



# 「生物兵器禁止条約と生命科学領域のデュアルユース研究」

防衛医科大学校・分子生体制御学講座 四ノ宮 成祥

本稿は、CISTECにて開催した標記講演について編集したものです。  
安全保障貿易は多角的な視野を持つことが重要だと考えます。  
研究者の最新情報としてお役立てください。

## 要旨

近年の生命科学技術の進歩は、医療及び産業の発展や日常生活への還元など社会に大きな恩恵をもたらしている。しかしその一方で、生物兵器開発やバイオテロにおける使用など悪用の危険性の高まりが憂慮されるようになってきた。また、知識や技術の誤用が環境破壊につながる可能性も指摘されている。このような善悪両用性を内包する研究はデュアルユース研究と呼ばれ、関連製品や先端技術の輸出管理の在り方とも密接に関連している。生物兵器禁止条約は生物・毒素兵器を包括的に禁止する唯一の多国間の法的枠組みであるが、検証手段を有しないこと、科学技術の進歩がもたらす影響を適切に反映できていないこと、生物兵器開発禁止と途上国への技術支援とは潜在的な矛盾があること、など多数の問題点を有する。中でも、デュアルユース研究をどのように取り扱うのかという問題は、避けて通れない重要な主題の一つとなっている。ここでは、生命科学領域におけるデュアルユース研究の現状を紹介し、それらに潜む問題点について考察するとともに、今後あるべき方向性について論議してみたい。

キーワード：生物兵器禁止条約、デュアルユース研究、Finkレポート、合成生物学、輸出管理

## 1 はじめに

民生目的で開発された科学技術は、しばしば軍事へと転用され軍事技術を格段に進歩させている。一方、軍事における必要性から開発された技術が、逆に新たな民生品を生むこともある。前者を軍事への「科学技術の活用・応用」と呼び、後者を「スピノフ」と呼ぶ。過去の長い歴史が物語るように、この両者は相互依存の関係の下に発達してきた。“デュアルユース (dual use)” は、このような軍民両用性のある科学技術の存在を認知し、平和利用や社会福祉を目的として行われた研究が軍事へ転用される場合を想定した用語である。また最近では、意図的な悪用のみならず誤用を含め、生物兵器開発、バイオテロリズムや環境破壊など望まれない方向性を生み出す可能性のある技術・研究成果を指す用語としても使われている。

これまでの主要科学技術を見ると、冶金学、爆発物、内燃機関、航空機、電子工学、核エネルギーなど、全てのものが平和目的だけでなく軍事や敵対目的で開発されてきたことがわかる<sup>1</sup>。特に、近代的戦闘が行われるようになった第一次世界大戦以降の

科学技術革新は目覚ましく、数多くの先端技術が軍事兵器開発に利用された。母国のために自ら進んで、あるいは国際関係の下に否応なくという理由で、一流科学者が大量殺戮兵器の開発に加担してきたというデュアルユースの歴史が存在するのである。例えば、ドイツの化学者Fritz Haber (1868–1934) は、ノーベル賞受賞歴が物語るように当時最先端の化学知識を有していたが、これを塩素ガス、神経ガス、催涙ガス、青酸化合物 (Zyklon B) 等の開発に応用し、化学兵器の開発に主導的立場を發揮した。これらは結局、第一次世界大戦の戦場の場で使用され多くの犠牲者を出したほか、ナチスドイツによる強制収容所での非人道的な使用へと繋がった。また、米国の理論物理学者J. Robert Oppenheimer (1904–1967) はマンハッタン計画を主導し、理論物理学という高度な知識を原子爆弾の製造に結び付けた。その結果は誰もが認識しているとおり、広島及び長崎における被爆を生み、その後の核実験においても多数の被害者を出した。また、核兵器力学による外交は現在の国際関係の中でも重要な位置を占めており、核不拡散の課題は解決されるべき大きな問題として存在し続けている。

科学研究に携わる者は本来、人類の社会福祉に貢献すべく研究を展開し、出来得る限り素晴らしい成果を挙げたいと日々努力している。しかしながら、本人の好むと好まざるとに関わらず、研究成果が悪用・誤用されることがあり、またその可能性を否定できないことは過去の歴史が物語っている。Harvard大学のMeselson教授は、21世紀の主要技術であるバイオテクノロジー分野でも敵対的目的での使用が起きるに違いないことを前提として、「目下のところ、我々は岐路に立たされている。—バイオテクノロジーが、全てのこれまでの技術と同様に敵対目的で集中的に開発されるのか、はたまた我々が叡智を結集して異なる道を選ぶのかを試す時期である…。<sup>1)</sup>」と述べている。すなわち我々は生命科学の健全な発展という命題を、デュアルユースの観点から見直す時期に来ている。

そこで本稿では、生物兵器開発の包括的禁止を定めた生物兵器禁止条約が抱える問題点を生命科学技術の観点から整理し、生命科学研究領域でのデュアルユース研究の現状について考えてみたい。

## 2 生物兵器禁止条約とその問題点<sup>2,3)</sup>

### 一生物兵器不拡散の管理体制

現在の生物兵器不拡散の理念は、3つの重要な条約とそれを支持する管理体制からなっている。その1つがジュネーブ議定書 (1925年) で、戦時下の生物兵器使用禁止を定めたものである。本議定書は、元々は第一次世界大戦での化学兵器の使用を受けての交渉から始まったが、ポーランド代表団が生物兵器の危険性と入手の容易性を主張し、禁止は生物兵器にまで広げるべきと提案した。そこで、ほとんど全世界の支持を得て保有物の撤去から使用の禁止へと内容が強化された。本議定書は早期の協定を確立したが、現在の基準では非常に単純な国際的同意に留まっている。これを補強するのが生物兵器禁止条約 (1975年) で、生物兵器の保有のみならず開発など、禁止する範囲をさらに広げたものである。また、化学兵器禁止条約 (1997年) はその対象として生物毒素を含み、生物兵器不拡散を側面から支援するものとなっている。これら3つの重要な条約の制定を受けて、それをより実効力のあるものにしてゆく仕組みがThe 'Web of Prevention' (予防の包囲網) である。関連する国内法や規制の追加がこれに当たる。

### 一生物兵器禁止条約の概要

生物兵器禁止条約 (Biological and Toxin Weapons Convention: BTWC) は、生物・毒素兵器を包括的に禁止する唯一の多国間の法的枠組みで、15条の条文からなる。生物兵器の開発、生産、貯蔵、取得、保有を禁止するとともに (第1条)、既に生物兵器を保有している場合にはその廃棄を目的とする。2009年現在の締約国数は163か国で、我が国は1972

<sup>1)</sup> Meselson M. Averting the hostile exploitation of biotechnology. CBW Conventions Bulletin. 2000;48:16-9.

<sup>2)</sup> Dando M. Bioterror and Biowarfare: a beginner's guide. Oxford: Oneworld; 2006.

<sup>3)</sup> National Defense Medical College, the University of Bradford, Landau Network-Centro Volta. Dual-Use Education Module Resource. In: Minehata M, editor. Dual-UseBioethicsnet. Bradford: University of Bradford; 2009. (<http://www.brad.ac.uk/acad/sbtwc/dube/resource/index.html>)

表1 生物兵器禁止条約において締約国が負う責務

生物兵器禁止条約 (条項)	責務(要約)
第1条(禁止事項)	いかなる場合にも、開発せず、生産せず、貯蔵せず、取得せず、保有しない
第2条(廃棄・転用)	9箇月以内に破棄又は平和的目的のために転用する
第3条(不拡散)	移譲しない、援助、奨励又は勧誘を行わない
第4条 (実施措置の確保)	自国の憲法上の手続に従い、防止するために必要な措置をとる
第5条 (相互の協議と協力)	国際連合の枠内で、生ずる問題の解決に当たって相互に協議し及び協力する
第6条 (安保理への苦情申立)	苦情の申立てに基づき国際連合憲章に従って行う調査に対し協力する
第7条(援助、支援)	違反によりいずれかの締約国が危険にさらされているときは、援助又は支援を行う
第9条(交渉)	化学兵器禁止条約の措置の早期の合意に達するため、誠実に交渉を継続する
第10条(国際協力)	平和的目的のための装置、資材並びに科学的及び技術的情報を可能な最大限度まで交換することを容易にすることを約束、経済的若しくは技術的發展又は細菌学(生物学)の平和的利用に関する国際協力を妨げない

年4月10日(署名開放日)に署名、1982年6月8日に批准した。本条約において締約国が負う責務は表1に要約したとおりである。第1条に中心となる禁止事項があり、第2条の廃棄・転用、第3条の不拡散など生物兵器破棄の中心的義務が規定されている。また、第4、第5、第6、第7条には効果的な検証のための代替手段が述べられている。しかしながら、第3条で規定している材料・技術不拡散の考え方と第10条にある正当な目的での開発の可能性の間には潜在的矛盾が存在する。日進月歩の科学技術変化が本条約に及ぼす影響は重要であり、国際協力の名目のもと安易に技術情報が移転されると、第3条の理念である不拡散の目的を達することはできない。一方、不拡散が不当に誇張されすぎても、途上国支援や経済発展はうまく進まない。

#### 一生物兵器禁止条約に影響を与えた因子

生物兵器禁止条約の実効性や在り方に種々の因子が影響を与えてきた。その一つが、脅威の認識である。イラク、南アフリカ、ソ連は、生物兵器禁止条約締約国であるにもかかわらず、攻撃的生物兵器の開発を行っていた。イラクのフセイン政権は署名批准を遅らせて生物兵器開発計画を保有し、1980年代の長期戦争ではジュネーブ議定書に反し化学兵器を用いてイランを攻撃した。南アフリカは、反体制派の民衆制御や暗殺を目的に新規の兵器を開発、産生していた。その手法はアパルトヘイト施策に基づいた、生物剤入りの食品開発や黒人女性を対象とした不妊ワクチンなどであったとされる。また、ソ連は

生物兵器禁止条約の主管国であったにもかかわらず、20世紀最大の攻撃的生物兵器開発計画を実施していた。計画は1973年にソビエト共産党中央委員会の決定により大幅に拡大され1992年まで実施された。1979年4月にスベルドロフスク市(現在のイェカテリンバーグ)の軍事工場周辺で起きた集団吸入炭疽発生事例はあまりにも有名である。1990年代初頭まではこのような国家主体の開発の流れが憂慮の中心であったが、地下鉄サリン事件や米国炭疽菌郵送テロ事件などが起きるに至って、テロリストという統制困難な対象を相手にする必要が出てきた。

第二は、冷戦終結に伴い武力制御の手法も変化せざるを得なくなったことである。冷戦終結後の信頼醸成措置が必要になったばかりでなく、テロ時代に突入しテロ防止を促進するための制度化や国内対策が求められるようになってきている。

このような中、悪用・誤用と関連し貿易管理にも影響を及ぼす科学技術の変化は、生物兵器禁止条約に影響を及ぼす重要な因子となってきているのである。

#### 一生物兵器禁止条約の体制

生物兵器禁止条約は、遵守、発展、永続性/制度化、研究など重要ないくつかの体制の下にその仕組みが支持されている。しかし、これらの体制は不均一に形作られてきており、相互に補完できない部分が存在する。また、研究についての体制と科学技術の進歩との間には乖離がみられ、今後入念な整備が必要とされる。

中でも、生物兵器禁止条約における最大の欠点とされるのが、有効な検証の枠組みの欠落である。核兵器不拡散条約や化学兵器禁止条約では検証メカニズムが示されているが、本条約では遵守は飽くまでも義務に留まっている。本条約の第1～第3条に遵守義務が規定されており、第4～第7条には検証のための代替手段が述べられているが、遵守と検証は異なる概念である。このように初期の検証制度には不備があるため、信頼醸成措置（Confidence-Building Measures: CBM）に代表されるような他の方策が付加されてきた。信頼醸成措置は条約上の義務ではないが、1986年に合意し、第3回運用検討会議（1991年）の最終宣言及び国連総会決議に基づく措置として強化が図られた。締約国は国連軍縮局に対する年次申告義務として、自国内にある高度バイオセーフティー研究施設に関する資料の交換、通常傾向から外れる感染症の発生状況の情報交換、本条約に直接関与する生物学研究の結果についての一般の科学雑誌への出版の奨励、締約国相互の合意に基づいた共同研究を含めて条約に直接的に関係する生物学研究を行う科学者間の交流の積極的な推進などが求められている。

本条約の永続性／制度化を保証するのは、第12条で規定されている5年毎の運用検討会議である。運

用検討会議の主旨は、条約の目的実現と条約規定の順守を確保するよう条約の運用を検討することにあるが、その際に「条約に関連するすべての科学及び技術の進歩を考慮する」ことが明記されている。その一方で、第1条の条文（禁止事項）では研究に関することは何も触れられていない。条約発効当初は、研究に関して楽観的な見解が多数を占めていた。しかしながら、組換えDNA技術が急速に進歩するに至り、1991年の第3回運用検討会議では研究が懸念材料になりうるとの指摘がなされるようになった。すなわち、「防疫の目的、身体防護の目的その他の平和的目的による正当化ができないようなヒト、動物、植物に有害な微生物もしくは毒素を大気中に放出する実験は第1条の約束に矛盾する」と言明されたのである。しかし、研究がどの段階で禁止活動の境界線を越えるのかということを決めるのは容易なことではない。第4回運用検討会議（1996年）では、科学技術の誤用の可能性（デュアルユース性）が取り上げられるようになった。デュアルユース研究についての懸念はさらに大きな問題となり、第5回運用検討会議（2001年）では表2に挙げるような科学技術に関するトピックスが討議された。ここで指摘しておきたいのは、このような科学技術のトピックスが通常の医学・生命科学研究や農

表2 第5回運用検討会議（2001）で討議された科学技術に関するトピックス

研究分野	科学技術のトピックス
医学分野 生命科学分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Genomics and proteomics (遺伝学、タンパク学)</li> <li>• Bioinformatics (バイオインフォマティクス: 生物情報科学)</li> <li>• Human Genome Project and human diversity (ヒトゲノムプロジェクト、ヒトの多様性)</li> <li>• Gene therapy (遺伝子治療)</li> <li>• Virulence and pathogenicity (毒力と病原性)</li> <li>• Vaccines and novel therapies (ワクチンと新規治療法)</li> <li>• Recombinant protein expression (組換えタンパク発現)</li> <li>• Toxins and other bioactive molecules (毒素、その他の生物活性分子)</li> <li>• Human infectious disease patterns (ヒト感染症のパターン)</li> <li>• Smallpox destruction (天然痘ウイルスの破壊)</li> <li>• Drug resistance (薬剤抵抗性)</li> </ul>
農学分野 環境科学分野	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disease in agriculture (農業領域における疾患)</li> <li>• Pest control in agriculture (農業における有害動物駆除)</li> <li>• Molecular biology applications and crops (分子生物学的応用と作物)</li> <li>• Trends in protein production technologies (タンパク産生技術の動向)</li> <li>• Means of delivery of agents or toxins (微生物や毒素の運搬法)</li> <li>• Use of pathogens to control weeds and "criminal" crops (雑草や有害作物を制御するための病原体使用)</li> <li>• Bioremediation: the destruction of material (生物学的治療: 物質の破壊)</li> </ul>

学・環境科学研究において正当な研究として全く普通に行われているものばかりであるという点である。ここにデュアルユース研究に対する対処の困難さが見て取れる。

### 一条約強化に向けた試み

これまでに述べたように、生物兵器禁止条約は条約遵守を検証する手段に関する規定が不十分である。そこで、条約を如何に強化するかが課題として取り上げられてきた。第3回運用検討会議（1991年）では専門家会合が設けられ、強化手段について検討がなされた。また、締約国特別会議（1994年）において「検証措置を含めた新たな法的枠組み（検証議定書）」を検討することが決定された。検証議定書作成の努力は2001年まで続けられたが、2001年夏になって米国は議定書作成に反対の立場を表明した。「検証という手法は生物兵器禁止条約強化のために有効ではない」という理由からであった。特に問題点として、(1)安全保障上や商業上の秘密が晒されるリスクを負う、(2)先進国の平和目的の関連施設が過度な負担を負う、(3)平和目的の施設と生物兵器関連施設とを区別することが極めて困難、(4)既存の輸出管理レジーム（オーストラリアグループ）が骨抜きになる、と主張したのである。第5回運用検討会議（2001年11月）は紛糾し、結局、検証議定書の交渉は具体的な成果を得ないまま中断した。

2002年11月に再開された第5回運用検討会議では、2001年秋の米国における炭疽菌事件以降の生物テロの脅威の高まりを受けて、第6回運用検討会議（2006年）に向けて、毎年、締約国会合及びその準備のための専門家会合をジュネーブで開催することが決定された。そして、条約の強化に関する下記の5分野について、順次検討し、共通の理解と実効的な措置を3か年作業計画で促進していくことになった（表3参照）。

さらに、第6回運用検討会議（2006年）では、(1)専門家会合と締約国会合を第7回運用検討会議（2011年）まで毎年開催する、(2)条約の実施及び強化のために必要な方策について議論する、(3)事務局機能を有する履行支援ユニット（Implementation Support Unit: ISU, URL: <http://www.unog.org>

表3 条約強化に関する5分野

		実施年
1	条約の禁止事項を実施するための国内措置	2003年
2	病原体・毒素の保安管理・管理体制を確立・維持するための国内措置（バイオセキュリティ）	2003年
3	生物兵器の使用の疑惑及び疑義のある疾病の発生に対処し、調査・被害の緩和を行うための国際的対応能力の強化（危機対処）	2004年
4	感染症の監視・探知・診断に対処するための国内・国際的努力の強化（感染症サーベイランス）	2004年
5	科学者のための行動規範	2005年

[ch/80256EE600585943/\(httpPages\)/16C37624830EDAE5C12572BC0044DFC1?OpenDocument](http://ch/80256EE600585943/(httpPages)/16C37624830EDAE5C12572BC0044DFC1?OpenDocument)) の設置や信頼醸成措置（Confidence-Building Measures: CBM）提出の合理化を行う、ことなどが決定された。これを受けて、2007～2010年の会期間活動（Intersessional Process）として表4のようなトピックスが検討されてきている。

表4 2011年までの年次会合で議論するトピックス

	トピックス	実施年
1	国内法制度・機関の強化と法執行機関間の連携を含む、国内実施の強化手段	2007年
2	BTWC履行の地域的協力	2007年
3	病原体・毒素の実験室レベルでの安全を含む、バイオセーフティ・バイオセキュリティ向上のための国内的・地域的及び国際的な措置	2008年
4	条約禁止目的に利用されうるバイオ科学技術の悪用を予防するための、監視、教育、意識向上及び行動規範	2008年
5	平和目的の生物学的科学技術の国際協力の向上のための、疾病サーベイランス、検知、診断及び封じ込め等の分野におけるキャンペーン・ビルディングの促進	2009年
6	疾病サーベイランス、検知、診断及び公衆保健システムの国内能力向上を含む、生物・毒素兵器の使用疑惑に際した支援の提供と関係機関との連携	2010年

## 3 デュアルユース研究の現状

### 一 生命科学領域におけるデュアルユース問題化の兆し

1990年代に入り、いくつかの研究論文に対してバイオセキュリティー上の観点から疑問が投げかけられた。例えば、Borzenkovらによる野兎病菌へのβ-エンドルフィン遺伝子組み込みの研究<sup>4</sup>は、生物剤とバイオレギュレーターとを組み合わせた新たな兵器

<sup>4</sup>Borzenkov VM, Pomerantsev AP, Ashmarin IP. [The additive synthesis of a regulatory peptide in vivo: the administration of a vaccinal Francisella tularensis strain that produces beta-endorphin]. Biull Eksp Biol Med. 1993 Aug;116(8):151-3.

化の可能性を想起させた。また、Pomerantsevらによる炭疽菌ワクチンへの溶血毒素の組み込み実験<sup>5</sup>は、あたかも「炭疽菌ワクチン株の改良」といったタイトルに見えるが、実は遺伝子操作による炭疽菌ワクチンの無効化と読み取ることができる。このような、“いわゆる灰色領域の論文”の出現は、生命科学領域においてもデュアルユース問題が顕在化する前兆を示していた。

このような中、デュアルユース問題論議を誘発する決定的な論文<sup>6</sup>が2001年に発表された。この論文は、オーストラリアの研究チームによって、マウスの避妊ワクチンとして作り出されたウイルスが、免疫系へ影響を与えて強い致死効果を表したというもので、科学者向けの雑誌New Scientistに“Disaster in the making”としてセンセーショナルに取り上げられたほか、New York Timesに“Modified Mouse Virus Sounds Bio-Warfare Alarm / Similar process in humans could be deadly”という見出しで紹介された。マウスポックスウイルスの遺伝子操作で得られた結果を、そっくりそのままヒトの天然痘ウイルスに応用すれば殺人ウイルスができるかもしれないという危惧が持ち上がったのである。本研究が示したデュアルユース上の観点からの問題点は、表5の6点に集約される。

表5 マウスポックスウイルスの論文が示したデュアルユース上の観点からの問題点

	本論文での事例/内容	指摘される問題点
1	抗体産生向上を目的としてIL-4遺伝子を組み込んだウイルスが、思いもよらず細胞性免疫をほぼ完全に抑制してしまった。	研究者の予想外の産物
2	直接免疫応答に関わる遺伝子を操作して新たな病原性ウイルスを作り出すことができる一例を示した。	類似の考え方による他の遺伝子操作ウイルス作成の可能性
3	ウイルスに対して獲得免疫を有する個体に対しても、強い免疫抑制効果を発揮した。	現在行っているワクチンプログラムに対する警鐘
4	癌やその他の疾患に対する新規ワクチン治療研究が思わぬ副産物(殺人ウイルス等)を作り出す可能性がある。	新規研究が有害ウイルスの産生に拍車をかける?
5	研究成果を医学誌に自由に出版でき、誰でもがそれを読める。	情報の安易な流出
6	基本的知識があれば簡単な遺伝子操作によって、誰もが新規ウイルスを作成できる。	作成の容易性: さほど高度な専門知識・技術、設備を必要としない

<sup>5</sup>Pomerantsev AP, Staritsin NA, Mockov Yu V, Marinin LI. Expression of cereolysine AB genes in Bacillus anthracis vaccine strain ensures protection against experimental hemolytic anthrax infection. Vaccine. 1997 Dec;15 (17-18) :1846-50.

<sup>6</sup>Jackson RJ, Ramsay AJ, Christensen CD, Beaton S, Hall DF, Ramshaw IA. Expression of mouse interleukin-4 by a recombinant ectromelia virus suppresses cytolytic lymphocyte responses and overcomes genetic resistance to mousepox. J Virol. 2001 Feb;75(3):1205-10.

<sup>7</sup>Committee on Research Standards and Practices to Prevent the Destructive Application of Biotechnology National Research Council. Biotechnology Research in an Age of Terrorism. Washington D.C.: The National Academies Press; 2004.

<sup>8</sup>Cello J, Paul AV, Wimmer E. Chemical synthesis of poliovirus cDNA: generation of infectious virus in the absence of natural template. Science. 2002 Aug 9;297 (5583) :1016-8.

<sup>9</sup>Rosengard AM, Liu Y, Nie Z, Jimenez R. Variola virus immune evasion design: expression of a highly efficient inhibitor of human complement. Proc Natl Acad Sci U S A. 2002 Jun 25;99(13):8808-13.

## —Finkレポート

21世紀に入って、次々とデュアルユース性のある論文が発表される現状を見た米国科学アカデミー(National Academy of Sciences)は、2004年に「Biotechnology Research in an Age of Terrorism」と題したレポート<sup>7</sup>をまとめた。このレポートは、National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, Institute of Medicine, National Research Councilが共同でまとめたもので、Gerald Fink博士が議長を務めたことから通称「Finkレポート」とよばれる。その骨子は、「分子生物学や遺伝学の進歩は、農学分野の進歩を生みだし、医学の実践に革命をもたらした。しかしその一方で、我々社会に恩恵をもたらしたこれらの技術が、次世代の生物兵器を生み出すために使用されるという潜在的な危険性も有する。」というもので、「“dual use” dilemma」という言葉を用いて問題を提起している。

Finkレポートは、デュアルユースの懸念がある研究として、先のマウスポックスの論文<sup>6</sup>のほか、ポリオウイルスの完全人工化学合成の論文(後述)<sup>8</sup>、痘瘡ウイルスの病原性解析の論文<sup>9</sup>の3つを名指しして、その問題性を指摘した。また、表6にある7項目の研究を「問題となる研究カテゴリー」として挙げた。これらはいずれも生物兵器の凶悪化に関係する研究であり、研究を計画する際にはその必要性や正当性が考慮されるべきである。また、研究実施過程での透明性も求められる。

その一方で7つの提言(表7参照)を行い、デュアルユース問題についての今後の方向性を示した。この提言に従ってNational Science Advisory Board for Biosecurity (NSABB)が組織化された。NSABBでは、何がデュアルユース研究であるのかを認識するための基準の作成、デュアルユース研究を監督するための国家的ガイドラインの策定、新規

表6 問題となる研究カテゴリー (Fink 7分類)

Finkレポートで示された問題の研究カテゴリー	
1	ワクチンの無効化
2	有用抗菌剤等への耐性獲得
3	微生物の毒性増強
4	病原体の伝染性増強
5	病原体の宿主変更
6	病原体の検知抵抗性
7	病原体や毒素の兵器化

表7 Finkレポートの7つの提言

提言の内容	
1	Educating the Scientific Community (科学界の教育)
2	Review of Plans for Experiments (研究計画の審査)
3	Review at the Publication Stage (出版段階での審査)
4	Creation of a National Science Advisory Board for Biosecurity (NSABBの設置)
5	Additional Elements for Protection Against Misuse (誤用・悪用防止に関する付加的要素)
6	A Role for the Life Sciences in Efforts to Prevent Bioterrorism and Biowarefare (生物テロ・生物兵器防止のための努力における生命科学が果たす役割)
7	Harmonized International Oversight (調和のとれた国際的監視)

に発生した実験内容や科学技術に対して監督する方策などが検討されている。また、バイオセキュリティ教育・訓練プログラムの作成、科学者の行動規範、デュアルユースに関係する研究方法及び研究成果の伝達や普及についてのガイドライン、国際協調によるデュアルユース研究監督の方法なども議論されている。

### —合成生物学 (Synthetic biology) 時代の到来

2002年、Science誌に発表されたポリオウイルス完全人工合成の論文<sup>8</sup>は、衝撃を持って受け止められた。本格的な合成生物学の幕開けを意味するこの論文は、ウイルスの遺伝子をコードしている鋳型の核酸の断片を使用することなく、遺伝情報のみを元にした全くの完全化学合成されたヌクレオチドを繋ぎ合わせたDNAから感染性のポリオウイルス粒子の作成に成功したのである。本研究は、「間違いなく病原微生物を人工的に合成したということであり、生物学的安全性 (バイオセイフティー)、生命

倫理、テロ防止などの観点から問題点が持ち上がった」と論評された<sup>10</sup>。

合成生物学は、「実際には自然界に存在しない生物構成要素や生物系を設計し製造する」という流れの研究と、「現存する生物系を再設計し製造する」という2つの方向性を持った研究領域である。その概念は1980年代からあったが、バイオテクノロジー技術の急速な進歩・発展に伴い現実の技術へと成熟してきた。ポリオウイルス完全人工合成が意味するところは、どのウイルスでもその気になれば遺伝情報のみから作成可能であるということである。我々はこれまで、病原体の管理を厳格に行うことでその拡散を防止する枠組み (バイオセイフティー・バイオセキュリティによる病原体管理) を作ってきた。しかし、遺伝情報のみからウイルスを作成することが可能となった今では、病原体自体を管理するだけではその拡散が防げなくなったことを意味する。また、このような技術が悪用・誤用された場合には、現有のワクチンプログラムの有効性を脅かすことにもなりかねない。更には、デュアルユースという危険性ゆえに病原体の遺伝情報そのものが規制の対象となるということも想定しなければならなくなった。これは、科学の自由や産業の健全な発展にとって大きな妨げになる。

合成生物学、逆遺伝学 (reverse genetics) の技術は、1918年型スペイン風邪 (インフルエンザ) ウイルスの解析にも重要な進歩をもたらした。Tumpeyらは、世界中のどの研究室も保有していなかった1918年型スペイン風邪ウイルスの作製に成功したのである<sup>11</sup>。本研究は、インフルエンザがウイルス疾患であることすら知られていなかった時代 (1918年当時) の病原微生物を再現して研究できるという可能性を示した点で非常に優れているが、その一方で不用意なウイルス作製は新たなパンデミックの火種になる可能性があるという憂慮の意見も刺激した。本研究論文において特筆すべき事項は、その文末に” Note added in proof” として次のような記載が追記されていたことである。

<sup>10</sup>Josefson D. Scientists manage to manufacture polio virus. Bmj. 2002 Jul 20;325 (7356) :122.

<sup>11</sup>Tumpey TM, Basler CF, Aguilar PV, Zeng H, Solorzano A, Swaney DE, et al. Characterization of the reconstructed 1918 Spanish influenza pandemic virus. Science. 2005 Oct 7;310 (5745) :77-80.

This research was done by staff taking antiviral prophylaxis and using stringent biosafety precautions to protect the researchers, the environment, and the public. The fundamental purpose of this work was to provide information critical to protect public health and to develop measures effective against future influenza pandemics.

[和訳]本研究は、抗ウイルス予防薬を服用した研究員により行われ、研究者自身、環境、公衆を保護するためバイオセーフティー上の厳格な注意が払われた。本研究の根本的な目的は、将来のインフルエンザ流行に対して公衆衛生を保護し効果的な方策を開発するために重要な情報を提供することであった。

このことは、ピア・レビュー（学術査読）の他にバイオセキュリティ・レビュー（セキュリティの観点からの査読）があったことを示唆しており、出版前に内部でこのような議論があったことが窺われる。

2002年のポリオウイルス完全人工合成以来、合成生物学は急速に進展してきている。2003年にはφX174バクテリオファージを用いて人工合成の効率的な方法の開発が示され<sup>12</sup>、2005年には前述したように1918年型スペイン風邪ウイルスの作製が報告されている<sup>11,13</sup>。合成生物学の研究範囲はウイルスに留まらず、細菌もその対象となっている。2008年にはマイコプラズマゲノムの完全人工合成に成功している<sup>14</sup>ほか、2010年には遂に完全人工合成ゲノムを利用したマイコプラズマの菌体自体の作製も報告された<sup>15</sup>。細菌の場合、ウイルスと異なり100%人工合成ではないが、その技術は着実に進歩している。

#### —Fink 7分類に入らないデュアルユース研究

病原体自体に直接手を加える研究手法（Fink 7分類、表6参照）とは異なり、疫学シミュレーションをベースとした研究でもデュアルユース性が問題となる場合がある。その一つとして、ボツリヌス毒

素を牛乳に混入した生物テロを想定してその被害予測を行ったWeinらの研究<sup>16</sup>は、大きな反響を呼んだ。彼らは、農場から消費者までの牛乳の製造・販売ルートを検索し、どのタイミングで毒素を混入するのが最も効率良いテロとなるのかを予測した。また、混入毒素量とそれがもたらす被害状況の関係についてシミュレーションを行った。このような類の研究は、テロ防止のための対策に資すると考えられる一方で、テロリストに有効なテロ実施方法を指南しているとも受け取られかねない。

近年では、脳科学の進歩によるヒトの脳の働きの制御など、デュアルユース研究の領域は更に広く考えられるようになった。このような、多様なデュアルユース研究が問題となってきた中、脅威の範囲をもっと広く捉え将来への対処を柔軟に考える必要があるとして、Lemon-Relmanレポート（2006）<sup>17</sup>がまとめられた。その提言の骨子は表8のとおりである。

従来のデュアルユース研究の概念は、①潜在的に高い生物学的脅威を有する微生物を用いての研究、②微生物の有害性を高めるような研究、③有害性に対し宿主の感受性を増強させる可能性のある研究、④技術化を可能にするもしくは情報を促進させ

表8 Lemon-Relmanレポートの提言（2006）

	提言の内容
1	Endorses and affirms policies and practices that, to the maximum extent possible, promote the free and open exchange of information in the life sciences. (最大限に自由で開放的な生命科学の情報交換を支持するための政策や実践)
2	Adopting a broader perspective on the "threat spectrum." (「脅威の範囲」をもっと広い視点から捉える)
3	Strengthening and enhancing the scientific and technical expertise within and across the security communities. (安全保障に関わる人々の中での科学技術に関する高度専門知識を高める)
4	The adoption and promotion of a common culture of awareness and a shared sense of responsibility within the global community of life scientists. (生命科学の世界規模の集団の中で意識啓発及び責任感の醸成と促進を図る)
5	Strengthening the public health infrastructure and existing response and recovery capabilities. (公衆衛生の基盤構造及び既存の応答・回復能力を強化する)

<sup>12</sup>Smith HO, Hutchison CA, 3rd, Pfannkoch C, Venter JC. Generating a synthetic genome by whole genome assembly: phiX174 bacteriophage from synthetic oligonucleotides. Proc Natl Acad Sci U S A. 2003 Dec 23;100 (26) :15440-5.

<sup>13</sup>Taubenberger JK, Reid AH, Lourens RM, Wang R, Jin G, Fanning TG. Characterization of the 1918 influenza virus polymerase genes. Nature. 2005 Oct 6;437 (7060) :889-93.

<sup>14</sup>Gibson DG, Benders GA, Andrews-Pfannkoch C, Denisova EA, Baden-Tillson H, Zaveri J, et al. Complete chemical synthesis, assembly, and cloning of a Mycoplasma genitalium genome. Science. 2008 Feb 29;319 (5867) :1215-20.

<sup>15</sup>Gibson DG, Glass JI, Lartigue C, Noskov VN, Chuang RY, Algire MA, et al. Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome. Science. 2010 May 20.

<sup>16</sup>Wein LM, Liu Y. Analyzing a bioterror attack on the food supply: the case of botulinum toxin in milk. Proc Natl Acad Sci U S A. 2005 Jul 12;102 (28) :9984-9.

<sup>17</sup>Committee on Advances in Technology and the Prevention of Their Application to Next Generation Biowarfare Threats NAOs. Globalization, Biosecurity, and the Future of the Life Sciences. Stanley M. Lemon Co-chair, David A. Relman, Co-chair, editor: National Academy of Sciences; 2006.



る研究、と考えられていた。しかし、今後はこれらをもっと広く捉え、「研究内容の誤用・悪用が公衆衛生や国家安全保障に対し生物学的脅威を与えるもの」として対処する必要があるように思われる。

## 4 今後のあるべき方向性

我々は、生命科学系教育機関のバイオセキュリティ／デュアルユース教育の現状について、日本及びEU諸国で比較調査を行ってきた<sup>18,19,20</sup>。その結果、日本及びEU諸国いずれにおいても、生命科学者に対するバイオセキュリティ／デュアルユース教育機会は非常に限られており、科学者自体がデュアルユース研究の現状やそれがもたらす将来にわたる懸念について十分に理解できているとは言えないことが明らかとなった。また、多くの研究者が共通に持つ考え方は、「過去のテロ事例は、遺伝子操作などデュアルユース性を含む複雑なものではない。」といったものや、「バイオ技術悪用の問題は差

し迫った問題ではない。」などの認識であることも分かっている。

このような現状を踏まえ、生命科学の健全な発展を阻害することなくデュアルユース問題を考えて行くには、生命科学者自らが生物兵器禁止条約やデュアルユースの現状を良く知ることから始める必要がある。これを助けるため我々は、Bradford大学と共同で教育モジュールを開発し、自由に使用できる教材としてweb上に公開している<sup>3</sup>。

「バイオセキュリティは煩わしく、非生産的で、制限的で、なおかつ侮辱的<sup>21</sup>」という考えから脱却して理解を深めるとともに、結果責任を一方的に科学者に押し付けるのではなく、科学者とそれ以外の社会当事者で「科学の進歩に伴うデュアルユース上の責任は社会全体の責任である」という共通認識を持つ必要がある。デュアルユース研究問題は、研究の自由及び健全な発展のみならず、貿易管理や産業の振興とも密接にかかわる問題である。数多くのステークホルダーが情報を共有しつつ議論を進めることが重要であろう。

<sup>18</sup>Shinomiya N. Dual-use issues and education for life scientists. International Conference on Emerging and Disruptive Technologies; 2009; 103-118, Singapore.

<sup>19</sup>Mancini G, Revill J. Fostering the Biosecurity Norm: Biosecurity Education for the Next Generation of Life Scientists. IWG - LNCV Biological Workshop and Round Table on Fostering the Biosecurity Norm: An Educational Module for Life Sciences Students; Como, Italy: Como, Italy and Bradford, UK: Landau Network-Centro Volta and the University of Bradford; 2008.

<sup>20</sup>Minehata M, Shinomiya N. Japan: Obstacles, Lessons and Future. In: Rappert B, editor. Education and Ethics in the Life Sciences: strengthening the prohibition of biological weapons. Canberra: ANU E Press; 2010. p. 93-114.

<sup>21</sup>Salerno R. Biosecurity Methodology. Albuquerque: Sandia National Laboratories; 2004 Contract No. Sandia. Rep. SAND2004-2109.