

2. 先進生命科学技術がもたらすデュアルユース問題 四ノ宮成祥

1) 生物戦脅威におけるバイオテクノロジーのインパクト

まず、生命科学のデュアルユース性についてお話します。

生命科学技術の適切な利用法ということで、バイオ産業を含む様々な産業の振興、社会福祉の向上、医療技術の向上が大きな目安となっているところです。一方、まったく同じ技術ですが、意図的な悪用、あるいは意図しなくても誤用されるというシチュエーションの中で、生物兵器の開発もあるとか、バイオテロリズムに利用されているとか、あるいは偶発的に環境破壊してしまうことがあります。このような一つの技術の利用の両義性をデュアルユースと呼んでいます。これがどのようなところに関わってきているかということ、研究者、医学者たちが一生懸命医療のため、社会のためと考えていることが、悪用される可能性があるものにつながる可能性があるという、我々学者にとっては非常に悩ましいことです。

生物兵器禁止条約が発効したのが 1975 年ですが、その当時の戦略は「伝統的生物剤」と言いまして、「危険性の高い、病原性の高い微生物あるいは毒素というものを直接利用して兵器化する」という考え方でした。今考えられている生物兵器というのは、1975 年当時と比べると大分様相が変わってきており、バイオテクノロジーの進歩によって 1990 年代に入ると遺伝子を組換えた伝統的生物剤を使った兵器というふうになってきました。さらに 2000 年以降、もっと新しい技術が出てきて、今日お話しする例えば合成生物学／ゲノム編集技術を考えていく方向にあります。

時代は 1990 年代に戻りますが、組換え DNA 技術を利用した新たな生物剤のお話をします。まず、生物兵器の禁止という観点からこれは問題があるのですが、病原性の高い野兎病菌ヤトビョウキンの中に遺伝子組換えでβエンドルフィンというホルモンのような物質を組み込みます。これに感染した場合、感染症ではあるが、ホルモンの作用が前面に出るため症状的には精神病のような症状（緊張病）が出てきます。これは、今までの感染症の概念をちょっと変えた新しい兵器開発につながります。さらに、炭疽菌は独自の毒素は持っていますが、赤血球を壊す溶血毒素は持っていない。この炭疽菌ワクチン株に溶血毒素を組み込む。何を目的にこんなことをしたかということ、炭疽菌が他の菌から偶発的に毒素を獲得した場合を想定しています。そして、この菌に対してワクチンをつくります。ある意味言い訳的なコンセプトですが、…。これを生物兵器という点から考えてみると、「遺伝子改変炭疽菌（既存の炭疽菌ワクチン無効化のため）とそれに対するワクチンをセットで開発して兵器化できる」とも読み取れます。すなわち、既存の炭疽菌に今までにない新しい赤血球を壊す毒素を挿入する。それとプラスそのワクチンを作る。開発した側は、危険な兵器とワクチンをペアで作れます。逆にこれを生物兵器として使われた側は、遺伝子が改変されていて病原菌を同定するのに時間がかかる。また、それに対するワクチンも持っていない。このようなタイプの研究というのは研究自体に問題があるという議論が出てきました。

さらに、新しい生物剤の開発に繋がりにくい技術である 2001 年ポックスウイルス遺伝子改変実験があります。オーストラリアの研究グループが行った実験で、マウスにまず、ワクチンを接種してワクチンによる免疫を獲得させておきます。そのマウスにウイルスを感染させると、通常のウイルス感染の場合にはワクチン免疫があるので生存します。しかし、遺伝子改変ウイルスを接種すると、免疫を持っているマウスであっても死んでしまい、ワクチンの効果が発揮されません。この実験が、「ワクチンの無効化技術」ということで大きな問題となりました。そもそもの実験目的は、「農作物に被害を与えるげっ歯類を減らすため、避妊ワクチンのようなものをつくってバースコントロー

ルすること」でした。その技術的方法として、比較的病原性の弱いマウスポックスウイルスを使って遺伝子操作することにしました。研究の入り口、その目的や使用材料の正当性は理解できるものでしたが、その結果は、出来上がったものは非常に強い毒性を持ったもので既存のワクチンが無効になってしまう技術でした。さらに輪をかけて問題になったのは、もし、ヒト天然痘ウイルスに同じような技術で意図的に改変を加えたら殺人ウイルスが作られるのではないか、ということでした。

その当時、科学者向け雑誌『ニューサイエンティスト誌』に“Disaster in the making”ということで、この実験に対する批判が掲載されました。また、『ニューヨークタイムズ紙』では、生物兵器につながるのではないかという記事が掲載されました。さらに天然痘ウイルス —ここでは学術的に“痘瘡ウイルス”と言っていますが— の遺伝子を詳しく解析した研究が2002年に出てきました。これはワクシニアウイルスという『ワクチン』の名前の由来にもなったウイルスですが、この中にVCPというタンパク質があり、ウイルスが感染した時に我々の身体の免疫機構から回避できるシステムであるということがわかり、そのVCP遺伝子を特定することができました。その遺伝子情報をもとに、天然痘ウイルス（強毒病原体）で類似の遺伝子がないかと探した結果、SPICEという遺伝子が見つかったという報告です。SPICEはワクシニアウイルスのVCPに比べて100倍もの活性があり、だから病原性が高いのではないかと推定しています。このSPICEという病原因子を特定したので、これを利用した遺伝子操作で病原性を増強することができるのではないかと大問題になりました。元々は病気の病原性はどこにあるのかを調べたもので、医療に応用しようとしたことがそもそもの始まりです。しかし、穿った見方をすると、生物兵器となるのではないかということになります。

米国科学アカデミーから2004年に『Biotechnology Research in an Age of Terrorism（テロ時代のバイオテクノロジー研究）』という本が出ています。その内容は、研究者が様々な面からバイオテクノロジーの在り方を議論して、研究のあるべき姿を考えた報告です。その中で、問題となる7つの研究カテゴリーが示されています。それらは、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) 病原性の検知抵抗性、7) 病原体や毒素の兵器化、です。いずれも遺伝子組換え、特定の遺伝子レベルでの改変を想定しています。このように、バイオテクノロジーの側面からの色々な疑問点が2000年初めから出てきました。

2) 合成生物学の可能性

話は変わりますが、これはiGEM(International Intercollegiate Genetically Engineered Machine)での写真です。全世界でバイオテクノロジーや合成生物学の勉強をしている学生の集まり（いわゆる遺伝子ロボコン）です。この大会は元々生物学とは関係ない人たちが始めましたが、数学、コンピュータ計算と生物学が相まってこのような研究領域ができました。iGEMは色々なことを行っています。その一つの例を紹介します。

これは東京工業大学の木賀先生（現在の所属は早稲田大学です）指導のグループによるものですが、遺伝子の技術を使って、細胞と細胞とのコミュニケーションを利用した演目で、大腸菌による「ロミオとジュリエット」というものです。シーン1でお互い恋に燃え上がり、シーン2でジュリエットが仮死状態となり、シーン3でそれを見てロミオは自殺をしてしまう、シーン4でジュリエットも自殺してしまう、という演劇のストーリーを大腸菌にさせます。遺伝子の活性化や制御を行うことにより菌が別の菌にクオラムセンシングということを行って菌の増殖がどんどん促進されると、フィードバック

して元の菌に影響を与えます。そのようなプログラムをコンピュータの中でデザインして、シミュレーションしてうまくワークするかを計算する。うまく行けそうなものを始めて実際の大腸菌を使って実験することになります。これがうまくいった場合は、それを誰が使ってもいいように「バイオリック」と呼ばれる標準化遺伝子部品として登録するというもので、このような部品をどんどん作ることによってこの領域は進んでいます。その中で面白いのは、iGEM のスポンサーとしてグーグルなどの企業がいますが、その中に FBI が入っています。FBI は当初からこの iGEM に関わっていて、毎年バイオセキュリティつまり生命科学が悪用されないようにするためにはどんなことを考えなければいけないかに関する総合セッションを開催し、そういう中で生命科学の正しい使い方、研究倫理について当初のうちから考える機会を提供しています。また、FBI は様々な科学捜査にも関わっているので、逆に優秀な学生をリクルートしているのかもしれない。

2000 年以前は合成生物学についてあまり認識されていませんでしたが、2000 年以降は急速に研究者の数も増え、2005 年『ネイチャー』誌に「合成生物学の世界へようこそ」という特集で、表紙に諺の「Life is what you make it (人生は自分でつくるもの)」をもじって「Life is what we make it (生命は我々がつくるもの)」というような文句が掲載され、生命を合成する学問が非常に活発化してきている様子を示しています。

では、どのようにして生命をつくるのか？確かに非常に複雑な生命をつくるということに、まだ成功していません。単純化したウイルスとか細菌であれば、つくることができています。その基本になるのは DNA です。この DNA を人工的に合成してつくります。次に DNA アセンブラーという機械を使って、合成した DNA 同士をキットや試薬でくっつけて長くします。そして、シーケンサーという装置で DNA の並びが正しいかシーケンスの確認をします。しかし、合成した DNA をそのまま細胞に組み込もうとしても、ちょっとした振動でちぎれてしまうため、安定化するためにそれを人工染色体へ組み込みます。構造的に安定な状態にして大腸菌細胞内に保存しておきます。非常に大きな、例えばヒトの人工 DNA はまだ実現していません。

今、どこまで研究が進んでいるかお話しします。2002 年に感染性ポリオウイルスが化学的に完全人工合成されました。スライドでは ATCG…と文字が並んでいますが、これはポリオウイルスを作るために必要な全ゲノム情報です。ポリオウイルスはエンテロウイルスの仲間、ウイルスとしては非常に小さく遺伝子情報が少ないウイルスです。この遺伝子情報をもとに DNA シンセサイザーで化学的に DNA をつくって、それを無細胞の発現系の中に入れてウイルスをつくりました。ポリオというのはウイルス感染症ですが、脊髄炎により小児まひを引き起こします。1940 年代くらいまで、日本国内でも流行していましたが、もともと汚い水を飲むと腸管に感染する病気です。ほとんどが無症状ですが、まれに体の中にウイルスが入り、脊髄の神経細胞に感染して炎症を起こし、神経がやられると神経の支配下にある筋肉も萎縮するという病気です。WHO はポリオ根絶ワクチンプログラムを展開し、2004 年には汚染国を数か国まで減らすことができています。

3) 病原体の人工合成がもたらす問題

しかしながら、ポリオウイルス人工合成がもたらした問題点として、研究室における病原体管理の在り方が問われています。今までは、ウイルスを保管している研究室は手を挙げて、「研究が終わったらすべて廃棄する」という約束をしてそれを管理すればよかった。しかし、いくら病原体を管理してもゲノム情報から人工的にウイルスをつくることのできるため、「情報（塩基配列）は規制の対象となるのか？」という新たな問題

が発生しています。でも、つくり方は既にインターネット上に公開されてしまっています。そうすると「モノで管理してもダメだ」という時代になってきました。

もっと大きなゲノム情報をもつマイコプラズマという細菌の DNA が 2008 年に人工合成されました。これは細菌の中で最も小さい細菌です。さらに 2010 年には人工合成されたゲノムをもとに人工の細菌がつくられました。つまり世界初の「親なし」細菌が誕生したわけです。細菌の細胞質のところはある特定の細菌のものを使っていますが、そこから遺伝子をすべて取り除いて、合成した遺伝子と入れ替えています。クローンに近い技術です。そうすると、ある意図した遺伝子の配列を持った細菌もつくれるような時代に入ってきたと言えます。2016 年にミニマルバクテリアという不要遺伝子を削った最小ゲノムをもつ細菌もつくられました。これは、バクテリアの遺伝子から不要と思われるものをどんどん削って、どこまで削り落としてもバクテリアとして分裂するのか調べ、最小のゲノムを持つ細菌をつくるわけです。これにより、バクテリアに必要な遺伝子がどんな性質を持っているのかが分かりました。残った必要な遺伝子機能は、「ゲノム情報の発現」、「ゲノム情報の維持」、「細胞膜」、「細胞質代謝」それに「機能不明」となります。これに様々な遺伝子を挿入する、毒素を入れたり病原性の強い遺伝子を入れる、などができるわけです。もともとあるものに新しい遺伝子を入れると、一般的に生物はそれが負担になって入れた遺伝子が落ちることがありますが、このようなスリムなものに新しい遺伝子を入れると、まだキャパシティがあるので発現しやすくなるかもしれません。

1980 年に地球上から天然痘は撲滅されましたが、このような状況の中で、合成生物学により天然痘のウイルスをつくれるのかが気になります。イギリスの雑誌で『THE GUARDIAN』というのがありますが、これは 2006 年にジャーナリストの JAMES RANDERSON が書いた記事で、“天然痘ウイルスの DNA をオンラインで注文したところ自宅に郵送されてきた”というものです。テロリストが注文したらテロリストに送られるのか？記事はこのような DNA 受託合成企業のチェック体制の甘さを批判し、もう少し有効な規制が行われるべきだと論じています。当時は、人工でウイルスをつくったとしても小さいウイルスしかつくれませんでした。2018 年に馬の天然痘のウイルスである馬痘ウイルスが人工的につくられたという論文が『PLOS ONE』というジャーナルに公開されました。色々議論はありますが、彼らはサイエンス誌やネイチャー・コミュニケーションズ誌にこの論文を投稿していますが、不採択となっています。これらの雑誌は、この論文は掲載させられないという判断をしました。ただ、不採択の理由ははっきりしていません。それを採択したのが『PLOS ONE』誌でした。問題は、PLOS ONE 誌は言い訳的に“PLOS ONE ではデュアルユース諮問委員会を設け、議論の末全会一致で採択した”と発表していますが、なぜ採択したのかの議論については全く明らかになっていません。この論文を公表すると、どのような問題が発生するのでしょうか。1つは、馬痘ウイルスはヒトの天然痘ウイルスよりもゲノムサイズが大きい点です。したがって、ヒトの天然痘ウイルスの人工合成は技術的にクリアされたことになると考えられます。折角 1980 年に地球上から撲滅した天然痘ウイルスですが、誰かが人工的に作り出す可能性が出てきました。このような危険な情報を安易に一般に公表していいのでしょうか？あるいは、発表するに当たって悪用されないような対策を考える必要はないのでしょうか？さらに言うと、既に天然痘のワクチンが複数存在するなか、敢えて天然痘に効くというワクチンを新たに作る必要性があるのでしょうか？私は、科学者が真面目にこの研究を大事なものだと考えているのか、疑問に思います。

このようなこともあって、DNA を作成する企業の方もいわゆる自主規制を強化して、「IGSC が掲げる DNA 受託合成のためのバイオセキュリティ・スクリーニングプロトコ

ル」の骨子を2017年11月に改訂しています。遺伝子のスクリーニングを行う（オーストラリアグループが規制する病原体リストに基づき、照合してスクリーニングする）とか、顧客のスクリーニング（住所、氏名などから顧客の確認など）、記録の保存、受注の把握、痘瘡ウイルスのDNAは合成しないことなどを定めています。ただし、IGSCは世界のDNA受託合成の約8割位しか担っておらず、残り2割はインターネット上で受託したりしており、この規制にはかかっていません。

これは、1918年に世界で大流行したスペイン風邪と呼ばれるインフルエンザの写真です。アメリカからヨーロッパに持ち込まれて、さらに全世界に広がり日本でも流行しました。当時の記録で1918年10月から11月の患者の発生率のグラフです。縦軸は人口1000人当たり1週間での死亡者の人数で、ニューヨーク、パリ、ベルリンと都市別に描かれた推移です。一番酷いときはニューヨークで1週間に1000人当たり60人も死んでいます。当時は、第一次世界大戦中でしたから、兵士が病気で倒れて戦争にならないことは軍事機密情報として隠されていたと思われます。スペインは参戦していなかったため、スペインで流行しているとして「スペイン風邪」と呼ばれることになってしまいました。1918年当時、インフルエンザの原因病原体はわかっていませんでした。インフルエンザウイルスが初めて分離されたのは1930年代に入ってからです。当時これだけ病原性の高かったウイルスを調べて病原性がどこにあるのか見たいと思っても、ウイルスが手に入らないので感染実験はできません。世界中のどの研究室もスペイン風邪ウイルスを保有していません。それでは「つくってみよう」という発想でウイルスが作成されることになりました。

そしてとうとう、2005年サイエンス誌に『スペイン風邪ウイルスの人工合成』という論文が掲載されました。ウイルスを12個のプラスミドの形にして設計します。そして形質転換導入という方法で細胞内に入れます。12個全てが1つの細胞に入れば、丁度ウイルスが感染した状態を再現できて、その後は、細胞内で勝手にウイルスがつくれます。「逆遺伝学」と呼ばれている技術です。一番難しいところは、ウイルスプラスミドの遺伝情報を設計するところです。1918年当時のウイルスが残っていないのに、どうやってウイルスの遺伝情報がわかるのでしょうか？1918年当時の患者さんの肺の病理標本からウイルスRNAの遺伝情報をかき集めてつくり上げました。このようにしてスペイン風邪ウイルスを人工合成しました。

それから、さらに一歩進んでH5N1高病原性鳥インフルエンザというのがありますが、ニワトリなどに感染する病気で、鶏冠や足が黒く腐り全身に感染が広がります。鳥だけに感染が見られる国とヒトにも感染している国があります。今まで860人くらい感染していますが、そのうちの約半数は死んでいます。幸いヒトからヒトへの感染はまだ発生していません。しかし、飛沫伝播するウイルスへと変異すると、ヒトからヒトへの感染が発生する可能性が出てきます。その変異を調べようと、オランダのロン・フーシェという研究者がイタチに似た動物のフェレットを使った実験を行いました。ヒトのインフルエンザモデルに近いのでフェレットが使われています。まず、ウイルスを意図的に変異させます。どういう変異を入れるかというと、実際にヒトに感染したウイルスを調べて、沢山のヒトで共通している遺伝子変異を入れます。そして、それをフェレットに感染させます。感染実験の最初のうちは、鼻に感染させた後、その鼻の組織を取って次の動物の鼻に感染させます。これを5回くらい繰り返すとウイルスが段々動物に馴染んできて、動物の身体を通すことで勝手に変異してくれます。つぎに、感染した動物にくしゃみをさせて、鼻水をとります。そして、その鼻水で感染させます。より自然の感染に近い感染経路を作り上げます。このようにして、2012年に飛沫感染するH5N1高病原性

鳥インフルエンザウイルスを作製しました。

この実験の懸念としては、事故や人為的なミスによる漏出とかテロなどへの悪用が挙げられます。一方、研究の正当性としては、ウイルス伝播メカニズムの解析や流行予測に寄与したりワクチン選定のための情報を得られることが挙げられます。デュアルユースのジレンマとして新聞記事となったこの実験に関する論文に対して、米国バイオセキュリティ国家科学諮問委員会が論文内容の一部変更を指示しました。しかし、最終的には論文は変更されることなく全文公開されました。

4) 急激に進むゲノム編集技術

ゲノム編集が急速に進歩したのは、2012年にジェニファー・ダウドナがエマニュエル・シャルパンティエらとともに出した論文がきっかけです。彼女たちは、新しいクリスパーキャス9というシステムを使ってゲノム編集できることを示しました。ゲノム編集という概念は1977年頃からあり、ジンクフィンガーやターレンという別の酵素を使った基礎的論文は報告されていましたが、この論文が発表されてから一気に研究が進みました。これはコストが低く、簡単、確実性が高いという3拍子揃っており、2019年にはゲノム編集に関する研究論文数は10倍以上に上っています。クリスパーキャス9という技術は、キャス9という酵素とガイドRNAが複合体を形成してゲノムDNA上を移動し、ガイドRNAとピッタリ合う標的DNA配列を探します。そして、標的DNA配列が見つかりキャス9酵素が標的部位を切断するというものです。それが起きた後、一つは切れたDNAの断端同士がくっついて修復されます。くっつくときに、しばしばDNAの並びがズレて遺伝子の機能が壊されます。もう一つは、切れた時に新しい別のDNA断片を入れておくと、くっつくところに新しいDNAが挿入され、決まった場所に決まった遺伝子を入れることができます。

これを利用して何ができるかということ、遺伝子ドライブという技術があります。今までは細胞に外から遺伝子操作を加えていました。それが、この遺伝子操作できる機能を持つクリスパーキャス9システムそのものを遺伝子の中に組み込んであげれば、あとは細胞の中で勝手に遺伝子操作をやってくれます。二本ある相同染色体の片側のDNAに遺伝子操作を事前に行っておけば、自動的にもう片方の染色体にも遺伝子操作をしてくれるということです。そうすると、例えばハマダラ蚊の場合、マラリア抵抗性遺伝子を持っている蚊と持っていない蚊を掛け合わせると、メンデルの遺伝の法則に従うと、この遺伝子は4分の1の確率でしか次世代に移りません。ですけれども、遺伝子ドライブの場合は遺伝子を勝手に書き換えてくれるシステムが中に入っていますから、この遺伝子を持っている蚊と持っていない蚊を掛け合わせて生まれた子供は100%遺伝子を持っていることとなります。このように、他の野生型の蚊と掛け合わせて生まれた子供は100%マラリア抵抗性遺伝子を持った蚊となります。蚊のように1サイクルのスパンが非常に短いものは、どんどん速く広がっていきます。これを利用すれば、マラリアを伝播しない蚊をフィールドに放つと、そこではもうマラリアが伝播しないようになるのではないかと考えられます。マラリアの根絶に、治療薬もワクチンもいらぬという優れた技術です。しかし、この技術の使い方には、環境への影響など色々と問題があります。

技術はさらに進んで、DNAを切らなくてもその部分の遺伝子を書き替えられるという技術が出てきています。さらにこれは色々な形で利用されようとしていて、遺伝子治療（先天性免疫不全症などの根本医療）、iPS細胞技術と組み合わせた治療、遺伝子ドライブ、それからこれからお話しする農作物や家畜の遺伝子改変などに広く用いられようとしています。これは茶色に変色しないリンゴで、既に売り出されています。ポリフ

ェノール・オキシダーゼ遺伝子をノックアウトしたものです。これは大きなサケで、成長因子遺伝子を強制的に発現させることにより短期間で大きくさせたものです。このようなものが既に外国では出回っています。少しだけ問題提起したいのは、筋肉の増強を抑制するミオスタチンという遺伝子に変異を入れて抑制がかからないようにすると、筋肉質の牛が生まれます。これは品種改良で、自然に存在している変異種を人為的交配により選別してきました。一方、ゲノム編集技術を使っても同じようなものをつくることができます。しかし、この場合、ゲノム編集した牛なのか品種改良した牛なのか区別はつきません。証拠も残らないので調べようがありません。そのような状況の中で、ゲノム編集をどれだけ規制するのか、また規制に効果があるのか、意味があるのか、皆さんも考えてみてください。ゲノム編集は、さらに絶滅危惧種の保存や絶滅種の復活にも利用可能で、アジアゾウを使ってマンモスを復活させるプロジェクトが始まっています。

5) デュアルユースのジレンマとその対応

ジェニファー・ダウドナは、ヒトの遺伝子を書き替える時代が絶対来ることを危惧して、色々なミーティングを開いてきました。そのようななかで、去年（2018年）ゲノム編集ベイベーが中国人の研究者によってつくられました。そこでは、エイズに感染しないように遺伝子操作された子供が生まれました。ゲノム編集の研究をどのように進めていくのか、大きな問題が投げかけられています。それをやる意味があるのか、ということをお我々も問題視しています。そもそもヒトの胚操作についてのコンセンサスは得られていません（既存の生命倫理の枠組みを逸脱しています）。また、オフターゲットの問題についてもクリアできていません。エンハンスメントに当たるのではないかと（デザイナーベイベーにつながりかねない）とも言われています。HIVには別の良い治療法、予防法があります。また、これはアメリカで議論されたことですが、ゲノム編集技術が大量破壊兵器につながる可能性があるというレポートも出ています。ただ、実際にどういふものができたということではないので漠然としています。しかし、確かな脅威として捉えられ始めています。アメリカのDARPA（国防高等研究計画局）がゲノム編集に対して多くファンディングしています。ゲノム編集の時間的空間的制御、編集をもとに戻す技術、望まれないゲノム編集に対する対抗手段、予防手段、編集されたゲノムを環境から除去、元の状態に復元、このようなどころにお金をかけて研究が進められています。その研究プロジェクトに参入している研究者達のうち、たとえばジョージ・チャーチはヒトゲノムプロジェクトに深く関わっていた研究者であり、あるいはケビン・エズベルトは遺伝子ドライブ（ジーンドライブ）のコンセプトを考えた人です。さらには、ジェニファー・ダウドナはクリスパーキャス9技術を開発した人です。こういう人達がこぞってアメリカ軍の出すファンディングに参入しています。こういうことを考えると、これらが軍事研究そのものと言えるかどうか、軍事研究そのものかどうかと言う人もいますが、いずれにしても世界のトップの研究者達がアメリカ軍の資金提供する研究に関わっているということは事実です。最終的に色々な科学技術が積み重なっている中で、メリットもあるがリスクもある、それを我々はどう考えるかということです。特に今日お話しさせていただいた合成生物学はここ18年くらいのスパンで、バイオテクノロジーはもう少し前からあります。ゲノム編集に至ってはここ7年の技術です。我々は、これらを理解して社会のあるべき姿を考えていかなければいけない時代に入ってきています。