

金融領域における 量子コンピュータの活用

金融領域では近年要求される計算能力が大幅に増加している。この増大し続ける計算ニーズに量子コンピュータが活用できる見通しが立ちつつある。金融業務のコア領域への量子コンピュータの活用は金融機関の競争力を左右するかもしれない。一方でこれまでの古典的コンピュータとは異なる構造を持つ量子コンピュータに対応できる人材育成が重要になるだろう。

増大し続ける計算ニーズ

本質的に情報処理産業である金融ではもともと大量の計算を処理する能力が求められてきた。歴史を振り返ってもコンピュータが登場した際の最初期のコンピュータユーザの多くが金融機関だったことから、金融機関はより大量の計算をより高速に処理するニーズを常に抱えている。

特に近年はこの計算ニーズをさらに増大させる環境変化が起きている。一つはバーゼルⅢに代表される自己資本比率規制によって要求される高度なリスクマネジメントへの対応だ。この対応には保有資産のリスクを確率的に評価する必要があり、評価には大量の計算が必要になる。しかも今後リスクマネジメントの要求水準はさらに高まることが予想され、計算処理のコスト負担は増大する。もう一つの環境変化がビッグデータの登場とその分析を可能にした機械学習などのAIの活用である。顧客の信用スコアの計算や、顧客の行動パターン分析に基づくリアルタイムのリcommendといったマーケティングへのAIの活用には多次元のデータ間の相関関係を探る膨大な計算量が必要だ。

そして問題なのは現状のコンピュータ（本稿では古典的コンピュータと呼ぶ）では、処理するデータが増えるにつれ必要となる計算量は指数関数的に増加してしまう点にある。古典的コンピュータで指数関数的に増える計算ニーズに対応するには指数関数的なコストの増大が生じかねない。しかし量子コンピュータを活用することで、古典的コンピュータとは比較にならないくらい計算処理を減らせる可能性が現実のものとなりつつある。

IEEEのレポート¹⁾では、金融領域での量子コンピュータの活用領域を「シミュレーション」、「最適化問題」、「機械学習」の3つとしている。以下、同レポートに沿ってそれぞれの領域を概観する。

シミュレーション

シミュレーションでは複数のパラメータにそれぞれの確率関数を定義づけ、さらに複数のシナリオを用意した上で、それぞれのシナリオごとにどのような結果が生じるかを繰り返し計算する必要がある。古典的コンピュータではパラメータやシナリオが増えるにつれ計算量は指数関数的に増える。一方、量子コンピュータでは量子ビットにそれぞれのパラメータの特徴を持たせることで計算量を大幅に減らすことが可能である。

この領域での利用ケースとして、デリバティブの価格付け、VaR（バリューアットリスク）の推計、市場ボラティリティを織り込んだリスク荷重資産（RWA）の推計といったものが挙げられる。

最適化問題

最適化問題とは、複数の対象がある中でどの対象をどのように選ぶか、またその組み合わせや組み合わせの比率をどうすれば最も効率的になるかを導き出す計算だ。古典的コンピュータで最適化問題を解決しようとする、それぞれの選択肢の組み合わせを逐一計算する必要があり、選択肢が増えるたびに計算量が指数関数的に増大する。そのため、選択肢が多すぎると現実的な時間で計算を完了することが不可能になる。

NOTE

- 1) Daniel J. Egger et al. "Quantum Computing for Finance: State-of-the-Art and Future Prospects" <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9222275>
- 2) 一般にN個の銘柄から任意の数の銘柄を選んで構成されるポートフォリオの最適組み合わせを求めるには、2のN乗回の計算が必要になる(各銘柄の価格が同一で、かつ購入額もすべて同一であると仮定した場合)。この場合、10銘柄では2の10乗で1,024通りの組み合わせを検討すればいいが、これが100銘柄に増えると計算が必要な組み合わせ数は2の100乗通りとなる。2の100

乗は約10の30乗(100種=1千兆×1千兆)であり、実用的な時間では計算不可能である。ただ金融工学のMarkowitzモデルを用いればもう少し計算量を減らすことができる。Markowitzモデルでは、ポートフォリオ最適化問題を組み合わせの問題から、各銘柄の期待収益率、各銘柄間のリターンの相関(共分散)から、許容リスクの範囲内でポートフォリオの分散が最も小さい銘柄の組み合わせを選ぶという連立一次方程式問題(行列計算)に置き換えることができる。これで計算量は単純な組み合わせ問題からは大幅に減るが、それでも多次元の行列計算を行う必要があるため、銘柄数

が増えると計算は困難になってしまふ。

一方、量子コンピュータ上で連立一次方程式を高速に解けるHHL(Harrow-Hassidim-Lloyd)アルゴリズムを用いることで計算量は理論上log(N)回に減らすことができる。上の例で言えば銘柄数が10(N=10)の場合は1回、100の場合でも2回の計算でポートフォリオ最適化問題に解を与えることが理論上は可能である。

- 3) 量子暗号、金融分野への導入検証 野村HDや東芝：日本経済新聞(2020/12/21) <https://www.nikkei.com/article/DGXZQODB174IZ0X11C20A2000000>

量子コンピュータでは、それぞれの選択肢を量子ビットに対応させて、それらの量子ビット間のエネルギー状態が最も安定するような演算を行うことで膨大な計算をすることなく最適化問題を解くことができる。

この領域での利用ケースとして、ポートフォリオの最適構成の決定や構成銘柄の入れ替え、複数の売り・買い間での取引決済の最適マッチングなどが挙げられる²⁾。ちょっと変わったところではM&Aのマッチングなどへの応用も考えられている。

機械学習

機械学習では多次元のデータ間の相関関係を見出すことで、そのままでは見えなかったデータの構造やパターンを導き出すことができる。機械学習を適用することで、過去の時系列データから将来の予測を行ったり、類似するデータ群ごとに分類したり、特定のパターン(不正行為の兆候やアノマリーなど)を発見したりすることができる。

この領域での利用ケースとして、市場予測、顧客のクレジットリスク判定、顧客セグメンテーションの高度化、不正検知、マネーロンダリング検知などが挙げられる。

ただし、現時点では機械学習領域で量子コンピュータのほうが古典的コンピュータよりも効率的に計算ができるという理論的根拠は明らかではない。

量子コンピュータに備える

今後も増大し続ける計算ニーズを古典的コンピュータのみで処理し続けることは難しくなりつつある。古典的

コンピュータで指数関数的に増える計算量に対応するにはコスト負担も指数関数的に増えかねない。また仮に古典的コンピュータで行う計算処理が可能だとしても、結果が出るまでに一か月かかるというのでは意味がない。リスクマネジメントには必ず時間制約が伴う。量子コンピュータでなければ実用的な時間で解が出せない問題に直面する可能性は低くない。

また本稿では割愛したが、量子技術はセキュリティ領域でも幅広く活用できる。その中でも極めて堅牢な情報伝達が可能になる量子暗号通信は国内でも実証実験が行われるなど³⁾、実用化が急ピッチで進んでいる。

一方で、量子コンピュータは古典的コンピュータとはその原理、構造が大きく異なる。そのため、量子コンピュータを活用するには古典的コンピュータとは全く異なる能力、知識が要求される。量子コンピュータの原理を理解し、その課題解決能力を現実問題に適用できる人材を育成しておくことが今後重要になってくるだろう。

IBMのロードマップでは量子コンピュータの性能は年々倍増し、2030年頃には汎用的な量子コンピュータの実用化が見込まれている。一方、GoogleやIBMが開発を進めている数十から数百量子ビットで構成されるNISQ方式の量子コンピュータは数年以内の実用化が可能とされている。量子コンピュータを「夢の技術」と呼んでいい時期はそろそろ終わりつつある。

Writer's Profile



柏木 亮二 Ryoji Kashiwagi

金融イノベーション研究部
上級研究員
専門はIT事業戦略分析
focus@nri.co.jp