

物流業界での 量子コンピューティングの 可能性

ラスト・マイル配送、物流危機への対応、
海上輸送経路の探索・最適化に
活用が期待される

はじめに

近年、物流が世の中の注目を浴びる機会が増えつつある。決して、ポジティブなトピックが話題になるわけではない。グローバルなサプライチェーンの問題は、過去数年間、政治家を悩ませ、小売企業を困惑させ、最終消費者を振り回している。

残念なことに、物流の問題は世間の話題になるのだが、物流業界の数多くの功績は、サプライチェーンの継続的な改善・効率化および二酸化炭素排出量の削減の要求によって、印象が薄れてしまっている。しかし、世間の日の目を浴びないところで、イノベーションが起きつつある。それは、量子コンピューティング・ソリューションの利活用に向けた取り組みが、物流業界にて着実に活発化していることである。さらに、その適用範囲は広がりつつある。量子コンピューティングという革新的なテクノロジーは、多くの複雑な制約条件のもとで、世界中の消費者の生活に必要な物を届け続ける物流業界に、一筋の光が差し込みつつある。

依存関係と複雑性が増しつつあるサプライチェーンが抱える問題を解決するためのアイデアは次々と出てくるものの、問題の根本原因が「調整 (coordination)」であることは、業界内でもあまり知られていない。

サプライチェーンの広さ・大きさ・複雑さに起因して、課題が一度発生すると、サプライチェーン全体に波及してしまう。また、ネットワークが大きくなるにつれて、制約や遅延による影響は一層増幅する。サプライチェーンは、多数のステークホルダーが複雑に絡み合う巨大なシステムであり、すでに大きな負荷がかかっている。そのような状況下に加えて、地政学的リスク・頻発する供給不足・天候リスク（例：局地的な干ばつ）などが露見すると、さらに混乱が収拾のつかなくなる可能性がある。

こうした複雑かつ巨大なシステムの問題を解決するには、より広い視野が求められつつある。部門・企業単位での局所最適化では解決は極めて困難である。物流業界に求められるのは、ステークホルダー全体のエコシステムの複雑な制約条件を考慮した全体最適である。全体最適を実現するには、パートナー・政府・事業者間の調整が不可欠であり、現在の古典コンピューティングに基づく最先端の最適化ソリューションであっても、今求められているレベルでの問題解決は困難を極める。

しかし、量子コンピューティング技術がさらなる発展を遂げることで、現在の状況を一変させることができる可能性を秘めている。輸送事業者・規制当局・顧客企業間で、物流業界に関する予測などの知見をより効果的に共有し、協力し合いながら最適な物流ビジネスの意思決定が実現できるとしたら、物流業界はどのような変貌を遂げるだろうか。量子コンピューティング技術は、物流業界のサプライチェーン全体にとどまらず、社会により優れた成果をもたらし得る革新的なものである。

量子コンピューティング・ソリューションを物流業界に適用すると何ができるようになるのか、IBMの知見に基づく現時点での仮説を本レポートにてお示しする。ご一読いただければ幸いである。量子コンピューティングの活用は議論の余地があるトピックである。しかし、物流業界が将来直面し得る他の課題と同様、取り組む価値のある重要な問題に直面した際には、まず将来のビジョンをステークホルダー間で共有するところから始めるべきである。

Dee Waddell

Managing Director,
Global Travel and Transportation,
IBM Consulting
(IBM コンサルティング事業本部、
マネージング・ディレクター、
航空・運輸・旅行業界担当、グローバルリーダー)
dee@us.ibm.com
<https://www.linkedin.com/in/waddell/>

著者



Mariana LaDue

Industry Quantum Consultant,
Travel and Transportation,
IBM Quantum
(IBM Quantum、
量子コンピューティング・
コンサルタント、
旅行・輸送業界担当)
[linkedin.com/in/marianaladue](https://www.linkedin.com/in/marianaladue)
mariana.ladue@ibm.com

旅行・運輸、小売・消費財業界を専門とする、IBM の量子コンピューティング領域のコンサルタント。データによって獲得できる効果を最大限に引き出して、競争優位性を築くことをテーマに顧客を支援している。25 年以上にわたって、戦略・技術など多岐にわたる国際的なコンサルティング・サービスに従事している。量子コンピューティング、AI、データ、アナリティクス、オペレーションズ・リサーチの分野での豊富な経験に基づき、グローバルを対象に業界の垣根なく、革新的なソリューションの設計・提供を行っている。ブルガリアの Sofia University-St. Kliment Ohridski (ソフィア大学「聖クリメント・オフリドスキ」) で確率統計学を専攻し、数学の博士号を取得。また、米国の Georgia Institute of Technology (ジョージア工科大学) で応用数学の修士号を取得。

Imed Othmani

Industry Partner,
Quantum Industry &
Technical Services,
IBM Quantum
(IBM Quantum、
Quantum Industry &
Technical Services パートナー)
[linkedin.com/in/imedothmani](https://www.linkedin.com/in/imedothmani)
iothmani@ca.ibm.com

IBM Quantum のコンサルタント・リーダーであり、グローバルを対象に物流業界における量子コンピューティングの取り組みをリードしている。航空、物流、小売、消費財、運輸、製造、自動車、航空・宇宙業界などを主に担当する。ビジネス・アナリティクス、最適化、AI・機械学習、サプライチェーン、ビジネス・イノベーションの分野で、20 年以上に及ぶ国際的な経験を有し、最新テクノロジーを活用したビジネス変革をテーマに、世界の大企業を支援し続けている。フランスのグルノーブルにある University Joseph Fourier (ジョセフ・フーリエ工科大学) で、オペレーションズ・リサーチと最適化を専門とする応用数学と意思決定科学の博士号を取得。

Martin Mevissen

Senior Research Manager,
AI & Quantum,
IBM Quantum
(IBM Quantum、
シニア・リサーチ・マネージャー、
AI & 量子技術担当)
[linkedin.com/in/
martin-mevissen-74a27515](https://www.linkedin.com/in/martin-mevissen-74a27515)
martmevi@ie.ibm.com

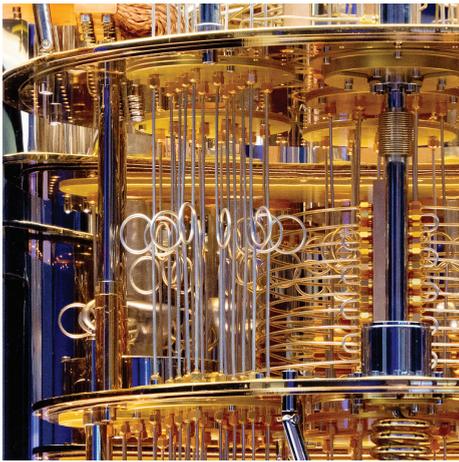
アイルランドのダブリンにある IBM Research lab の AI & 量子技術担当シニア・リサーチ・マネージャー。2007 年に ETH Zurich (チューリッヒ工科大学) で数学の修士号を、2010 年に東京工業大学で数理・計算科学の博士号を取得。2011 年、IBM Research に入社。数理最適化、オペレーションズ・リサーチ、不確実性下の意思決定とその応用を専門とする。IBM Research Outstanding Technical Achievement Awards と IBM Research Division Award を受賞。現在は、数理最適化問題の量子アルゴリズム、量子システムの数理最適化、AI の応用・スケーリング・自動化に取り組んでいる。IBM Research の数理科学評議会のメンバーを兼務する。

日本語翻訳監修

櫻井亮

日本アイ・ビー・エム株式会社
IBM コンサルティング事業本部
戦略コンサルティング
シニア・コンサルタント

専門領域は、先端テクノロジー（例：量子コンピューティング、データサイエンス、先端半導体など）を活用した事業戦略策定および新規事業構想・開発（例：IoT / コネクテッド・サービスの構想策定・PoC）。これまでに、自動車（四輪、二輪、自動車関連部品）・製造（航空宇宙、機械、化学）・金融サービス・ヘルスケア（製薬、医療機器）・公共などの多岐にわたる業界の専門領域に関連するプロジェクト 20 件近くにプロジェクト・マネージャーやプロジェクト・メンバーとしての豊富な参画経験を有している。特に、量子コンピューティングを活用したビジネス活用（事業戦略策定、市場調査、ユースケース検討・要件具体化）に対して最も高い専門性を有している。そのため、複数業界での量子コンピューティングのビジネス活用検討プロジェクト（例：各種関連技術調査、適用可能性検討・評価、適用ロードマップ策定）のリード、IBM Quantum Ambassador としての活動（複数業界（例：金融・保険サービス、自動車、製造）での年間約 10 社程度の経営層をはじめとする主にビジネス部門向けへの量子コンピューティング関連の説明・紹介）、IBM Quantum のブランディング活動（例：The Quantum Decade をはじめとする IBV レポート約 10 件の監訳）に従事・リードしている。



主なポイント

物流業界に求められているのは、ステークホルダーが関わるエコシステム全体で、複雑な制約条件を考慮した最適化である。

- 量子アルゴリズムをラスト・マイル配送に適用することで、現状を劇的に変革できる可能性がある。

ラスト・マイル配送（最終配送拠点から配達先までの区間）のパフォーマンスが1%改善されるだけで、世界中で年間4億ドルの経費を削減できる可能性がある。¹ 量子アルゴリズムを配送車両経路などの運用最適化や配送収益性向上に活用することができれば、Door to Doorの輸送費用は大幅に削減でき、顧客満足度を高めることができる。

- 量子技術を物流の混乱管理に活用することで、不確実性を予測可能にする。

パンデミック・戦争・自然災害など不測の事態に直面した際、物流の専門家にはより適切な対応が求められる。サプライチェーンの寸断は、全世界の主要企業1社当たり年間で1億8,400万ドルの損失をもたらしている。² 量子コンピューティング技術を活用して、現在の古典コンピューティングよりも多くの混乱シナリオを事前にシミュレーションし、物流ネットワークの各所に与える影響を可視化・定量化できれば、よりの確な意思決定を支援できる。

- 量子技術の発展によって、持続可能な海上輸送を実現する。

全世界の貿易の90%は海上輸送が占めている。³ 輸送コストは上昇傾向にあるにもかかわらず、世界の貿易は不均衡であるため、輸送コンテナの3個に1個は空荷のまま運ばれている現状がある。量子アルゴリズムは、輸送に関わるモデリングの予測精度を高め、効率的で持続可能な海上輸送を実現する可能性を秘めている。

量子コンピューティングで 未来を切り開く

グローバル化と国際貿易の時代において、輸送と物流を効率的に管理・運用することは、経済や社会を健全に維持するために極めて重要である。新型コロナウイルス感染症のパンデミックが示したとおり、物流の混乱は企業間取引や消費者行動に壊滅的な影響を及ぼす。デジタル化され、互いにつながり合った今日の世界では、ロジスティクスとサプライチェーンの戦略は、かつてないほど重要であり、より複雑になってきている。

パンデミックの前は、一般消費者は日用品や食品がどのような経路で手元に届いているのかは深く考えておらず、欲しいものはほとんど手に入ると思っていた。しかし、今や「サプライチェーン」は日常的な言葉となり、輸送能力の低下、輸送コストの上昇、オンライン販売の加速などに伴うさまざまな問題が日々発生し、物流の混乱が毎日のようにニュースで取り上げられるようになっている。

ますます困難で複雑な課題の解決には、
人類は新しいコンピューティング・パワーを今まさに
必要としている

物流企業にとっての大きな目標は、常に最適なオペレーションを行うことである。しかし、これは「言うは易く行うは難し」である。安定した時代であっても、物流管理は複雑な業務であり、計画、製造/供給、保管・配送、輸送・出荷のサプライチェーン全体に、実際の運搬品と複雑に絡み合う大規模システムが存在している。

企業は、効果的な調達・生産・保管・販売・輸送を通じて、さまざまな制約条件を加味しながら需要に応え、全体のコストを削減するためにサプライチェーン全体での物流最適化を図っている。難解な物流の計算の精度を上げるには、インプットとなるデータは多ければ多いほど良いとされている。しかし、データが増えるほど、解を導出する計算能力は高まり、計算モデルの複雑さは増していく。今日の物流を提供する各企業は、現在のコンピューティング技術の限界が試されるような複雑な課題に直面している。解こうとする問題の規模が大きくなればなるほど、現在の古典コンピューティング技術単独でそうした課題を解決することは難しい。

量子コンピューティングは 物流業界にとって待望の技術

量子コンピューティングが、現在の物流業界の課題を解決する鍵となる技術になるかもしれない。量子コンピューティングは古典物理学には存在しない現象を活用した新たなコンピューティング理論に基づいており、これまで不可能だった計算を行えると考えられている（「視点:量子コンピューティングの基礎」参照）。量子コンピューターは、輸送や物流などのサプライチェーンに関わる現在存在している大きな課題のいくつかを解決できる強力なツールに進化する可能性を秘めている。

IBM は数十年にもわたりチップ技術の革新を続けてきたが、量子コンピューティングの開発においても最先端を走り続けてきた。⁴ IBM が量子コンピューティングに関する最初の会合を共同開催したのは 1981 年にさかのぼる。⁵ そして、2016 年には、量子コンピューターの利用を公開した最初の企業となった。⁶

IBM が量子コンピューターの利用を外部に公開したことで、世界中の研究者や開発者が新たな量子アルゴリズムの革新を生み、量子コンピューティングの技術革新は加速した。今や私たちは、「Quantum Decade（来るべき量子コンピューティングの時代）」に突入したのだ。⁷ このテクノロジーが秘める未来の可能性を各企業が自社計画に組み込めるよう、IBM は量子コンピューティングのロードマップを作成した（8 ページの図 1 参照）。⁸

量子コンピューティング技術はまだ基礎的な段階にあるが、グローバルなロジスティクスの最適化モデルを解決する手法として期待されている。しかし、実用に耐えられる高い精度を実現するためには、量子コンピューターは膨大な数の量子ビットを搭載した、誤り訂正ができる高度なものでなくてはならない。しかしそこまで高度でなくわずかな進歩であったとしても、コストの削減や顧客サービスの向上に貢献できるはずである。

量子コンピューターは
「重ね合わせ」の原理によって、
複数の状態を同時に表現し、
計算を行う。

量子コンピューティングの 基礎

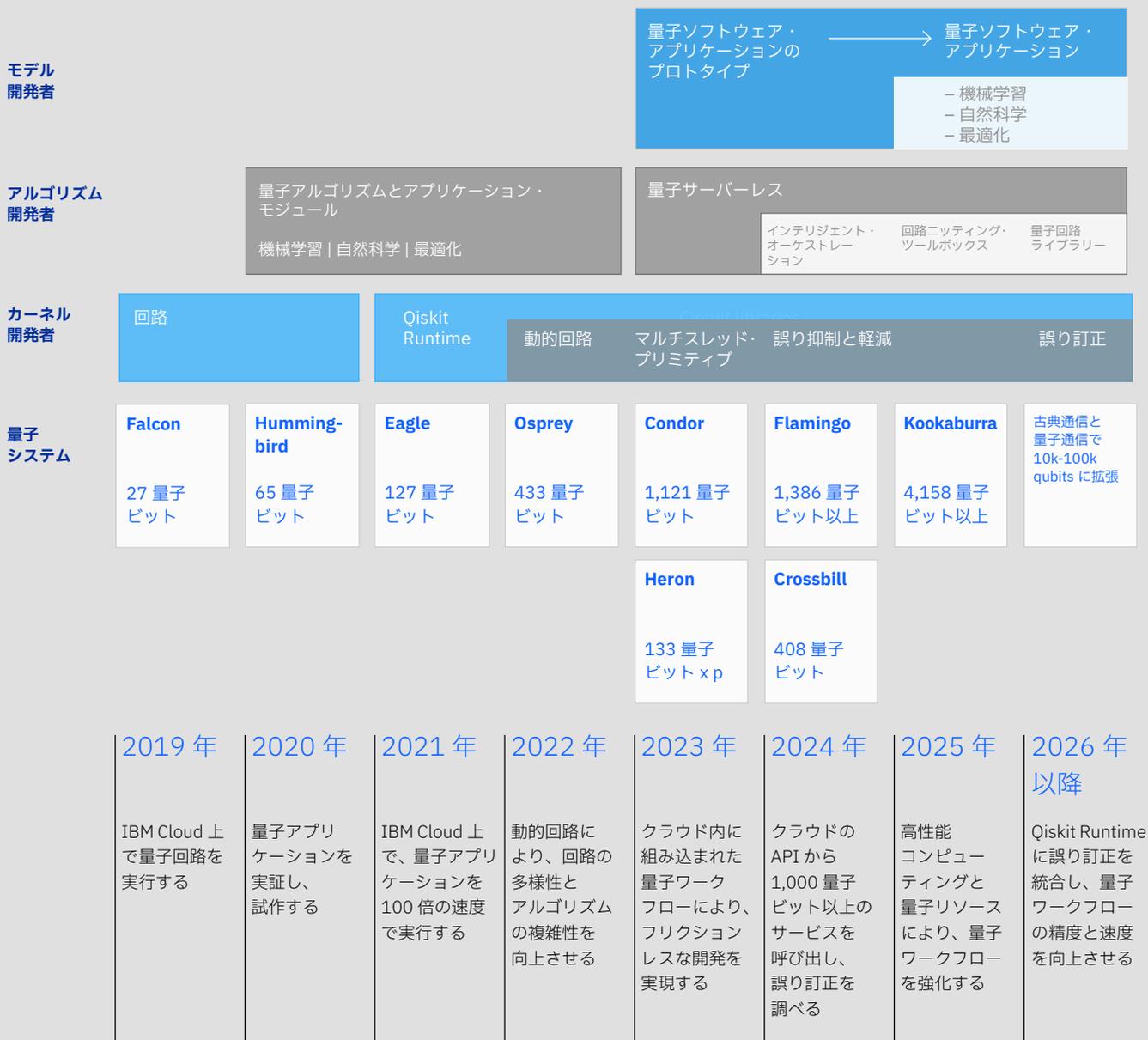
古典コンピューターのビットは、情報を0か1として扱う。ところで、科学者たちが原子よりも小さい物質を探索できるようになると、物質は非常に不思議な挙動を取ることが分かってきた。例えば、2つの場所に同時に存在する「重ね合わせ」や、どれだけ離れた場所にあっても、神秘的に結びついた動きを示す「もつれ」といった現象があることが分かってきたのだ。これらの現象を探求し、理解するために生まれたのが量子物理学である。

量子コンピューターは「重ね合わせ」の原理によって、複数の状態を同時に表現し、計算を行う。量子の「もつれ」によって、複数の量子ビット (qubits) を互いに結びつけ、個別の量子ビットよりも多くの情報を保有する。

図 1

IBM の量子コンピューティング・ロードマップ

最近の展開とこれからの見通し



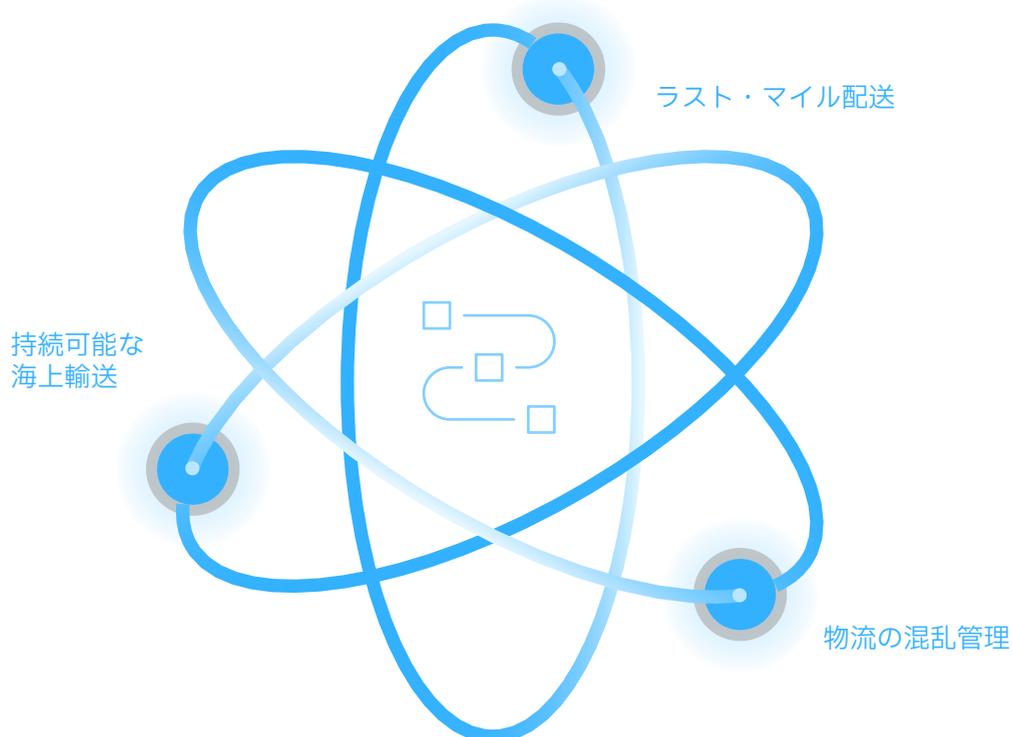
物流業界における量子コンピューティングを活用した 3つのユースケース（適用可能性）

輸送・ロジスティクス業界でも他の業界と同様に、量子コンピューティングの能力を古典コンピューターと組み合わせて活用すれば、ロジスティクスに関わる数多くの重要な課題に対処できるようになるはずだ。本レポートでは、以下の3つのユースケースを紹介する（図2参照）。

1. ラスト・マイル配送：量子コンピューターを用いて最適化モデルを設計することで、物流のラスト・マイル（最終配送拠点から配達先までの区間）のコストを改善できる可能性がある。
2. 物流の混乱管理：サプライチェーンに関わるシミュレーションの速度と精度を高めることで、意思決定の速度・精度を向上させるだけでなく、寸断時の復旧時間を短縮する可能性がある。
3. 持続可能な海上輸送：物流の90%を占める海運に対して、これまでよりも精度の高い最適化技術を活用することで、現在の海運の非効率を改善し、港湾の混雑を改善する可能性がある。

図2

物流業界における 量子コンピューティングの ユースケース



ラスト・マイル配送

オムニチャネル*の受注・配送管理（フルフィルメント）の迅速化を求める声が顧客の間で強まる中、マルチモーダル輸送（多様な輸送手段の組み合わせ）の最適化は避けて通れない。中でもラスト・マイル配送は重要だ。ラスト・マイル配送は世界の物流業界で注目点の1つであり、オンライン取引の急成長に後押しされる形で巨大なビジネス・チャンスを生み出している。2022年の市場規模は407億ドルと見積もられ、32年には862億ドル規模に成長すると予測されている。⁹

ラスト・マイル配送はもともとサプライチェーンの中でも特に高コストで難しい部分だが、現在の物流混乱の中で、さらに厄介な状況に陥っている。パンデミックによってオンライン取引の利用は一段と広がった。消費習慣は変化し、予測不可能な需要がますます増えている。消費者の声に応える配送を実現するには、機敏に対応することが極めて重要だ。しかし、現在の配送システムは断片的で対応力に乏しいままで、大規模な物流ネットワークの最適化も限定的にしかできない。

物流大手UPS社による全世界での1日の平均配達量は2021年に2,520万個だった。¹⁰ このことから、ロジスティクスの規模や複雑性は容易に理解できるだろう。この規模の最適化モデルを利用するには古典コンピューティングの限界を超える必要があり、それと同時に量子コンピューティングの適用可能性を示している。

古典コンピューターを用いたラスト・マイル配送に対するソリューションは、ヒューリスティクス（発見法）**に基づいており、入力情報が限られている。頻繁な変化や需要の転換に対応するのも難しく、時間を要する。ラスト・マイル配送の最適化問題における状態空間***は多くの場合、入力規模に合わせて指数関数的に複雑さを増していく。このため、解の最適性ギャップ（近似解と最適解の隔たり）が大きく、実行時間も長くなり、古典コンピューティングの限界を示している。

量子アルゴリズムはより大規模で複雑な物流関連の問題を解決できる可能性があるという研究結果も出ている。¹¹ こうしたアルゴリズムは解を探索する際の効率性を高め、収益性の高い配送経路の発見や、効率的な車両管理が可能になるだろう。

現在よりも大きな範囲で輸送経路を最適化したり、高頻度で最適化を繰り返したりすることで、量子コンピューターは顧客満足度を向上させるだけでなく、配送元から配送先までの全体の輸送コストを大幅に削減できる可能性がある。ラスト・マイル配送の進歩は、物流業界に大きな変革をもたらし得る。現在のパフォーマンスが1%向上しただけでも、世界全体では年4億ドルものコスト削減が見込めるからだ。¹²

* オムニチャネルは実店舗やECサイトなど、すべての販売チャネルや顧客との接点を融合し、顧客へ総合的にアプローチする方法

** ヒューリスティックとは、ある程度正解に近い解を見つけ出すための、経験や直観による発見手法のこと

*** 状態空間とは、入力と出力と状態変数を使った一階連立微分方程式で、物理的システムを表した数学モデルのこと

コストを削減しつつ、 ラスト・マイル配送を 高度化

2020年における世界の小包輸送の数は1,310億個を超えているが、¹³ 2026年には2,660億個に倍増すると予想されている。¹⁴ この膨大な輸送量が配送経路の特定に大きな問題を引き起こし、これにより古典コンピューターの精度と処理速度が問われる事態となっている。

IBMは商用車メーカー数社と協力し、古典コンピューティングに量子コンピューティングを組み合わせることで、ニューヨーク市内にある1,200カ所への配送をいかに最適化できるかを世間に示した。配達経路を最適化することで、30分以内の配達時間制限を考慮しながら、トラックの積載量を厳守し、配達にかかる総コストの削減を実現したのである。

まず古典的コンピューティングの方法を採り、機械学習と最適化手法を用いて、経路の選択肢を複数生成する。次に、量子アルゴリズムを用いて、その中から複数の最適な経路を見つけ出し、さらに細かく分析した。

この実験の結果、今後の実験に役立つ4つのキーポイントが明らかになった。

1. 量子技術を活用したユースケース・アプリケーションの適用効果を把握するためには、現実の問題に活用することが重要であること。実問題を通じた、計算モデルのカスタマイズ・構築を通じて、現在の解決策を改善できるようになる。
2. 古典コンピューティングと量子コンピューティングを、既成概念にとらわれず、使い分けることが重要であるということ。古典コンピューティングでよく使われてきたアプローチが、必ずしも適切だったとは言えないのである。
3. 古典的なスキルが、量子コンピューティングを活用する上で鍵となるということ。古典と量子の最適な統合方法を知るためには、古典コンピューティングの限界を把握する必要がある。
4. 実験の目的を慎重に見極め、期待値コントロールが重要であるということ。古典コンピューティングと量子コンピューティングをどのように組み合わせたらうまくいくのかを把握し、実験を継続的に行うための基盤を構築しなければならない。



物流の混乱管理

新型コロナウイルス感染症のパンデミックは、グローバルなサプライチェーンに甚大な衝撃を与えたが、長い歴史で見れば、幾度となく繰り返されるパンデミックの1つに過ぎず、同様の問題は間違いなく将来も起きるだろう。このため、このような混乱が起きた際に迅速かつ効率的に対応・管理する能力は、物流関連企業にとって引き続き重要となる。

物流の混乱に対する企業リーダーの対策は、自社のサプライチェーンにインテリジェンス（データによる可視化）とアジリティー（俊敏性）を組み込むことだ。その際に目指すのはパフォーマンス（性能）とレジリエンス（柔軟性）の抜本的な改善だ。データ主導のソリューションがここでは鍵を握っている。その証左に、リーダーの73%は「データの戦略的価値を認識している」とし、64%が「データを利用して新しい機会を特定している」と答えている。¹⁵

混乱がもたらす影響を正確にシミュレーションする能力も重要となる。迅速な対応と早期復旧を図るためだ。ただ、そのためには、航空機や列車、船舶、トラックの国際的な運行を管理したり、何百万もの企業や消費者にサービスを提供したりする必要があるため、シミュレーションに関わるプロセスは非常に煩雑であり、現行の混乱管理システムでは限界に近い。

古典的なシステムは主に、あらかじめ決められたルール・ベースで動き、手作業とアドホックなプロセスから構成される。サイロ型で順次処理的であるため限られたインサイト（洞察）しか得られず、復旧に必要な意思決定に活用すると不備をもたらす懸念がある。人員・設備・資材などの各種制約条件が個別に考慮された部分的な準最適なアプローチしか取られていない。システム全体の復旧には、1週間から2カ月以上かかることもある。さらに、多数の制約変数が入り組み、さまざまな依存関係が存在している複雑な環境では、混乱の見通しに関するシナリオの数が膨大となる場合がある。だが、現在の一般的なシミュレーションでは、すべての要素を考慮せずに、最も実現可能性の高いシナリオのみに限定・特定しようとする人が多い。

量子コンピューティングを活用すれば、混乱のシナリオに関するシミュレーションをより多く実施したり、物流網に与えるさまざまな影響を定量評価したりすることができ、意思決定の質を高めることが可能となる。量子コンピューターを用いてリスクや影響を分析することで、仮説を立てて検証する「What If」シミュレーションのシナリオ数を減らせる場合がある。実行可能な時間内にこれらのシナリオを最良の結果に変換できるようにする必要がある。量子コンピューター力を借りて、早期の復旧やコスト削減に取り組み、オペレーションおよび顧客サービスへ及ぶ影響を軽減できる可能性がある。さらに、量子機械学習を使って混乱事象をより正確に分類・予測することができるかもしれない。

混乱の管理システムが改善できれば、サプライチェーンの混乱によって世界的に生じた平均1億8,400万ドルもの損失を減らせるばかりか、輸送と物流に変革を起こせる可能性すら秘めている。¹⁶

量子優位性 とは

ビジネスや科学の分野で意味を持つ計算処理を、量子コンピューターを使って、現在より効率を高めたり、コストを削減したり、品質を高めたりしたときに、「量子優位性」が生じたと言う。古典システムと共に量子コンピューターを活用することで、古典システムを単独で使用したときよりも著しくパフォーマンスが高まったときに、量子優位性が生まれる。量子コンピューティングのハードウェア、ソフトウェア、さらにはアルゴリズムが融合的に進化してこそ、古典コンピューティングを大幅に上回るパフォーマンスが実現でき、業界横断的な優位性が確保されるのだ。しかし量子コンピューティングからビジネス価値を引き出すためには、組織や業界を真に変革することができるような適切なユースケースが重要になってくる。

企業が量子優位性を獲得するには、量子技術の可能性を探るための調査や投資を行うことで古典コンピューティングの能力を高め、業界変革の可能性を積極的に探究しなければならない。そうした組織が、優位な位置に立っている。¹⁷



持続可能な 海上輸送

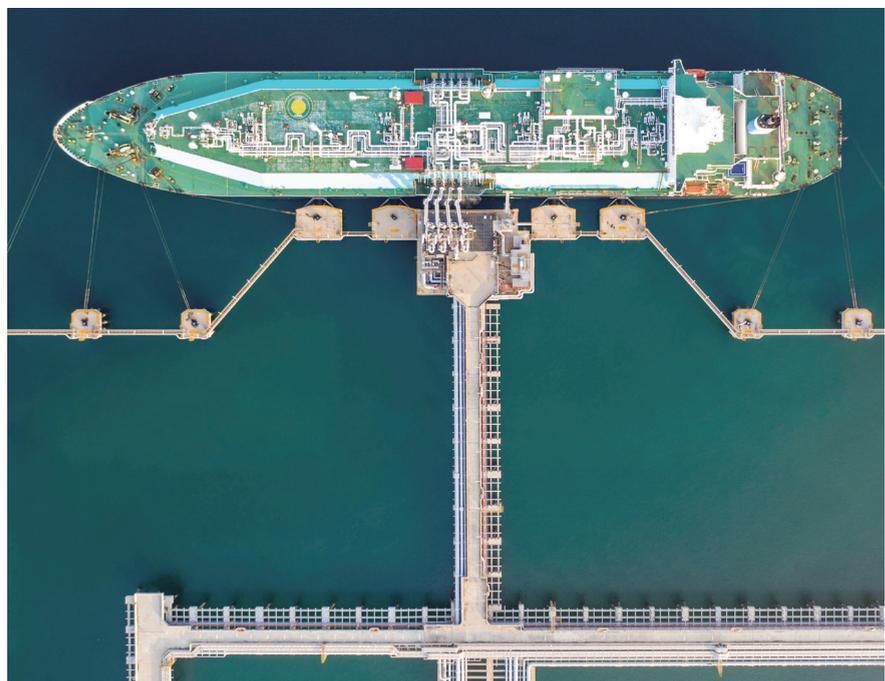
世界の貿易の 90% は海運に頼っていることから、¹⁸ 海上物流ではコンテナ輸送の最適化が最優先課題となる。輸送費が過去 2 年間に上昇した結果、世界のコンテナ輸送市場は 1,500 億ドル規模に達した。¹⁹ 世界貿易の不均衡のため、コンテナが空の状態で輸送されることも多いが、このコストはますます膨らんでいる。例えば、40 フィート・コンテナをアジアから欧州へ輸送する費用は、2019 年には 2,000 ドルだったが、現在は 15,000 ドル～ 20,000 ドルになっている。²⁰

コンテナ輸送業務への古典的なアプローチは、人間の直感と場当たりの最適化ソリューションを組み合わせたものだ。シミュレーション・モデリングが採用されている港湾やターミナルもあるものの、その解は局所的である場合が多く、入力データも限られている。データに基づくインサイトが不足しているため、コンテナ輸送に関する意思決定は多くの場合、「直感」に基づいて行われる。

海運業務に関連する最適化問題は、現在の古典コンピューターでは正確な解を得られないことが多い。船団が大規模であったり、天候不順や需要変動など不測の事態が絡んだりするためだ。小規模な問題であっても、有効な解を得るまでに何時間もかかっている現状がある。²¹

しかし、量子アルゴリズムを活用すれば、より正確な海運の最適化計算モデルの構築が可能になるかもしれない。需要予測の精度を高め、世界規模でインベントリー・ルーティング (inventory routing)* が改善できれば、海上輸送はこれまで以上に効率性や持続可能性が高まる。²² コンテナ輸送の在り方を見直すことで、大気保全や二酸化炭素の排出削減といった社会的なニーズに応えられるだけでなく、年間数百万ドルものコスト削減につながる可能性も秘めている。²³

* インベントリー・ルーティングとは、各港湾の在庫を適正に保つように船舶輸送を計画すること



ExxonMobil 社は、 海上の在庫管理の 計算モデル化を現在の 量子コンピューターで実現²⁴

2 の 1,000,000 乗

グローバル規模で、
LNG 船の輸送ネットワーク
をシミュレーションした
場合の組み合わせ数

ExxonMobil (エクソンモービル) 社は 2000 年以來、低排出エネルギー・ソリューションの開発に 100 億ドルを投資してきた。²⁵ 環境負荷を低減する取り組みを続ける中、同社の天然ガスにかかる期待はますます大きくなっている。

液化天然ガス (LNG) の輸送は、他の多くの輸送とは異なる。LNG は保存期間が限られているため、「ジャスト・イン・タイム」が求められ、効率的に輸送しなくてはならない。

2 の 270 乗

宇宙に存在する原子の数

2021 年に、この重要な燃料を輸送するために就航した LNG 船の数は 500 隻以上になる。これらの船は、基幹インフラに電力を供給するために LNG を港まで運んでいる。同じ年、LNG 船が航海した回数は数千回に上った。

これらの各船舶に、最適航路を見つけることは、想像を絶するほど複雑な計算が伴う。LNG を効率的に輸送するためには、各船舶の位置を 1 年 365 日、毎日計算し、しかもそれぞれの配送先が求める要件にも合わせなくてはならない。LNG 輸送のグローバルの物流網での組み合わせの数は宇宙に存在する原子の数をはるかに超えるほど膨大であり、古典コンピューティングでは有意な最適化計算を行うことは極めて困難である。

さらに、船団の船数を増やしたり、天候などの不確定要素を加えたりして問題を拡大すると、さらに手に負えない事態に陥り、最先端の古典コンピューティング・システムであったとしても、すぐに計算の限界を迎えてしまう。

量子コンピューターは、こうした複雑極まりない問題に対処できる新たなアプローチをとり、古典的なスーパーコンピューターだけでは導くことができない解を見つけ出す可能性を秘めている。ExxonMobil 社のような業界のリーダー企業は、古典コンピューティングと量子コンピューティングの技術を融合させて、巨大で複雑な、喫緊のグローバル課題をいかに解決するかを模索している。

IBM Research と ExxonMobil Corporate Strategy Research は協力し合いながら、量子デバイスを用いて海上の在庫配送経路をモデル化し、輸送手段と在庫配送経路に関する各種戦略の優位性とトレードオフを分析し、輸送オペレーションに実用的ソリューションを組み込むための基盤を構築した。

IBM は、小さなプロトタイプ・システムから有望な大型デバイスに至るまで、量子コンピューティングに関わるハードウェアを急速にスケールアップさせている。研究者たちは、以前は解決できなかった輸送経路や配船の問題を、いつか解決のめどを付けることができるのではないかと期待を寄せている。

ExxonMobil 社の研究開発担当副社長である Vijay Swarup 博士は、次のように語る。「IBM Quantum との提携は、複雑な最適化に取り組む当社の能力を向上させるためだ。より大きな問題を解決し、他社とさらなる差別化を図りたいと考えている」

アクション・ガイド

物流業界における量子コンピューティングの可能性

量子コンピューティングは、グローバルな輸送や物流に大きなインパクトを与える可能性を秘めている。実際、量子コンピューティングの革新的機能の恩恵を最大限に活用できる分野の1つが輸送と物流であることは、調査からも明らかである。²⁶

情報に基づいた意思決定を行えるよう、組織内で専門家を育成する

量子コンピューティングの学習は難しく、習得するには何年も要するのが普通だ。量子コンピューティングを扱える人材は希少であるため、多くの場合、組織内で専門家を育成する必要がある。技術職と営業職の両方から人材をえりすぐり、スキルアップを図るべきだ。こうして、組織の目的や制約条件に合わせながら、量子コンピューティング技術を活用する能力を育成するのである。

最も重要で説得力のあるユースケースを特定する

自分の組織が量子コンピューティングを導入した場合、メリットだけでなく、起こり得る脅威についても明確にする。ユースケースを特定すれば、実際に行動した場合の時間的な制約を見積もることができる。

企業や組織が量子コンピューティングを検討し始めてから、実際に導入準備できるまでには、2、3年またはそれ以上かかることがある。ビジネスの世界では、これは企業の命運を握る長い時間だ。

周囲の取り組みの様子を見ている間に、混乱により淘汰（とうた）されるか、創造的破壊者となって君臨するかの分水嶺（れい）を通り過ぎてしまうだろう。だからこそ、できるだけ早く量子コンピューティングへの準備に取り掛からなくてはならないのだ。以下は、今からでもできる、量子化へのステップである。

ユースケースを、量子コンピューティングを探求するための概念実証（PoC）に落とし込み、それを自社の戦略にどう組み込むかを検討する

量子コンピューティングの専門家と提携して、プロトタイプを開発する。必要となるハードウェアとソフトウェアのプラットフォームを確保する。量子コンピューターへの準備が整った時点で、自社のコードも利用できるように、拡張性を考慮した量子コンピューティング・コードを検証する。

中核となるワークフローを見直す

ワークフローの中で、量子優位性のメリットを得られる可能性のあるステップを特定する。量子コンピューティングと古典コンピューティングのワークフローとデータフローがどのように交錯するのかを理解する。量子と古典のコンピューティングをどのように組み合わせれば、互いに活用できるかを学ぶ。量子コンピューティングの可能性を最大限に活かすには、デザイン思考を採用して、自社のプロセスを端から端まで徹底的に検討することが鍵となる。

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、ソート・リーダーの見解を伝えるレポートです。世界中の該当分野の専門家との対話に基づいて作成しています。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。

変化する世界に対応するための パートナー

IBM はお客様と協力して、業界知識と洞察力、高度な研究成果とテクノロジーの専門知識を組み合わせることにより、急速に変化し続ける今日の環境における卓越した優位性の確立を可能にします。

IBM Institute for Business Value

IBM Institute for Business Value (IBV) は、20 年以上にわたって IBM のソート・リーダーシップ・シンクタンクとしての役割を担い、ビジネス・リーダーの意思決定を支援するため、研究と技術に裏付けられた戦略的洞察を提供しています。

IBV は、ビジネスやテクノロジー、社会が交差する特異な立ち位置にあり、毎年、何千もの経営層、消費者、専門家を対象に調査、インタビューおよび意見交換を行い、そこから信頼性の高い、刺激的で実行可能な知見をまとめています。

IBV が発行するニュースレターは、ibm.com/ibv よりお申し込みいただけます。また、Twitter (@IBMIBV) や、LinkedIn (linkedin.com/showcase/ibm-institute-for-business-value) をフォローいただくと、定期的に情報を入手することができます。

関連レポート

The Quantum Decade: A playbook for achieving awareness, readiness, and advantage 邦訳「The Quantum Decade - 来るべき量子コンピューティングの時代に向けて -」 <https://www.ibm.com/downloads/cas/KRWEW08D>

Prioritizing quantum computing applications for business advantage 邦訳「競争優位性獲得につながる量子コンピューティング・アプリケーションの峻別・優先順位づけの施策とは - Quantum Ready に向けたフレームワークとロードマップの施策 -」 <https://www.ibm.com/downloads/cas/MWN90VKV>

Data sharing across transport ecosystems <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/en-us/report/data-sharing-transport>

注釈および出典

1. “Last Mile Delivery Market Size is Projected to Reach USD 66,000 Million by 2026 at CAGR 8.9%.” PR Newswire, Valuates Reports press release. December 15, 2020. <https://www.prnewswire.com/news-releases/last-mile-delivery-market-size-is-projected-to-reach-usd-66-000-million-by-2026-at-cagr-8-9--valuates-reports-301193012.html>
2. Placek, Martin. “Cost of supply chain disruptions in selected countries 2021.” Statista. April 12, 2022. <https://www.statista.com/statistics/1259125/cost-supply-chain-disruption-country/#:~:text=Cost%20of%20supply%20chain%20disruptions%20in%20selected%20countries%202021&text=Supply%20chain%20disruptions%20are%20an,according%20to%20a%202021%20survey>
3. “Ocean Shipping and Shipbuilding.” Organisation for Economic Co-operation and Development. Accessed July 26, 2022. <https://www.oecd.org/ocean/topics/ocean-shipping/#:~:text=The%20main%20transport%20mode%20for,comes%20with%20opportunities%20and%20challenges>
4. Markoff, John. “IBM’s Robert H. Dennard and the chip that changed the world.” IBM THINK Blog. November 7, 2019. <https://www.ibm.com/blogs/think/2019/11/ibms-robert-h-dennard-and-the-chip-that-changed-the-world/>
5. Bennett, Charles and Olivia Lanes. “Celebrating the 40-year anniversary of the Physics of Computation Conference.” IBM Research. March 15, 2021. <https://research.ibm.com/blog/qc40-physics-computation>
6. Mandelbaum, Ryan. “Five years ago today, we put the first quantum computer on the cloud. Here’s how we did it.” IBM Research blog post. May 4, 2021. <https://research.ibm.com/blog/quantum-five-years>
7. “The Quantum Decade: A playbook for achieving awareness, readiness, and advantage.” IBM Institute for Business Value. 2021. 邦訳「The Quantum Decade - 来るべき量子コンピューティングの時代に向けて -」 <https://www.ibm.com/downloads/cas/KRWEW08D>
8. <https://research.ibm.com/blog/ibm-quantum-roadmap-2025>
9. “Global Last Mile Delivery Market Report.” Apollo Reports. 2021. https://ibm.northernlight.com/document.php?docid=IK2022042498000030&datasource=INV&context=copy_url
10. “UPS Fact Sheet.” UPS. Accessed July 26, 2022. <https://about.ups.com/content/dam/upsstories/assets/fact-sheets/ups-global/UPS%20Fact%20Sheet.pdf>
11. “Multimodal Container Planning: a QUBO Formulation and Implementation on a Quantum Annealer.” July 3, 2020. <https://arxiv.org/pdf/2007.01730.pdf>;
12. “Last Mile Delivery Market Size is Projected to Reach USD 66,000 Million by 2026 at CAGR 8.9%.” PR Newswire, Valuates Reports press release. December 15, 2020. <https://www.prnewswire.com/news-releases/last-mile-delivery-market-size-is-projected-to-reach-usd-66-000-million-by-2026-at-cagr-8-9--valuates-reports-301193012.html>
13. Placek, Martin. “Parcel shipping volume worldwide 2013-2026.” Statista. April 12, 2022. <https://www.statista.com/statistics/1139910/parcel-shipping-volume-worldwide/>
14. 同上
15. IBM Institute for Business Value. Chief Supply Chain Officer Pulse Survey. April 2022.
16. Placek, Martin. “Cost of supply chain disruptions in selected countries 2021.” Statista. April 12, 2022. <https://www.statista.com/statistics/1259125/cost-supply-chain-disruption-country/#:~:text=Cost%20of%20supply%20chain%20disruptions%20in%20selected%20countries%202021&text=Supply%20chain%20disruptions%20are%20an,according%20to%20a%202021%20survey>
17. “The Quantum Decade: A playbook for achieving awareness, readiness, and advantage.” IBM Institute for Business Value. 2021. 邦訳「The Quantum Decade - 来るべき量子コンピューティングの時代に向けて -」 <https://www.ibm.com/downloads/cas/KRWEW08D>

18. "Ocean Shipping and Shipbuilding." Organisation for Economic Co-operation and Development. Accessed July 26, 2022. <https://www.oecd.org/ocean/topics/ocean-shipping/#:~:text=The%20main%20transport%20mode%20for,comes%20with%20opportunities%20and%20challenges.>
19. Etter, Lauren; Brendan Murray. "Shipping Companies Had a \$150 Billion Year. Economists Warn They're Also Stoking Inflation." Bloomberg. January 17, 2022. <https://www.bloomberg.com/news/features/2022-01-18/supply-chain-crisis-helped-shipping-companies-reap-150-billion-in-2021>
20. Douglas, Jason; Anniek Bao. "Expensive Shipping Containers Mean Rough Sailing for Global Trade." The Wall Street Journal. February 17, 2022. <https://www.wsj.com/articles/expensive-shipping-containers-mean-rough-sailing-for-global-trade-11645104909>
21. "ExxonMobil strives to solve complex energy challenges." IBM case study. IBM website, accessed June 2022. <https://www.ibm.com/case-studies/exxonmobil/>
22. S. Harwood, C. Gambella, D. Trenev, A. Simonetto, D. E. Bernal Neira, and D. Greenberg, "Formulating and Solving Routing Problems on Quantum Computers," in IEEE Transactions on Quantum Engineering, doi: 10.1109/TQE.2021.3049230.
23. Fath, Jon. "The digital approach to smart container shipping." Supply Chain Brain. September 11, 2020. <https://www.supplychainbrain.com/blogs/1-think-tank/post/31850-the-digital-approach-to-smart-container-shipping>
24. "ExxonMobil strives to solve complex energy challenges." IBM. Accessed July 26, 2022. <https://www.ibm.com/case-studies/exxonmobil/>
25. "Environmental Protection: Climate change." ExxonMobil. Accessed July 26, 2022. <https://corporate.exxonmobil.com/Sustainability/Environmental-protection/Climate-change>
26. Hemsoth, Nicole. "Transportation, logistics in the quantum crosshairs." The Next Platform. January 6, 2022. <https://www.nextplatform.com/2022/01/06/transportation-logistics-in-the-quantum-crosshairs/>; "How quantum computing will transform these 9 industries." Research Briefs. CB Insights. February 23, 2021. <https://www.cbinsights.com/research/quantum-computing-industries-disrupted/>

© Copyright IBM Corporation 2022

IBM Corporation
New Orchard Road
Armonk, NY 10504

Produced in the United States of America | August 2022

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 (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「Exploring quantum computing use cases for logistics - Navigate last mile delivery, disruption, and maritime routing」の日本語訳として提供されるものです。

