

「ゲノム合成」技術のケーススタディ報告書

JST-RISTEX「ゲノム倫理」研究会

令和6年3月

目次

1.	はじめに.....	1
2.	プロセス・結果.....	2
2.1	市橋PJ.....	3
2.1.1	第1回個別WS.....	3
2.1.2	市民GI.....	4
2.1.3	第2回個別WS.....	8
2.2	末次PJ.....	14
2.2.1	第1回個別WS.....	14
2.2.2	市民GI.....	15
2.2.3	第2回個別WS.....	19
2.3	合同WS.....	24
2.4	事後アンケート.....	32
3.	考察.....	33
3.1	ELSI 論点.....	33
3.2	「ゲノム合成」関連概念マッピング.....	34
4.	今後に向けて.....	36
	ケーススタディ参加者.....	37

1. はじめに

ゲノム関連技術の研究開発は急激に進展しており、ヒトゲノム配列の解読やゲノム編集技術 CRISPR-Cas9 の登場を始め、今や人工的にゲノム配列を設計・合成することが可能となる時代にある。これにより、さまざまな領域に大きなメリットをもたらす可能性がある一方、ゲノムが「生命の設計図」であることから、生命、種、さらには生態系に対してネガティブな影響を及ぼす恐れもある。そのような中、ゲノム情報をめぐる新技術の研究開発を推進する上で、ELSI/RRI の論点や、その根底にある規範・価値観の確立が求められている。

このような背景のもと、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）社会技術研究開発センター（RISTEX）では、新興科学技術（Emerging Technologies）の研究開発及びその社会実装に伴い想定される倫理的・法制度的・社会的課題（Ethical, Legal and Social Issues/Implications: ELSI）の解決と、ELSI への取り組みを通じた責任ある研究・イノベーション（Responsible Research and Innovation: RRI）に資する取り組みの一環として「ゲノム倫理」研究会（以下、「研究会」という。）を設置・運営し、ゲノム関連技術と社会のための倫理の考察や、調査・研究活動を行っている。

研究会の活動は、ゲノムの動作原理の解明とその知見に基づく細胞利用の基盤技術の創出を目指す、JST 戦略的創造研究推進事業（CREST/さきがけ）「ゲノムスケールの DNA 設計・合成による細胞制御技術の創出」領域（以下、「ゲノム合成」領域」という。）と連携し、オンラインセミナーや合同ワークショップ（以下、WS という。）などを通して、研究開発の上流からの ELSI/RRI のあり方の検討・試行に取り組んでいる。

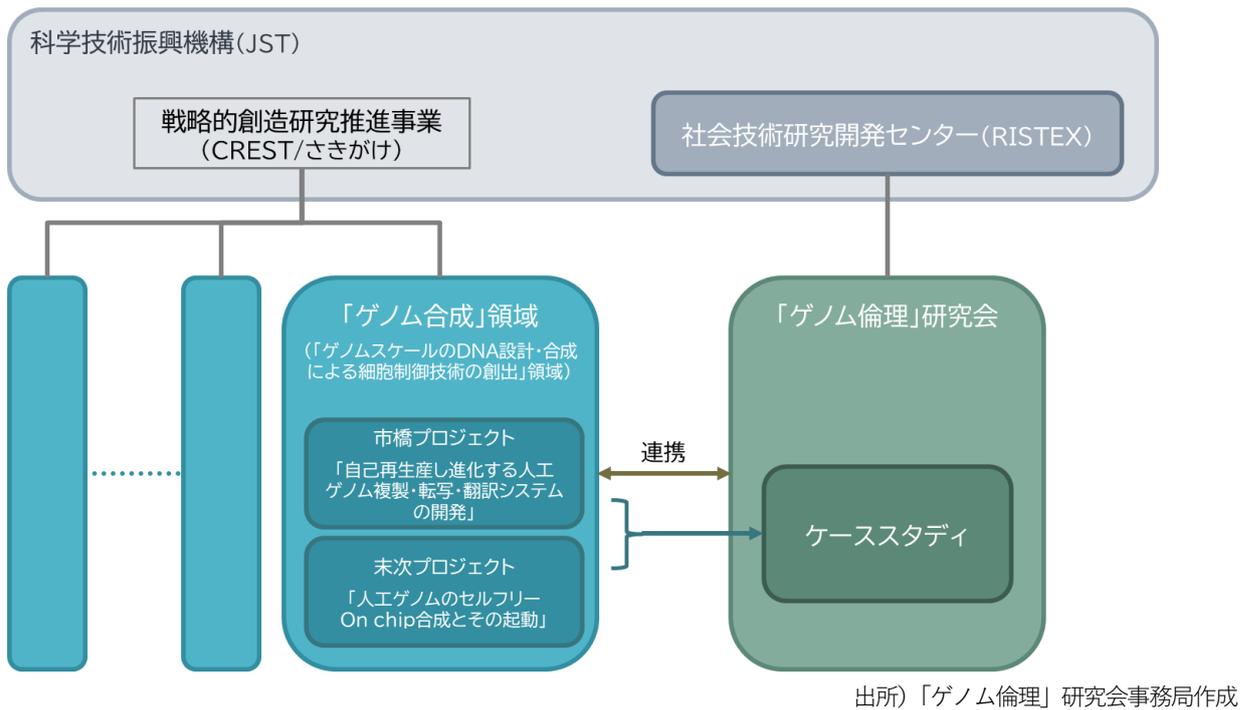
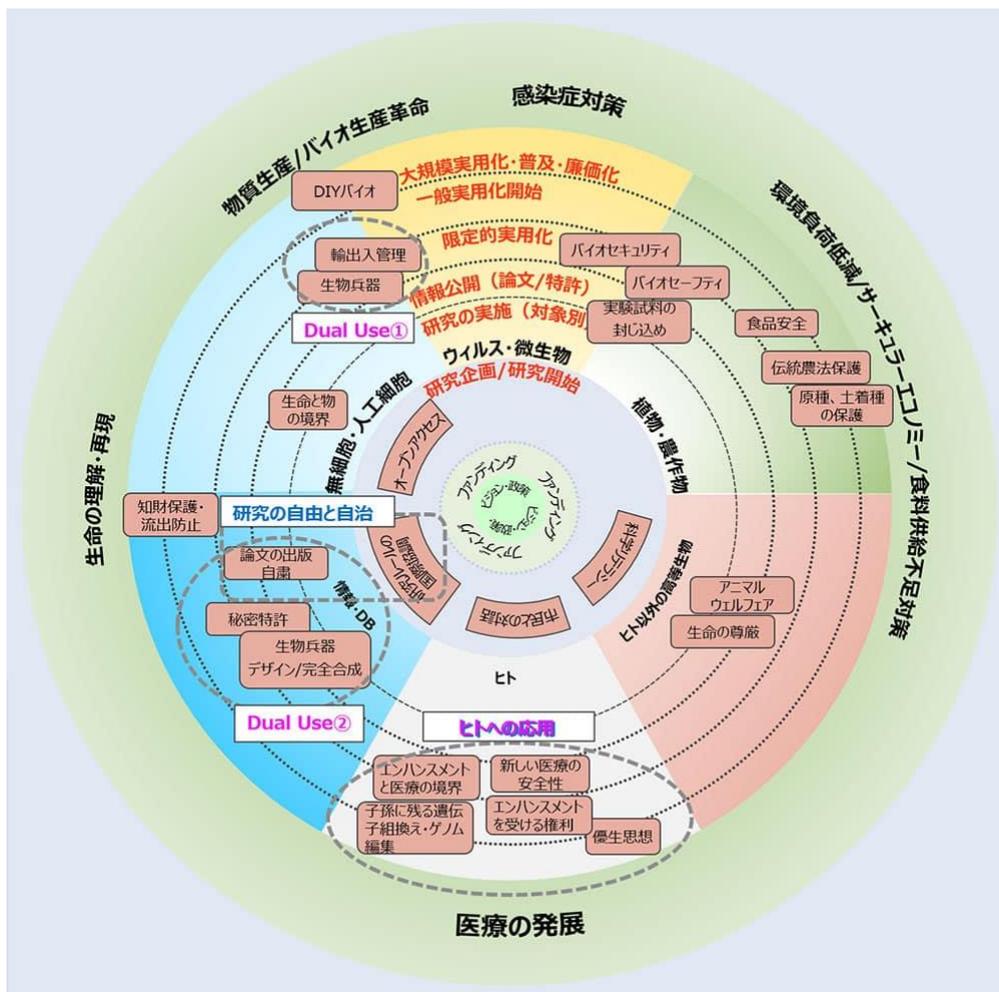


図 1 「ゲノム倫理研究会」におけるケーススタディ

本年度、研究会では、JST-CREST「ゲノム合成」領域の2つのプロジェクト（PJ）を対象に ELSI 課題や主要論点を議論するケーススタディ（図 1）としての個別 WS、及び市民意識を抽出するためのグループインタビューを実施した。また、これらの結果をふまえ、ケーススタディ俯瞰のための PJ 合同 WS を実施した。本報告書はケーススタディの全プロセスと議論結果、結果から得られた考察、参加者の感想などをとりまとめたものである。

2. プロセス・結果

2022 年度までの研究会における議論を発展させるため、ケーススタディにおいては ELSI 論点マップ 2022 (図 2) を活用することとした。このマップは、CREST/さきがけ「ゲノム合成」領域研究者および「ゲノム倫理」研究会メンバーを対象にアンケートを実施し、ELSI 論点に対する研究者の認識について調査を行い、そこで得られた共通点や差異等のデータをもとに作成したものである。



出所) https://www.jst.go.jp/ristex/internal_research/elsi/genome/genome_map.html

図 2 ELSI 論点マップ 2022 (研究対象との関連性におけるマップ)

本ケーススタディでは①対象 PJ ごとに各 2 回の個別 WS、②対象 PJ ごとに市民グループインタビュー (以下、「市民 GL」という。)、③これらを取りまとめた形での PJ 合同 WS、という 3 種類のイベントを実施した。

2.1 市橋 PJ

市橋 PJ とは、市橋伯一氏（東京大学大学院総合文化研究科教授）が研究代表者を務める CREST「自己再生産し進化する人工ゲノム複製・転写・翻訳システムの開発」課題のことである。同 PJ では、リボソームを除く人工ゲノム DNA の複製・転写・翻訳に必要なすべての遺伝子（36 個）について自己再生産する DNA 複製・転写・翻訳システムの開発を行う。この目標を実現可能なものとするために、独自に開発した単純化した DNA 複製システムと進化のしくみを用いた DNA 配列最適化手法を用いる。

2.1.1 第 1 回個別 WS

(1) プロセス

WS の内容や進め方を検討するため、2023 年 7 月 3 日に市橋氏と研究会コアメンバーによるキックオフミーティングを開催した。ミーティングでは、文系大学生向けに市橋氏から研究紹介をいただき、技術が将来社会にどのように活用されるかというロードマップを提示するなどがよいのでは、と研究会メンバーから提案があった。これに対し、市橋氏からは論点マップにある「生命の尊厳」の話をしたという意向がある一方で、研究の社会実装は 10~20 年後の話なので、まだできていないことのメリットを謳うと誇大妄想と思われるのではという懸念が伝えられた。また、生殖細胞の遺伝子組換えの是非など、現在決定すべきことと将来世代にわたって検討していくべきことも論点として深掘りするとよいのではといった提案がなされた。いずれにしても WS においては解決策まで考えるのではなく、さらなる論点や、そのために必要な調査とは何かなどについて、アウトプットとすることがよいと確認された。これをふまえ、事務局では表 1 のような ELSI 論点をあらかじめ想定した。

表 1 市橋 PJ において想定される ELSI 論点

デュアルユース [マップ左上]

- ゲノム編集による双子などの問題は、技術がどの程度広がってきたところで規制を敷くのが大事。
- 日本では一度技術の使用を許可すると、際限なく広がってしまう可能性。対象を人間とすることも影響。

知財保護・流出防止 / オープンアクセス [マップ左中央]

- 技術を使う側は、保護されすぎていると使いづらい。市橋氏はオープンリソースにするようにしているが、他の研究室で作ったマイコプラズマの株の特許が新しい株を作っても消えない。

科学リテラシー [マップ右下]

- カルタヘナ法（遺伝子組換え規制）を知らない研究従事者。

生命の尊厳 [マップ右下]

- 人工生命を、生物として考えるか考えないかが問題で、生物と考えれば生物への規制が当てはまるという考えもある。見た目の生き物らしさ／構造的な生き物らしさのどちらに重きをおくか。増やした分子の栄養となるアミノ酸は生命由来なのか、結局食べるものの中で不殺生のもものは存在するのか。

出所)「ゲノム倫理」研究会事務局作成

市橋 PJ 第 1 回個別 WS は 2023 年 8 月 31 日に 13~17 時の 4 時間にわたって東大の市橋研究室とオンライン併用のハイブリッド形式で開催された。本 WS は研究会が企画し、同事務局が運営・進行を務めた。WS では市橋氏による研究内容の紹介後にラボ見学を行い、ELSI 論点マップを見ながら市橋 PJ における ELSI 論点の深掘りポ

イントと方向性について議論を行った。その後、市民 GI の進め方について事務局から報告があり、参加者で検討した。

(2) 結果

市橋氏自身の説明によれば、市橋氏の研究分野は一般的に「人工細胞」と呼ばれている、様々な研究が包含された分野である。そのなかでも、生物の構成要素を用いて生物を再構成するボトムアップ・アプローチであり、(1) 生き物が動く理由、起源、分子から生物の機能が出てくる仕組みを理解する、(2) 人類にとって利用しやすい形で生き物の機能を取り出す、という2つの目的で研究を進めている。具体的には、ドラえもののひみつ道具「バイバイン」のような、一つ作れば自動的に増えていく人工細胞を創っている。このため、この仕組みの核心であるセントラルドグマを動かす取り組みを進めている。

市橋氏は、いつでも復活できる人工細胞に愛着が湧かず、多細胞生物とは感覚がだいぶ違う気がすると言う。これに対し、研究会メンバーからは、「命は大事だ」という際の「命」（多細胞生物などの「生命体」と微生物や植物を含む「生命」との概念が異なるのではという意見（田川氏）や、実験室で隔離されている大腸菌には情動的な相互作用はあまりないが、病原菌は襲うものとしての主体性が相手に投影されるので、主体性を見出す文脈が重要になるといった意見（岩崎氏）があった。こうした議論をふまえ、市橋氏から多細胞生物と単細胞生物の区別はしたいとしたうえで、「後者は生命ではあるが命を持っておらず、今作っているものはきっと命を持っていないものだと思う。というより、そう考えておきたい」という発言がなされた。また、できれば生物の規制に乗らない形で研究をしたいという意向とともに、現状の DNA 合成に関する規制で十分だと思っているという考えも表明された。その後、法規制をめぐり、中村氏からは生き物の境界線を論理構築できないかとの意向が示されたものの、そもそも生物学的には法律における生物の定義には相容れない部分もあり、逆に言えば、一元的な生物の定義の困難さを示しているという見方（岩崎氏）や、であるからこそ人文系の知見を用いてうまくストーリー展開して社会受容や法に落とし込むべきという意見（中村氏）があり、倫理や ELSI についてのポジティブな考え方を実践したいという研究会側の方向性が展望された。

第2回個別 WS と市民 GI にあたり深掘りしたい箇所や論点としては、「人工細胞」という呼称についての認識や市橋氏の研究の見せ方がポイントとして挙げられ、市民 GI における議論の導入としては代替的に食べ物を作ることがナラティブとしてわかりやすいという提案もあった。

2.1.2 市民 GI

(1) プロセス

市民 GI は第2回個別 WS における幅広い観点からの議論を目指し、WS 参加者以外の方の意見も参考にすることが目的である。また、第2回 WS での議論が想定される表 1 の ELSI 論点のうち、市橋 PJ の研究活動に特徴的かつ市橋氏の関心が高いテーマを扱い、当該テーマに関する意見を抽出する目的もある。

8月31日の第1回 WS において事務局から提案されたテーマ案は「生命とは何か、生命をつくる研究をどう思うか」であったが、冒頭からこのような質問を投げかけても回答が難しいと思われるため、まずはテーマをあまり絞らず研究に対する感想などから聞いていくこととした。対象者としては、普段、市橋 PJ にあまり接点のないような文系大学生で、研究に関する知識は問わないが上記テーマ案に関心がある層を想定した。また、回答のしやすさを考慮し、グループごとの属性はある程度揃えることを目指した。参加者には ELSI 論点マップにあらかじめ目を通し、気になる点・面白そうな点を考えてもらうことを事前準備として求めることとした。市民 GI はオンラインで90分実施し、参加者の自己紹介に続いて市橋氏からのビデオメッセージによる研究紹介を行い、参加者は感

想や懸念などを議論したのち、論点マップにおいてどの点が気になったかを議論することにした。そして第1回WSでの議論を共有し、それに対してどう思うか、自身の考えはどうかなどを聞くこととした。なお、参加者から質問があった際の対応として市橋氏もしくは博士後期課程の学生に参加してもらうことも提案された。

9月7日に市民GIの企画案を作成し、以下の方針を提案した。

- 市民GIはオンライン会議システムを利用して2023年9月最終週の平日夜に各回1.5時間実施する。ファシリテーションや議論の都合、市民の意見の聞き取りを丁寧に行う必要性などから、ブレイクアウトルームの設置などによって1回のイベントで複数グループを同時に議論させることはしない。
- 時間的制約などにより、1グループ5〜6名として、各PJにつき1〜2グループによる開催が最も実現可能性が高い。
- グループ・シンク（集団浅慮）を避けるため、属性ごとにグループを構成する手法は基本的に採用せず、逆に創発的な対話や気づきを得るため、参加者の多様性を意識する。例外的に、DIYコミュニティなど、同じ属性を持つ帰属意識の薄いコミュニティメンバーがまとまって確保でき、かつ、お互いに知り合いの場合には属性で区切ることもありうる。
- 各回の参加者は大人数ではないが、オンラインイベントの特性を活かしてチャットシステムを活用する。各自がチャット欄に記入することで、付箋に書くのと同様に自分の考えをしっかりと内省する機会と公平に発表する機会を与え、文字の記録として残すことができる。
- イベントの最初と最後で気になる論点を聞くことで参加者の意識の変化がわかり、市民GIの成果が明示化されるとともに、最後の論点を取り上げることで、市民意識調査において特に注目すべきアンケート項目やその回答選択肢が案出される。
- 参加者が自由に、かつ中心的に発言できる雰囲気づくりに努めるため、PJ関係者や研究会メンバーは参加せず、事務局側も最少人数の参加にとどめる。
- 参加者には事前にELSI論点マップを送付し、気になる点や面白そうな点を考えておいてもらう。事務局は各論点について最低限の解説文を用意する。

上記方針とプログラム案をもとに、9月11日に市橋氏、研究会コアメンバー、事務局による打ち合わせを行い、市民GIの進め方を決定した。市民GIの目的は(1)第2回WSに向けて市民ならではの新たな論点や視点を提供すること、(2)それぞれの参加者による意見や考えから、市民として注目すべき論点を見つけること、である。市民GIでは、自己紹介に続いて、参加者が事前予習した論点マップから気になる論点を確認する。市橋氏からは①自身の研究PJの紹介と、②研究の社会的影響・課題についての問題提起についてそれぞれ5分程度のビデオメッセージを2本放映し、それぞれについて参加者から議論や応答をしてもらう。最後に、幅広い論点についての議論を求めることとした。ビデオメッセージを2本立てにしたのは参加者に対する科学的理解・関心の促進と、社会的議論の喚起、あるいは、客観的な事実確認と主観的な意見表明のフェーズを明示的に分けて進行するためである。最後に実施する幅広い論点についての議論はフレームリフレクション手法を採用した。これは、iGEM参加者やオランダの高校生を対象にした90分のWSで実施されたもので、人々がゲノム合成分野をどのようにとらえるのかについての包括的な内省を促すものであり、前半でゲノム合成の発展における問題分析を踏まえて、その根底にある価値観や前提についてのいわゆる《そもそも論》を展開する。そもそも将来社会におけるゲノム合成技術の役割とは、さらに、そもそも人間と技術の関係はどうあるべきかといった問いとその答えから、市民が根底に抱える

問題意識を表出させることが可能になる¹。今回の市民 GI では、下記の論点を想定し、参加者に例示した。

- 将来社会におけるゲノム合成技術の役割
- 科学者・研究者のあり方
- 人間と技術の関係
- その他

このうち、科学者・研究者のあり方は末次 PJ における第 1 回 WS の議論を反映させたものであり、末次氏のように研究者でありながら起業するという働き方や、それによって変化する職業科学者の将来像などを想像してもらうことを狙いとした。

また、市民 GI の終了時もしくは終了後に参加者に対し、市橋氏に対する質問やメッセージを募集した。これらの質問やメッセージは第 2 回 WS 時に市橋氏に直接届けてフィードバックをもらうこととし、本報告書を通じて市民 GI 参加者が市橋氏からのコメントを確認することで、間接的に研究者と市民との対話が実現するように取り計らった。

(2) 結果

市橋 PJ の市民 GI は 9 月 27 日と 9 月 29 日の 2 回、それぞれオンラインで 90 分実施した。参加者は事務局担当者の機縁法により募集し、事前の打ち合わせに基づいて市橋 PJ にあまり接点のないような文系大学生を中心に参加者を構成した。参加者には可能な限りビデオオンでの参加を求めたが、本イベントの結果が開催レポートという形でウェブ公開されることから、キャプチャ画面に参加者の顔や名前が映りこむ可能性があることを伝え、望まない参加者には顔や本名が掲載されないよう配慮することとした。ファシリテーター・記録は事務局が務め、一部の研究会メンバーもビデオ／マイクオフという形で陪席した。市民 GI 終了後、参加者には謝礼を送付した。

第 1 回 (9 月 27 日)

友人関係にある文系学生 3 名のグループインタビューを実施した。それぞれ社会と人間とのかかわり (A)、法律 (B)、世界遺産の保全 (C) について学んでいるという。主な議論は下記の通り。

A：食糧難になった際に、ゲノム合成技術によって問題を解決できると思った。しかし、いざ目の前に人工的な食料があった場合、それを自分が食べられるのかは疑問である。ただし、お菓子のグミなども自然なものではなく、人工的に生産されたものなので、人工的な食料を食べることが一般的になれば違和感がないのかもしれない。

B：人が手を加えている食料に関しては、安全性に疑いがある。また、そもそも美味しいのかという点を考えてしまう。安全性に関しては、後になって問題が出てくる側面もあると思う。

C：画期的な研究だと思う。ベジタリアンにとっては非常にいいと思う。一方で、現状では食育を通して子供たちが文化を理解することができるが、このような人工物の場合、そもそも食育ができないので、文化の教育機会の喪失という側面も考えられる。

B：現状廃棄物問題が深刻なので、生産効率が上がるのはいいかもしれない。一方で、現状でも食用部位ではない

¹ van der Meij M.G. et al. (2018) Frame reflection lab: a playful method for frame reflection on synthetic biology. *Nanoethics* 12, 155-172.

部分も他の用途で有効活用されている部分がある。それが文化と結びついているとすると問題になる気がする。

C：そもそも倫理的な問題はないと思う。生き物とは動物や人間のように動いていて、頭を使っている存在だと思う。反対に植物などは生命だという印象を受けない。これと同様に、研究で生み出されるものは、生命ではないと思っている。

A：生命と物との境界について、人間を中心に考えており、人が食糧難になると困るからという形で考えてしまう。しかし、食べ物は物でもありつつ生命でもあるため、境界の中間に位置する存在について考える必要があると思った。食べ物の側で考えることの重要性である。

B：研究者の在り方としては、法律で何らかの行為を規制したとしても、遵守していることだけが重要なのではなく、科学者が善悪について考え続けることが大事だと思う。具体的には、研究者の意見交換の機会を設け、そこで互いの倫理観を確かめることである。

A：役割に関しては、現状困っている部分（地球温暖化や食糧難）を補うことでゲノム合成は貢献できると思う。一方で、現状困っていないことに対して手を加えてしまうのはいかなものかと思う。

第2回（9月29日）

文系大学生の所属するネットワークのメンバー4名に集まってもらった。それぞれ経済学・政治学を学ぶ学生（D）、ロケットエンジンの研究をする大学院生（E）、教養学部で公共政策を学ぶ学生（F）、医学部で腸内細菌やレジオネラ菌に関心を持つ学生（G）である。主な議論は下記の通り。

G：シンプルな疑問として、増える人工生化学システムの実現に数十年かかるとすれば、それが食糧の供給に役に立つまでにはもっとかかるのではないか。技術的にできるのか。

E：ビデオメッセージ①ではメリットが強調されていたが、提示されていない問題として（1）「何か気持ち悪い」ということと、（2）自然の枠組みで続いていたものを今さら新しいもの、完成されていないものに飛び乗るのはどうなのか。

D：安価で効率的に摂取できるのであれば自分としては使いたいと思いつつ、（1）殺生をしないことは本当にいいことか。鹿を駆除しないことによって田畑が荒らされるように、生態系の全体のシステムとして共倒れにならないか。（2）食は栄養を摂取する以上に娯楽として存在し続けるので、「天然物は野蛮」という流れにはならないだろう。

F：食料自給率が低い日本など広まるところは広まるし、広まらないところは広まらないのでは。見た目の問題も大きいと思う。

E：示された「生命」の定義がアルゴリズム的であるが、実際にはそうした捉え方をせず、自分の意思を持たないと生物だとは思わない。

F：直感的に生物でないとしても論争が起きるのではないか。他の問題と異なり、生命の問題はより人間に近く、個人の思想信条や、その人が生物とどう触れ合っているかによって変わるので、議論しにくいのではないか。食べることを感謝する人もいるし、しない人もいる。

D：その対象が人間に近くなってくると自分との受益関係が生じて、人間にとって警戒する対象になるだろう。

G：人間の根本の価値観から生じる違和感があるかどうかだと思う。対象が主観的な意識を持っているように外部から見えるかどうか。植物は一般的に意識がないと信じられているので、新しい植物を創り出すことに抵抗感が

ない。

E：人々に受け入れられる／ないの分岐点はコストや環境的なメリット、ブランディングだと思う。また、完全に移行してしまうことのあるリスクがあるので、後戻りできるかというところがポイント。また、自然 vs 人間ではなく、人間も自然の一部だろう。

市民GIでは、ELSI 論点マップを見て関心を持っている ELSI 論点と、ビデオメッセージを見て議論した後に重要だと思った ELSI 論点をそれぞれチャット欄への記入という形で回答してもらっている。事後のほうは特に論点マップに必ずしもこだわらなくてよいと伝えた。結果は表 2 の通り。

表 2 市民GI参加者の関心のある ELSI 論点（市橋PJ）

	事前	事後
A	生命の尊厳、食品安全	生命と物の境界
B	優生思想、子孫に残る遺伝子組み換え	保護・流出防止
C	伝統農法保護	食品安全、秘密特許、知財保護・流出防止
D	新しい医療の安全性、優生思想	原種・土着種の保護、生命と物の境界
E	遺伝子組み換え・ゲノム編集、新しい医療の安全性、優生思想	コスト、環境的なメリット、ブランディング、後戻りできるか
F	バイオセキュリティ、バイオセーフティ、実験試料の封じ込め、原種・土着種の保護、優生思想	生命の尊厳、優生思想、生物兵器、原種の保護
G	実験試料の封じ込め、バイオセーフティ、生物兵器、優生思想	生命の尊厳、食品安全、生物兵器

2.1.3 第2回個別WS

(1) プロセス

第2回WSの内容や進め方を検討するため、10月3日に市橋氏、研究会コアメンバー、事務局による事前打ち合わせを行った。その際、各論点を紐づけしたような図があるとよく、また、わかりやすい言葉での論点リストがあったほうがよいという議論になったため、事務局ではWSに向けて発表資料を改訂した。あらかじめ想定した論点は下記の3つである。

1. アルゴリズム的でない生命観

「ダーウィン進化可能な自律的な化学システム」はアルゴリズム的な生命の定義であり、市民GIの複数の参加者はそのような定義で生命を捉えておらず、意識やモビリティに依拠した考え方を持っている。食べ物にとって見た目や触感が重要なように、また、食べることに感謝する人と感謝しない人は必ずしも個人の思想信条によるとも言いきれないように、生命や人工物に対する態度は、それまでの対象とのふれあい（存在論的な関係性）に基づく部分が少なからずある。ただし「気持ち悪さ」といった感覚のみに基づく態度形成は容易に差別や優生思想を導くため、ブランディングのあり方を含め、論理と感覚とのバランスある生命観の醸成が求められるのではないかと。

2. 人間中心主義と人新世

上記の生命観はあくまでも「人間にとって」という補足が付けられる。何を食べて何を食べないか、何を生かして何を殺すかは人間の恣意によって決められている。こうした人間中心主義の結果、地球の自然を改変し地質学的スケールにまで痕跡を残すようになった人類にとって、もはや人工でない自然は存在しなくなったといえる。気候変動や食糧難といった地球規模の課題に対して技術の発展という極めて人間的な解決策はどこまで有効なのか。人為的な種の進化によって種の多様性が却って損なわれることはないか。持続可能な社会という命題に対して矛盾やリスクトレードオフをすることはないか。脱人間中心主義的な研究開発のあり方はどのようなものか。

3. 不可逆性

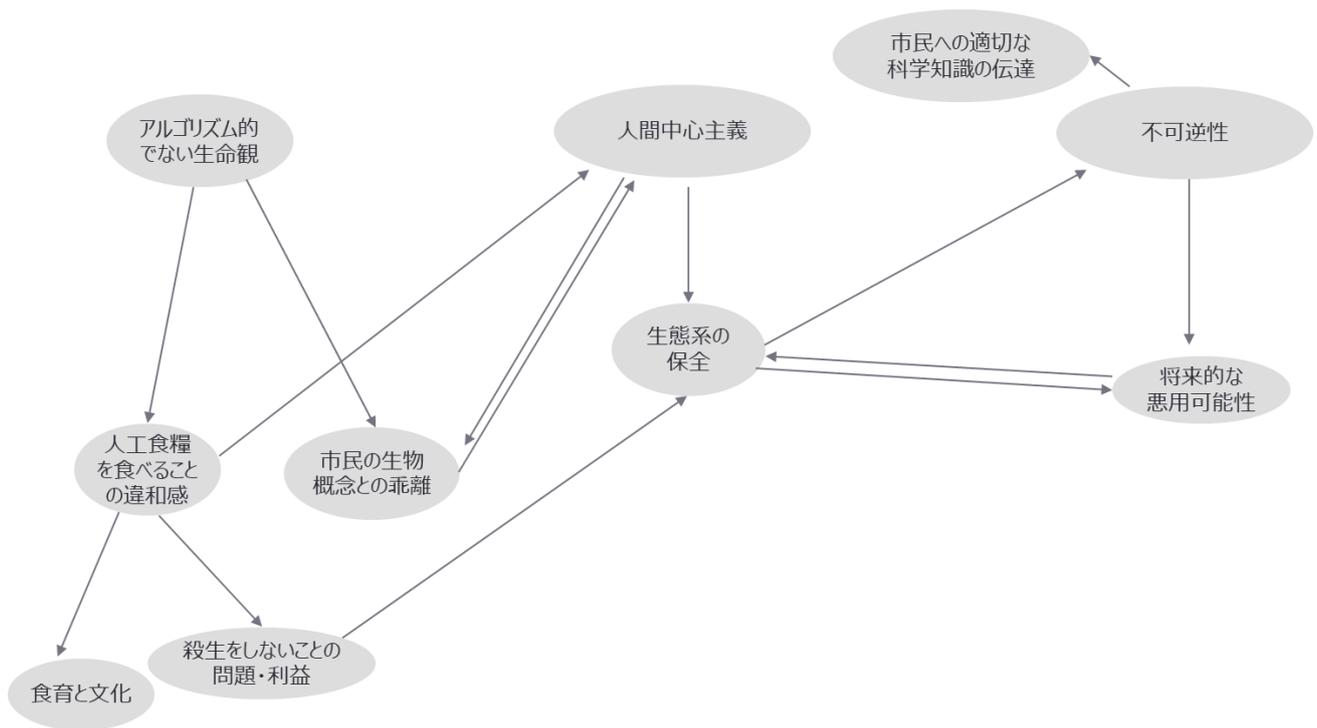
これまでの議論では、研究やイノベーションの発展による社会に対する不可逆的な影響への対応についてほとんど取り上げられていない。人類の存亡にかかるリスクについての検討が日本ではほとんど進んでいないことから、想定外のリスクを想定すること自体が社会的な評判に対するリスクとなっているのか、事前にほとんど予想できず起こった時の衝撃が大きい事象について議論して備える社会的コストが許容されていないだけなのか。これに関して、たとえばゲノムに関する機能獲得（GOF）研究をどの程度政府や社会として許容すべきか。

また、市橋PJに関わる ELSI 論点ではなく、市民参加プロセスのあり方というメタ的な論点ではあるが、事前打ち合わせの際に提示された重要な論点として、市民とのコミュニケーションのあり方も参考として補記された。

4. 市民とのコミュニケーションのあり方

市民GIを通して、市民の方々と、引き続きコミュニケーションをとりたいという感想を持った研究会メンバーがいた。研究についての知識を理解してもらったあとに議論してもらうにはどうすれば良いか。市橋PJに限定して市民の方々が意見を述べているのかや、遺伝子ドライブの話等についてある程度の知識を持って意見を述べているのかについて、どうすれば確認できるか。研究について引き続き市民と話していくために、どういう行動をしていくか。今回のGIのような試みにおいて、ある種の誤解に基づいての論点が出てしまうときに、市民相手に最初に行う技術的説明を厚くするかどうか。

これらの論点をふまえ、図3のように市橋PJの論点マップを作成した。これまでの ELSI 論点マップと異なり、主要な論点である「アルゴリズム的でない生命観」「人間中心主義」「不可逆性」を横に並べ、それらの派生的な論点との関係性を矢印で示している。ただし、あくまでも論点間のつながりを俯瞰的に把握するための素材であり、丸の大きさや位置関係に特段の意味を持たせているわけではない。



出所)「ゲノム倫理」研究会事務局作成

図 3 市橋PJの論点マップ

市橋PJ第2回個別WSは2023年10月20日に13～16時の3時間にわたって東大の市橋研究室とオンライン併用のハイブリッド形式で開催された。本WSは研究会が企画し、同事務局が運営・進行を務めた。WSでは事務局が実施した市民GIの実施結果の共有と、第1回WS・市民GIをふまえたELSI論点とELSI論点マップ(図3)を提示し、意見交換を行った。後半は研究会コアメンバーがファシリテーターを務める形で、論点の深掘り議論を進めた。

(2) 結果

まず事務局より市民GIの議論概要が報告された。続いて市民GI参加者からのメッセージ・質問が読み上げられ、各質問に対して市橋氏が口頭で応答した。結果は表3の通り。

表 3 市民GI参加者からのメッセージ・質問とその応答(市橋PJ)

市民GI参加者からのメッセージ・質問	市橋氏の応答(議事録より抜粋)
ゲノムと聞くとデザイナーベビーといった負のイメージがありましたが、先生のビデオメッセージを拝聴し沢山の可能性やメリットがあることに気付かされました。「研究者とゲノムの関わりで大切なことは」という問いでは、私は研究者の倫理観が重要になってくると考えましたが、実際に研究者という立場である先生はどういったお考えをお持ちなのか気になりました。今回は大変貴重	そうですね。倫理観は大事だと思います。あと、遵法精神に対してと思っています。法律の範囲でやりたいと思います。

<p>なお話をありがとうございました。</p>	
<p>市橋先生の研究内容はとても魅力的でした。農業人口が減り続けている日本にとって有益な技術だと感じました。インタビューを通して先生にお聞きしたいことは、この技術が実現した場合、どこまでの人がこの技術を使えるようになるのかということです。商業化していくのか、それとも研究者のみが使えるものとして管理していくのか気になりました。</p>	<p>それはもう商業化です。研究者のみ使っても余りうれしくないのです。</p>
<p>市橋先生の研究は、新規性と将来性を兼ね備えた非常に興味深い研究であると思いました。多くの社会問題が顕在し未来に不安が募る今、先生の研究はそれらの不安を解消する糸口になると感じております。研究の説明の中で、研究を通して生み出されたものが生命と言えるか、という問いが印象に残りました。「進化の有無」以外にも生命と物質との違いはあるのではないかと自分なりに考えましたが難しく、そもそも生命とは何かを深く考えるきっかけになりました。最後になりますが、先生の研究の成功と発展を心からお祈りいたします。この度はありがとうございました。</p>	
<p>ゲノム合成のような倫理的にグレーな研究ができる、もしくはしようということになった時に、その倫理性を検証するフェーズもしくは慣習が研究の中にあるのか</p>	<p>研究者単独ではないんですけど、JST やこの研究会でやっていただいているので、現状ではあるんだと思います。</p>
<p>試験管内の自律的なシステムにより、糖やタンパク質を生産するシステムの実用化まで 10 年ほどというお話がありましたが、実用化においてどのようなボトルネックが存在するのでしょうか。</p>	<p>2つあって、1つはリボソームの合成がまだできていないこと。もう1つは完全に収率の問題で、今のシステムは一応自分たちを作れるんですけども、10%ぐらいしか作る能力がなくて、それを100%にしないと増殖できないので、そこは割と試行錯誤が要るところだと思っています。</p>
<p>この度は、ゲノムという今後の社会にとって非常に重要にもかかわらず、文系学生の私としてはあまり触れる機会がなかったトピックについて理解を深める貴重な機会を頂き、ありがとうございました。市橋先生が語られるゲノムが広く活用される未来社会は非常に興味深く、説得力がありました。そのうえで、①ゲノムによる食品の精製を行うことで動植物の殺生を人間が行わなくなった場合、生態系にはどのような影響があるか、また②そもそも人間は食事に何を求めているのか、それはゲノムの活用によって完全に提供可能なのか、という2点について、先生がどのようにお考えか気になりました。どうぞよろしくお願いたします。</p>	<p>① それは人間が生まれる前の状態になるんじゃないですか。なので、影響は明らかにありますけれども、そういう世界もいいんじゃないかなと思っています。</p> <p>② 人間の食事には味と量と栄養だと思うんですけど、その由来が生き物由来であろうとそうでなかろうとあまり人は気にしないんじゃないかと思います。ですので、完全に提供可能だと思っています。</p>

続く市民GIの実施結果の報告に対する質疑応答では、食することについて文化や持続可能性の観点で捉えている者はいなかったかという質問に対して、9月27日の学生Cは世界遺産の研究をしており農業や食育のような話題も出るなど、単に自然物か人工物かという違いだけで食べ物を見ているわけではない参加者もいることが補足された。また、生命の定義が「アルゴリズム的」という話については、市橋氏がビデオメッセージの中で「ダーウィン進化可能な自律的な化学システム」と生命を定義しており、それを市民GIの参加者がアルゴリズム的であると表現したにすぎないことが確認された。実際にアルゴリズム的であるのはダーウィン進化の部分だけであり、

自律性や化学システムは通常そのように言わないため、発言の背景には小学生からのプログラミング教育の影響による世代文化の違いがあるかもしれないとの見立て（田中氏）があった。

その後、提示された ELSI 論点・マップ案が説明され、市民 GI の総括と、今後開催される合同 WS についての論点が議論された。市民 GI については、市橋 PJ についての科学的理解や生命のあり方などは大きく主題にはならず、研究の応用対象として想定された食べ物についての発言が中心となったことへの反省がなされた。市橋氏からは「あまり生き物を殺さなくて済むよというところはそんなに共感してもらえなかったなと思いました」という感想が述べられたように、市橋氏と参加者の問題意識が必ずしも一致しない結果となった。食と持続可能性といったことに対する意識が相対的に低いようだとする点について、松尾氏からは、これは日本ならではの反応かもしれない、例えば欧州などでは、食生活と環境や持続可能性、さらには地球規模の環境までがつながったプラネタリーヘルスのような概念や価値観に一定の支持があり、政策的にも議論されているなど、国や地域によって違いがあるのではないかという推察がなされた。

田中氏からは原子力事故の事例を引用して、市民はシステムの安全装置や政策的な補償としての「制御可能性」について問うていたが、市民 GI の参加者からはそうした発言はなく我が事感が薄いのではという見解が示された。とはいえ、人工培養肉や昆虫食、あるいはゲノム編集食品は喫緊の課題でもあるため、それに伴う格差の拡大、公平性などは遠い論点になっていることも懸念として併せて表明された。

市民 GI の意義に関して、有識者による公共の場では出てこない想定外の議論として、ゲノム合成という主題にもかかわらず気候変動のような地球規模の話や、世界遺産のような時間軸を前後に広げた話が出たことが挙げられる。これについて四ノ宮氏からは、総論賛成・各論反対のごとく、環境問題と食べ物の自己選択のような巨視的なものと微視的なものの見方に分かれてしまっているのではという分析があった。両者を結びつける見方として、人新世を個人による地球規模の操作可能性と捉えている若い世代の間では、「これだけ人間は世界を変えているのだから、科学によって世界を変えよう」というシンプルな科学観ないし解決主義的な見方が強くなっているのではないかという意見が交わされた。

今後の合同 WS の進め方に関して、市橋 PJ と末次 PJ それぞれの論点が提示されることと、中村氏がこれまでの WS で発言されていたように具体的なアクションまで落とすほうがよいのではという方向性が展望された。

WS 後半では、合同 WS において深掘りする論点が模索された。科学者の責任と信頼や基礎研究における原材料の調達などの問題も挙げられたが、特に議論が集中したのは生命観と、それに関する市橋 PJ における研究対象の呼称である。市橋氏の提唱する「人工生化学システム」について、市橋氏自身は生物と言ってよいか分からず、また、生物と言うことで「危ないぞ、と思う人がいられると困る」という。細胞膜がない生物はおらず、また「セルフリー」はもともと微生物の膜があるものを前提とした言葉なので、自分の開発しているものは化学合成システムと呼ぶ方が適当ではないか。微生物と比べると細胞がないので、微生物を単純化したシステムとも見なせるし、化学反応を複雑化したシステムと見ることもできる。そういった言葉をめぐる葛藤について意見が出された。こうした葛藤に対し、日比野氏からは、化学システムか微生物もどきかを決めるのではなく、そもそもグレーであることをこの場では発信すべきという提案があり、ただし《グレーであること》を市橋氏だけに背負わせるのではなく、研究開発の上流段階から関係者でしっかり議論してこのような表現になったということを示す必要性や意義が信原氏より強調された。

松尾氏よりいわゆるバイオマニュファクチャリングの活動も関連するのではないかという意見に対しては、信原氏より「バイオ」という言葉は生き物というところに引きずられるのではないかという疑問が提起された。これに対し、微生物自体の存在があるかよりも微生物が持っているようなシステムの存在を指してバイオと呼んでいるのではという推察（見上氏、四ノ宮氏）や、インプットがバイオベースの素材であることも寄与しているのではないかという意見（松尾氏）が返された。また、工業生産的なものとは違う、自然に優しい、持続可能であるとい

ったことを想起させるレトリックとしての「バイオ」もありうる。神里氏によると、こうした話は①実質的なテクノロジーがどういうものであるのか、②社会的にそのテクノロジーがどう理解されているか、③設計時にそのテクノロジーがどのようにブランディングされて予算化・工業化・商品化されるのか、という3つに分けられるのではという。

市橋PJで想定する今後のELSI論点について、田川氏からは化学合成システムと呼んでいる段階ではよいが、進化系ができるとなると悪用のおそれも含めて全然違う可能性が出てくるのではという予見が示され、こうしたことは研究者が徹底的に考えないといけないかもしれない、という発言がなされた。

2.2 末次 PJ

末次 PJ とは、末次正幸氏（立教大学理学部教授）が研究代表者を務める CREST「人工ゲノムのセルフリー-On chip 合成とその起動」課題のことである。同 PJ では試験管内再構成技術および微細加工・操作技術を用いて「セルフリー-On chip ゲノム合成技術」を開発する。また、合成ゲノムを細胞に移植して起動させるところまでを評価し、「作って起動し評価する」サイクルを高速かつ低コストで回すことを目指している。

2.2.1 第1回個別 WS

(1) プロセス

WS の内容や進め方を検討するため、2023 年 6 月 26 日に末次氏と研究会コアメンバーによるキックオフミーティングを開催した。ミーティングでは、「ゲノム合成」領域総括の塩見氏より、ゲノム合成技術によって新しい生物学、新しい種、種分化の過程が見えればよいと思っているが、一般市民にモンスターを作っているという誤解を与えないようコミュニケーションを通じて伝えたいという発言があった。末次氏からは①極長鎖 DNA の簡便な合成キットの適切な販売方法、②ゲノム設計で新しい種をデザインすることの倫理的問題について上乗せすべき事項はあるか、という 2 点について議論を深めたい旨、研究会メンバーに要望が伝えられた。また、人工細胞や合成細胞の「人工」や「合成」がどの時点で取れるものか、カルタヘナ法や遺伝子組換え申請など、技術のどの段階で適用されるものかなどの疑問も提起され、先端技術の研究こそ法制度や人の価値観を整えていく必要があるといった意見も出された。これをふまえ事務局では表 4 のような ELSI 論点をあらかじめ想定した。

表 4 末次 PJ において想定される ELSI 論点

<p>バイオセーフティ/バイオセキュリティ [マップ右上]</p> <ul style="list-style-type: none">末次氏の技術は、100 塩基程度のオリゴ DNA を組み合わせて長鎖 DNA にする技術。現時点ではハンドリングが難しい。細胞内の保存が安定。ウイルスを作成できてしまう。誰でも遺伝子組換えが可能になる（DIY バイオ）。 <p>知財保護・流出防止 [マップ左中央]</p> <ul style="list-style-type: none">DNA 合成キットが悪用されたり、大企業が一気に投資して研究を進められてしまう。 <p>科学リテラシー [マップ右下]</p> <ul style="list-style-type: none">カルタヘナ法（遺伝子組換えの規制）に基づく知財の使用が必要。これに対する理解促進。遺伝子組換えの農産物の安全性を説明するとき等に生じるリテラシーの課題。（一般的な話）

出所「ゲノム倫理」研究会事務局作成

末次 PJ 第 1 回個別 WS は 2023 年 8 月 24 日に 14～18 時の 4 時間にわたって立教大の末次研究室とオンライン併用のハイブリッド形式で開催された。本 WS は研究会が企画し、同事務局が運営・進行を務めた。WS では末次氏による研究内容の紹介後にラボ見学を行い、ELSI 論点マップを見ながら末次 PJ における ELSI 論点の深掘りポイントと方向性について議論を行った。その後、市民 GI の進め方について事務局から報告があり、参加者で確認した。

(2) 結果

末次氏はもともと細菌の研究や分子生物学のゲノム研究を行っており、立教大学に所属してからは細胞構成や細胞複製の再構成について研究するようになった。このプロジェクトで培った技術をもとにオリシロという会社を起業した。同社は2023年1月にモデルナに売却され、現在はモデルナ・エンザイマティクスという会社になっている。末次氏は生命とは何かを考えたいということが研究の動機で、生命の定義である自己複製と進化を知るためにセントラルドグマに着目した研究を進めている。ドラえもののひみつ道具「創世セット」のような、そのなかで勝手に生物が進化して第二の地球ができるようなことに関心がある。具体的には26種類のタンパク質を使って大腸菌の中に入っている環状のゲノムDNAを増やすことを行っており、オリシロでは必要な素材や方法をまとめてキット化して販売していた。

研究会メンバーとの議論においては、まずキットの販売に関するニーズや使用者の用途の把握、そして企業戦略としてのキット販売からの撤退について質問が寄せられた。末次氏としては、技術を世に広めるために試薬をキット化して誰でも使えるようにすればいいと思っていたが、試薬市場は大きくないためビジネスとしては続かなくなるので、創薬のプラットフォームづくりのほうにシフトしたという経緯が説明された。また、生命の定義をめぐる議論においては、デジタル空間のミームや、物質だけの世界が増えて進化するものを生命体と呼ぶかという信原氏の質問に対し、末次氏は自分の感覚ではそうであるとしたうえで、だがやはり生命には代謝系が必要であるという補足も加えられた。これまでの議論を振り返り、塩見氏からは、「ゲノム合成」領域は応用指向や出口指向と思われるが内実は基礎研究であり、生物の挙動や行動を適切に再構成できることを目指しているという確認がなされた。また、一般の人たちは最後の成果を見ているだけなので、その前の20年の基礎研究が見えていないとき、応用研究と基礎研究を埋める議論と基礎研究を支える仕組み、そして成果として生まれる多様な応用研究を一般の人たちに理解してもらうことも重要であるという見解が示された。

第2回個別WSと市民GIにあたり深掘りしたい箇所や論点について、まずは、市民GIで市民が参加する意義を明確にすべきとの発言があり、専門家では見えないものを掘り出すという動機があるだろうとの意見があった。これを受けつつ、キット販売を取りやめたことに対する意見をDIYコミュニティに求めたいといった要望や、国費としての科学研究において社会に成果を還元することについて科学者はどのように考えるか、市民はそれを望んでいるかを聞くのはよいだろうといった提案がなされた。

2.2.2 市民GI

(1) プロセス

市民GIは第2回個別WSにおける幅広い観点からの議論を目指し、WS参加者以外の方の意見も参考にすることが目的である。また、第2回WSでの議論が想定される表4のELSI論点のうち、末次PJの研究活動に特徴的かつ市橋氏の関心が高いテーマを扱い、当該テーマに関する意見を抽出する目的もある。

8月24日の第1回WSにおいて事務局から提案されたテーマ案は「JST等の研究成果に基づく知財の取得からベンチャー立ち上げ、米モデルナへの売却といった成果展開に向けた活動を事例として、国費でのプロジェクトにおける知財保護とオープンアクセスのバランス等についてどう考えるのか」である。対象者としては、DIYコミュニティや知財・法律関係者、学生（理学系）、学生（生命工学系）といったグループを想定した。参加者にはELSI論点マップにあらかじめ目を通し、気になる点・面白そうな点を考えてもらうほか、バイドール法の政策的な流れなど知財に関しての基礎情報や、青色LEDなど知財の取り扱いに関して話題になった事例を1つ取り上げて参加者に事前共有しておくこととした。

その後、上記2.1.2節に示した9月7日の市民GI企画案をもとに9月13日に末次氏、研究会コアメンバー、事

事務局の打ち合わせを行い、市民 GI の進め方を決定した。目的や進め方については市橋 PJ における市民 GI と同様である。

(2) 結果

末次 PJ の市民 GI は 9 月 25 日、9 月 28 日、10 月 5 日の 3 回、それぞれオンラインで 90 分実施した。参加者は事務局担当者の機縁法による募集に加え、DIY コミュニティに対しては従前からのつながりが深い研究会コアメンバーの岩崎氏に募集を依頼した。

第 1 回 (9 月 25 日)

ソバの花に来る虫の研究をしている生命科学の大学院生 (A)、理論物理の大学教員 (B)、医学部学生 (C) という理系の学生・研究者 3 名によるグループインタビューを実施した。主な議論は下記の通り。

A: 「ゲノム合成」という言葉自体が、結構マジカルな印象を受けるため、人によっては大きな倫理的問題が生じるとしてしまうのかもしれない。私としてはこの技術は素晴らしく、倫理的問題は昔から議論されているので、引き続き議論すればいいだけだと思った。

B: 多くの研究者はどのような形で研究を社会還元していくのか考えていない。一方で不信感があるような一般市民は、研究の悪影響を考えることもある。一般市民に対して、研究を翻訳する人材が必要だと思う。

B: 個人的には、よい技術が早く広まるならばそれでいいと思う。一方その研究をしていく中で、日本からお金をもらっていたと思うが、国内に還元しないのはいかなるものかという印象を受ける。(どの程度国内に還元するかについて) 制度上の話として、科研費なら研究報告をするなどの達成目標があるので、それを満たしていればいい。制度外について、国民感情は政治を動かすことで多数派の声を变えていくしかない。

C: 技術そのものに関して倫理的問題を感じていない。何かを解明し、探求するという点には、何も倫理的な問題はないと思う。むしろ、応用する際に倫理的な問題が生じると思うので、研究と応用で分けて考えた方がいいと思う。一方で技術名から使用法が想起されることもあると思うので、早期から規制の検討はすべきだと思う。

A: 科学的な目線だと、米国企業に買収されるのは問題ないと思う。しかし、日本が先進国であり続けるため、そして日本のプライドという意味では、問題ないとは言いきれないかもしれない。それは悲しいとは思いますが、仕方がないとも思う。

C: PCR との比較について気になった。既存の技術と比較した際の優秀さに興味が湧いた。

A: 科学者の多様性が研究者の在り方として求められると思う。一方で自分の周りの研究者を見ると、あらゆることを社会から求められている気がする。尖った研究者が減っている気がする。

C: 規制に限界はあるが、倫理的な善悪の感覚を共有するのが大事だと思う。あるいは、そのような環境づくりが大事だと思う。現状、善悪についてのイメージが固まっており、科学者の間での議論がない印象である。

第 2 回 (9 月 28 日)

岩崎氏の声がけにより集まった DIY コミュニティの 7 名に参加いただいた。オーストリア出身でメディアアー

ト・バイオアートを専門にしている BioClub²運営者(D)、大学教員も兼務している山口情報芸術センター(YCAM)で日本初のコミュニティバイオラボ創設・運営者(E)、本業はシステムエンジニアであるが BioClub の常連でもありバイオインフォマティクスに関心を持つ音楽家(F)、大学で芸術工学部に属し、光る細菌を使って作品制作を行っている博士課程学生(G)、システムエンジニアでありながら味噌の研究もしている BioClub 常連(H)、ゲノム編集のテーマに関心を持つ在英の現代美術家(I)、DIY バイオを取材したこともある科学コミュニケーター・ライターで医学書の編集者(J)である。主な議論は下記の通り。

H：どこからが生物かという境界が気になる。自律して生殖ができるならば生物とみなしていいと思う。

G：法整備が必要な理由は様々あり、取り返しがつかないような研究はしない方がいいというのも理解できる。一方で、行ってみないとわからないこともあると思う。これは作品を制作する上でも大事なことである。

F：IT などと異なり、バイオに関しては法に違反した際の影響範囲が比較にならないほど大きく、即時的には悪影響を確認できない。地球は破壊したら元に戻らないので、合成生物学研究をするなら、地球ではない場所(あるいは十分に物理的封じ込めができて環境)ですればいいと思う。

E：合成生物学はネガティブなイメージを持たれているので、研究者が率先して生命倫理を学び、実践していくことが必要だと思う。

I：技術のみならず、人材も海外に流出してしまっている。現状を踏まえると、資金の重要性がわかる。機関がいかにかに資金を捻出できるかだと思う。

F：日本は弱くなっていると思う。その原因としては、日本人であることに誇りを持つ教育がなされていないことが挙げられると思う。

E：(キットに関して研究機関や企業に属していないアマチュア研究者が使用できるようにするには)ライセンス制度にするといいかもしれない。

G：(海外流出の話は)予算の関係や承認スピードが原因で、日本で完結できないものが多いのだと思う。むしろ、スピードが遅いことに意義がある研究があればいいと思う。

E：一緒に考えていく専門家像を意識して、二足の草鞋を履くという方向性も考えられるが、市民科学のようにみんな履ける草鞋を考えていきたい。

J：日本の場合、大学で実験をしていたような人が、実社会に出た後に、再び実験ができるような土壌がない気がする。科学の裾野を広げるというお題目は、以前からあったと思うが、その実現のためには「学びなおし」の機会を増やすことも大事だと思った。

第3回 (10月5日)

機縁法によって集めた弁護士・弁理士のほか、日程調整の都合でこの回にアサインされた学生や DIY バイオ関係者を含む5名の参加者で実施した。企業法務の弁護士(K)、人類学でフェティシズムの研究を行う学生(L)、医薬企業でデータサイエンスに携わる弁理士(M)、企業法務の弁護士(N)、木工や電子工作など動くものづくりに携わっている DIY バイオ関係者(O)である。主な議論は下記の通り。

O：ヒト以外の生物に対する倫理と、その恩恵を知らずに生きているという点において、アニマルウェルフェアに

² 東京渋谷にある FabCafe の2階で運営されているコミュニティバイオラボで、国内の DIY バイオの拠点の一つ。

関心がある。

L：誰のためのゲノム合成か、誰にとって幸せになるか。人間の生と死ということに関心があるが、長く生きることとは良いことか。

N：基本的なことがわかっていないので、技術的なことはわからない。人工的に作られているということについて期待できる反面、怖さも感じる。何が行われているかわからない、想像のつかなさがその怖さの原因だと思う。

M：分子生物学を学んだ自分としても普通に難しい話だが、何となく凄いというのはわかる。

L：「合成生物学」という語彙の持つ影響力がある。人智を超えた感じ、手を付けられない感じがする。人工的にウイルスをつくるということは科学者の良心にかかっている。線引きというか研究倫理の基準はどうなっているのか。

O：ゲノム編集などはその時点でメリットはわかるが長期的に、あるいは別の環境でどうなるかなど、検証するのが難しそう。0からデザインすることは、「人が知りえないことはない」という前提の認識があるのではないか。

M：日本企業ではなくモデルナからしか声が掛からなかったのだとすれば、どう評価すればよいか。

K：承諾書を取るようにして悪用を防ぐということと、海外資本に買われるということ。一見相反するように思え、バランスを取るのが難しい話である。

O：DIY バイオに携わっているのは、技術のことがわからなさすぎて、科学者ではないけれども DNA などについてちょっとでも肚落ちしたいという理由がある。

L：科学者、研究者のメンタルヘルスはどう守られるのか。最先端の研究など市民に理解されないことに対する負担が大きいのではないか。

市民GIでは、ELSI 論点マップを見て関心を持っている ELSI 論点と、ビデオメッセージを見て議論した後に重要だと思った ELSI 論点をそれぞれチャット欄への記入という形で回答してもらっている。事後のほうは特に論点マップに必ずしもこだわらなくてよいと伝えた。結果は表 5 の通り。

表 5 市民GI参加者の関心のある ELSI 論点（末次PJ）

	事前	事後
A	環境負荷低減	「ゲノム合成」に特有の倫理的問題についての市民との対話
B	市民との対話	オープンアクセス
C	ヒトへの応用、安全性、感染症対策	ヒトへの応用、PCR との比較
D	改造生命の法的状況	
E	DIY バイオ、科学リテラシー、市民との対話、環境負荷低減、サーキュラーエコノミー	
F	環境負荷低減、子孫に残る遺伝子組換え・ゲノム編集	
G	DIY バイオ、バイオセーフティ、生物兵器（デザイン／完全合成）	
H	生命と物の境界、DIY バイオ、ヒトへの応用	

I	ヒトへの応用、安全性、子孫への影響、優生思想、倫理面での法整備
J	オープンアクセス、DIY バイオ、バイオセキュリティ
K	人体・健康などへの影響、技術の所有権・知的財産
L	技術がもたらす影響&その他（情報開示、生命観など）
M	医療の発展
N	医療の発展
O	ヒトへの応用（優生思想、エンハンスメントと医療の境界）、アニマルウェルフェア（同時に、ヒト以外の生物に倫理を適用する・しないの境界を作ることについて）

※ 第2回目、第3回目の市民GIは参加者が比較的多く、また、それぞれの議論が充実していたため、事後にELSI論点を確認することは時間的に余裕がないと判断し、回答してもらっていない。

2.2.3 第2回個別WS

(1) プロセス

第2回WSの内容や進め方を検討するため、10月2日に末次氏、研究会コアメンバー、事務局による事前打ち合わせを行った。事務局があらかじめ想定した論点は下記の3つである。

1. 「ゲノム」というタームの汎用性

日本人は遺伝子やDNAという単語に比べてカタカナで表されるゲノムの認知度が低く、言葉を知っている者は55%だが意味を知っている者は15%に過ぎないという調査もある³。これは研究や産業の戦略として逆用しうることと考えられ、食品に関しては遺伝子組換えよりもゲノム編集のほうが現段階では当事者性が限定されており、ポジティブフレームの報道もあって、より社会的なリスク認知が少なく、中立的なイメージの確立に成功していると分析されている⁴。「ゲノム」という言葉の持つよくわからなさが、万能感やポジティブイメージの流布につながりうる一方で、「ゲノム」が関連する何らかの社会的事象を契機に人々に恐怖を与えるおそれも考えられる。

2. 研究における「日本」の意味

なぜ日本はゲノム合成の研究に投資をしているのか。ゲノム合成に限らず、日本の科学技術・イノベーション政策はおしなべて基礎研究の振興や社会的価値の創出など、総花的で漠然とした出口戦略しかないように映る。さらに昨今では、技術主権や経済安全保障の圧力も強く働いている。このため、モデルナによる買収に対しても、多

³ Ishiyama, I. et al. (2008) Relationship between public attitudes toward genomic studies related to medicine and their level of genomic literacy in Japan. *American Journal of Medical Genetics Part A* 146A, 1696-1706.

⁴ 古橋正成 (2022) 「イノベーションの導入・普及におけるリスクの社会的増幅プロセスに関する考察—遺伝子組み換え食品事例ならびにゲノム編集食品事例のテキスト分析」『研究 技術 計画』37(4), 418-431.

くの市民がアンビバレントな態度を示さざるをえない。結局のところ《日本として》研究を進めるときの「日本」の意味が、基礎研究力の強化や国家安全保障という覇権的位置づけなのか、リソースやアウトプットの多様性の確保による国際的な市場や社会への貢献という協調的位置づけなのか、曖昧なままであることが起因しているのではない。

3. みんなで履ける草鞋のあり方

研究者と起業家という二足の草鞋は、研究者に過大な能力と負担を要求する社会であるとも危惧される。ただでさえ、昨今の研究環境では研究者は研究だけでなく教育、産学連携、審議会、科学コミュニケーションなど多方面に万能にならざるを得ないところ、草鞋の数を増やすのではなく、草鞋の大きさを変えることが必要なのではないか。その意味でDIYバイオのような市民科学はどの草鞋になるのか。また、時空間的な影響の大きいバイオと、アクセシビリティが高くスピード感のあるデジタル技術が融合するようなゲノム合成領域では、産業化やセキュリティ、コミュニケーションにおいて必然的に多様な関係者が相乗りする。従来のセクターはこれらの変化に対応できる態勢となっているか。最初に草鞋を履いた人間がそれを脱がず（脱げず）、履き続けることでその人の足型になってしまって他人が履けないという問題もあるだろう。

また、末次PJに関わるELSI論点ではなく、市民GIにおいて出ていたその他の論点として、公的な議論の難しさも参考として補記された。

4. 倫理についての公的な議論の難しさ

日本ではドイツのように国家的に生命倫理について審議する場がなく、政府の総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）生命倫理専門調査会も個別具体的テーマについてのテクニカルな議論の場になって久しい。一方で、アシロマ会議のように科学者どうしがボトムアップで議論してガイドラインをまとめるという事例も聞かない。研究者どうしによる学術的論争を掲載する邦文誌も非常に限られていることから、主張と人格が不可分な文化において公共的に主義主張を披露することの難しさがある。「ゲノム倫理」研究会を含め、個別課題やプロジェクトの枠を超えた、より開かれた議論はどのようにできるか。

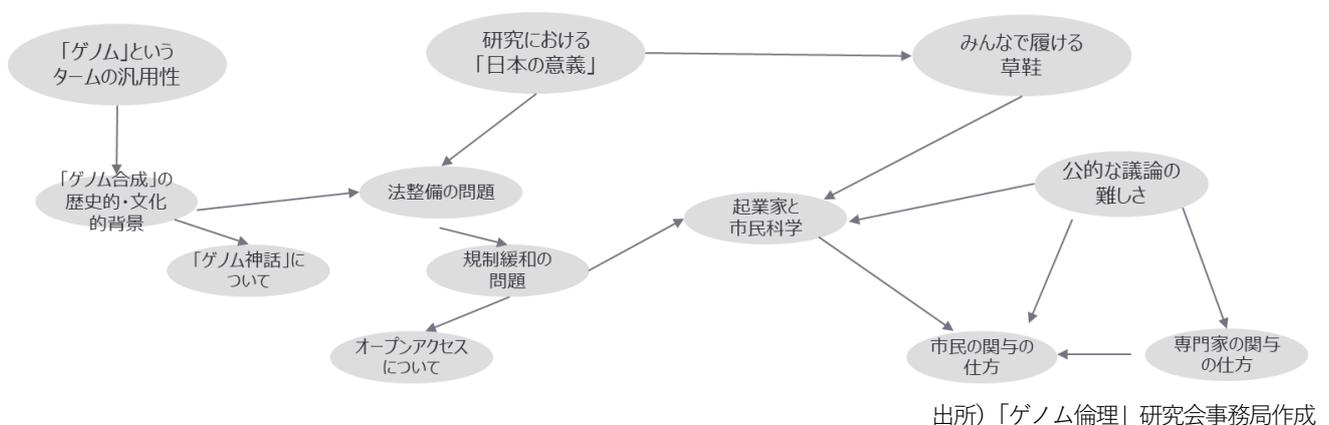


図 4 末次PJの論点マップ

末次PJの論点マップは図4の通りである。先述の通り、主要な論点である「『ゲノム』というタームの汎用性」や「研究における『日本の意義』」、「みんなで履ける草鞋」からの派生的な論点と論点間の関係性を模式的に表しており、第2回個別WSにおける議論の一助として作成されたものである。

末次PJ第2回個別WSは2023年10月16日に9～12時の3時間にわたってJST東京本部オンライン併用のハイブリッド形式で開催された。本WSは研究会が企画し、同事務局が運営・進行を務めた。WSでは事務局が実施した市民GIの実施結果の共有と、第1回WS・市民GIをふまえたELSI論点とELSI論点マップ(図4)を提示し、意見交換を行った。後半は研究会コアメンバーがファシリテーターを務める形で、論点の深掘り議論を進めた。

(2) 結果

まず事務局より市民GIの議論概要が報告された。続いて市民GI参加者からのメッセージ・質問が読み上げられ、各質問に対して末次氏が口頭で応答した。結果は表6の通り。

表6 市民GI参加者からのメッセージ・質問とその応答(末次PJ)

市民GI参加者からのメッセージ・質問	末次氏の応答(議事録より抜粋)
生物と物質の境界線に挑む研究、超エキサイティングです！これから環状でない、真核生物のゲノムも合成できるようになるのかとか、細胞がその機能を全うするにはどんな素材が最低限必要なのか、ゲノムの「不要な部分」を削っていくと、どんな不具合が起こるのか…など気になる問いがたくさんあるので、これからも研究がんばってください！	
末次先生の研究内容を拝見して、非常に興味をそそられました。社会課題の解決なども重要な観点ではあると思いますが、ぜひ多くの方がワクワクできるような研究を進めて欲しいと個人的には思います。(他人の研究内容に対して外野の一個人がどうこう言うのはおこがましいかもしれませんが…)	
PCRとの相違点など、キットについての詳細がありましたらお尋ねできますと幸いです。	PCRは短いうえに遺伝子1個でも増幅するもので、あとは温度の上げ下げの装置が必要です。私が開発している技術は環状のDNAを輪っかのまま増やす、そうするとゲノムという数百万塩基対レベルが温めるだけで増やせる。正確性も高い。
レクチャー有難うございました。私のような専門外にも先生の研究内容を端的に分かりやすくご説明いただき大変勉強になりました。中でも興味深かったのは、現在あらゆるATGCのデータバンクが充実してきて、それらのデータをもとに遺伝子合成を行うことが理論的には可能だという点でした。更に倫理的な側面と合わせ大変興味深い研究トピックだと思いました。	
①歴史に残るような研究をされていて、大尊敬です②合成ゲノムに着目したきっかけは何ですか？③市民からの反発を感じたことはありますか？	② 成り行きです。もともとそういうのができるような技術ができたから、世の中が合成ゲノムというところもあったので、その流れです。

	③ いや、大きな反発はないです。怖いとかいう声はありますけれども、それは別に反発ではない。
最終的には、どのようなところを目指していらっしゃるのか、お聞きしたいと思いました。	理解をしたいという。
ゲノム合成技術についてのルール作りについてどのように考えていらっしゃるか	今のところそこまで状況は進んでいないし、自分の技術もキットがないと使えないしというところで、そのキットを制限するかというところでは。
末次先生のお話の最初に、研究の発端として生命とは何なのか知りたい、というようなお話があったと記憶しています。研究していて、何か生命の不思議さや精巧さなど、感動することがあったら教えてほしいです。	もう本当にたくさんあるんですけども、意外と適当でシンプルだなと思うところもあるし、一方で多様性というのがめっちゃめっちゃあるなというところとか。
(聞いてよいかわかりませんが可能なら) 日本企業から買収の打診はありましたでしょうか? またあった場合提示額はいくらでしたでしょうか?	日本企業とずっとやり取りをして、いくつかの会社とやり取りをしているので、海外のモデルナだけじゃないです。

続く市民 GI の実施結果の報告に対する質疑応答では、市民の議論の仕方について質問が集まった。参加者においては場の雰囲気流されていると思われる会話もあったが、DIY コミュニティの方々などは自身の意見を持っている方が多かった。一方で、生命科学の知財にも詳しい弁護士や弁理士は、研究内容の理解や社会的課題の検討は難しいと発言していた。これは知財や研究にある程度詳しいために、わからないところが際立ってしまったのかもしれないと考えられる。また、参加者の意見の対立が表立って出てきていない印象があったという信原氏の感想に対しては、今回は多様な論点を出すことが目的であり、収束を目的としていないためではないかという分析が事務局よりなされた。また、松尾氏より、ルール化については市民 GI においては安全性の観点が主であったようだが、個人的にはデータ収集・処理・規格・再現性などにおける標準化の話も気になっているとの問題提起がなされた。ただし末次氏からは、現状では実際にゲノム合成やその技術を研究している研究者はほとんどいないので、そのような一部の人のために標準化をしてもどうしようもないのではという指摘があった。

その後、提示された ELSI 論点・マップ案が説明され、市民 GI の総括と、今後開催される合同 WS についての論点が議論された。末次氏からは市民 GI を通じて「ゲノム編集」という用語のほうが一般市民に受け入れられやすいという事実を初めて知ったこと、また、自分の研究で用いる技術を説明する際に相手が DNA を理解していないと伝わらないので、セントラルドグマやタンパク質なども理解してもらいたいとの要望があった。岩崎氏は、モデルナ買収に対して日本のプレゼンスを懸念する市民 GI の参加者と、国を区別する必要はないという末次氏の立場は分かれており、そこに論点があるのではと提案した。また、モデルナ売却を科学的視点から捉えると、末次氏の研究が注目される瞬間や技術の重要性のスイッチが変わる瞬間があり、この要素を考えるのが有用ではという意見(三成氏)や、それに関して日本では民間からの資金が米国に比べて桁違いに少ないという現状の補足(横野氏)もなされた。

市民感覚とのずれに関して、一般市民は日本の税金による研究費から誕生した技術なので日本の経済に還元してほしいと思っているのではとの考察(見上氏)に対しては、モデルナが自分の技術を買った分は日本にお金が入っているので還元はできているのではないかという意見(末次氏)が返された。これに賛同して塩見氏より、「日

本人の誇り」はサイエンスには役に立たないので、国際競争が激しいサイエンスにおいて国がサポートすることがはるかに重要であるとの指摘がなされた。ただし、エコシステムを自分のえこひいきで回すようにしないと競争に参入できないので、日本の真面目さといった特性と絡めて日本のブランド価値を推進していける可能性も示唆された（中村氏）。一方で、国益のために研究をするという言説、保守的な要素が今後増えてくることへの警戒も示された（田中氏）。こうした誰にとっての利益かを追求していくなかでは、利益相反が悪いという感覚を取り除くべきで、政策立案者、科学者、企業はそれぞれの目的と利益で動いている。本来は利益相反がある状況をどうやって調整するのかという議論をしなくてはならない、という意見もあった（見上氏）。

2.3 合同WS

(1) プロセス

末次PJ第2回個別WS（10月16日）と市橋PJ第2回個別WS（10月20日）の終了後、11月10日に事務局内で合同WSの打ち合わせを実施した。そこでWSの進め方について、研究会メンバー2名による話題提供を行うこと、合同WSには市民の方も参加すること、の2点について確認した。どちらも第2回個別WSやその前後で参加者から得られた意見やコメントをもとに組み入れたものである。その狙いとしては、前者については研究会メンバーの本業となる研究と研究会の活動との連続性を持たせ、お互いにシナジー効果を発揮するように仕掛けるとともに研究会へのコミットメントを強くしたいということがある。市橋PJと末次PJのコアな論点をそれぞれ掘り下げるため、市橋PJ側では「人工生化学システム」の科学的意義と社会とのコミュニケーションについて話せる生命科学バックグラウンドの岩崎氏、対する末次PJ側ではこれまで他の研究会メンバーからほとんど取り上げられておらず議論が焦点化されてこなかった合成生物学をめぐる国際標準化のあり方について、松尾氏に登壇の打診をすることとした。

後者については、市民GIにおいて参加者側の理解が足りないという意見や、市民GI参加者側も科学者と対話したかったという感想があったこと、また、間接的にはあるが市民参加型イベントという形式にすることで研究会の活動を社会に開かれたものにするためである。さらに合同WSではグラフィックレコーディングの採用を予定していたため、一般の人々にもわかりやすい議論を有識者に心がけてもらうことを企図した。

その後、11月29日にも研究会コアメンバーと事務局で打ち合わせを行い、並行して事務局では話題提供者2名に対して話題提供の内容についての協議や確認、グラフィックレコーダーを務めるくぼみ（久保田麻美）さんとの打ち合わせを進めていった。これらの議論をふまえ、当日プログラム、事前資料や当日発表資料の修正を行った。

最終的に確定した合同WSの目的は次の3つである。

1. 2つのPJのケースを対象にした個別の議論の成果を共有し、ケースによる論点の相違や共通点を発見すること
2. 2つのケースの共通の論点をふまえ、「ゲノム合成」領域や社会として重要な論点を抽出すること
3. 得られた重要な論点をもとに、それぞれの関係者が今後どのようなことに取り組めるか、コミットメントを持って《次の一歩》を検討すること

合同WSは、2023年12月22日に9～12時の3時間にわたってJST東京本部別館2階会議室とオンライン併用のハイブリッド形式で開催された。本WSは事務局が企画し、運営・進行を務めた。WSでは前半にこれまでの議論・論点のまとめを事務局より発表し、岩崎氏と松尾氏より話題提供と議論の整理を合わせてそれぞれ30分行った。後半ではそれまでの議論を受けた市民からの問題提起とその応答を行い、グループワークとして次の一歩を考え、全体共有・まとめ、グラフィックレコーディングによる振り返りを実施してセンター長挨拶をもって閉会とした。

グループワークは「次の一歩」というテーマである。これは、これまでの個別WSにおいて、具体的に落としていく案を考えていくべきという助言（三成氏）や課題やその対応についての時間軸の意識の必要性（中村氏）といったこれまでの個別WSで寄せられた研究会メンバーの意見をもとに設計したもので、グループワークではまず、各自が自分の立場として、あるいはゲノム倫理研究会やCRESTとして、どのようにゲノム合成のELSIに関する取り組みを進められるか、「次の一歩」を考えてみる。来年度に《自分ごと》として実行できそうなことを黄色の付箋、数年後に実行できそうなことや、実現可能性が低いこと、他のステークホルダーの協力が必要なことを緑色の付箋に記入してもらった。それからグループ内でアイデアを共有し、アクター×実現可能性のマトリクスで可能な方策をまとめてもらった（図5）。

	来年度に実現できそう	数年後に実現できそう ／ 実現可能性が低い
他のステークホルダーの 協力が必要なこと	<ul style="list-style-type: none"> 「細胞を創る」研究会で 〇〇できそう サイエンスアゴラで 〇〇できそう 〇〇大学で… 〇〇プロジェクトで… 	<ul style="list-style-type: none"> 政府で技術戦略を作成する 新しいコミュニティを立ち上げる
《自分ごと》として できそうなこと	<ul style="list-style-type: none"> 研究者として〇〇できる ゲノム倫理研究会として 〇〇できそう CRESTとして… RISTEXとして… 	<ul style="list-style-type: none"> 新しい研究テーマとして 〇〇プロジェクトを立てる 自分の大学で〇〇していく

出所)「ゲノム倫理」研究会事務局作成

図 5 グループワークで用いるマトリクスのイメージ

市民 GI 参加者を除くと、現地参加者が 20 名であったため、5 名×4 グループの構成で議論を行った。グループは末次 PJ を中心に考える 2 グループと市橋 PJ を中心に考える 2 グループに分け、それぞれの 1 つのグループには末次氏、市橋氏に入ってもらった。なお、市民 GI 参加者には研究者や政府などに期待することを自由に話し合ってもらった。

(2) 結果

WS の冒頭、事務局より市民参加者向けに研究会やケーススタディの建て付けについて説明があった後、市橋 PJ、末次 PJ のそれぞれの第 1 回・第 2 回個別 WS と市民 GI でなされた議論や論点のまとめが示された。

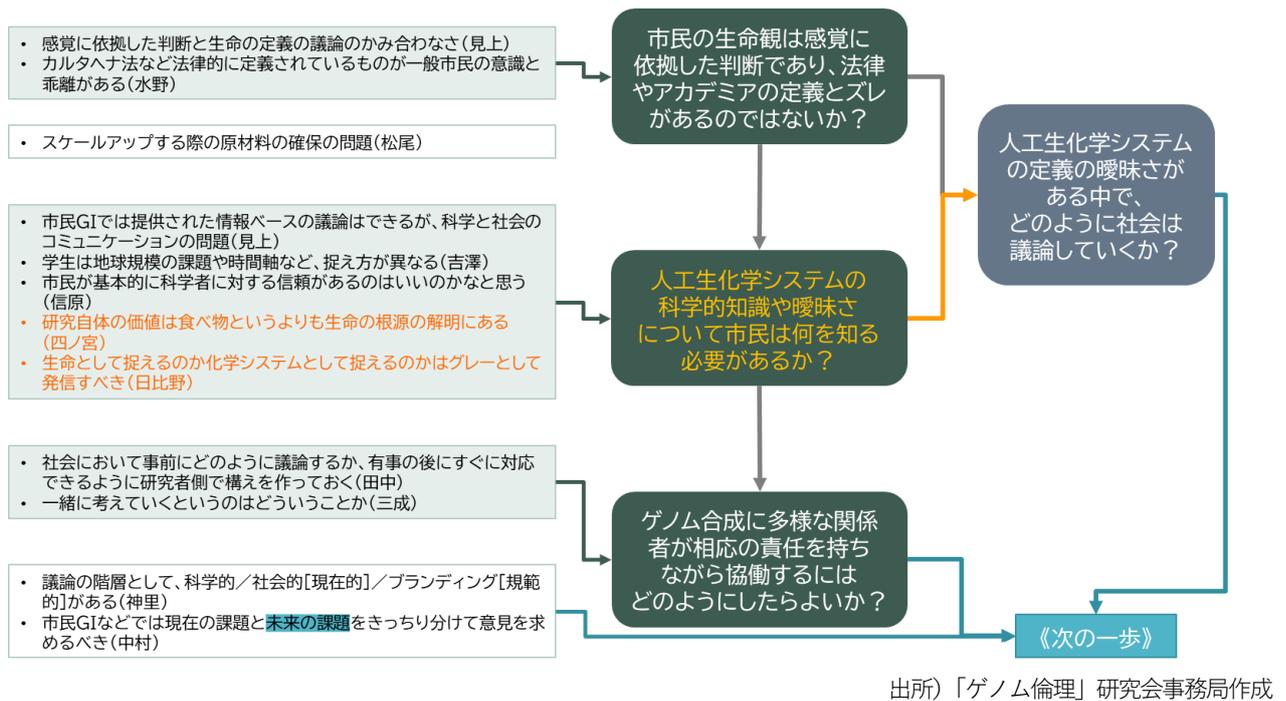


図 6 論点の推移 (市橋PJ)

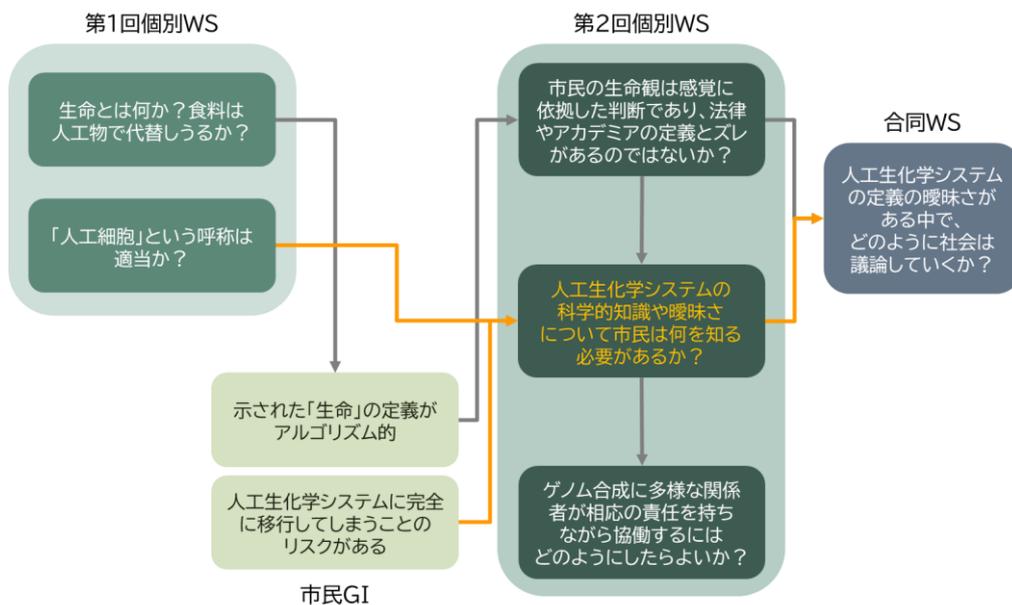
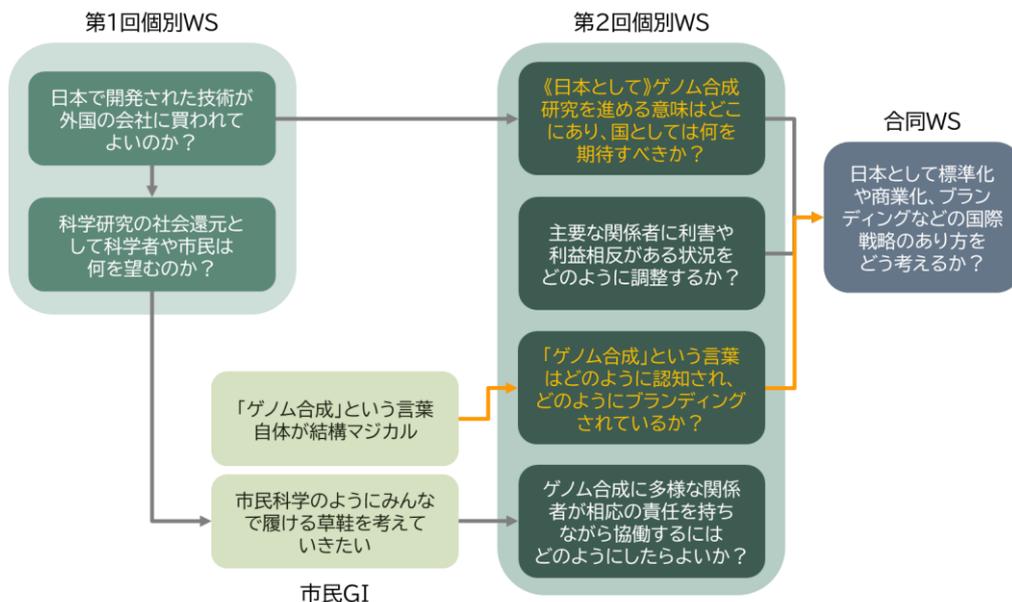


図 7 第2回個別WSからの論点 (市橋PJ)

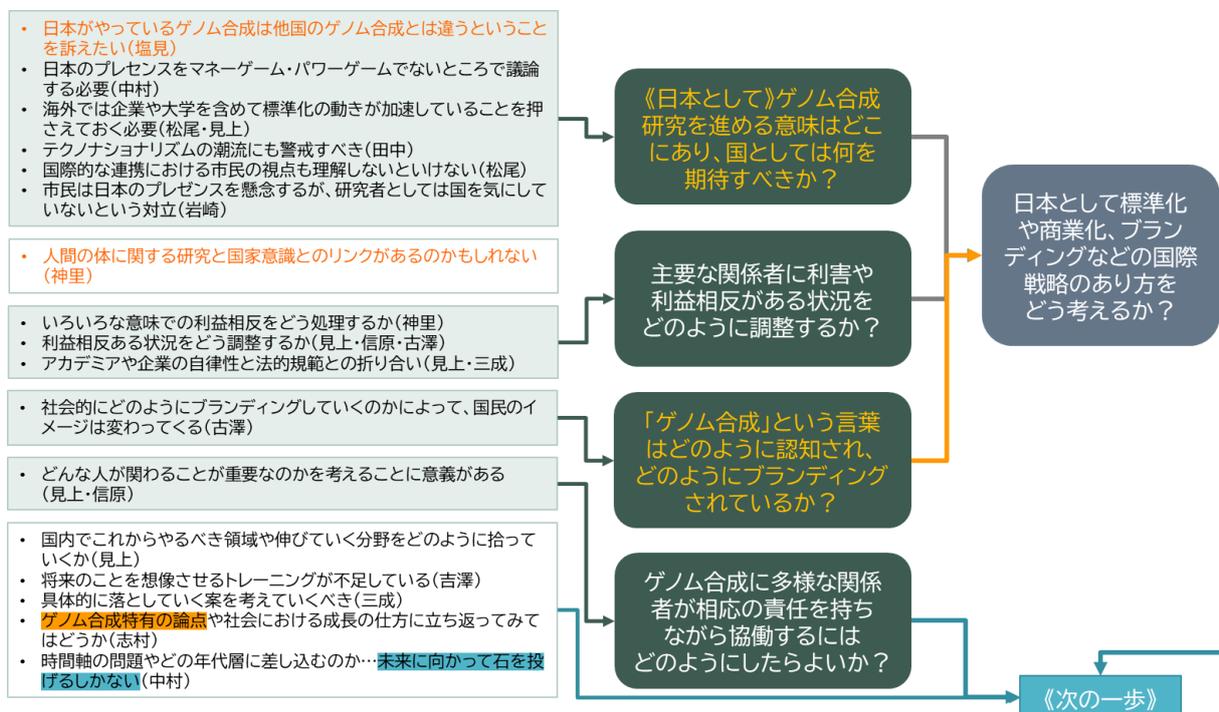
参加者のうち、市橋PJにおける議論の経緯(図6、図7)を初めて聞く有識者は末次氏のみであるため、末次氏からコメントを求めたところ、「人工細胞という言葉は一見すると市民には理解されにくいと思うが、その出口として『食べる』という点に落とし込んでいるので、市民にもその成果が伝わりやすくなっており、ブランディングとして素晴らしいと思う」という感想があった。なお、図中にオレンジ色で示した線や字はゲノム合成特有の論点として挙げたもので、他の技術や事例との重複を避けて本ケーススタディにおいてユニークで意義のある議論

をすべきという個別WSにおける志村氏の指摘に基づくものである。



出所)「ゲノム倫理」研究会事務局作成

図 8 論点の推移 (末次PJ)



出所)「ゲノム倫理」研究会事務局作成

図 9 第2回個別WSからの論点 (末次PJ)

末次PJにおける議論の経緯(図8、図9)に対して、市橋氏からは「地に足がついた研究だと思う。研究者と

してはオープンマインドで海外のリソースを用いながら研究していきたいが、あくまで日本の予算で研究しているので、日本のことを考えて研究をする必要があると思うと難しい」との心境が語られた。

続いて、岩崎氏より社会とのコミュニケーションに関する次のような話題提供をいただいた。

2016年に茨城県北芸術祭で人工細胞の塚というものを建立し、市橋氏を含めた合成生物学者に人工細胞の亡骸を提供してもらい、石碑の下に埋めるとともに、人工細胞にとっての死について語ってもらい、記録として残した。多くの研究者は反応が止まったときに人工細胞は死ぬと考えていたが、市橋氏はこのとき、人工細胞はもう一度作り直せるため死なないという回答をしていた。この回答は非常に興味深かった。つまり、人工生命という生きているものは作れても、死ぬ人工細胞は作れないということになる。一方で、死なないものは生きていけると言えるのかという大きな疑問は残される。

以上のことをふまえて、人工生化学システムの定義が曖昧な中で社会はどのように議論していくのかというお題をいただいた。そもそも私自身は人工生化学システムという言葉あまり聞いたことがなかった。生化学とは人工的なものとそうでないものの中間に位置する概念である。たとえば再構成をするイメージ、酵素の精製みたいなものが古典的であるが、これは細胞のなかで起こっているイベントを試験管の中で再構成することそのもの。また、生化学の反応ネットワークや代謝マップみたいなイメージもあれば、それを応用してハッキングすることで物質生産につながることも。あと生化学のイメージで代表的なものには、何でもすり潰してしまうという揶揄もある。鶏を理解するのに「とりあえず全部すり潰してジュースにしたところから始めるが、それで生き物のことがわかるのか」という生化学批判は古典的によく知られている。

細胞内で起こっている複雑な現象というイメージもあれば、それを人工的に簡略化し試験管内で何らかの操作をするというイメージもある。それに対してさらに「人工」と付けることは、何かそれなりのインパクトがある。

それではどうして市橋氏が人工生化学システムという用語を用いたのかというと、これは想像になるが、通常の生物と異なるものを生命や生物と呼称したくなかったためだと思われる。少なくとも死なないという点では異なる。あるいは、生命を殺生したりすることの忌避感や煩雑なルールを回避すること、社会的なバックラッシュを避けるということもあると思う。

そもそも用語的な変遷を考えると、日本では当初、合成生物学という言葉は忌避されていた。構成的な生物学や構成的なアプローチと呼ばれていた。2011年ごろには、合成生物学の訳語が表れ始めた。しかし、10年以上たった今では合成生物学という言葉に違和感を持つ人はほとんどいないため、10年間で受け入れ方が大きく変わったのだと思う。

人工細胞について言うと、大規模なゲノム改変によってミニマルセルを作っていくようなクレイグ・ベンター型のやり方と、もう一つは市橋氏・末次氏のようなスクラッチ・アンド・ビルドのボトムアップで作っていくやり方の2つのアプローチがあるが、前者の場合は純然たる人工物と言えるのかが論点化してくる。一方で後者のほうは人工物であることは間違いないが、生きていのかということが問題になる。その2つのアプローチでどこがクエスションになるのかが分かれてくるのが面白いところである。

岩崎氏の話提供に対して、市橋氏は基本的には指摘の通りだが、それに加えて、人工細胞という言葉を用いていないのは研究では細胞膜を必要としないため、その用語を用いると違和感があるため、という返答がなされた。また、「生物再構成」とすると生物ができるだけなので、もう少し良いもの、使いやすいものにするため人工っぽくしたいという意向があり、簡易的に実現するものとして生化学という言葉を用いていることも加えられた。また、末次氏からはエンジニアリング的なニュアンスとして「人工」という名称を付けるのはいいと思うという感想とあわせ、10年から20年の歴史を振り返るような岩崎氏の発表に大変感銘を受けたとの謝辞が送られた。

その後、「人工生化学システム」という用語は「人工生化学・システム」ではなく「人工～システム」と見るべきで、自然のシステムが人工でも実現できる点が強調されているという考察（見上氏）のほか、synthetic biology の訳語をめぐる経緯や類語との比較についての議論も展開された。

続いて、松尾氏より「ルール・規範形成も ELSI/RRRI—みんなで意識していくことが大事」というタイトルで次のような話題提供が行われた。

私自身は、科学技術イノベーションの研究を行っている。その中でトランジションマネジメント研究というのがある。技術は社会との相互作用の中で形成されていくというものである。これには3つの分析レベルがあり、技術開発のニッチレベル、ポリシーやカルチャー、マーケットのメゾレベル、そして上位に存在する多様なトレンドとして作用するマクロレベルがある。下位にある個々の活動がメゾレベルの規制や文化・社会制度などと、さらに上位にあるランドスケープレベルと相互作用することで、時に技術が社会全体も変えていき、逆に全体の影響を受けて技術や社会制度が相互に変化していくという概念である。

それではそういう相互作用の中で、どのように技術を形づくっていけばいいかということになるが、ここにはいわゆる「コリングリッジのジレンマ」が発生する。技術の最初の段階では技術の見通しがつかないため、コントロール方法がわからないが、その技術の影響が明らかになったころにはもはや手遅れになってしまうというジレンマである。したがって、予め社会の影響を予測する「テクノロジーアセスメント」が必要になってくる。技術の社会影響をコントロールするうえでは、ELSIの含意を考えて、ガバナンスのあり方を考える必要があり、そうした活動こそが「責任あるイノベーション」だと思っている。

次に最近のバイオに関する政策を紹介する。米国では2022年のバイオマニュファクチャリングに関する大統領令を受けて、米国科学技術政策局（OSTP）や国防省などが政策文書を発表している。英国では、EUを離脱してからイノベーション促進に舵を切り、2023年末にエンジニアリングバイオロジーに関する国家ビジョンの政策文書が出てきている。日本でも内閣府でバイオ戦略の見直しなど様々な動きがあり、政策的な機運が高まっている。

つづいて、規制や標準化が持つ影響の話をする。日本ではゲノム編集技術応用プロダクトの規制上の取り扱いが2019年に明確化され、これまでにトマトや魚などすでに6つの届出がなされている（2023年12月時点）。気が付けば、ゲノム編集技術応用プロダクトの市場導入に関して、日本は世界的に見ても非常にリードしていると位置付けられる。それが可能になった背景には、規制上の取り扱いの明確化が迅速に行われたことに加え、どう明確化されたかも重要であったと認識している。つまり、公開を前提とした「届出制」の仕組みや、製品の表示努力などの仕組みがうまく働いているのだと思うとした。

また、最後にルールに関連する昨今の話題として、生物多様性条約におけるDSI（Digital Sequence Information：デジタルの遺伝情報）の取り扱いのケースにも言及された。国家間で生物遺伝資源を移動する際には、その遺伝資源へアクセスするにあたり相手国に事前に許可を得て、その利用から生じる利益配分に関する合意を提供者とすることが生物多様性条約で定められている（これをABS：Access Benefit Sharingという）。そのABSの対象が従来はマテリアル（物質）だったのに対して、デジタル情報にまで拡大すべきとの主張がなされつつある（背景には昨今デジタル情報からもものづくりができるようになってきたことがある）。これはデジタル情報を利用してものづくりを推進する研究者や企業にも影響の大きな話で、今まさにこの議論が進行している。

松尾氏の話提供を受けて、規制についてはGM（遺伝子組み換え）とゲノム編集で切り分けできるものの市民の感覚として切り分けが難しいと思うがどうか、といった質問が四ノ宮氏よりなされた。松尾氏からは2019年のゲノム編集技術応用プロダクトの規制上の取り扱いの明確化によって、一部のゲノム編集技術応用プロダクトが規制対象外となったことから、当時市民から何らかの（ネガティブな）反応が生じると想定されたが、大きくメディアに取り上げられることも少なかったとの振り返りがあり、理由としては、日本では規制対象外となったもの

についても公開の「届出制」が設けられ、一定の透明性を担保されたこと（規制対象外になったものも知らないうちに社会に入っているという状況ではなく、少なくとも何が届けられているのかが公知）が作用している可能性があるとした。また、他の要因としては、単に今届け出されているプロダクトは市場規模が小さくマーケットインパクトが小さいことも考えられるという推論がなされた。遺伝子組換え食品について、欧米と比較すると日本の反応は弱く、当時はダイオキシンや BSE、偽装食品などの問題が大きく関心が低かったと神里氏は振り返っている。また、フランケンシュタイン・コンプレックスが日本においては文化的な側面に起因して弱いのではと分析がなされた。

休憩後、後半の開始時にここまでの議論を聞いて思ったことなどを市民 GI 参加者 3 名に伺った。A 氏は文系学生なので倫理という言葉にちょっと惹かれてきたという。倫理という考え方も、生化学をめぐる言葉の考え方もばらばらで、その 2 つをうまくかみ合わせることができないと考えるのがなかなか難しい、との感想を示した。B 氏は生態学の博士課程学生であり、ある程度今回の話もわかり、技術に対する抵抗感も少ないので《市民として》何か意見できるかわからないが、と前置きしたうえで、炭素固定してくれる人工細胞や、家畜を殺さない細胞農業などもかなりいいことだと思うのでどんどんやってほしい、とエールを送った。C 氏は医学部学生ではあるが個人的には本当に知らない領域の世界で、すごく面白く勉強させていただいたという感謝を表した。

市民 GI 参加者と有識者との意見交換では、生態学者は人工的な生命の取り組みに対して違和感があるのではないかという信原氏の質問に対し、B 氏より野外の自然な生態系や生物多様性の保全というプリンシプルとコンフリクトを生じる場合はそうかもしれないが、合成生物学については現段階ではコンフリクトを感じていないと返答がなされた。また、塩見氏より人工細胞ではなくて人工生化学システムであればある種の誤解がなくなるのではという今回の議論での気づきが話された。また、メディアの反応によって社会の意見形成がずいぶん変わってくるので、まずは今回のような場で議論してその後、しかるべきメディアで取り上げてもらうという活動も重要ではないかという展望が示された。これに対して岩崎氏は、「誤解」とみなすのは問題がある見方で、何を生命とみなすのかは学術的に定義できない文化的な問題や個人の感情の問題であるという。岩崎氏はまた、人工細胞の死をめぐる市橋氏の意見は非常にマイノリティであるが、市橋氏自身も多くの人が人工細胞に慰霊をするとか死について考えることはある意味当然だろうということもインタビューで語っていたことを取り上げ、人工細胞や人工生化学システムに対する人々の認識の幅や多様性について注意を促した。

その後のグループワーク「次の一歩」では 4 グループでそれぞれ議論し、その結果を全体で共有した。グループ A は、来年度にみんなでやっていくこととして規制と教育の 2 つを挙げた。規制については松尾氏が紹介した DSI (Digital Sequence Information) のような話があり JST で議論されていない可能性があるのでは、そこを埋めていく必要がある。教育はブランディングをしていかなければいけないのではということ、碑を造って周知したり、ゆるキャラをつくったらどうかという話があった。来年度以降の話としては生命倫理や哲学などの学問領域の見直しや大腸菌のようなものに対するバンクの必要性の検討がある。末次氏は、ナショナルバイオリソースプロジェクト (NBRP) では生物遺伝資源の収集・保存・提供を行っているが、将来的に情報だけ置いておいてゲノムから微生物をつくれれば物理的な資源そのもののストックが必要なくなるのでは、との見通しを示した。

グループ B は、やはりアウトプットが大事であるとし、EMBO や Science、Nature の Perspective や Policy Report のような形での科学コミュニティに対する発信と、幅広い一般層に対してポジティブ・ネガティブ両方を含んだゲノム合成分野の未来ビジョンを示して自分たちで考えられる土台作りをしたいとの方向性を示した。研究会に参加するメリットを明確にしないと活動の持続性もないので、自分たちでどのようなメリットが欲しいのかということも RISTEX に提示することも必要ではないかという。補足として中村氏からは、一般といっても若年層をターゲットにするべきで、体験授業や知育教材のほか、秋葉原で非天然物レストランをつくるか、映画やゲームなどサブカルチャー的な悪ふざけがあってもいいのではとのアイデアが披露された。

グループ C は、とりあえずアウトリーチ活動をいろいろやっていきたいということで市民公開フォーラムや

ELSI の対談を挙げた。また、研究会にはいろいろな専門の立場を持った人がいるので、その立場から徹底的に意見を言ったほうが盛り上がるのではないかという。補足として岩崎氏からは、今までの ELSI に関する議論から得た知見が個別で単発のまま終わってしまうのはもったいないので蓄積して行ってほしいという要望があった。また、科学者側から見て、ELSI に携わっている人文社会系の研究者がどのような学問的なアウトプットを出せるのかということが見えにくい建て付けになりがちなので、もう少し状況を改善したいという。

グループ D では、試験管のなかでマウス個体を作るところまで科学的には進展しているというので、研究会として対応が必要だろうという話があった。こうした話題についての市民対話は、政策的な対応がほぼできていてそれに納得してもらう段階でなされることが多いが、より上流段階での市民関与と政策への反映を試みることは案としてある。また、経済安全保障の問題が非常にリアルになってきたとき、ゲノム倫理において「経済安全保障」というキーワードは外せないという。そして最後に、本研究会のような公的機関における活動の継続自体に支援を得られるようにすべきであるものの、いずれにしても人材不足が問題として残っていることが指摘された。

その後、くぼみさんより、グラフィックレコーディングを用いたこれまでの議論の振り返りがなされた。くぼみさんは合同 WS 当日にリアルタイムで議論を絵にまとめていたが、正確を期すために、議事録をもとにして事務局による修正依頼と、話題提供者の岩崎氏・松尾氏の確認・修正依頼を経て改訂した。最終的に完成したグラフィックレコーディングは図 10 の通りである。



出所) くぼみ作成

図 10 合同 WS のグラフィックレコーディング

2.4 事後アンケート

合同 WS 終了後、事務局では市橋氏と末次氏、そして研究会メンバーに対して今回のケーススタディを振り返るための事後アンケートを実施した。まず、今年度のケーススタディの取り組みについては市橋氏、末次氏とも肯定的な評価であった。特に市橋氏からは「人工生化学システムを生命に似ているものとして表現しないほうが良い可能性があることは新しい知見でした」と、ケーススタディを通じた研究会メンバーとの議論による一つの成果が明確に記されたことは特筆すべきである。一方で、末次氏からは「具体的なデータを積み上げていく実験科学の研究に慣れているためか、今回の議論は、これまでの議論の蓄積（生命倫理やゲノム編集、デュアルユースなど）の上に立った積み上げになっているのかという疑問は残った」という意見もあり、合同 WS における岩崎氏からの発言と同じく、研究会において過去の ELSI に関する議論と比較して新奇性を出すことや人社系の学問的成果をきちんと提示することが科学者側から求められていることが明らかとなった。

一方、研究会メンバーも概ねケーススタディを実施してよかったという。特に、市橋氏・末次氏をはじめとする CREST 関係者が研究会メンバーと時間をかけて話せたことを評価する声が多く聞かれた。サイトビジットも含め、研究への個人的な思いなどを肌感覚で知ることができたことも重要な成果だとする回答もあった。一方で、何をアウトプットとすべきなのかが最後までピンとこなかったとする感想や、一般化するうえでの知見を蓄積することが難しいという意見もあり、ケーススタディそのものをこれまでの議論の流れ全体に対してどのように位置づければよいのかについての戸惑いも見られた。また、お互いの遠慮から「倫理の論点」について徹底的な議論ができなかったことを反省する声もあった。それは例えば、「人工細胞が活着していると思ったら、それは倫理的にはどういう論点があり、研究をやりながら配慮すべきことなのか。この技術が他の企業に買収された本当の意味は何だったのか、遺伝子組換えの規制から逃れることができるのか、そもそも遺伝子組換えの規制では秘密は守ってもらえないということから、企業や軍事関連の研究施設では後で露呈しても困らないように人工生命システムに魅力を感じているのではないか」といった点である。

今回のケーススタディのイベント構成（個別 WS#1→市民 GI→個別 WS#2→合同 WS）については、市民 GI が WS の前進に向けてうまく機能していたとは言えなかった、市民 GI によって 2 回目の WS での議論が拡散してしまったのではという意見や、対話専門家の注力・工夫が必要であったとする感想があったほか、合同 WS はそれまでの議論のまとめの要素が強く、2 つの PJ に対して行ってきた議論の接点やそれからの広がりを探る作業がやや欠落していたという指摘もあった。同様に、合同 WS は表面的な論点の確認で終わってしまい、講演に対しても討議する時間がほとんどなかったという回答も見られた。また、合同 WS で市橋 PJ・末次 PJ の若手研究者が不参加であったことを残念に思う声もあった。

来年度のケーススタディの実施については、研究者側も研究会メンバー側も意見が分かれる結果となった。他の適当な研究 PJ があればケーススタディを実施したほうがよいという回答のほか、ケーススタディを行うことで個別の論点が明確化して議論が深まる、様々なステークホルダーを巻き込みやすい口実になる、長期的に知見と経験を蓄積していく必要がある、科学研究者との連携は日常的に継続して行う必要がある、といった理由が示された。一方、改善点はあるので合同 WS で出た今後の活動の案などを反芻して目的を明確にして進めるべきという意見や、活用可能なアウトプットの作成に注力したほうがよいのではとする提案もあった。

その他、若手の STS や倫理等の研究者にもっと参加してほしいという期待や、アウトリーチのやり方を工夫してはどうかという提案、研究会メンバー間での相互理解を深める場を設けたほうがよいとする意見、RISTEX に関係者としてもっとコミットメントしてもらおう方法を考える必要があるという指摘もあった。なお、非常に多忙であるにもかかわらず本ケーススタディに全面的に協力いただいた市橋氏、末次氏に改めて謝意を表する回答者も複数名見られた。

3.考察

3.1 ELSI 論点

研究会では、これまでの調査結果を踏まえ、「ゲノム合成」領域固有の ELSI 論点の抽出・分析を行い、ELSI 論点マップの作成を行ってきている。一部の研究会メンバーから ELSI 論点マップの積極的な活用や拡充が求められていたこともあり、本ケーススタディにおいても第 1 回個別 WS および市民 GI における議論での活用を試みた。

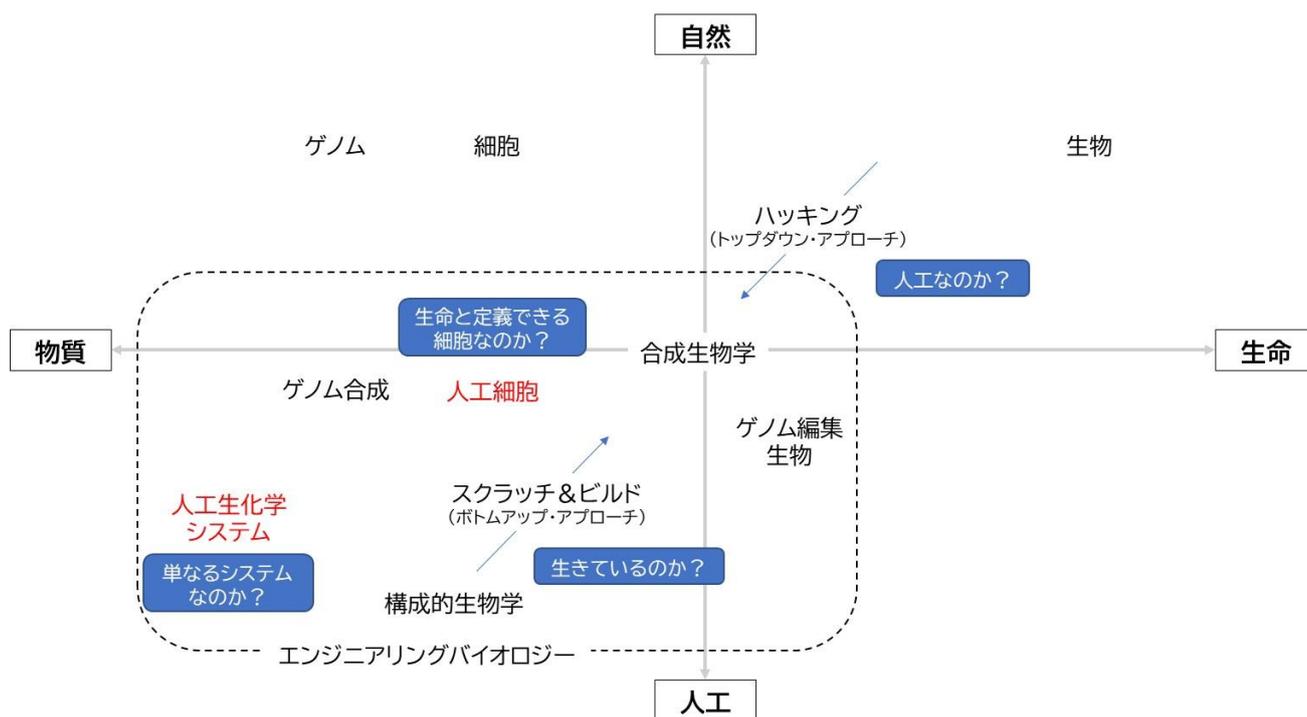
市橋 PJ においてはもともと「デュアルユース」、「知財保護・流出防止/オープンアクセス」、「科学リテラシー」、「生命の尊厳」を ELSI 論点として想定していた（表 1）。第 1 回個別 WS では、法規制や社会受容を意識した形での生命に関する定義のあり方が議論の中心であり、ELSI 論点マップ 2022（図 2）で言えば「生命と物の境界」や「市民との対話」に論点は近いが、「生命と物の境界」は法規制、場合によっては「バイオセーフティ」などにも密接にかかわる論点であることが明らかとなった。第 2 回個別 WS では既存の ELSI 論点マップにこだわらず新たに「アルゴリズム的でない生命観」「人間中心主義と人新世」「不可逆性」の 3 つを提示したが、論点マップに準えるとすると、最初は「生命と物の境界」で、残りの二つはあえて言うならば「子孫に残る遺伝子組換え・ゲノム編集」に近い。第 2 回個別 WS の議論ではケーススタディらしく、論点マップよりも個別具体的な論点として「人工生化学システム」や関連用語をめぐる科学的・社会的位置づけが大きくハイライトされた。市橋 PJ の市民 GI 参加者の反応（表 2）を見ると、市橋 PJ についての議論をした後は論点マップの「生命の尊厳」や「生命と物の境界」がやや増え、市橋 PJ の関心をそのまま反映している。一方で「知財保護・流出防止」も増えているのは、議論を通じて参加者が独自に遺伝情報の扱いや技術応用における知財保護の問題に関心を寄せるようになったためとみられる。

末次 PJ においてはもともと「バイオセーフティ/バイオセキュリティ」「知財保護・流出防止」「科学リテラシー」を ELSI 論点として想定していた（表 4）。第 1 回個別 WS では、企業戦略のあり方や生命の定義、科学の理解増進が議論され、企業戦略を除けば、論点マップの「生命と物の境界」や「科学リテラシー」に対応しうる。第 2 回個別 WS では「『ゲノム』というタームの汎用性」や「研究における『日本』の意味」、「みんなで履ける草鞋のあり方」の 3 つを提示したが、どれも論点マップにはおよそ見つかからない。WS での議論においては末次氏の関心を反映した市民 GI での議論を受けて 2 番目の「研究における『日本』の意味」に関して様々な意見が集中した。末次 PJ の市民 GI 参加者の反応（表 5）では、事前・事後の比較はほとんどできないものの「『ゲノム合成』に特有の倫理的問題についての市民との対話」を事後に挙げた参加者がいたことが象徴的である。

ケーススタディにおいては、各 PJ の特徴を捉えるために ELSI 論点マップよりも掘り下げた論点が必要となった。このため、事務局では第 2 回個別 WS において新たな論点リストと、論点間の関係性を結んだ論点マップを作成した。さらに合同 WS ではこれらをふまえた論点を挙げ、「ゲノム合成」領域に特有の論点も明示した。それらは、市橋 PJ では「人工生化学システムの科学的知識や曖昧さについて市民は何を知る必要があるか？」（図 6）であり、末次 PJ では「《日本として》ゲノム合成研究を進める意味はどこにあり、国としては何を期待すべきか？」と「『ゲノム合成』という言葉はどのように認知され、どのようにブランディングされているか？」（図 8）である。「人工生化学システム」や「人工細胞」「ゲノム編集」といった用語をめぐる科学的定義や社会的認識の曖昧さについては両 PJ の接点となる議題であり、これが間接的には法規制や標準化、社会受容の議論につながる問題であることが確認された。さらに《日本として》の研究の意義は経済安全保障や技術主権にも関わる論点であり、ケーススタディの 2 つの PJ にとどまらず「ゲノム合成」領域としても考えなければならない議題であることも示唆された。

3.2 「ゲノム合成」関連概念マッピング

合同WS終了後に合同WSの振り返りと本報告書の作成方針について、2024年1月10日に研究会コアメンバーと事務局による打ち合わせを行った。合同WSにおいて岩崎氏より合成生物学などの用語をめぐる歴史的な変遷や関連用語が紹介され、その後も「人工生化学システム」や「人工細胞」という用語の定義や概念をめぐる議論となったことから、メンバーより今年度の成果の一つとしてこうした関連概念を整理するとよいのではという提案があった。事務局ではこれを受け、岩崎氏の用いていた生命—物質と自然—人工の2軸図を足がかりに図11を作成した。



出所) 岩崎氏発表資料を翻案して「ゲノム倫理」研究会事務局作成

図11 「ゲノム合成」関連概念マップ

まず、図の右上に「生物」が位置し、そのまま左側に「細胞」「ゲノム」と続いている。「生物」は動植物を筆頭に、生命を持っており、かつ人為的操作によって生み出されていないという意味で自然物としてみなしうる。細胞やゲノムも、その生物の構成要素として自然物ではあるものの、それらを単体として見たときは生物ほどの生命性は乏しく、個別要素に分解していくほどに物質性が顕著に表れてくるものとみられる。

研究会ならびにケーススタディの主題である「ゲノム合成」については、ゲノムと同様の物質性を有するが、「合成」という人為的操作が含意されているために、縦軸の下側、人工のほうに寄っている。同じく「人工細胞」も縦軸としてはゲノム合成と同じ位置であるが、横軸としてはゲノムよりも生命寄りになっている。「ゲノム編集生物」はもともと自然物で生命を持った生物を対象にゲノム編集を加えているために、生物よりは人工的で物質的であると見なしうる。

「人工」と「合成」の違いについては合同WSでも議論になったが、末次氏は物質からボトムアップ的に作成した細胞的なシステムを「人工細胞」、天然細胞を元に合成ゲノム入れ替えなどで作成した細胞を「合成細胞」と呼

び、「人工細胞」はカルタヘナ法の対象とならず、「合成細胞」は対象となると考えている。カルタヘナ法は、遺伝子組換え生物等を使用等する際の規制措置を講じることで、生物多様性への悪影響の未然防止等を図る目的で制定されている。「合成細胞」には生物を遺伝子組換えしたものとみなされるおそれがあるため、最初から自然物ではない対象を扱っていることを強調するためには「人工細胞」という用語が適切であると考えられている。

2000年代後半、Synthetic Biology は「合成生物学」とともに「構成(的)生物学」という訳語も併用されていた。当時の認識としては「生命の基本性質を構築し人工的な物質生産を目指す場合に前者を使う例が見られ、生物機能の構築を通じ生命の理解を目指す場合に後者を使う例が見られるが、逆に使われる場合もあり、明確な使い分けは定着しているとは言えない」⁵というものであった。当時の感覚としては「合成」と「構成」で対象を変えていたという認識はなかったが、どちらかという「合成」のほうが自然にないものをつくっているイメージがあったとされ、先の引用にある「人工的な物質生産を目指す場合」と合致する。なお、現在、「構成(的)生物学」という用語はほとんど用いられず、合成生物学が用いられている。

この合成生物学には大きく2つのアプローチがあるとされ、一つは大規模なゲノムの改変によってミニマルセルを作製するようなクレイグ・ベンター型のトップダウン・アプローチと、もう一つは市橋氏・末次氏の研究手法のようにスクラッチ・アンド・ビルドで人工細胞を創っていくボトムアップ・アプローチがある。倫理的・哲学的、あるいは科学的・法的な問いとしては、前者のトップダウン・アプローチによる成果物をベンターが指して世界最初の「人工生命」というとき、本当に「人工」であると言えるのかということがある。すなわち生物にどこまで改変を加えれば人工物とみなせるのか、ということである。一方でボトムアップ・アプローチについては人工物であることは疑いえないが、では、これを生きていけると言えるかということは問題になりうる。

さらに、同じボトムアップ・アプローチである市橋氏・末次氏の研究対象を考えると、市橋氏の「人工生化学システム」は単なる人工システムであると捉えてよいものか、細胞膜がないことをもって生物のシステムとの決定的な断絶があるとしてよいのかという問いを残す。「人工生化学システム」が従来のトップダウン⇄ボトムアップという合成生物学の2つのアプローチのどちらにも倣っておらず生物のシステムとは独立の人工システムを目指していることから、図ではトップダウン⇄ボトムアップのベクトルとは異なる向きに「人工生化学システム」を配置している。同様に、末次氏の「人工細胞」についても、細胞という生物の基本構成要素を有していることをもって生命の定義に準じるのではないかという問いが提起されうる。そのため、従来の合成生物学のフレームを外れた物質側に配置を寄せている。

こうした合成生物学やゲノム編集技術を含む新興生命科学技術を指して、欧米では「エンジニアリングバイオロジー」と呼ぶことが増えている。もともと「バイオテクノロジー」(生命工学)や「バイオエンジニアリング」(生物工学)という呼称は知られているが、それらに対する概念枠組みが大きく変化したというよりも、新たな用語により科学的・産業的・社会的なインパクトを高めたいという政策立案者側の意図が強く働いていると想定される。逆に、バイオエコノミーという言葉に象徴されるように、生命科学技術がもたらさうる経済的インパクトが増大したために、従来の学術的な用語は使いづらくなったといえるかもしれない。

⁵ 科学技術振興機構研究開発戦略センター (2010)『特定課題ベンチマーク報告書「合成生物学」』CRDS-FY2009-GR-02, p. 2.

4. 今後に向けて

今回実施したケーススタディは研究会において初めての試みであり、関係者間のコミュニケーションや議題設定の方向性、議論のまとめ方や成果の見せ方など、いくつかの課題が見られた。しかし、市橋氏、末次氏、研究会メンバーからは概ね肯定的な評価があり、取り組みとして意義があったという感想も複数寄せられ、学際的な活動ならではの多様な論点や今後に向けたアイデアが得られた。「ゲノム合成」領域に直接貢献しうる成果としては、3章で分析したように、ELSI 論点マップをもとにした「ゲノム合成」領域固有の論点の掘り下げと、「ゲノム合成」関連概念マッピングが挙げられる。特に関連概念については、合同 WS において「人工化学システム」「人工細胞」などの用語が導入された背景や科学的・社会的な含意、その他の関連用語の歴史の変遷などを熟議する機会があり、塩見総括から新たな気づきがあったという好評をいただいた。これは、ケーススタディにおいて2つのケースを取り上げたからこそ、双方の論点比較による俯瞰的視座の獲得が可能となったことが示唆される。また、市橋氏、末次氏の全面的な協力と WS に対する前向きな関与のおかげで、2回の個別 WS でそれぞれ掘り下げてきたテーマや対象の異なる市橋 PJ と末次 PJ の論点を一度の合同 WS ですり合わせるという意欲的な試みが一定の成功を取めたことは報告書において特筆すべきである。

今後については、いろいろな方向性が考えられる。新たな CREST 研究者を迎えて新たにケーススタディを実施することも新たな論点発掘の可能性があるだろうし、合同 WS で提案されたように研究会メンバーによる人社系の学術的成果の創出の促進もメンバーにとっての継続的な参加意欲の喚起となるだろう。さらに、CREST 研究者と研究会メンバーとの協働として、共同論文の執筆や、市民との対話イベントといった科学コミュニケーション活動における協力体制の構築などもあるかもしれない。実際に、今回の成果を持ち帰り、自身での研究活動に展開したり、あるいは自身が進めている別のプロジェクトやコミュニティ、ネットワークとの接点を見出そうという研究会メンバーもいる。一方で、CREST 研究者も、研究会メンバーとの交流によって新たな知的刺激を受けるとともに、どのような ELSI 論点に注意しつつ、より社会的に責任ある研究・イノベーションを展開していけばよいか、自身の研究活動の見直しにつなげてもらえれば、より意義のある取り組みとして貢献できるだろう。そのためにも、研究会では常に新たな挑戦を行うとともに、累積的で持続可能な活動のあり方を模索していきたい。

参加者

CREST「ゲノムスケールのDNA設計・合成による細胞制御技術の創出」研究総括

塩見 春彦 慶應義塾大学 医学部 教授

市橋プロジェクト

市橋 伯一 東京大学 大学院総合文化研究科 教授

平田 隼大 東京大学 大学院総合文化研究科 M1

末次プロジェクト

末次 正幸 立教大学 理学部 教授

古澤 輝由 立教大学 理学部 特任准教授 / サイエンスコミュニケーター

向井 崇人 立教大学 理学部 助教

山岸 勇太 立教大学 理学部 大学院修士課程2年

大竹 海碧 武蔵高等学校2年 高校ユニオン iGEM チーム (末次 PI) リーダー

「ゲノム倫理」研究会

信原 幸弘 東京大学 名誉教授

岩崎 秀雄 早稲田大学 理工学術院 教授

岡本 拓司 東京大学 大学院総合文化研究科 教授

神里 達博 千葉大学 大学院国際学術研究院 教授

岸本 充生 大阪大学 データビリティフロンティア機構/社会技術共創研究センター 教授

四ノ宮 成祥 防衛医科大学校 学校長

志村 彰洋 株式会社電通 第7マーケティング局 ゼネラルマネージャー

田川 陽一 東京工業大学 生命理工学院 准教授

田中 幹人 早稲田大学 政治経済学術院 教授

中村 崇裕 九州大学 大学院農学研究院 教授

日比野 愛子 弘前大学 人文社会科学部 教授

松尾 真紀子 東京大学 公共政策大学院 特任准教授

見上 公一 慶應義塾大学 理工学部 准教授

水野 祐 シティライツ法律事務所 弁護士/九州大学 グローバルイノベーションセンター 客員教授*

三成 寿作 京都大学 iPS 細胞研究所 上廣倫理研究部門 特定准教授

横野 恵 早稲田大学 社会科学部 准教授

国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST)

小林 傳司 JST 社会技術研究開発センター センター長

平尾 孝憲 JST 社会技術研究開発センター 企画運営室 室長

大竹 利也 JST 社会技術研究開発センター 企画運営室 調査役

小宮 泉 JST 社会技術研究開発センター 企画運営室 副調査役

森田 由子 JST 社会技術研究開発センター 企画運営室 専門役

関本 一樹 JST 社会技術研究開発センター 企画運営室 副調査役

青木 彩 JST 社会技術研究開発センター 企画運営室 主査

山内 悦子 JST 社会技術研究開発センター 企画運営室 専門員

嶋崎奈美恵 JST 社会技術研究開発センター 企画運営室 事務補助

大町 桂 JST 戦略研究推進部 ライフイノベーショングループ 主査
丹羽 一 JST 戦略研究推進部 ライフイノベーショングループ 主任専門員

EY 新日本有限責任監査法人 (EY)

吉澤 剛 EY CCaSS 事業部 パブリッククラスター マネージャー
南條 有紀 EY CCaSS 事業部 パブリッククラスター マネージャー
山二 滉大 EY CCaSS 事業部 パブリッククラスター