

国立国会図書館 調査及び立法考査局

Research and Legislative Reference Bureau
National Diet Library

論題 Title	総括
他言語論題 Title in other language	Conclusion
著者 / 所属 Author(s)	山本 俊 (YAMAMOTO Takashi) / 大阪大学大学院基礎工学 研究科 / 量子情報・量子生命研究センター (QIQB) 教授
書名 Title of Book	量子情報技術 科学技術に関する調査プロジェクト報告書 (Quantum Information Technologies)
シリーズ Series	調査資料 2021-6 (Research Materials 2021-6)
編集 Editor	国立国会図書館 調査及び立法考査局
発行 Publisher	国立国会図書館
刊行日 Issue Date	2022-03-30
ページ Pages	—
ISBN	978-4-87582-888-4
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
摘要 Abstract	調査報告書において、量子 2.0 とも呼ばれる量子情報技術の これまで、現状、これからを様々な視点で議論したと総括し た。

* この記事は、調査及び立法考査局内において、国政審議に係る有用性、記述の中立性、客観性及び正確性、論旨の明晰（めいせき）性等の観点からの審査を経たものです。

* 本文中の意見にわたる部分は、筆者の個人的見解です。

第5章 総括

本調査報告書では、第二次量子革命のただ中にある量子2.0とも呼ばれる量子情報技術のこれまで、現状、これからを様々な視点で議論した。量子情報技術のインパクトが果てしなく広く行き渡ることを感じていただけたら、まずは成功である。その源泉は、あらゆる情報を表現する基本単位であるビットが、量子ビットに置き換わることにある。その際に重要なのが「重ね合わせ」や「量子もつれ（エンタングルメント）」の性質であった。物理学の基本原理により「情報」の究極を定義したので、後はそれをどう制御するかが問題である。従来の情報技術が大きく転換されるわけであるが、量子ビットを超える情報の基本単位が存在しないことを考えると、これほどの大転換を目にする機会は、今世紀中にはもちろん、未来永劫ないかもしれない。本報告書の執筆中にも続々と新しいニュースが飛び込んでくる状況であり、各執筆者の方々の御苦労が目に見えらる。

第2章にあるとおり、量子コンピュータは特定の問題においてではあるが、現在のスーパーコンピュータを超える計算能力を実証しており、現在はNISQと呼ばれる小・中規模の量子誤り訂正を行わない量子コンピュータの時代になりつつある。ハードウェアの方式としては、超伝導が先行し、イオンや光がそれに続き、原子や半導体が更に追いかけているように見えるが、どのような問題でも扱うことができる誤り耐性量子コンピュータに、どの方式のハードウェアが先にたどり着くかは、誰にも分からないし、複数のハードウェアを組み合わせなければたどり着けないかもしれない。また、たどり着いた先に、どのような様相を呈するかは、全く想像ができない。これらのハードウェアを制御するための、ミドルウェアやソフトウェアの開発も活況である。NISQから誤り耐性量子コンピュータまで、幅広い量子アルゴリズムが開発され、その応用分野も量子機械学習、データベース探索や量子化学計算を始めとして、分子シミュレーション、化学反応探索、触媒開発、創薬、新奇な物性探索など多岐にわたる。地球規模のエネルギー問題やカーボンニュートラルの実現にも大きく貢献すると期待されている。さらに、これらのインパクトの大きい計算結果の悪用を防ぐためのセキュリティも提供できる。量子シミュレーションもアナログの特徴を利用して、量子コンピュータと同様の応用領域での利用が考えられている。量子計測・量子センシングは、量子1.0を超えて量子2.0に差し掛かる技術が多く実現しており、最も実用に近いと考えられている。日本のお家芸とも言える光格子時計はフィールドテストも実現しており、実用に近い。続く、慣性センサ、NV固体量子センサや室温超偏極技術も着実に実用に近づいており、応用先を広げている。量子通信・ネットワークの領域では、量子コンピュータ時代のセキュリティとして最も重要なアプリケーションである量子暗号の商用化が進み、数社が量子暗号装置を製造し、競争環境が生まれつつある。フィールド実装も着実に進み、医療や金融のセキュア通信が実現しつつある。万全なセキュリティではないが、ボトルネックとなる長距離化を信頼ノードにより補うことで、衛星を利用した数千Km規模の量子暗号通信も実現した。あらゆる量子デバイスをネットワーク接続する量子インターネットの研究も、万全なセキュリティや量子コンピュータの大規模化のインフラとして

* 本稿におけるインターネット情報の最終アクセス日は、令和4（2022）年2月24日である。

研究開発が進んでいる。量子コンピュータ、量子シミュレーション、量子センシング、量子通信・ネットワークと目的別に分類しているが、どれも量子情報技術という点で共通項が多く、オーバーラップする技術やアプリケーションがあることも感じられたと思う。これらが融合した量子情報技術も次々と誕生するであろう。

第3章にあるとおり、量子情報技術に対する様々な企業の活動が2010年以降に非常に活発化している。海外主導ではあるが、国内も徐々に追いついてきている。量子コンピュータはクラウドサービスによって、多くのユーザ企業が参入し、特に活況である。その背景にあるのは、AI技術等の浸透によって計算能力への需要が大きく拡大し、自社の持つ計算能力が競争力に直結するようになってきているという事情である。高い計算能力の量子コンピュータを持つ方が優位になるのであれば、企業としては見過ごせない。それは国家間でも同様である。「量子を“制”するものが、世界を“征”する」とでも言えようか。ただし、現状では期待の方がやや先行しているという見方が優勢である。一方で、研究開発のスピードを緩めるのは得策ではなく、後発はより多くのコストを支払うことになる。エコシステムを形成し、人材育成を充実させて、市場も含めて研究開発環境を整えつつ、技術を進歩させることが重要である。人材育成に関しては、国際的な取組と比較すると我が国の取組はやや出遅れている。主要な先進国では、既に量子情報技術を専門とした大学院組織が立ち上がりつつある。資格制度も始まった。また、日本では減少傾向にすらある特許出願件数も米中では倍増し続けている状況である。研究や利活用に係る協議会等コミュニティ形成は比較的遅滞なく行われている。

第4章にもあるとおり、2012年に英国から始まった大型予算はEUや米国に波及し、米国の予算は今年年間10億ドルに迫りつつある。これには急速に研究開発を進める中国の存在が影響している。歩調を合わせるように、EU各国も予算を増加し、日本も追随している。カナダやインドなどの状況も見過ごせない。最近では、安全保障や経済安全保障でもAIと並び量子情報技術が話題に上がることが多い⁽¹⁾。米国と中国の評価を行ったランド研究所(RAND Corporation)(米)の最新レポート⁽²⁾では、特に量子コンピュータや量子通信・ネットワークに関して、輸出規制を課すことは時期尚早であり、科学技術の進歩を遅らせると評価している。主な理由は、米国では民間企業に量子技術がより多く存在する現状があるからである。そして、政策担当者への提言として以下の六つを挙げている。

1. 民間投資の最も活発な分野を補完するような量子情報技術の政府研究開発支援の幅広い基盤を提供し続ける。
2. 米国の主要な量子テクノロジー企業の量子技術プログラムをモニターし、可能であれば保護を支援する。
3. 量子スタートアップ企業の財務状況と所有権をモニターする。
4. 産業基盤の重要な要素の国際的な流れをモニターする。例えば、重要部品や材料、熟練労働者、量子技術による最終製品など。

(1) 池田有紀美「量子技術と安全保障」『ROLES REPORT』No.5, 2021.3. 東京大学先端科学技術研究センター・創発戦略研究オープンラボウェブサイト <https://roles.rcast.u-tokyo.ac.jp/uploads/publication/file/6/ROLES_report_05_ikedayukimi.pdf>

(2) Edward Parker et al., *An Assessment of the U.S. and Chinese Industrial Bases in Quantum Technology*, Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2022, pp.96-98. <https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RRA800/RRA869-1/RAND_RRA869-1.pdf>

5. 現時点では量子コンピュータや量子通信システムに輸出規制をかけない。
6. 急速に変化する量子産業基盤を定期的に再評価する。

最後に、日本で初めてノーベル賞を受賞した湯川秀樹博士の話を紹介する。講師として大阪帝国大学（現在の大阪大学）理学部に所属していた湯川博士は、受賞対象となる論文を1935年に発表している。当時、大阪帝国大学と理化学研究所は日本における量子物理学のフロンティア・センターとなると考えられていたという⁽³⁾。湯川博士は同年12月18日に「近代物理学と常識」というタイトルで一般の聴衆に向けた講演を行った⁽⁴⁾。ここでの近代物理学とは、まさに量子力学のことである。湯川博士は、量子力学の奇妙な性質を商売や選挙などの身近な例えを示しながら、類似の現象は身近なところにもあり、受け入れがたいものではないことを丁寧に説明していたようである。量子力学が身近な存在ではないという状況は現状でも変わっていないが、第3章で紹介されているように、米国では幼稚園から高校までの教室で量子情報技術の概念を教えられるようにする試みが始まっている。未来には、これまでとは打って変わって、日常の出来事が量子の概念で語られるようになる日が訪れるかもしれない。想像すると、ワクワクしてしまう。日本でも、そのような最先端の科学を教育にどんどん取り入れて、新しい文化として育てられる状況が求められるであろう。

講演の中で、湯川博士は「物理や化学や工学の世界だけでなく、生命や医療の世界でも物理の考え方が必須になるだろうし、さらに自然科学が発展すれば、将来、物理の考え方は心霊的なもの⁽⁵⁾にも適用されるようになるだろう」と述べている⁽⁶⁾。量子力学が広範な科学技術に適用可能であり、社会に大きく貢献することを明確に認識し、現在の量子情報技術の進展をも既に予見しているかのようなようである。本調査報告書からも分かるとおり、現在の量子情報技術のレベルは「心霊的なもの」に達するほどではないが、湯川博士の予見どおりに生命や医療の世界に波及しつつあり、今後ますます発展することは疑いの余地がない。実際に「心霊的なもの」にまでたどり着くかは、読者の御想像にお任せする。量子コンピュータの熾烈な開発競争を行う Google は2029年までに量子誤り訂正機能を持ち実際に役立つ量子コンピュータを実現するという野心的な目標を掲げている⁽⁷⁾。この目標を Google が達成するのか、しないのか、はたまた、別のベンダーが追い抜くのか、全く予想はできないが、湯川博士の講演「近代物理学と常識」の100年後になる2035年には、これまで以上にエキサイティングな状況になっていることは間違いない。その頃には、2012年のアロシュとワインランドに続く、次のノーベル賞の受賞が生まれていても不思議ではないし、その後のノーベル賞にも大きく貢献していく

(3) 第7回オンライン物理講話「湯川秀樹博士と大阪大学 ノーベル賞はかくして生まれた」2022年2月19日(土) 細谷裕先生（大阪大学名誉教授）の御講演を参考にした。細谷裕, 大阪大学総合学術博物館湯川記念室監修『湯川秀樹博士と大阪大学—ノーベル賞はかくして生まれた—』大阪大学出版会, 2021, p.26.

(4) 同上, pp.37-40.

(5) ここでの「心霊的なもの」が指す意味は、筆者には定かではないが、「この世」の「先」にあるものであろうか。「この世」のものは原理的には量子力学で正確に記述され、量子情報技術によって制御されることを考えると、その「先」にあるものと理解してみたい。

(6) 細谷, 大阪大学総合学術博物館湯川記念室監修 前掲注(3), pp.37-40.

(7) Sara Castellanos, "Google Aims for Commercial-Grade Quantum Computer by 2029," *Wall Street Journal*, May 18, 2021. <https://www.wsj.com/articles/google-aims-for-commercial-grade-quantum-computer-by-2029-11621359156?mod=pls_whats_news_us_business_f>

であろうことは、容易に想像できる。その頃には「量子」は「常識」になっているであろう⁽⁸⁾。

執筆：大阪大学大学院基礎工学研究科／

量子情報・量子生命研究センター (QIQB) 教授 やまもと たかし 山本 俊

(8) 謝辞：本調査報告書の内容は、以下における研究活動によるところが大きい。ただし、所属機関やプロジェクトの意見を代表するものではない。

JST 共創の場形成支援プログラム量子ソフトウェア研究拠点

文部科学省光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP) JPMX0120319794

内閣府・JST ムーンショット型研究開発制度 ムーンショット目標 6「ネットワーク型量子コンピュータによる量子サイバースペース」(プロジェクトマネージャー：山本俊) JPMJMS2066