

Expert Insights

# ヘルスケア分野での量子コンピューティングのユースケースの探究

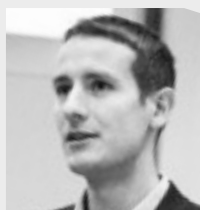
診断の迅速化、  
医療の個別化、  
費用の最適化



IBM Institute for  
Business Value



## 専門家



### Frederik Flöther博士

ライフサイエンスおよびヘルスケア、  
リーダー  
IBM Quantum Industry Consulting  
IBM Services  
[linkedin.com/in/frederikfloether/](https://www.linkedin.com/in/frederikfloether/)  
[frederik.floether@ch.ibm.com](mailto:frederik.floether@ch.ibm.com)

Frederik Flöther博士は、IBM Quantum Industryのコンサルタントであり、ライフサイエンスおよびヘルスケア分野の取り組みをグローバルに牽引している。また、IBM Academy of Technologyのメンバーであり、シニア・インベンターも務めている。量子コンピューティングとAIに関して深い専門性があり、これら次世代テクノロジーによる価値の創造にお客様とともに取り組んでいる。これまでに20件以上の特許案、審査済み文献、ホワイト・ペーパーを執筆している。



### Judy Murphy, RN, FACMI, FAAN

看護分野最高責任者  
IBMグローバル・ヘルスケア  
[linkedin.com/in/judy-murphy-rn-facmi-fhimss-faan-4066442/](https://www.linkedin.com/in/judy-murphy-rn-facmi-fhimss-faan-4066442/)  
[murphyja@us.ibm.com](mailto:murphyja@us.ibm.com)

Judy Murphyは、IBMグローバル・ヘルスケアの看護分野最高責任者である。以前は、ワシントンDCのONC(国家医療IT調整官室)で国家副調整官を務め、ウィスコンシン州のAurora Health Careではアプリケーション担当副社長を務めた。30年以上の健康情報学の経験を持ち、American College of Medical Informaticsの特別研究員およびAmerican Academy of Nursingの会員である。世界各国で出版と講演を行っており、医療IT分野の賞を多数受賞している。



### John Murtha

医療保険業界セグメント・リーダー  
IBM Industry Platforms  
[linkedin.com/in/john-g-murtha/](https://www.linkedin.com/in/john-g-murtha/)  
[john.murtha@ibm.com](mailto:john.murtha@ibm.com)

John Murthaは、IBMのグローバル医療保険セグメントの戦略的な方向性を定め、次世代の医療保険を構想する重要顧客とともに取り組んでいる。20年におよぶ医療保険業界の豊富な経験を持ち、テクノロジーを多用した大規模な変革イニシアチブを複数率いて、プロセスの変革を行っている。IBM入社前は、VNS CHOICE Health Plansで最高執行責任者を務め、就任中に同組織で扱ったHIV特別支援プランは米国内で最高のHIV抑制率を達成している。



### Daby Sow博士

主任研究スタッフ・メンバー  
Center for Computational Health  
IBM Research  
[linkedin.com/in/daby-sow-2a53b31](https://www.linkedin.com/in/daby-sow-2a53b31)  
[sowdaby@us.ibm.com](mailto:sowdaby@us.ibm.com)

Daby Sow博士は、Center for Computational Healthの生物医学アナリティクスおよびモデリング・グループのマネージャーであり、新しいAI技術の開発と、疾患の進行および治療介入のモデリングへの応用に関する様々な取り組みを牽引している。コンピューティングによる医療、情報理論、知識発見とデータ・マイニング、ミドルウェア、パーベイシブ・コンピューティングなどの分野で、十数件の特許を持ち、50以上の科学論文と書籍を執筆している。

量子コンピューティングは、古典的なアプローチに対して優位性を持つことが実証された。

## 要点

### ヘルスケアにおける革新的なユースケース

ヘルスケア業界における量子コンピューティングは、診断の迅速化、医療の個別化、費用の最適化により、医療提供者と医療保険業者にとって幅広く革新的なユースケースを実現できる可能性を持つ。量子コンピューティングを活用した機械学習アルゴリズムは、特にこの業界にとって有用である。

### 複数のデータ・ソースの活用

利用可能な医療関連データ・ソースは増え続けており、量子コンピューティングと古典的モデリングを組み合わせることで、命を守り、コスト増を削減できる可能性が高まる。

### 今こそ行動のとき

量子コンピューティングはヘルスケアに大きく貢献する可能性がある。しかし、量子コンピューティングの初期の知的財産の多くが独占される可能性を見据えて、早急にパートナーやエコシステムとの協力を進めることが重要となっている。

—

## ヘルスケア・エクスペリエンスの向上と結果向上のためのデータ

ヘルスケア・データ(臨床試験、疾病登録、電子カルテ(EHR)、医療機器などからの情報)は、年平均成長率(CAGR)36%で増大している。<sup>1</sup>このデータを利用して、健康の向上、医療費の削減、患者体験の向上、医療従事者の就労環境の改善という、ヘルスケアの「4つの目的」に関する課題の解決が進んでいる。<sup>2</sup>その一方で、医療消費者(患者やその家族)はより多くの判断をしており、ますます複雑になるシステムを利用しなければならない。

医療の現場では適切なデータと強力な洞察を提供するために、多大な投資が行われている。業界の既存企業と新規参入企業のいずれも、健康的で予防的な行動を促進するデジタル体験を作り出そうとしている。それにもかかわらず、この新しいデータの多様性によって、可能性が指数関数的に増大しており、古典的なコンピューティング・システムの機能限界に達している。

ここで量子コンピューティングが登場する。

量子力学の誕生から1世紀を経て、量子コンピューティングは古典的なアプローチに対して優位性を持つ可能性があることが実証された。<sup>3</sup>量子コンピューティングは処理速度を漸増させるだけではない。古典コンピューターと比較して、ある種のタスクの処理速度を指数関数的に向上できる可能性が把握されている唯一のテクノロジーであり、計算時間を年単位から分単位にまで短縮できる可能性を持つ。<sup>4</sup>

量子コンピューティングにおいては、これまでと異なる考え方、新たに需要の高まるスキル・セット、他と全く異なるITアーキテクチャ、新たな企業戦略が求められる。また、このテクノロジーはセキュリティにも差し迫った影響を与えうる。<sup>5</sup>ヘルスケア業界では、そのデータ・プライバシーに関する責任と課題の大きさから、セキュリティが特に重要である。

## 洞察: ビットと量子ビット

量子コンピューターは、従来のコンピューターとは根本的に異なる方法で情報を処理する。集積回路などのこれまでのコンピューター・テクノロジーの進歩はより高速な計算を可能にしたが、それらはいずれも古典的な情報処理に基づいていた。量子コンピューターは量子ビットを操作する。

0または1として情報を格納する古典ビットとは違い、量子ビットはもつれなどの独自の量子特性を利用できる。その結果として、量子的現象を利用することができない古典的アルゴリズムと比較して優位性を持つ量子アルゴリズムの作成が可能となる。

量子コンピューターは、以下に関する問題に取り組むうえで特に有用となりうる。

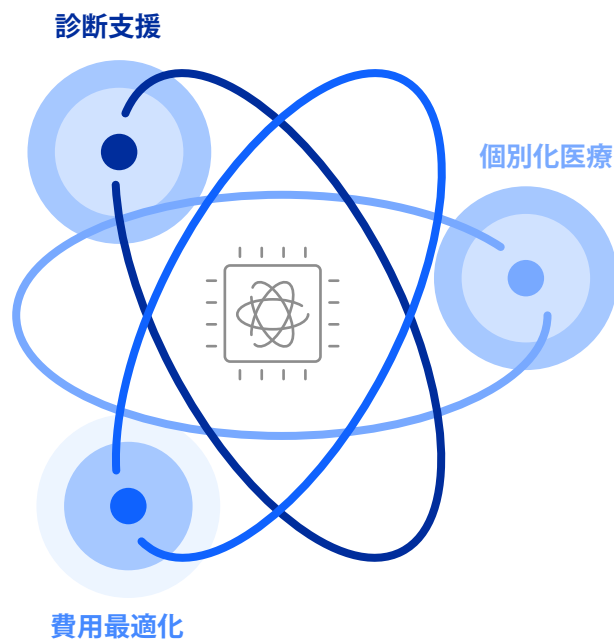
- 化学、機械学習/人工知能(AI)、最適化、シミュレーションなどのタスク。実際に、機械学習は量子コンピューティングによって強化される可能性を示している。また相互的に、量子コンピューティングの進歩が促進される。<sup>6</sup>
- 内部で多くの電子の相互作用が起きている分子構造体のような、強固につながった多数の要素間の複雑な関連性と相互依存性に関するタスク
- 関連する古典的アルゴリズムに内在する量的な限界。例えば、古典的アルゴリズムのリソース必要量は、問題の規模に応じて指数関数的に増加する可能性がある。量子系の時間発展をシミュレーションする場合がその例である。<sup>7</sup>

他の業界と同様に、ヘルスケア業界でも、量子コンピューターを古典コンピューターと組み合わせて使用することで、古典的コンピューティングのみでは実現できなかった多大なメリットを享受できる可能性が高い。その結果、現在、量子の応用分野で競争が起きている。ヘルスケア業界で現在行われている変革の中心となっている3つの主要な量子ユースケースは以下のとおりである(図1を参照)。

1. 診断支援: 患者の診断を早期に、正確かつ効率的に行う
2. 個別化医療: 個別化された介入と治療によって、人々の健康を維持する
3. 費用最適化: 保険料と診療費を最適化する。

図1

量子コンピューターには、好循環において相互を強化する、3つの重要なヘルスケア分野でのユースケースを実現する可能性がある。たとえば、正確な診断により正確な治療が可能になり、費用決定モデルには患者のリスクがより適切に反映されるようになる。



# 量子コンピューティングにより、エッジ検出や画像マッチングといった処理手順を始めとする、医療画像分析が向上する可能性がある。

これらのユースケースの相互作用によって、ヘルスケアの4つの目的達成が大きく進展する。診断支援による健康、コスト、体験、作業内容の改善、個別化診療による患者のアウトカムと体験の向上、費用最適化による医療費の削減が期待できる。

## ユースケース1: 診断支援

早期に正確な診断を効率的に下すことができれば、通常はアウトカム(治療結果)が向上し、治療費が下がる。たとえば、早期に結腸がんと診断された場合、生存率は9倍に上昇し、治療費は4分の1に下がる。<sup>8</sup>ただし、様々な症状を対象とした現在の診断は複雑で、コストがかかる。<sup>9</sup>また、一度診断が確定しても、そのうち5-20パーセントは誤診であると推定されている。<sup>10</sup>

この1世紀で、CT、MRI、X線スキャンなどの医療画像解析技術は医師にとって不可欠な診断ツールとなった。コンピューターによる医療画像の検出および診断手法は急速に発展している。しかしながら、このような画像の多くは、ノイズ、低解像度、低再現性の影響を受ける。

このような課題が生じてしまうのは、一つには厳密な安全プロトコルを順守する必要があるためである。量子コンピューティングにより、エッジ検出や画像マッチングといった処理手順を始めとする、医療画像分析が向上する可能性がある。分析の向上によって、画像を使った診断の大幅な進歩が見込まれる。

さらに、最新の診断手法では、シングルセル解析が取り入れられることがある。<sup>11</sup>特に、フロー・サイトメトリーとシングルセル・シーケンス・データを利用し、さまざまな技法によって取得されたデータセットを統合する場合には、高度な分析手法が必要となる。<sup>12</sup>

課題の1つは、多数の物理的特性と生化学的特性に基づく細胞の分類である。これらの特性によって、特徴空間(予測因子が存在する抽象空間)が大きくなる(高次元になる)。このような分類は、たとえば、がん細胞を通常の細胞と区別する際に重要である。量子サポート・ベクター・マシンなどの、量子コンピューティングを利用した機械学習アプローチにより、分類精度が向上し、シングルセル解析診断手法が大幅に発展することが期待できる。

さらに、バイオマーカーの検出と同定では、ゲノミクス、トランスクリプトミクス、プロテオミクス、メタボロミクスといった、複雑な「-ミクス」からのデータセットの解析が必要となる。<sup>13</sup>このようなデータセットは大きな特徴空間を伴うだけでなく、多数の特徴量の相互作用によって、古典コンピューティング手法では検出が困難な相互依存性、相関、パターンが生まれる。<sup>14</sup>バイオマーカーによる知見を個人のレベルにまで落とし込むには、さらに高度なモデリングが必要となる。このような特徴は、量子コンピューティングがバイオマーカーの検出に役立ち、おそらくは個人レベルでの検出にまで発展する可能性があることを示唆している。

量子コンピューティングにより、医療提供者による診断が向上するだけでなく、侵襲的診断検査を繰り返し行う必要もなくなるだろう。また、個人の健康状態を継続的に観察し、分析することもできるようになる。これは患者の助けとなるのみならず、医療保険業者や医療提供者は早期診断による治療費の低減というメリットを享受することが可能となる。また、どの検査をいつ行う必要があるかを判断するために、より詳細な診断手順に対するメタ分析を実行することも可能になるだろう。これによりさらに医療費が削減されるほか、医療保険業者と政府は、医療提供者と患者に対してデータ主導の意思決定を行うことができるようになる。

量子コンピューティングを利用した機械学習技術によって、より早期に、より正確かつ詳細なリスク予測が可能になる。

## ユースケース2: 個別化医療

個別化医療の目的は、個人に合わせて予防と治療のアプローチを調整することである。<sup>15</sup>人間の生物学は複雑であるため、個別化医療では標準的な医学的ケアを越えた要因を考慮しなければならない。実際、医学的ケアによるアウトカムへの相対貢献度は10から20パーセントしかない。残りの80から90パーセントは、健康に関する行動、社会経済的要因、環境要因によるものである。<sup>16</sup>計算上は、このような様々な寄与因子間の相互依存性と相関関係によって、治療の効果を最適化することが極めて困難になっている。

その結果、既存の治療の多くが、個人差が原因で意図した結果を達成できていない。たとえば、薬剤によるがん治療は、3分の1の患者にしか効果がみられない。薬剤治療によって悲惨な結果がもたらされることもある。ヨーロッパだけで、毎年200,000人もの人々が薬剤の副作用によって死亡している。<sup>17</sup>

医療アプローチを調整するうえで重要なのは、先を見越して予防的に対応することである。先に述べたとおり、早期治療と予防的介入によって、アウトカムが劇的に改善し、コストが最適化される傾向にある。従来の機械学習によって、様々な患者グループの将来の疾病リスクを、EHRに基づいて予測できる可能性があることが既に示唆されている。<sup>18</sup>それでもなお、ノイズ、関連する特徴空間の大きさ、特徴量間の相互作用の複雑さといった、EHRやその他の医療関連データの特性に起因する課題は残る。これは、量子コンピューティングを利用した教師ありおよび教師なしの機械学習技術によって、より早期に、リスクをより

正確かつ詳細に予測できる可能性があることを示唆している。<sup>19</sup>将来的には、個人からのデータ・ストリームに基づく継続的な仮想診断により、特定の病状に関する個人のリスクが時間の経過に伴いどう変化するかを医療提供者が理解するためのツールも実現されるであろう。

しかし、個人の疾病リスクを把握するだけではまだ十分ではない。対象の個人に対して、効果的な医療介入を行う方法を知ることにもまた重要である。そのための方法の1つが、細胞レベルでの薬剤感受性の研究である。たとえば、がん細胞のゲノム特徴と薬剤の化学的特性を考慮して、がん治療薬の効果を詳細レベルで予測できるモデルは既に研究されている。<sup>20</sup>量子コンピューティングを利用した機械学習によって、この領域がさらに飛躍的に進歩し、最終的には薬剤の因果推論モデルを構築できるようになる可能性がある。

個別化医療の目標は高い。個人レベルで次善の医療処置を行うために、介入や治療と、アウトカムとの関係を特定して説明することがその目標である。これまで、患者の疾病の診断は、主に患者の訴える症状を基に行われてきた。これは時間がかかり、包括診断や、治療はしばしば失敗に終わっていた。現在は、追加として医療関連データからの知見を利用して、連続した正確な健康状態を効率的に特定し、個別化して介入できるような方法へと移行しつつある(図2を参照)。実現に向けては長い道のりが存在するが、量子コンピューティングを利用することで、ユースケース1および2で説明したような課題を解決して、この新しい枠組みに向けた進歩を加速できる可能性がある。

図2

量子コンピューティングには、包括的な診断および治療から、正確な健康状態の把握と介入への移行を加速する可能性がある。

### 包括的アプローチ



### 正確性ベースのアプローチ



この枠組みが実現すれば、ヘルスケア関連機関は治療を継続的に行うことで、サービスを最適化し、個別化できるようになるだろう。さらに、特定の個人に対する次善の医療行為に関する決定を行う際には、規制遵守と患者とのエンゲージメントも主

要な要因として考慮する必要がある。高度なコンピューティング・モデルによって、この領域にも対応できるようになる可能性がある。<sup>21</sup>最終的には、個人レベルでの健康管理が可能になるだろう。<sup>22</sup>

## 費用を最適化するうえで量子コンピューティングが役立つ主要な分野の1つが、リスク分析である。

### ユースケース3: 費用

医療保険の保険料の決定は複雑なプロセスである。医療保険の一般的な費用決定戦略の開発プロセスにおいては、多数の要因を考慮する必要がある(ただし、米国などの一部の国では、規制によって保険料の計算に使用される要因の数が制限されることがある)。<sup>23</sup>これには、集団の健康レベルと疾病リスク、治療の適合性と費用、企業戦略と規制に基づいて、医療保険で許容できるリスクへの曝露といった、複雑な相互依存性が含まれる。医療保険では古典データ・サイエンス手法を応用し、既にこの分野で大きな進歩を成し遂げているが、不確実性の低い、より詳細なモデルの構築は依然として困難である。

費用を最適化するうえで量子コンピューティングが役立つ主要な分野の1つが、リスク分析である。ユースケース2では、量子コンピューティングによって、特定の病状を示す特定の患者のリスクを、より正確に評価できるようになることを説明した。集団レベルでの疾病リスクに関するこれらの知見を活用し、経済的リスクをより効率的に計算できる量子リスク・モデルと組み合わせることで、より優れた医療保険のリスク・モデルと費用モデルを実現できるだろう。<sup>24</sup>

量子コンピューティングによって費用決定を改善できる、もう一つの重要な手段が、高度な不正検出である。現在、医療詐欺コストは米国だけでも数千億ドルに上る。<sup>25</sup>古典データ・マイニング手法も医療詐欺の検出と削減に既に役立っているが、さらに計算効率の高い手法が必要とされている。<sup>26</sup>量子アルゴリズムによって、優れた分類とパターン検出が可能になるため、異常な行動を検出して、医療費の不正請求を排除できる可能性がある。<sup>27</sup>このように、医療保険の費用決定戦略をさらに最適化し、不正請求による損失と防止体制に伴うコストの低減によって、保険料を減額できることが期待されている。

量子コンピューティングの新しいアルゴリズムは、費用計算を大幅に向上できる可能性がある。その結果、平均保険料が低下し、より個人に合った保険料オプションを提供できるようになる。ヘルスケアの複雑性は、より明快な費用決定戦略の策定に伴う課題に現れている。透明性と平均医療費の低減を要求する新しい規制によって、費用決定モデル向上の重要性が一層高まっている。<sup>28</sup>

### 展望

患者を取り巻く多種多様なモダリティー(医療機器の種類やタイプ)と場所から収集されるヘルスケア・データは、現在十分に活用されていない。臨床要因では、医療関連データのごく一部しか説明できない。そのため、ゲノミクス、行動、社会と環境の影響といった、他の領域からの実用的な知見を取得することが不可欠である。

ヘルスケア分野に関連する量子アルゴリズムには様々な種類があるが、中でも量子コンピューティングを利用した機械学習アルゴリズムはその応用範囲の広さが特出している。これは、異種データが多く含まれ、不均等に分散しているという医療データセットの特徴により、最新のAIにおいても複雑な計算上の課題が生じているためである。たとえば研究者は、大規模な行列操作など、量子アプローチを利用する機械学習およびAIモデリングの中核となる、計算コストの高いアルゴリズムの処理速度を高める方法を模索している。<sup>29</sup>

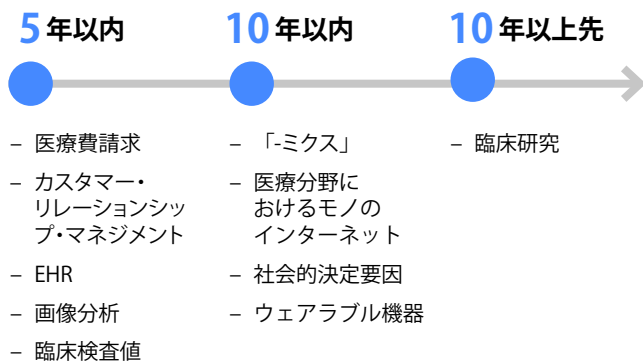


ヘルスケアにおける量子コンピューティングのユースケースが実現されるかどうかは、業界をまたいだ量子アルゴリズムやハードウェアの開発だけでなく、関連データの可用性の増大にもかかっている(図3を参照)。既に一部のモダリティーは、高度な計算モデルに利用されているが、医療関連データセットも、「計測される」人の数と収集されるデータの種類の両方が増大していることから、急速に増大している。利用可能な医療関連データ・ソースが増え続けていることから、量子コンピューティングによって付加価値を創出できる可能性も同様に高まっている。

—

図3

関連するヘルスケア・データ・ソース、および重要な価値の創出が始まるタイミング。



## Anthem社: 消費者のヘルスケア体験の向上

医療保険のトップ企業であるAnthem社は、量子コンピューティングによって消費者のヘルスケア体験をさらに向上させる方法を探るため、研究開発の取り組みを拡大させている。Anthem社は、ヘルスケア・データの処理に関する専門知識をIBM Q Networkに提供し、量子コンピューティングによって、より正確で個別化された治療オプションの開発と、健康状態予測の改善を進める方法を模索している。<sup>30</sup>

## アクション・ガイド

### ヘルスケア分野での量子コンピューティングのユースケースの探究

量子コンピューティングの時代において、ヘルスケア関連機関は、多大なビジネス上のメリットと科学的メリットを享受できることが期待される。この強力なテクノロジーは、本書で説明したメリットに加え、次世代技術の利用に興味を持つ人材を呼び込むことができるといったメリットも生み出すことができる。

量子優位性は特許化され、先行者に優位となる可能性が高い。量子優位性を活用するために、ヘルスケア関連機関は次の取り組みを行う必要がある。

- 量子分野の優れた人材を確保する。技術とヘルスケア両方の専門家を含む、量子分野の優れた人材を見つけ、能力を發揮できるようにし、組織に採用する。このような人材は、量子分野の専門知識とヘルスケア分野の課題を結び付ける中心的な存在となる。量子分野の優れた人材は、量子分野の最新知識を取り入れ、企業内の量子イニシアチブを促進する役割を担う。
- 探究し、優先順位を付ける。可能性のある量子ユースケースを探究し、組織に最も大きな影響を与えるユースケースに高い優先順位を付ける。これには、量子コンピューティングが企業戦略と技術戦略にどう適合するか判断も含まれる。その後は、最新の企業戦略と量子コンピューティングの発展に応じてユースケースの優先順位を更新する。
- 実験する。関連する量子アプリケーションを実装し、量子コンピューター実機で実験する。<sup>31</sup>これは、量子優位性の実現を後押しする。また、従業員が実際に量子コンピューティングに触れて、理解することができる。

この取り組みは繰り返し行う必要がある。量子エコシステムに参加すれば、より早くこの取り組みの成果を上げることができる。量子エコシステムは、リスクと成果を共有しながら量子コンピューティングにおける共通の目標達成を目指す、様々な業界企業および技術者が参加するグループである。<sup>32</sup>

量子コンピューティングは、持続的に命を守り、健康を向上させるといふヘルスケア関連機関の主要な使命を、革新的に実現する可能性を持つ。今こそ、量子コンピューティングを始めるときだ。

## 注釈および出典

- 1 Kent, Jessica. "Big Data to See Explosive Growth, Challenging Healthcare Organizations." Health IT Analytics. December 3, 2018. <https://healthitanalytics.com/news/big-data-to-see-explosive-growth-challenging-healthcare-organizations>
- 2 Bodenheimer, MD, Thomas and Christine Sinsky, MD. "From Triple to Quadruple Aim: Care of the Patient Requires Care of the Provider." Annals of Family Medicine. November/December 2014. <http://www.annfam.org/content/12/6/573.full.pdf>
- 3 Sutor, Bob. "Scientists Prove a Quantum Computing Advantage over Classical." IBM. October 18, 2018. <https://www.ibm.com/blogs/research/2018/10/quantum-advantage-2/>
- 4 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2019. Quantum Computing: Progress and Prospects. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25196>
- 5 Rjaibi, Walid, Sridhar Muppidi and Mary O'Brien. 「両刃の剣を振りかざす: 直ちに量子世界のサイバー・セキュリティに備えよ」 IBM Institute for Business Value. July 2018. <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/quantumsecurity>
- 6 Havlíček, Vojtěch, Antonio D. Córcoles, Kristan Temme, Aram W. Harrow, Abhinav Kandala, Jerry M. Chow and Jay M. Gambetta. "Supervised learning with quantum-enhanced feature spaces." Nature. March 13, 2019. <https://arxiv.org/pdf/1804.11326.pdf>; Carleo, Giuseppe, Matthias Troyer. "Solving the Quantum Many-Body Problem with Artificial Neural Networks." Science. February 10, 2017. <https://arxiv.org/pdf/1606.02318.pdf>
- 7 Montanaro, Ashley. "Quantum algorithms: an overview." Nature. January 12, 2016. <https://www.nature.com/articles/npjqi201523.pdf>
- 8 Birtwistle, Mike. "Saving lives and averting costs? The case for earlier diagnosis just got stronger." Cancer Research UK. September 22, 2014. <https://scienceblog.cancerresearchuk.org/2014/09/22/saving-lives-and-averting-costs-the-case-for-earlier-diagnosis-just-got-stronger/>
- 9 Jack, Andrew. "Affordable diagnostics is the missing link in medicine." Financial Times. December 15, 2015. <https://www.ft.com/content/46c4e51a-9451-11e5-bd82-c1fb87bef7af>
- 10 Singh, Hardeep, Ashley N. D. Meyer and Eric J. Thomas. "The frequency of diagnostic errors in outpatient care: estimations from three large observational studies involving US adult populations." BMJ Quality and Safety. April 17, 2014. <https://qualitysafety.bmj.com/content/qhc/23/9/727.full.pdf>; Graber, Mark, L. "The incidence of diagnostic error in medicine." BMJ Quality and Safety. June 15, 2013. [https://qualitysafety.bmj.com/content/qhc/22/Suppl\\_2/ii21.full.pdf](https://qualitysafety.bmj.com/content/qhc/22/Suppl_2/ii21.full.pdf)

- 11 Wang, Daojing and Steven Bodovitz. "Single cell analysis: the new frontier in 'Omics'." US Department of Energy Office of Scientific and Technical Information. January 14, 2010. <https://www.osti.gov/servlets/purl/983315>
- 12 Andreyev, Dmitry S. and Boris L. Zybilov. "Integration of Flow Cytometry and Single Cell Sequencing." Trends in Biotechnology. February 1, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2019.09.002>
- 13 McDermott, Jason E, Jing Wang, Hugh Mitchell, Bobbie-Jo Webb-Robertson, Ryan Hafen, John Ramey and Karin D Rodland. "Challenges in biomarker discovery: combining expert insights with statistical analysis of complex omics data." Expert Opinion on Medical Diagnostics. August 27, 2012. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1517/17530059.2012.718329>
- 14 Shahjooihaghighi, Aliasghar, Hichem Frigui, Xiang Zhang, Xiaoli Wei, Biyun Shi and Ameni Trabelsi. "An Ensemble Feature Selection Method for Biomarker Discovery." IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology. 2017. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6420823/pdf/nihms-1016736.pdf>
- 15 Nilesh, Jain. "How precision medicine will change the future of healthcare." World Economic Forum. January 1, 2019. <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/why-precision-medicine-is-the-future-of-healthcare/>
- 16 Hood, Carlyn M., Keith P. Gennuso, Geoffrey R. Swain, and Bridget B. Catlin. "County Health Rankings: Relationships Between Determinant Factors and Health Outcomes." American Journal of Preventive Medicine. February 1, 2016. [https://www.ajpmonline.org/article/S0749-3797\(15\)00514-0/abstract](https://www.ajpmonline.org/article/S0749-3797(15)00514-0/abstract)
- 17 Spilker, Isabell. "A crash test dummy for medicine." Best Practice. March 2018. [https://www.t-systems.com/blob/840450/9bc15bd337e9c5597ad2f85a012be216/DL\\_Best-Practice\\_03-2018\\_FT\\_Gesundheitssektor.pdf](https://www.t-systems.com/blob/840450/9bc15bd337e9c5597ad2f85a012be216/DL_Best-Practice_03-2018_FT_Gesundheitssektor.pdf)
- 18 Ravizza, Stefan, Tony Huschto, Anja Adamov, Lars Böhm, Alexander Büsler, Frederik F. Flöther, Rolf Hinzmann, Helena König, Scott M. McAhren, Daniel H. Robertson, Titus Schleyer, Bernd Schneidinger and Wolfgang Petrich. "Predicting the early risk of chronic kidney disease in patients with diabetes using real-world data." Nature Medicine. January 7, 2019. <https://rdcu.be/bfkPU>
- 19 Biamonte, Jacob, Peter Wittek, Nicola Pancotti, Patrick Rebentrost, Nathan Wiebe and Seth Lloyd. "Quantum Machine Learning." May 14, 2018. <https://arxiv.org/pdf/1611.09347.pdf>
- 20 Menden, Michael P., Francesco Iorio, Mathew Garnett, Ultan McDermott, Cyril H. Benes, Pedro J. Ballester, and Julio Saez-Rodriguez. "Machine Learning Prediction of Cancer Cell Sensitivity to Drugs Based on Genomic and Chemical Properties." PLOS One. April 2013. <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0061318&type=printable>
- 21 Fogel, Alexander L. and Joseph C. Kvedar. "Artificial intelligence powers digital medicine." npj Digital Medicine. March 14, 2018. <https://www.nature.com/articles/s41746-017-0012-2.pdf>
- 22 Coleman, Jr, Charles A., Angus McCann and Heather Fraser. "Precision health and wellness: The next step for population health management." IBM Institute for Business Value. December 2016. <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/phm>
- 23 "How insurance companies set health premiums." HealthCare.gov. Accessed May 8, 2020. <https://www.healthcare.gov/how-plans-set-your-premiums/>
- 24 Woerner, Stefan and Daniel J. Egger. "Quantum risk analysis." npj Quantum Information. February 8, 2019. <https://www.nature.com/articles/s41534-019-0130-6.pdf>
- 25 "The Challenge of Health Care Fraud." National Health Care Anti-Fraud Association. Accessed May 8, 2020. <https://www.nhcaa.org/resources/health-care-anti-fraud-resources/the-challenge-of-health-care-fraud/>
- 26 Obodoekwe, Nnaemeka and Dustin Terence van der Haar. "A Critical Analysis of the Application of Data Mining Methods to Detect Healthcare Claim Fraud in the Medical Billing Process." Ubiquitous Networking. November 3, 2018. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-02849-7\\_29](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-02849-7_29)
- 27 Yndurain, Elena, Stefan Woerner and Daniel J. Egger. 「量子コンピューティングの活用に向けた布石 金融サービスにおけるユースケース探索」IBM Institute for Business Value. September 2019. <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/exploring-quantum-financial>
- 28 "Trump Administration Announces Historic Price Transparency Requirements to Increase Competition and Lower Healthcare Costs for All Americans." US Department of Health and Human Services. November 15, 2019. <https://www.hhs.gov/about/news/2019/11/15/trump-administration-announces-historic-price-transparency-and-lower-healthcare-costs-for-all-americans.html>
- 29 Kerenidis, Iordanis and Anupam Prakash. "Quantum gradient descent for linear systems and least squares." Physical Review A. May 28, 2019. <https://arxiv.org/pdf/1704.04992.pdf>
- 30 "Health Care Company Anthem Joins NC State's IBM Q Hub." NC State University News. February 10, 2020. <https://news.ncsu.edu/2020/02/health-care-anthem-joins-q-hub/>
- 31 "Real quantum computers. Right at your fingertips." IBM. <https://quantum-computing.ibm.com/>
- 32 Sutor, Robert, Scott Crowder and Frederik Flöther. 「量子時代の要衝を築く「エコシステム」への参画がもたらす果実とは」IBM Institute for Business Value. January 2019. <https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/quantumeco>

## 日本語翻訳監修

土居遼太郎

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 コンサルタント

IBM Quantum Ambassador

専門は、事業戦略策定、新規事業立案、先端技術活用。これまでに、製造（自動車、総合電機）、ヘルスケア（製薬、医療機器）、金融、保険業界における、デジタル化に係る事業戦略策定、新規事業立案、業界横断のビジネスアレンジメント、実証実験推進支援等のプロジェクトに参画。近年は、量子コンピューティングを活用した業界ごとのユースケース検討、ロードマップ策定等をテーマにしたプロジェクトを手掛けている。工学修士 (MEng)。

連絡先: [Ryotaro.Doi@ibm.com](mailto:Ryotaro.Doi@ibm.com)

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 アソシエイト・パートナー

IBM Quantum Senior Ambassador / IBM Quantum CoC Japan Lead

総合電機メーカーR&D、米国系戦略コンサルティングファーム・グローバル戦略部門を経て、IBMへ参画。専門はビジネスと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、シンガポールでの5年超の駐在経験）、情報通信・インターネット技術（日米120件超の特許筆頭発明）。IBMでは、Global Enterprise Strategy Group、および、Global Quantum CoC (Center of Competency) に所属。量子コンピューティングを中心に、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)

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 シニア・マネージング・コンサルタント

IBM Quantum Senior Ambassador / IBM Quantum CoC Japan Co-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](mailto:hashimit@jp.ibm.com)

櫻井亮

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 コンサルタント

IBM Quantum Ambassador

専門は、事業戦略策定、新規事業構想、テクノロジー・アナリティクスを活用した新規事業の実行支援。これまでに、製造（自動車、総合電機、機械、素材）、ヘルスケア（製薬）、金融業界における、デジタル化に係る事業戦略策定、新規事業構想、業界横断のビジネスアレンジメント、テクノロジー・アナリティクスを活用

した新規事業の各種実行支援等のプロジェクトに参画。

特に、事業戦略と最先端テクノロジーの融合を興味領域として、高い専門性を発揮している。そのため、直近は、量子コンピューティングの業界ごとの適用可能性評価、量子コンピューティングを活用したユースケース検討、ロードマップの策定等をテーマにしたプロジェクトを中心に参画している。工学士 (B.Eng)。

連絡先: [Ryo.Sakurai@ibm.com](mailto:Ryo.Sakurai@ibm.com)

## 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、世界中の該当領域の優れた専門家との対話をもとに作成されています。詳しくは、IBM Institute for Business Value ([iibv@us.ibm.com](mailto:iibv@us.ibm.com))までお問い合わせください。

© Copyright IBM Corporation 2020

IBM Corporation  
New Orchard Road  
Armonk, NY 10504

Produced in the United States of America  
June 2020

IBM、IBMロゴ、および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最新ですが、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を目的としています。入念な調査または専門家による判断の代用となることを意図していません。IBMは本資料に依拠する組織や個人によるいかなる損害についても責任を負いません。

本レポートで使用されているデータは、第三者を情報源とする場合があります。IBMはかかるデータを個別に検査、検証、または監査しません。かかるデータの使用による結果は現状のまま提供され、IBMはあらゆる明示または黙示の保証責任を負いません。

本書は英語版「Exploring quantum computing use cases for healthcare」の日本語訳として提供されるものです。

