

〈2〉量子情報科学技術をめぐる国際的な競争と協調

京都先端科学大学 土屋 貴裕

はじめに

21世紀において、量子情報科学技術（Quantum Information Science and Technology, QIST）は、近年急速に発展し、情報処理、通信、計測などのパラダイムシフトをもたらす「ゲームチェンジャー」として期待されている科学技術分野である。量子コンピューティングは従来不可能だった計算問題への挑戦を可能にし、量子通信は「理論的に盗聴不可能な」通信チャネルの実現を、量子センシングは極めて高精度な計測技術を提供する。

こうした潜在力は、経済、外交、安全保障など国際社会の諸相に深く浸透しつつある。そのため、世界各国・地域はQIST分野に巨額の投資を行い、国家戦略を立て、国際的な研究協力や標準化プロセスへの参画を強化している。その背景には、QIST覇権が将来的な技術・経済・軍事的優位性を左右するとの認識があり、量子情報科学技術の獲得は、国家の安全保障や経済的競争力に直結する可能性がある。

一方で、QISTは開発コストが高く、基礎科学と工学的応用が密接に絡み合った複雑な分野でもあるため、国際的な協調を通じたリスク分担、知見共有、標準化が不可欠となる。

そこで本稿では、QISTをめぐる国際的な競争と協調の力学を明らかにする。主要プレーヤーである米国、中国、欧州連合（EU）、日本などの戦略動向を概観しつつ、国際的協調メカニズムや標準化活動、知的財産・安全保障上の問題を取り上げる。そのうえで、将来像として、競争と協調をどのようにバランスさせるべきかを考察する。

第1節 QISTの戦略的意義と国際的文脈

（1）QISTの概要と潜在的インパクト

量子情報科学技術（QIST）は、量子力学が示す独特の現象、特に「重ね合わせ（superposition）」と「量子もつれ（entanglement）」を用いて、従来のデジタル技術では理論的・実務的に実現困難だった計算手法や通信手法、計測技術を可能にする分野である¹。

この特性を活用することで、量子コンピュータは膨大な演算を並列的かつ指数関数的スケールで処理する潜在能力を持ち、従来のコンピュータでは「指数関数的時間」が必要であり解決困難とみられてきた問題を「多項式時間」で解く「量子超越性」を有している可能性が指摘されている²。

¹ Bennett, C. H. & Brassard, G. “Quantum Cryptography: Public key distribution and coin tossing,” *Theoretical Computer Science*, Vol. 560, Part 1, December 2014, pp.7-11.

² Shor, P.W. (1994). “Algorithms for quantum computation: Discrete logarithms and factoring,” *Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*, pp.124-134.

実務的なインパクトの一例として、RSA 暗号や楕円曲線暗号など現在のインターネットを支える公開鍵暗号は、十分大規模な量子コンピュータが実現すれば、Shor のアルゴリズムによって現行技術で想定外の速さで破られてしまう可能性があるため、サイバーセキュリティの根幹的再定義が必要となる³。

さらに、量子計算は、新材料設計、新薬開発、金融リスク解析、サプライチェーン最適化など、複雑性が高く従来手法で計算負荷の大きい課題への応用可能性を有している。たとえば、量子シミュレーション技術は分子の電子構造を高精度で解明し、新薬候補分子の探索や高性能電池材料の設計など、産業・学術領域で革新的なブレイクスルーをもたらす潜在性が指摘されている⁴。

また、量子通信技術は、量子力学的原理に基づき盗聴を検出可能にすることで安全性を提供し、軍事・外交・金融など秘匿性が求められる通信分野で画期的な安全保障をもたらすと期待されている⁵。他方、量子センシングは、量子ビットの繊細な状態変化を利用して極めて微小な物理量（振動、磁場、重力変動など）を高精度で計測する技術である⁶。

総じて QIST は、コンピューティング、通信、センシングといった情報基盤全体に変革を起こし得る「汎用目的技術（General Purpose Technology）」としての様相を示し、そのインパクトは 21 世紀中盤以降、社会・経済・安全保障を包括的に再編成する可能性があることから、日本の「量子技術イノベーション戦略」でも示されているように、量子技術が幅広い分野でのイノベーションをもたらすことが期待されている⁷。

（2）経済・安全保障上の戦略的価値

QIST が単なる技術革新の一分野以上の意味を持つのは、その経済・安全保障の価値が国家戦略の文脈で重視されている点にある。その実用化により、経済、軍事、サイバーセキュリティをはじめとする多くの分野での優位性をもたらすことが期待されている。そのため近年、各国政府は、QIST に対する大規模な投資や国家イニシアティブを打ち出し、技術覇権の確保を目指している⁸。

量子コンピューティングをいち早く実用化し、従来型暗号や計算課題への「量子優位」を獲得することができれば、他国の金融システムや軍事暗号通信、知的財産管理などにアクセスできる可能性が高まる。もちろん、現時点で大規模誤り耐性量子コンピュータの実現は技術的課題が残っているが、将来性を見据えて主要国は基礎研究、産学連携、ベンチャー支援を強化中である⁹。

一方、量子通信網、特に量子鍵配送（Quantum Key Distribution, QKD）ネットワークや量子インターネットを構築できれば、国家間交渉や軍事指令、重要インフラ制御情報を、他国による傍受リスクを極小化しつつ伝達する安全保障上の強みが得られる。実際、中国は地上に QKD ネットワークを構築するとともに、世界初の量子通信衛星「墨子号」を用いて長距離 QKD 実験を成功させ、量子通信基盤構築の先行事例を打ち立てている。

これに対して、米国は「国家量子イニシアティブ法（NQI 法）」を成立させ、研究開発投資と産業育成を加速するとともに、NIST を通じて量子耐性暗号（PQC）の標準化を進め、将来の量子コンピュータ時代に備えた安全保障戦略を具体化している¹⁰。

同様に、EU も「EuroQCI」構想を掲げ、欧州域内

³ Ibid.

⁴ Cao Y, Romero J, Aspuru-Guzik A., “Potential of quantum computing for drug discovery,” *IBM Journal of Research and Development* 2018; 62(6): pp.6:1–6:20.

⁵ Valerio Scarani, et al. “The security of practical quantum key distribution,” *Reviews of Modern Physics* 81, 1301, September 2009. <<https://doi.org/10.1103/RevModPhys.81.1301>>

⁶ Pirandola, S., Bardhan, B.R., Gehring, T. et al., “Advances in photonic quantum sensing,” *Nature Photon* 12, 2018, pp.724-733. <<https://doi.org/10.1038/s41566-018-0301-6>>

⁷ 統合イノベーション戦略推進会議「量子技術イノベーション戦略（最終報告）」文部科学省、2020年1月21日。<<https://www8.cao.go.jp/cstp/tougosenryaku/ryoushisenryaku.pdf>>

⁸ H.R.6227 “National Quantum Initiative Act,” 115th Congress (2017-2018). <<https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/6227>>

⁹ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Quantum Computing: Progress and Prospects*, Washington, DC: The National Academies Press, 2019. <<https://doi.org/10.17226/25196>>

¹⁰ “Post-Quantum Cryptography,” National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce. <<https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography>>

で量子安全通信ネットワークを整備し、自主的・戦略的自立性を確保しようとしている¹¹。つまり、QISTは、経済成長（新産業創出や高付加価値製品開発など）と安全保障（暗号保護、兵器システム高度化、機密通信保全など）を同時に追求する「戦略的ハイテクノロジー」として各国政策に組み込まれ、国際政治の焦点となっている。

（3）国際関係理論における先端技術の位置づけ

国際関係論において、先端技術は国家の「ハードパワー」の源泉として重要視されてきた¹²。核技術、宇宙技術、半導体やAIなどと同様、QISTも国家間パワーバランスやグローバルガバナンスを左右する潜在力を持つ¹³。

リアリスト的な視点からは、技術優位は軍事・経済的優位へと転化可能であり、覇権国はこの優位を強化・維持するために先端技術の独占、同盟国との技術協力、ライバル国への技術封鎖などが戦略的選択肢に含まれるだろう。一方、リベラル派やグローバルガバナンス論の視点からは、QIST分野は国際標準化や多国間枠組みを通じて協調を生み出す可能性を持ち、相互依存が深まる中でグローバルな技術エコシステムが形成されることが見込まれる。

実際、QISTは高度な研究インフラ、人材育成、知的財産管理、標準化ルール策定など、多面的課題を伴い、一国のみで完結する開発は困難である。そのため、基礎研究段階での国際共同プロジェクトや、国際学会・コンソーシアムを通じた知見共有が進む一方、輸出管理や経済安全保障政策で他国への技術供与を制限する動きも強まっている¹⁴。

今後数十年にわたり、QISTは「技術フロンティア」としての地位を強化し、国際秩序構築に影響を与え続けることが見込まれる。そのため、国家間の競争は激化する可能性が高いが、同時に世界規模で

の協調や標準化に向けた努力も並行して進む複雑な動態が展開されるだろう。

第2節 国際的競争の実態

（1）米国、中国、EUの三極構造

現段階で、QIST分野においては、米国、中国、EUが主導的役割を果たし、「三極」を形成している。米国は長年にわたる基礎研究の蓄積と起業文化を背景に、「国家量子イニシアティブ法（NQI法）」の成立や、「CHIPS and Science Act（2022年）」による巨額投資拡大を通じて、QIST領域での世界的リーダーシップ強化を図る一方、IBM、Google、Microsoft、AmazonなどのIT大手企業が量子コンピューティングや量子クラウドサービスの開発を加速させている¹⁵。

一方、中国は2016年に世界初の量子通信衛星「墨子号」を打ち上げ、1200km級の量子もつれ分配実験に成功するなど、量子通信インフラ整備と基礎研究を急速に進め、国家重点研究計画で量子技術を戦略的重点分野に位置づけた¹⁶。また、2019年4月、中国RMY社が米国企業Princeton Lightwave社からQISTのためのキーデバイスである光子検出用APD技術とデバイスビジネスを買収するなどコア技術の獲得、産業チェーンの確立にも積極的に取り組んでいる¹⁷。

他方、EUは、ドイツやフランス、オランダ、デンマークなどが各国の研究機関と他国の企業との共同研究開発を促進するかたちで量子技術分野のイノベーションの促進を図っているほか、EUとして「Quantum Flagship」プログラムを通じて10年間で10億ユーロ規模の投資を行い、基礎研究から産業応用まで網羅的にサポートするとともに、「EuroQCI（欧州量子通信インフラ）」構想を打ち立てることで

¹¹ “Quantum communication infrastructure (EuroQCI),” European Health and Digital Executive Agency (HaDEA). <https://hadea.ec.europa.eu/programmes/connecting-europe-facility/about/quantum-communication-infrastructure-euroqci_en>

¹² 薬師寺泰蔵『テクノヘゲモニー』（中央公論社、1989年）；Tang Xinhua, “Technology Alliance: A Strategic Path for New Technological Hegemony,” CIR, Vol.31, No.2, March/April 2021, pp.108-131.

<<http://www.cicir.ac.cn/UpFiles/file/20210810/6376418137945106404123465.pdf>>

¹³ Lucas Kello, *The Virtual Weapon and International Order*, Yale University Press, 2017.

¹⁴ US-EU Trade and Technology Council (TTC) Joint Statement (2021-2023). <<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/>>

¹⁵ H.R.4346 “CHIPS and Science Act,” 117th U.S. Congress (2021-2022). <<https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/4346>>

¹⁶ Yin, J. et al., “Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers,” *Science*, Vol. 356, Issue 6343, June 2017, pp.1140-1144.

¹⁷ “About us,” Beijing RMY Electronics Ltd. <http://www.rmyelectronics.com/a/english/About_us/>