

Expert Insights

—

金融機関による 量子コンピュー ティング革命 実現に向けた 布石

IBM Institute for
Business Value



専門家



Francis Lacan

グローバル・トレーディングおよび
リスク・ソリューション・エグゼクティブ
IBM Global Markets
francis_lacan@uk.ibm.com

Francis Lacan は、IBM の Global Markets 部門でトレーディングおよびリスクに関するソリューションを主導している。IBM 内に部門横断的に存在するトレーディングやリスク分野の能力を最大限活用することで、金融サービス業界の顧客が抱える両分野のビジネス課題を解決できるよう支援している。



Stefan Woerner

グローバル・リーダー
“量子ファイナンス” および最適化
IBM Research
<https://www.linkedin.com/in/stefan-woerner>
WOR@zurich.ibm.com

Stefan Woerner 博士は、“量子ファイナンス” および最適化部門のグローバル・リーダーであり、チューリッヒにある IBM Research 部門にて量子テクノロジー・グループのリサーチ・スタッフの一員を務めている。研究分野としては、最適化および機械学習のための量子アルゴリズムの開発・分析に加え、それらの金融分野における実用的応用に注力している。



Elena Yndurain

IBM Q コンサルタント
ファイナンシャル・サービス
Global Business Services
www.yndurain.com
Elena.Yndurain@ibm.com
www.twitter.com/yndurain

Elena Yndurain 博士は、顧客の量子コンピューティング導入を支援する IBM Q コンサルティング・チームにおいて、金融サービス領域の中心的役割を担っている。新たなテクノロジーの創成期において、研究とビジネスを結び付ける領域を専門とし、量子コンピューティングの活用可能性を拡げる戦略策定・実行業務に従事している。

自社のビジネスにおける量子コンピューティングの役割と可能性の評価を、喫緊に開始すべき理由とは

ー 要点

量子コンピューティングがもたらす“速度”と“精度”

金融機関各社は、極度に複雑な計算における、処理時間の劇的な短縮と精度の向上を狙い、量子コンピューティング導入の検討を加速している。

試験システム

量子コンピューティングのシステムは、リスク分析の問題解決などにすでに試験導入されている。

正に今が、その時

具体的なユースケースが創出され、独自のエコシステムが形成されつつある正に今こそ、金融領域における企業・組織は行動を起こすことが重要である。

最善の時

1748年、アメリカの政治家で発明家のベンジャミン・フランクリンは、「時は金なり」と述べた。この格言は、実に2,000年前のギリシャに由来する。¹これは、ミリ秒単位のアドバンテージが巨額の利益をもたらすグローバル金融サービス業界（FSS：Financial Service Sector）にふさわしい言葉であると言える。

好機を捉えれば、利益は極めて大きい。世界最大級の銀行28社の運用資産は、実に合計で54兆米ドルを超える。²米国の株式・債券市場だけ見ても、その時価総額は70兆米ドルを超える。³市場がこれほどまでに大きいということは、ポートフォリオの最適化やデリバティブの価格評価、リスク分析、債務不履行確率の計算精度を向上できる新たなアルゴリズムの創出が、グローバルな金融機関とその顧客の長期的成功に対して、広範囲に重大な影響をもたらすことは想像に難くないと言えるだろう。

Quantum advantage

今日の金融サービス環境は最適者生存の原理を体現している。各社は利用可能なものの中から最高のテクノロジーを駆使し、競争優位性をめぐってせめぎ合っている。一方、極度に複雑な計算における処理時間の劇的な短縮と精度の大幅な向上を目指し、次世代「量子コンピューティング」の検討をすでに進めているところもある。

量子コンピューティングは、世界のテクノロジー研究所から熱い視線が注がれている分野であり、数年内には、金融サービス業界に大きな影響を及ぼすことが見込まれている。そのような中、自社のビジネスにおける量子コンピューティングの役割と可能性の評価を、喫緊に始めるべき理由があるのは明らかである。例えば、新たに形成されつつある金融サービスの量子エコシステムに参加することも、検討着手の有用なきっかけとなりうる。

量子コンピューティングとは

量子コンピューティングの性能を支える鍵となるのが、量子のふるまいの2つの特性である「重ね合わせ」と「もつれ」である。

古典コンピューターは、ビットによってデータを「1」か「0」のいずれかで表す。一方、量子コンピューターは、量子ビットによってデータを「1」か「0」のいずれか、または「1」と「0」の組み合わせとして表すことができる。量子ビットは同時に複数の状態を取ることができ、これを量子の重ね合わせと言う。

また、量子もつれという特殊な性質がある。2つまたはそれ以上の量子ビットは、このもつれによって物理的に離れていても、強い相関関係のある動きを示すことができる。この動きは、量子ビット間の距離がミリ単位であってもマイル単位であっても変わることはない。したがって、1量子ビットが2つの状態の重ね合わせであり得る一方、10量子ビットは、もつれを利用することで1,024通りの重ね合わせを作り出すことができる。この性質によって、表現可能な状態の数は、量子ビットの数に対して指数関数的に増加することが可能となる。⁴

現在、いくつかの金融アプリケーションのための量子アルゴリズムが開発、または試験段階にある。⁵これらのアプリケーションを、量子コンピューター上で実際に必要となる規模で問題なく実行させるためには、更なる研究開発が必要である。その上で、重要な問題の中からどれが将来的に量子アルゴリズムで解決できるのか、その見極めを開始することが必須となる。量子コンピューターが十分な規模と性能を獲得し、量子アルゴリズムを実行できる環境が整ったときに備え、このテクノロジーに対する理解を深める取り組みを進めることが重要である。

金融サービス企業が直面する課題のうち、いくつかの分野は量子コンピューティングで解決可能と考えられている。例えば、債務不履行リスクに基づく資産・顧客・仕入先の分類や選定、変数間の複雑な関係の解析による不正取引やマネーロンダリング等の犯罪活動の検出などが挙げられる。⁶このような課題を解決するためには、往々にして部門横断的で複雑な作業を同時並行的に実施していく必要がある。スピードと正確性に優れた量子コンピューターであれば、間違いなくこのような分野に新たなメリットをもたらすだろう。

量子コンピューティングは、特にポートフォリオの最適化や運用、多角化などの問題を解決するのに有用となる可能性がある。その可能性は、“期待ショートフォール”としても知られる条件付きバリュー・アット・リスク (C-VaR) などの複雑なリスク測定の領域にも拡大可能と考えられている。⁷

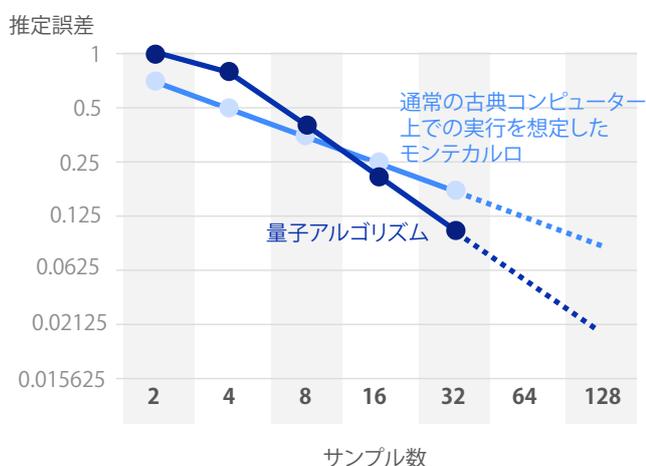
さらに、価格分析やリスク分析の最適化についても、量子コンピューター上で実施することによって「二次関数的高速化」が可能となり、必要なサンプル数も大幅に削減されることが見込まれている。古典的なモンテカルロ・シミュレーションでは数百万のサンプルが必要となるところ、量子コンピューターではたった数千の量子サンプルで十分な計算を行うことができる可能性がある（図1参照）。⁸デリバティブの分析など、今まで一晩かかっていたサイクルがほぼリアルタイムにまで短縮されるならば、リスクも必要な資金も大幅に削減されるだろう。毎年世界中で数十億件のオプション契約が取引されていることを考えれば、その節減効果は絶大なはずである。⁹

2016年に金融機関が受けたサイバー攻撃の件数は、他の企業や組織を65%上回った

一

図1

モンテカルロ・シミュレーションと比較した二次関数的高速化



かなり範囲を限定したリスク分析は、すでに実際の量子システム上で試行されており、その後は債券やオプション等の資産価格決定におけるリスク分析など、より大規模で実務的な用途に範囲を拡大しつつある。例えば、ヨーロッパ・オプションに関しては、すでにリスク分析が試行され、実際に IBM Q および Qiskit Finance には、ヨーロッパ・オプションの価格決定やポートフォリオ最適化のための量子アルゴリズムの導入事例がある。¹⁰

この試験自体は“量子ファイナンス”の初歩的な事例でしかないが、その手法はより高度な事例に展開可能なものである。適用可能な候補としては、複雑な市場ダイナミクス下にある経路依存型デリバティブの価格決定のほか、動的なポートフォリオ最適化やオプションの価格決定など、現時点では解決困難とみなされている問題である。¹¹ その二次関数的高速化は、経費をはじめとする資本配分に対する要求の低減、新たな投資機会の発見、そして市場変動への対応の迅速化を通じて、各企業のビジネスに対しプラスの影響をもたらす可能性が見込まれている。

モンテカルロ・シミュレーションとは

モンテカルロ・シミュレーションは、金融をはじめとする複数の業界で、予測モデルによるリスクおよび不確実性の測定に使用されている。このシミュレーションでは、可能性のある結果の多くまたはすべてが視覚的に表示可能で、意思決定の相対的なリスクの評価に役立っている。¹²

セキュリティの緊急性

企業、個人、および政府の重要な財務データを管理する金融機関にとって、データと通信の保護が最も優先すべき事項であることは言うまでもない。しかしそれにもかかわらず、平均的な金融機関が2016年に受けたサイバー攻撃の件数は、他の企業や組織を65%も上回った。¹³ 今後、量子コンピューティングの性能が向上していく中で、悪意を持った攻撃者がそれを利用するようになるのは時間の問題である。とはいえ、量子コンピューティングはセキュリティ・リスクをもたらすだけでなく、将来の攻撃を未然に防ぐ、強力な防御策をもたらす。¹⁴

量子鍵配送は、通信チャネルを既存の脅威だけでなく、量子による脅威からも保護する一助となる。量子原理の活用によって、現在および将来にわたって暗号鍵の機密性が守られるようになり、盗聴防止にも役立つ。各社は、古典コンピュータと量子コンピュータ双方のデータを保護できる暗号化技術の採用に、今すぐ取り組むべきである。例えば、量子コンピューティングを使った攻撃に耐性があると考えられる数種類の格子暗号に関する調査が、現在進行中である。このようなデータ・エンコーディング方法は、既知のアルゴリズムで破ることができない。したがって、現在と将来の両方の脅威を防御できる可能性があると考えられている。¹⁵

量子コンピューティングでの成功に期待を寄せる企業

リスク緩和の加速とパフォーマンス・モデリングの改善に関して、量子コンピューティングの適用に意欲的に取り組む金融機関として、JP Morgan Chase (JPMC) 社と Barclays 社がある。

JPMC 社は、量子コンピューティングの研究グループを設立した。その領域は、企業金融・投資銀行からリテールおよびコミュニティ銀行、資産運用、ウェルス・マネージメントにまで及ぶ。また、このグループには物理学の博士号を有する専任研究員 2 名のほか、パートタイム勤務の研究員数名が所属し、ポートフォリオの最適化、オプションの価格決定、財務的健全性の分類など、ビジネスとの関連が深い問題に照準を合わせている。その目的は、来たる量子コンピューティング時代を見据えて、Quantum Advantage のポテンシャルや限界を調査・把握することにある。JPMC 社の量子チームは外部との協力を通じて、関心度の高いアルゴリズムを多数開発および実装しており、実際に利用可能な量子デバイス上での試験と検証を繰り返している。

Barclays 社には、統計モデリングの専門家を交えた量子コンピューティングの作業グループがある。このチームが開発した量子アプリケーションは、クラウドを通じて一般にも利用可能な量子コンピューター上で実行され、その具体的な効果が検証されている。このグループでは、作業手順や優先順位の適切な定義など、最適化問題を解決するためのアプリケーションの検証を続け、毎日数千件の取引の決済を効率的かつ正確に行えるようにすることを最終成果と定めている。¹⁶ この種の最適化問題の特徴を正しく理解するためには、例えば 5,000 件の取引を実行する最適順序の選択肢には、 $4.2 \times 10^{16,325}$ 通りの可能性があるということを考えてみるとわかりやすい。¹⁷

早期採用で Quantum Advantage をつかみ取る

量子コンピューターのプログラミングは、古典コンピューターのそれとは根本的に異なる。習熟度を上げるためには、相応の学習・労力の量をかける必要がある。金融サービス業界において量子コンピューティングを早期に採用する企業は、単にテクノロジーのさまざまな可能性から恩恵を受けるだけにとどまらない。そのような企業は、新たな業界標準となる可能性のある基準の策定を通じて、業界の方向性を決定づけるような存在にもなり得るのである。完全なフォールト・トレラ

ント・ユニバーサル量子コンピューターの実現には、まだ年数を要するだろう。しかしそれでも、重要かつ有望なユースケースが特定されつつあり、ツールやアルゴリズムが開発中で、独自のエコシステムも形成されつつある今だからこそ、行動を起こすことが企業にとって重要である。早期採用に踏み切った企業に伴うさまざまな努力は、Quantum Advantage を達成するという形で結実することになる。

「量子コンピューティングによる飛躍」に向けた準備

「量子コンピューティングによる飛躍」に向けて、企業は今すぐ以下のような取り組みを進めることで有用な価値を見出すことができるだろう。

- 現在利用可能な公開済みのプロトタイプを利用して、量子コンピューティングを試行・評価する。すぐに利用可能な各種アルゴリズムのライブラリーや教材となりうる情報は、オープン・ソースのコンピューティング・フレームワークの一環として提供されており、これらにアクセスすることも有用だろう。
- 自社のビジネスと関連が深い量子のユースケースを探りだし、自社の経営モデルが戦略的方向性に適合している部分を見極め、それらを評価し、優先順位を決定する。そして、自社独自の量子ロードマップを策定する。専門性を有した IBM Q コンサルタントによるユースケース・ワークショップを活用することも有用だろう。
- 必要なスキルを育成、獲得、または確保する。量子コンピューティングの進化と可能性の把握に努めている人材はすでに自組織内にいる可能性があるが、今後、主要な人材の定義と採用・育成方針を明確化することを検討する。特に、“量子金融サービス”の最新動向により深く関わっている専門家も確保することが有用だろう。
- CXO が量子コンピューティングの世界に慣れ親しむように取り計らう。量子コンピューティングに関する質問は、顧客や投資家からまだ来ていないかもしれないが、回答を迫られるようになるのは時間の問題である。
- エコシステムに参加する。参加するエコシステムは、金融サービスが抱える問題を解決するための量子コンピューティング・ソリューションの構築に注力している既存企業、新興企業（含：スタートアップ）、学術関係者、および国家的な研究所などによって構成されている必要がある。¹⁸

量子コンピューターのプログラミングは、古典コンピューターとは根本的に異なる

—

考慮すべき重要な問いとは

- » 貴社は量子コンピューティング導入によって想定される影響に対して、どのような準備をしていますか？
- » 複雑な問題が迅速に解決できるようになると、貴社のビジネスにはどのような競争優位性が生まれますか？
- » 量子コンピューティングが貴社のセキュリティー体制に及ぼす影響の評価を、どのように開始していますか？

Expert Insights について

Expert Insights 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、Thought Leader の見解を伝えるもので、世界中の該当分野の優れた専門家との対話をもとに作成されます。詳細については、IBM Institute for Business Value (iibv@us.ibm.com) までお問い合わせください。

日本語翻訳監修

西林泰如

日本アイ・ピー・エム株式会社 戦略コンサルティング & デザイン統括 シニア・マネージング・コンサルタント

IBM Q Ambassador / IBM Q コンサルタント Japan Lead

総合電機メーカー、米系戦略コンサルティング・ファームを経て、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 件を超える特許の筆頭発明者）。IBM では、Global Digital Strategy Group 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・マネージメント、テクノロジー・データ戦略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

橋本光弘

日本アイ・ピー・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

IBM Q Ambassador / IBM Q コンサルタント Japan Lead

日本学術振興会特別研究員（DC1）、国内大手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、

米系戦略コンサルティング・ファームおよび IBM にて、電機・機械・エネルギー・金融業界のコンサルティング・プロジェクトに参画。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

酒井大輔

日本アイ・ピー・エム株式会社 金融サービス事業部 デジタル・リインベンション・コンサルティング シニア・マネージング・コンサルタント

Financial Services Digital Reinvention Consulting Leader / Banking Industry Thought Leader

国内大手金融機関、外資系コンサルティング・ファームを経て、IBM に入社。IBM では、「金融×デジタル」をテーマとしたコンサルティング組織のリーダーとして、全社デジタル・トランスフォーメーション戦略・ロードマップ策定、新規サービス創成、デジタル・マーケティング構想策定などのプロジェクトに従事。また、銀行業界の Thought Leader として、海外金融ビジネス動向の調査・分析を踏まえ、講演等を通じて次世代金融ビジネスのあり方を提言している。

連絡先：SAKAID@jp.ibm.com

注釈および出典

- 1 Chayka, Kyle. "TIME IS MONEY, BUT THAT DOESN'T MEAN YOU NEED TO WORK NON-STOP." Pacific Standard. May 14, 2014. <https://psmag.com/economics/time-money-doesnt-mean-need-work-non-stop-81438>
- 2 Martin, Will. "These are the 28 biggest banks in the world — each one with more than \$1 trillion of assets." Business Insider. May 24, 2018. <https://www.businessinsider.com/biggest-banks-in-the-world-2018-5>
- 3 "Bond Market Size Vs. Stock Market Size." Zacks. May 14, 2018. <https://finance.zacks.com/bond-market-size-vs-stock-market-size-5863.html>
- 4 "Qiskit/ibmqx-user-guides." GitHub. November 13, 2018. <https://github.com/Qiskit/ibmqx-user-guides/tree/master/rst/beginners-guide>
- 5 Orus, Roman, Samuel Mugel, Enrique Lizaso. "Quantum computing for finance: Overview and prospects." Reviews in Physics. November 2018. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405428318300571>
- 6 Havlicek, Vojtech, Antonio D. Córcoles, Kristan Temme, Aram W. Harrow, Abhinav Kandala, Jerry M. Chow, Jay M. Gambetta. "Supervised learning with quantum enhanced feature spaces." arXiv preprint. June 5, 2018. <https://arxiv.org/pdf/1804.11326.pdf>
- 7 Orus, Roman, Samuel Mugel, Enrique Lizaso. "Quantum Computing and Finance." Quantum World Association. August 17, 2018. https://medium.com/@quantum_wa/quantum-computing-and-finance-f7839c894979

- 8 Woerner, Stefan, Daniel J. Egger. "Quantum Risk Analysis." npj Quantum Information, volume 5. February 8, 2019. <https://www.nature.com/articles/s41534-019-0130-6>
- 9 オプション契約の件数は、2017年のみで250億件を超えていた。"Total 2017 volume 25.2 billion contracts, down 0.1% from 2016." Futures Industry Association. January 24, 2018. <https://fia.org/articles/total-2017-volume-252-billion-contracts-down-01-2016>
- 10 "qiskit-tutorials." <https://github.com/Qiskit/qiskit-tutorials>
- 11 de Praso, Marcos Lopez. "Why Quantum Finance?" Quantum for Quants. April 26, 2016. <http://www.quantumforquants.org/quantum-computing/why-quantum-finance>
- 12 Joseph, Rohan. "The house always wins: Monte Carlo Simulation." Toward Data Science. June 28, 2018. <https://towardsdatascience.com/the-house-always-wins-monte-carlo-simulation-eb82787da2a3>
- 13 "IBM X-Force: Financial Services Most Targeted By Cybercriminals in 2016." IBM press release. April 27, 2017. <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/52210.wss>
- 14 Rjaibi, Walid, Sridhar Muppidi, Mary O'Brien. "Wielding a double-edged sword: Preparing cybersecurity now for a quantum world." IBM Institute for Business Value. July 2018. <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/quantumsecurity>
- 15 同上
- 16 Crosman, Penny. "Why banks like Barclays are testing quantum computing." American Banker. July 16, 2018. <https://www.americanbanker.com/news/why-banks-like-barclays-are-testing-quantum-computing>
- 17 CalculatorSoup: Online Calculator Resource. Permutations Calculator nPr. <https://www.calculatorsoup.com/calculators/discretemathematics/permutations.php>. Accessed on March 26, 2019.
- 18 For more information, see "Taking the quantum leap: Why now?" and "Coming soon to your business: Quantum computing – Five strategies to prepare for the paradigm-shifting technology." Sutor, Dr. Robert, Terry Hickey, Lori Feller. "Taking the quantum leap: Why now?" IBM Institute for Business Value. February 2018. <https://www.ibm.com/downloads/cas/WNKLR1ZY>
邦訳:「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」<https://www.ibm.com/downloads/cas/LMAPW78R>

Gil, Dr. Dario, Jesus Mantas, Dr. Frederik Flöther, Lynn Kesterson-Townes, Dr. Robert Sutor, Christopher Schnabel. "Coming soon to your business – Quantum computing: Five strategies to prepare for the paradigm-shifting technology." IBM Institute for Business Value. November 2018. <https://www-935.ibm.com/services/us/gbs/thoughtleadership/quantumstrategy>
邦訳:「量子コンピューティングによるビジネス革命の時、来たる – パラダイム・シフトをもたらすテクノロジーを使いこなすための5つの戦略」<https://www.ibm.com/downloads/cas/KAJVZJV7>

© Copyright IBM Corporation 2019

IBM Corporation
New Orchard Road
Armonk, NY 10504
Produced in the United States of America
April 2019

IBM、IBM ロゴ、ibm.com、Watson 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 (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、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「Getting your financial institution ready for the quantum computing revolution」の日本語訳として提供されるものです。

46024746JPJA-00

