

国立国会図書館 調査及び立法考査局

Research and Legislative Reference Bureau
National Diet Library

論題 Title	パネルディスカッション
他言語論題 Title in other language	Panel Discussion
著者 / 所属 Author(s)	立川 雅司 (TACHIKAWA Masashi)、江面 浩 (EZURA Hiroshi)、山本 一彦 (YAMAMOTO Kazuhiko)、橋本 一憲 (HASHIMOTO Kazunori)、三成 寿作 (MINARI Jusaku)、藤木 篤 (FUJIKI Atsushi)、中村 崇裕 (NAKAMURA Takahiro)
書名 Title of Book	ゲノム編集技術—最前線で生じつつある課題と展望— 科学技術に関する調査プロジェクト報告書 (Genome Editing Technologies: Issues arising on the frontline and future prospects)
シリーズ Series	調査資料 2021-4 (Research Materials 2021-4)
編集 Editor	国立国会図書館 調査及び立法考査局
発行 Publisher	国立国会図書館
刊行日 Issue Date	2022-02-22
ページ Pages	—
ISBN	978-4-87582-887-7
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
摘要 Abstract	—

* この記事は、調査及び立法考査局内において、国政審議に係る有用性、記述の中立性、客観性及び正確性、論旨の明晰（めいせき）性等の観点からの審査を経たものです。

* 本文中の意見にわたる部分は、筆者の個人的見解です。

パネルディスカッション

ファシリテータ	立川 雅司
パネリスト	江面 浩
	山本 一彦
	橋本 一憲
	三成 寿作
	藤本 篤
	中村 崇裕

立川 これからパネルディスカッションと質疑応答を進めていきたいと思います。チャットでも質問をたくさんいただいておりますので、登壇者の方にお答えいただきます。まず、御質問にお答えいただき、その後に時間があればパネリスト同士で総合的なディスカッションを行って、最後に今回の取りまとめ、あるいは学んだことを整理していきたいと考えております。

江面先生にいくつか質問がきています。類似の内容があり、まとめてお答えいただく点があるかと思っておりますので、まず質問だけ読み上げさせていただきます。「工業的な製品では「使う人、使わない人」が共存できるのに対して、ゲノム編集技術の食品利用のような、食や農に関しては、新興技術が社会に普及するまでには多くの方々が納得しないと社会課題とみなされ、課題がある中で推進もできず、なかなか普及に至らないので、「使う人、使わない人」が共存できる状況になりにくいように感じます。食や農に関する新興技術が普及するまでに時間がかかる原因は何だと思われませんか」、「GABA トマトのモニターによる栽培は興味深い取組でした。経済的効果の視点からこの取組はどのような位置付けになるのでしょうか」、「ゲノム編集や遺伝子組換え技術に抵抗感が少ない米国に対し、抵抗感が強い日本において、ゲノム編集技術を用いた有益な商品を販売するに当たり、適したマーケティング方法及びメディアへのアプローチはどのようなものがあるのでしょうか」、「GABA トマトの届出において、生物多様性に関するデータはどこまで取得する必要があるのでしょうか。考えられる事象の考察だけでよいのか、実証しろと言われたらかなりの時間とコストがかかる気がします」という御質問です。届出第1号ということでいろいろな御苦労もされたかと思っておりますので、そういった点を含めてお答えいただければと思います。

江面 一つずつお答えしていきます。まず1点目ですが、どうして普及に時間がかかるのでしょうかというような御質問かと思っております。例えば、携帯電話ができました、新しいツールができましたというように、これまで全く経験がなかったもの、使えなかったものが突然登場した状況とは違います。これは食に関わるもので基本的にはかなりコンサバティブというか保守的なものだろうと思っております。しかも、毎日利用しているもの、生きていく上でかなり必要なもの、かなり身近なものであるもので、利用する皆さんが慎重に考えるのは当然だと思っております。ですので、どういうものが必要とされているのかをしっかりと認識しながらやっていくべきです。今回の GABA トマトは、消費者の皆さんが、どのようなものを必要とされているかという視点から技術開発をしていったので、今のところ比較的受け入れられるような状況に向かっていると考えております。

それから、モニターとして無償で配布したので、その経済効果という点でいうと、会社としては赤字です。ただし、先ほどの質問とも絡みますが、こういう技術を実感していただくことが次のステップに必要です。写真や動画で見せて、こんなものができましたと理解してもらうより、自分で触れ、育て、食べて、実感していただくことが、理解を広げて経済的な効果を生んでいくことにつながります。今年度は経済的な効果はありませんが、それで来年、再来年と理解が一層深まる、モニターの皆さんは周囲の人に広げていただいているようですので、そういった意味では経済効果も出てくると考えております。

3点目ですね。米国は遺伝子組換え作物、ゲノム編集作物に対する抵抗感が少ないと言われますが、米国にも抵抗感の強い人もいますので、状況としては同じだと思っております。特に日本で抵抗が強いとか、米国で抵抗がないということではありません。両国とも同じような層の方はいると思います。その上で、報告でもお話したように、実際に必要な方に、いかに届けるかがポイントなのかなと考えています。隣の人が食べていて、すごいね、いいねとなると、当然広がってくると思います。特定の人にまずマーケティングしていくのがポイントになります。別のところで、米国の会社の人も同じようなことをおっしゃっていましたので、そういうアプローチになるのではないかなと思います。

それから、メディアに対しても同じだと思います。メディアの皆さんに現物を見て、触って、あるいは食べていただいて、感じていただくのが、メディアの報道をポジティブにしたと思っております。

最後のGABAトマトの届出についてですが、実際は、元の品種とGABAを増やした品種を同時に栽培して、生育に差があるかどうかを調べたりしました。また、今回は、果実にだけGABAがたくさん蓄積するようにしたので、結果として生育は全く差がなく、GABAだけ果実に蓄積したという考察で済みました。ケースによりけりだと思います。以上です。

立川 続きまして山本先生に、二つお伺いします。まず、中村先生のコメントにもありましたが、「神戸大学として人材育成をしながらバリューチェーンの構築を進めておられますが、こうした研究をどうビジネスに結び付けるかという人材育成上の課題と、今後の育成方法とかプログラムについて、ご自身の経験を含めてお答えいただけますでしょうか」。もう一つ、「三つの会社を展開されておられるということで、作業のモジュール化のようなものが進んでいると山本先生はお考えになっているかと思いますが、作業のモジュール化を進める側面と、企業内での内製化が進む局面があるかと思いますが。これまでベンチャー企業が大手企業に買収されるといったことも過去のイノベーションではありましたが、ゲノム編集でも今後大企業による内製化が進む可能性があるのでしょうか」。

山本 一つ目ですが、先ほどの橋本先生の御説明にもありましたが、例えば、ゲノム編集はバイオパレット社が米国のBeam Therapeutics社と基本特許についてクロスライセンスをしております。私がBeam Therapeutics社の当事者たちから聞いたところでは、Beam Therapeutics社は、ハーバード大学とMIT、それからハーバード・MITの連合の研究所であるブロード研究所、それからボストンにある米国最大の研究機関付きの病院であるマサチューセッツ総合病院の4者によって、切らないゲノム編集技術を応用した遺伝子治療で世界制覇をすることを目標に作られた会社とのことです。2年ほどかかった、その会社とクロスライセンス契約を締結する交渉の過程で、ライフサイエンス分野における世界最大のクラスターともいえるボストンのプレーヤーたちと、極めて濃密なコミュニケーションをする機会を得ま

した。表面上は終始友好的なやりとりの中で、異なる利害の調整という意味では、時に戦っていたのですが、その過程で彼らのキャリアバックグラウンドをいろいろ知ることになりました。例えば、Beam Therapeutics 社の創業幹部で CEO クラスの人たちは、例えばハーバード大学のメディカルスクール、若しくは MIT の生物学等々、世界に名だたる超一流大学で理科系の博士号を取った後、例えば、コロンビア大学ロースクールで弁護士資格を取っていたり、米国の一流のビジネススクール、例えばハーバードビジネススクールで MBA を取った後、超一流のベンチャーキャピタルに入って腕を磨いた後、アントレプレナーであり CEO クラスの人材として、当該企業のチームビルディングの中核として活躍していたりしています。

最先端のディープサイエンス系のスタートアップを担うとなると、このようなダブルディグリーのプロファイルはどうしても必要になると思います。米国の場合、自分に対して多額の教育投資をして、長い時間をかけてダブルディグリーを取ったとしても、その学位が一流と一流の組合せですと、社会に出て 2、3 年で投資を回収できるわけです。日本はそういう仕組みになっていませんので、当然そういうキャリアを目指す人はほとんどいません。そうすると、サイエンスは分かるけどビジネスの仕組み、スタートアップをいわゆるグロスする仕組みが分からない。あるいは、スタートアップをグロスする仕組みは分かるけど、ディープサイエンスの分野は全く分かりませんという方同士のチームになってしまいます。それだと、立ち上がりが難しいなと感じております。

私が今在籍しているのは、5 年半前にできた独立大学院（神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科）ですが、先端バイオ工学など四つの先端技術分野について、理科系の教育を修士課程、博士課程で行っています。あわせて修士課程、博士課程において、アントレプレナーシップ、ビジネスやイノベーションの戦略、それからスタートアップのファイナンスに関すること、知的財産戦略等について教えています。一般的なビジネススクールで対象となるような大企業経営に関することは省いて、ディープサイエンスを事業化することに特化した社会科学系の教育カリキュラムを提供しています。このカリキュラムでは、国内の超一流の MBA スクールを超えるレベルのことを、全科目必修で教えています。一つでも落としたり修了できない、学位を取ることが不可能というスパルタ教育をしています。修士課程の大半の学生は、普通に大企業等に就職しますが、例えば、当研究科発ゲノム編集ベンチャーであるバイオパレット社には、神戸大学の工学研究科でバイオ工学の修士号を取ってから、10 年くらい製薬会社のと真ん中で研究開発をした後、その会社を辞めて私どもの博士課程に入学し、博士課程在籍中にバイオパレット社に転職してきた社員がいます。また修士課程の二期生で、大企業に就職せず、バイオパレット社にプロパーとして入社し、サイエンスの専門知識を持ちながら、知財分野を中心に、その戦略を中核で担っている社員もいます。

それから、DNA 合成のシンプロジェン社には、大手の製薬会社で 10 年から 20 年間研究開発の仕事をした後、もともと企業派遣のような形で私どもの博士課程に来たのち、自らの会社に戻っても最先端の遺伝子治療への取組は難しいと考えて、博士課程在籍中に会社を辞めて、同社に転職した社員が 2 名います。彼らは順調にいけば来年春に博士号の学位を取得します。このように理科系の大学院に入って、いわゆる企業家に必要な戦略理論と知識を学ぶ。それをもって、ディープサイエンスの事業化の世界に入ってくる人たちが、生まれつつあります。これは、我が国で類を見ない分野融合・文理融合型の独立大学院である当研究科に特定したことで、5 年半にわたる社会的な実験ともいえる、理系学生に対するアント

レプレナーシップ教育を行ってきて、それなりに手応えがありますので、日本国内の他のところでもこういうことを展開していけば良いかと思います。

最後に一言、中途半端な覚悟と取組では世界で戦えません。超一流レベルのことを学ばないと、例えばボストンに交渉に行き、ハーバードビジネススクールを修了し、MITで生物学の博士号を取得した後、ビジネスの最前線で戦っているような人たちと議論をしてもとうてい太刀打ちできません。ハードルは高いのですが、不可能ではありません。歴史の浅い新設の当研究科がこれまでに実践してきたことです。これであれば日本の国立大学の学位で世界と戦える力がしっかりと身に付くので、日本的なのかなと考えております。まだ道半ばですが、一つ目の御質問にはそのような回答をさせていただきます。

二つ目の内製化につきましては、当然、世界的に著名な化学系大企業もバイオをそのビジネスの中心に据えつつあります。その最高経営幹部と数年前に何回か折衝を行ったのですが、「米国はいいですね。ドイツはいいですね。大企業の中ですごく先端的なことができるから」と話したところ、「何を言っているのだ、山本君、上場している大企業では無理だ」と言われました。例えば、ディープサイエンスの研究成果の事業化を手掛けようと思ったときに、成功確率はと言われたら、私の感覚では、米国でも30分の1くらいだと思います。そんな確率の話をして、大企業で、それもエスタブリッシュメントの会社の取締役会に出すこと自体が、その方によれば「見識を疑われてしまう」とのことでした。そのような背景があって、最高レベルの知性が集まっている大学で生まれたディープサイエンスにおけるシーズを技術移転してベンチャー企業を設立し、そこに最高レベルの人材を集めた上で、ベンチャーキャピタルが果敢に投資をしているのです。彼らは投資家なので、分散投資の理論に従っていません。つまり、全部の投資先が成功する必要はなく、30分の1の確率でも、成功したベンチャー企業の価値が1,000倍になれば充分なのです。過去、米国では、戦後の半導体産業を含めてずっとそのやり方で産業のイノベーションを成功させてきました。そうした歴史をよく学んでいる彼らは、何の迷いもなく分散投資をしています。ただ大企業の場合は、取締役会において、「それ絶対成功するよね、エビデンスを見せて説明をして。」というパターンになるので、そのような投資は不可能です。ですから、スタートアップは、大学発ベンチャーと分散投資が可能でサイエンスの目利き力がある一流のベンチャーキャピタルにお任せして、ある程度までそれが育ってきて、大企業の意味決定の確率論の範ちゅうに入ってきたら、買収等を考える。これはかつての低分子医薬品の創薬、バイオ医薬品の創薬でも行われていることです。今回も同じようになるでしょうと、経験豊富な米国の彼、彼女らも言っています。

しかしながら、例えばインターネットの世界を見ていただくと、イーコマースはウォールマートでなくAmazonが巨大になりました。ではデジタルの世界の覇者はどこだというと、Googleです。Googleを買えるような大企業はないわけです。ですから大企業が将来買収して内製化する可能性がないことはありませんが、逆にベンチャー企業の方が巨大になってしまっていて、大企業が手を出せない、逆に買収されることもあり得るかもしれません。今週(2021年9月第4週)、衝撃的な事実が出てきました。COVID-19のmRNAワクチンのモデルナはもともとベンチャー企業ですが、2021年の第2四半期3か月の売上げは5000億円で、下半期6か月で今最新の計画では1兆5000億円を超える売上げとなっています。今彼らは無借金ですが、1兆3200億円の現金を持っています。企業財務理論上、この現金を使わないといけないわけです。そこで、これからは先端バイオ工学分野を取り込んでいくということ

を、会社のトップがつい最近意見表明をしました。こうなってくると、どこかがモジュール化したものをどんどん集約化して、新しい時代、第5次産業革命、「デジタル×バイオ」時代の Google になるかは、なんとも言えないというのが、率直な感想です。

立川 ダイナミックにまさに動きつつあるということですね。続きまして橋本先生への質問を読み上げさせていただきます。まず、「ゲノム編集を製造に用いたい各社（大学発ベンチャーを含む）が、複雑な知的財産権問題をどのように回避しているか示唆をいただきたい」、「CRISPR の基本特許を抜けるような、回避するような研究が日本でもされていると思いますが、その研究がうまくいった場合は、知財はどのような形になるのでしょうか」。もう一つ、かなりスペシフィックな質問かと思いますが、「INSCRIPTA 社が提供している MAD7⁽¹⁾ の権利関係について教えてください」。よろしくお願いします。

橋本 まず、ゲノム編集を製造に用いた各社が知的財産問題にどう対応しているかということですが、これは企業であれば一般的にやっていることと同様です。まずは自分たちがどういうビジネスをやるか、それに関係していそうな特許（ゲノム編集でいえば基本特許を含めて）にどのようなものがあるか、その全体を調査して、自分たちがビジネスしようとしていることがそれら特許の技術的範囲に入ってしまうかどうかを調査します。仮に、技術的範囲に入ってしまうのであれば、ライセンスを受けるか、特許を回避できる範囲で使用するかの対応を行う必要がありますし、技術的範囲に入らないのであれば自由に使用できるという判断になります。特許に入るか入らないかは、技術の知識だけでなく法律の専門的な知識が必要ですので、この判断は簡単ではありません。専門家の知恵を借りながらやる必要があるかと思います。

先ほどスライドでもお示ししたとおり（報告 3、スライド 12）、例えば、モダリス社であれば、その判断の上に恐らく、エディタス・メディスン社からライセンスを受けていますし、バイオパレット社はクロスライセンスを締結しています。また、プラチナバイオ社は TALENs の基本特許のライセンスを受ける形をとっています。まず関連する他者特許の状況を調査し、自分たちが行おうとしていることが、その範囲に入るか入らないかを評価して、必要な場合はライセンスを受ける。ライセンスを受けない場合には、特許回避というやり方もありますが、Cas9 のように真核細胞⁽²⁾ への応用全部というような特許を取得されると回避はなかなか難しいため、他のゲノム編集技術、例えば、PPR を使うとか、特許切れのジンクフィンガー（Zinc finger）を使うとか、CRISPR-Cas3 を使うというような判断になるかと存じます。その判断を適切に行って特許を回避したり、ライセンスを受けたり、他のゲノム編集技術を使用しているのが現状かと思います。

二つ目の御質問ですが、国家プロジェクト研究で CRISPR-Cas 系以外のものをいろいろ開発しています。先ほど申し上げた PPR のような独自の国産ゲノム編集技術を開発すれば、それ自体が基本特許になります。CRISPR-Cas9 の開発を進めて、基本特許を回避するとすると、少なくとも、真核細胞でもなく一分子ガイド RNA でもないという必要がありますので、例えば、原核生物において二分子ガイド RNA を使う形となりますが、そこにも細かな特許が取得されていたりしますので、結局、非常に細かい特許にならざるを得ません。それがビ

(1) 制限酵素（DNA を切断する「ハサミ」の機能を持つ酵素）の一種（後述）。

(2) 核膜で囲まれた明確な核を持つ細胞。これに対して、核膜を持たず明瞭な輪郭の核が観察されないものは原核細胞。植物、動物は真核細胞から成る真核生物、細菌は原核細胞である原核生物。

ビジネスにうまく使える分野であれば有効な特許になると思いますが、そうでなければ、あまり使いものにならない特許になろうかと思います。CRISPR-Cas9の基本特許を抜けるような研究が、どのような研究かによって、取得できる特許の形がだいぶ変わってくると思います。

最後の質問ですが、ちょうど、2021年6月17日の日本ゲノム編集学会でINSCRIPTA社のお話をさせて頂きました。MAD7はユウバクテリウム属由来のCpf1（すなわち、CRISPR-Cas12a）ではないかと言われていました。なぜ、こういう質問をされたかという、INSCRIPTA社のMAD7は、研究開発段階であれば企業であってもフリーで使えることがアナウンスされていたため、その使用に興味を持たれている企業があるからだと思います。私のところにも、MAD7を使用して大丈夫なのかという質問がしばしばございます。MAD7は、一応、ユウバクテリウム属由来のCpf1（Cas12a）ではないかと言われていたので、Cpf1の基本特許を持つブロード研究所との関係が問題になるかもしれません。

ただ、INSCRIPTA社のMAD7については、アミノ酸の相同性⁽³⁾がCpf1の基本特許を持っているブロード研究所が使用している生物種のものとは40%か50%ほどしかないことがMAD7の特許に記載されていますので、ひょっとしたらINSCRIPTA社はCpf1の基本特許の範囲にMAD7は入らないと考えている可能性があります。活性も若干違って特徴のある活性を持っていたかと思います。仮に、私がINSCRIPTA社の代理人であれば、そういう主張をしながら権利範囲に入らないよという形で勝負していくことを考えるかもしれません。最終的には裁判所で争ってみないと分からないことがあります。私は実務で非常に多くの遺伝子特許を成立させていますが、通常、遺伝子一つ同定しても、アミノ酸配列の相同性が40%の範囲までは権利範囲を拡張できません。例えば、最低でも85%程度の相同性がある範囲でなければ、特許が認められにくいかと存じます。遺伝子特許の実務を考えても、40%や50%程度の相同性の範囲まで認めるのは広すぎるのではないかという見方はできると思いますが、ブロード研究所が自己のCpf1の基本特許の範囲についてどう考えているかになります。MAD7を使うのにライセンスが必要ですかとブロード研究所に質問して、回答してもらえれば、ブロード研究所の考え方も分かるのではないかと思います。難しいかもしれませんが、最終的には争ってみないと分からない部分かと存じます。

立川 次に三成先生に対する質問です。「遺伝子編集の受精卵への規制は、欧米と日本でどのような違いがあるでしょうか。ハーモナイズの流れはどういった形で進んでいますでしょうか」。

三成 本日紹介した「ヒト胚の取扱いに関する基本的な考え方」に係る報告や厚生労働省の取りまとめを見ていただくのがよいと思います。厚生労働省の方は、研究班の報告⁽⁴⁾などもありますので、そちらも御覧いただければと思います。私が今、記憶している範囲では、基礎研究に関しては、米国、中国では、ヒト受精卵の作成を伴うゲノム編集技術を用いた基礎的研究が一部可能であること、また臨床応用に関しては、米国ではヒト胚を規制する明確な連邦法が制定されているわけではないものの、連邦助成において制限をかけていること、

(3) タンパク質を構成するアミノ酸の配列の類似性。

(4) 「諸外国におけるゲノム編集技術等を用いたヒト胚の取扱いに係る法制度や最新の動向調査及びあるべき日本の公的規制についての研究 総括研究報告書」(2019年度(令和元年度)厚生労働行政推進調査事業費補助金(厚生労働科学特別研究事業))2020.9.厚生労働科学研究成果データベース <https://mhlw-grants.niph.go.jp/system/files/2019/191031/201906011A_upload/201906011A0003.pdf>

特に国立衛生研究所 (NIH) がモラトリアムへの賛同を表明したこと⁽⁵⁾などがあったかと思えます。また食品医薬品局 (FDA) が審査に制限をかけていたようにも思えます。加えて WHO は、ヒトに対するゲノム編集の利用の在り方を検討するために専門委員会を既に発足しています。この7月に a framework for governance⁽⁶⁾、position paper⁽⁷⁾、recommendations⁽⁸⁾ という三つの文書が公表されました。幅広い視点からガバナンス、つまり規制の枠組みや監督体制を構築していく必要があるということが示されています。より具体的には、規制が十分に整備されていない場合には規制を制定する、実効性のある規制を整備する、国際的なレジストリ制度を設けて皆さんが把握できるようにする、などといったことが記載されています。ただ、このような文書は法的な拘束力を持つわけではないため、WHO のレポートが実際にどのように各国で取り扱われるかは定かではありません。もちろん、国際協調の観点から重要な論点がいちいち書かれてありますが、今後、フィードバックを受けつつ内容を精査していく必要があるように思えます。そういう継続的な見方が重要だと思っています。

立川 三成先生、恐れ入りますが、最初におっしゃった報告書などを見るとよいというスライドをもう一度画面共有していただけますか。

三成 この『「ヒト胚の取扱いに関する基本的な考え方」見直し等に係る報告』の②(報告4、スライド8)⁽⁹⁾や「ゲノム編集技術等を用いたヒト受精胚等の臨床利用のあり方に関する専門家委員会」に係る Web サイト⁽¹⁰⁾を見ていただくのがよいと思います(報告4、スライド10)。取りまとめのような文書も大事ですが、各会議の資料や議事録も公表されていますので、こうした資料も見ていただくのがよいと思います。ただ、国際的にも規制の変化は著しいです。この変化を見ていくのはかなり大変な仕事で、いろいろな先生方が日々御尽力されている状況にあると思います。

立川 続きまして藤木先生への質問を1点読み上げさせていただきます。「遺伝子(ジーン)ドライブが既にどこかの国で実証されているという話があったかと思いますが、その結果などの検証はどうなっているかご存じでしょうか」。

藤木 「話があったかと思いますが」ということですが、私の発表の中で捉えられたということでしょうか。そうだとしたら、誤解を与えてしまったかもしれません。ジーンドライブは、私が知る限りでは、臨地実験までは行われていないはずですが。実験室で理論的な研究がなされたり、ごくごく限られた密閉空間、閉鎖空間で研究が行われたりすることはあっても、野外実験はまだなされていないと思います。

(5) Carrie D. Wolinetz and Francis S. Collins, "NIH supports call for moratorium on clinical uses of germline gene editing," *Nature*, 567(7747), 2019.3.13, p.175.

(6) WHO Expert Advisory Committee on Developing Global Standards for Governance and Oversight of Human Genome Editing, *Human genome editing: a framework for governance*, 2021.7.12. <<https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1355481/retrieve>>

(7) WHO Expert Advisory Committee on Developing Global Standards for Governance and Oversight of Human Genome Editing, *Human genome editing: position paper*, 2021.7.12. <<https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1355486/retrieve>>

(8) WHO Expert Advisory Committee on Developing Global Standards for Governance and Oversight of Human Genome Editing, *Human genome editing: recommendations*, 2021.7.12. <<https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1355491/retrieve>>

(9) 総合科学技術・イノベーション会議「「ヒト胚の取扱いに関する基本的考え方」見直し等に係る報告(第二次)～ヒト受精胚へのゲノム編集技術等の利用等について～」2019.6.19. 内閣府ウェブサイト <<https://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/life/hitohaihoukoku2.pdf>>

(10) 「厚生科学審議会科学技術部会ゲノム編集技術等を用いたヒト受精胚等の臨床利用のあり方に関する専門家委員会」厚生労働省ウェブサイト <https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/shingi-kousei_467561_00003.html>

この御質問は良いきっかけをいただいたと思います。遺伝子ドライブと一口に言っても、かなり細分化され、様々な方式、特徴が出てきているとお話しさせていただきました。パッと見ただけでは、それがジーンドライブであるか、ジーンドライブに似た何かであるのか、非常に分かりづらいのです。ですから、聴衆の皆さんも新聞記事の中で遺伝子を組み換えた蚊、蛾を屋外で大量に放出して害虫の根絶を図るような実験が開始されましたとか、承認されましたというようなことを目にされるかもしれませんが、現時点において、それらのほとんどはジーンドライブではありません。類似してはいるが、実際にはジーンドライブではないものの中に、不妊虫放飼法⁽¹¹⁾というよく知られた技術があります。それ以外にも、優性致死遺伝子といって、成長する前に死んでしまう遺伝子をあらかじめ組み込んだ上で、それらの個体を環境中に大量に放つという、RIDL⁽¹²⁾がありますが、それはCRISPR-Cas9を利用した、ゲノム編集技術を使うようなジーンドライブとは異なります。少なくとも2021年9月時点において、ジーンドライブの野外実験がなされたことはまだないと思います、というのが回答です。

野外実験を実施するために何が必要なのかという研究は、今、各所では進められているようです。モラトリウムを設定するべきだという意見も強くなってきていますが、モラトリウムを設定するにせよ、しないにせよ、この技術がどのようなメリットを持っていて、どのようなリスクがあって、私たちが予知できない制御不可能な部分がどういう形で現れてくるのかも含めて、一度野外実験を小規模なところからやらないと、何も分からない状況で終わってしまいます。分からないことが多いから、モラトリウムを設定すべきだという意見が多いのですが、「分からない」ことを「分かること」にするためには野外実験が必要だけれども、そうした実験すらモラトリウムで認めないということになると、この技術は八方塞がりとなってしまい、そこから一歩も動けなくなります。御質問にあった評価は、それこそ安全性、効果、リスクなど様々な面での評価がありますが、これから先非常に重要な視点になると思います。

立川 恐らく御質問の方は、例えば、Oxitec社でしょうか、ケイマン諸島で遺伝子組換えした蚊を放出して、どれくらい個体数が減少するかとか⁽¹³⁾、米国でもダイヤモンドバックモスといった蛾の生物学的なコントロールが可能かどうか議論されていた⁽¹⁴⁾ことを、多分ジーンドライブではないかと思われたといった印象だったかと思います。

以上で、チャットでお受けした質問にお答えいただいたので、次は私から、全体の話に関わる点も含めて個別にお聞きしたいと思います。

まず、江面先生に質問です。届出をされ販売もされたということで一つの到達点に達したと認識していますが、これまでは、育種したものを種苗会社に渡して農協やスーパーに結び付けるようなサプライチェーンが一般的にはありました。ゲノム編集が一般的になることによって、これまでの種苗ビジネスが変わっていくのでしょうか、あるいは単に種の作り方が変わるだけにすぎず、それほど大きな影響はないのでしょうか。

(11) 人工的に増殖した害虫を不妊化して自然環境中に放出し、野生の害虫の繁殖を妨げる (Sterile Insect Technique: SIT)。

(12) 優性致死性を持つ昆虫の放出 (Release of Insects carrying a Dominant Lethal)。

(13) “Cayman: *Aedes aegypti* in the Cayman Islands.” Oxitec website <<https://www.oxitec.com/cayman>>

(14) “Diamondback moth (*Plutella xylostella*).” *ibid.* <<https://www.oxitec.com/diamondback-moth>>

江面 難しい質問だと思います。種苗産業は、これまでは種を交配して何か良いものを選び、それを使っていくといった確率論的な作業でした。それが1990年頃から、植物に関しては、モデル植物から始まって農作物へということで、ゲノム情報がかなり集積してきています。加えてここ10年ほどは、その情報をうまく使うようなツール、例えばゲノム編集技術などが整ってきたので、情報産業のような形が市場として発展するのではと思っています。日本の業界はまだそこまで情報産業化していませんが、ヨーロッパや米国、最近では中国の種苗産業は、こういった情報を大量に取って、その上で育種を効率的に進めていくアプローチがかなり進んできています。今後、種苗産業としてはより一層力をつけていく必要のある部分です。ゲノム編集だけでなく情報をしっかり扱って、いかにやっていくかに力を入れていく必要があります。

既存の遺伝子資源はたくさんあるわけで、それらを有効に使うことで種苗産業として伸びていくのではないかと思います。そうなったとき、オーダーメイドブリーディングのような感じで、情報とツールができたことによって、必要なものを、必要な形で届けることがかなりやりやすくなっていますし、そうしたことがしっかりできるところは生き残っていくと思います。そこは大学が得意というか、大学は基礎研究だけに埋没することなく、そういったところにしっかりと連携していくことが重要になると思っています。

立川 要するに、種苗会社がデジタル情報をどう効率的に取り込んでいくか、連携しながら進めていくか、そこがうまくできるところが生き残っていくというようなお話だったと思います。

次に、山本先生には先ほど大局的なお話をいただいたので別の角度からお伺いします。現在、神戸大学発のスタートアップ企業が、バイオパレット社、シンプロジェン社、バックス・バイオイノベーション社と3社あります。ゲノム編集とDNA合成、バイオファウンドリと、市場規模やビジネスモデルなど様相がかなり異なる可能性も推察します。なぜ別の企業として設立されたのでしょうか。歴史的経緯や人の問題などがあるかもしれませんが、違いが生まれる本質的な理由があればお聞かせいただければと思います。

山本 理由として、経緯や創業のタイミングなど、いろいろあろうかと思っています。私はビジネス戦略、イノベーション戦略ともう一つファイナンスが一番の専門です。3社が別々にできている最も理論的な理由は、ファイナンス、つまりお金です。お金は色が無いように見えますが、スタートアップの市場では色も匂いもあります。例えば、ディープサイエンスのスタートアップに向かうお金には、ゲノム編集技術を例にとっても、ゲノム編集技術を使って遺伝子治療のパイプライン⁽¹⁵⁾を開発するのが好きなお金（資金の出し手）、要は製薬会社になるような企業に向かっていくお金、そうではなく遺伝子治療、細胞治療とかを含めてそれに必要不可欠な、例えば、ウイルスベクターを開発したり製造したりするプラットフォーム技術が好きなお金、又はプラットフォーム的なビジネスモデルが好きなお金があります。あるいは、大変時間がかかりますが、現在、半導体のバリューチェーンの中にあるプレーヤーたちの中で、最も力を持っているのは台湾にあるTSMC社（半導体ファウンドリ）です。恐らく「デジタル×バイオ」の世界も、最終的にはバリューチェーンの中でいわゆるバイオファウンドリが業界、産業を牛耳るのだろうと考えています。であれば、時間はかかり、相当紆余曲折があるけれど、そちらに向かうお金があります。全部を一つの企業でやろうとする

(15) 新薬又はその他の医療用製品などの候補を指す。

と、例えば悪いですが八方美人になってしまい、ファイナンスの世界では誰からも振り向かれない状況になります。ですから、最初は資金の出し手の好みに合わせて特徴を明確にして、それぞれの企業の特徴を好むお金がきれいに集まってくるような形にせざるを得ません。ただし、例えば「デジタル」の世界ではGoogleが先行して大勝ちをしたので、他のプレーヤーをGoogleがどんどん飲み込んでいます。「デジタル×バイオ」の世界でも、そうしたことが最終的には行われる可能性があります。しかし、スタートアップにおける資金調達是非常にシンプルにせざるを得ません。それには資金調達の問題に関する理論的背景があるということです。

立川 実験室の研究者の観点からはあまり浮かんでこない発想が、実はすごく大きな要因になっているということですね。

山本 私は、大学に籍を置いて大学院で教育をさせていただいていますが、理科系の研究者の多くの方々にとっては、できるだけ多くの成功の可能性を模索するため、たくさんの実験、チャレンジをすることが、アカデミアとしての使命の一つになろうかと思えます。しかし、多くのトライアンドエラーの結果として生まれた優れた研究成果を事業化するべく、ルビコン川を渡ってビジネスの世界に入った瞬間に、やらないことを決めるのが戦略だということです。やらないことを明確にする中で、一つだけやることを決めることが求められるということが、非常に難しいポイントであろうかと思えます。

立川 日本だとベンチャーキャピタルを集めること自体も難しいところがあります。米国とは2桁、3桁ほど違うところがあるので、最初からある程度色をつけて呼び込んでいく。ファイナンシャルチェーンみたいな形の流れを作っていく必要があったということですね。

次は橋本先生に。先ほども御紹介いただきましたが、研究分野、例えば、植物か、動物か、はたまた魚か、扱うものによって特許の交渉窓口が変わってくるという話がありました。具体的には、植物はコルテバ・アグリサイエンス社に一本化されているので、江面先生もコルテバ社と交渉することでCRISPRの知財の問題は大方シンプルになったかと思えます。現在、魚の届出がなされていますし、動物での研究なども進んでいるかと思えます。そういった場合、窓口が一本化していないことが開発企業、開発者に持つ意味は、どう考えたらよいのでしょうか。交渉が煩雑になるので費用もかかるかもしれませんが、このあたりはいかがでしょうか。

橋本 そうですね。例えば、動物や魚でCRISPR-Cas9を使う場合には、カリフォルニア大学のERSジェノミクス社又はカリブー・バイオサイエンス社、及びブロード研究所と交渉しなければならないので確実に煩雑になります。それぞれのライセンス費用、交渉条件も加味した上でビジネスを成立させる必要があります。一方だけ交渉して、他方のライセンスが得られないという状況になったら大変ですので、その交渉の仕方は非常に難しくなります。例えば、二者の特許権者からライセンスを受けなければならない場合には、一方からライセンスを受ける際に、もう一方からライセンスを受けなければならない場合におけるディスカウント条項を契約に入れるといった実務上の対応をしながらやっていくのは一つあると思います。魚も動物も同じです。医療となると、CAR-T療法⁽¹⁶⁾などのメジャーな領域については、大企業が独占ライセンスを取得しているため、この領域のビジネスに入り込む

(16) 患者のT細胞（免疫細胞の一つ）を取り出し、がん細胞の抗原を認識するキメラ抗原受容体（CAR）を作るように遺伝子改変し、そのT細胞（CAR-T細胞）を患者に投与し、がんを治療する。

のが難しくなっています。しかも、ライセンス料は非常に高額であり、その料金が払えるかという問題もあります。動物の場合は、医療分野のように、必ずしも独占ライセンスが要望されるわけではありませんので、交渉のやり方次第で非独占的なライセンスを取得できる余地があります。植物分野については、CRISPR-Cas9については、先程お話しさせていただきましたように、一つの窓口で基本特許群のライセンスを取得できますので、一番ライセンスを取得しやすい状況にあります。あと、複数の基本特許があったとしても、必ず両方からライセンスを受けなければいけないというわけではなくて、それぞれの特許を見ながら、特許を実施する国を考慮しながら、片方だけの特許の範囲にしか自己のビジネスが関係しない場合もなきにしもあらずです。そこは企業内で検討して二つは必要ない、1本だけでよいという判断を行うことが必要になると思います。

立川 そういった交渉は、まずは弁理士さんに戦術なり進め方を含めて相談すればよいのでしょうか。

橋本 そうです。契約という細かいレベルになると、いろいろな法律が絡んできているので弁護士さんのおられる特許法律事務所みたいなところで、弁護士さん、弁理士さんと協力しながら対応するのがよろしいかと存じます。

立川 そうすると植物の場合と比べて、ますますハードルが高い感じがします。

続きまして、三成先生に質問させていただきます。御報告で簡単に触れられましたが、今後行うべき課題として、例えば、先生のスライド 22 (報告 4)、「関連規律に関する歴史的観点からの継続的な調査・分析が必要と考えられる」とあります。確かに、規制は経路依存的にしか進化するしないこともあるので、その歴史的な経緯をたどることは非常に重要だと私も思います。特に、生殖医療や今後のゲノム編集医療を考える上で、欧米先進国などと比べて日本の特徴や課題はどういったところにあるか、教えていただければと思います。

三成 非常に難しい論点になりますが、極めて重要な論点だと考え、課題として提示しました。例えば、「研究」では何か一つのことを穿(うが)つような取組が求められるように感じています。これはもちろん大変価値のあることです。国内外においてどのような文脈があり、それに自分が何を考えて投じていくのかという話にもつながります。ただ、この取組を相対的に、俯瞰的にレビューし意見を述べる研究者がどの程度存在するのかというと、あまり多くはない印象を受けます。特に、実存する規制の形成・発展過程を社会現象として捉えて言語化する取組は不足しているように思います。指針や法律が制定されたり改正されたりといった変化が生じた際には、論文などで取り扱われることがあります。これはこれで大切なことではありますが、例えば、遺伝子組換え技術の規制でしたら、70年代から振り返って経緯を見渡すことも重要かもしれません。どこまで深く見るか、どこまで広く見るかが問われますし、またどのようなアクターを対象に加えるのかといったことも論点になりますので、1人の研究者では容易にはまとめられないように思います。そして、このような振り返りがあまり行われていないことは、一つの課題といえるかもしれません。振り返りがなければ、自分たちが何を大切にきてきて、何を動かしてきたかについて捉えることができないからです。「滑り坂論」とか「滑りやすい坂論」⁽¹⁷⁾として倫理では語られることがありますが、実際には、

(17) 倫理的な判断において、あることを一度認めてしまうと坂道を滑り落ちるように歯止めが利かず、取返しがつかない結果を招くので、認めるべきではないといった論法。

私たちはある坂を既に滑っているのかもしれませんが。これを捉えるためには、原点といえますか、参照点が元々どこに置かれてあったのか、どこまで動いてきているのかを常に把握しておく必要があると思います。このような点やその動きが分からなければ、規制を考えるための礎みたいなものをそもそも築くことは困難です。規制の変化を捉えることは、客観的には無理だとしても、間主観的には可能ではないかと思っています。遺伝子治療、細胞治療、ゲノム編集技術に関しても、規制が制定され、必要に応じて統合され得るわけです。統合の際、多少強引な調整が生じる可能性もあります。例えば、二つの既存の規制同士がぶつかることもあると思います。このような場面に関わる専門委員や行政などでの事務局のメンバーは時間が経つにつれ変わります。これらを前提として、既存の規制の骨格をどのように見抜き、必要な規制の枠組みをどのように形成するかは挑戦的な課題だと思っています。これは、御質問の後半部分とも関わりますが、もちろん「日本らしさ」の把握はそれ自体とても大事だと思うわけです。他国に規制があるから日本にただ持ち込めばよい、というのでしたら、比較的簡単な話となりますが、必ずしもうまくいくとは限りません。またこのようなことを行ってうまくいかない場合には、どのようなところがうまくいかなかったのか、どのようなところに緊張関係があったのかなどが多少は明らかになるかと思っています。このあたりは、社会制度や宗教なども深く関わるのかもしれませんが、「日本らしさ」というのは、ある意味、過去を振り返る中で臍氣（おぼろげ）ながら見えてくるものではないでしょうか。明文化されていないもの、潜在的なものの中に、「日本らしさ」があるような気がしています。

ただこのような取組の担い手として誰がふさわしいのかという問いは大変難しい論点となると思います。例えば、調査会社に依頼する場合には仕様書、つまり事前に作成された規定に依存します。また研究者の場合、個人的な好奇心や関心に多分に影響を受ける可能性があります。さらに厚生労働省や文部科学省などが主導する場合、政策的に重要性や緊急性の高い論点が優先されるように思います。私自身は、多少はこのようなことに取り組んではいますが、力及ばずといったところです。もちろん私のほかに、このような論点に取り組まれている方々はおりますが、現状を踏まえ、本日、先の論点を課題として取り上げさせていただきます。

立川 いま興味深いお話をいただいたかと思います。特にゲノム編集や情報、デジタルの話もそうだと思いますが、いろいろな省庁に横断的に規制が動いています。省庁ごとにカルチャーも違いますし、決め方も応用分野も違いますが、それらを規制していくとき、日本だと擦り合わせの文化があったかと思いますが、省庁間において擦り合わせがあまり働かないことがままあることも、今回ゲノム編集の規制などで見られたかと思っています。

三成 それぞれの規制が作られたときのきっかけといいますか、イベントが異なることが、規制間の擦り合わせを難しくさせている一つの要因と言えるかもしれません。例えば、遺伝子治療関係でしたら、遺伝子治療に関する指針と臨床研究法、カルタヘナ法、これらはそれぞれ検討・制定されましたが、研究者が使用する際には一緒に扱うことになります。経緯や背景の異なる規制を同時に用いることは、研究の進展に不必要な負担や制約を課す可能性があります。またカルタヘナ法におきましても、六省が関与しますので調整は容易ではないように思います。規制に関係する難しさや大変さはあまり知られていないような気がしていますので、日本の科学技術の政策を適切かつ迅速に推進するためには、予算の獲得のみならず、このような規制の在り方についてもっと着目する方がよいのではないかと思っています。こ

れは、科学技術の進展における機会損失の防止・回避にもつながるように思います。対応としては、新しい科学技術が現れるたびに関連規制を見直したり、新規に規制を制定したりするのみならず、俯瞰的・長期的観点から規制の在り方を検討する体制を構築しておく必要があると思います。

立川 そうですね。カルタヘナ法のように新しく作った法律の場合もあれば、例えば、食品分野ですと食品衛生法を少しずつ変えながら対応してきたことで、出発点も違いますし、そのプロセスも違っているので、擦り合わせといっても簡単ではないということですね。米国だと大統領府がかなり権限を持っていて、上からトップダウン的にやるところもあるのかもしれませんが、米国にも産学官のいろいろな駆け引きなどが結構あります。国によってダイナミズムが異なっているので、間主観的に検討していく必要があると思います。

それでは藤本先生にお伺いします。ジーンドライブの議論は米国では一般的になされていて、御紹介いただいた米国科学アカデミーの報告書もありますし、研究者人口も比較的多いと思います。それに比べると、日本では研究者の口からもジーンドライブの話が語られません。今のところあまり多くの方は関心をお持ちでない。日本でジーンドライブなどが語られる対象になっていないのは、なぜなのでしょう。

藤本 私も立川先生と同じようなことを感じております。日本語の文献がほとんど出てきません。米国科学アカデミーは世界に先駆けて2016年の段階で報告書⁽¹⁸⁾を出していますし、その後のフォローアップもしています。また、2019年に米国立衛生研究所(NIH)が、「生物科学研究における遺伝子ドライブの安全性と責任ある使用について検討すること」を目的の一つとして掲げる、NExTRACという専門部会を設定しました。日本と米国とだけを比べてみても温度差があるような気がしております。

その理由に関して、ここから先は資料的裏付けのない私の推測になりますが、日本の場合、身に迫った危機感や需要が少ないのかなと感じています。例えば、米国の一部地域と中南米で、一時期蚊媒介感染症の一つであるジカウイルス感染症が流行しました。妊娠中にジカウイルスに感染した場合、胎児に小頭症等の先天性障害を来す可能性があることが報告されており、そのため米国では蚊が媒介する病気に対する警戒感が多少あるのではないかと思います。また、自然環境に対する向き合い方も、国ごと、地域ごとに違いがありますが、やはり日本と米国とでもいろいろ違うところがあります。そういったところも少しは関係しているのかなと思ったりはします。ただし、それらの推測を何をもって裏付けるかについては、これから先の課題になると思います。

ちなみに、日本では蚊が媒介する感染症はここ100年の間でかなり減少しました。したがってこれから先、例えばマラリア対策の一環としてジーンドライブを実施しようと言っても、国内ではなかなか理解や合意が得られないのではないかと感じております。国内だけの問題にとどまらない可能性もあります。日本にいる限り蚊媒介感染症にかかるリスクは非常に低いですが、逆にそういう立場から、少なくとも蚊媒介感染症の面で、日本よりも高リスクである地域のジーンドライブを差し止めるような意見を出すと、実際にリスクにさらされる人間と、それに口出しをする人間が全く違ってくることになります。こうした点が、国際

(18) National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Gene Drives on the Horizon: Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Values*, Washington, DC: National Academies Press, 2016.

的に歩調をそろえようとする際に、各国間で軋轢（あつれき）を生んだりほしくないかと、個人的には懸念しております。

感染症対策以外の使用法として、農業害虫の個体数を制御して化学合成農薬の使用量を減らすといったこともあり得ます。ただ農薬による健康被害は一昔前に比べると各メーカーや農家の方たちの努力によってかなり減ってきているので、やはりこうした利用法においても、遺伝子ドライブを使う必然性がどこまで認められるか、見通しが難しいところがあると思います。

立川 多角的な視点ありがとうございます。それでは残りの時間で、私のプレゼンで皆さまに問いかけた、今後重要になる課題、それに対する対策、そのほか、日本の強みだとか弱みだといった点についてのコメントを先生方に順に一言ずつお伺いしたいと思います。何か主張したいことでも結構ですのでお願いします。

江面 では短めに、2021年初めてゲノム編集作物を消費者に届ける第1号ができましたが、その中で、実際に皆さんに手に取ってもらうことは理解を深める上で大きいと感じました。現在、いろいろなパイプラインでゲノム編集作物の開発が進んでいます。事例として第2号、第3号、第4号が登場することが新しい技術に対する理解を深めることとなりますので、是非、このようなことに関わっている皆さんは、当然慎重にやる必要はありますが、その一方で、世の中に出すという姿勢でやっていただきたいと思います。僕たちもそのような姿勢で引き続きやっていきたいと思っております。

山本 私も人材育成が重要だと思っております。科学技術上のブレークスルー、すなわち、新たな発見や発明は、それだけでイノベーションになるわけではなく、その発見や発明が経済的、社会的価値の創造と結び付いて初めて、イノベーションになります。ブレークスルーとイノベーションの間には大きな乖離（ギャップ）があって、そこをブリッジする必要があります。そのためには、先ほど少し触れましたが、理系と文系、それから理論と実践、文理融合かつ実利融合のようなハイブリッド型の戦略企業家の養成が喫緊の課題だと思っております。お金とモノ、技術があっても、ブレークスルーとイノベーションのギャップをブリッジできる人材がいないと、イノベーションは起こりません。残された時間はあまりないので、人材育成について国レベルで取り組む必要があると考えております。

橋本 今日はあまり話題にしませんでしたでしたが、大学の立場、大学の知財研究者の立場で思うことは、予算との関係ですが、非常に良い発明を大学や公的機関でしたとしても、国際出願して各国移行する際にスポンサーがついていないと日本以外で移行するのを取り下げてしまって、日本でだけ特許を残すようなことがよく行われています。そうすると、日本の企業だけが特許の制約を受けて、海外はパテントフリーで自由に使用できることとなります。お金がある海外企業がフリーで応用開発したものを逆に日本が買わなければいけないという、国益になっているかどうかという面でおかしな状況が生じてしまいます。しかもそれは国の税金が使われた研究だということがあります。その意味では、優れた技術については、海外企業も含めて早くスポンサーとなってくれるライセンス先を探して、国際的に特許化していくことが重要です。また、大学も独自に良い発明であると判断すれば、積極的に特許費用を支援して海外にも展開していけるようにしないと、次々に矛盾したことが生じてくると思います。国家プロジェクトというと特に国益を考えて、ライセンスの対象も日本企業を中心に考えがちですが、国内企業か海外企業かを問わず積極的にライセンスを行うことが重要であると思

います。海外企業にライセンスをしないで特許が日本にだけ残るより、海外企業にライセンスをして国際的に権利化し、特許収入を得て次の研究につなげる方が、トータルで見ると国益に適うかと思しますので、世の中がそのように動いてほしいと考えています。

三成 いろいろと考えていたのですが、一言で申し上げると、基礎研究の重要性は前提として、そこから生じる応用研究や社会との接続に関わる仕事、業務の評価制度の一部見直しでしょうか。あまり言及しすぎると怒られるかもしれませんが、基礎研究は基礎研究でとても重要である一方で、例えば、本日話題に挙がったベンチャー企業で尽力されている方々や、トランスレーショナルリサーチ⁽¹⁹⁾を真剣に進められている方々、関連して、倫理審査を含め、規制の運用に意欲的に取り組まれている方々、人文・社会科学系の研究者でも実用化や実務的側面にまで従事されている方々、といった基礎研究以外の側面も適切に評価される必要があると思います。このような仕事や業務は、論文や特許の数などといった評価軸では対応できません。また数値として捉えられない仕事や業務は評価軸から抜け落ちやすい印象を持っています。適切な評価が行われなければ研究環境の活気が失われ、社会に向けた研究や活動は衰退してしまいます。この度、このような場で発言させていただけるので、評価軸の模索といえますか、実験的な取組の必要性について言及できればと思いました。実用化研究に係る公的研究費の配分に関しては、国立研究開発法人日本医療研究開発機構（AMED）や国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）において、ある程度は柔軟に対応できる仕組みがあります。研究機関として、アカデミアとしての評価軸に関しては、もちろん基礎研究や教育は重要であることは前提として、応用研究を含め、他の取組にトライする方々の評価をどのように加点していくが問われているように思います。個々の研究活動は素晴らしく尊敬しておりますが、俯瞰的な観点から、応用研究や研究支援に係る人材の評価方法を擁立していく必要があると思っています。研究支援に関しても、例えば、「科学的・社会的観点から質の高い研究を目指す」という理念の下、数値のみに依拠しない評価軸の検討を鼓舞していてもよいかもしれません。行政においても、予算を獲得する必要のある原課では、その原課なりの御苦労があると思いますが、予算獲得は一つの分かりやすい評価の指標となり得ます。一方、倫理や規制に関わる担当は、年中、規制の制定や改正に追われ大変な状況に置かれています。規制に関わる上での明確な加点指標が検討され定められているわけではないと思います。このような規制に関する取組についても、担当課在籍中はもちろんのこと、その後のキャリアパスにおいてもポジティブに評価し、このような取組を鼓舞していく必要があると思います。

藤木 一言でと言われましたが、二言申し上げます。まず、少なくともジーンドライブというゲノム編集技術の応用に関していえば、これから先重要になるのは、専門家だけではなく、一般市民の間でも認知度を上げていくことです。広く議論していくとしても、そもそも遺伝子ドライブという技術を御存じない方が圧倒的に多いので、議論しようにも議論ができない段階にあるように思います。ですから、本シンポジウムのような場で、遺伝子ドライブに期待されていることと懸念されていることが広く知られていくということが、将来的に重要になってくると思います。その上で、倫理的・法的・社会的な議論を進めていく必要があるように感じています。

(19) 基礎研究の成果を臨床・生産技術等の応用研究に橋渡しする研究。

もう一つは、ここ数年で分かってきた特徴として、遺伝子ドライブは技術的な洗練若しくは発展に要する時間が、当初予想されていたよりも非常に早いのかもしれないという点に関係します。今までモラトリアムを設定した方がよいというような意見は、率直に言って「よく分からないところがたくさんあるからやめておきましょう」というところから出発していました。わずかここ数年の間に、コントロール性も安全性も、ある程度、人間側で操作できるようになってきていますし、今後もその度合いは高まっていくと思われます。予測不可能性の度合いが減じて、もうモラトリアムを設定する必要はありませんとなったとき、日本の社会は「ゴーサインを出しましょう」とするかどうかも含めて、できるだけ早い段階で、この技術の倫理的・法的・社会的課題について議論しておいた方がよいように思います。

中村 最初に立川先生がお話されていたように、バイオがいろいろな産業に関わってきています。今調べたら、日本の医療費は約43兆円に上るとのことですが、海外の薬や機器に頼り、この分野においては貿易赤字となっています。日本が何もしないと、この構造が農業と工業に当てはまってくるので、山本先生がお話されたようなゲノム編集やデジタルバイオファウンドリは構造改革できるチャンスではあります。ここで何かちょっと力こぶを見せないといけないなどと言いながら、パワーゲームやリスクテイクを好む民族性ではないので、自動車産業で成功したようなプロセスの効率化や品質保証みたいなものは日本人の特性にあった産業形態なのかなという気はしています。安全保障上の問題もありますので、どこかで何か攻め手を見つけながら、バイオでそれなりのアドバンテージは稼いでいく必要があるのかなと思っているところです。

立川 ありがとうございます。皆さまから一通りお伺いしました。今回、それぞれ言いつばなしということで、何かまとめることではないと最初には申し上げましたが、これまで研究室にあった研究が、次々社会に出ていく状況になりつつあります。市場やビジネスへということで、海外ともいろいろ交渉しないといけないなど、公共的な世界にかなり生まれ変わりつつあります。その中で、いろいろなところとつないでいくための仕組みづくりが共通して求められていることが分かったように思います。先ほど山本先生から指摘のあった人材育成の問題、三成先生からあったトランスレーショナルリサーチのようなことで基礎から応用へ結び付けていく人たち、いわばレギュラトリーな部分の貢献をどう評価していくのか。これらもつなぐという課題に関係します。これまでは、研究室や基礎研究、あるいは論文というような世界に留まっていたものが、社会的、公共的なものになるにつれて、これまで日本の中で十分目配りができていなかった点に配慮していく必要が生まれていることを意味していると思います。こうした点を進めるための予算も必要だと思われますし、そのための人も育っていないし、教育するプログラムもない。そもそもそういった観点に対して日本では十分考慮されていなかったように思います。なお、ジーンドライブもそういう点で、人間の自然観を変えるような大きなインパクトがあるにもかかわらずあまり注視されてきませんでした。ルビコン川を渡るといった表現もありましたが、渡った先にどのような課題があるのか、ゲノム編集の世界では十分に議論されてこなかった論点はまだ多く残されているということが明らかになったと思います。

今回5人の先生方とコメンテータの中村先生を交えて、上記のような観点からみて、いろいろな要素を学ぶことができたのではないかと思います。

当初予定しておりました時間を経過しましたので、以上をもちましてシンポジウムを終了

したいと思います。本日は大変御多忙のなか、貴重な御報告を頂きましたことに改めて感謝申し上げます。御参加いただいた皆様にも感謝申し上げたいと思います。

樋山 私どもでシンポジウムを企画しました際、新興技術の社会受容性ですとか、スタートアップ企業の支援策といったことについて漠然と考えておりましたが、本日は最前線におられる先生方の問題意識が随分明確になりました。と同時に、乗り越えるべき課題の大きさにちょっと呆然としていたところでした。

予定しておりましたプログラムはこれで終了しました。本日、御登壇いただきました皆さま、またフロアにお越しの皆さま、長い時間お疲れ様でした。ウェビナーから退出なさいますとアンケート画面が表示されます。是非御記入いただければと存じます。本日はシンポジウムにお越しいただきましてありがとうございました。