

〈3〉 バイオテクノロジーの発展がもたらす 安全保障への影響¹

国立感染症研究所 客員研究員 四ノ宮 成祥
東洋英和女学院大学 国際社会学部 准教授 田中 極子

要旨

本レポートは、近年のバイオテクノロジーの発展に伴い懸念される安全保障上の影響について考察するものである。

まず背景として、1970年代以降の遺伝子改変技術の急速な発展、2000年以降の合成生物学の進化、同時期における遺伝子工学に関連する研究がもたらした技術革新、そして2012年に登場したゲノム編集技術（CRISPR/Cas9）の革新性について概観する。そのうえで、これらの技術がもたらす利点と課題を整理し、特にリスク・ベネフィット分析やバイオセキュリティの観点から、高度な生命科学技術の重要性について論じる。

生命の基本構成要素を理解し、それを再構築・操作する能力は、バイオエコノミーの成長を加速させている。生物に機能を追加・強化する技術や、生物学的プロセスの商業化が進むなかで、バイオテクノロジーは国家の経済安全保障および国際競争力の観点からますます重要性を増している。各国は医療、農業、環境分野への応用をめぐり主導権を争っており、米国、中国、欧州連合（EU）、日本をはじめとする国々は、バイオエコノミーに関する戦略文書を策定して、それを経済安全保障戦略に組み込んでいる。

バイオテクノロジーの発展により、医薬品や農業分野における遺伝子操作の可能性が大きく広がり、健康、産業、環境への影響が飛躍的に拡大している。一方で、遺伝子操作の普及が進むにつれ、意図せぬ有害な生物の放出や、予期せぬ副作用のリスクも高まっている。特にゲノム編集の安全性と信頼性はいまだ技術的に保証されておらず、生命のゲノムレベルでの改変は、ヒトゲノム編集がもたらす影響への懸念を深める要因となっている。この懸念は、バイオテクノロジーと人工知能（AI）の融合が進むにつれ、さらに高まる可能性がある。また、遺伝子編集の拡大が優生学的な慣行を助長する恐れや、遺伝子編集を受けた個体の子孫への影響についても問題視されている。現在、受精したヒト胚のゲノム編集を正式に承認した国は存在しないが、世界各地の研究室では試験的な研究が進められている。

さらに、消費者向け遺伝子検査やゲノム解析サービスの普及が加速している。企業による消費者向け直接販売（DTC）モデルの採用が増えるなか、これらのサービスの多くは医療専門家の関与なしに提供されており、科学的根拠に基づかない判断がなされるリスクが指摘されている。誤診や不適切な使用につながる可能性があるほか、米国では、法執行機関が犯罪捜査において容疑者の特定にDTCゲノムデータを使用したケースがあり、個人情報保護の観

¹ ©2025, The International Institute for Strategic Studies (reproduced with permission).

点から倫理的・法的問題が浮上している。一方で、「公共の利益が個人情報保護の利益を上回る場合がある」という主張もあり、DTCゲノムデータの法執行機関による利用が容認される可能もある。

バイオテクノロジーの発展は、医学、農業、環境管理、産業における革新をもたらす一方で、新たなリスクや倫理的課題を生み出している。特に、合成生物学の発展に伴い、生物兵器の開発など悪意ある目的への利用が懸念されている。さらに、管理された実験室環境であっても、合成された生物が偶発的に漏出するリスクもあり、制御不能な拡散が公衆衛生や環境に深刻な影響を及ぼす可能性がある。このため、合成生物学の進歩に伴い、リスク管理と悪用防止のための国際的な規制枠組みの構築が求められている。

現在、バイオテクノロジーが国際安全保障に及ぼす悪影響を防ぐための多国間の法的枠組みとして、生物兵器禁止条約（BWC）と国連安全保障理事会決議 1540 がある。BWC には 187 カ国が加盟しているが、実効的な検証システムや詳細な監視メカニズムについては合意が得られていない。また、バイオテクノロジーに対する規制の必要性や許容範囲についても、各国の文化や倫理観の違いからコンセンサスが得られていない。このため、世界的に受け入れられるガイドラインの策定は困難を極めている。こうした状況を踏まえ、世界保健機関（WHO）や欧州分子生物学研究所（EMBL）などの国際機関は、ゲノム編集技術の責任ある利用を促進するため、慎重な規制、透明性の確保、継続的な社会的対話の必要性を提唱している。

新興技術の規制における課題は、ガバナンスの範囲を絶えず拡大する必要があることである。バイオテクノロジーの場合、バイオセーフティ、生態系、分配の公正、国家安全保障、気候変動への影響など、複数の懸念領域があるため、ガバナンスの課題は、学際的および多部門的な視点を組み入れ、社会全体のアプローチを構築することである。

1. バイオテクノロジーの進歩

バイオテクノロジーの急速な発展に伴い、その地政学的な影響に対する関心が高まっている。合成生物学の発展は、様々な有機体や物質を人工的に作り

出すことを可能にし、病気の治療、食糧の安定供給、二酸化炭素排出量の削減による気候変動の緩和に貢献することが期待されている。また、ゲノム編集技術の開発は、健康、食糧、気候、エネルギー、サプライチェーンの回復力など、さまざまな分野で人類の生活を大きく向上させている。

それに伴い、いち早く新たなバイオテクノロジーを開発し、それを基に戦略的優位性を獲得する国家間の競争が始まっている。バイオテクノロジーは、人類全体の繁栄と科学的発見に大きく貢献する可能性がある一方で、力のある国々は、新たなバイオテクノロジーとその利用から生まれる市場を、自国の地政学的目標を追求するために戦略的優位性を利用することが想定される。

合成生物学やゲノム編集技術は、安全性が損なわれた場合に意図せぬ破壊的な影響をもたらす可能性があると同時に、意図的に悪用される可能性もある。また、遺伝情報を理解し操作する能力は、効果的な生物兵器製造の開発とそれに対する防衛能力の開発につながり、結果として潜在的にバイオテクノロジーに基づく軍拡競争を招く恐れもある。

過去 20 年で、科学者は遺伝子を理解し、生命の構成要素をゼロから操作し設計する能力を獲得した。これらの進歩により生物学は、単純な現象を観察する科学から、生命を設計する科学へと変貌した。以下のセクションでは、現在利用可能な技術で何が可能かについて、その概要を簡単に説明する。

(1) ゲノミクス

ゲノミクスとは、遺伝子を含む生物の DNA 全体の構造、機能、相互作用を総合的に研究する学問である。この分野の知識は、国際的な取り組みであるヒトゲノム計画（1990 年～2003 年）によって大きく進歩した（参加機関の多くは米国のものであり、米国国立衛生研究所（NIH）が資金提供した）。このプロジェクトは 2003 年までにヒトゲノム配列のほぼ完全な解読に成功した。その後、次世代遺伝子配列解析技術の進歩やコストの低下により、この分野の研究は飛躍的に加速した。これには多くの個人のゲノムデータを編集・分析し、細胞生理学的機能、遺伝形質、疾患感受性との関係を解明する研究が含まれる。

(2) 合成生物学

合成生物学は、従来の生物学、生物工学、電気工学、情報科学を融合した学際的な分野であり、既存の自然の生物学的システムを再設計して、その有用性を高めたり、まったく新しいシステムを創り出したりすることを目的としている。初期の段階から、合成生物学は感染症の研究と密接に関連しており、2002年にはポリオウイルスの完全な人工合成が行われた。2017年に馬痘ウイルスが作られた後、すべてのウイルスを人工合成する技術はすでに実現されていると広く考えられている。

さらに、2008年に科学者たちは世界初の人工細菌ゲノムの全合成に成功した²。生命の基本構成要素についてこれまでにない洞察をもたらしたことから、合成生物学における画期的な進歩である。また、生命維持に最低限必要な機能のみを備えた最小限の合成細胞の開発研究は、創薬、環境修復、工業生産など、さまざまな用途に合わせて特別に設計された生物を作り出すための重要な基盤を提供するものである。

合成生物学は、ゲノミクスや組換え DNA 技術 (rDNA) を基盤として、生物学的システムをゼロから作り出すものであり、従来の遺伝子操作では実現できなかったことを可能にし、その限界を大きく広げている。新たな機能を持つ生物を設計できるようになったことで、医療や農業、環境保全の分野で前例のない利益をもたらす可能性がある。その一方で、この技術は新たな生物兵器の開発など、安全保障上のリスクを引き起こす可能性もある。

(3) ゲノム編集

ゲノム編集は、概念的には組換え DNA 技術が発

達してきた 1970 年代から存在していたが、最も大きな進歩は 1990 年代に始まった。2012 年に CRISPR/Cas9 のメカニズム解析がなされてゲノム編集ツールとして利用できることが明らかとなった。CRISPR/Cas9 は、入手が容易 (研究室向けの比較的 low 価格なツール) で、利便性 (標的 DNA 塩基配列を認識するよう特定させることが容易) に優れていることから、急速に世界中に広まった。CRISPR/Cas9 により、より多くの科学者が生物の DNA を正確かつ特定の箇所を狙って書き換えることができるようになった。CRISPR/Cas9 を用いたゲノム編集技術は、ゲノム DNA にとどまらず、生物の遺伝システム全体に影響を与える可能性のある編集へと拡大し、生物の外見や環境への反応の仕方にも変化をもたらす可能性が指摘されている。

(4) AI との融合

合成生物学と AI の融合により、コンピュータ上で機能ゲノム実験を行うことが可能になり、自然界ではまだ見られない組み合わせについても、遺伝子配列を組み立てる前からその機能が予測できる段階まで研究が進んでいる。特に、タンパク質の立体構造に関する研究が大きく進展しており、タンパク質の構造に合う機能阻害剤や機能促進剤の開発につながる事が期待できる。また、AI 技術の進歩のおかげで、科学者たちは既存のタンパク質の構造データに基づき、新しいタンパク質のより高次の構造を驚くほど正確に予測できるようになった。AI を活用したタンパク質の構造予測技術は、効果的な薬剤の構造を正確に予測し、コスト効率の高い薬剤設計を可能にするため、製薬業界に大きな後押しとなる事が期待されている。

² D.G. Gibson et al., 'Complete Chemical Synthesis, Assembly, and Cloning of a Mycoplasma genitalium Genome', Science, 29 February 2008, pp. 1215–20.