しか得ることはできないだろう。

しかし、量子コンピューターなら、数分で最適な解を導き出せる可能性がある。従来型アプローチが必ずしも最適な手法でないことを経験則から知っている企業にとって、このことがどれ程のインパクトを持って受け入れられるかを想像してみたい。まず、最適な解を見つけることができれば、膨大な額の費用を削減できるはずである。また、新しいアプローチによって、顧客に対して非常に正確にパーソナライズされたサービスやおすすすめ情報を提供できれば、業界のリーダー企業になれる可能性すらあるであろう。

次に、金融サービスの最適化問題について考えてみよう。ポートフォリオ・マネージャーは量子コンピューティングを活用することで、各顧客のニーズに対して、想像を超えるきめ細やかさで対応しつつも、投資オプションについての独自の組み合わせを、今までよりもはるかに短い時間で最適化できるようになるだろう。時間を節約できることで、アドバイザーは各顧客の投資基準やリスク・プロファイルに適した金融計画を、臨機応変に提供する余裕も出てくるだろう。

量子コンピューティングの可能性は、ビジネス最適化の問題解決にとどまらず、もっと広範な領域に開かれたものと言える。例えば、量子コンピューティングは自然界のモデルの正確な構築にも役立つ。分子化学において、分子を理解してその振る舞いをシミュレーションすることは、新薬発見における基礎である。しかし、現在世界最高峰のスーパー・コンピューターをもってしても、約43個の電子が含まれるシミュレーションが限界である。これでは、今後必要になる医薬品、ワクチン、抗生物質の正確なモデル設計を行うことは極めて難しいであろう。<sup>2</sup>量子コンピューターは、こうしたタイプの問題解決にまさに最適と考えられる。

### 50! (50の階乗) 通りの選択肢

50! 通りの選択肢を計算するには、一度に 30,414,093,201,713,378,043,612,608,166,064,768,844,377,641,568,960,512,000,000,000,000 通りの組み合わせをチェックする必要がある。<sup>3</sup>量子ビットを使用することで、この計算は格段に容易になる。量子コンピューターでは、わずか 215 個の有効な量子ビットの量子重ね合わせによってこの選択肢を表現できる ( $\log_2(50!) = 214.3$ )。この例を見ても、量子コンピューティングによってもたらされる効率化への期待が、どれ程のものかがよくわかる。

---

## SFの世界が量子コンピューティングで現実に

量子コンピューティングの可能性は、最適化やモデリングだけにとどまらない。量子コンピューティングの開発者たちは、すでにその特性を生かして、データ・セキュリティ、不正検出、機械学習などの難解なビジネス問題にも取り組んでいる。やがて彼らは、量子コンピューティングの新しい利用方法を確実に生み出すことであろう。

大きな期待を集めているにもかかわらず、従来型コンピューターで解決できないビジネス課題を、量子コンピューティングで解決した人はまだいない。製造された量子コンピューターの数はまだ少ないとは言え、世界を一変させる量子コンピューティングの未来への道筋は、もうすでにできている。ホームランド・セキュリティ・リサーチ・コーポレーション (HSRC) の報告によれば、2024年までに量子コンピューティングの市場規模は100億米ドルを超え

る。<sup>4</sup>もはや時間の問題なのである。数カ月先か数年先かはさておき、新素材の開発や航空ルート最適化など、特定のビジネス課題に関しては、量子コンピューティングは従来型コンピューティングを凌駕すると見られている。まさに、準備を進めるべき時が来たのだ。

企業は量子コンピューターを活用するにあたって、自社で量子コンピューターを保有する必要はないかもしれない。HSRCは、2024年までにQCaaS (Quantum Computing as a Service) が量子コンピューティング市場の半分近くを占めると予測している。<sup>5</sup>すでに実験や教育を目的に、クラウド上では量子コンピューターが一般公開され、アクセス可能な状態になっている。クラウドを利用したの活用は、今後拡大の一途をたどるのである。

## 競争の幕が切って落とされる

ビジネス・リーダーにとって、今こそ量子コンピューティングの準備に取り掛かる絶好の時である。この新たな基盤技術の実験と拡大のための条件は、すでに整っている。ビジネス・リーダーが最初に実行すべきいくつかのステップを、以下に紹介する。

- 今すぐ取り組みを開始すること。特に化学、最適化、機械学習に関わる組織は遅れてはならない。量子コンピューティングはすでに十分な進歩を遂げてきているため、取り組むだけの価値はある。
- 量子コンピューティングの推進担当者を任命すること。推進担当者は会議やワークショップに参加し、競合するいくつかの量子コンピューティングへのアプローチを評価することができる。また、それらのアプローチを取り巻き形成されつつある、さまざまなエコシステムを調べることができる。
- 自社のビジネスの中で、量子コンピューティングから恩恵を受ける可能性のある領域と、破壊的な影響を受ける可能性のある領域の両方を調査すること。また、量子コンピューティングへのアプローチの中で、どれが自社にとって最適であるかも評価すること。
- 適切なスキルを獲得すること。量子コンピューティングは従来型コンピューティングとはまったく異なる。情報の基本単位である「ビット」ですら置き換わってしまう。新しい問題解決の

アプローチに積極的に取り組むタイプの人を、担当者候補の最上位に挙げるべきである。また、先進的なアナリティクスに取り組んでいる人も、対象者として考慮するとよいだろう。

- 本物の量子コンピューターを今すぐ試してみること。無料の量子プロセッサがクラウドで提供されているので、チュートリアルやシミュレーターを参照し、自分独自のアルゴリズムをプログラミングしてみる。<sup>6</sup>量子時代にどのような問題を解決したいかを考えてみる。

従来型コンピューティングは今の世界に欠かせないものであるが、やはり限界もある。量子コンピューティングは、現在解決できない問題を解決できる可能性を秘めた、まったく新しいパラダイムを提供する。この大変革の先頭に立ちとうとする企業は、競争を制してリーダーの座をつかむことになるであろう。今こそ飛躍の時である。

### ExpertInsights@IBV レポートについて

ExpertInsights@IBV レポートは、ニュース価値の高いビジネスや関連テクノロジーのトピックについて専門家の意見を伝えるレポートです。該当分野の専門家へのインタビューに基づいて作成し、その洞察を刺激的、実践的、包括的な視点にまとめています。

## 専門家

### Robert Sutor 博士

バイス・プレジデント  
AI、ブロックチェーン、量子ソリューション  
IBM Research  
[linkedin.com/in/bobsutor/sutor@us.ibm.com](https://www.linkedin.com/in/bobsutor/sutor@us.ibm.com)

### Terry Hickey

バイス・プレジデント兼パートナー  
Watson、AI、量子コンピューティング  
IBM Services  
[linkedin.com/in/hickeyterrence/hickey@ca.ibm.com](https://www.linkedin.com/in/hickeyterrence/hickey@ca.ibm.com)

### Lori Feller

パートナー、コグニティブ・イノベーション  
および IBM Q コンサルティングの  
グローバル・リーダー  
IBM Services  
[linkedin.com/in/lvfeller/lori.feller@us.ibm.com](https://www.linkedin.com/in/lvfeller/lori.feller@us.ibm.com)

© Copyright IBM Corporation 2018

Route 100  
Somers, NY 10589  
Produced in the United States of America  
February 2018

IBM、IBM ロゴ、ibm.com は、世界の多くの国で登録された International Business Machines Corporation の商標です。他の製品名およびサービス名等は、それぞれ IBM または各社の商標である場合があります。現時点での IBM の商標リストについては [www.ibm.com/legal/copytrade.shtml](http://www.ibm.com/legal/copytrade.shtml) (US) をご覧ください。

本書の情報は最初の発行日の時点で得られるものであり、予告なしに変更される場合があります。すべての製品が、IBM が営業を行っているすべての国において利用可能なわけではありません。

本書に掲載されている情報は特定物として現存するままの状態を提供され、第三者の権利の不侵害の保証、商品性の保証、特定目的適合性の保証および法律上の瑕疵担保責任を含むすべての明示もしくは黙示の保証責任なしで提供されています。IBM 製品は、IBM 所定の契約書の条項に基づき保証されます。

本レポートは、一般的なガイダンスの提供のみを目的としており、詳細な調査や専門的な判断の実行の代用とされることを意図したものではありません。IBM は、本書を信頼した結果として組織または個人が被ったいかなる損失についても、一切責任を負わないものとします。

本レポートの中で使用されているデータは、第三者のソースから得られている場合があります。IBM はかかるデータに対する独自の検証、妥当性確認、または監査は行っていません。かかるデータを使用して得られた結果は「そのままの状態」で提供されており、IBM は明示的にも黙示的にも、それを明言したり保証したりするものではありません。

本書は英語版「Taking the quantum leap」の日本語訳として提供されるものです。

07012907JPJA-04



#### 注釈および出典

- 1 "Richard Feynman: On quantum physics and computer simulation" Los Alamos Science Number 27, 2002.  
<http://permalink.lanl.gov/object/tr?what=info:lanl-repo/lareport/LA-UR-02-4969-02>
- 2 Murphy, Ian. "IBM delivers commercial Quantum Computing" Enterprise Times. March 6, 2017.  
<https://www.enterprisetimes.co.uk/2017/03/06/ibm-delivers-commercial-quantum-computing/>
- 3 "50 Factorial – 50!" CoolConversion.com.  
[http://coolconversion.com/math/factorial/What-is-the-factorial-of\\_50\\_%3F](http://coolconversion.com/math/factorial/What-is-the-factorial-of_50_%3F)
- 4 "Quantum Computing Technologies & Global Market, 2017-2024 Volume 1". Homeland Security Research Corp. 2017.
- 5 同上
- 6 "Welcome to the IBM Q Experience!"  
<https://quantumexperience.ng.bluemix.net/qx/experience>

## 日本語翻訳監修者

橋本光弘

日本アイ・ビー・エム株式会社 戦略コンサルティング & デザイン統括 マネージング・コンサルタント  
日本学術振興会特別研究員 (DC1)、国内総合電機メーカー研究員 (中央研究所、米国研究所他) としてストレージ・デバイスの研究開発に従事。その後、米国系戦略コンサルティング・ファームおよび日本 IBM にて、電機・機械・エネルギー・金融業界等のコンサルティングに従事。専門領域は全社戦略 (中期経営計画、ポートフォリオ戦略、シナリオ・プランニング)、新規事業戦略、M&A (ビジネス・デュー・デリジェンス、PMI)、オペレーション改革、組織再編。近年は特に IoT・AI・ブロックチェーン等のテクノロジーを活用した新規事業戦略策定やオペレーション改革をテーマにしたプロジェクトを多数手掛けている。博士 (工学)。  
連絡先: [hashimit@jp.ibm.com](mailto:hashimit@jp.ibm.com)

西林泰如

日本アイ・ビー・エム株式会社 戦略コンサルティング & デザイン統括 マネージング・コンサルタント  
総合電機メーカー、米国系戦略コンサルティング・ファームを経て、2018 年に日本 IBM に参画。専門はビジネス / テクノロジー両輪に関する、経営企画・経営戦略、事業開発・事業戦略、提携・投資 / M&A、海外進出 (米国シリコンバレー、シンガポール等での海外駐在経験)、情報通信・インターネット技術 (日米 120 件超の特許の筆頭発明者)。日本 IBM では、Strategy Center of Competency (CoC) に所属。IBM がリードする破壊的テクノロジーによる革新をテーマに、経営戦略・事業戦略、デジタル戦略、オペレーション戦略、組織チェンジ・マネジメント、テクノロジー・データ戦略等の戦略業務に従事している。工学修士 (MEng) および経営管理修士 (MBA)。  
連絡先: [yasuyuki.nishibayashi@ibm.com](mailto:yasuyuki.nishibayashi@ibm.com)