

## 量子ゲームの世界へようこそ: ユースケースが続々と

一年ほど前の Risk Oversight vol.139では、量子コンピュータとは何か、いつ実現するのか、この進化するテクノロジーの市場で先頭に立つために企業が取るべき手段は何か、なぜ取締役会が量子コンピュータに関心を持つべきなのかなどについて特集しました<sup>1</sup>。量子コンピュータのユースケースは次々と増えていっています。

量子コンピュータに関する記事で見られる誤解を招く表現に、「量子コンピュータが利用可能になったら」のようなものがあります。量子コンピュータは、現在でも利用可能なだけでなく、実用的な問題に取り組む十分な性能を持っています。実際、多少のトレードオフはあるにせよ、古典的なコンピュータよりも優れていることが既にあります。

**今が旬の理由。**量子コンピュータの市場は、現在、「NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum) 時代」と言われています<sup>2</sup>。量子マシンはまだ暗号を解読できないかもしれませんが、特定のユースケースにおいては、すでにその優位性を示しています。

量子コンピュータが、速度や精度などの関連要因をすべて考慮した上で、あるタスクにおいて古典的なコンピュータに勝るといふ、真の意味での量子的優位性はまだ達成できていません。量子的な優位性を科学的に証明するためには、古典的な計算方法と比較して適用例をベンチマークする必

要がありますが、これは困難な作業です。

しかし、エンドユーザー企業の中には、量子コンピューティングによって「お客様にもたらされるメリット」を主張する企業もあります。つまり、いくつかの有力な選択肢を検討した結果、価格やスピードなどの面で、量子的なアプローチが有利であることが分かったということです。

量子コンピュータは、あらゆる種類の最適化および機械学習 (ML) 問題に革命をもたらす可能性を秘めています。今から始めることで、マーケットリーダーとしての地位を確立することができます。インターネットをフルに活用した最初の企業のことを思い出してみてください。その会社は唯一社、Amazonです。

真の量子力学的な利点がいつ得られるかは正確にはわかりませんが、最適化におけるいくつかのユースケースは、一年以内にそこに到達する可能性があります。しかし、重要

1 Risk Oversight vol.139: 量子コンピューティング取締役会が注意を払うべき理由: <https://www.protiviti.com/JP-jp/insights/risk-oversight-vol-139> (英語版: [www.protiviti.com/US-en/insights/newsletter-bpro139-quantum-computing](https://www.protiviti.com/US-en/insights/newsletter-bpro139-quantum-computing))

2 「NISQ時代」とは、量子コンピュータがその能力をまだ十分に発揮できず、古典的なコンピュータに対する優位性を示すには十分でないことを意味します。

なのは、ひとつ、または複数の業界関係者によって優位性が達成され、新しいユースケースが製造、物流、金融を根本的に破壊するとき、それまで量子に対応していなかった企業は、単にスイッチを入れてすぐに量子コンピューティングを始めるというようなことはできないだろうということです。

今日、機械学習のリーダーとしての座を獲得できたらどんなに素晴らしいことでしょう—但しそれもまた、量子コンピュータが公開鍵暗号を破壊できるようなパワーレベルにまだ達していないときまでの話です。結論として、この旅は、量子コンピュータが全てを根本的に変え、破壊し尽くすことができるようになるまでの準備なのです。

**量子コンピューティングへの旅を始める。** 量子力学によるコンピューティングにおける大きな変革は、企業が開発チームに新しいプログラミング言語を教えるだけでは対応できません。今のマシンはクラウド環境からアクセスはできるでしょうが、従来のDevOps<sup>3</sup>との類似性はそれだけです。遅れをとる企業はその代償を払うことになるに違いありません。

量子テクノロジーへの対応の準備において、量子テクノロジーのチャンピオン企業に、この新しいテクノロジーが革新をもたらす可能性のあるビジネス分野を特定させる必要があります。

デザイン思考の取り組みは、現在テクノロジーで解決されている課題の種類をブレインストーミングし、量子アルゴリズム的なアプローチが役立つようなユースケースを試すかどうかを確認することで、関係者がその可能性を認識することを助けます。

デザイン思考のアプローチにより、チームは従来の業務上の課題や新しい業務上の課題を整理し、マッピングすることができます。例えば、最適化課題に取り組む場合、これまで考慮されていなかった制約条件を追加したりして、量子的なアプローチのストレステストを行う必要があります。要するに、従来のアプローチでは迅速に解決できない問題の解決に焦点を当て、従来のアプローチで可能なタスクを改善するのです。

量子ユースケースの実施は、何も無いところではできません。ガバナンスの仕組みとサポートが必要です。経営陣、ビジネスリーダー、テクノロジーリーダーの適切な人材が参加する必要があります。このチームは、量子の適用可能性、潜在的な利益とリスク、そして

ビジネスにとって適切な投資レベルを検討する必要があります。

次にリソースプランです。量子技術ソフトウェア開発におけるスキル不足は深刻です。企業は、目前に迫ったこのコンピューティングの世界の急激な変化をサポートするために、人材を育成し、人材を見つけ、プロセスを開発しなければなりません。例えば、関連するコースを履修した大卒者を開発者の卵として採用すると役立つでしょう。また、適切なスキルを持つ外部のコンサルタントを通して初期の概念実証のユースケースを軌道に乗せ、スタッフに実践的な知識の伝達を行うなどのようなことも考えられます。

失敗も修行のうちと認識するのが重要なことです。量子アルゴリズムのアプローチに手を加えて準備を整えば、オンプレミスやクラウドで量子シミュレータを導入して、実証実験を無料またはとても安価に行うことができます。すべてのユースケースが最初から上手くいって解決につながる訳ではありませんし、中には学習体験にしかないものもあります。しかし、いくつかのユースケースは、量子マシンの改良に伴い、いつかビジネスの真の優位性を獲得するために将来修正できるかもしれません。

**説得力のあるユースケースが価値を実証する。** 量子コンピュータの時間軸の中で、我々がどこにいるのかを類推するのは難しいことです。インターネットが台頭した1990年代前半の感覚でしょうか。当時夢見た用途は、インターネットが導いたものを捉えてもいなかったでしょう。ソーシャルメディアや携帯型の強力なコンピュータがある世界など、少なくともごく少数の人しか想像してなかったのです。量子力学のユースケースも同様で、無限の可能性を持つシステムのアプリケーションのほんの始まりに過ぎないことが分かっています。量子の世界では、無限の計算能力を持つ可能性があります。

最も有望なユースケースのひとつは、急速に成熟しつつある技術によってもたらされるものです。最適化問題は、数千の量子ビット<sup>4</sup>に変数を対応させる量子アニーラで実行され、山と谷のフィールドと考えることができる方法です。コンピュータは、最も低いエネルギーの状態を見つけて、最適な答えを出します。

これは、ある大陸で最も低い谷を探すことをイメージしていただくとうわかりやすいでしょう。「古典的」なアプローチでは、地形をくまなく走って測定し、答えを見つけなければなりません。量子トンネルのおかげで、アニーラはゆっくりと道草をすることなく、すべて

3 「DevOps」とは、システムの開発ライフサイクルを短縮し、高いソフトウェア品質で継続的にデリバリーすることを意図して、ソフトウェア開発とIT運用を組み合わせた一連のプラクティスやツールのことを指します。

4 古典コンピュータがビットを使用するのにに対し、量子コンピュータではキュービット(量子ビットの略)が使用されます。ビットは0か1を表しますが、量子ビットは0と1を同時に表すことができます。例えるならコインは2進数で、表か裏か、つまり0か1を表します。しかし、コインをはじくと、0にも1にもなり、同時にすべての組み合わせにもなれます。量子力学では、「重ね合わせ」と呼ばれる、複数の状態を同時に存在させることができる能力を利用しています。しかし、量子コンピュータでは、コインの代わりに原子を使うことで、新しいコンピューティングを実現しています。



の丘を移動して素早く答えを特定することができます。この「山と谷」は、資産ポートフォリオなどに適用して、最適なリターンを導き出すことができます。資産の保有期間や売却前の最小利益など、具体的な制約を設定することができます。

DWave Systems社が提供するハイブリッドアニーラは、アニーリングで処理するのが最適な問題の部分を古典的なコンピュータが解析することを可能にするものです。そして、その答えをハイブリッドアニーラで縫い合わせることで、最良の結果を迅速に提供します。この能力は、ポートフォリオ最適化において、すでに従来のコンピュータを上回る速度を示しており、真の意味での量子の優位性を示す最初の例となる可能性が高いと期待されています。プロティビティは現在、精度の高さを証明し、リスク調整後リターンを向上させる最初の実験に参加しています。

このハイブリッド量子アニーリング法は、古典的な「巡回セールスマン」問題(神話のセールスマンが、最短経路で国内のすべての都市を1度ずつ訪問する)において、すでにいくつかの利点を示しています。DWaveは、停電などの実世界の制約を加え、問題をより複雑にした車両経路問題に取り組みました。1つの試みでは、古典的な解決策では27kmの走行が必要であったものを、量子的なアプローチで20kmの距離を走って配達するルートを提供できました。このような優位性は、毎日数千マイル、数キロメートルという話になれば、すぐに倍増することになります。

例えば、接客業や航空会社の価格決定など、多くのユースケースはこの方法で簡単に適応できます。また、他の種類のユースケースに対応するゲートベースの量子コンピュータもあります。ゲートベースシステムでは、アルゴリズムから正確な答えが得られるまで、量子論理ゲートが量子ビットに適用されます。十分な低エネルギー状態を探すアニーリングとは異なり、ゲートベース機は質問に対する具体的な答えを解き明かします。一例として、ゲート型量子コンピュータを機械学習(ML)に適用し、学習プロセスの高速化を図りました。量子MLは、ゲートベースのシステムが数千量子ビットに達すると、今後数年間で爆発的に普及するといわれています。なお、アニーラはすでに数千の量子ビットを有しているものの、最近100量子ビットの壁を破ったばかりのゲート型コンピュータの量子ビットと相互作用することはできません。

量子MLは、従来のMLの課題を解決することができるはずで、強化学習、ニューラルネットワーク、二値分類などの古典的なMLアプローチでは、すでに量子アルゴリズムが適用されています。後者においては、システムがトランザクションの良し悪しを

判断する(バイナリ)ことで、従来のコンピュータでの不正検知を可能としています。

量子サポートベクターマシン(QSVM)は、古典的なSVMと同様に、複雑なデータ構造の間に架空の境界線を引き、何が不正で何が不正でないかを判断する仕組みです。量子コンピュータの性能が上がれば、不正かどうかの検証が難しいエッジケース<sup>5</sup>でも、より正確な結果が得られると期待されています。量子コンピュータは、より大量のデータをより高速に処理することを可能にすると期待されています。今のところ、量子コンピュータのクラウド利用には待ち時間が制約となるため、実験者は、年中無休でかつリアルタイムで不正を検知するという野心的な期待を、毎週の発注書の不正検知というようなバッチ処理のものに下げてください。

**これは取締役会にとってどういう意味を持つか。** 先見の明のある取締役会は、自社がリソースの問題に直面し、この新しいコンピューティング分野の短期的なメリットと必要な長期的な保護を逃すことがないように、量子コンピューティングの計画を早急に開始することを確認する必要があります。

量子コンピューティングの機会と問題点を理解し、必然的な変曲点の到来時にそれを捉え、対処する準備をすることで、劇的なビジネスの優位性と破壊をもたらすことができます。世界的に見ても先行者利益と、量子の覇権を握るトッププレーヤーになれるかもしれません。

取締役会が考慮すべき事項に以下のようなものがあります。

- 量子力学準備評価を行ってきたか。
- 競合他社で、量子コンピュータの活用方法に着目しているところはあるか。このような業界の動きを黙って見ているべきなのか、それとも、エグゼクティブ・スポンサーを任命し、量子チャンピオンを指名し、積極的に取り組むべきなのか。
- 現在、解決できないビジネス上の課題の中で、量子コンピュータなら解決できるものはあるか。どうすればよいかわからない場合は、調べるべきか。
- 量子コンピュータへの投資の場所と方法について、効果的なガバナンスがあるか。

5 「エッジケース」とは、確立されたオペレーションパラメーターで発生する、その性質が確立された基準に照らして明白でない状況を意味します。

## プロティビティの支援

弊社の量子コンピューティングサービスは、お客様がこの強力な能力を活用する上でリスク管理と機会の特定を行うための準備を早い段階からはじめるのを支援します。量子コンピュータの実用的なアプリケーションはまだ開発中ですが、今こそ、お客様の

ビジネスが革命の犠牲になるのではなく、量子コンピュータの力を活用できるように準備する時です。

私たちは、あらゆる業界の企業が実際のユースケースを特定し、価値を判断し、リスクを評価し、量子力学に対応するための行動を起こすことを支援します。

---

### プロティビティについて

プロティビティは、企業のリーダーが自信をもって未来に立ち向かうために、高い専門性と客観性のある洞察力や、お客様ごとに的確なアプローチを提供し、ゆるぎない最善の連携を約束するグローバルコンサルティングファームです。25ヶ国、85を超える拠点で、プロティビティとそのメンバーファームはクライアントに、ガバナンス、リスク、内部監査、経理財務、テクノロジー、オペレーション、データ分析におけるコンサルティングサービスを提供しています。プロティビティは、Fortune 1000の60%以上、Fortune Global 500の35%の企業にサービスを提供しています。また、成長著しい中小企業や、上場を目指している企業、政府機関等も支援しています。プロティビティは、1948年に設立され現在 S&P500 の一社である Robert Half International (RHI) の 100% 子会社です。