

ブリーフィング・メモ

量子技術の軍事への応用

理論研究部政治・法制研究室

有江 浩一

はじめに

ここ数年、量子技術 (quantum technology) ¹ をめぐる議論が高まりをみせている。その背景には、米中をはじめ世界の主要国が量子技術の潜在的な可能性に着目し、多額の投資を行って研究開発を進めていることがある。量子技術は、将来の基盤技術として人々の社会経済活動を大きく変えるとともに、安全保障・軍事分野にも深刻な影響を与える可能性を秘めた新興技術である。

米国防総省の諮問機関である国防科学技術委員会 (DSB) は、2019年12月に量子技術に関する報告書の要約版を公表した。その中で DSB は、軍事への応用が最も期待される量子技術として量子センサー、量子コンピュータ、量子通信を挙げている²。本稿では、これら3つの量子技術について、その基礎をなす量子力学との関連についてごく簡単に触れた上で、軍事への応用の可能性を概観してみたい。

量子力学の概念と量子技術

量子技術は、20世紀初頭に登場し、電子や光子など (量子と総称される) がミクロの世界で示す特異な性質や挙動を解明する量子力学 (quantum mechanics) の概念を応用した技術である。量子力学によれば、量子は、粒子としての性質と波としての性質の両方を同時に持つ不可思議な存在である。この性質は波動と粒子の二重性 (wave-particle duality) と呼ばれ、現在もお実証実験が続けられている³。

これに加えて、量子は「重ね合わせ」 (superposition) と「量子もつれ」 (entanglement) という2つの性質 (量子性) を持っている。「重ね合わせ」とは、量子が同時に複数の状態を維持することができる性質であり、「量子もつれ」とは、複数の量子の間に相関関係を持たせ得る性質のことである⁴。ただし、これらの性質は量子を取り巻く環境との相互作用によって崩れてしまうため、維持することが難しいという⁵。

量子力学によって説明される量子性は、様々な技術に応用が可能である。例えば、「重ね合わせ」の性質を利用すると、従来型のコンピュータで用いられている0か1かのビット値とは異なり、0と1の情報を同時に表現できることになる。この性質を用いた量子ビットで大量のパターンの情報を同時に処理しようというのが量子コンピュータである⁶。また、「量子もつれ」状態にある複数の量子に情報を乗せ、遠く離れた地点間での高速通信を実現しようというのが量子通信である。さらに、量子性を利用することにより、傍受や盗聴が原理的に不可能な量子暗号通信を実現するための研究開発も進められている⁷。

量子センサー

量子技術のうち、最も軍事への応用が近いと考えられているのが量子センサーである⁸。量子センサーは、「量子もつれ」などの量子性を利用して物理量を計測する超高感度のセンサーであり、軍事分野ではレーダーなどへの応用が期待されている⁹。

量子レーダーは、「量子もつれ」状態にある一対の光子の片方をレーダーから射出し、それが目標に反射して戻ってきた際にもう一方の光子との相関関係を検出し、目標との距離などを計測する仕組みである。ただし、レーダーの動作間に「量子もつれ」状態を維持することが容易ではないなど、実用可能な量子レーダーの開発には課題も多い¹⁰。このため、量子レーダーの軍事への応用に対しては懐疑的な見方が示されている¹¹。

測位・航法・調時（PNT）に量子センサーを用いることにより、GPS 衛星など外部からの PNT 信号に依存することなく、高精度の自己位置測定や航法が可能になる。このような量子センサーは、例えば潜航中の潜水艦にとっては非常に有益な航法手段となり得よう¹²。また、軍用 GPS のバックアップとして量子センサーを搭載することにより、GPS 衛星がサイバー攻撃や電子妨害を受けて機能不全になった場合でも、量子センサーを活用して正確な航法が可能になろう。

量子センサーによる情報収集・監視・偵察（ISR）能力の向上も期待されている。例えば、量子センサーを活用すれば、核ミサイルを搭載する戦略原子力潜水艦（SSBN）を探知する能力が大幅に改善されるであろう。具体的には、潜航中の SSBN によって引き起こされる磁場や重力などの変化を量子センサーで計測することが考えられている。ただし現時点では、そうした量子センサーの開発は未成熟な段階にあるという¹³。また、SSBN を運用する側にとっては、海洋配備核抑止力の残存性が損なわれることになりかねないとも指摘されている¹⁴。

量子コンピュータ

量子性を利用する新たな計算システムの可能性については早くから言及されていたが、実際に量子コンピュータの概念が初めて提示されたのは 1980 年である¹⁵。同年に米国の物理学者ポール・ベニオフ（Paul Benioff）が発表した論文で、量子コンピュータが実現可能であることが理論的に示された¹⁶。

1994 年には米国の応用数学者ピーター・ショア（Peter Shor）が、「ショアのアルゴリズム」（Shor's algorithm）と呼ばれる、量子性を利用して大きな数を従来型コンピュータよりずっと速く因数分解するアルゴリズムを開発した。このアルゴリズムを用いた量子コンピュータが実用化された暁には、現在の一般的な暗号化システムである RSA 暗号（公開鍵暗号）は解読されてしまう可能性があることが明らかになったため、量子コンピュータへの関心が急速に高まった。以後の様々な研究開発を経て、現在は米グーグル社や IBM 社などが数十量子ビットの量子コンピュータの開発に成功している¹⁷。

軍事への応用としては、量子コンピュータの暗号解読能力を利用して敵の RSA 暗号ベースの通信ネットワークから重要な情報を窃取する「量子攻撃」（quantum attack）が考えられる¹⁸。ただし、実際に RSA 暗号を解読するには 2,000 万量子ビットの量子コンピュータが必要になるとされており、その実現は早くとも 2030 年頃から 2040 年頃と見込まれている¹⁹。

量子コンピュータによる暗号解読をめぐっては、米国からの技術流出が懸念されている。米商務省は、米国製の量子コンピュータを入手して中国人民解放軍の近代化を支援しているとして、2021 年 11 月

に中国の企業8社を安全保障上の懸念がある企業のリスト（エンティティ・リスト）に追加した。具体的な支援内容として、暗号解読能力の向上が含まれているという²⁰。

量子通信

量子通信は、傍受やサイバー攻撃による情報漏えいを回避できる次世代の通信技術として注目されている。量子性を利用して情報を暗号化する方式としては、量子鍵配送（QKD）が比較的知られている²¹。この方式による量子暗号通信の実用化に精力的に取り組んでいるのが中国である。

中国は、2016年8月に世界初の量子科学実験衛星「墨子号」を打ち上げ、2017年8月に北京と上海を結ぶ量子鍵配送通信幹線も完成させたとしている²²。その一か月後の2017年9月には、「墨子号」を介して北京・ウィーン（オーストリア）間の量子鍵配送方式による画像暗号化伝送を行い、両地点間でのビデオ会議を実現させた²³。また、2021年1月には、「墨子号」を介した総延長4,600キロの衛星・地上間量子通信に成功したと発表している²⁴。

ただ、中国の量子通信はあくまでも商用ベースの事業であり、軍用に供し得る量子通信の実現にはハードルが高いと思われる。先述したDSBの報告書によると、量子鍵配送は米軍が任務遂行に使用し得るだけの十分な保安性をまだ達成していないと評価されている²⁵。

他方で、量子鍵配送が軍事的に実用可能なレベルに至った暁には、艦船や航空機などとの間の無線通信や、地上の司令部施設や海軍・空軍基地といった固定施設間の光ファイバ通信にも使われていくと思われる。ただし、量子性が崩れやすいことから、自由空間を介した量子無線通信については、伝送路上に障害物のない見通し線内に限定されるなどの課題もある²⁶。

SSBNとの通信に量子暗号技術を導入し、傍受不可能な秘匿通信を構成する可能性も指摘されている。これについては、海中を伝送中に量子性が崩れてしまわないように保護しておく必要があるといった困難な課題を克服しなければならない²⁷。

おわりに

本稿では、量子センサー、量子コンピュータおよび量子通信の軍事への応用可能性についてみてきた。これらの他にも、量子技術は今後、軍事や戦争の様々な領域に応用されていくと考えられ、その結果、「量子戦」（quantum warfare）とも言うべき戦いの様相が現出してくるとの予測もなされている²⁸。ただし、量子技術がなお発展途上にあり、実用化に向けた課題もまだ克服されていないことから、将来の軍事に及ぼす影響を過大に評価することは現時点では避けるべきであろう。今後の量子技術の発展動向や軍事への応用に関する議論を継続的にフォローしつつ、量子技術がわが国の安全保障に及ぼす影響の考察を深めていくことが求められる。

¹ 量子技術は、すでに半導体やレーザーなどの身近なデバイスに応用されており、これらは「量子技術1.0」と呼ばれている。本稿で取り上げる量子技術は、量子特有の性質を最大限に活かし、実用化の幅を大きく広げようとする「量子技術2.0」と呼ばれるものである。“Quantum Technology 1.0,” *Physicist Minimus* July 31, 2020, <https://physicist-minimus.com/en/quantum-technology-1/>; 嶋田義皓「量子技術2.0から量子ICTへ——量子力学を情報処理に生かす」『つくばサイエンスニュース』、2018年11月1日。

² Defense Science Board (DSB), *Executive Summary: Applications of Quantum Technologies*, December

18, 2019, https://www.globalsecurity.org/military/library/report/2019/quantum-technologies_execsum_dsb_20191023.pdf.

³ “Wave-particle Duality Qualified for the First Time,” *Physics World*, September 1, 2021, <https://physicsworld.com/a/wave-particle-duality-quantified-for-the-first-time/>.

⁴ 大貫真「量子コンピュータとは？」三井情報株式会社、2020年3月31日、<https://www.mki.co.jp/knowledge/column77.html>.

⁵ 量子性が環境との相互作用によって失われる現象をデコヒーレンス (decoherence) という。University of Arizona, “Researchers Work to Ensure Accurate Decoding in Fragile Quantum States,” *Phys.org*, August 19, 2020, <https://phys.org/news/2020-08-accurate-decoding-fragile-quantum-states.html>.

⁶ 大貫真「量子コンピュータはなぜ速いのか？」三井情報株式会社、2021年3月23日、<https://www.mki.co.jp/knowledge/column101.html>.

⁷ 稲垣卓弘、武居弘樹「光ファイバ中での量子もつれ光子対の300km伝送実験」『NTT技術ジャーナル』、2014年6月、15-19頁、<https://www.ntt.co.jp/journal/1406/files/jn201406015.pdf>.

⁸ Congressional Research Service (CRS), “Defense Primer: Quantum Technology,” CRS In Focus, updated October 20, 2021, <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11836>.

⁹ 池田有紀美「量子技術と安全保障」『ROLES REPORT_No.5』東京大学先端科学技術センター、2021年3月、14頁、https://roles.rcast.u-tokyo.ac.jp/uploads/publication/file/6/ROLES_report_05_ikedayukimi.pdf.

¹⁰ “Quantum Radar Has Been Demonstrated for the First Time,” *MIT Technology Review*, August 23, 2019, <https://www.technologyreview.com/2019/08/23/75512/quantum-radar-has-been-demonstrated-for-the-first-time/>.

¹¹ Brett Tingley, “Quantum Radar Offers No Benefits to the Military Say Pentagon Science Advisers,” *The Drive*, June 4, 2021, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/40933/quantum-radar-offers-no-benefits-to-the-military-say-pentagon-science-advisors>.

¹² Michiel van Amerongen, “Quantum Technologies in Defence & Security,” *NATO Review* June 3, 2021, <https://www.nato.int/docu/review/articles/2021/06/03/quantum-technologies-in-defence-security/index.html>.

¹³ Katarzyna Kubiak, “Quantum Technology and Submarine Near-Invulnerability,” European Leadership Network, December 2020, pp. 3-9, <https://www.europeanleadershipnetwork.org/wp-content/uploads/2020/12/Quantum-report.pdf>.

¹⁴ CRS, “Quantum Technology”.

¹⁵ 大内孝子「量子コンピュータとは何か？」『ビジネス+IT』、2018年1月22日、<https://www.sbbt.jp/article/cont1/34458>.

¹⁶ Jayshri, “How Benioff Paul’s Quantum Computing Theory Formed the Foundation of Quantum Computers?” *Your Tech Story*, January 10, 2020, <https://www.yourtechstory.com/2020/01/10/benioff-paul-quantum-computing-theory/>.

¹⁷ “A Brief Introduction to Quantum Computing,” SRI International, 2021, <https://www.sri.com/story/a-brief-introduction-to-quantum-computing/>.

¹⁸ “The Future of Artificial Intelligence and Quantum Computing,” *Military & Aerospace Electronics*, August 23, 2020, <https://www.militaryaerospace.com/computers/article/14182330/future-of-artificial-intelligence-and-quantum-computing>.

¹⁹ CRS, “Quantum Technology”.

²⁰ U.S. Department of Commerce, “Commerce Lists Entities Involved in the Support of PRC Military Quantum Computing Applications, Pakistani Nuclear and Missile Proliferation, and Russia’s Military,” Press Release, November 24, 2021, <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2021/11/commerce-lists-entities-involved-support-prc-military-quantum-computing>.

²¹ 量子鍵配送 (quantum key distribution) とは、送信者が量子ビットによる暗号鍵を生成して送り、伝送途中で傍受やハッキングが行われると受信者がそれを検知できる仕組みである。その場合、傍受された暗号鍵を破棄して新たな鍵を送り、両者が安全な鍵を共有していると確信できて初めて情報のやり取りを行うことで安全性を担保している。Martin Giles, “Explainer: What is Quantum Communication?” *MIT Technology Review*, February 14, 2019, <https://www.technologyreview.com/2019/02/14/103409/what-is-quantum-communications/>.

²² 「中国、天地一体化量子通信ネットワークの建設に成功」国立研究開発法人科学技術振興機構、2021年3月17日、<https://crds.jst.go.jp/dw/20210317/2021031726240/>.

²³ Hamish Johnston, “Beijing and Vienna Have a Quantum Conversation,” *Physics World*, September 27, 2017, <https://physicsworld.com/a/beijing-and-vienna-have-a-quantum-conversation/>.

²⁴ Yu-Ao Chen et al., “An Integrated Space-to-Ground Quantum Communication Network over 4,600 Kilometres,” *Nature*, January 6, 2021, <https://www.nature.com/articles/s41586-020-03093-8>.

²⁵ DSB, *Applications of Quantum Technologies*.

²⁶ Niels Neumann et al., “Quantum Communication for Military Applications,” ArXiv.org, November 10, 2020, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2011/2011.04989.pdf>.

²⁷ “Deep Secret – Secure Submarine Communication on a Quantum Level,” *Naval Technology*, last updated January 30, 2020, <https://www.naval-technology.com/features/featuredeep-secret-secure-submarine-communication-on-a-quantum-level/>.

²⁸ Michal Krelina, “Quantum Technology for Military Applications,” ArXiv.org, November 2, 2021, <https://arxiv.org/pdf/2103.12548.pdf>.

本稿の見解は、防衛研究所を代表するものではありません。無断転載・引用はお断り致しております。
ブリーフィング・メモに関するご意見・ご質問等は、防衛研究所企画部企画調整課までお寄せ下さい。

ご連絡先 : plc-ws1 [] nids. go. jp ([] を@に変更の上、ご送信ください。)

防衛研究所ウェブサイト : <http://www.nids.mod.go.jp/>