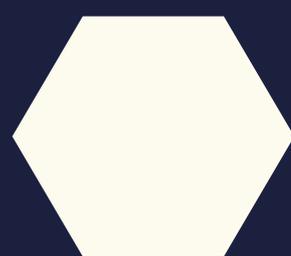


「研究者の自治」のための レファレンスブック



JST RISTEX

科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題 (ELSI) への包括的実践研究開発プログラム (2021 年度採択)
「研究者の自治に基づく分子ロボット技術の RRI 実践モデルの構築」研究開発プロジェクト

はじめに	004
分子ロボットとは？	008

第1部 社会の中の研究活動

1-1 知識生産の様式	018
1-2 科学者の社会的責任	024
1-3 ELSI と RRI	030
1-4 研究対象としての科学	036
1-5 研究開発の「上流」	042
1-6 科学とメディア	048
1-7 科学コミュニケーション	054
1-8 市民参加	060
1-9 オープンサイエンス	066
1-10 市民科学	072
1-11 科学技術基本法	078
1-12 デュアルユース	084
1-13 科学技術とジェンダー	090
1-14 社会実験	096
1-15 期待の醸成	102

第2部 過去の議論からの学び

2-1 自然と生物多様性	110
2-2 バイオエコノミー	116
2-3 移植技術	122
2-4 新優生思想	128
2-5 生政治	134
2-6 アシロマ会議	140
2-7 リスクと予防原則	146
2-8 技術の安全・安心	152
2-9 ロボットと人権	158
2-10 知的財産権	164

対談

研究者の自治とは — 小宮健	172
生命とは何か — 豊田太郎	188

編集後記	202
------	-----

はじめに

研究は社会の中で人間の手によって行われる活動の一つであり、その目的は知的好奇心の探究や社会の課題解決など多岐にわたる。自然科学の研究者は、自然に関する法則・機構の解明や新たな技術の創出を通じて、社会の発展にこれまで寄与してきたし、これからも寄与していくことが期待される。では、自らが行う研究が具体的に将来どのような形で社会の発展に寄与することになるのかを問われたとき、各研究者は明確な答えを示すことができるだろうか。なんとなく考えるところがあったとしても、明確な形でそれを他者に説明することは必ずしも簡単ではないだろう。そのような曖昧さは、必ずしも研究者が日頃からきちんと考えていないがために生じるわけではない。社会には多様な価値観をもった人々が共存しており、その人たちが生活を送る中で、研究の成果である科学の知識や技術がどのように利活用されるのかが決まっていく。そして、そのような利活用の仕方次第では、知識や技術が社会に対して負の影響を及ぼすことも考えられる。つまり、その知識や技術を作り出した研究者にも分からないことがあるのである。しかし

それでも、知識や技術の創出に直接的に関わった本人として、あるいはそれらについてよく知る専門家として、自然科学の研究者はその責任を問われることになる。だからこそ研究という活動を越えて、社会の中で活動する一人の人間として、自らが関わる知識や技術の利活用について様々な人たちと議論を重ね、その適切なあり方を模索していくことが重要なのである。

このような考え方は20世紀を通じて育まれ、今世紀に入ってより具体的な行動が求められるようになっていく。20世紀前半に起きた二度の世界大戦は科学技術が社会に与える影響の大きさを広く知らしめたが、それと同じくらい20世紀後半における分子生物学とそれを基盤とする生命科学の発展がその流れを後押しした。DNAの二重らせん構造の解明をきっかけとして生命の仕組みが次々と理解され、遺伝子組換え技術の開発に代表されるように、そのような仕組みの根幹を成す「生命の設計図」に直接人為的な介入をすることも可能になった。このような生命科学の発展に伴い、知識や技

術を社会としてどのように扱うべきかという問いに真摯に向き合うことが求められたのである。そして、20世紀末にヒトゲノム計画という分子生物学においても特に重要な一大プロジェクトが始められた際、ヒトのゲノム配列を決定することについての倫理的・法的・社会的含意（Ethical, Legal and Social Implications : ELSI）の検討が始められた。その後も、クローン作成技術やゲノム編集技術などが発展し、生命科学の発展が生命倫理や個人情報保護に関する問題だけでなく、経済格差や意図しない軍事的利用、気候変動などといった社会の様々な課題と深く関わるものとして認識されるようになっていく。

このような歴史的展開を受けて、この度、科学技術振興機構（JST）の社会技術研究開発センター（RISTEX）の研究開発プロジェクトの一つ¹として、分子ロボットという萌芽的な研究領域の形成と発展を目指す研究者が、自分たちが中心となって様々な人たちと対話を行い、社会にとって望ましい研究開発のあり方を模索するという新たな試みが始められ

た。分子ロボットは、DNA や RNA、リポソームなどの様々な生体分子やその集合体を用いて、特定の機能を果たすシステムとしてデザインされたナノメートルからマイクロメートルのスケールのデバイスである。環境中のみならず生体内でも使用が可能な分子ロボットは、将来社会に大きな影響をもたらす可能性を秘めている。だからこそそのような試みが重要な意味を持つが、JST RISTEX のプロジェクトではそれ以上に、今後登場する様々な萌芽的研究領域の先行事例となることが期待されている。過去の知見なども活かしながらその試みを進めていく上では、これまで科学技術と社会の関係について検討を行ってきた人文・社会科学の研究者との連携が鍵となる。しかし、そこにはいくつかの障壁が存在することも事実である。

そこで、分子ロボットの研究者が人文・社会科学の研究者との連携をより円滑に進めることができるよう、社会との対話という取り組みの中で頻繁に登場するキーワードや、その取り組みに際して考慮すべきこれまでの重要な議論などについて基本情報を提供するの、このレファレンスブック

である。想定する主な読者は分子ロボットの研究に携わる自然科学の研究者であり、取扱う項目についても分子ロボット研究者との議論をもとに選定を行った。人文・社会科学の議論に必ずしも詳しくない理系の学生や、広く理工医薬農の各分野の研究者でもわかりやすく読めるように工夫がなされており、各項目は簡潔に説明され、冒頭では概要としてその内容を簡単にまとめている。全体を順番に読み進めていく必要はなく、辞書のように必要な項目から理解を深めていくことも可能である。また、読み進めていくうちに「物足りない」、「もっと知りたい」など感じた場合には、各項目の最後に記載した『さらに知りたい人は・・・』という欄にある文献を参照することをお勧めしたい。このレファレンスブックをきっかけとして異なるバックグラウンドを持つ研究者間で共通理解が進むことによって、取り組みの目的が共有されるだけでなく、「言葉」の壁を越えて考え方の違いにも正面から向き合うことのできる状況が創出されることが理想である。

この『はじめに』と、それに続く『分子ロボットとは』と題された分子ロボットの

研究の基本的な考え方の紹介が、レファレンスブック全体の導入にあたる。それ以降の項目は『社会の中の研究活動』と『これまでの議論からの学び』の2つのテーマに分けられている。『社会の中の研究活動』では、幅広く自然科学の研究者が科学技術と社会の関係について考える上で知っておくべき内容をまとめた。『これまでの議論からの学び』では、分子生物学とも関連をしてこれまでになされた科学技術と社会に関する重要な議論を取り上げて紹介している。また、本レファレンスブックには、「研究者の自治とは？」と「生命とは何か？」という明確な答えを導き出すことが難しい2つの問いについての対談も収録した。絶対的な「正解」のない問いに対して、自分なりの答えを見つけるための参考としてもらいたい。

今後、分子ロボットの研究者のみならず広く自然科学の研究者は人文・社会科学をはじめとする様々な分野の研究者と協力関係を築きながら、自らの研究の社会への影響や分野の方向性、そして研究者コミュニティのあり方などにも目を向けつつ、社会と共に、そして社会のために研究を進めて

いくことがより一層重要となるだろう。このレファレンスブックが、そのための一助になれば幸いである。

2024年9月
西千尋・見上公一

1* JST RISTEX RInCA プログラム「研究者の自治に基づく分子ロボット技術のRRI実践モデルの構築」研究開発プロジェクト（代表：海洋研究開発機構 小宮健）

<https://www.jst.go.jp/ristex/rinca/projects/jpmjrx21j4.html>

分子ロボットとは？

豊田太郎（東京大学）

村田 智（東北大学）

概要

分子ロボットとは、例えば DNA やタンパク質、脂質といった分子が部品となって、全体としてプログラムされた働きを実現できるよう組み立てられた機能体である。現在は主に生体由来の分子のみでつくられているが、将来的には、電子演算デバイスなどと組み合わせた分子ロボットも構想されている。そこに至る道筋を、第 0 世代から第 4 世代までの発展段階を追いつつ、生物と人工物とに共通する通信と制御の理論であるサイバネティクスという観点から紹介する。

1. 分子ロボットの定義

分子は物質の構成単位の一つであり、その物質特有の化学的性質をもつ最小単位の粒子として定義される。分子は2個以上の原子が結合したものであり、その原子の種類と数は、分子の種類によって決まっている。これは、1811年にアボガドロ (Amedeo Avogadro) が気体の化学反応の法則を導いた際に提案したことだが、その後の実験で、この提案に即した様々な分子の存在が明らかにされてきた。原子の運動が停止する絶対零度以上では、結合した原子が、結合を保ちながら伸縮したり回転したりするため、分子はゆるく特定の「形状」をなしている。また、分子と分子の間に様々な力がはたらいて、分子は集合して一つの構造体となることもある。

一方、「ロボット」は、1920年にチャペック (Karel Čapek) が戯曲「R.U.R.」で登場させた言葉であり、その戯曲では、人が創造した人間そっくりの外見をもつ機械 (アンドロイドとよぶ) を指す。実際に作られてきたロボットは人型に限らずいろいろなかたちがあるが、どのロ

ボットも、モータ、センサ、コンピュータ、バッテリーなど特定の機能をもつ部品で構成される。これら部品が所定の構造体の中に収められ、総体として機能を発揮するシステムがロボットである。すなわち、ロボットとは、外部環境から情報を取得するセンサ、その情報を処理するコンピュータ、その結果に応じて環境に対してはたらきかけるアクチュエータで組み立てられ、特定のプログラムに則って機能するシステムとして定義することができる。

これらの定義を踏まえると、分子ロボットとは分子でできたロボットということになる。センサやモータなどのどのような部品もそもそも原子や分子でできているので、分子ロボットをいまさら定義する必要がないと思う人がいるかもしれない。しかし、そうではない。分子ロボットとは、ロボットの基本機能すべてを、分子の構造や配列から設計した分子デバイスを部品として実現したシステムなのである。センサ (感覚)、コンピュータ (知能)、モータ (運動) となる分子デバイス、つまり、特定の形状をもち相

相互作用する機能性分子一つ一つを集合させて構成したロボットが分子ロボットである。感覚を担当する分子デバイスは、外界の物理化学的な情報をとらえて内部に伝える分子で、例えば、細胞がもつ受容体というタンパク質に相当する。知能は、とらえた情報をANDやORなどの真理値表であらわされるような演算処理をして、その結果の分子シグナルを放出する化学反応系であり、例えば、細胞の転写・翻訳反応に相当する分子デバイスが担当する。運動は、分子シグナルによって回転したり伸縮したりする分子モータ、例えば筋肉をつかさどるミオシンやキネシンというタンパク質に

相当する分子デバイスが担当する。

2. 初期の分子ロボット

単一の作業を繰り返す産業用ロボットから、職人とも言われるような人間と同等に複雑な作業をできるアンドロイドまで、ロボットの技術が著しく進化してきたように、分子ロボットにもその発展段階を生物の進化になぞらえて考えることができる(図1)。分子ロボットの研究者たちがこの進化シナリオの第0世代の分子ロボットとみなしているのは、1個のDNA分子に上記すべての機能を盛り込んだ分子スパイダーという分子である。2006年にミラン・

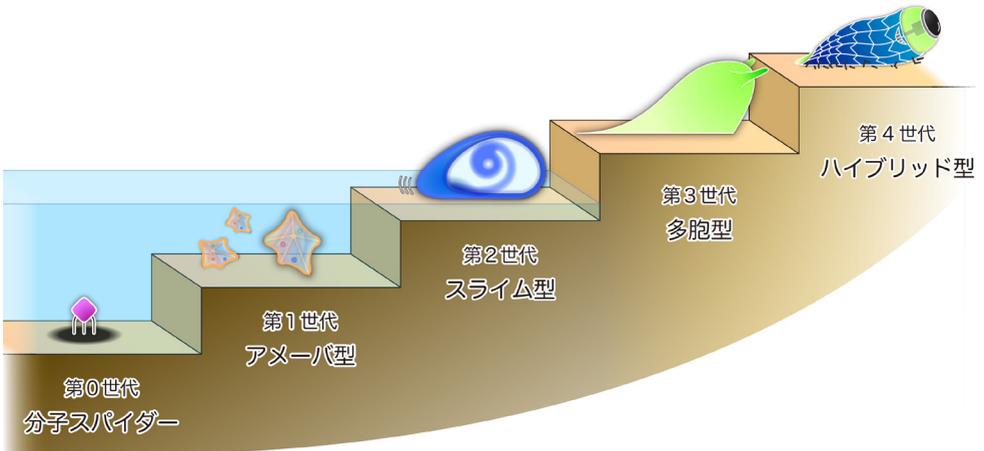


図1 分子ロボットの進化シナリオ〔浜田省吾博士(東北大学)よりご提供〕

N・ストヤノビッチ (Milan N. Stojanovic) の研究グループが発表したこの分子は、1個あたり4本の特殊なDNAの“足”をもっていて、ゲルの中を歩くように動くことができる。このような機能は、ゲルの高分子に結合させた無数のDNAと、それと相補的な配列のDNAをもつ分子スパイダーの足によって可能となる。分子スパイダーのそれぞれの足には、足と足場のDNAが二重鎖を形成した部分の配列を切断する機構もたせておく。そうすると、分子スパイダーの足と足場のDNAが二重鎖を形成しては切断され、断片化した足場DNAは足から離れる。その結果、足は足場のゲルの高分子からいったん離れ、DNAのない足場には結合しないが、別の箇所です場DNAがあればそこと結合する。これを繰り返すことによって、蜘蛛が巣の上を歩くように、分子スパイダーはゲルの高分子の上を移動できるのである。つまり、分子スパイダーでは、それぞれの足のDNAが感覚と演算処理と運動の機能をもっているといえる。この研究グループは2010年5月に、ゲルではなくDNAオリガミという技術でつくられたタイル状のDNAの上

で、プログラムした通りに分子スパイダーが歩くことができることを報告した。この時はじめて「分子ロボット (Molecular Robot)」という言葉が世に出たのである。

3. 世界に先駆けて我が国の研究者が 提唱した「分子ロボティクス」

このころ国内では、DNAをつかった計算技術やナノテクノロジーの研究者が分子デバイスをシステム化する研究に従事するようになった。その中で、分子のはたらきを組み合わせることで高機能な分子ロボットを創出することを目指す学問領域として、分子ロボットの工学、つまり、「分子ロボティクス」が村田智から提唱された。そして、2010年3月に、情報工学・システム工学・機械工学・分子生物学・生物物理学・化学などの研究者が集い、世界に先駆けて我が国で「分子ロボティクス研究会」が産声をあげた。DNAだけでなく、タンパク質や脂質なども分子ロボットの部品として、そのまま活用したり、化学的に改造したりして、分子ロボットを創出する研究が精力的に行われた。

その中で、分子ロボットの第1世代とい

える研究成果は、2017年に野村 M. 慎一郎の研究グループより発表されたアメーバ型の分子ロボットである。この分子ロボットは、人工の脂質小胞（大きさは $10\ \mu\text{m}$ ほど）でできており、紫外光という入力をセンシングして、内部の DNA が演算して、その出力として脂質小胞がアメーバのような変形運動をみせる。この分子ロボットの部品は、紫外光照射に応答して二重鎖をあらたに形成できる DNA、それと相補的塩基配列をもつ DNA が結合したモータータンパク質キネシン、キネシンが結合して運動する細胞骨格タンパク質である微小管、DNA 結合コレステロールを含む脂質小胞である。紫外光照射によって DNA がキネシンと脂質小胞膜のコレステロールとを結合させ、その結果キネシンの微小管上の滑り運動が動力として脂質小胞膜に伝わる（つまり、DNA が“クラッチ”の役割を果たしている）ことで、脂質小胞全体の変形が出力となる。このアメーバ型分子ロボットは、異なる機能をもつ多種の分子が同一の脂質小胞内で協調している点で、第 0 世代から一段飛躍したロボットといえる。

このような第 1 世代の分子ロボットは、

脂質小胞といういわば人工の細胞をロボット化する試みであったと言える。より大きな分子ロボットを創るには、脂質小胞の強度の観点からスケールの壁が存在するため、ただ大きくすればよいというわけにはいかない。この壁を克服する一つのアイデアは、浜田省吾らが発表した分子ロボット DASH (DNA-based Assembly and Synthesis of Hierarchical materials) である。マイクロ流体デバイスという幅数百 μm （深さは数十 μm ）、全長数 cm の空間の中で、DNA を合成する酵素反応と DNA を分解する酵素反応を同時におこなわせると、合成された DNA がたがいに絡み合うことで、数百 μm の大きさのスライム状の集合体ができあがる。DNA や酵素反応の原料をこのデバイス内に流し込む条件を調整することで、この集合体は DNA の合成と分解によってデバイス内を進んでゆることができる。DASH は合成と分解という代謝の概念を分子ロボットに導入したものと見え、スライム型の分子ロボット、すなわち、第 2 世代分子ロボットの例になっている。

4. 現状の課題

第1世代や第2世代の分子ロボットで実現された演算処理は、シンプルなDNAの二重鎖形成反応と酵素反応だけを組み合わせたものである。分子ロボットがこうしたDNAの反応を利用してより複雑な演算(入出力変換)を実行できるようにするために、DNAコンピューティングという演算システムが有力視されている。DNAを合成、切断する酵素をもちいてDNAの化学反応が連鎖するよう設計された反応液は、入力に対応するDNAが添加されると、演算結果として、特定の配列のDNAを合成して出力することができる。これをDNAコンピューティングとよぶ。レオナルド・M・エーデルマン (Leonard M. Adleman) が

ハミルトン経路問題という課題をDNAの反応液で解いた1994年の研究がDNAコンピューティングの発端とされている。この課題では、解の一部となる経路のピースをあらかじめDNAの配列情報にコードしておき、これを試験管内で混合してあらゆる経路ピースどうしをランダムに二重鎖形成させた後にリガーゼという酵素でDNAを連結し、(間違った経路を表すDNAも含まれる集団の中から)正解となる二重鎖DNAだけを検出する。この手法では1本1本のDNAが二重鎖形成する／解離するなどの演算を実行しているため、試験管内で異なる種類の演算を同時かつ大量に実行でき(超並列性という)、半導体などの電子コンピューティングとは計算原理が根本

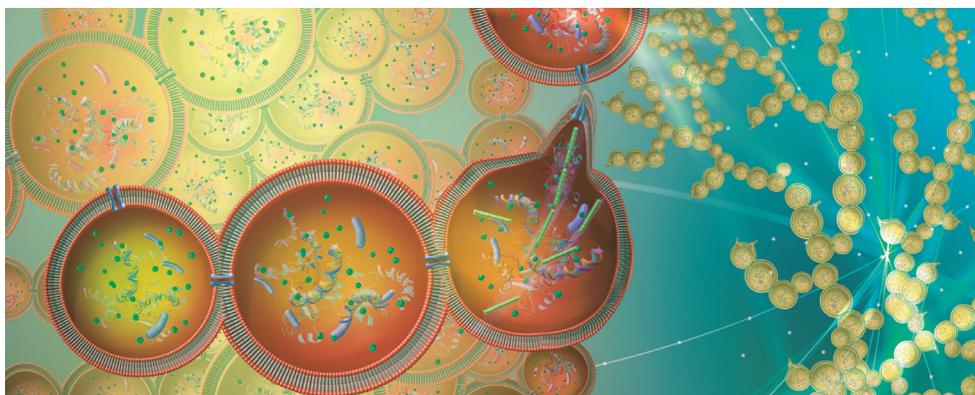


図2 ケミカル AI の模式図〔佐藤暁子准教授 (女子美術大学) よりご提供〕

的に異なる。実際、これまで様々な演算を実行できる DNA コンピュータが開発されて、複雑な演算課題も解けるようになった。しかし、各 DNA やタンパク質の反応にはそれぞれ適した濃度の条件があるため、より高次の機能を実現させようとしても、互いの化学反応が干渉しあって問題が生じる。

そこで最近、分子ロボット研究者のグループは、多胞型の第3世代の分子ロボット、ケミカル人工知能(ケミカル AI とよぶ)をあらたに提案している。ここでの人工知能とは、記憶と学習という情報処理機能に限定している。具体的には、上記の脂質小胞を複数個用いて DNA コンピュータを分画化し、脂質小胞間で分子で情報を伝搬させ、脂質小胞の変形を利用してその間の情報伝搬の接続様式に可塑性をもたせるというものである(図2)。遺伝学から発生学や行動生物学に至るまで詳細に調べられている生物である線虫(*C. elegans*)の脳はせいぜい302個の神経細胞で構成されていることからわかるように、数十個程度の神経細胞でも相当複雑な演算ができるはずである。これを人工的に模したものが多胞

型の第3世代の分子ロボットである。

5. 分子ロボット研究の展望

ケミカル AI は、1948年にノーバート・ウィーナー(Norbert Wiener)が論じたサイバネティクスを、化学の力によって実現しようとするものと位置付けることができるだろう。サイバネティクスは、生物と人工物とに共通する通信と制御の理論である。つまり、人工物においては電気信号や電磁波が電気回路でどのように制御され情報伝搬に利用されるのか、生物においては細胞から社会まで生物間でどのような通信・相互作用がシステムを成り立たせているのかについて答えを探る学問である。ケミカル AI は、生物というブラックボックスではなく、素性のわかった分子だけを用いてシステムを構築する構成論的アプローチであり、このウィーナーのサイバネティクスに、人工の化学システムという第3の方法論を加えることを意図している。生物(特に神経系)も人工物も電気信号を利用しているが、ケミカル AI は分子の信号のみを活用することで、液中での発信・受信の様式を単純化でき制御可能とする特長が

ある。将来、ケミカル AI でできたシステムが生物と直接通信することで、医療・衛生や地球環境、農林水産業などの諸問題の解決に貢献する日がくるかもしれない。さらに分子ロボット研究者はその次の発展まで考えている。分子を情報伝搬の信号とし、化学反応を演算化する以上、ケミカル AI の処理速度は、電気信号や電磁波のそれに劣るといふ課題がある。これを克服して超並列性と高速処理を両立するには、微小な電子演算デバイスや光演算デバイスを搭載し、電子の力と化学の力の両方を使ってシナジーを発現できる第 4 世代のハイブリッド型の分子ロボットの登場が待たれる。それこそが、サイバネティクスの学理としての分子ロボット研究が目指す究極のゴールである。

さらに知りたい人は・・・

- 村田智 (編) (2019) 『分子ロボティクス概論：分子のデザインでシステムを創る』, CBI 学会出版.
- 萩谷昌己, 横森貴 (2001) 『DNA コンピュータ』, 培風館.
- ノーバート・ウィーナー (2011) 『サイバネティクス：動物と機会における制御と通信』 (池原止戈夫, 彌永昌吉, 室賀三郎, 戸田巖訳), 岩波書店.

第1部

社会の中の研究活動

1-1

知識生産の様式

見上公一（慶応義塾大学）

概要

人間は知識を生み出すことで文化的な発展を成し遂げてきた。そのような知識の中でも、それを生み出す方法が明確に定められているものが科学である。科学は「十七世紀科学革命」という出来事によって形作られたとされる。この出来事によって、自然を正しく理解するための方法として実験を含めた精緻な観察と数学を用いた定式化が定着し、近代科学が成立した。現代の科学もこの近代科学の考え方を受け継いでいるものの、そのあり方は必ずしも同一ではない。特に、近代科学では世界を創った神について理解することが目的とされたのに対し、現代の科学は社会の役に立つことが重要な目的として掲げられている。

この社会のための科学を実現するために、モード論やポスト・ノーマル・サイエンスなどとして 20 世紀末には新しい科学のあり方が模索された。そのような考え方の一つの側面として社会に対して「科学を開く」というものがあり、それは 21 世紀にも引き継がれている。

1. 姿を変える科学

私たち人間は、様々な知識を生み出すことで文化的な発展を成し遂げてきた。そのような様々な知識の中でも、科学は特別な知識ということができるだろう。その理由は、それが自然についての知識だからということではなく、それが特定の方法で、あるいは特定の考え方に則して生み出されるものだからである。

科学の歴史を遡ったとき、科学についての考え方は「十七世紀科学革命」と呼ばれる出来事によって形作られたというのが一般的な理解である。もともと自然についての理解は、古代ギリシアにおいて、アリストテレスに代表される哲学的な思想の一部として体系化され、その後イスラム文化圏とキリスト教圏で、この世界の創造主である神についての理解との関係において、つまり信仰との整合性がとれる内容が「正しい」知識とされた。特に重要とされたのは、この世界が神によって創られたのであれば、その証拠として自然にはそれを司る高度な仕組みが存在するはずだという前提である。そして時が進み、実験を含めた精緻な観察と

数学を用いた定式化によって自然の仕組みを理解しようという試みが進んだことにより、それまで宗教的な観点では「正しい」とされてきた知識にも間違いがあったことが明らかになっていく。その顕著な例こそが、天動説から地動説への転換という天体の運動についての理解であり、「十七世紀科学革命」は宗教的な「正しさ」から解放されるプロセスとして捉えられる。そして、このようにして成立した科学のあり方を近代科学と呼ぶ。

実験・観察を行い、数学を用いて定式化することで、自然についての知識を生み出していくという近代科学のあり方は、現在の科学にも通じるものである。だからこそ「十七世紀科学革命」という出来事は科学の起源として論じられる。しかし、それ以来科学のあり方が変わっていないのかと言えば、それは否である。「十七世紀科学革命」以降も、長きにわたってこの世界は神の創り出したものだという前提は残り続けたし、その前提があったからこそ、「十七世紀科学革命」において形作られた、自然を司る高度な理解を目指した科学のあり方が妥当

なものとして受け入れられていったのである。しかし、現在の科学は神の存在を必要としない。つまり、「十七世紀科学革命」の後も、科学は変化してきたのである。

2. 社会との接続

現代の科学と近代科学の違いは、やはり神との関係性にあると考えられる。神との関係性が薄れる一方で、逆に科学が関係性を強めていくことになったのが社会である。そのような変化は、科学的な要素と外的な要素の両方によって引き起こされることになった。まず内的な要素としては、科学の細分化がある。「十七世紀科学革命」によって形作られた近代科学では、自然を理解するために精緻な観察を求めており、それは実験に特徴付けられるように、理解する対象を切り取ることで達成されるものであった。自然の切り取り方の違いが固定化されれば、それが研究分野を形成することになる。結果として、自然全てに共通する秩序をもたらしていたはずの神の存在が薄れていったのである。

一方で外的な要素としては、一部の知識が社会にとって役立つものであるという認識が強まったことによる。18世紀には啓蒙主義と呼ばれる、知識によってより良い社会を築くことを目指した思想が展開されたが、それは理念にすぎなかった。しかし、19世紀に入って、ドイツで化学肥料が作られるようになると、科学が農業生産性を大幅に向上させて食糧危機の懸念を払拭しただけでなく、経済発展にもつながることが認識されるようになる。こうして、国家の発展を目指し、各国が競い合って研究所を設立し、科学研究の推進を図るという構図が定着していった。このように、大学に加えて、国立の研究所が知識生産の拠点として位置付けられるようになったのは19世紀後半であり、その顕著な例としては1911年にドイツに設立されたカイザー・ウィルヘルム協会の存在が知られている。

そのような拠点の存在は、20世紀前半に繰り返し生じた国家間戦争においても重要な意味を持つことになった。経済活動を舞台とした国家間の競争が、その

舞台を軍事領域へと移行したことは、当時の政治状況において自然な流れだったのかもしれない。一方で、国家としての拠点形成に出遅れていたアメリカでは、第一次世界大戦以降、相次いで企業内研究所が設立される。当時の企業内研究所では基礎研究と応用研究の区別は明確になされておらず、そのような研究所は大学とともに、経済発展に寄与したのみならず、第二次世界大戦下においては国の軍事活動を支える役割も担うこととなった。

第二次世界大戦後も国家が中心となって科学研究を推進する体制は維持された。科学が社会の発展のために重要であることが強調され、イノベーションに対する関心が高まったことに加え、アメリカとソビエト連邦を軸とした冷戦構造において、軍事領域における優位性を維持することが国家安全保障の観点からも不可欠であり続けたことが、その理由である。軍事研究を通じて得られた科学研究の成果は、スピノフとも言われるように、非軍事領域での活用にも向けられた。いずれにせよ、近代科学の成立以降、科

学は社会との関係性を強めることで現代のあり方を実現させてきたのである。

3. 社会のための知識

科学と社会の関係性を強めようとする傾向は、近年より一層顕著になっている。その中で登場したのが、社会に役立つ知識を生み出すためには従来の科学に代わる新しい知識生産の様式が必要だという趣旨の議論である。既に述べたように、近代科学で形作られた科学のあり方は、研究分野を細分化する性質を内包している。これに対して、1990年代以降、特に環境問題との関わりの中で強調されるようになったのが学際研究の必要性であり、それは新たな科学のあり方を求めるものと言える。また、異なる専門性の融合は、学問に限ることなく向き合う社会的な課題に従って実現すべきという議論もある。その例として挙げられるのがモード論である。これは、旧来の科学のあり方を「モード1」として位置付け、それとは異なる問題解決型の「モード2」の知識生産のあり方の必要性を訴えるものである。ただし、この議論がなされた

のは、欧州連合という新しい政治システムが構築されたばかりのヨーロッパであり、旧来の大学や研究所という国家を基盤とする科学研究体制を否定することなく、国家が連携する新たな階層での研究活動の可能性を模索していた時期であったことには注意が必要である。

また、同じく1990年代になされた議論に、ポスト・ノーマル・サイエンスがある。こちらはより明確に旧来の科学のあり方を否定し、不確実性が高い状況下においても多様な価値観が共存する社会の要望に応えることのできるような「新しい科学」が必要であるとする議論である。その実現のためには、科学が科学者に閉じられたものではなく、多様な利害関係者（ステークホルダー）の知識生産のプロセスへの関与が不可欠となる。この「科学を開く」という考え方は、非専門家でありながらも重要な利害関係者であるはずの市民が、科学研究に直接的に参画することを求める議論ともつながっている。

21世紀に入ってからの科学のあり方についての議論も、基本的にはこの「科

学を開く」という考えが一つのキーワードになっている。責任ある研究とイノベーション（RRI）の議論でも、研究開発の過程をきちんと見えるようにするという透明性の担保がその必須条件として掲げられた上で、その過程に多様な価値観を含めるという意味の包摂の重要性が強調された。そして、欧州における議論は、その後オープンサイエンスへと移行している。その中でも研究活動の透明性が重要視されていることに加え、研究の成果に対するアクセスを担保するオープンアクセスや、その過程で生み出されたデータの再利用を可能にするためのオープンデータなどの取り組みも進められている。

このような科学を開くことによって、科学という知識生産のあり方がどう変わるのかについては今後注意深く見守っていく必要があるだろう。

さらに知りたい人は・・・

- Lawrence M. Principe (2014) 『科学革命』 (菅谷暁・山田俊弘訳), 丸善出版.
- 古川安 (2018) 『科学の社会史：ルネサンスから 20 世紀まで』, 筑摩書房.
- 勝屋信昭 (2017) 「モード論の再検討」, 『科学技術社会論研究』, 13, 98-112.

1-2

科学者の社会的責任

西 千尋 (同志社大学)

概要

科学者の社会的責任は、主に製造物責任・説明責任・応答責任という3つの責任から論じられる。製造物責任とは、生み出される知見や技術などの製造物が社会に影響を与えるものであり、時に不可逆的な事態をもたらす可能性があることを認識する責任を意味する。次の説明責任は、公正に研究を実施し、その内容や成果をわかりやすく説明する責任である。最後の応答責任は、実施する研究の意義や懸念に関して市民や広く社会から問いかけがあった際に、適切に応答する責任である。

科学者の社会的責任の議論は、20世紀前半からなされていたが、原爆が使用された第二次世界大戦の後にさらに活発に行われるようになった。その後、科学者の社会的責任に関する議論は公害や環境問題にも焦点が当てられるようになる。原爆や公害・環境問題に関する議論では主に科学者の製造物責任が問われたが、研究不正問題などとも関連して責任の議論の範囲は研究過程にも広がっていき、研究倫理や説明責任などに関する啓発活動も行われるようになった。

1. 科学者の社会的責任とは

科学者の社会的責任は、科学者が(1)自らの研究によって生み出される知見や技術、製造物が社会に影響を与えるものであり、時には取り返しのつかない事態をもたらす可能性があることを認識し、(2)資金の提供や環境整備を含め、研究の遂行を支持してくれた利害関係者(ステークホルダー)に対して誠実になって、公正に研究を実施するとともに、その内容や成果をわかりやすく説明し、(3)市民や広く社会からその意義や懸念について問いかけがあった際には、適切にそれらに応答するという責任である。これら(1)から(3)は、それぞれ製造物責任・説明責任・応答責任といわれるものであり、科学者の社会的責任は主にこれら3つの『責任』によって構成される。

このような科学者の社会的責任に関する議論は、特に20世紀の産業や科学技術の発達に伴い活発になった。20世紀末から21世紀にかけては、萌芽的科学技術に対する倫理的・法的・社会的含意(Ethical, Legal, and Social Implications: ELSI)や責任ある研究・

イノベーション(Responsible Research and Innovation: RRI)などの考え方や枠組みが登場し、研究の成果やその実践に重点を置いた、応答責任に関する議論が目立っている。ただし、科学者が社会的に特別な立場に立っていることには変わりなく、科学者の社会的責任論における製造物責任や説明責任に関する過去の議論の重要性も全く薄れていない。

2. 科学者の社会的責任に関する

歴史的経緯

科学者の社会的責任は、第二次世界大戦前から幾度となく議論されてきた。毒ガスが兵器として開発・使用され、「化学者の戦争」ともいわれた第一次世界大戦の経験を踏まえ、開戦の危機が再び高まる中で科学者がどのような形で戦争に関わるべきかを問う声が、科学者コミュニティの中からあがってきたのである。そして、そのような議論は戦後に入って、より活発に行われるようになった。

第二次世界大戦中にアメリカでマンハッタン計画が開始し、ロバート・オッペンハイマー(J. Robert Oppenheimer)

をはじめとする物理学者たちによって核分裂実験が行われた。開発された原子爆弾は1945年8月6日および8月9日に広島と長崎に投下され、多くの犠牲者を出した。これこそが第二次世界大戦が「物理学者の戦争」といわれる所以である。それにもかかわらず、戦後も核実験は続けられた。そして、アメリカの実施した水爆実験によって日本の漁船乗組員が被曝した、第五福竜丸事件も発生している。このような状況のもと、1955年に哲学者のバートランド・ラッセル (Bertrand Russell) と科学者のアルベルト・アインシュタイン (Albert Einstein) が中心になり発表されたのが、ラッセル・アインシュタイン宣言である。この宣言は信条や住居に関係なく、地球上に生きる一生物種の「ヒト」として、核廃絶に関する議論が必要であることを主張する。そして、1957年には核爆弾の廃絶に関して議論する会議が開かれることになった。カナダの東部に位置するバグウォッシュで開催されたことから、この会議はバグウォッシュ会議と呼ばれる。バグウォッシュ会議には当時の冷戦構造下に

おける東西の敵対関係を超えて多くの国の科学者が参加し、第二次世界大戦の敗戦国である日本からも湯川秀樹、朝永振一郎、小川岩雄が出席している。

その後、科学者の社会的責任は公害・環境問題を焦点に当てて議論が展開されるようになっていった。きっかけになったのは、生物学者レイチェル・カーソン (Rachel Carson) が1962年に発表した『沈黙の春 (Silent Spring)』であり、殺虫剤として使用されていた DDT (DichloroDiphenylTrichloroethane) などの化学物質の副次的な生体や生態系への影響に関する議論が活発化し、具体的な規制枠組みの策定も実現された。そして、そのような議論は1970年代以降のオゾン層の破壊や、気候変動に関する国際的な取り組みへとつながっていくことになる。

このような原子爆弾の投下や公害・環境問題に関する議論は、主に科学者の製造物に対する責任に関するものであったが、1970年代に入ると研究不正に関する問題も議論されるようになった。アメリカ・アラバマ州のタスキギーで、梅毒

に感染した患者たちを治療することなくその作用機序や症状などを観察するという非人道的な人体実験が行われ続けている。タスキギー梅毒実験などの問題が表面化した。こうした問題をきっかけに、税金という公的資金で賄われることの多い科学研究が、正しい方法で実施されているかという問題が提起され、科学者コミュニティ内の倫理についての議論が始められた。科学者たちの危機感も募る中で、アメリカの科学アカデミーが1989年に『科学者をめざす君たちへ (On Being A Scientist)』というタイトルの文書を発表するなど、研究倫理や説明責任などに関する啓発活動が盛んに行われるようになっていった。

科学者の社会的責任はこのように、物理学者による戦争への関与に対する反省や、公害・環境問題への危機感を契機とする製造物責任に関する議論から始まり、その後研究不正問題などに関連した研究過程に対する責任の議論へと広がってきたのである。

3. 分子生物学に関する 科学者の社会的責任

DDTなどの化学物質がヒトやその他の生物、そして生態系に対して悪影響を及ぼす危険性があることが問題とされたのと同様に、1973年にスタンリー・コーエン (Stanley Cohen) とハーバート・ボイヤー (Herbert Boyer) が遺伝子組換え技術を開発すると、遺伝子組換えが施された生物への影響だけではなく、実験室や社会、生態系への影響が懸念された。これに対して研究者たちの発案により、その危険性について議論を行うために1975年にアメリカ・カリフォルニア州のアシロマで開催されたのがアシロマ会議である。この会議ではその具体的な対策として物理的封じ込めと生物学的封じ込めが提案され、現在の規制枠組みの基盤が構築された。分子生物学の実験を行うときに使われる実験施設がBSL1～4 (BioSafety Level 1～4) もしくはP1～4 (Physical containment 1～4) と設定・分類されるようになった背景にはこのような議論の積み重ねがあるのである。

ちなみにこの時に危険性を指摘し、アシロマ会議の開催を発案した研究者には、コーエンとボイヤーに加えて、DNA二重らせん構造を発見した研究者の1人であるジェームズ・ワトソン (James Watson) や逆転写酵素の研究でノーベル賞を受賞したデビッド・ボルティモア (David Baltimore) にも含まれている。ワトソンはその後、ヒトの全ての遺伝子を解読したヒトゲノム計画の初代ディレクターに就任し、ELSIについての研究プログラムを立ち上げている。また、ボルティモアもゲノム編集技術であるCRISPR/Cas9の開発を受けて始められた、ゲノム編集研究の科学や医学、人文・社会科学などに関する課題について議論する国際的な会議 (International Summit on Human Gene Editing) で主導的な役割を担っている。

さらに知りたい人は・・・

- 米国科学アカデミー (編) (2010) 『科学者をめざす君たちへ：研究者の責任ある行動とは』 (池内了訳), 化学同人.
- 藤垣裕子 (2018) 『科学者の社会的責任』, 岩波書店.
- 唐木順三 (2012) 『「科学者の社会的責任」についての覚え書』, 筑摩書房.



1-3

ELSI と RRI

菅原裕輝（大阪大学）

概要

ELSI とは科学技術の「倫理的・法的・社会的含意」を意味する Ethical, Legal, and Social Implications（“I” は課題を意味する Issues とされることもある）の頭文字をとった略称であり、新しい科学技術が登場することで社会に生じる問題を予期し未然に防ぐための試みに対して用いられる概念である。ヨーロッパでは Implications という言葉の付随的な意味合いを避けるため、代わりに Aspects という言葉を用いた ELSA という表現が使われることもある。2010 年代には類似する枠組みの「責任ある研究・イノベーション（Responsible Research and Innovation: RRI）」が登場し、研究開発の過程においては、「予期」・「包摂」・「再帰性」・「応答性」という四つの次元を意識することが求められている。

ELSI と RRI はどちらも科学技術と社会のあり方を考えるための重要な概念となっており、特に後者は、先進的な科学研究を行う研究者に対して、多様な利害関係者（ステークホルダー）との議論の機会を積極的かつ頻繁に持つことで、自身が進める研究の社会的な意義を、多様な視点から考えることを求めている。

1. ELSIの歴史的経緯とその特徴

近年、学術論文だけではなく、研究プログラムの概要や報告書などでも、ELSIという言葉を見かけることが増えている。ELSIは英語のEthical, Legal, and Social Implicationsの略であり、「エールシー」と読み、「倫理的・法的・社会的含意」などとして訳されるのが一般的である（最後の“I”をIssuesとして解釈し、「倫理的・法的・社会的課題」と訳されることもある）。新しい科学技術が登場することで生じる社会的な影響を早い段階で把握し、特に負の影響について未然に防ぐことを目的として、人文・社会科学の研究者を中心としてELSIに関する様々な試みがなされている。もともとアメリカで1990年に開始されたヒトゲノム計画と呼ばれるヒトのゲノム配列の解読を目指した大型研究プロジェクトでその取り組みが大々的に実施されたことで注目を集め、その後生命科学分野を中心に他の研究分野にもその考え方が波及していった。

ヒトゲノム計画では、初代ディレクターのジェームズ・ワトソン（James

Watson）の提案により、生命の設計図とも言われるゲノムの解読をヒトを対象として行うことで生じる倫理のおよび社会的な影響に関する人文・社会科学の研究に対して、プロジェクト予算全体の3%（のちに5%に増加）が充てられた。アメリカのELSI研究プログラムは、Implicationsという言葉を使っていたことから分かるように、科学的な知識や技術自体の検討よりも研究が実施されたことが社会にもたらすインパクトに焦点を当てる傾向が強い。一方、ヨーロッパではImplicationsという言葉の持つ付随的な意味合いを避け、議論をするのが科学技術の一つの側面であることを強調する意図を持って、代わりにAspectsという言葉を用いることが提案され、その頭文字を使ったELSAという表現も登場した。このようなELSIやELSAをめぐる取り組みは、アメリカで始まり、カナダやヨーロッパ諸国、そしてアジアにも広がっており、近年では日本における科学研究のあり方を考える上でも重要な概念となっている。

今日行われているELSIやELSAに

関する取り組みに共通する特徴として、(1) 未来の予期、(2) 多様な利害関係者（ステークホルダー）の関与、(3) 科学研究との密接な関係の三つが挙げられる。これは、そのような取り組みの起源の一つに、政策立案のために科学技術を多面的に評価する手法として検討されてきた「テクノロジー・アセスメント（Technology Assessment：TA）」があることと深く関係している。初期のテクノロジー・アセスメントでは科学者を中心に専門的な知見を集約し、その評価を行うことが目指されたが、その後、多様な利害関係者（ステークホルダー）の見解を積極的に取り入れることで望ましい科学技術の実現を目指す「構築的テクノロジー・アセスメント（Constructive Technology Assessment：CTA）」が行われるようになった。具体的には、フォーカスグループ調査やシナリオワークショップと呼ばれる様々な協力者との対話を重視する方法を用いることで、科学技術のもたらすリスクやベネフィットがそれぞれの視点からどのように捉えられているかを理解することを目指す。その

ような検討の結果は、社会にとって望ましい科学技術の発展の方向性を示すものであり、少しずつ科学研究との距離も縮められてきたのである。

2. RRI の登場

2010年代以降、ELSI や ELSA と同様に、あるいはそれ以上に社会にとって望ましい科学技術のあり方を考える上で重要な枠組みとなっているのが、「責任ある研究・イノベーション（Responsible Research and Innovation：RRI）」、または「責任あるイノベーション（Responsible Innovation：RI）」という概念であり、その考え方はヨーロッパで2014年に開始された研究開発プログラム Horizon 2020 の枠組みとしても採用された。その捉え方は様々であるが、RRI の緩やかな定義として、「現在の科学技術に対する責任を皆で共有し、未来に対して配慮（ケア）すること」というものがある。この定義に従うと、既に研究開発を終えた科学技術について振り返る「回顧的（retrospective）」な手続きではなく、社会の未来について考える「予

見的 (prospective)」な手続きによって科学技術に対する責任が果たされることになる。問われているのは「科学技術が社会に何をもたらすか」ではなく「我々が望む社会を先端科学技術によってどう実現することができるのか」であり、旧来の ELSI や ELSA の取り組みが主に人文・社会科学の研究者の手に委ねられてきたのに対して、RRI は研究開発を中心に進める研究者がその手続きに直接的に関与することを強く求めている。

RRI の 枠 組 み は (1)「予期 (anticipation)」、(2)「包摂 (inclusion)」、(3)「再帰性 (reflexivity)」、(4)「応答性 (responsiveness)」という四つの次元から構成されることが議論されており、これらは合わせて AIRR などと呼ばれる。まず「予期」は、科学研究やイノベーションをめぐる将来的な課題に対する予見の質を向上させることを意味し、科学知識の持つ複雑性や不確定性を明確に認識するという点において従来の「予測 (prediction)」とは異なるものである。次に「包摂」は、多様な利害関係者(ステークホルダー)と関わりを持ち、その価値

観を積極的に組み入れる姿勢を指す。続く「再帰性」は、研究者に限らず関与する全ての利害関係者(ステークホルダー)が自身の活動について頻繁に見つめ直し、例えば自身の知識の限界を自覚したり、立場が違えば取り組む問題についても異なる理解が可能であることを意識することなどを求めている。そして、「応答性」は、研究開発から社会実装に至る全ての過程において、途中で新規に現れる知識や視点、規範などにも適切に「応答」することが想定される。

RRI で特に強調されるのは、研究者や特定の利害関係者(ステークホルダー)だけに議論を閉じる (closing down) のではなく、企業や NGO など営利・非営利を問わず多様な組織、そして広く市民に対してその議論を開く (opening up) ことである。そのような手続きを重視し、前述の AIRR の代わりに、AREA (Anticipation, Reflection, Engagement, Action) という考え方が用いられることもある。先進的な科学研究を行う研究者は、RRI で想定される科学者の役割を常に意識し、積極的に社会との関わり合い

を持ちながら、自身の研究の社会的な意義について考えることが求められている。

3. ELSI・RRIの抱える課題

ここで紹介した ELSI や RRI はどちらも社会にとって望ましい形で科学技術を発展させることを目指した考え方だが、その実現に向けていくつかの課題も抱えている。まず、ELSI という概念がゲノム研究を発端として生命科学分野を中心に広まっていったことを受けて、生命倫理や個人情報保護などの、生命科学に関連した特定の問題に限定した取り組みとして理解されることが多い。結果として、対象とする科学技術の内容が適切に反映されずに、取り組みが形骸化してしまう懸念がある。RRI はまだその実践について様々な試みがなされている段階ではあるが、求められているような応答性を重視した手続きを実現するための負担は小さくなく、やはり形骸化の懸念がつきまとう。

また、ELSI に関わる取り組みと科学研究の距離が近づくにつれ、その取り組

みが科学研究を推進するための「下働き」になるといった批判もなされている。そのような取り組みが予算上も科学研究から独立していない弊害として、主体的に担う人文・社会科学の研究者が科学者に対して健全な批判を行うことが難しくなることが懸念されている。「共創」などの言葉で示されるように、研究開発を進める上で、多様な利害関係者（ステークホルダー）が対等な関係を構築することが不可欠であり、RRI の実現に向けてはその関係性が固定化されることなく、場面や議論ごとに有機的に関係性も変化することが望ましい。

さらに知りたい人は・・・

● 藤垣裕子（2018）『科学者の社会的責任』，岩波書店．

● 標葉隆馬（2020）『責任ある科学技術ガバナンス概論』，ナカニシヤ出版．

● 塚原東吾ほか（編）（2022）『よくわかる現代科学技術史・STS』，ミネルヴァ書房．

1-4

研究対象としての科学

森下 翔 (山梨県立大学)

河村 賢 (大阪経済大学)

概要

科学が本格的に人文・社会科学の研究対象となるのは20世紀後半のことである。科学を研究するいわゆる人社系の分野には、科学哲学・科学社会学・科学人類学・科学技術社会論など、さまざまなアプローチが存在するが、これらの学術的探究は科学論 (Science Studies) と総称される。特に1980年代以降、科学者が現に行っている研究実践や実験室内外でのやりとりに着目した科学論の探究が進んでいくにつれ、そうした科学実践も実験室とそれを取り巻く社会のなかで営まれる一つの人間行為・社会的実践であるという考え方が広く支持されるようになっていった。同時に科学と社会の関係性がどのようなものであるか、あるいはあるべきなのかをめぐるアイデアとして「科学の公衆理解」「科学への公衆参加」「上流からの研究参加」「責任ある研究・イノベーション (Responsible Research and Innovation : RRI)」といった、いくつかの構想が提示された。こうした構想をいかにして実現するかという課題にも、科学コミュニケーション実践のあり方を分析してきた科学論の知見を活かすことができるだろう。

1. 科学論の成立

「科学」が人文・社会科学者（以下、人社系）の研究対象となり始めたのはいつのことか。現在の意味での「科学」（近代科学 modern science と呼ばれる）は、教科書的には、17 世紀に始まったとされる。自然についての探究自体は古代・中世から存在していたが、17 世紀以前の探究は「自然哲学」と呼ばれ、知識の内容においても方法においても、あるいは制度においても近代科学とは大きく異なっていた。ガリレオやニュートンの活躍した 17 世紀に、自然の理解をめぐる学問のあり方は大きく変化し、それまでの「自然哲学」から、現代的な意味での「科学」に大きく近づいた。この時期の一連の変化は「（一七世紀）科学革命」と呼ばれる。その後、19 世紀になり国民国家という仕組みが広がると、近代科学は国民国家の仕組みに組み込まれるようになる。科学の専門分化が進み、科学の専門家を意味する「Scientist」という言葉が生まれたのもこの時期のことである。

科学が哲学から自立して独自の道を歩みはじめ、物理学や化学の分野で確かな

成功を取めると、20 世紀に入って科学が人文・社会科学の研究対象となり、「科学とは何か」を問う学問分野が登場した。つまり、冒頭の問いの解答は「20 世紀前半」ということになる。「科学とは何か」という問いは従来哲学や歴史、とくに「科学哲学」や「科学史」などの哲学領域の専売特許であったが、20 世紀後半に一冊の本の登場をきっかけとして、劇的な変化が生じたとされる。その本こそが、科学史家トーマス・クーン（Thomas Kuhn）の『科学革命の構造』である。クーン以後「科学とは何か」をめぐる研究は大いに発展し、科学社会学・科学人類学・科学技術社会論などの新しい専門分野が誕生した。以降、科学を対象とする人社系の研究は総称して「科学論」（Science Studies）と呼ばれており、近年では科学者と科学論研究者の共同研究も盛んに行われている。

2. 20 世紀後半以降の科学論の動向

20 世紀の前半には「科学はひとつ」というのが共有された認識であり、科学哲学は、かつては科学一般に共通する普

遍的性質を解明すること、たとえばすべての科学に共通する方法論の解明や、科学であることの必要十分条件の解明を目指していた。しかしクーン以降「科学は多様である」と認識されるようになった。たとえば物理学には物理学の、生物学には生物学の、それぞれ特殊な方法や概念がある、ということになる。とくに近年では、科学の「非統一性」がキーワードとなり、物理学・化学・生物学・統計学・社会科学など、より細分化された個別の分野のトピックについて哲学的に探究する、「個別科学の哲学」と呼ばれるアプローチが主流となっている。

クーン以降の「科学が多様である」という見方は、科学という「文化」や科学者の形成する「社会」を研究する社会学的・文化人類学的研究の道も切り拓いた。これらの分野の最も重要な貢献のひとつは、科学の発展の歴史をそれが成し遂げられてきた社会的背景と切り離すことなく記述することに成功した点にあると言えるだろう。すなわち科学の発展を単なる天才のひらめきや実験の成功の歴史として記述するのではなく、社会の複

雑な状況や需要、そしてその変化と密接に関連する歴史として記述してきたのである。

そして、科学技術と社会をめぐるコミュニケーションや、市民参加などのガバナンスをめぐる実践一般は、日本語では科学技術社会論、あるいは Science, Technology and Society の頭文字を取って STS と呼ばれ、広義には近年の倫理的・法的・社会的課題 (Ethical, Legal and Social Implications : ELSI) や RRI に関するさまざまな実践も含まれる。なお、クーン以降の科学論が技術にもその射程を広げた研究領域 (Science and Technology Studies) も同様に STS と略される。科学技術に関する「研究」と「実践」をあえて同じ用語で呼ぶところに、両者の境界を曖昧にした STS という概念の面白さ、ユニークさがある。ただし、日本の STS に関していえば、その発展の経緯から人文・社会科学の研究よりも実践的な側面が重視されてきたことには留意する必要がある。

3. 科学コミュニケーション実践の 社会学的研究

1980年代以降、科学者が行っている研究実践や実験室内外でのやりとりに着目した科学論の探究が進むにつれ、そうした科学実践も実験室とそれを取り巻く社会のなかで営まれる一つの人間行為・社会的実践であるという考え方が支持されるようになっていった。こうした考え方の変化に対応して、科学者たちの間でもまずは「科学の公衆理解 (Public Understanding of Science)」という考え方が広まった。これは、それ以前の科学者の社会的責任についての考え方が、科学は科学者共同体以外から課されるあらゆる社会的・道徳的制約からも自由に行われるべきであるということを強調しすぎていたことへの反省として登場した考え方である。科学の公衆理解を重視する科学者たちは、自らの生み出した研究成果はいかなる意義と含意を持つのかという点について社会に向けてわかりやすく伝える責任を負うと考えるようになった。たとえば1989年に米国科学アカデミーが発表した『科学者をめざす君たち

へ』の初版で論じられたのも、科学者コミュニティとして公衆が科学についてより理解できるような発信を行うことの重要性であった。

しかし「科学の公衆理解」で想定される「公衆」とは、科学者の情報提供を受けて新しい科学の成果が持つ真の意味を理解するにすぎない受動的な存在でもあった。こうした受動的な公衆という想定を批判するかたちで2000年代になって提唱されたのが「科学への公衆関与 (Public Engagement with Science)」である。この「関与」という枠組みの下では、公衆はただ一方的に情報提供を受けるのみならず、科学的知識がどのようにして用いられるべきなのか、そもそも科学研究がどのように進められるべきなのかという問題についても、一定の発言権を持つべきだとされた。こうした考え方は、後に「RRI」の一部をなす、「上流からの研究への関与 (Upstream Engagement)」というアイデアにも繋がっていった。

「科学への公衆関与」という理念の広まりとともに、それを実現するための

様々な実践的な手法の開発も進められていった。科学者やさまざまな利害関係者（ステークホルダー）からなる会議を開催することで科学技術に関するガバナンスのあり方を決めるコンセンサス会議、科学者と市民が双方向に対話を行うサイエンスカフェ、市民が自ら科学研究の設計と実施に関わる市民科学といった試みが例としてあげられる。近年では、こうした市民科学イベント自体にSTSの研究者が関与し、そこでのコミュニケーションを円滑化、あるいは阻害する要因とは何なのかについての探究も進められている。

そうした研究の例として、科学社会学の中でもエスノメソドロジーと呼ばれる分野を上げることができる。エスノメソドロジーでは、科学実践のミクロな過程に焦点を当て、録画・録音データの分析に基づき科学における会話や実践が持つパターンを解明することを目標としている。エスノメソドロジーの研究が明らかにしてきたのは、公衆（非専門家）と研究者が科学についてのやりとりや意思決定を行うようにデザインされた場におい

て、個別の参加者がどのように振る舞うかは、そこで主題となる科学的知識のありよう、参加者のカテゴリ、イベントの具体的なデザインによって大きく変わりうるということである。ある市民科学のワークショップについての研究では、参加者が互いに所属機関や専門分野を明示しないレクチャー形式のワークショップであっても、明らかに専門性の高い発言を行うことで少数の参加者が会話を独占し続けてしまうことが報告されている。

このような市民科学のイベントについての研究蓄積を踏まえるならば、一口に「科学者」と「市民」の対話と銘打ったイベントであっても、そこで人々が何者としてやりとりをし、コミュニケーションが行われるのかという問題は、決してあらかじめ決まっているわけではないことがわかるだろう。「責任ある研究・イノベーション」や「上流からの研究参加」といった理念を機能させるためにも、そうしたイベントでの実際のコミュニケーションのあり方についての研究から深く学ぶことが求められているのである。

さらに知りたい人は・・・

- 秋谷直矩, 高梨克也, 水町衣里, 工藤充, 加納圭 (2014) 「何者として、何を話すか：対話型ワークショップにおける発話者アイデンティティの取り扱い」, 『科学技術コミュニケーション』, 15, 107-122.
- 古川安 (2018) 『科学の社会史：ルネサンスから 20 世紀まで』, ちくま学芸文庫.
- 金森修, 中島秀人 (編) (2002) 『科学論の現在』, 勁草書房.

1-5

研究開発の「上流」

見上公一（慶應義塾大学）

概要

研究開発を行う科学技術が社会に対して与える様々な影響を検討することが求められる中で、そのような検討が研究開発の「上流」でなされることの重要性が強調される。研究開発のプロセスを川の流れに見立てたこの比喻表現は、一般的に研究開発の「早い段階」という意味で捉えられがちである。しかし、そのような表現が用いられるようになった経緯を踏まえると、厳密にはそれは科学技術の持つ不確実性がまだ高い状況を意味している。旧来の科学技術政策では、科学技術の持つ不確実性は予見的意思決定を難しくする問題と見なされた。しかし、21世紀に入った頃から、それは専門家が提示する科学技術のあり方について社会で議論する動機や、研究開発の方向を転換できる柔軟性の証などとして前向きに捉えられるようになってきた。科学技術が将来社会で活用されることを前提として、市民や企業などの多様な利害関係者（ステークホルダー）を巻き込んだ研究開発の進め方が模索されており、研究開発の「上流」はまさにその実現に適した状況と言えらるだろう。

1. 科学技術の不確実性

科学技術が社会の中でどのように用いられるのか、そしてその結果社会にどのような影響を与えるのかについて、行政を中心として研究開発の「上流 (upstream)」からその検討を始めることを求める傾向が強まっている。この「上流」という言葉は研究開発のプロセスを川の流れて見立てた比喻表現であり、一般的に研究開発の「早い段階」ということを意味している。一方で、研究開発のプロセスは、基礎研究から始まり、応用研究を経て社会実装が実現されるという、単純で一方向的な「流れ」として理解されるべきではないという議論もある。だからこそ、この「上流」という言葉が意味するところを適切に理解した上で、科学技術と社会の関係について検討を進めていくことが重要である。

研究開発の「上流」という表現が使用されるようになったのは、21世紀の初頭であったと考えられる。それは20世紀後半における科学技術政策の反省によるところが大きい。20世紀後半には、アメリカやヨーロッパを中心にテク

ノロジー・アセスメント (Technology Assessment : TA) と呼ばれる個々の科学技術について詳細に理解することを目指した科学技術政策のための取り組みが登場したが、同時にその難しさも露呈していった。そもそも科学技術政策の主な目的は国家としての研究開発の推進であり、第二次世界大戦やその後の冷戦体制下において、科学技術が国家戦略上重要な役割を果たすものと位置づけられたことがその背景にある。しかし、1960年代に入るとレイチェル・カーソン (Rachel Carson) が発表した『沈黙の春 (Silent Spring)』に代表されるように、科学技術のもたらす負の影響が取り沙汰されるようになった。結果として、研究開発推進のための予算配分だけではなく、その成果として生み出される科学技術の適切な取り扱いについても行政の責任として認識されるようになったのである。

TAが登場したのもこのような経緯に依るところが大きい。TAでは対象とする科学技術について理解が深いと考えられる科学者や技術者などの専門家が持つ知識を集約することで科学技術が社会に

もたらす影響を理解し、その適切な扱いを定めていくことが目指された。しかし、そのような試みは必ずしも成功とは言えない状況にあった。TAの難しさは科学技術の持つ不確実性にある。たとえ専門家であっても、特定の科学技術が社会でどのように用いられるのかを事前に把握することは難しく、実際に人々がそれを手にして生活で使い始めるまでは分からないことが多く存在する。しかし、一度社会の中で使用され始めてしまうと、それを後から変更したり禁止したりすることは困難である。このようなジレンマが理解され、科学技術政策では、たとえ不確実な状況下であっても、それを理解した上で意思決定を行わなくてはならないと考えられるようになったのである。

そして、このような「意思決定を行う上で必要な知識がまだ揃っていない不確実な状況下」というのが、政策的な観点から研究開発の「上流」という言葉が本来意味するところである。社会実装を科学技術が社会という「海」に流れ込むこととして見立てるならば、その直前に位置する「下流域」ではなく、まだそこま

で至らないもっと早い段階からその検討がなされるべきということになる。

2. 科学技術の柔軟性

上に述べたように、科学技術政策の観点から見た場合、研究開発の「上流」での意思決定は科学技術の持つ不確実性のためにどうしても難しいものになる。しかし、21世紀初頭にこの表現が使用されるようになったのは、その難しさを強調するためではない。むしろ、科学技術を専門家だけに任せるのではなく社会全体として創り上げようという共創の議論において、そのような不確実性の高い状況が有利に働く可能性が指摘されたことがその理由である。「上流」という表現で想定された「川から海へ」という見立てと異なるのは、科学技術の場合は社会実装へとつながる流れがどのような道筋をたどるのが予め決まっているわけではないという点だろう。

もともと科学技術政策では、科学技術の持つ不確実性をなるべく小さくすることを目指して、科学技術の専門家だけではなく人文・社会科学の研究者の関与が

促され、広く市民の意見を集約する市民参加型の TA などの試みも始められた。その中で明らかになったのは、専門家の持つ知識を科学技術について議論する際の前提として強調すればするほどに、市民が提示する意見の多様性が失われてしまうということである。科学技術の不確実性を肯定的に捉え、専門家に対する依存度を下げることで、議論に参加する市民は自らが生活の中で培ってきた価値観を反映させた意見を持ちやすくなる。

また、市民によって提示された意見をどのように活用するかを考えたとき、科学技術の持つ不確実性は専門家の知識の見直し、あるいは研究開発の方向転換の可能性としても捉えられる。このような視点が注目を浴びることになったのは、1990年代にヒトゲノム計画の中で倫理的・法的・社会的含意 (Ethical, Legal, and Social Implications : ELSI) について検討するための研究プログラムが開始されたことがきっかけである。潤沢な予算が配分され、様々な研究活動が展開されたが、一方で大きな批判を浴びることとなった。ヒトゲノム計画は最初から明

確な目的を持って計画された研究事業であり、研究プログラムの成果が事業全体のあり方に影響を与えることはほとんどなかったのである。そこで、21世紀に入ってアメリカで立ち上げられたナノテクノロジーの大型研究事業では、実施される研究に社会への影響についての検討の成果が反映されることが明示的に求められた。ナノテクノロジーがどのような技術かまだ不確実性の高い状況にあったからこそ、社会との関係を考慮して事業を組み立て、研究開発の方向性を決めていくことが可能だと考えられたのである。

これらの視点を踏まえたとき、研究開発の「上流」はその方向性がまだ固定化していない柔軟性の高い状況を意味することになる。21世紀に入り、科学技術の研究者とその ELSI についての検討を担うことが多い人文・社会科学の研究者との共創や、多様な価値観を持つ市民、あるいは企業などを広く巻き込みながら研究開発を進めていくことを理想に掲げた「責任ある研究・イノベーション (Responsible Research and Innovation :

RRI)」などの議論が進められてきた。科学技術の持つ不確実性が高い状況は、まさにそのような包括的な研究開発の推進を実現するのに適した状況として理解されるようになったのである。

3. 「上流」に立ち戻る

研究開発の「上流」を単にその早い段階として理解すると、科学技術と社会との関係を検討する機会が時間の経過とともに失われていくように思えるかもしれない。しかし、それを科学技術のあり方にまだ柔軟性があり、多様な意見を反映して研究開発の方向性を決めていくことができる段階として理解したならば、そのような段階は意図的に作り出すこともできるはずである。研究開発を推進する利害関係者（ステークホルダー）にとって方向性の見直しは後退として受け止められるかもしれない。しかし、社会にとって望ましい科学技術の実現を目指す上では、後戻りのできない柔軟性を欠いた研究開発のあり方を避け、必要に応じて見直しの機会を設けて、場合によっては大幅な方向転換を行うことも必要である。

さらに知りたい人は・・・

- 城山英明 (2007) 「科学技術ガバナンスの機能と組織」, 城山英明 (編) 『科学技術ガバナンス』, 東信堂.
- Tait, J. (2009) Upstream engagement and the governance of science. EMBO reports, 10(suppl 1), S18-S22.
- 永野智己 (2009) 「萌芽する科学技術の群像」, 山口富子, 日比野愛子 (編) 『萌芽する科学技術：先端科学技術への社会的アプローチ』, 京都大学学術出版会.



1-6

科学とメディア

田中幹人（早稲田大学）

概要

現代社会では、研究者は「科学的真理の探究」という昔ながらの目的だけに集中しているわけにはいかない。今や、研究成果がいかに役に立つかと宣伝し、あるいは科学の知見から社会問題に対して物申すといった活動も科学の専門家の「責任」の一部である。これらの活動はメディアを通じて行われる以上、研究者には新たなメディア規範が求められている。依然として強力な社会議題の設定機能を持つマスメディアに接する際には、研究者はジャーナリストとどのように協働するかが求められている。さらに新たな熟議の場としての可能性を秘めたソーシャルメディアでは「専門知をもつ市民」として社会議論に参画することが求められている。こうした困難の先に、科学知が社会の議論の中で適切に活用される社会がある。

1. 科学のメディア化の時代

現在のような「科学」という仕組みの成立は、メディアの発展と不可分である。学術ジャーナルに投稿された論文がピアレビュー（査読）を経て掲載され、それを読んだ研究者により更なる研究が行われ、それがまた論文として投稿される——こうした科学の循環的な営みは、印刷メディアの発達や、郵便に始まりインターネットに至るグローバルな通信システムに支えられて発展してきた。また科学技術研究の発見・発明といった成果も、それ自体がニュースとしてマスメディアを通じて伝えられ、国家や企業による次の研究投資を呼び込んできた。

しかし、この科学の仕組みをより効率的に媒介しようと前世紀末に開発されたワールドワイドウェブは、急速に発展し旧来のマスメディアと交雑して新たなメディア環境や経済圏を作り出した。こうしたメディアの環境変化の結果、21世紀になって以降、科学という営みの性質は大きく変容している。現代の科学者には、研究は役に立つと社会に訴えるために成果を喧伝し、ソーシャルメディアを

通じて自らの研究功績をアピールし、あるいはメディア露出を増やして所属する大学や研究所の価値を押し上げることが求められる。さらに複雑化した現代社会で議論される問題の多くで、専門家としての科学的知見が求められている。こうした結果、科学は「真理の探求」という昔ながらの目的にだけかかずらっているわけにはいかず、その探求成果を人口に膾炙させてニュースになることを目指し、あるいは社会問題に対して科学的知見から物申す、というメディア的な要請も「専門家の責任」として求められるようになった。すなわち科学の営み自体も「メディア化」したのである。

こうした変化の中では、研究者のメディアとの向き合い方——どのようにメディアを利用し、またメディアを通じて専門家としての社会的責任を果たすべきかという規範——もまた、大きく変化することを余儀なくされている。以下では、マスメディアとソーシャルメディアに向き合ううえで現代の研究者に求められている規範について概観しよう。

2. マスメディアとどう接するか？

科学のメディア化以前の時代からの 教訓

縮小傾向にあるとはいえ、マスメディアは依然として強力な社会的影響力を持っている。現代ではほとんどの市民がスマートフォンを中心とした情報デバイスからニュースを受け取っているが、それらのニュースが、「どんな議題を」「どのように」伝えるかという枠組みを規定している主役は、やはりマスメディアである。

キャリアを重ねる中で研究者はマスメディアからの取材を経験することになるが、ここで重要な協働相手となるのは、ジャーナリストである。科学の専門家である研究者は、ジャーナリストを「伝えることの専門家」と捉え、取材に際しては単なる情報提供者の地位にとどまらず、自分の持つ専門的知識が社会にどのように貢献できるのかを共に考えるという姿勢で臨むことが重要である。

マスメディアを通じて科学の社会的議論に参画する研究者にとって、マスメディアのジャーナリストからの取材は、

大別すると (1) 公開した研究成果が公共的な興味を惹いた場合と、(2) 社会問題について研究者の専門知が求められている場合に起こる。前者に関しては、プレスリリースや論文の図表をよりわかりやすく解説する準備が求められる。この場合、とりわけ科学技術を専門とするジャーナリストから取材を受けるならば、協働は比較的容易となる。

後者、社会問題について研究者の専門知が求められている場合は、その研究者が専門家としての社会的責任を果たす、より重要な機会である。しかし、それと同時に取材への対応は難しくなる。何より取材に来るのが科学を専門とする記者とは限らない。ここで注意すべきは、ジャーナリストは研究者よりも短い時間感覚で必切に追われており、また社会問題に際しては「できるだけ多様な知見を統合し公共的議論に資する」という、研究者とは別種の社会的責任を負っていることである。普段から専門外の知や社会動向にも気を配り、取材に際しては自分の専門知がどのような議論の文脈に組み込まれるのかを予想しつつ対応する必要

がある。

また、取材後のフォローアップも重要である。専門的見地から、自分の研究が適切に扱われなかった、あるいは（ウェブの反応などを通じて）読者に誤読された等と感じた場合には、ジャーナリストに対し、将来のより良い取材に向けた提案をすべきだろう。いずれにせよ、自分とは異なる専門家との協働という意識でジャーナリストと対話することが求められている。

3. 科学のメディア化時代に

求められる規範

ソーシャルメディア（Social Media：SM）は強力な情報ツールである。2010年頃のSMの普及は、当初は社会の民主的対話を進めるきっかけとなるだろうと期待された。実際、科学の分野においてもSMは専門家が直接市民と対話し、あるいは専門的見地から社会問題に気軽にコメントできる機会を提供した。しかし、その後10年の間に、SMはむしろ極端な感情を増幅し、社会の分断を促進するメディアではないかとの疑念が高まって

きた。社会的トピックとなる科学の議論においても、専門家が互いに議論を闘わせる様子が可視化されたことで、かえって社会を混乱させている側面がある。

もちろんSMを適切に用いれば、研究者の論文は人目に触れる機会が増え、引用回数も増えるなど、名声を高めるのに役立つことだろう。ただ同時に「専門家」である研究者には、自己顕示に用いるのみならず、市民にもわかりやすい形で他の研究者の良質な研究成果を紹介し、あるいは専門的観点からニュースに論評を加えることも期待されている。こうした際には広く聴衆に対する敬意をもった発信が心がけられるべきである。例えば報道されるニュースに対しては揚げ足取りにならないように注意し、良い点は褒め、また誤りについては丁重に指摘することが重要である。SM投稿の読み手としてのみならず、言及先のコンテンツの作り手の専門性や聞き手の価値観を尊重したコミュニケーションの結果、記事の執筆者であるジャーナリストや、やりとりを目撃する市民が、次の報道においても発信者である専門家の意見を聞きたいと考

えてくれることを目指すべきである。

さらに難しいのが、論争的トピックの議論に参入する場合である。率直に言って、現代のSMの機能的構造は、論争に向いていない。科学的に「正しい」情報は往々にして難解で、つまらない。(さらに言えば「正しい」と言い切れるような科学知も意外と少ない。) 反対に「間違っている」情報はしばしば常識を覆すカタルシスや、研究者を含むエリートたちの失敗を示しており、人びとの人気を集めがちである。こうした結果、残念ながら誤情報はまともな情報よりも広く・早く・遠くまで広がる。

こうした状況がストレスフルだとしても、研究者としては、罵倒はもちろん冷笑や当てこすり、相手の無知を嗤うなどの「不躰 (uncivil)」な物言いは徹底的に避けるべきである。そうした表現は、一時的にそのような意見への同調者を増大させたり、発信者の存在に注目させる効果があるかもしれない。こうした不躰な物言いはストレス解消にも効果的かもしれないが、長期的には社会の分断を深め、科学への信頼を毀損する。強い言葉

で「あなたは間違っている」と指摘された相手が素直に「そうだったのか!」と考えを改める状況は、相互に信頼が成立している極めて限定的な条件でしか発生しないのである。

現代においてもマスメディアの影響力は大きい。しかし同時に、私たちにはSMを通じて社会議論に参画する回路も開かれている。科学知が社会の議論のなかで適切な参照情報となり、より良い社会選択に資する状況を作り出すために、研究者もまた「専門知を持つ市民」としてメディア上の責任を負っているのである。

さらに知りたい人は・・・

- 日本科学技術ジャーナリスト会議(編)
(2015)『科学を伝える：失敗に学ぶ科学ジャーナリズム』, JDC 出版.
- Olson, R. (2018) Don't Be Such a Scientist: Talking Substance in an Age of Style, second edition, Island Press.
- 田中幹人 (2019) 「研究者はメディアとどう向き合うのか：『科学のメディア化』の時代」, 『実験医学』, 37 (9), 1475-1479.

1-7

科学コミュニケーション

一方井祐子（金沢大学）

概要

科学コミュニケーションは、科学技術と社会をつなぐ活動や過程である。科学コミュニケーションの対象となる内容や目的、対象者、そして方法もさまざまである。1985年にイギリスのロイヤル・ソサエティが発表したボドマー・レポートでは、科学に対する市民の理解不足が問題視され、理解増進の活動が急務とされた。しかし、牛海綿状脳症（BSE）問題では、政府がリスクの不確実性を軽視し、科学者や科学に対する公衆の信頼が失われた。この経験から、科学コミュニケーションでは対話型の活動が重視されるようになった。現在では、市民の科学技術に対する無関心は単なる科学の知識不足に起因しないことが明らかになり、日本でも理解増進型から対話型への転換および市民とともに進める科学コミュニケーションが目指されており、様々な試みがなされている。

1. 科学コミュニケーションは

「科学をわかりやすく伝える」

ことだけ？

私たちの生活は、さまざまな科学技術に支えられている。科学コミュニケーションは、科学技術と社会をつなぐ活動や過程である。バーンズ (T. W. Burns) らは、科学コミュニケーションの要素として、①科学の新しい側面に対する親しみや気づき (Awareness)、②科学を娯楽や芸術として楽しむ (Enjoyment)、③科学に対する自発的な興味 (Interest)、④科学に関する態度の意見、形成、再構築、確認 (Opinions)、⑤科学の内容や過程、社会的要因の理解 (Understanding) の5つを挙げている。つまり、科学コミュニケーションにおいて「科学をわかりやすく伝える」活動はごく一部であり、それ以外に多くの活動が含まれる。また、ストックルマイヤー (S. M. Stocklmayer) によると、科学館の科学コミュニケーターだけでなく、科学者や研究者、芸術家、メディア、政府、そして公衆、つまりあらゆる人々が科学コミュニケーションの実践者になりうる

とされる。

2. 科学コミュニケーションは

「科学の知識を伝えればよい」？

イギリスのロイヤル・ソサイエティは、1985年に報告書「市民の公衆理解 (The Public Understanding of Science)」(ボドマー・レポートとも呼ばれる)を公表した。ボドマー・レポートでは、科学に対する市民の理解が不十分であることが指摘され、国全体の幸福を向上させるには科学に対する市民の理解増進活動が急務であるとされた。

一方、1986年にはイギリスで牛海綿状脳症 (BSE) の症例が報告された。BSEは牛の病気で、感染すると脳に異常プリオン (感染性蛋白質) が蓄積する。その結果、神経系に疾患が生じ、運動失調や異常行動などの症状をひきおこす。政府の諮問機関である作業部会はBSEについて調査を行い、その結果を報告書 (サウスウッド・レポートと呼ばれる) にまとめた。サウスウッド・レポートには、人間へのBSE感染リスクは小さいことが記載されていたが、その

判断には不確実性があることも言及されていた。しかし、政府はこのリスクの不確実性を十分に重視せず、メディア等を通じて牛肉の安全性を強調した。その結果、1996年に人間で症例が報告されると、政府や科学者、科学に対する公衆の信頼が失われる事態となった。

BSE やその後続く遺伝子組換え食品をめぐる議論をうけて、上院科学技術院委員会は2000年に報告書「科学と社会」をまとめた。同報告書では、ボドマー・レポートの背景には、市民の科学技術に対する理解不足や無関心は市民の科学技術の知識不足によるものという態度があったことが指摘されている。つまり、専門家は科学技術の知識が豊富であり、その知識を科学技術に無知な市民に伝えることで、市民の理解が深まる。その結果、市民は専門家と同じように考えるようになり、科学技術に対する市民の信頼も高まると考えていた。このような態度は「欠如」モデルとして批判される。

この指摘を踏まえ、報告書「科学と社会」は、理解増進型から対話型の活動への転換が必要であると強調した。対話と

は、特定の事項について互いの意見やその背景を理解し合うことをいう。対話は、相手との関係性を築くための「会話」や、ある結論に向かって話し合う「議論」とは異なる。対話が重要とされる背景には、社会における不確実性の高まりがある。高度な科学技術が急速に社会に実装されたり、国際的な問題となったりする中で、世界中の人々が関与するようになり、また専門家でも意見が分かれることが増えているためである。

現在では、市民の科学技術に対する無関心は必ずしも科学の知識不足に起因するわけではないことが明らかになっている。科学技術の理解や判断には、知識のほか、性別、年齢、教育歴、政治的信条、倫理観、価値観の違いなどがさまざまに影響する。また、市民は最終的な科学の成果だけでなく、その成果が生み出される過程や、そこに携わる専門家の信頼性や批判に対する透明性など多くの要素を考慮して判断する。そのため、単に最終的な成果や結果を伝える一方向型のコミュニケーションよりも、過程や判断の根拠などを共有する双方向型のコミュ

ニケーションがより重要と考えられるようになった。

ただし、一方向型のコミュニケーションが常に不適切というわけではないことに注意が必要である。科学コミュニケーションの活動は多様で、対象となる内容や目的、対象者、そして方法もさまざまである。例えば、ある事項について対話を行う際には、まずは前提としての知識の提供が必要な場面も多くある。そのため、科学コミュニケーションでは、その目的や文脈に応じて適切なコミュニケーション形式を選ぶことが重要である。

3. 市民とともに進める

科学コミュニケーション

日本の科学コミュニケーションも、理解増進型から対話型へと転換してきた。日本では1995年に科学技術基本法が制定された。翌年以降、5年ごとに科学技術基本計画が策定され、科学と社会の関係が言及されてきた。第1期科学技術基本計画（1996-2000）では「学習の振興及び理解の増進と関心の喚起」が掲げられたが、第2期科学技術基本計画

（2001-2005）では「社会のための、社会の中の科学技術」に変わり、対話重視の方向性が明示された。

最終年度にあたる2005年には科学技術振興調整費（振興分野人材育成）によって、東京大学、北海道大学、早稲田大学に科学コミュニケーション人材育成プログラムが設置された。また、同年を契機に、科学技術振興機構（JST）の主導により、日本全国でサイエンスカフェが実施されるようになった。これらの動きから、2005年は「科学コミュニケーション元年」や「サイエンスカフェ元年」とも呼ばれている。

第3期科学技術基本計画（2006-2010）では「社会・国民に支持され、成果を還元する科学技術」を掲げ、科学コミュニケーション人材の育成や双方向コミュニケーションが重視された。また、2006年からはJSTの主催により、対話や双方向コミュニケーションの場である「サイエンスアゴラ」が毎年開催されている。続く第4期科学技術基本計画（2011-2015）では「社会とともに創り進める政策の展開」が掲げられ、政策形成におけ

る国民の参画が重視された。また、第5期科学技術基本計画（2016-2020）では「社会の多様なステークホルダーとの対話と協働」が掲げられ、対話や協働の成果を共創につなげることが目指された。このような流れには、2011年3月に発生した東日本大震災と福島第一原子力発電所事故の問題が大きく影響している。

そして、現行の第6期科学技術イノベーション基本計画（2021-2025）では、第1期から第5期で重視されてきた理解増進、双方向コミュニケーション、対話、参画、共創を統合した多層的なモデルの実現が目指されている。例えば、現在、専門家（科学者など）と市民が協働して行う科学的な活動（シチズンサイエンス）が進められている。こうした活動を通し、科学技術や科学者に対する市民の理解と関与だけでなく、科学者自身が市民に対する理解を深めることが期待される。

さらに知りたい人は・・・

●藤垣裕子，廣野喜幸（編）（2020）『科学コミュニケーション論 新装版』，東京大学出版会．

●ジョン・K・ギルバート，スーザン・ストックルマイヤー（編），小川義和，加納圭，常見俊直（監訳）（2015）『現代の事例から学ぶサイエンスコミュニケーション』，慶應義塾大学出版会．

●山田夏子（2021）『グラフィックファシリテーションの教科書：対話とアイデアを生む』，かんき出版．



1-8

市民参加

桜木真理子（札幌医科大学）

概要

市民参加とは、科学の専門家である研究者や研究を推進する立場にある行政機関が研究の計画段階から市民との情報交換や議論を積極的に行い、市民の意見やニーズを研究計画やその支援計画に活かすことを目指した取り組みである。専門家、行政機関、市民が、科学技術と社会の望ましい関係を考えるパートナーとしての関係を築くため、さらには、社会に利益とリスクの双方を与える科学技術の開発・実装に際して幅広い利害関係者（ステークホルダー）を含めた議論を行うために、市民参加は推進されている。

市民参加を実施する際には、それぞれの枠組みの特性を理解した上で、科学技術の開発・実装の目的や、結果として生じうる社会に対する影響の範囲に応じてどの枠組みが好ましいかを選択し、なおかつ①研究の透明性の確保、②議論の包括性の担保、③参加動機の促進などについて十分に考慮する必要がある。

1. 市民参加への積極的評価

市民参加とは、ふだん研究にかかわることのない一般市民が研究の計画段階から行政や高等研究機関と情報交換や議論を行い、市民の意見やニーズを研究計画や科学技術政策に活かす取り組みである。かつて、科学研究や科学政策に関する意思決定は専門家のみで行われ、一般市民からの反対意見や懸念は科学の進展の邪魔をするものとしてほとんど無視されてきた。しかし、1990年代以降、専門家だけが科学をつかさどることへの限界や問題が指摘され、科学に対する市民の意見を取り入れてゆく必要性が盛んに議論されるようになる。それにより、科学の専門家と市民との関係は、専門家が市民に科学知識・科学技術を一方的に提供するトップダウン式から、双方向的にコミュニケーションを行い、技術と社会の望ましい関係を共に考えるパートナー的関係を目指すものに変化しつつある。市民参加はこのような専門家と市民のパートナー関係の構築に向けた実践のひとつである。実際に、行政や高等研究機関が積極的に専門家と市民のコミュニ

ケーションの場を設け、科学研究や科学技術が社会にとって適切であるか、潜在的なリスクはあるかなどについて、さまざまな主体が話し合う機会が増加している。

科学技術のリスクや倫理的問題に関して、広く活発な議論が重要視されてきたことも、市民参加に対する評価が高まりをみせる背景の一つである。科学技術は社会に多くの利益を与える反面、薬害や原発問題の例があるように、負の影響をもたらす可能性もあわせ持っている。特に、萌芽的な科学技術は将来もたらしうる利益とリスクの両面で不確実性が高く、考えておくべき社会への影響の範囲も広がる。市民参加は、専門家だけでは対処に限界のあるこのような問題に対して、さまざまな主体を巻き込み、共に検討することを目指して行われる。科学技術を開発したり、それを社会に導入したりするにあたり、開発のプロセスが適切であるか、どのようなリスクがありうるかを広く議論するために、専門家の意見だけでなく幅広い利害関係者（ステークホルダー）の意見が求められている。

2. 市民参加の分類

「市民参加」と称して実際に行われている活動の内容は幅広く、時として異なるニュアンスでこの名称が使用されることがあるため、注意する必要がある。市民参加は細かく見てゆくと、市民の参加の程度、対象範囲、方法によって「参加 (participation)」「関与 (engagement)」「参画 (involvement)」の3つの枠組みに分けられる (図1)。

ひとつめは「参加 (participation)」であり、これは参加の度合いは低いが裾野の広い参加のしかたである。「参加」では、市民は被験者としてクラウドソース型の研究へデータを提供する立場とな

る。市民は調査に参加してはいるものの、研究プロジェクトそのものへの参入度は相対的に低く、またプロジェクト実施者に対して意見を挟む余地もない。次の「関与 (engagement)」では、行政や研究者が研究内容や研究成果を伝えたり、一般の人々と討議を行う場を用意し、そこに一般市民の代表や対象となる特定の集団が議論の場に加わり、科学技術の研究や政策に対して評価を行う。ここでは市民と専門家間の対話の場が作られるが、主導権はあくまで行政や科学の専門家の側にあり、やはり市民はプロジェクトそのものに対して大きな影響力は持たない。最後の「参画 (involvement)」は

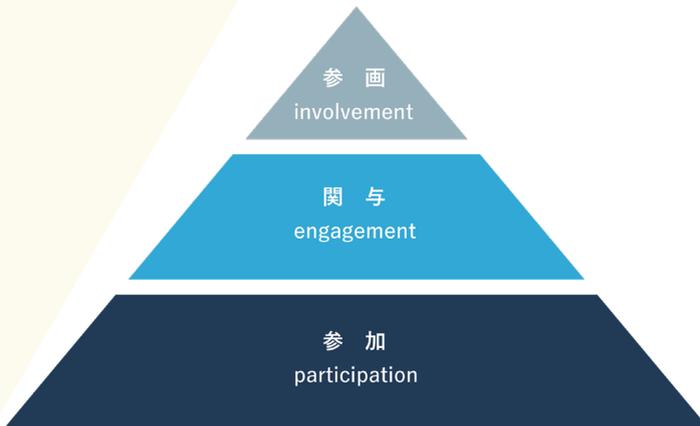


図1 市民参加の分類

最も積極的な参加のしかたといえる。「参加」と「関与」では市民が調査デザイン自体には触れられないのに対し、「参画」では市民が研究パートナーとして、研究計画や調査の実施、管理、評価に至るまでの包括的なプロセスに主体的に参加する。例えば医学研究・臨床試験への「参画」では、患者やその家族、介護者、元患者、支援団体などが、研究方針や治験プロセスにおける倫理・透明性の問題を話し合い、その改善策を検討するといった取り組みがなされる。

上述した枠組みは互いに排他的ではなく、図で示した通り、重なり合う領域が存在している。どの枠組みであっても市民参加を実施する際には、それぞれの特性やメリット・デメリットを理解した上で、科学技術が社会に及ぼしうる影響の範囲や、目的に応じて、適切な枠組みを選択する必要がある。

3. 課題と論点

上述した通り、市民参加の実施・導入には多くの利点があるが、その推進にあたっては数々の課題や留意すべき点が存

在する。ここでは行政や研究者側が市民参加を導入する場合に絞り、3点の課題を挙げる。

1点目は研究の透明性の問題である。プロジェクトの過程が市民に対して不透明であったり、市民にどのような役割が期待されているのか、市民がどのような利益を得られるか、研究成果がどのように発表されるのかといった点に関してプロジェクト実施者が明確に説明を行わなければ、市民の労力や知識が一方的に搾取されることにもなりかねない。このような問題を防ぐために、研究の策定からデータ収集、データ分析、結果発表に至るまで、市民に対して透明性をもってすべての研究プロセスを開示することが望ましい。実践例の一つに、2015年に設立された欧州市民科学協会の「市民科学10原則」がある。この原則では、専門家と市民の協力者が共に利益を得られること、協力者はデータの使用のあり方や研究成果についてのフィードバックを受け取ること、機密性や著作権、知的財産権といった倫理的・政治的問題への配慮を行うことなど、研究における参加者の

役割や、参加者が得られる利益などについて明確に記されている。

2点目は、どのように参加と議論の包括性を担保するかである。まず、「誰が参加すべきなのか」という問題がある。ジェンダー、年齢、居住地域、所属団体などによって、科学技術に対する関心の度合いや、科学技術から得られる利益／不利益は様々である。例えば科学について話し合う場を設けたとしても、科学に対する関心が比較的高い人々が集う傾向にあるかもしれない。議論を開かれたものにするためには、参加者の偏りに注意し、可能な限り様々な利害関係者を巻き込んで多様な意見を募る必要がある。次に、たとえ市民を議論の場に招いたとしても、議論があらかじめ用意された特定の枠組みの中に留まってしまえば、市民の知識や視点、批判性を十分に活かすことができない。そのため、多様な視点やアジェンダが受け入れられ、議論の見直しが行われる余地があるかも考慮すべきである。さらに、提出された多様な意見をどのように取りまとめ、議論をいかに実際の課題解決や政策に繋げていくか

も同時に課題となる。

3点目は、どのように人々に自発的な参加動機を促すことができるかという課題である。科学技術に対する議論に市民の協力を仰ぐためには、そもそも人々がそれに興味関心を持つことが重要となる。そのためには、先述のようにプロジェクトの目的や課題の説明を明確に伝えるのはもちろんのこと、その科学技術がどのようなものであるか、さらにそれがどのように自分たちの暮らしと結びつくかを専門家と市民が共に考えられるような学びや対話の場を作ってゆくことも重要となるだろう。

さらに知りたい人は・・・

●八木絵香、三上直之（2021）『リスク社会における市民参加』，放送大学教育振興会．

●小堀洋美（2022）『市民科学のすすめ：「自分ごと」「みんなごと」で科学・教育・社会を変える』，文一総合出版．

●中村征樹（2018）「シチズンサイエンスは学術をどう変えるか」，『学術の動向』，23(11)，30-39.

1-9

オープンサイエンス

桜木真理子（札幌医科大学）

概要

オープンサイエンスは、インターネットを通して科学的データや研究成果を広く公開・共有し、人々がそれらに自由にアクセスできることを目指して推進される活動である。①オープンアクセス、②オープンデータ、③オープンソース、④オープンな方法論がオープンサイエンスを支える4つの原則である。オープンサイエンスは研究成果やその根拠となるデータを公開することにとどまらず、それを通して研究者や専門領域以外の研究者や一般の人々とのより双方向的なコミュニケーションが生み出されることが期待されている。

一方、オープンサイエンスには、著作権や知的財産権の取り扱いに対する懸念、データの効果、流通、保存などにかかる金銭的・時間的な負担の増大、いわゆる「ハゲタカジャーナル」による低品質の論文の流通のように、オープン化によって新たに生じている数々の問題も存在する。

1. インターネットの普及に伴う

オープンサイエンスの促進

オープンサイエンスは、インターネットを通してデータや研究成果を広く公開・共有し、人々がそれらに自由にアクセスできることを目指して推進される活動である。私たちの生活から切り離すことのできないインターネットは、研究成果や情報交換のあり方にも影響を与え、今では専門分野や地理的な境界を越えた広大な研究ネットワークを生み出している。オープンサイエンスが進むことにより、インターネットを通じた知の結集によって研究が効率化し、学問の発展が促進されると期待されている。さらに、データの公開の要請は、社会に対する科学研究の透明性・信頼性を高め、なおかつ論文の捏造・改ざんといった不正の防止にもつながると考えられている。

オープンサイエンスにおける主要な4つの原則は、「オープンアクセス」、「オープンデータ」、「オープンソース」、「オープンな方法論」である。

「オープンアクセス」は、インターネット上で研究成果を広く公開することであ

る。大学図書館や研究所などに所蔵される紙媒体の雑誌の読者は、どうしてもそれらの施設に行くことができる人々に限られている。そこで、より多くの読者層に向けて研究成果を発信するため、近年ではインターネットで掲載論文を公開する学術雑誌が増えてきている。また、プレプリント（正式な論文として発表される前の暫定版の論文）をインターネットで公表することを通して、研究成果をいち早く公開することも普及している。

「オープンデータ」は、研究の過程で得られたデータセットを公開し、一定のルール下での再利用・再配布を可能にすることである。オープンデータは、統計、地理学、生物学、化学などの各分野で実践されている。論文上で発表されたデータは既に集計されているため、データセットの公開はその再現に役立つ。さらに、データセットの公開は、第三者が同様のデータセットに対して著者とは異なる解釈・仮説を与える機会を与えることにもなり、ひとつのデータからさらなる研究が生まれる可能性がある。

「オープンソース」は、主に情報学や

工学分野で、ソフトウェアやソースコードを公開し、ユーザーによる改変や改良を許すことを意味する。

「オープンな方法論」は、生データから結論に至るまでの研究の方法論を全て明記することを指す。一般的な学術論文における方法論では、最終結果に至るまでの細かく道筋が全て記されていることは稀である。これに対してオープンな方法論は、どのような実験セットアップを組んだか、コンピューターシミュレーションをどのように行ったか、定性データ分析についてどのような集計ルールを適用したかなどを事細かに示し、研究結果を再現するために必要な方法論的情報を全て共有することが求められる。

2. オープンサイエンスの動向

オープンサイエンスは、2000年代初頭から盛んとなったオープンアクセス運動がさらに発展した動きである。オープンアクセス運動の目的は、誰もが無料で自由に学術研究成果にアクセスできることにあった。前節でも述べたように、オープンサイエンスにおいてもオープン

アクセスは主な要素である。ただ、情報共有だけでなく、研究者が属する専門領域の外部の人々とのより活発で双方向のコミュニケーションが想定されている点に、オープンサイエンスの特徴がある。たとえば第三者がデータを精査したり、ソースコードを改変したり、データの収集に寄与したりといった貢献や二次利用、公開された学術成果に対して著者と専門領域外の研究者や一般の人々が広く議論を交わすなどの活動も含まれる。

2010年代以降、オープンサイエンスは世界的な潮流となり、各国政府や公的助成機関が積極的に奨励する動きがある。2013年に開催されたG8 ロンドンサミット科学技術大臣会合の共同宣言でオープンサイエンスが議論されたことが契機となり、各国でオープンサイエンスが推進されるようになった。日本では、2014年に国際的動向を踏まえたオープンサイエンスに関する検討会が内閣府に設置され、第5期科学技術基本計画(2017～2021)では「オープンサイエンスの推進」が項目に掲げられた。日本では2019年からオープンサイエンス

をテーマとしたカンファレンス「Japan Open Science Summit (JOSS)」が開催されており、研究者、政策立案者、図書館司書、博物館学芸員、市民科学者、NPO 法人、企業などのさまざまな主体が、オープンサイエンスに向けた新たな研究インフラの構築や、データ公開と管理、協働関係のあり方などをめぐり活発な議論を交わしている。

3. オープンサイエンスをめぐる問題

オープンアクセスには多くのメリットが見込まれているものの、オープン化によって新たに生じている数々の問題も以下の通り存在する。

1 点目は著作権や知的財産権の取り扱いに関する問題である。論文のオープンアクセス化には肯定的でも、データそのものの公開（オープンデータ）に抵抗感を示す研究者は少なくない。その理由は、引用なくそれらのデータが利用されたり、発見の先取権を奪われたりすることへの懸念にある。そのため、研究データの公開にあたり、協調と競争のバランスをいかに取るかは難しい問題となっている。

また現在、日本における研究データの共有、保護、もしくはオープンデータの利用をめぐることは、複数の法律（著作権法、不正競争防止法、個人情報保護法など）が絡み合っており、研究者にとってはこれらの複数のルールに配慮しなければならないことが負担となっている。したがって、研究データをどの程度まで公開すべきか、また著者の権利をどのように管理・保護すべきかについては、国際的な取り組みとの整合性も意識しながら、さらなる検討と明確なガイドラインの策定が求められている。

2 点目はコストの問題である。オープン化には、データの生産コスト、流通コスト、流通のためのデータの標準化にかかるコスト、保存にかかるコストなどのさまざまな負担がある。たとえば、研究成果や研究データの共有を目的としたインターネット・プラットフォームを用意する場合、その構築や維持には多額の費用がかかる。オープン化にあたっては、データを公開するための資金や人材資源を確保し、どのように持続可能性を確保するかを考慮することが重要である。さ

らに、オープンアクセス化に伴う論文著者の金銭的負担の増大も挙げられる。オープンアクセス化に要する費用は原則として著者の負担となる。学術雑誌に論文を掲載する場合、購読誌であれば著者が費用を支払うことで自分の論文を無料公開にするか、オープンアクセスジャーナルであれば著者が出版料(論文掲載料)を支払って出版するという選択肢のどちらかを選ぶ必要がある。このように、オープンアクセス化は著者の論文をより多くの読者に届ける機会を与える一方で、著者の金銭的負担を高めるという側面がある。

3点目は信頼性の問題である。近年、いわゆる「ハゲタカジャーナル」と呼ばれる低品質なオープンアクセス式の学術雑誌の存在が問題となっている。こうした雑誌では適切な査読を行わず、著者が出版料を支払いさえすれば低品質な論文でも掲載される。加えて、先に述べたプレプリントの場合も、信頼できるかわからない情報や研究成果が「正しい」情報として拡散されてしまうリスクがある。ハゲタカジャーナルやプレプリントを通

して質が保証されていない論文がインターネットに出回ること、学術研究全体の質の低下や、研究の正しさに対する不信を生みかねないと懸念されている。インターネット上の情報の全てを鵜呑みにすべきではないように、オープンアクセスの論文においても、それが信用に足るかどうかを慎重に見極めることが重要である。

さらに知りたい人は・・・

● マイケル・ニールセン (2013) 『オープンサイエンス革命』 (高橋洋訳), 紀伊國屋書店.

● 林和弘 (2016) 「オープンサイエンスが目指すもの:出版・共有プラットフォームから研究プラットフォームへ」, 『情報管理』, 58(10), 737-744.

● Kraker, P., Leony, D., Reinhardt, W., & Beham, G. (2011) The Case for an Open Science in Technology Enhanced Learning. *International Journal of Technology Enhanced Learning* 3(6), 643-654.

1-10

市民科学

桜木真理子（札幌医科大学）

概要

市民科学（シチズンサイエンス）とは、職業科学者と一般の人々が共に、あるいは一般の人々が独立的に科学的活動に参加する活動全般を指す。1990年代以降、市民科学は、科学研究の進展の加速、市民と科学者の生産的な関係性の構築、教育効果といったさまざまな利点が評価され、国内外で積極的に推進されようとしている。現在では生態学、天文学、環境学、人文学などの多様な分野で市民科学プロジェクトが展開している。ただし一方で、市民科学にはプロジェクトの実施以前に考慮すべき実施上および倫理上の課題も存在する。市民科学が大学や企業の研究所内で行われる研究とは異なる形の科学である以上、研究の実施方法、データの保管・利用方法、評価方法などにおいて、市民科学に適した新たな枠組みや考え方が必要である。

1. 市民科学とは

市民科学（シチズンサイエンス）とは、職業科学者と一般の人々が共に、あるいは一般の人々が独立的に科学的活動に参加し、科学的な研究成果の産出に貢献することを指す。たとえば、ある地域の住民、あるいはインターネットユーザーが、ある課題に関する情報収集、データ収集、その分析に携わるなどの活動が挙げられる。市民科学がアウトリーチ活動や科学教育プログラムと異なるのは、前者が人々の取り組みを通じた科学的成果の産出をより重視している点にある。1990年代以降、市民科学は世界的に評価を高め、科学研究のプロセスに一般の人々が共に関わることの重要性が徐々に認められるようになってきている。

2. 市民科学の歴史と発展

20世紀後期の市民科学活動は、市民たちが政府や企業、大学組織から独立した立ち位置から自律的に科学知識を学び、既存の科学を検証し、批判を投げかける役割を有していた。日本における市民科学活動の端緒としてよく知られるの

は、物理学者の高木仁三郎が率いた反原発運動である。高木は原子力発電のチェック機構として市民組織を1974年に組織し、利害集団から独立した立場から、一般市民が科学的知識を養い、科学技術に対する批判眼を身につけることを目指した。高木らの運動以外にも、1970年代の日本では、大気汚染、水質汚濁、自然破壊などの公害問題に対して、現地市民が大気汚染物質を調べるために、市民が環境調査・モニタリングを独自に行うといった活動が実施された。

20世紀後半の市民科学が既存の科学組織や産業に対する批判的立場から行われてきたのに対して、1990年代半ば以降は、職業科学者と市民が協調的な関係を築き、共に調査研究や科学政策評価に関与する形での市民科学が推進されるようになった。

欧米では、科学技術政策上の文書に、今後取り組むべきこととして市民科学が明記されてもいる。さらに、それぞれの市民科学プロジェクトを後援する組織やメディアの存在も、市民科学の推進の一翼を担っている。ヨーロッパでは、

2014年に「ヨーロッパ市民科学協会 (European Citizen Science Association)」が設立され、「科学と研究を誰にとってもオープンで、アクセスしやすく、価値のあるものにする」ことを使命とし、ヨーロッパにおける市民科学活動を後押ししている。さらに、2016年に創刊した『Citizen Science: Theory and Practice』のように、市民科学の成果を掲載するオープンジャーナルも登場している。日本でも、2020年に日本学術会議若手アカデミーが市民科学の推進に向けた提言を発表するなど、国内でも市民科学の推進を目指した動きが高まっている。

市民科学への再評価が高まった1990年代以前にも、鳥類観察などの生態学分野や天文学では、古くから一般のボランティアの役割が学問の発展に貢献していた。近年ではそれらに加え、環境学、生物学、農学、医学、人文学など、市民科学プロジェクトは多様な学問分野に展開している。こうした市民科学の広がりや、インターネットを通して人々が気軽にプロジェクトに参加しやすくなったことにも起因する。近年では市民が衛生写真を

もとに銀河の分類を行う「Galaxy Zoo」や、ユーザがパズルゲーム感覚でタンパク質の立体構造予測を行う「Foldit」、世界中で一般の人々が公共交通機関で微生物のサンプリングを同時期に行い、世界規模で都市の微生物叢をマッピングする「MetaSub」など、インターネット上のプラットフォームやアプリを活用したクラウドソーシング型の大規模なプロジェクトが急増している。

3. 市民科学に期待されること

市民科学には以下のようなメリットが見出されている。ひとつは、科学研究の進展の加速である。調査データの収集に多くの市民からの協力が得られれば、広域かつ長期間の調査の実現が見込まれる。特に生態保全や生物多様性の把握に向けた自然科学分野の研究では、効率的かつ広範囲なデータ収集・解析に一般の人々の組織的参加は有効である。

次に、一般の人々と科学者の生産的な関係性の構築が挙げられる。市民科学は、上記のような科学研究上のメリットだけでなく、社会的な影響をもたらすも

のとしても評価されている。政策決定者や職業科学者といった専門家のみが科学に関する決定権を持つ独占の状況から脱却する必要性が1990年代から盛んに論じられてきた。社会学者のアラン・アーウィン (Alan Irwin) は、一般の人々が科学政策や研究計画により直接的に参与することを通して、一般の人々と職業科学者が共に新たな科学の枠組みを作り出してゆくべきであると主張した。市民科学を通じた職業科学者と一般の人々の共同は、アーウィンが提唱したような、両者の協調的な関係を構築する手段の一つとして注目されている。

最後が教育的効果である。市民科学の意義は、その成果を研究論文として発表することだけに限られない。まず、科学的手法や科学的知識に親しむことを通して、市民ひとりひとりが科学的な見方を身につけることが見込まれる。さらに、市民科学プロジェクトは、環境保全、地域の活性化など、私たちの社会や生活に近しい課題と結びついている場合が多いため、市民科学への参加は、人々が自然や、ある課題に対する関心や学びを深め

るきっかけとなりうる。また、誰でも参加ができるという点で、市民科学は生涯学習にもつながると考えられている。

4. 実施上、倫理上の課題

市民科学の実施上の課題としては、煩雑な手続きをいかに回避するかが挙げられる。人々が気軽に楽しみながら市民科学プロジェクトに取り組めるようにするなどの工夫がなければ、多くの人々の協力は見込めないだろう。そのためには、プロトコルの作成や、参加ツールのキット化など、調査の手順や手法をできる限り簡単にするためのさまざまな工夫が必要となる。また、倫理的課題として、①データの質の問題、②データの共有と知財の問題、③利益相反・搾取の問題が指摘されている。これらへの対処法として、まず①では、データのバラつきを無くし、信頼に足るデータ精度を得るための調査設計が求められる。②では、データの所有権や共有のルールを研究者と研究協力者の人々が事前に取り決めておくことが必要となる。③に関しては、たとえば研究に関わる研究者にとっては、研究成果

を論文としてまとめることが最重要事項であっても、協力した一般の人々人々にとって論文化はさほど重要な問題ではない。そのため、プロジェクトを実施する立場の者は、市民科学プロジェクトに参加する見返りとして研究協力者の人々に何が提供できるかをプロジェクトの実施以前から考慮し、論文以外のフィードバックの形式を用意することが求められる。

いずれにしても、市民科学が大学や企業の研究所内で行われる研究とは異なる形の科学である以上、研究の実施方法、データの保管・利用方法、評価方法などにおいて、市民科学に適した新たな枠組みや考え方が必要であることは疑いようがないだろう。

さらに知りたい人は・・・

●一方井祐子、小野英理、榎戸輝揚 (2021) 「シチズンサイエンスの多様性：日本における課題を考える」, 『日本生態学会誌』, 71, 91-97.

●小堀洋美 (2022) 『市民科学のすすめ：「自分ごと」「みんなごと」で科学・教育・社会を変える』, 文一総合出版.

●日本学術会議若手アカデミー (2020) 『シチズンサイエンスを推進する社会システムの構築を目指して』

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t297-2.pdf>.



1-11

科学技術基本法

見上公一（慶應義塾大学）

概要

科学技術基本法は、1995年に制定された日本の法律で、現在の日本の科学技術政策の根幹を成す法律である。日本では、科学技術の振興は、国の近代化のためにも政策的に重要な位置付けにあった。そして、20世紀前半に起きた二つの戦争によって、その重要性は更に増していくことになる。しかし、科学技術基本法制定の議論の根幹は、むしろ科学技術と経済との関係にある。最初にその議論がなされたのは1960年代という日本が高度経済成長期を迎えた頃であったし、実際にそれが制定された1990年代はバブル経済崩壊後の深刻な経済停滞の時期にあたる。四半世紀が経過をした2021年に科学技術基本法は科学技術イノベーション基本法へと改正されているが、この改正では科学技術を振興することで国の経済の再興・発展を目指すという考え方がより色濃くなっている。政府が積極的に科学技術に対して投資することが定着していく中で、科学技術を取り巻く環境も大きく変わってきたのである。

1. 国家の責任としての科学技術の振興

科学技術の振興の重要性を踏まえ、日本国内においてそのための総合的な施策を策定し、それを実施する責務が政府にあることを明確に示したのが、1995年に制定された科学技術基本法であり、それはまさに現在の日本の科学技術政策の根幹を成す法律である。

科学の歴史を辿ると、自然に関する知識はもともと自然哲学として発展を遂げたが、それは関心を寄せる個人やその活動を支援するパトロンが私財を投じることで成し遂げられたものであった。それが国家による振興の対象として位置付けられるようになった経緯には、近代国家の成立以降、19世紀前半にドイツを中心に化学産業が隆盛したこと、そして20世紀に入って「化学者の戦争」とも呼ばれる第一次世界大戦と「物理学者の戦争」とも呼ばれる第二次世界大戦という、二つの大きな戦争が勃発したことが大きく影響している。時代の流れの中で、科学技術は国家の発展、そしてその存続に不可欠なものと認識されるようになったのである。

国際的に見た場合、科学技術の振興が国家の重要な役割の一つであることが確認されたタイミングとして、1945年にアメリカで作成された「Science – the Endless Frontier」という報告書が知られている。第二次世界大戦末期に、ヴァネバー・ブッシュ (Vannevar Bush) という人物によって書かれたこの報告書は、科学技術が国民生活を豊かにする源泉であり、戦後の体制においても国として支援を継続すべきことを強調するものであった。この報告書では戦争が終わりを迎えることを念頭に科学技術の重要性が述べられているが、実際にはその後も科学技術の振興には戦争が大きく関わり続けた。米国を中心とする西側諸国とソビエト連邦を中心とする東側諸国が政治思想を巡って対立した、いわゆる冷戦が長く続き、その影響を受けて核開発競争や宇宙開発競争などのもとで、科学技術に対する巨額の政府支援がなされてきた。

このように見ると、科学技術基本法が制定された20世紀末は、ようやく冷戦も終わりを迎え、国際政治が新しい局面

を迎える中で世界的に科学技術の振興のあり方が見直された時期に当たる。しかし、日本における政治的な判断はそれにも増して当時の国内の状況を反映していたと考えられる。

2. 日本における議論の経緯

もともと科学技術の振興は日本にとって重要な国家事業であった。江戸末期に西洋諸国が開国を求めて日本の近隣に出没するようになると、それに対抗する必要性から、鎖国政策をとっていた江戸幕府の中でも西洋のもつ知識や技術を積極的に理解しようという考えが強まっていった。その後、明治政府が発足すると、日本の近代化がその重要な役割として認識されるようになる。科学技術の振興は、まさに国の近代化の中心に位置付けられる事業であった。帝国大学の設置や技術普及のための模範工場の創設などを通じてそれは実現されていくことになるが、当時の振興のあり方が、研究開発の支援というよりも科学技術に通じた人材の育成という側面が強かったことは特記に値する。そして、西洋諸国がそうであった

ように、第一次世界大戦と第二次世界大戦を経験する中で、科学技術の軍事的な重要性が高まり、国として研究開発を支援する体制が構築されていった。

日本で科学技術基本法の制定が最初に議論されたのは1960年頃のことである。ただし、それは科学技術の軍事的な意義と直接は関係していない。第二次世界大戦で敗戦国となった日本では、戦前の科学技術体制が一度解体され、非軍事領域を中心に体制の再構築が目指された。サンフランシスコ講和条約によって日本が主権を回復し、1950年代中頃には経済的にも復興を果たし、高度経済成長期を迎えることになる。科学技術基本法の議論がなされたのは、まさにそのような状況下であり、その目的は当時の経済発展を更に推し進めることにあった。しかし、この時は法律の制定には至らず、それは1995年まで待つことになる。

科学技術基本法が制定された頃の日本は、1960年代とは真逆の状況とも言える不景気の真っ只中であった。1990年代始めにバブル経済が崩壊し、「失われた10年」などとも言われる長期的な経

济停滞期に突入する時期である。もともと経済成長を後押しするために議論が始められた科学技術の振興に関する法律は、日増しに悪化する経済状況からの脱却を目的として制定されることになったのである。科学技術基本法の第一条で、「世界の科学技術の進歩と人類社会の持続的な発展に貢献する」という国際的な議論と足並みを揃えた内容と並び、「我が国の経済社会の発展と国民福祉の向上に寄与する」ことがその目的に掲げられているのは、このような歴史的経緯を反映している。

このようにして制定された科学技術基本法は、四半世紀が経過した2021年に科学技術イノベーション基本法に改正された。この改正で新たに加えられた第二条の条文では、「イノベーションの創出」を「科学的な発見又は発明、新商品又は新役務の開発その他の創造的活動を通じて新たな価値を生み出し、これを普及することにより、経済社会の大きな変化を創出すること」として説明されている。1990年代初頭に始まった長期的な経済停滞の時期を脱することができたかどう

かについては様々な見解があるものの、科学技術の研究開発に対して日本経済への貢献が強く求められるようになっていくことは間違いないだろう。

3. 日本における施策の特徴

科学技術基本法、および科学技術イノベーション基本法は日本の科学技術政策の根幹を成す法律ではあるものの、具体的にどのような施策を実施するかについて細かく定めたものではない。それは同法に基づいて策定される科学技術基本計画に従ってなされることとなっている。初めて科学技術基本計画が策定されたのは、法律の制定から1年が経過した1996年であり、それはその後5年間にわたる科学技術政策の指針を示したものとなっている。それ以降は5年おきに新たな科学技術基本計画が策定され、2021年には法律の改正と共に科学技術イノベーション基本計画に名前も改められて、第6期の指針が公開された。

これまでに出された基本計画の中でも特に重要なものとして位置づけられるのは、2001年度から2005年度までを対

象としていた第2期科学技術基本計画だろう。前述のように、1990年代中頃からの科学技術の振興の目的は経済停滞からの脱却であったが、科学技術基本法の制定後も経済状況はいつこうに改善される様子がなく、むしろ悪化の一途を辿っていた。第1期では国内の大学や研究所などの研究施設を研究開発、そして人材育成のために積極的に活用することに重点が置かれたが、第2期の議論が始まる頃になると、より直接的な政府の関与が必要との認識が強まってくる。第2期の科学技術基本計画では、国家事業として推進すべき重点領域を定め、そこに集中的に資源を投入する方針が打ち出された。このいわゆる「選択と集中」の方針はその後も引き継がれることになるが、このことによって科学技術の振興が政府による投資であり、それが利益を生むべきものだという認識が一般的になっていったのである。

また、この時期に政府が力を入れたことの一つに科学技術コミュニケーションがある。科学技術に対する理解を促すことで、生み出される科学技術の社会受容

を高めるとともに、政府が行う投資の判断に対して国民の支持を得ることが期待されたと考えられる。2000年代に日本で科学技術コミュニケーションの活動が盛んになった背景には、第2期および第3期の科学技術基本計画でそのような方針が打ち出されたことが影響している。しかし、第4期科学技術基本計画が発表されようとしていた2011年3月には東日本大震災が発生した。原子力発電所事故の影響が人々の生活に影を落とす中で、それまでの科学技術あるいはその振興の意義を広めるための科学技術コミュニケーションでは不十分との認識が高まった。結果として、第4期以降の科学技術基本計画では、科学技術の倫理的・法的・社会的側面の検討の必要性なども言及され、科学技術と社会との適切な関係を構築しようとする姿勢が強まってきたのである。

さらに知りたい人は・・・

●綾部広則（2017）「ポスト冷戦期日本の科学技術政策」，中島秀人（編）『ポスト冷戦時代の科学／技術』，岩波書店．

●科学技術・イノベーション創出の活性化に関する法律（平成二十年法律第六十三号）

<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=420AC0100000063>

●標葉隆馬（2020）『責任ある科学技術ガバナンス概論』，ナカニシヤ出版（特に第2章）．

1-12

デュアルユース

川本思心（北海道大学）

概要

「デュアルユース」とは読んで字のごとく、「二つの／二重の」「使用」という意味である。しかし、現代の科学技術における「デュアルユース」という言葉はそれほど一般的・単純な意味で用いられているわけではない。なぜなら、ありとあらゆるものが単一の用途に限定されないのは、改めて言うまでもないことからだ。ではこの言葉が本来指し示す、重要な意味とは何だろうか。

現代における「デュアルユース」には大きく分けて軍民両用性と用途両義性の二つの意味がある。そしてどちらもその焦点は、先端的研究の初期段階と、将来の安全保障上の可能性の両端に当たっており、研究の起点を担う研究者の役割と信頼の問題であることを指し示している。一方で、予見しきれない将来の誤用・悪用のリスクは、多様なアクターの社会的認識によって構築されていくため、研究者に閉じた問題では無い。このような多面的性質をもつデュアルユース問題は、研究の自治に直結する問題である。

1. デュアルユースとは

「自分の学術的な基礎研究が知らぬ間に自国で化学兵器として応用されていた」、「産官学連携で軍事にも民生にも使える技術を開発した」、「企業が高度な工作機械を非友好国に輸出したら逮捕された」、「研究所内の研究者が研究用の病原菌を持ち出してバイオテロを起こした」、「研究者が研究用病原菌の紛失を報告したら罰金 100 万ドルと 2 年間投獄の刑を受けた」、「感染症対策のためのウイルス研究の論文が、生物兵器やテロに転用される可能性があるとして公開が止められた」——これらはみなデュアルユース問題の実例である。

多様な事例をひとくくりにできるデュアルユースという概念の大枠は、モノ・情報・技術・人が、一般的用途や民生目的で使用されるだけでなく、軍事やテロ目的にも使用されるという「二面性・二重性」にあると言えるだろう。この際注意すべき点はそれが「二つ」かどうかには無い。主目的があり、それに付随して派生的目的や二次的目的があるのではなく、複数の目的がすべて同列のように

扱われたり、派生的目的や二次的目的が状況により主目的に逆転したりすることが、この概念の本質の第一点である。

とはいえ、このような説明では抽象的で、本書のテーマである「研究者の自治」との関係が分かりにくいかもしれない。そこでまず、この概念が生まれてきた歴史的経緯をなぞり、その意味を確かめていく。

2. デュアルユース概念の展開

「デュアルユース」の起源を遡ると、究極的には火にたどり着いてしまうかもしれない。しかしそれは現代におけるデュアルユース問題の本質から外れている。現在の科学技術の文脈で明確に「デュアルユース」が用いられたのは、前史はあるものの冷戦後の 1993 年、米国クリントン政権の政策においてである。国防予算の減少や国際情勢の変化を受けて、基礎に近い段階で軍事／民生双方に使える研究を促進すること、それによって先進的な技術を他国に先んじて保持すること、さらに輸出管理や国際的な枠組み等を通して非友好国のみならずテロ組織な

どの非国家組織による技術や製品の軍事転用を防止すること等が進められた。このような文脈で用いられる「デュアルユース」は軍民両用性と訳すことができる。

これに対して「デュアルユース」が「用途両義性」概念へ拡張する事件があった。それは2001年の9.11後の9月18日と10月9日に米国でおきた炭疽菌テロである。炭疽菌入りの封筒がメディアや上院議員に送られ、5名が死亡、17名が感染し、封筒に接触した可能性がある1万3,000名以上に抗生物質が投与された。この事件は、米国陸軍感染症医学研究所の研究者が個人で引き起こしたとされている。米国は生物兵器禁止条約を批准しているため、炭疽菌は兵器目的ではなく、あくまで対策研究のために保持されていた。しかし、一般化されていない高度な知識と専門的立場をもつ個人の悪意と、封筒のようなシンプルな手段によって、容易にテロに転用されうるといふ現実が突きつけられたのである。

この事件によって、「デュアルユース」は軍事的な安全保障（Military）の問題

として非友好国や兵器システムからやってくる脅威としてではなく、平時と連続する安全保障（Security）の問題として自国内や基礎研究という足元からやってくる脅威へと拡張した。本来健康や環境にとって良い効果をもたらすはずの基礎研究は、同時に誤用や悪用によって極めて甚大な負の影響も与える「デュアルユース性の懸念のある研究（Dual Use Research of Concern：DURC）」でもあることが強く認識されたのだ。どちらか一方だけを選べないこの状況は、デュアルユース・ジレンマという言葉で表されている。なお用途両義性では、誤用や悪用を防止して「良い」研究を促進するという意味で用いられるという点で、軍民両用性とは異なる点に注意されたい。また例えば、遺伝子操作技術によるデザイナーベビーが「悪い」研究だとしても、それは生命倫理上の問題であり、直接の安全保障上の脅威ではない場合は、厳密にはデュアルユースに該当しないとみなすべきだろう。

3. デュアルユース問題と研究者の自治

炭疽菌テロによって生物剤への社会的リスク意識は高まり、研究者への信頼は大きく損なわれ、米国愛国者法やバイオテロ準備対策法といった厳しい法規制が敷かれた。これによって、研究者に極めて厳しい罰が与えられたり、罰則を恐れて過失を公にしないとといった事態が生じた。研究者は外部からの過度の規制は適切な研究の発展を阻害するという危機感を持ち、米国科学アカデミーは2004年にいわゆる「フィンク・レポート」をまとめ、ワクチンの無効化など DURC に該当する7テーマと、審査制度の整理など対応策7点を挙げた。また OECD は2004年の会合で、各学会による行動規範の策定を提案した。

このような状況の中、再び事件が起きた。2011年12月に DURC に該当するとして、鳥インフルエンザウイルスに関する Nature と Science の論文各1本の公開が差し止められたのである。これはフィンク・レポートの提言によって設立された、多様な省庁・専門分野の専門家からなる NSABB (National Security

Advisory Bord for Biosecurity) の勧告によるものであった。重要なのは、従来、論文は分野内の研究者のピアレビューによって公開の是非が決められていたのが、外部的なプロセスも加わったということである。これは研究の自治において極めて重要な歴史的事件だと言える。ここまで歴史を振り返って明らかなように、デュアルユース問題は安全保障と研究の自治に直結する問題なのである。

4. 研究者が担えないこと、担えること

このようなデュアルユース問題に、誰がどのように応答すべきだろうか。デュアルユース問題は、「良い・悪い」が確定していないどちらでもない時に、その可能性を予見しどう応答するかという問題である。これを科学哲学者のジョン・フォージ (John Forge) は「二重適応 (Dual-capable)」という言葉を用いて強調している。このような将来への応答は研究者コミュニティ内部だけでは実現できない。もちろん、高度な先端研究の管理と予見を担うことが可能なのは、まず研究者であることは論を俟たない。しか

し、科学技術は集団的な行為であり、何が引きこされるかを予見することは、起点となる研究者でさえ困難である。そして国際法上禁止された兵器やテロ、明らかな加害は別として、何が悪用・誤用、脅威であり、何が適切な使用なのかは、社会的な価値・リスク観の問題であり、研究者だけでデュアルユース性を定めることはできないのである。

しかし、「悪用・誤用は意図しておらず、予見もできない」、「だからデュアルユース問題について研究者の責任は無い」とすることは、研究の自治の放棄と同義である。デュアルユース性を制御し、適切な研究へと発展させるためには、研究者がデュアルユース問題を社会に開くことが第一歩であり、それが研究の自治を保つ上でも必要不可欠であろう。

さらに知りたい人は・・・

- 出口康夫, 大庭弘継 (編) (2022) 『軍事研究を哲学する』, 昭和堂.
- 藤子・F・不二雄 (1979) 「へやいっぱいの大どらやき」, 『ドラえもん』, 20, 小学館.
- 四ノ宮成祥, 河原直人 (編) (2013) 『生命科学とバイオセキュリティ: デュアルユース・ジレンマとその対応』, 東信堂.
- 須田桃子 (2018) 『合成生物学の衝撃』, 文藝春秋.



1-13

科学技術とジェンダー

標葉靖子（実践女子大学）

概要

「科学技術とジェンダー」というとき、今日的には大きく二つの問題が挙げられる。一つは、科学技術分野におけるジェンダー格差の問題であり、これには科学技術分野における女性割合・数の少なさ、組織・制度上の課題、知識・意思決定プロセスへのアクセシビリティ格差などの問題が含まれる。もう一つは、ジェンダー視点から問い直される科学技術「知」の客観性や中立性の問題であり、こちらは知の生産プロセスにおけるジェンダー格差や無意識のジェンダーバイアスが、結果として大学や企業等で生み出される知識やそれに基づく技術や製品の開発等に偏りと画一性を生じさせること、それによる女性（の問題）の不可視化、リスク・便益分配の不平等などが含まれる。こうした問題に対して、1990年代以降、科学研究・開発のあり方、すなわち組織や環境、そして計画・実施・モニタリング・評価等のあらゆる段階でのジェンダー分析に基づく施策・プロセスの改善が検討されてきた。近年日本でも注目され、第6期科学技術・イノベーション基本計画（2021-2025）でも言及されている「ジェンダード・イノベーション」はそうした動きの一つである。

1. 科学技術分野における

ジェンダー格差

「科学技術とジェンダー」というとき、今日的には大きく二つの問題が挙げられる。そのうちの 하나가、科学技術分野におけるジェンダー格差、すなわち女性の参画拡大を含む人材多様性確保の問題である。科学技術分野における人材の多様性確保は多くの国で重視される課題となっており、日本においても科学技術・学術分野の男女共同参画を推進するため、大学等の女性研究者支援を軸とする政策が2006年に開始されている。しかしながら、依然として大学進学時点での分野選択の段階ですでに科学技術分野（とりわけ理学・工学系）の女性割合は低く、修士・博士、そしてアカデミアにおける上位職階と進むにつれてさらに女性割合が下がる傾向はそのままである。

たとえば2019年のOECDによる調査では、STEM（Science, Technology, Engineering, and Mathematics）分野の学生（学士課程および同等レベル）に占める女性割合は、OECD加盟国平均の32%に対して、日本はOECD加盟国で

最下位の17%にとどまっている。また総務省の科学技術研究調査（2023年公開）によれば、研究者全体に占める女性割合は18.2%、研究者総数の6割以上を占める企業等における研究者の女性割合はさらに低い12.2%と、圧倒的に男性研究者が多い状況となっている。別の調査では、数学・物理学分野とともに、情報学・工学分野における女性比率が特に低いことも報告されており、科学技術分野間の格差も指摘されている。

このような科学技術分野における男女比・数の不均衡さに関して、「個人の努力や適性・能力、選択の結果であり、是正すべき問題ではない」との声もあるかもしれない。しかし、人口性比に大きな偏りがないにもかかわらず、科学技術分野でこれだけの男女比の偏りが生じている状況の背景には、多様な人材が活躍する上での障壁となる組織・法制度上の問題、さらには初等・中等教育などを含む多様な段階での個人の選択に影響を与えるジェンダーステレオタイプや性差別的な社会意識の存在があることを忘れてはならない。

2. 「知」に埋め込まれた

ジェンダー・バイアス

「科学技術とジェンダー」をめぐるもう一つの大きな課題が、生産される知識に埋め込まれたジェンダー・バイアスの問題である。科学者自身にも、また一般的にも、科学技術の「知」は社会的関係とは切り離された、客観的で価値中立なものであるというイメージは強い。しかしながら、前節で示すような科学技術分野におけるジェンダー格差は、大学や企業等で生み出される知識やその公開のされ方、知識に基づく技術や製品の開発等に偏りと画一性を生じさせることに注意が必要である。

科学論・科学史の研究においては、1980年代後半からサンドラ・ハーディング (Sandra Harding)、E・F・ケラー (Evelyn Fox Keller)、ヘレン・ロンジーノ (Helen Longino) らがその先駆となり、「科学知」やその形成プロセスにおけるテーマ選択や研究デザイン、公開方法や形成された知がもたらしうる影響に関して、ジェンダー構造に基づく偏りがあることが指摘されてきた。たとえば、

ながく自動車の安全性試験が男性身体モデルで実施されてきた結果、三点固定式シートベルトによって女性（とりわけ妊婦）が男性よりも高いリスクにさらされていることは有名な事例である。同様に、医薬・医療品開発や診断方法の確立においても男性身体が規範とされてきたことで、女性の身体に対する副作用や診断基準等の精査が十分でなかったことも明らかになっている。逆に、骨粗しょう症のように閉経後の女性に対する警戒が周知されている一方、男性では看過されがちな問題もある。情報科学分野でも、既存のデータセットの偏りにより機械学習のアルゴリズムがジェンダーおよび人種に関するバイアスを多分に含むことが指摘されている。

科学技術研究・開発における課題設定、投資対象領域や技術応用分野、研究デザインの選択において、個人・組織・社会に埋め込まれたジェンダーバイアスの影響を完全に回避することは難しい。2020年以降、女性の健康・ウェルネスの課題を（主としてデジタル）テクノロジーで解決しようとするフェムテックが

急激にその市場規模を拡大し、月経管理などの女性特有の身体・健康データの収集・利活用による「女性の身体の再発見」にも期待が寄せられている。しかしながら、人口の半数を占める生物学的女性のほとんどが長く向き合い続けなければならない厄介な〈苦痛〉が、先進テクノロジーの活用領域として注目されるためには2020年まで待たなければならなかったことは、いかに女性が科学研究の周縁に追いやられていたのかを理解するには十分な事例であろう。

3. 「ジェンダード・イノベーション」への期待

「科学技術とジェンダー」をめぐる問題群に対する政府や大学によるジェンダー平等の取り組みには、3つの戦略的アプローチがある。すなわち、(1) 数を是正する (Fix the Numbers)、(2) 研究組織における不平等を是正する (Fix the Institutions)、そして (3) 知を是正する (Fix the Knowledge) である。(1) については、雇用、労働環境における格差是正のためのポジティブ・アクション、

女子を対象とした奨学金制度などによるSTEM教育・進学支援がその取り組み例である。また(2)の組織・法制度の構造的な変化を促すための取り組み例として、結婚・妊娠・出産・育児・介護などによってキャリアが断たれてしまわないための評価・昇進システムの導入、関係者への教育などがある。そして(3)のアプローチとして、ロンダ・シービンガー (Londa Schiebinger) が2008年に提唱した「ジェンダード・イノベーション (Gendered Innovations:GI)」がある。

GIは、生命科学・工学・社会科学を含む広範な分野における基礎研究並びに応用・開発において、ジェンダーやセックス、多様な性のあり方を考慮した性差分析が重要であるとして、そのための手法を開発するところから始まった動きである。現在では、ジェンダー平等を含めた多様性と包摂を達成するというグランドビジョンに基づき、ジェンダーやセックスだけでなく、民族、年齢、社会経済的状況、セクシュアリティ、地理的位置、障害などの「交差性 (Intersectionality)」分析の重要性も

指摘されるようになってきている。

欧州連合（EU）における科学技術政策では、1990年代からジェンダー平等の実現を目的として、組織や環境、また計画・実施・モニタリング・評価等のあらゆる段階でジェンダー分析に基づく施策をとっていくプロセスであるジェンダー主流化が進められてきた。こうした志向の延長にあるのがGIであり、GI関連施策は欧州のみならず同時多発的に北米や韓国などでも2010年代から取り組まれてきた。日本では第6期科学技術・イノベーション基本計画（2021-2025）においてGIが「科学や技術に性差の視点を取り込むことによって創出されるイノベーション」との記述を伴って盛り込まれている。

最後に、科学技術分野への女性参画を「女性らしい／ならではの視点」がもたらすメリットとして語ることの危険性を指摘しておきたい。「科学技術とジェンダー」をめぐるっては、科学技術分野における人材多様性の確保や性差／交差性分析の十分な蓄積がないために、多くの見落としや性差別意識に基づくラベリング

による議論が未だなされやすい状況にある。そのことに注意を払いつつ、科学研究・開発のあり方そのものにジェンダー主流化を埋め込んでいくことで、科学技術に新たな展開を拓き、より良いRRI実践がなされていくことを期待する。

さらに知りたい人は・・・

- 河野銀子, 小川真理子 (編) (2021) 『女性研究者支援政策の国際比較：日本の現状と課題』, 明石出版.
- 小川真理子 (2020) 「科学とジェンダー」, 藤垣裕子ほか (編) 『科学技術社会論の挑戦 2 科学技術と社会：具体的課題群』, 東京大学出版会.
- キャロライン・クリアド・ペレス (2020) 『存在しない女たち：男性優位の世界にひそむ見せかけのファクトを暴く』 (神崎朗子訳), 河出書房新社.
- 横山広美 (2022) 『なぜ理系に女性が少ないのか』, 幻冬舎新書.

1-14

社会実験

石田知子（富山県立大学）

概要

社会実験とは、新規の科学技術などを期間や場所を限定して実社会に導入し、それらの効果や問題点を明らかにしようとする試みである。実施する上では、そこで生活する市民の権利を保護し、科学技術がもたらしうるリスクから市民社会を守る必要がある。

社会実験には、科学者以外にも企業や行政、市民などの多様なステークホルダー（利害関係者）が関与するため、科学研究では得難い学びを得られる可能性がある。その際、特に重要な役割を果たすのは市民である。なぜなら、研究予算配分などを通じて、行政や企業は少なからぬ影響を科学者コミュニティに及ぼしているが、市民はそのような力を持たないからだ。これは、市民はとりわけ、科学者コミュニティと異なる視点を持つ可能性が高いことを意味している。そのため、社会実験からより有意義な学びを得るためには、市民が他のステークホルダーよりも弱い立場にあることを念頭に置き、自分とは異なる視点に対しても開かれた態度で実験に臨む必要がある。

1. 社会実験とは何か

新しい科学技術や政策、サービスは、社会に大きな影響を与えることがある。そのため、それらを全面的に社会に導入する前に、それらが与える正負の効果や効果的な導入方法をあらかじめ調べると同時に、社会に悪い影響が及ばないようにすることが求められている。その方法の一つが社会実験である。これは、期間や場所を限定して、試験的にそれらの技術や制度を社会に導入する試みである。その代表的な例に、近年盛んに行われているスマートシティ事業がある。これは、大学・企業・行政・市民などの協力の下、限られた地域内で情報通信技術を実生活に応用し、その効果を探る街づくりの試みである。この例からも分かる通り、社会実験には、多様なステークホルダー(利害関係者)が関与していることが多い。以下では、特に新しい科学技術に関する社会実験に焦点を当てて説明する。

2. 市民・社会を保護する

制度・仕組みの必要性

社会実験が実社会で行われる「実験」

である以上、市民や社会を害する不測の出来事が生じる可能性は否定できない。そのような悪影響を制御し、市民や社会を保護するため、社会実験にも各種規制や研究倫理が必要とされているが、今のところ、そのような制度や仕組みが十分に整っているとは言い難い。2019年につくば市によって制定された「つくばスマートシティ倫理原則」や、2023年に第二版が発行されたスマートシティ官民連携プラットフォームによる『スマートシティガイドブック』における「3つの基本理念」と「5つの基本原則」などのように、基本的な理念を示したものは存在する。その一方で、リスク管理などの具体的な方法は、現段階では個別に決める必要がある。社会に及ぼし得る影響の大きさ次第では、早急な実験停止を可能にする仕組みも、事前に整えるべきだろう。もちろん、個別の対応と並行して、社会実験一般に関する議論も成熟させていかねばならない。

市民の権利を保護する方法の一つに、インフォームド・コンセントがある。社会実験において、市民は少なくとも二つ

の役割を持ちうる。一つは、新しいアイデアをもたらし、技術を共に作り出す共同開発者としての役割である。もう一つは、新しい技術の使用感や効果などのデータを研究者に提供するという、被験者としての役割である。実験の被験者は、実験という営みの本質上、様々なリスクにさらされることになる。そのため、原則として、市民は実験の趣旨に納得した上で、自らの意思によって実験に参加する必要がある。多くの場合では、研究者が必要な情報を文書で提供し、自由な市民はそれを読んで納得した上で参加に同意するという形式が採用される。これがインフォームド・コンセントである。しかしながら、社会実験という試みにおいては、与えられた文書を納得するまで熟読する市民はあまり多くない。場合によっては、そのような機会がないことさえある。この点については、社会実験は社会をよりよいものにすることが目的であるため、問題ではないと考えられることもある。しかし、社会実験には私企業が参加していることも多く、その場合には、目的に企業の利潤追求が含まれてい

ることを意味する。そのような試みにおいて、市民の意思確認が形式的になってしまうことには、依然として懸念が残る。

3. 社会実験から何を学ぶのか

社会実験のように、多様なステークホルダーの関与が見込まれる試みからは、通常の科学研究では得難い学びも可能になる。科学者のコミュニティは、「どのような問題を解くべきか」「どのように問題を解くべきか」など、研究を方向づける価値観を共有している。また、研究費を獲得する上で、行政や企業からの政治・経済的な影響も、少なからず受けている。これらの要素は、効率のよい研究を可能にする一方で、そこから外れる事項を「重要ではない」ものとみなし、積極的な学びの対象から外してしまう原因ともなりうる。一方、市民は社会実験に参加するステークホルダーの一部であるが、科学者コミュニティにおいて一般的な価値観を必ずしも共有していない。そのため、市民との協働は、科学者コミュニティの内部では気づきにくい事項に意識を向けさせるきっかけとなりうる。

科学者以外のステークホルダーから得られる学びは、科学技術を社会導入する際にきわめて重要である。それを得られないまま社会導入を進めた場合には、失敗に終わるリスクが高まると考えられるからだ。そのような事態に陥った事例として、1990年代に遺伝子組換え作物を市場導入しようとした際に生じた、市民からの強い反発が挙げられる。その影響は大きく、現在でも遺伝子組換え作物に対していい印象を持たない市民は少なくない。当時、遺伝子組換え作物に慎重な立場を取る市民らが示した懸念には、生態系や人体への影響のみならず、農業構造の変化に伴う社会的・経済的な影響も含まれていた。しかし、科学者を含む遺伝子組換え作物を推進するステークホルダーは、それらを必ずしも真剣に考慮していたとは言えなかった。市民との対話をより早くから行い、本格的な社会導入に踏み切る前に適切な学びが得られていたならば、論争は激化せず、より望ましい形で遺伝子組換え作物を社会に導入できた可能性は高い。このような事例を反面教師として、社会実験によって新規の

科学技術を社会導入するよりよい方法を模索し、学ぶ必要がある。

4. よりよい学びを得るために

それでは、そのような学びを得るため、どのような事柄に気を配るべきだろうか。まず注意すべきなのは、企業・行政・市民などの多様なステークホルダーが置かれている立場の違いである。企業や行政は、新規科学技術の成功例が提示されることを期待して、社会実験に関与することが多い。さらに、それらの役割には、社会実験のための予算の提供も含まれる。そのため、科学者は一般的に、企業や行政の期待に応えようとする傾向があるが、その傾向が行き過ぎないように心がける必要がある。社会実験が科学技術の有用性を示すための単なるデモンストレーションと化してしまい、重要な学びを得られなくなるおそれがあるからだ。

一方で、ほとんどの場合、市民は科学者コミュニティの価値観に大きな影響を及ぼすような力を持たない。そのため、彼らの視点を理解し、学びを得るために

は、より一層の努力が必要である。市民はときにデータ収集のための被験者としてのみ社会実験に組み込まれ、それ以上の役割を期待されないことがある。もちろん、データ収集が重要なことは言うまでもない。しかし、市民から得られる学びの中で特に重要なのは、科学者コミュニティとは異なる、市民特有の価値観に由来する事項であるだろう。そのような学びは、科学者の予測や期待に反するものである可能性が高く、その内容を受け入れることは必ずしも容易ではない。そのため、科学者側の適切な準備なしに、そのような学びを得ることは難しい。また、社会的立場の弱さゆえに、市民の意見は、企業や行政などの強力なステークホルダーにとって都合のいいように解釈、利用されてしまうおそれもある。

社会実験を実施する際には、以上のことをふまえて適切な研究計画を立て、自分とは異なる視点に対してもオープンな姿勢で行うべきである。また、適切な学びを効率よく得るためには、実施は研究開発のより早い段階が望ましい。その理由は少なくとも二つある。第一に、ステー

クホルダー同士の関係は、学びの内容に影響を与えうる。より良い学びを可能にするために、関係の再構築が求められることがあるが、研究開発の初期段階であれば、まだ関係がはっきりと定まっていないことが多く、比較的容易に対応できるだろう。第二に、研究開発が進むと、社会実験に関わる（特に短期的な）利害が大きくなる。そうになると、一部の有力なステークホルダーが実験の「成功」を急ぐあまり、他のステークホルダーから得られたはずの学びを軽視してしまうという事態も起こり得る。社会実験を研究開発の早い段階で実施することは、そのような事態を防ぐ意味でも重要である。

さらに知りたい人は・・・

- 林真理 (2018) 「生活世界の実験室化：データに尊厳はあるか」, 『生物学史研究』, 97, 35-48.
- 石田知子, 猪口絢子, 見上公一 (2022) 「市民参加としての社会実験：不知と向き合うための試み」, 『研究 技術 計画』, 37 (3), 264-278.
- 神崎宣次 (2023) 「スマートシティのための倫理：議論の現状」, 『倫理学研究』, 53, 130-140.

1-15

期待の醸成

見上公一（慶應義塾大学）

概要

科学技術の研究開発を進める上では、研究者の労力や研究費など様々な資源が必要である。そのような資源は、研究開発によってもたらされるであろう未来の姿が提示されることで、それを実現するための投資として配分される。だからこそ、実際に配分される資源の量は、提示された未来像が他で提示される未来像と比べてどの程度魅力的なものとして評価されるかに大きく左右される。また、もし複数の利害関係者（ステークホルダー）がその科学技術に期待を寄せて研究開発に関与することになれば、その先にある未来像が現実のものとなる可能性は高まり、結果としてその魅力は増すことになる。そうなれば、他の利害関係者（ステークホルダー）からもさらなる投資を引き出すことができるかもしれない。一方で、時間が経過しても期待に応えられていない、あるいは提示された未来像が問題を抱えているなどの認識が広まれば、活用できる資源が大幅に減ってしまう恐れもある。このように、社会からの期待は、研究資源の獲得という点で、研究開発において実質的な機能を果たしている。

1. 期待が果たす機能

期待とは、一般的に「望ましいことが将来に起きるはずだ」という未来に向けた前向きな視線を反映した感覚である。科学であれば「何か新しいことがわかるようになる」、技術の場合には「何か新しいことができるようになる」というように、そのような前向きな視線から科学技術の価値は説明されることが多い。それは研究者が研究に取り組む上でのモチベーションとなるだけでなく、その研究を実施するために必要な研究費を獲得する際の根拠にもなる。つまり、研究者にとって自分が大きな期待を抱いているというだけでは不十分であり、他者に対しても同様の期待を抱かせることが研究開発を行う上では求められる。

ただし、実施しようとする研究に対して期待を抱かせるように、研究者が一個人として他者に直接働きかける機会はずしも多くない。前述の研究費の獲得のためのプロセスでは、申請書で計画する研究の詳細とともにその結果として何が得られるのかの記述を求められることが一般的であり、それはそのような数少な

い機会の一例と言える。しかし、その内容を知ることになるのは限られた人だけである。ただし、もし審査の結果研究費を獲得することができたならば、多くの場合その事実とは公開される。たとえ研究の詳細がわからなくても、厳正な審査において関連する専門性を有する人がその将来性を評価して研究費が配分されたという事実によって、その研究に期待を寄せる「他者」の存在は知られることになる。そして、さらに多くの人や組織がその研究に関心を寄せる可能性が高まっていく。このように、研究者の直接的な働きかけよりも、研究に関心を寄せる人や組織を増やし、それによってもたらされるであろう未来の実現に向けた活動に巻き込んでいくことによって、期待はより大きく膨らんでいくのである。

巻き込んでいく「他者」には様々な可能性が考えられる。身近な「他者」としては、同じような知識基盤を有し、興味関心を共有する、専門性の近い研究者が挙げられる。学会でセッションを組んだり、大型の研究プロジェクトを立ち上げたりすることで、より多くの研究者の注

目を集めて、研究の流行を生み出すことが日常的にも試みられている。ただし、それはあくまでも同じような関心を共有する研究者の間での期待の高まりであり、学術の世界に閉じたものになりがちである。一方で、政府や著名な研究助成組織などが大型助成事業の対象として選定したり、有名企業との共同事業が立ち上げられたりした場合には、異なる関心の接点にその研究が位置付けられることになり、広く社会としての期待が高まることとなる。そのような社会としての期待の高まりは、多様な関心を持つ利害関係者（ステークホルダー）の関与へと発展する可能性も高く、研究に対して長期的で安定した資源の配分を実現させる傾向がある。

2. 期待の衝突

期待の高まりが研究に必要な資源の確保につながるならば、社会の期待は高ければ高いほど良いはずだという印象を受けるかもしれない。しかし、必ずしもそうとは言えないのが実情である。まず第一に、資源は有限であり、他の研究とそ

の配分を競っているという事実に向けなければならない。研究が提示する期待は、その土台となる過去の研究成果やそれを実施するための技術基盤の存在などによって裏打ちされたものであることが求められる。期待を高めようとするがあまりに、その内容が飛躍して根拠の薄いものとなってしまうとは、他のより堅実な未来像を提示する研究の方が高く評価されることも考えられる。特に時間の経過とともに期待された成果が得られていないと判断されてしまった場合には、急速に利害関係者（ステークホルダー）の関心が薄れ、研究に配分される資源の量も大幅に減ってしまう懸念が生じる。このことを踏まえて、近年では「ハイプ (Hype)」と呼ばれるような過度の期待を社会に抱かせることのないよう、研究者たちが慎重な姿勢を見せる傾向が強まっている。

また前述のように、期待の高まりが多様な利害関係者（ステークホルダー）の関与を促す一方で、研究の結果としてもたらされるであろう未来像を提示する主体が、研究者だけに限られないことも注

意しなくてはならない。例えば、政府が特定の研究領域に対して大型の研究支援を決めた場合などには、研究支援事業としてのビジョンが掲げられたり、その領域に関するロードマップが策定されたりすることも多い。また、企業がその研究領域に参入する際には大々的にプレスリリースが打ち出されることもある。行政であれば納税者である市民に対して、企業の場合には株主や顧客に対して、自らの研究への関与の正当性を強調する必要があり、そのために作成されるこれらの資料も社会の期待の高まりにつながる可能性が高い。ただし、その中では研究者が抱く未来像とは異なる、場合によっては飛躍した内容の未来像が提示される危険性もある。また、市場で提供する製品やサービスをまだ持たないスタートアップ企業が、当面の事業資金を確保することを目的に、意図的に期待を煽るようなプレスリリースを繰り返し行う事例も存在する。多様な利害関係者（ステークホルダー）が関与することは、このような社会に過剰な期待を抱かせてしまうリスクを高めることにもなるのである。

そして最後に、多くの科学・技術が負の側面を併せ持つことも忘れてはならない。近年の科学技術政策の傾向では、新規の科学技術の登場とともにその倫理的・法的・社会的含意（Ethical, Legal and Social Implications：ELSI）についての議論が始められることが一般的となっている。広く注目を浴びる科学技術ほど、その課題や問題について指摘する声も大きくなることから、提示された未来像が社会にとって本当に望ましいものかどうか再検討を迫られることにもなりかねない。

3. 期待のコントロール

ここまで見てきたように、社会の期待をうまく醸成することは、科学技術の研究開発を進める上で重要な鍵となる。だからこそ、そのための様々な工夫も見受けられる。例えば、同じような内容でありながら新しいものへと刷新されようとしている様子を形容する手法として、一般的にソフトウェアで用いられる「2.0」や「3.0」などのバージョンを示す表記を科学・技術の研究領域に使用すること

がある。以前は応えることが難しかった社会の期待を再度呼び起こすには最適な手法と言える。また、類似するものとして、人工知能研究などで頻繁に耳にする「第X次ブーム」などといった表現もある。こちらは社会の期待に必ずしも応えられなかった過去の存在を強調することで、「今度こそは」それに応えるものであるという印象を与えることができる。

また、アメリカのコンサルティング企業のガートナー社が提案したという「ハイプ・サイクル」というモデルは、長期的に社会の期待を維持することに寄与する。このモデルでは、科学技術に対する社会の期待は乱高下することが一般的であるという解釈を提示する。発展の初期には一時的な「ハイプ」を迎え、その後により安定的な研究開発の時期が訪れることを示唆することによって、短期的な周囲の反応に惑わされるべきではなく、継続的な資源の投入が将来的に報われるはずであることを強調するのである。

研究開発が研究者のみならず多様な利害関係者（ステークホルダー）の関わりによって進められるという状況におい

て、科学技術に対する社会の期待を望むような形でコントロールし、研究の実施に必要な資源を長期間にわたって安定的に確保することは決して容易ではない。それでも自分が関与する科学技術に対してどのような期待が持たれているのかということに意識を向け、場合によってはその内容をより適切なものに修正しようと努めることは、社会として科学技術の発展のために適切な資源の配分が実現されることにもつながるはずである。

さらに知りたい人は・・・

●見上公一（2022）「科学技術への人文・社会科学の関与の意味について：期待の社会学の視点から」, 『慶應義塾大学日吉紀要社会科学』, 32, 51-65.

●鈴木和歌奈（2013）「希望／期待から見る科学技術」, 『研究 技術 計画』, 28 (2), 163-174.

●山口富子（2019）「未来の語りが導くイノベーション：先端バイオテクノロジーへの期待」, 山口富子, 福島真人（編）『予測がつくる社会：「科学の言葉」の使われ方』, 東京大学出版会.

第2部

過去の議論からの学び

2-1

自然と生物多様性

西 千尋 (同志社大学)

概要

自然は、原生的自然と二次的自然に分類される。原生的自然は、人間の影響が及ぼされていない自然である。対して二次的自然は、人間が適度に手を加えながら保全されている自然である。たとえば、原生林や奥山、湿地などが前者に、里山や里地、里海などは後者に当てはまる。

一方で、生物多様性は、(1) DNA の塩基配列の多様性によって生じる個体間の多様性を指す遺伝子の多様性、(2) さまざまな種の生物が存在することを指す種の多様性、(3) 生物が生息する場所が多様であるということを示す生態系の多様性という、3つのレベルで議論されている。

1990年代以降、生物多様性を守るための重要な議論が、生物多様性条約の締約国の間で幾度となく行われてきた。そのような議論の結果の1つが、カルタヘナ議定書である。カルタヘナ議定書は、遺伝子組換え生物の輸入国が生物多様性保全と持続可能な利用へのリスクを評価して、取り扱いに注意することを目的としている。

1. 自然とは

「自然」という言葉は、「人工」とも対比されるように、人間の手が加わるか・人間が創造しているか否かという点がその理解の重要な位置づけにある。そして「自然」は人間の手が関与しない・人間が創造していないものをさしている。自然環境などの意味合いで使用される自然も、人間によって創造されたわけではない。しかし、手入れの度合いによって、「原生的自然」と「二次的自然」に分けることができる。原生的自然は、人間が保全に介入していないような自然を指す。有名なものとして、世界自然遺産にもなっている知床国立公園（北海道）、白神山地（秋田県・青森県）、屋久島（鹿児島県）が挙げられる。このような原生的自然の維持のために、該当する地域では人間による草木の伐採・採取や、動物・鉱物などの自然物の捕獲・採取をしてはいけない。そのほかにも様々な規定があり、これらは1972年に制定された自然環境保全法によって定められている。

対して、二次的自然は人間が手を加え、保全したものを指す。里山、里地、里海

などは、二次的自然に分類される。里山、里地、里海は生態系に配慮しながらも、人間が長い年月をかけてその近くで生活を営むといった、自然と共に生きるような環境を意味している。それらは、人間が適度に手を加えることによって、バランスの良い生態系が構築されているのである。

2. 生物多様性とその保全

そのようなバランスの良い生態系の保全のための重要な考え方の一つとして、生物多様性がある。生物多様性は(1)遺伝子の多様性、(2)種の多様性、(3)生態系の多様性という3つのレベルで議論されている。(1)遺伝子の多様性は、DNAの多様性によって生じる同種の個体間の多様性を指す。例えば生き物はその種に共通のDNAの塩基配列の他に、一塩基多型と呼ばれるその個体を特徴づける塩基配列が存在する。それらの一塩基多型などによって、形質が変化する可能性がある。同種で共通したDNAを有する中で、異なるDNAの塩基配列に由来した遺伝子の多様性は形作られる。

(2) 種の多様性は、さまざまな種の生物が存在することを指す。また、その種をもとに生物種が分類され、種の多様性ができあがる。(3) 生態系の多様性は、河川や湖沼、山、森林、農地、公園、もしくは家屋など、それぞれの場所に多くの生物が息していることを示している。このように、形成された生態系自体が多様であることを指す。

これらの3つの多様性は、生物多様性条約の第二条で言及されている。生物多様性の保全を目的とする生物多様性条約は1993年に発効された。生物多様性条約は生物多様性の保全だけでなく、その構成要素の持続可能な利用や、遺伝資源の利用から生ずる利益の公正かつ均衡な配分も目的としている。

この生物多様性条約が発効された1993年以降、締約国会議（Conference of the Parties：COP）が何度も行われ、さまざまな議定書が制定されてきた。そのひとつが2000年に採択されたカルタヘナ議定書である。カルタヘナ議定書（「生物の多様性に関する条約のバイオセーフティに関するカルタヘナ議定書」）

は、コロンビアのカルタヘナで1999年2月に議論され、2000年にモンテリオールで開かれた生物多様性条約特別締約国会議再会合で採択された。カルタヘナ議定書は、遺伝子組換え生物が国境を超えることに対し、輸入国の側が生物多様性保全と持続可能な利用へのリスクを評価して、取り扱いに留意するように定めている。

カルタヘナ議定書の採択を受けて、日本では2003年にカルタヘナ議定書を締結し、カルタヘナ法（「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性確保に関する法律」）が施行された。その後、カルタヘナ法は名古屋・クアラルンプール補足議定書をもとに改正され、2018年に改正法が施行された。現在のカルタヘナ法では、研究に用いる生物が生態系に放たれることを禁止し、これにより研究で用いられる生物と野生の生物との交配を防ぎ、生態系を守っている。

しかしながら、近年日本で初めてカルタヘナ法を違反した事件が起きた。2023年、本来研究室に封じ込めておくべき遺伝子改変メダカが、東京工業大

学の学生によって無断で持ち出されたのち、他者により販売目的で運搬されたのである。この事件を受けて、文部科学省は持ち出しのためには行政による承認を受ける義務があることや、譲渡等をする際には情報共有する必要があることを、各地方自治体や高等教育機関、研究機関に周知した。

話を議定書に戻すと、2010年には名古屋でCOP10が開催され、名古屋議定書が制定された。名古屋議定書では「遺伝資源の取得 (Access)」と「遺伝資源の利用から生じる利益の公正かつ均等な配分 (Benefit-Sharing)」(これらを合わせてABSと呼ぶ)が確実に実施されることを求めている。またCOP10では愛知目標が決定され、2020年までの生物多様性保全・保護と持続可能な利用の促進が掲げられた。愛知目標は完全には達成されなかったが、2021年と2022年に行われたCOP15では、2050年に自然と共生する世界をビジョンとして掲げた昆明・モンテリオール生物多様性枠組が採択された。昆明・モンテリオール生物多様性枠組では、2030年までの喫緊

の目標達成に向け、生物多様性の損失を止め、豊かにすることをネイチャーポジティブと呼ばれる枠組みを通して目指すためにグローバルターゲットと呼ばれる23の目標を掲げている。

3. 気候変動と生物多様性

生物多様性や生態系の保全についての議論では、生態系と切っても切れない関係にある気候変動の問題が共に議題に上がることも多い。気候変動に関する国際連合枠組条約が生物多様性条約と同時に成立したことから、生物多様性と気候変動の密接な関係性がうかがえる。また、気候変動に関する政府間パネル (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) と生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学-政策プラットフォーム (IPBES: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) は共に、REDD+ (Reducing emissions from deforestation and degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and

enhancement of forest carbon stocks in developing countries：途上国における森林減少・森林劣化に由来する排出の抑制、並びに森林保全、持続可能な森林経営、森林炭素蓄積の増強）と呼ばれる枠組みを設定した。この枠組みは発展途上国の森林を保全することによって、温室効果ガスの排出量の減少、もしくは温室効果ガス吸収量の増大を目指す枠組みである。これにより、生物多様性保全と気候変動の両方に対する対策をとっている。

また、IPCC と IPBES の合同ワークショップが2020年に開かれた。このワークショップは、人類が住み続けられる気候を維持するため、気候変動の制御と生物多様性の保全は相互に関連し、それらを同時並行に取り組むことが重要であることが確認された。また、このような対策は気候変動の改善や生物多様性の安定に向けて共利益（コベネフィット）を有するという考え方に基づいている。このように、生物多様性と気候変動は密接に関連し、これらに対する取り組みが同時になされているのである。

さらに知りたい人は・・・

●経済産業省「カルタヘナ法の概要」

https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/bio/cartagena/manual-gaiyou.pdf

●矢原徹一，鷺谷いづみ（2023）『保全生態学入門 改訂版』，文一総合出版。

●日本生態学会編（2015）『人間活動と生態系（シリーズ現代の生態学3）』，共立出版。

2-2

バイオエコノミー

桜木真理子（札幌医科大学）

概要

バイオエコノミーとは、バイオテクノロジーや生物資源（バイオマス）を応用して経済成長を目指す経済活動全般を指す。化石燃料を主原料とした製品の大量生産は、地球温暖化や環境汚染、資源の枯渇といったさまざまな問題を生んでいる。バイオエコノミーでは、従来の製品・エネルギーをバイオ由来のもので代替することによって、化石燃料への依存から脱し、持続可能な脱炭素社会の実現を目指している。

バイオエコノミーの課題としては、(1) セーフティ：人間および環境に危害を与えないようにすること、(2) セキュリティ：バイオテクノロジーの意図的な悪用を防ぐこと、(3) 持続可能性：環境保全と経済活動の長期的な存続可能性を維持すること、(4) 社会的責任：利益とリスクを公平に配分し、社会のニーズに応えることの4点が挙げられている。

1. バイオエコノミー

産業革命以降、工業化によって可能となった大量生産は、目覚ましい経済成長を社会にもたらした。だが、多くの資源や化石燃料を消費する大量生産社会は、周知のように地球温暖化や環境汚染、資源の枯渇といったさまざまな問題を生んでいる。1972年、国際シンクタンクであるローマ・クラブが発表した『成長の限界』は、人口増加率と経済成長率が今後も同じペースで続けば、資源の枯渇や環境の悪化によって100年以内に人類の成長は限界に達するとの見込みを示した。経済成長のために環境を犠牲にしてきたことへの反省から、現在では、自然環境に影響を与えない持続可能な生産消費の様式をどのように構築するかが世界的な課題となっている。

近年、自然環境の保護と経済成長の両立を実現する経済モデルとして提唱されているのがバイオエコノミーである。バイオエコノミーとは、バイオテクノロジーや生物資源（バイオマス）を応用して経済成長を目指す経済活動全般を指す。この概念は、2009年に経済協

力開発機構（Organisation for Economic Cooperation and Development : OECD）が提唱した。OECDは、バイオエコノミーの市場規模は2030年までにOECD加盟国のGDPの2.7%を占める1.6兆ドルにまで伸びると予測した。このように、今後急速に成長すると予想されるバイオエコノミーには大きな期待が寄せられ、現在、多くの企業がバイオにかかわるものづくりへと参入している。また、各国もバイオエコノミー社会の実現を目指し、巨額の投資を通じてバイオものづくりを支援している。

2. バイオものづくり

バイオエコノミーを主軸となるのは、いわゆる「バイオものづくり」である。これは、生物由来の素材（バイオマス）を用いた、または微生物などの生物の機能（たとえば発酵によって乳酸やエタノールを取り出すなど）を利用した生産様式を指す。たとえばバイオマス資源、バイオケミカル、バイオプラスチック、バイオ素材、バイオ洗剤、バイオエネルギーなど、現在の社会で使用されている

バイオものづくりで生産が目指されているもの

分野	製品例
化学品	バイオ燃料、バイオプラスチック
環境	微生物・植物による環境浄化
医療	バイオ医薬品、ワクチン、再生・遺伝子医療
食料	品種改良、培養肉、代替肉

さまざまな工業製品やエネルギーをバイオ由来の製品・エネルギーで代替しようという動きが高まっている。バイオものづくりには、深刻化している地球温暖化の原因でもある化石燃料に依存した現在の社会から、持続可能な「脱炭素社会」への移行のための手段として、また将来的な資源不足の解決策として期待が寄せられている。

バイオものづくりの利点はその環境負荷の低さにあるとされる。工業製品は通常、化学反応を促進させ、大量生産を可能にするために、高圧・高温の条件が必要となる。これには多くのエネルギーを要し、同時に大量の二酸化炭素が排出されるため、環境への負荷がどうしても高くなる。これに対してバイオ合成ではそうした高圧・高温プロセスが必ずしも必要ではなく、自然条件下で生産が可能で

あるため、二酸化炭素の排出量も著しく低い。それだけでなく、バイオものづくりでは、原材料の植物を育てる過程で光合成によって二酸化炭素を吸収する。そのため、バイオ由来の製品やバイオ燃料を燃焼したときにはどうしても二酸化炭素は排出されるものの、トータルで見れば、その二酸化炭素の排出量は、原材料の植物による二酸化炭素吸収量と釣り合いが取れることになる。このように、温室効果ガスの排出量と吸収量が全体としてゼロとなることをカーボンニュートラルという。したがって、従来の工業製品をバイオに由来する製品に転換してゆけば、年間あたりの二酸化炭素排出量を大幅に削減できることになる。OECDの報告書では、2030年までに工業製品の約35%が化学合成品からバイオ由来の製品に置き換わると予想されている。さ

らに、世界の人口増加が引き起こすタンパク質不足への対応策として、植物由来の素材を加工して作る代替肉や、動物細胞の培養から作る培養肉などの研究や産業化も進んでいる。

また、技術面においては、ゲノム編集技術とIT技術を掛け合わせることで、バイオものづくりの生産プロセスの効率化が目指されている。現在、細胞が元来持っている物質を生産する能力を最大化するように人工的に設計された細胞である「スマートセル」を活用することで、作りたい物質の収量を増やし、バイオものづくりの大規模化・商業化を実現しようという取り組みが進められている。つまり、これまでの産業社会における生産用機械と同様、細胞も、より効率的かつ大規模な生産に向けたオートメーション化やロボット化が進められようとしているのである。

3. バイオエコノミーが守るべき

4つの「S」

バイオエコノミーの推進は概して好ましいものとして受け止められている

が、その実現に向けては社会的懸念もある。バイオものづくりに関する政府・産業界・学会共同のパートナーシップの構築を目指す非営利組織BioMADE（バイオ産業製造・設計エコシステム、2020年設立）は、バイオものづくりが社会的利益の創出に最大限貢献することを目指し、「4S」の原則を設定した。4つの「S」の内容はそれぞれ、セーフティ（safety）、セキュリティ（security）、持続可能性（sustainability）、社会的責任（social responsibility）である。

1点目のセーフティは、研究者、製品を受け取る消費者、環境の安全を守ることである。バイオものづくりの開発プロセス、製品、その副産物が、人間および環境に危害を与えないようにするために、プロセスの管理や対策を適切に行うことが求められる。

2点目のセキュリティは、バイオテクノロジーの意図的な悪用を防ぐことである。具体的には、盗用、誤用、逸脱、技術・製品そのものや知的所有権の不法占有によって起こる可能性のある脅威や損失、生物学的なリスク／技術の意図的な

解放などが起こらないよう、食品・農業、素材、エネルギーなど、バイオテクノロジーおよびバイオものづくり全般にわたる対策を行うことが望まれる。

3点目の持続可能性は、環境保全と経済活動の長期的な存続可能性を維持・改善するために対策を講じることである。これを実現するためには、生産そのものだけでなく、製品の原材料の調達から販売までの一連の流れ（サプライチェーン）、廃棄、リサイクルの全てが持続可能な形で循環できる生産システムを構築する必要がある。

最後の社会的責任は、利益とリスクを公平に配分するとともに、社会的なニーズに対応することである。バイオものづくりに関わる人々は、バイオものづくりが多様な利害関係者（ステークホルダー）に与える影響を認識したうえで、社会的にプラスの結果をもたらすような製品を生み出し、またこれらのテクノロジーや製品に人々が公平にアクセスできるようにすることが求められる。

ただし、以上で述べた「4S」はあくまでバイオエコノミーの社会的課題を打

開するための提案の一例であり、この他にもまだ考えるべき点はあると思われる。

さらに知りたい人は・・・

● Attal-Juncqua, A. et al. (2023 (in press)) Shaping the future US bioeconomy through safety, security, sustainability, and social responsibility. Trends in Biotechnology.

● 柴田大輔 (2020) 「バイオエコノミー時代のバイオテクノロジーの役割」, 『日本農薬学会誌』, 45 (2), 135-140.

2-3

移植技術

桜木真理子（札幌医科大学）

概要

移植技術といえはまず思いつくのは臓器移植だが、近年における臓器移植の対象は、臓器だけでなく細胞や核にも及んでいる。移植技術は提供者・レシピエント双方の命・身体と密接にかかわる問題であるために、その是非や実施のあり方をめぐっては、これまでに多くの議論が重ねられてきた。日本では ELSI の議論が十分でない段階で臓器移植が行われたために、国内の臓器移植が技術的にも社会的にも大きな遅れを招いたと言われている。このような過去への反省もふまえ、インフォームド・コンセント、透明性、説明責任、そしてそれらを実現するためのガバナンスシステムを構築することが重要である。最後に、バイオバンクに関する法整備の必要性を述べた上で、近年の ELSI の実践例について紹介する。

1. 日本初の臓器移植例が示した

ELSI の必要性

臓器移植は、提供者（ドナー）からレシピエントに組織や臓器を移植して機能の回復を図る医療行為である。脳死後に行われる場合、心停止後に行われる場合、そして生きている健康なドナーから移植される場合（生体移植）の3通りがあり、それぞれで提供できる臓器の種類が異なる。移植技術は、病気や事故などによって臓器が機能しなくなった人々の命を救ったり、健康な状態へと導いたりすることができる技術である。だがその一方で、臓器提供は提供者・レシピエント双方の命・身体と密接にかかわる問題であるために、その是非や実施のあり方をめぐっては、これまでに多くの議論が重ねられてきた。

特に ELSI に関する議論は移植技術において不可欠である。その重要性を認識させた一つの例は、日本で初めて行われた臓器移植である。日本では、1968年に札幌医科大学の医師が行った心臓移植が国内初の脳死臓器移植例となった。しかし、この手術が失敗に終わったことに

加え、明確な基準なく脳死判定が行われた点などが社会的な疑念を生み、その結果、日本における脳死臓器移植はおよそ30年間遅れたと言われている。ここでの問題は、臓器移植に関する法整備が整っておらず、また臓器移植の是非に関する議論が十分に行われていなかったにもかかわらず、専門家である医師が独断的に移植を実施したことであった。つまり、当時の臓器移植には ELSI の視点が欠けており、それが日本における臓器移植の遅れを招く結果となったのである。このことが示唆するように、臓器医療は医学的な実行可能性や安全性だけでなく、生命倫理にかなうものであるか、社会的に受け入れられるものであるか、提供者とレシピエント双方の身体・生命と権利を保証するためにはどのような規則や手続きが必要かなど、あらゆる面で妥当性が考慮される必要がある。

提供者が自身の検体に関してどのような権利を持つかを明確化することも重要視されている。イギリスでは1980年代後半から1990年代にかけ、ある小児病院が、死亡した遺体から同意なく臓器や

組織を摘出し、それらを保管・利用していたことが明らかになり、大きな問題となった。この事件をきっかけに、イギリスでは2004年に臓器提供に関する「ヒト組織法 (Human Tissue Act)」が改定され、さらに、ヒトの臓器・組織・細胞の利用を管轄し、モニタリングや助言を行う公的機関として「ヒト組織局 (Human Tissue Authority)」が設けられた。臓器・組織の移植やそれらの採取・保管は繊細な問題であり、特に提供者の権利は中心的な論点となっている。上記のイギリスでの事件のように、許諾なく組織が採取されたり、提供者が望まない形で組織が扱われたりすることのないよう、提供希望者やその家族に対して、提供者の身体的リスクやプライバシーの保護等について説明を十全に行った上で理解と同意を得ること（説明責任とインフォームド・コンセント）、移植の成績や移植までの経緯などの情報公開を通して透明性を確保することの重要性が認められている。同時に、それらを実現するためのガバナンスシステムの構築の必要性が強調されている。また、急速に発展

する科学・技術の状況に応じて、数年おきに既存のガイドラインや法律等の見直しと刷新を行うことも必要となる。

2. ミトコンドリア移植をめぐる論点

医療技術の発達に伴い、移植技術は生殖細胞や核の領域にも及ぶようになってきている。生殖細胞にかかわる移植技術として、近年注目されているのが「ミトコンドリア移植」（「ミトコンドリア置換」ともよばれる）である。ミトコンドリア移植は、ミトコンドリア病の予防のため開発された技術である。ミトコンドリア病とは、核遺伝子、もしくはミトコンドリア遺伝子の異常によってミトコンドリアの機能が低下することで生じる症状の総称である。ミトコンドリア移植は、受精卵の核だけを取り出し、第三者の正常な受精卵や卵子に移植する。これによって、母親の卵子の内部にある変異したミトコンドリアは子に受け継がれなくなり、子がミトコンドリア病を発症することを防ぐことができる。ミトコンドリア移植は、親子の遺伝的なつながりを維持したまま疾患リスクを避けられるため、遺伝子疾

患を持つ親にとっては希望の技術である。2015年2月、イギリスが世界で初めてミトコンドリア病を持つ患者の卵や受精卵に対するミトコンドリア移植を認める法律を可決した。日本では2021年に、政府の生命倫理専門調査会が、研究用途に限りこの技術の実施を容認している。

一方、ミトコンドリア移植に対しては、移植を受けた子供に対する長期的影響といった生物学的・医学的問題に加え、倫理的、社会的問題も浮上している。一点目は、ミトコンドリア移植はヒトの遺伝学的な変化にあたらぬのかという問題である。ヒトの生殖細胞の遺伝的変化の是非については長年にわたって議論が続いており、研究目的を除いては、基本的にヒト生殖細胞に遺伝子操作を行ってはならないというのが国際的なコンセンサスである。ミトコンドリア移植は直接親の核DNAに遺伝的操を行うわけではないので、上記のコンセンサスには当てはまらないものの、ミトコンドリアDNAをヒトのゲノムの一部と見なす向きもあり、次世代の遺伝的性質に影

響を与えることを可能とする点で、生殖細胞の操作によって次世代への遺伝的性質を操作することと何が違うのかが問題となっている。そのため、ミトコンドリア移植の容認が既存のコンセンサスの抜け道となり、エンハンスメントや優生学的な生殖細胞への介入（本レファレンスブック3-5「新優生思想」参照）の容認にも結びつくのではないかと危惧されている。ミトコンドリア移植という技術の登場とその応用によって、ミトコンドリアDNAの操作・改変と、核DNAの操作・改変とはどのように区別できるのかが新たな問題となっており、この実施に関する法改正に関して、各国で慎重な議論が続いている。

3. バイオバンクに関する ELSI

移植技術が発達するに伴い、人体から切り離され、移植や研究の対象として流通・使用される組織・臓器に関する権利をどのように考えるべきかという問題も議論されるようになった。その議論の対象のひとつがバイオバンクである。バイオバンクは、血液や組織などのヒト由来

の生体試料と、それに紐づく医療情報を保管する仕組みであり、医学的・生物学的の研究に大きな役割を果たすとともに、臓器／組織移植の一時的な保管場所としても機能している。

バイオバンクの倫理的問題に関するガイドラインの策定や勧告が主に欧州で進められているのに対し、日本では、臓器移植法に定められている臓器に含まれないヒト組織の取り扱い、また生体ドナーの権利に関する法的な取り決めがない。そのため日本の現行の法律は、たとえば前節で取り上げたミトコンドリア移植が日本でも実施可能となった場合など、細胞レベルでの移植に適用するにはふさわしくない。移植技術の発達と移植対象の多様化に即し、既存の議論や法律が移植の新たな局面に対応しているかを見直し、さらなる議論と法整備を進めることが必要である。ただし、法的な整備は未実施である一方で、日本の主要なバイオバンクで、2003年に構築された東京大学のバイオバンク・ジャパンでは、2018年から事業から独立した立場にある複数の専門家から構成される ELSI 検

討委員会を設置し、バイオバンク事業が適切に実施できるよう助言・提言を行うなど、ELSI を考慮した取り組みも進められはじめている。

さらに知りたい人は・・・

●有馬斉 (2020) 「第 12 章 臓器移植」, 伏木信次, 樫則章, 霜田求 (編) 『生命倫理と医療倫理 第 4 版』, 金芳堂.

● Ishii, T. (2014) Potential impact of human mitochondrial replacement on global policy regarding germline gene modification. *Reproductive Biomedicine Online*, 29(2), 150-155.

●日本移植学会 (2021) 「日本移植学会倫理指針改定」

http://www.asas.or.jp/jst/about/doc/info_20210918_1.pdf?20240124

2-4

新優生思想

桜木真理子（札幌医科大学）

概要

新優生思想とは、遺伝的に望ましい人間の遺伝子を保護し、そうではない人間を排除することで優秀な人類を後世に残そうとする思想が、遺伝子改変技術や生殖技術の発展によって、個体のレベルを離れ、遺伝子の領域に及んだものである。新優生思想は個人としての親の生殖に関する決定の自由を擁護し、受精卵の遺伝子改変をも認める立場を取る。具体的には、親の理想通りの子供（デザイナー・ベビー）を生み出すことや、出生前診断で遺伝子疾患があるとわかった胎児の選択的中絶などが挙げられる。新優生思想の倫理的問題として、遺伝子技術へのアクセスが経済力に左右されることで社会的格差が拡大するという公平性の問題、病者や障害者にとって不平等な社会構造が強化される可能性、また親がよかれと思って行った子供の能力や性質の増強がその子の開かれた未来への権利を妨害する可能性などが指摘されている。

1. 優生思想とは

新優生思想とは何かを知るためには、まずその前身にあたる優生学および優生思想に触れておく必要がある。優生学は、19世紀後半にチャールズ・ダーウィンの従兄弟であるフランシス・ゴルトン (Francis Galton) が進化の概念を人間に当てはめることで開拓した学問分野である。優生思想はこの優生学に基づき、遺伝的に望ましい人間の遺伝子を保護し、そうではない人間を排除することによって、優秀な人類を後世に残そうとする思想である。

優生思想は、積極的優生主義と消極的優生主義とに分けられる。積極的優生主義は、「優れた遺伝子を持つ人間だけが子孫を残すべきだ」という思想であり、たとえば、スポーツ選手や学者のように、知能や肉体、あるいは身体能力が「優れた」人々同士が結婚し、子孫を残すことが理想とされる。それに対し、消極的優生主義は、積極的優生主義の裏返しであり、「遺伝的に劣っている人々は子孫を残すべきではない」という考え方をとる。例えば、「障害者は子供を作るべき

ではない」という考えがこれにあたる。そして、こうした考えは、過去には障害者や有色人種に対する差別、そして遺伝病患者の結婚や生殖への医学的介入などを正当化する理由として用いられた。第二次世界大戦期にナチスが障害者を社会にとって価値なき存在とみなして虐殺を行ったように、優生思想は、人種差別や障害者差別と容易に結びつくことを過去の歴史が証明している。

2. ゲノム技術の発達と新優生思想

新優生思想とは、こうしたかつての優生思想が分子生物学の領域に及んだものである。リベラル優生学、個人主義的優生学と呼ばれることもある。新優生思想は1969年に提唱された概念で、1990年代以降、遺伝子改変技術や生殖技術の発展と共に広まった。

新優生思想は、親の生殖に関する決定の自由を擁護し、受精卵の遺伝子改変を認める立場を取る。それまでの優生学が国家レベルの介入を前提としたのに対し、新優生思想では個人（親）の意思による選択に重きを置く点で両者の違いが

見られる。新優生思想の支持者は、ナチスの人種政策のような国家による強制的迫害が悪しき行為であると認めながらも、新優生思想の場合はそのような強制力はなく、個人の自己決定権を重視する点で過去の優生思想と大きく異なるものと位置付ける。

新優生思想の場合もやはり、積極的側面と消極的側面に区別される。積極的側面は、受精卵に特定の形質を生み出す遺伝子を挿入することで、親の理想通りの特徴を持った子供（いわゆる「デザイナー・ベビー」）を生み出すことが該当する。デザイナー・ベビーのように、元々は人々の健康の維持や疾病の予防のために利用されていた医療が従来領域を越え、人間の肉体的・精神的な能力や性質を通常以上に高めるために利用されるようになってきている。このように、人体に対して治療ではなく能力や性質の増強を行うことを（ヒューマン・）エンハンスメントと呼ぶ。たとえば、高い知能や運動能力、高身長や金髪といった容姿など、親の望む性質や外見を持つ子供をゲノム編集技術によって「デザイン」すること

は技術的に不可能ではなくなっている。しかし、遺伝子技術によって理想通りの人間をデザインすることは、生命の尊厳を揺るがす行為だとする批判もある。

新優生思想の消極的側面は、出生前診断と選択的中絶に代表され、親が出生前診断によって何らかの遺伝子疾患があるとわかった胎児を中絶する権利を擁護する。近年では、胎児が生まれる以前から、遺伝子検査を通してダウン症などの胎児の遺伝子疾患の有無を知ることができるようになった。代表的なものが2013年以降行われるようになったNIPT（Non-Invasive Prenatal genetic Testing：母体血胎児染色体検査）である。これは、母親から採血した血液から胎児のDNA配列を分析し、胎児が染色体異常を持つか調べる検査である。日本における調査では、NIPTが開始されてから5年半の間、この検査を受けて胎児に遺伝子的変化があると知った母親の9割以上が中絶を選択したという。

3. 新優生思想の倫理的問題

デザイナー・ベビーの例が示すように、

技術的に可能であることと、倫理的にそれを行ってよいかは別の問題である。新優生思想やエンハンスメントには、さまざまな問題が指摘されている。主なものを以下で取り上げたい。

新優生思想に対して指摘されている問題の一つは公平性の問題である。プリンストン大学の生物学者リー・シルバー (Lee Silver) が、子供のために遺伝子技術にアクセスできる富裕層を「ジーン・リッチ (gene rich)」、金銭的余裕がなく遺伝子技術にアクセスできない層を「自然派 (naturals)」と区別したように、子供に対する遺伝子技術の適用は親の経済力にも左右される。もしも比較的裕福な層だけがエンハンスメント的な遺伝子技術にアクセスできるのであれば、裕福な階層だけが遺伝子的に「優れた」子を持つことが可能となり、社会的格差の拡大につながる懸念されている。

2点目は、1点目とも関連するが、不平等な社会構造の強化である。出生前診断と選択的中絶の普及は、「健康」な子供のみを残し、疾病や障害を持つ子供を産まない権利を支持する。だが、たとえ

ば現在の社会が有病者や障害者に生きづらさを感じさせたり不利益をもたらしていたりするのであるならば、それは有病者や障害者自身ではなく社会の側に問題があるという考え方もできる。にもかかわらず、新優生思想に基づく選択的中絶の容認は、社会の構造的問題や責任を問うことなく、現在の不平等な社会構造を強化させることにもなりかねない。障害者の側からも、障害を理由とした中絶を許容する考えは、彼らの尊厳と生存条件を脅かすものとして強く非難されている。

3点目は、能力や性質の増強を目的としたエンハンスメントが、子供の開かれた未来への権利を妨害する懸念である。親が良かれと思って付与した特性が、子供にとって本当に有益であるとは限らない。たとえば、親が子に科学者になってほしいという願いから子供に高い知性を持たせたとして、そのことはその子がそれ以外のライフプランの選択を狭める可能性がある。新優生思想は個人としての親の選択を正当化するが、それが認められる場合であっても、親と子の権利のバ

ランスに関しては議論の余地がある。

上記のような倫理的課題をふまえ、各国ではヒト胚へのゲノム編集に関する法規制が進められている。海外ではイギリス、フランス、ドイツが妊娠・出産にかかわる受精卵へのゲノム編集を法律で禁じている。日本では、遺伝子操作を行った受精卵を用いた妊娠・出産を研究指針で禁止しているが法規制は無く、政府による検討が現在進められている。急速に進歩するゲノム編集技術は、技術がどこまで人間の生命／人生に介入してよいかという新たな論点を生み出し、その応用をめぐっては慎重かつ十全な議論が求められている。

さらに知りたい人は・・・

●レオン・R・カス (2005) 『治療を超えて: バイオテクノロジーと幸福の追求』 (倉持武監訳), 青木書店.

●松原洋子 (2000) 「優生学」, 『現代思想』, 28 (3), 196-199.

●山本達 「優生学とヒトゲノム解析」
<http://www.ethics.bun.kyoto-u.ac.jp/wp/genome/genome96yamamoto/>



2-5

生政治

桜木真理子（札幌医科大学）

概要

生政治と生権力は、フランスの哲学者ミシェル・フーコーが、近現代に特有の統治権力を論じる際に用いた概念である。生権力は、人々を「よりよく生かす」ために行使される、目には見えない権力であり、人々はこれにより知らず知らずのうちに監視や管理されている。生権力による統治は、平均寿命や出生率・死亡率をコントロールするという人口レベルの統治と、個々人の身体に働きかけ、規律正しく従順な身体を作るという個人レベルの統治に分けられる。

生権力論は、生物学の関連する学問の発展と共に新たな展開を迎えている。疾病や障害の遺伝学上のリスクが未然に明らかにされるようになったことで、21世紀における生権力は、人間の生を遺伝子レベルで理解しつつ、「リスク」を発見し、介入するようになっている。さらに、今日のバイオテクノロジーは、莫大な利益をもたらす一方で、人体の商品化や、国家間の格差、社会・経済的不平等の再生産を生じさせていることも問題視されている。

1. 生政治と生権力

生政治 (bio-politics) と生権力 (bio-power) は、フランスの哲学者ミシェル・フーコー (Michel Foucault) が、近現代に特有の統治権力を論じる際に用いた概念である。生権力とは、一言でいえば、人間の生命を管理し統治する権力のことであり、それに基づいた政治体制が生政治である。近代以前のヨーロッパ社会では、為政者は処刑によって臣民の命を奪う「殺す権力」によって人々を統治していた。しかしこれに対し、近代社会の統治の形は全く新たなものになったとフーコーは述べる。近代社会では、為政者が人々を「よりよく生かす」ために権力を行使する。「よりよく生かす」とは、たとえば、国民の平均寿命を延ばす、健康な肉体をつくりだすといったことが挙げられる。生権力は、「殺す権力」のような、君主によってあからさまに行使される権力ではない。むしろ生権力は、私たちの生活の隅々まで、目には見えない形でその影響は及んでおり、人々は知らず知らずのうちに監視や管理の下に身を置くことになる。では、どのような政治体制が

生政治としてあるのだろうか。

生権力による統治では、その権力は人口集団と個人という2つの異なるレベルに対して作用する。人口集団のレベルでは、公衆衛生対策や、国家による健康教育、健康増進キャンペーンの推進、予防接種の提供などを通して、人口の調整や制御が行われる。そして個人のレベルでは、生権力は個々人の身体にはたらきかけ、規律正しく従順にさせる。「健康であれ」という国家のメッセージを個人が自身の生活態度に取り込まれた結果なされる、規則正しい生活、適度な運動、禁煙などの自主的な実践がこれにあたる。自分の健康に配慮することは今となっては当たり前だが、こうした健康への意識も、近代という時代と共に育まれていったものである。「自己管理」と言う言葉が象徴するように、自身の身体、自身の健康に関するたえざる配慮が求められる。

さらに、生政治は「リスク」概念と強く結びついている。ヨーロッパ社会では17～18世紀にかけ、統計学によって出生率、死亡率、平均寿命を把握し、国家

全体を「人口」として相対的に把握・管理できるようになった。それと同時に、リスクや確率という視点が公衆衛生に導入された。たとえば、ある地域の死亡率や疾病率がほかの地域より高いことが統計的に判明した場合、その地域は「高リスク」ゾーンとみなされ、ほかの「正常な」地域に近づけるように予防医学的な介入が行われた。現時点では病気にかかっていない人々であっても、リスクという観点から集団の管理やワクチンなどの予防医療の対象となる。近代では健康な者も含む国民すべての「生」が、リスク予防という名目のもとで権力に覆い尽くされるのである。フーコーは、健康や長寿といった、一見「正しい」理念の裏にある、見えない権力の存在に警鐘を鳴らした。

2. 分子レベルに及ぶ 21 世紀の生政治

フーコーの生権力論を引き継ぎ、21 世紀のバイオテクノロジーの急速な進展によって生権力が迎えた新たな展開について論じているのが社会学者のニコラス・ローズ (Nikolas Rose) である。

ヒトゲノムの解読とさまざまな遺伝子

技術によって、21 世紀における生権力は、人間の生を分子レベルで理解しつつ、「リスク」を発見し、介入するようになっている。たとえば現在では、不妊治療のために顕微授精を行った受精卵に異常がないかを調べる着床前診断、胎児の染色体異常や疾患リスクを調べる出生前診断を通し、さまざまな遺伝学上のリスクを事前に知ることができる。そしてこの検査の結果に基づき、リスクの低い受精卵だけを選び、問題のある受精卵は着床させないようにする、あるいは染色体異常のある胎児の中絶を選ぶといった、生命の選択が行われることとなる。このように、今日ではフーコーの生権力は、生命そのものへの介入にまで及んでいる。それとともに、政治の舞台もまた、政治的組織である国家ではなく、科学の領域に移行しているとローズは論じている。

それだけでなく、たとえば心臓病、糖尿病、がんなどの特定の疾患に対して、その人が遺伝的にどれほどかかりやすいのか (感受性) を明らかにする。こうした遺伝子検査は現在、医療機関や民間企業によって希望者に提供されている。遺

伝的な感受性が明らかになれば、その人は潜在的なリスクを抱えた者として、遺伝子治療や予防的な薬物治療、ライフスタイルを変えるなどの「治療」を行い、疾病にかかるリスクに未然に対処することが期待される。つまり、遺伝学上のリスクという考え方によって、「病氣予備軍」という新たな個人・集団のカテゴリが作りだされたのである。

こうした潮流の危うさは、遺伝学上のリスクを持つことが、実際にその人が疾患を発症するかは確かではないにもかかわらず、雇用や保険の契約、あるいは遺伝的疾患が子供に受け継がれる可能性を理由に結婚に不利に働く可能性があることや、本人が自らのリスクを自覚し、何らかの対処を行ったり、将来の選択に慎重を期することがその人の責任に帰属させられたりする点にある。ただし、だからといって、遺伝学上のリスクを抱えた患者とその家族は必ずしも受動的な立場にはいない。同じリスクを抱える者どうしがコミュニティを形成し、そのリスクに立ち向かう新たなアイデンティティと連帯を生み出すという、21世紀におけ

る生物学の進展が人に与える影響のポジティブな面にも目が向けられている。

3. 生資本

生権力のもうひとつの展開は、バイオテクノロジーの市場化である。今や、バイオテクノロジーとその対象である細胞やゲノムは、巨大かつグローバルな資本の動きに組み込まれている。それは、ゲノム研究やゲノム医療の実施、臨床試験・治験などのために多額の資金が必要だということだけでなく、バイオテクノロジーが経済を動かす対象となったことを意味している。バイオテクノロジーが生み出す潜在的な経済利益を見込んで、巨大製薬企業は大学の研究所に巨額の投資を行い、バイオベンチャー企業や官民共同出資のゲノム・スタートアップ企業も乱立している。前節で紹介したような遺伝子検査も多くの民間企業がサービスとして提供している。このように、生命科学と資本主義が結びついた今日的状況を、人類学者のカウシク・S・ラジャン(Kaushik Sunder Rajan)は「生資本(バイオキャピタル)」と名付けた。

生命がますます資本の論理に突き動かされることで何が起きるのか。生の資本化に対する批判として最も代表的なのは、「人体の資源化」である。たとえば、臓器売買が禁じられていない国々（フィリピン、インド、中国、台湾、東欧、ラテンアメリカ、アフリカ諸国）では臓器は資源として取引されている。さらに、臓器だけでなく、卵子、精子、ヒト組織といった、生体を構成する一部の物質、あるいは DNA の塩基配列をはじめとする遺伝情報、妊娠・出産という身体的負担すらも、今日では商品として、場合によっては使い捨て可能なものとして流通している。こうした資源の流通は、誰が何にどの程度まで所有権を持つことができるのか、あるいはどこまでが「人間」として取り扱われるべきなのかという倫理的問いを引き起こさずにはいられない。

別の側面からは、グローバルな市場原理にもとづく不平等の再生産の問題も挙げられる。欧米人を主な顧客とする発展途上国の代理出産ビジネスに加え、米ファイザー社が HIV/ エイズ治療のため

の抗レトロウイルス薬の特許権を独占したことで、高額な薬剤費を支払えないアフリカ諸国の多数のエイズ患者が命を落とした痛ましい出来事などがある。このような出来事のように、既に存在する国家間の格差や社会・経済的不平等が、グローバルな生資本の状況に反映され、さらには強化されかねないことを忘れてはならない。

さらに知りたい人は・・・

● 粥川準二 (2012) 『バイオ化する社会』,
青土社.

● 金森修 (2010) 『<生政治>の哲学』,
ミネルヴァ書房.

● 標葉隆馬 (2019) 「科学技術社会論に
おける生 - 資本論」, 『科学技術社会学論
研究』, 17, 37-54.

2-6

アシロマ会議

西 千尋 (同志社大学)

概要

アシロマ会議は科学者たちの発案によって1975年に行われた、遺伝子組換え技術を用いた研究のあり方やその対応策について議論された会議である。アシロマ会議の2年前にコーエンとボイヤーという2人の研究者によって遺伝子組換え技術が確立されたことを機に、遺伝子組換えが施された生物や、核酸が流出してしまうことが懸念され、その技術を用いた研究の一時的な中断を求めたのちに議論の場が設けられた。アシロマ会議のように、何らかの懸念が生じたことを背景として、研究者が自主的に研究活動を一時的に中断した状況をモラトリアムという。

気候工学や、ゲノム編集、合成生物学、AIでも類似した対応が行われており、AIではAIアシロマ原則と呼ばれる原則までも存在する。このことが示唆するように、アシロマ会議は萌芽的な研究に対する自主的な対応の先行例とみなされている。

1. 1975年実施のアシロマ会議

アシロマ会議は、遺伝子組換え技術が社会で運用されたときの危険性や対応策について、その研究に携わる科学者たちが発案し議論を行った会議である。その名前は、1975年にカリフォルニア州のアシロマで実施されたことに由来する。

アシロマ会議が実施されるまでの経緯は次のようなものであった。スタンリー・コーエン(Stanley Cohen)とハーバート・ボイヤー(Harbert Boyer)という2人の研究者が、それぞれ制限酵素を用いて目的とする遺伝子を切断する技術と、プラスミドを用いた遺伝子を導入する技術を確立した。この2人がそれらの手法を持ち寄って共同で開発した結果、1973年に目的とする遺伝子を搭載したプラスミド(ベクター)の構築による遺伝子組換えが可能になった。ちなみに、このプラスミド構築は現在の分子生物学では主要かつ基本的な実験手法となっている。さらに、この手法により大腸菌や細胞の培養によるフラスコ内での大量のタンパク質の生産や、DNAやRNAといった核酸の効率的な生産も可能である。

この遺伝子組換えの手法が確立した当初、一部の分子生物学の研究者は遺伝子組換えが施された生物が実験室から流出・脱出し、生態系にその影響が及ぶことに懸念を持った。そこで、SV40と呼ばれるウイルスを用いた遺伝子組換えの手法を開発したポール・バーグ(Paul Berg)らは、*Science*や*Nature*といった影響力の高い学術誌で、遺伝子組換えに対する影響や危険性に対する議論をする場が必要であると述べ、さらにそのような遺伝子工学の研究の自粛を訴えた。このように、科学者が研究を一時的に中断し自粛することを、モラトリアム、あるいは研究のモラトリアムと呼ぶことから、その時の文書はモラトリアム・レターと呼ばれる。このモラトリアム・レターがきっかけとなり、開催されたのがアシロマ会議である。

アシロマ会議では、組換えDNAや生物の流出、あるいはそれに起因する生態系破壊に対する危険性とその対応策として、物理的封じ込め、生物学的封じ込め、バイオセーフティについての議論が展開された。これらの対応策は、現在でも実

験室で採用されており、具体的には、実験室内を陰圧に保ち外部に菌やウイルスが流出しないようにすることや、実験室内での飲食・喫煙の禁止などが挙げられる。また、より安全なベクターや宿主の開発と、研究室の責任者である研究者による教育・再評価の重要性も述べられている。

このようにアシロマ会議は、分子生物学の分野で研究者自身はその研究に対する危険性や対応について議論の必要性を訴え、大規模な議論の場を設けた初めての事例であった。現在では分子生物学分野にとどまらず、気候工学や、ゲノム編集、合成生物学、人工知能などに関して、モラトリアムを含めた類似する議論が行われている。

2. モラトリアムとゲノム編集への援用

2012年にCRISPR/Cas9がエマニュエル・シャルパンティエ (Emmanuelle Charpentier) とジェニファー・ダウドナ (Jennifer Doudna) らにより開発され、その技術的な効率の良さと安価さを背景に、2010年代中盤からこの技術を

利用したゲノム編集が広くされるようになった。CRISPR/Cas9の普及は止まることを知らず、倫理的・法的・社会的課題への議論がなされようとしていた。事実、2015年に開かれたInternational Summit on Human Gene Editingでは、ゲノム編集に関するELSIやガバナンスの議論がなされ、研究者の中で、ヒトへのゲノム編集の使用に関する議論の重要性が認知されていた段階であった。

しかしながら、そのような議論がされていた状況で、2018年に賀建奎 (He Jiankui) という中国の研究者が、ゲノム編集が施された双子が誕生したことを発表した。人文・社会科学、医学、生物学系問わず多くの学会や学術会議、そしてCRISPR/Cas9の研究者が、賀の行動にショックを受け、その研究倫理に反する行動をすべきではないと批判した。さらに、生殖系細胞にゲノム編集の影響の可能性を示唆した上で、次世代の子に対する影響を懸念し、ゲノム編集に対する社会的・法的指針の議論を求めた。そして、生まれた子どもたちの健康や人権、尊厳を守るために、声明を出した。

これらのような CRISPR/Cas9 の普及と、倫理的な議論が不十分な状態でゲノム編集を行った赤ちゃんが誕生したことなどを受けて、『影響が遺伝する可能性のあるゲノム編集に対するモラトリアムの適用（英題：Adopt a Moratorium Heritable Genome Editing）』という声明が2019年3月13日にNatureで発表された。これは、18人の自然科学と倫理学の研究者が、臨床・研究といった目的に関わらず、ヒトの精子や卵、胚といった生殖に関係する細胞に対してのゲノム編集を世界的に一時停止するよう求めた声明であり、アシロマ会議での議論が念頭にあったと考えられる。

3. さまざまな分野に波及した

アシロマ会議

アシロマ会議の精神は様々な分野で受け継がれており、人工知能（AI）の分野でも「アシロマ会議」が実施されている。2017年には、Future of Life Institute 2017 Asilomar Conference がやはりアシロマを舞台として開催され、大学や企業といった多様なAIに関する研究者や、

人文・社会科学系の研究者によって議論された。その成果物として出された原則がAIアシロマ原則である。AIアシロマ原則は大きく研究課題、倫理と価値、長期的な課題の3つの項目に分けられる。その中でさらにこの3つの項目が23に細かく分類され、各小項目で公平性や安全性、透明性、公開性、再帰性の重要性を主張している。

このように、分子生物学、特に遺伝子組換え技術から始まったアシロマ会議ではあるが、現在では多様な分野に波及している。また、アシロマ会議に直接的に言及せずとも、科学者による自主的な研究の一時的な中断など、社会的影響を踏まえた議論やモラトリアムは多く行われている。これらの枠組みがあることから分かるように、科学技術による影響に対して、時には研究者が主導をしてその発展の速度を調整することも重要である。

さらに知りたい人は・・・

● Future of Life Institute (2017)

Future of Life AI Principles Japanese.

<https://futureoflife.org/open-letter/ai-principles-japanese/>

● ウォルター・アイザックソン (2022)

『コード・ブレイカー (下) : 生命科学革命と人類の未来』(西村美佐子, 野中香方子訳), 文藝春秋.

● 北田薫 (2011) 「科学技術ガバナンス

を実現する市民のための生命科学教育 :

1970年代の組換え DNA 論争史に学ぶ

こと」, 『サイエンスネット』, 40, 14-15.



2-7

リスクと予防原則

西 千尋 (同志社大学)

概要

リスクは、「危害の発生確率及びその危害の深刻度合いの組み合わせ(combination of the probability of occurrence of harm and the severity of that harm)」と定義されている。リスクをできるだけ低減させるべく、「リスク評価」、「リスク管理」、「リスクコミュニケーション」と呼ばれる「リスク分析」がなされており、その中では、リスクとベネフィットを共に考えることが一般的になっている。

このようなリスクとベネフィットを考える際には、テクノロジー・アセスメントという枠組みを考える時もある。テクノロジー・アセスメントはもともと専門家間で科学技術の社会への影響を検討するという意味合いがあった。その後、市民も巻き込んだ議論がヨーロッパを中心になされるようになっていく。

悪化する環境問題や環境に由来する健康問題の議論の中で、リスク分析とも関連して考えられている枠組みが予防原則である。予防原則は、その名の通り、環境問題や健康問題などに対して、あらかじめ防ぐ方向に対策を打つことに注視している。

1. リスクとリスク分析

研究・イノベーションに関わる活動とリスクは密接な関係にある。というも、社会貢献や安全性を高めるためのために開発された科学技術であっても、その安全性が100%保証されるわけではなく、何らかのリスクが少なからず潜んでいるからである。

リスクは国際標準化規格 (International Organization for Standardization : ISO) と国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission : IEC) により、「危害の発生確率及びその危害の深刻度合いの組み合わせ (combination of the probability of occurrence of harm and the severity of that harm)」として定義されている。この定義は2014年に発行された『ISO/IEC GUIDE 51』に記されている。

企業や政府などではそのように定義されるリスクをできるだけ低減させるべく、評価・管理を行うと共に、リスクに関するコミュニケーションがなされている。リスクを低減させるために、「リスク分析」という手法論を用いて行われて

いる。それぞれ、「リスク評価」、「リスク管理」、「リスクコミュニケーション」などと呼ばれ、基本的にはこの順番で分析がなされている。このことから、この3つの手法論を合わせて、「リスク分析」と呼ぶ。

リスク評価では、事件事故が起こったことを想定して、それがどれだけの規模で起こりうるのか、どれほどの確率で起こりうるのか、そして、どれほどの影響を及ぼすのかを評価する。事件事故の影響評価では、その社会的影響だけでなく、環境への影響や、利用者や近隣住民などのステークホルダー (利害関係者) の健康への影響も対象となる。

続くリスク管理は、できるだけリスクを低減させるべく対策の立案と実行をすることによってリスクを制御する。その際に留意する点は、リスクと相対する考え方である「ベネフィット」とのバランスである。経済的、社会的、法的にできるだけリスクを低減させながら、ベネフィットができるだけリスクを上回るようにとのバランスを考慮して管理する。

また、リスクを管理するだけでなく、

多様なステークホルダー（利害関係者）に対してリスクに関する情報や考えを伝え、コミュニケーションをはかることが重要である。そのために重要なことは、日頃から他のステークホルダー（利害関係者）と信頼関係を構築しながら、相手の話にも真摯に耳を傾けることである。

2. テクノロジー・アセスメント

リスクとベネフィットの調整がうまくいかない時にどう対応すればいいのかという指摘もある。テクノロジー・アセスメントは科学技術の起こりうる正の影響（ベネフィット）と負の影響（リスク）を含めた社会的影響を、初期の段階から特に対象とする科学知識に詳しい専門家により議論しようという考えから出てきた取り組みである。テクノロジー・アセスメントはその後、社会実装がなされようとする際に、科学技術について市民と共に議論するという形式へと展開している。

1962年に出版されたレイチェル・カーソンの『沈黙の春』で出てきた殺虫剤（DDT）による公害などが1960年代に

は頻繁に起こった。テクノロジー・アセスメントはこのような公害などが起きた際に、どのように社会的影響に対応したらいいのかということ、専門家による委員会を立ち上げ、議論することである。1966年にアメリカの委員会報告書で初めて「テクノロジー・アセスメント」という言葉が用いられ、その後アメリカではテクノロジー・アセスメントに関する法整備や評価体制が整えられていった。

そして、このようなテクノロジー・アセスメントの議論に市民を巻き込んで（いつ？）議論する動きもある。このような動きは、ヨーロッパで起きたBSE問題や、日本の遺伝子組換え作物や遺伝子治療に関して顕在化していった。ただし日本では、テクノロジー・アセスメントを行うための法整備が進まず、なおかつ研究者と市民の期待する議論のスピード感が合わなかった。というのも、自身の研究を早く実施したい、だからこそ、法整備を早くしてほしいという研究者の思いがある一方で、そのような新規技術が社会に浸透する際にどのように影響が及ぶかということに懸念し、慎重に議論

してほしいという市民の思いのすれ違いが起きた。これらのことなどがあり、テクノロジー・アセスメントが活発に行われることはなかった。研究者の議論の速度は速く、市民自身の意見が適切に反映させることの難しさは重要な反省点となっている。

3. 予防原則

リスクの因子にもなる事件事故に対して、未然に回避しようという考え方が現れ、特に環境破壊という地球規模の環境問題に対して、活発に議論がなされた。その結果、起きた環境問題に対して事後に対応するのではなく、環境への影響が及ぶ前にあらかじめ防ぐべきという考え方が生まれてきた。こうした「環境保護のための予防を行おう」という予防原則の議論が上がってきたのである。その議論が、1992年の『環境と開発に関するリオ宣言』でなされた。さらに、リスク管理と予防原則が連関していると、「予防原則に関するEUコミュニケーション」が位置付けている。

1992年の『環境と開発に関するリオ

宣言』で予防原則について詳細に言及されている。1992年、ブラジルの首都リオ・デ・ジャネイロで開催された「環境と開発に関する国際連合会議（United Nations Conference on Environment and Development : UNCED）」では、生物多様性条約や、気候変動に関する国際連合枠組条約など、多様な地球環境の保護に関する枠組みの基礎が誕生した。そのUNCEDの成果の一つとして、人々の持続可能な開発のために27個の原則が記された『環境と開発に関するリオ宣言』が公布された。その第15原則で、『環境を保護するため、予防的方策は、各国により、その能力に応じて広く適用されなければならない。深刻な、あるいは不可逆的な被害のおそれがある場合には、完全な科学的確実性の欠如が、環境悪化を防止するための費用対効果の大きい対策を延期する理由として使われてはならない』と、予防原則について言及・説明されている。この訳では、「予防原則」という言葉は「予防的方策」として訳されている。どちらにしろ、予防原則は環境保護などのため、深刻な被害が予想さ

れる場合には、リスクをすぐに排除することが重要であり、幅広く世界中で適用される必要があるということを示している。

さらに2000年には、欧州共同体委員会による「予防原則に関するEUコミュニケーション」の議論がブリュッセルで行われた。これは、意思決定を行うための共通認識を作り出すことが大きな目的である。その議論の予防原則とリスク分析との関連づけが少し『環境と開発に関するリオ宣言』とは異なる。「予防原則に関するEUコミュニケーション」では、予防原則は環境保護よりも適用範囲は広く、人間を含めた生物に対する健康など、多様な影響に対して適用されるとしている。そして、予防原則は、リスク分析のうちのリスク管理と関連していると述べている。

このように予防原則は、環境はもちろん、その他生物に対する健康など、多様な影響に対して予防し、ほんの少しのリスクに対しても排除するべく、世界中で適用されることが重要である。この環境問題も、気候変動に由来するものだけで

はない。その一つの例が化学物質などによる。内分泌攪乱などの影響で、生物のホルモンのバランスが崩れ、生まれてくる生物の形態自体が変わってしまうという事態が引き起こされている。化学物質による環境汚染も起きている。そのような生物の形態の変容・環境汚染に対してどのように管理していくか、もしくは予防していくかを、政策立案者などのさまざまなステークホルダー（利害関係者）と共に考え、実行することも、自然科学分野の研究者の重要な責務の一つであろう。

さらに知りたい人は・・・

- 藤岡典夫 (2016) 「EU の予防原則：GMO 規制等に見る現状」, 『日本 EU 学会年報』, 36, 121-131.
- 益永茂樹 (2018) 「地球環境リスク管理としての生態リスク評価と予防原則」, 『保健医療科学』, 67(3), 261-267.
- 西 千尋 (2024) 「テクノロジーアセスメントとリスク」, 標葉隆馬・見上公一 (編) 『入門・科学技術と社会』, ナカニシヤ出版.

2-8

技術の安全・安心

西 千尋 (同志社大学)

概要

政策の文脈では、安全・安心という言葉がよく対をなして使用される。この『安全』は危害や損害がないと客観的に評価されること、『安心』は危害や損害がない状況から出てくる個人の感情であるということを示し、両者には違いが見られる。また『安全』は、リスクと共に議論されることが多い。

特に技術の安全については、安全学や、安全工学の観点から議論される。安全学はあらゆる危険に向き合って、安全を求める人間活動をメタに理解する、もしくは共有しようと試みたものである。また、安全工学はどのように技術者や研究者が安全について管理すればいいかということを議論する学問分野である。

さらに、技術が社会実装される際には、リスクを極力低減されることが目指されている。そのリスクの低減のために行われているものが、リスク分析である。リスク分析は、リスク評価、リスク管理、リスクコミュニケーションの3つが行われることにより可能になる。

1. 安全・安心

2021年から2022年にかけて、新型コロナウイルス感染症に対して新たに開発された mRNA ワクチンの安全性が注目を集めた。その議論では、安全・安心という言葉が繰り返し使われ、政府の委員会をはじめとして、様々なところで専門家や行政官などにより安全性についての説明がなされた。

しかし、『安全』と『安心』は同じものではない。『安全』は、人間やそのほかの様々な対象に対して、危害や損害がないと判断される状況のことである。安全は、客観的な評価が可能である。それに対し『安心』は、危害や損害がないということがわかっているという気持ち・心理状態という、主観的な側面を持っている。市民の生活を安全なものにすることで、結果として安心を与えることができるという前提に立って、安全・安心という言葉が使用されることが多い。

この安全・安心という言葉は、科学技術政策の文脈で特に頻繁に出現する。例えば日本の科学技術政策の5ヵ年計画を記す科学技術基本計画でも、第2期

(2001年度(平成13年度)～2005年度(平成17年度))から安全・安心という記述が出現している。その後の基本計画でもその言葉は幾度となく使われており、最新の第6期科学技術・イノベーション基本計画(2021年度(令和3年度)～2025年度(令和7年度))にもやはり登場する。このように安全・安心は21世紀において科学技術・イノベーションを推進する上で1つの重要なキーワードとなっているのである。

2. 安全学と安全工学

安全への学術的な関心は20世紀末に高まってきた。それを象徴するものに安全学や安全工学という学問分野がある。安全学は、科学史・科学哲学を専門とする村上陽一郎が提唱した学問分野である。安全学はあらゆる危険に向き合って、安全に関しての人間による活動を俯瞰的に見る、もしくは、それぞれの現場で行われている安全に対する活動の共有を試みたものである。安全学では、リスク(危害)と対比して安全とは何かを議論したり、医療問題や薬害問題などの事例を踏

まえて議論したりすることによって、社会の中の安全についての理解を深めることを目指す。

たとえば、食の安全は社会の中でも注目度の高い事柄の一つである。その議論の顕著なものとして知られるのがBSE問題である。牛海綿状脳症や狂牛病とも言われるBSE（Bovine Spongiform Encephalopathy）は、変性プリオンが脳内に入り、発症すると脳が海綿状（スポンジ状）になり、異常をきたす病気である。ウシの給餌に用いられた肉骨粉の中に変性プリオンが入っていたことをきっかけにBSEが流行したBSE問題は、1990年代後半から2000年代前半にかけてイギリスで大きく議論された。もともと人間はBSEに罹患しないと言われていたにもかかわらず、実は罹患する可能性があるということがその後明らかになり、市販の牛肉を回避する傾向が強まったことで、食の安全・安心についての議論へと展開していった。他にも、遺伝子組換え・ゲノム編集作物に関しても食の安全の議論が盛んになされている。

さらに産業が発展してきたと同時に、

それらの産業に関することの安全を、俯瞰的に調査し、管理することが重要になる。安全工学は、このような産業などに関することの安全性について、どのように担保すればよいかということを工学の観点から研究している学問分野である。もともと、災害に関する原因究明と予防を目標にした分野ではあるが、現在では産業など、多様な業界に波及している。

その安全工学の考え方の一つに、安全文化と呼ばれるものがある。安全を担保するために何段階もかけて対策していたとしても、知らない間に管理段階で欠陥が存在していたり、個人が不用意に安全を損なう行動をしてしまったりするなど、どこかに抜け穴がある。そして、そのような安全を損なう行動が積み重なることによって、大きな事件が起きる場合がある。このような事態を是正するためには、安全文化という考えも重要である。安全文化とは、日常的に研究室や職場などにおける安全の確保を、最優先事項として作り上げる作業環境のことである。日頃から安全に対して気を配るといふ、関係者個々人の倫理的な行動は重

要である。ただし、個人が行動に気を配るだけではなく、研究室のPIなどの管理者による決め事や、研究室、もしくはそれより上位の組織（例えば大学や研究所など）の基本方針の策定による安全への留意なども不可欠である。安全を実現するためには、起きた事件を報告・共有するとともに、公正性の高い柔軟な対応を行いながら、過去の事件から学ぶ態度を取ることができるような文化を醸成することが重要である。なお、この安全文化という考えは、原子力の分野で特によく議論される。1986年に起きたチェルノブイリ（チェルノブイリ）原子力発電所事故をきっかけに、国際原子力機関（International Atomic Energy Agency : IAEA）の国際原子力安全諮問委員会（International Nuclear Safety Advisory Group : INSAG）によってそれが提唱されたことが理由である。

3. 安全と、リスクとベネフィット

さらに、『安全・安心』という言葉はリスクとの対比としてもよく議論されている。国際標準化機構（International

Organization for Standardization : ISO）と国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission : IEC）が共同で制定した国際規格「ISO/IEC ガイド 51:2014」では、安全は「受け入れられないリスクのないこと」とは、安全のために生じ得る危害（リスク）が分析・管理され、十分に低減されているということの意味しているだけではなく、それを受け入れることによって得られる便益（ベネフィット）が明確に認識されていることも同時に示唆している。

リスクの大きさを検証し管理するための手法としてはリスク分析がある。リスク分析は、リスク評価、リスク管理、リスクコミュニケーションのフェーズに分けられる。リスク評価では、危害の発生確率や規模、社会などへの影響があるかを評価する。その後、リスクとベネフィットを天秤にかけながら、できるだけリスクが小さくなるように経済的・法的・社会的な管理を行うリスク管理が行われる。そして市民や多様な利害関係者（ステークホルダー）と信頼関係を構築し、情報や考え方を共有するリスクコミュニ

ケーションがなされなくてはならない。

このように考えた時、安全が確保されれば安心につながるという一般的な前提は必ずしも成立しないように思われる。安心が主観的な側面を持つ限り、その人たちが引き受けるリスクや得られるベネフィットについて理解が適切になされることによって、ようやく実現ができる可能性があるだろう。

さらに知りたい人は・・・

- 古田一雄, 齊藤拓巳, 長崎晋也 (2023) 『安全学入門 第2版: 安全を理解し、確保するための基礎知識と手法』, 日科技連出版社 .
- 村上陽一郎 (1998) 『安全学』, 青土社 .
- 奈良由美子 (2007) 「安全・安心とリスク管理」, 『危険と管理』, 38, 115-128.



2-9

ロボットと人権

前田春香（京都大学）

概要

ロボットとは分子ロボットや人工知能（Artificial Intelligence：AI）などのように、特定環境下において特定の動作をするよう設計されたものをさす。一方で人権とは、人間が人間である限り普遍的に持つ、人が人として尊重され、自由に生きるための権利である。これらを組み合わせたならば、ロボットの権利とは、ロボットも人間と同じように守られ、尊重されるべきだという発想となる。果たしてロボットに、そのような権利が与えられるべきなのだろうか。近年の技術発展によって、ロボットはこれまでよりも人間に近づいたように見えるため、ロボットにも権利を与えるべきかという論争が一部ではなされてきた。しかし、人間が守っているルールをすべて記述することができないため、ロボットは人間と同じように道徳的配慮ができず、また間違った場合の責任も負うことができないことから、人権は得ることができないと考えられる。

1. はじめに

ここでいうロボットとは人工知能 (Artificial Intelligence : AI) のように、人間の機械への入力がなくとも動作する自律性を持ち、特定環境下において特定の動作をするように設計されたものをさす。この点において分子ロボットも例外ではない。そして、そのようなロボットが人権を持ち得るかを問う際は、人権に法的権利と道徳的権利の二種類があることに注意すべきである。法的権利を与えられた主体であれば法律で保護されており、法律で認められた権利が侵害された場合には裁判所に届け出ることができる。一方で、後者の道徳的権利は、人は一人ひとりに価値があり、無視したり傷つけたりしてはならないという道徳的な考え方のことをさすことが多い。

現在のロボットは、法的権利も道徳的権利も持たない存在である。しかし今後、ロボットがより人間らしく見えるようになれば権利を持たせるのが自然だと考える人が多くなるかもしれない。とはいえ、人権を守ると一口に言ってもその内実は、人間でも見解が分かれるほどに多様

である。そして、この多様さをロボットが理解することが難しいとするならば、ロボットが権利を持つことは妥当ではないだろう。

2. 人権と道徳の関係は

どのようなものか

そもそも私たちはなぜ、人間でないものに人権を与えようとしているのだろうか。人間と同じようであれば、ロボットも確かに、人間と同じような権利を付与されるべきなのかもしれない。では、ロボットと人間のどの部分が一体そんなに同じなのだろうか。

機械学習が目覚ましい発展を見せた2016年以降の技術革新によって人間は、これまで人間固有だと思っていた能力が実はそうでもないのではないかと考え直させられる状況に直面してきた。AIは人工的に人間の知能を模倣することに成功し、ある程度の推論能力や、認識能力、創作能力を得たように見える。人間はその結果、固有な存在としての人間の立ち位置が脅かされると感じ、例えば「仕事が奪われるのではないかと」という懸念

を抱くようになったのである。しかしだからといって、ロボットに人権を与えようというのは少し飛躍しているように思える。

では人間固有の人権にかかわる能力とは何なのか考えてみよう。まず人間とロボットの間で最も際立った違いは、人間には心がある、すなわち心的能力 (mind) をもっているということだ。心的能力は哲学・倫理学では非常に重要な能力であると考えられており、例えば自分の行動を自分で選択できる自由意志や、その結果として生じる行為の責任といったものと結びつく。ここから人間には互いに自由意志があるのだから、相互に尊重しなければならない、という理解が生まれる。

ここでいう尊重というのは道徳的な、つまり善悪にかかわる意味合いを含む。私たちが誰かについて「人権がある」と述べる時、彼らの幸福や生死といったことについて言及しているだろう。例えばある人が、彼らにも生きる権利があるという時、彼らは生にかかわる道徳的配慮に値する存在である、と主張していると理解できる。当然そのある人は、誰

かに別の場面で同じように言及されるかもしれない。人間同士の関係であれば、人間は道徳的配慮をする主体ともなり、道徳的配慮を受ける対象ともなるのである。

したがって、道徳的にロボットが配慮されるべき存在で、かつ人間と同じようにロボットが道徳的配慮をすることができるならば、私たちはロボットにたいしても権利を付与すべきなのだ、ということになる。

3. ロボットは人権への配慮ができるか

前節ではロボットが人権を持つ条件として、道徳的配慮をしたりされたりするならば、と書いたが、この二つは相互に関係した事柄である。他者とともに生きることを考えるときには、自らの人権が守られるためには同時に他者の人権が守られることを担保する必要があるからだ。ロボットはそもそも人権のない存在であるから、人間社会で人間と暮らそうとする時、権利の観点から問題になるとすれば、優先されるべきはロボットの人権ではなくロボットにかかわる人間の権

利の方だと考えるのが妥当だ。したがってロボットが人権を持つためには、まずロボットが人間の人権に配慮した行動ができなければならない。

しかし、ロボットが人権に配慮した行動をとることは難しい。そもそも人権に配慮するとはどういうことなのだろうか。改めて考えてみると、その内実がはっきりしていないことに気付くだろう。私たちは日常生活において、自分やひいては他者の権利を守るためのさまざまなルールに従って生活しているが、その全てを記述することは不可能である。例えば、「嘘をついてはいけない」というルールを考えよう。相手が言っていることを信頼できることはむやみに人の権利を侵害しない・またはされないための基礎である。

だがこのルールについて、「ありとあらゆる状況で絶対に嘘をついてはいけない」と考える人は少数派だろう。「嘘も方便」というように、多くの人は嘘をついても良い状況があると考えている。例えばあなたはうれしくないプレゼントをもらったら、素直に「うれしくない」と

言うだろうか。他にもいろいろな場合がありうる。重要なのは、嘘をついて良い状況そのものが明らかではないこと、嘘をついて良い状況とは何から構成されるのかが明らかではないことの二重の壁があることだ。このような道徳的なルールをいつ、どのように運用することが適切かをプログラムすることができないのであれば、ロボットが権利に配慮した行為をすることは難しいことになる。

さらに、日常生活で人間が従っているルールは先述のような「嘘をついてはいけない」の一つだけではない。まず日常生活で判断をするためには、そのときどきの状況で、行動を決定するためのルールを確定させなければならない。しかし、第一に、私たちはその状況のどのような要素によって関連するルールを確定するだろうか。当該状況下では「嘘をついてはいけない」ではなく、別のルールが適切かもしれない。第二に、競合するルールがある場合はどうしたらよいのだろうか。嘘をついてはいけないが、本当のことを言うと相手を傷つけてしまうという場合にはどうすればよいのか。人間であ

れば間違っても行為に責任を負い、例えば非難を受け入れることができるが、ロボットにはそれができない。

人間の権利概念は、人間には心があり自由があるという事実から出発して、どのような権利を正当なものと認めることができるかという論争を通じて発展してきたものだ。今となっては、法的権利と道徳的権利は同時に存在するものと考えられることもできよう。しかしロボットの場合には、法的権利があるからといって道徳的権利があるといえるわけではない。サウジアラビアで Hanson Robotics 社製のソフィアというロボットに市民権が与えられた実例があるが、ソフィアは道徳的権利を持っているわけではないし、もし仮に虐待をされたとしても法的権利の行使ができるのか、例えば訴訟を提起できるのかという疑問が残る。ロボットに著作権者になれるなどの法的権利や道徳的権利を認めるのであれば、既にそのような権利が認められている人間に対しての他の不利益がないかについても慎重に考える必要があるだろう。

さらに知りたい人は・・・

- 久木田水生，神崎宣次，佐々木拓 (2017)『ロボットからの倫理学入門』，名古屋大学出版会.
- 久木田水生 (2020)「ロボットの倫理：友達ロボットから殺人ロボットまで」，『日本ロボット学会誌』，38 (1)，18-22.
- ウェンデル・ウォラック，コリン・アレン (2019)『ロボットに倫理を教える：モラル・マシーン』，(岡本慎平，久木田水生訳)，名古屋大学出版会.



2-10

知的財産

見上公一（慶應義塾大学）

概要

人はその生産活動を通じて、有形の「物」だけではなく、無形の資産である「技術」や「情報」も作り出す。「物」に比べて、「技術」や「情報」は占有することが難しく、その所有者の存在が分かりにくい。そこで、生み出された「技術」や「情報」にも財産的価値を認め、その生産者あるいは創作者に所有者としての権限があることを明確にするために整備された法制度が知的財産権制度である。科学技術研究との関係において特に重要なのは、論文や書籍などを執筆した際に生じる著作権と、新たな技術の開発に対して与えられる特許権である。

特許権の重要性が認識されるようになったのは1980年代以降であり、それがちょうど生命科学が大きく発展を遂げた時期と重なることから、生命科学では特許権との関わりにおいて様々な議論がなされてきた。また、近年では、著作権や特許権によって科学技術イノベーションの展開が阻害されることがないよう、それらの権利を尊重しながらも技術や情報が広く活用されるための方法も模索されている。

1. 法制度としての知的財産権

人が作り出すものには、有形の「物」だけでなく、「技術」や「情報」などの無形の資産も含まれる。有形の「物」は物理的に存在することから、その所有者が比較的明確であり、使用についても管理しやすい状況があるのに対し、「技術」や「情報」などは模倣や複製が容易であり、所有者の存在が不明瞭な状況に陥りやすい。そこで、生み出された「技術」や「情報」に対しても「物」と同様に財産的価値を認め、その生産者あるいは創作者に所有者としての権限があることを明確にするための法制度が整えられている。これこそが知的財産権制度であり、その対象は発明、考案、新品種、意匠、著作物などのほか、商標や商号を含む事業活動において用いられる技術や情報などである。

知的財産権制度には、生産者あるいは創作者の権利を守ることを通じて創作活動を奨励するという社会的機能もあり、20世紀末の情報化社会の発展の流れの中で、その重要性が強く認識されるようになった。生産者や創作者の権利を認め

るという制度の性質を踏まえ、権利者の出願を受けて審査が行われ、その権利の内容が定められる場合が多い。また、生み出された知的財産の社会的価値を鑑み、対象ごとに一定の権利期間が設けられていることにも注意が必要である。

知的財産権のうちでも科学技術研究との関係において特に重要なのは、論文や書籍などを執筆した際に生じる著作権と、新たな技術の開発に対して与えられる特許権だと考えられる。ここで「生じる」と「与えられる」と書き分けたように、著作権は創作がなされた時点で自動的に発生する権利であるのに対し、特許権は出願を行い審査を受けることで初めて認められる権利である。特許権の対象となる技術は産業利用が見込まれることが前提であることから、学術分野の研究者にとってあまり重要なものとして認識されていない時期もあった。そのような風潮が大きく変わるきっかけとなったのは1980年にアメリカで成立したバイ・ドール法である。この法律は、アメリカにおいて公的な研究費を用いた研究によって生み出された技術についても、その開発

者（あるいはその所属組織）が特許権を所有することを明示的に認めるという趣旨のものである。大学や公的な研究機関などでなされた研究の成果を積極的に産業活動に結びつけることを奨励した、経済政策の一環として理解することができる。その後、日本でも同様の趣旨の日本版バイ・ドール制度が1999年に導入された。日本の科学技術政策の転換期に導入されたこの制度によって、取得した特許権が研究者の評価基準の一つとして定着することとなり、現在では理工系の研究者が研究成果の社会実装にどの程度関心を寄せているかの指標としても認識されるようになってきている。

2. 生命科学と知的財産

研究者にとって特許権の重要性が高まった時期は、ちょうど生命科学が急速に発展した時期とも重なる。例えば、遺伝子組換え技術が開発されたのは1970年代前半であり、その特許権を持つ研究者の一人であるハーバート・ボイヤー（Herbert Boyer）はバイオベンチャー企業の先駆けとなったジェネンテック社を

創設し、ヒトのインスリンや成長ホルモン剤を遺伝子組換え技術を用いて生産することで商業的な成功を収めている。そして、ジェネンテック社の成功は、20世紀末に遺伝子治療や幹細胞治療などの領域においてバイオベンチャー・ブームが起きる背景となった。必ずしも開発された新規技術の産業応用が成功したわけではなかったものの、特許を取得した研究者がバイオベンチャー企業を立ち上げると有望な投資先として注目を浴びる状況があり、また、有望な技術を持つバイオベンチャー企業がその特許権を求めると大手製薬企業に買収されるなど、生命科学では特許をめぐる巨額の経済取引が行われた。

また、1980年代は遺伝医学が急速に発展し、遺伝性疾患に関わる遺伝子が明らかにされていった時期でもある。例えば、1980年代中頃にデュシェンヌ型筋ジストロフィーの原因遺伝子が同定され、それに関わるタンパク質の理解が進んだが、このタンパク質に関わる情報についてもそれを作り出す遺伝子の「情報」であるcDNAを含めて発見者であ

る研究者たちに特許が与えられた。そのような情報は診断に使えるほか、治療薬の開発にも役立つものであり、特許を取得することで診断方法や治療薬の開発が進むことが期待された。ただし、遺伝情報の特許については問題も生じている。まず、1990年代初頭にヒトゲノム計画を進めていたアメリカ国立衛生研究所(NIH)が、その中心であったクレイグ・ベンター(Craig Venter)とともに、どのような役割を果たすかも分からない多数の遺伝子断片について特許の申請を行い、多くの研究者から反感を買った。最終的に特許は認められなかったが、このような動きはヒトゲノム計画の公共性を強調する議論に繋がり、1996年には解読したゲノム情報の迅速な公開を約束するバミューダ協定がプロジェクト参加者間で結ばれることとなった。また、同じ頃にアメリカのミリヤド社が遺伝性乳がんの原因として知られるBRCA1遺伝子とBRCA2遺伝子の特許を取得したが、特許を背景として他の研究者による診断法の開発を妨げたことが、公益に反するとして問題となった。この結果、自然に

存在する遺伝子自体は特許の対象とならないことが判決によって明確にされた。

3. 知的財産とオープン化の流れ

科学技術研究との関係において重要な著作権と特許権に関して、近年ではその権利を尊重しながらも、情報を公開することを求める動きが強まっている。まず、著作権についてはオープンアクセスの議論がある。論文を出版する際には、執筆者が論文を掲載するジャーナルを発行する出版社にその著作権を譲渡することが一般的だが、学術研究の透明性を高めるために、誰もが無料でその内容にアクセスできるような対策を講じることが求められるようになってきている。これは電子ジャーナル講読料の高騰とも関係している。オープンアクセスとして公開する方法のほか、所属機関のレポジトリにおいて出版社による編集作業がなされる前の論文原稿を公開するなどの方法がある。

特許権についてはその情報は常に公開されてきたものの、使用については制限がかけられている状況があった。しかし、技術の高度化に伴って、他者が権利者で

ある特許がないために技術開発が進まない「アンチコモنزの悲劇」と呼ばれる状況が生じるようになった。この対策として取られるのがパテントプールと呼ばれるような、必要な特許技術をまとめて相互共有あるいはライセンス契約することで戦略的に活用できるようにする方法である。個別の特許技術にあまり価値がない場合でも、複数の特許技術をまとめることで利用価値を高めることも可能となる。企業間の連携あるいは産学連携の下でイノベーションを推進するオープンイノベーションの機運が高まる中、各組織が有する特許の扱いについても工夫が求められている。

さらに知りたい人は・・・

- 石井康之 (2015) 「知的財産と知的財産制度」, 『情報管理』, 58(4), 301-305.
- 上村隆大 (2010) 『アカデミック・キャピタリズムを超えて：アメリカの大学と科学研究の現在』, NTT 出版.
- ヒューズ, サリスマス (2013) 『ジェネテック：遺伝子工学企業の先駆者』 (千葉啓恵訳), 一灯社.



対 談

研究者の自治とは？

小宮 健 × 見上公一



小宮 健

国立研究開発法人海洋研究開発機構 研究員

2004年東京大学大学院理学系研究科生物化学専攻博士課程修了。博士（理学）。東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻助教を経て、2021年から現職。著書に「DNA ナノエンジニアリング」（近代科学社、分担執筆）。科学技術振興機構（JST）社会技術研究開発センター（RISTEX）「科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題（ELSI）への包括的実践研究開発プログラム（RInCA）」研究開発プロジェクト「研究者の自治に基づく分子ロボット技術のRRI実践モデルの構築（令和3～6年度）」研究代表者。

見上： 小宮先生がご提案されて、現在実施しているプロジェクトのタイトルに「研究者の自治」という言葉が入っているのですが、立案当初にどのようなイメージを持っていたのか、少しお話いただけますでしょうか。

小宮： プロジェクトでは「研究者の自治」というテーマを据えています、活動の中でも実は一番体系的に考えられていないとか、難しいと感じているテーマです。研究者が RRI のための活動を自主的に行うというのが、プロジェクトのメインで実践している内容なのですが、その背景には、研究者というか、科学研究コミュニティの中に研究という営みを外から見る視点や、外部の、たとえば科学技術政策などをつなげるパスがないという問題意識があります。研究という営みの中の視点と外の視点を行ったり来たりしてしまって、プロジェクトが終盤に入ったこの先はどういう風に深めていったらいいのだろうと、戸惑っている状況かなと思っているところです。

見上： 研究者として、自分たちがやっている研究について考えたりということはも

ちろんやられているけれども、それに対して外の視点が不足しているというイメージでしょうか。それとも、外の視点も存在してはいるけれども、その視点を投げかけている主体と中で研究について考えている主体とが切り離されているとか、同じ主体によってなされている活動ではないというイメージなのでしょうか。

小宮： 他国の科学技術政策の現場を詳しく知っているわけではないですが、日本では特に科学技術政策の現場と研究者をつなぐパスが、人材も実務作業も足りないというより存在していないと感じます。中にいる人間がやりとりをしながら外の視点を取り込んでいく相手がいないのです。この状況を続けていると、いつまでも外の視点は育たないと思います。

「研究者の自治に基づく分子ロボット技術の RRI 実践モデルの構築」というタイトルをつけたこのプロジェクトは、研究者が自らを律して RRI を実践するといったときにどういうアプローチがあるのか、あるいはわれわれ理工系研究者に欠けているのは何なのかに気付く、ということに私自身は重きを置いていたつもりでした。です

が、質問を受ける点が「研究者の自治」とは何かということに集中するなど感じています。それが良い悪いではなく、「研究者の自治」というのが人文社会系にとってはとても興味があるトピックなのだ。それと同時に RRI 実践とは何なのかという問いはあまり解像度高く語られていない、というのが RISTEX のプログラムに参加する中で感じたことです。

「研究者の自治」に関して研究者たちが自らを律するというのは、何を目指して自分たちは研究活動をしているのか、どういう成果を創出したいのかということも常に問いながら、そこに貢献しないようなことはやらないという選択肢も考えながら自律的に動くことで、結果的に社会から信頼される存在になることを目指すイメージでした。そのための具体的なアクションとして、ルールメイキングだったり理念だったりをも明文化して共有し、研究コミュニティーが発信していくことで“見える存在”になっていこうと。それを実践していく中でどういう課題や作業が出てくるのか手探りしていこうという考えで、このプロジェクトを始めました。

やはり研究開発の現場にいないと分からないこと、何がどのように発展していくかという遠い将来のビジョンは研究者にも見えないとしても、今ある技術が数年後こういうリスクを顕在化させるかもしれないなどという点は、現場の人間が一番分かっているわけです。対策を誰かに任せきりにすると、実効性がなかったり、本来進めるべきこともできない状況が起きてしまったりすることもあるので、最も適切で現場ともギャップのないマネジメントを可能にするためには、マネジメント側の意識を研究者も持たないといけない、ということは申請の時点でイメージしていました。

見上： われわれがプロジェクトを始めた時も真っさらな状態ではなく、特に RISTEX では先に小長谷先生のプロジェクトがあって、それを発展させる形での提案ということだったと思います。小長谷先生のところでやられていた活動について、どれくらい研究者の自治が達成できていて、次のプロジェクトに向かう時に何をもっとやらなければいけないと思っていたのかも教えていただけますか。

小宮： 理工系研究者が主導する形でこの

ようなプロジェクトが継続して実施されたというのは、とても画期的だったと思います。取り組みが大切だという議論はされていても、実践するにはやはり壁があるというか、実際にやる人はいないという状況が変わったわけですから。

その中で私の理解では、小長谷先生のプロジェクトはテクノロジーアセスメントという形で行われました。それによって無駄なく科学研究が進んだり、生まれた技術が公害のようなネガティブなインパクトをもたらすことなく、スムーズに社会に溶け込んで役に立つという実利もあって、必ず必要な活動だと思いました。一方で、基礎研究の段階だとそういった意識付けは大事だけれども、具体的に意味のある議論は難しいなとも思いました。

そういう活動が行われることはとても大切なので、年代を超えて当たり前みんながやっていく状況になるにはどうすれば良いか、自分だったらどうやってやるのか、どうしたら基礎研究の段階で活動する際のギャップを埋めたり、意義付けができるかを考えた時に、研究分野がどこを目指すのかというビジョンを持つことが重要そうだと。

そういう話し合いであれば、理学という意味で何を探求すべきか、そこには哲学的と言われるような根幹の問題意識があって、それをブレイクダウンしていくと個々の具体的な研究テーマになっていくので、そこに軸足を置けば基礎研究者にも取り組める活動になるだろうと。それならば自分も何か貢献できるのではと、年代を超えて受け継ぐ実践をしてみようと思ったという流れでした。

見上：先ほどおっしゃっていた、テクノロジーアセスメントのようなものとしての位置付けというのは、まさにそうだったかなと思います。自分たちがつくろうとしている、あるいはつくっている技術がどういうもので、どういう社会的な影響を持つかをきちんと評価して、それに対して適切な形で政策立案をしていこうという。それが規制なのか、それとも研究支援なのかというのは両方の道があると思いますが、そういうことをアメリカなどでは行政単位でやってきたわけですが、日本ではなかなかそれが根付かなかつたと言われています。分子ロボットのように新しく出てきた研究に対して、政府がトップダウン的にやる活

動で全てをカバーできない状況がある中で、きちんとテクノロジーアセスメントをやって、情報を発信していくというのは、重要な流れだと思います。

今の小宮先生のお話を受けて一つ重要だと思うのは、先ほど小長谷先生のプロジェクトに対して、自分だったらどうやってやるかを考えたとおっしゃったと思います。やはりテクノロジーアセスメントのようなものは、一定の人たちがやっている状況ではあるけれども、それは研究者コミュニティ全体としてやっている活動ではないという部分もあるわけです。小宮先生が目指すところは、研究に関わっている人たちがみんなで一緒にやっていくという点があるのでしょうか。

小宮： そうですね。そこは本当にポイントで。小長谷先生のプロジェクトのテクノロジーアセスメントの活動を発展させたものという少し違和感があって、テクノロジーアセスメントのような活動も当たり前に含まれる研究活動への転換を実現したいというか、研究活動というものの幅を広げる、そのための枠組みをきちんとつくって、研究者が自分ごととして考えられるように

したいという思いがあります。考えられるというのは能力的な意味ではなくて、考えることによって研究の中身が改善する、研究環境が改善するといった、研究者にとってその活動をすることで自分の研究がレベルアップすることにつながるような、良いフィードバックがかかる状況をつくりたいということです。それが、今RInCAで行っているプロジェクトが目指していることですね。

見上： 先ほど、「研究者の自治」というのは自らを律するなどということも出てきましたが、ある意味では研究の長期的な発展へとつなげていくイメージでもあるということですかね。

小宮： そうですね。私が学生だった頃と比べても、いろいろな意味で研究者の意識って向上してきていると思います。持続可能な社会に貢献したり、研究者自身のハラスメント的なものをなくそうなどというのは、研究と両立しながら、実際に改革するのは非常に手間がかかることですが、そういう手間もいとわず、研究者が自分たちでルール改革しているところもあるので、非常に意識は高いと思います。で

すが、真面目に取り組むとか、頑張るとかということとは別に、多様性が確保されないとできないことがあると思っています。そういった面ではちょっと脆弱(ぜいじゃく)になっていると感じるので、そこをどうやって補っていくかが課題だと思います。

見上： そういった目標を立てて、あるいはそういった感覚でプロジェクトの活動をしてきて、うまくいっている部分や、ちょっと難しいと感じていることなどをシェアしていただけますか。

小宮： 最後の4年度目に入ったところで、始めた頃とはだいぶ見え方が変わってきた時期になります。まず、科学コミュニケーションについては、単にアウトリーチであったり、人々と話して分かりやすく伝えたり、そういう姿勢を見せることで信頼を得るといったこと以上の何ができるか、というこれまでにない活動のトライアルという意味では、それを行えたことが大きな成果だと思っています。

では、それを継続しようとなった時に、本当にハードルが高いという難しさがあります。なぜこの活動をいろいろなりソースを割いてまで継続する必要があるのか、そこ

で研究者に返ってくるものは何か。最初の実践では何かしら自分の発想や思い込みを変えるような気づきが得られるという意義がありますが、それだけでは常にやっていく活動ではなくて、何年かに1回やればよいという話になってしまうと思います。

では、基礎研究の人間が、例えば社会実装に興味がある場合にはこういうルールメイキングが必要だねという議論ができる、というのも継続していく動機としては良いのですが、それでは社会実装にモチベーションがある人だけの意義、理想の状況に持っていくための話のようになってしまうので、利益相反から逃れられないという難しさもあります。

また、より面白い、今の価値観や評価軸では出てこない「良い研究」って何だ、ということを常にブラッシュアップして制度化していこうと思った時にも、評価軸をつくること自体が科学研究をよくするという意義を感じている人しかその活動をやらない、という状況にやはり陥っていきます。評価軸をつくったからこそ、こんなにいろいろな優れた研究が出てきたとか、自分も研究としてより面白いテーマに打ち込めた

というベストプラクティスを出していかないと、いつまでも抽象的な観念論になってしまうので、いかにそれを実践するのが非常に難しいと感じています。

見上： フィードバックがかかるというか、やっていることの意義が自分の研究に返ってきてくれば、積極的に活動することに対するハードルも下がってくると思いますが、やはりそれだけの時間を割かれるわけですし、いろいろ考えなければいけないし、マネジメントの部分が増えてくるということが研究の負担になっていく。そこをどうバランスを取るかって話になってくると、難しい部分があるのは確かですね。研究をやっている側にフィードバックが返ってくることも1つだと思いますが、こういった活動はこういった活動として、研究とは別に評価してもらおうということも重要ではという話を時折してきたと思いますが、その点について何かお考えはありますか。

小宮： 自分の専門分野の論文になるような研究そのものではない、研究周辺の活動に対しても評価すべきだという議論、これ自体は長いことされてきていると思います

が、それがなかなか形にならないのは制度化の難しさもありますし、それを待っているのは個人の研究キャリアが終わってしまうと思います。

例えば、イノベーションを起こすためにはこういう軸で評価したほうが良い、ということを示す目利き人材の輩出が必要なのではないでしょうか。個人的には、このRInCAのプロジェクトの次は社会実装などのプロジェクトに尽力して、そこでこういう目線で目利きすると進展を加速できます、ということを示していくのが研究者側でできる実践の一つかなと。

そこで思っているのが、目利き人材という話の前に、基礎研究が過度にピアレビューに縛られているところに難しさがあるなど。先ほど評価軸のベストプラクティスと言いましたが、科学としての革新的な発展や気付きについて、例えばノーベル賞の受賞者数を目安の尺度とすると、2000年以降日本の受賞者が多かったのは、その成果を上げた時期は科学技術基本法などができている、いわゆる総合的な科学技術政策がない時代だったと思います。

もし、現状にみんなが危機感を覚えていた

り、受賞者の方がコメントされてきたように、今のやり方では受賞者が減ってくるのだとしたら、その評価軸に対してのベストプラクティスは「無策であること」になります。それが結論ではあまりにも消極的過ぎるので、無策のほうが良かったのはなぜなのか、自由度の高さ、時間やエネルギー、リソースの使い方がどうであったからできたのか、というところはきちんと詰めていきたいです。

その中で、ピアレビューのやり方ももうちょっと工夫する必要があります。科研費は一番自由度が高いと言われますが、現状の採択率は数名の審査員の中に1人評価が低い人がいたらその提案は通りません。それではうまくいくか分からない、本当にインパクトのある研究の芽を摘み取ってしまいます。なので、最低評価をした1人の評点を評価から外したりといったマイナーチェンジなど、工夫の仕方はあるかなと。種目の目的によって審査法を変えて多様性を確保するとか、そういう発想は必要だと思います。

先ほどの社会実装からのアプローチというのは私個人の感覚ですが、研究者それぞれ

が、例えばシチズンサイエンスやクラウドファンディングでの在野研究など、自分に合ったモチベーションが高まるアプローチがあると思うので、基礎研究者が科研費だけを見ていくのではなくて、ちょっと違うものにも手を出して成功例を出していくことで、社会から“見える存在”になるのだと思います。

見上： 研究者として、個人として、どういう社会との接点が可能なのか、あるいは自分が関心を持てるのかといったところで、その関心を広げていくという形で活動していくということですね。研究者コミュニティ全体として、そういう風潮が整ってくれば、いろいろな形でいろいろな接点ができていって。先ほど途中で多様性の話もされてきたと思いますが、研究コミュニティ全体としての社会との接点もいろいろな形で広がっていくと思います。

一方で、個人レベルに落とし込まれてしまうと、研究コミュニティとしてそれが活性化するためのきっかけとか、それを促すような仕組みが不足してしまうのかなという感じもしますよね。結局は個人任せ、個々の研究者が何をするかはお任せに

なってしまう部分もあって、その仕組みは考えなければいけないのかなという気がします。日本語だと単数と複数が区別されないのので分かりにくいですが、やはり「研究者の自治」というのは、一研究者の話をしているわけではなく、恐らく研究者コミュニティとして、どうやって自治を行っていくのかということだと思います。コミュニティ全体としてどうやって動かしていくのが課題で、分子ロボットのコミュニティに関わってきて思うのは、非常にモチベーションが高い先生がいる状況ですが、一方で、その反動かもしれませんが、自分はやらなくてもいいと思っている先生もいて、そういうのをやっているという話はしてくれるけれども、自分が関わるかどうかは別という先生もいるという状況が。ここら辺のバランスは、もうちょっと何らかの仕組みが必要かなという気がします。

小宮： 仕組みと言えるかは分かりませんが、科学行政のほうに行く博士人材が増えることが大事だと思っています。行政の側にメッセージを受け取る人や実務として動ける人がいて初めて、研究コミュニティ

から何を発信しようとか、どういうやり方で発信しようという議論が意味のある話になります。

キャリアパスとして、一回研究の現場を離れた人はもうそこには基本的に戻ってこれないという状況が、特に日本のシステムでは強いように思います。キャリアパスを自由に行き来できるという状況、これは科学の分野に限らない話ですが、それができると行政や、それをサポートする NGO、NPO の活動の方が動きやすいという人が出てくるはずですよ。

見上： キャリアパスの話でいうと、確かに海外などを見ていった時に、博士を取った後にいろいろなキャリアの可能性もあるし、キャリアの途中で行政だったり、あるいは財団などで、そういった業務に携わって、また研究コミュニティに戻ってくるというような、キャリアパスの多様性や柔軟性はやはり海外のほうが高いなという認識はあると思います。

関わる点として、“研究者コミュニティ”を考えた時に、誰がそこに入っているのかということも結構重要かなと思いますが、やはり博士課程ぐらいいまで来ていないと、

というイメージがあるのも確かだと思います。でも、博士課程まで来てしまった子に、研究ではないキャリアもあるよと提示したとしても、研究者になりたくて博士に進んだのというギャップが埋められない部分もあると思います。修士や、学部生から、もっと研究者コミュニティーに入ってもいいのかなという感覚もあるのですが、研究者コミュニティーと言った時に、どのぐらいのキャリアステージの人たちがコミュニティーの一部として認識されるものなのでしょうか。

小宮：そこはみんなばらばらなイメージを持っている気がします。いま指摘いただいて、大事なポイントだと感じました。研究コミュニティーと研究者コミュニティーを区別しないで話をしていました。日本では、研究者になりたいから博士に進んだという人が圧倒的に多いと思いますが、それはまずい状況だと思います。

博士の学位は、本来は個々の分野の専門家という意味ではなくて、問題の発見から解決までを実践できるライセンスのような位置付けだと思います。そうであるなら、Ph.D. を取る、博士課程に行くというのは

自分の能力を磨くため、汎用の専門性を身につけるためであって、研究者になるためのだけのキャリアパスではないはずです。しかし現実には、日本では研究者になりたいから行くところになってしまっていますし、科学行政へ進むなら、国家試験を受ける年齢制限もあるから行かないというように断絶しています。年齢制限撤廃も含め、研究コミュニティーに1回入ってから行政などに進む選択肢が増えた方がいいですね。

見上：専門性を身に付けてということですが、日本だとその専門性を必要としているところが、大学ぐらいしか存在していないということもあるのかなと思います。行政でも、専門性がないいろいろな決断ができない、あるいは意思決定をしていく上では専門性が必要だと言いますが、その専門性はアウトソーシングできるという前提があると思います。大学の研究者に来てもらって、委員会に参加してもらえればそれでいいという感覚があって、行政の中にいる人たちがその専門性を持っている必要性がないということなのではないかと思います。

話は戻りますが、人文社会科学の研究者の役割という話も出てきたと思いますが、「研究者の自治」という話をされている時に、どのような形で人文社会科学の研究者がそこに関わることが望ましいと思っていらっしゃいますか。

小宮： 何段階かに分けての話になりますが、まず研究者の姿が社会から見えるようになってほしいです。いろいろな考えやアプローチの人がいて、その人たちの総体が研究者コミュニティであって、フラスコを持って頭が爆発した白衣の人のような、そこまでのステレオタイプはさすがになくなってきたと思いますが、画一的な人たちの集団だと思われる部分があると思います。そうではなく、いろいろな人たちがそれぞれの思いで、いろいろな苦労や葛藤もありながら、自分の功名心、成功したいという欲などもあって、様々な活動をしている人たちなのだと。その中で、専門分野の知識を多く持って掘り下げている。ただし、それは決して独りよがりではなくて、お互いに評価し合って認められないと続いていかない活動をしている、そういう人たちがいるということがまずは見えてほ

しいです。

より良い社会になるためには、技術で解決できる問題はこういうことが望まれるというような、社会との接点で研究されている人文社会系の先生たちには、関わる理工系の研究者たちの姿が社会に見えるようにするという面で、アシストしていただきたいという思いはあります。

技術開発で出てくる成果物には、その研究者だから出せたものという面もあると思います。そういうところは科学技術社会論などの中でもっと語られたり議論されたりしてもいいことだと思います。研究者個人の属性が消された形でしか取り上げられていないと思う部分もあるので、個々の人に焦点を当てて議論できるような時にはそうししていただくのも良いのではと思います。

見上： 科学技術社会論の中でも特に歴史研究は、昔から研究者個人に注目をして、議論を組み立てますね。ただ、それは誰かが特定されても問題ないという条件のもとだからというのもあって、だからこそ歴史研究はその傾向があるわけですが、今まきになされている研究の時に人が特定されることが、必ずしも研究の手法として妥当な

のかというと懸念はあると思います。もう一つ、われわれが研究をしている時には、いい面もあるし、もちろん悪い面もある。個人との対話だったり、議論をしている中で、必ずしも社会にとって望ましいとは思えない発言があったり、考え方を持っていたりということもあると思います。われわれは広報ではないので、見せるという時にはもちろん見せる方向に持っていくことはできるのですが、その時にはいい方向も見せるし、もちろん良くない方向もやはり見せていかなければいけないということになると思います。研究者との関係を構築していく時に、それが研究者の望んでいる形での関係の構築のプロセスになるのかと言われると、そこも慎重にならなければいけないのかなという気がします。

小宮： 誤解させてしまった気がします。個人の属性を見せてほしいというのは、個人が誰かということではなく、ある技術トピックについて研究している研究者集団を対象にする研究をした時に、その中でこういう特性を持っている人たちはこういう成果が出せた、考え方やコミュニケーションのスキルなどいろいろあると思いますが、

こういう特性はこういう結果につながる、逆にこれはあまり望ましくない結果につながるというような、個人は特定されないけれども、いろいろな個性を持った人がやっている活動だと見えるということです。

望ましくない何かしらの発言があったとして、そこに悪意があるか、目の前で困っている人がいた時に手を差し伸べるかどうかということと、ワードとしての不適切さにもギャップがあると思います。目の前の困っている人にぶつけたら良くない言葉だけれども、一般論を語るには、そこを避けて通っていたら正しい解決策にたどり着かないということに平気で踏み込んでいく。だから、街での会話と思うときよっとするけれども、実はそういう発言をする人のほうが全部を考えていて、集団でいた時に周りの人が困っていたら手を差し伸べたり、解決策になるものを提供していることもあったりします。日常感覚ではなかなか議論できないことも、個人が誰かというのを消して特性だけを取り上げることで、こういう特性の人がやると結果的には社会にとって良いことができるのだ、ということが見えてくるかもしれません。変わった人

が研究コミュニティーにいてくれた方がよかったです。社会の人にとっても視野が広がったりするとと思うので。

見上： コミュニティーとしての構成というか、バランスを見ていくというのは確かに重要という気がします。私が最近思っているのは、「研究者の自治」を実現していく上では、その「研究者」の枠組みをどれだけ広げていけるかということが結構重要なかなということですよ。

もとは外側からどうサポートするかというイメージで、この「研究者の自治」をテーマとするプロジェクトに参加する感覚でいたのですが、自分もその内側にいるという認識が強まってきたという気がしています。もちろんやっていることは理工系の研究者の人たちがやっていることと違うのですが、それでもこの分子ロボットという研究領域の研究者コミュニティーと言われた時には、プロジェクトが始まる3年前よりも内側に見られることも多くなっています。

最初に研究者コミュニティーの多様性の話もあったと思いますが、多様性を構築していくというか、コミュニティーの枠組みを

広げていくというプロセス自体が「研究者の自治」というものに非常に重要なかなという気がします。一方で、多様性が広がっていくということは、価値観だったり、モチベーションだったりも違うし、社会との接点ということに対しての視点も違うと思うので、やはりみんなが同じように社会と接点を持ってくれるといったことは期待できなくなってくるなど。そこら辺に難しさがありますよね。

中のことに関しては、議論が進んでくるし、互いに顔が分かってくことで話しやすくなるし、必ずしも分子ロボットについてプラスな面だけではなく、マイナスの議論もしなければいけないという時に、外から批判をしているというよりも、中でどうすべきかを議論していると受け止めてくれる人も増えてきていると思っています。一方で、それを全員が受け止められるわけではないということで、研究者のコミュニティーをどうやってつくっていくのかというのが、やはり「研究者の自治」には非常に重要なかなと。なので、人文社会科学の研究者の関わり方というのは、われわれが持っている専門性が何なのかということとも深く

関係すべきなのだと思います。

小宮先生の話では、どちらかという理工系の研究者がやっているものがある、それとの関わりで、人文社会科学の人たちがどういう役割を担うかが決まってくるというイメージかと思いますが、私の感覚はどちらかという、研究者は自分たちとして分子ロボットの領域をつくっていくという活動をしていて、それは理工系も人文社会科学系も変わりはない。人文社会科学の人間も、中に入ったからには自分たちの活動を通じて、分子ロボットのコミュニティーを、分子ロボットという研究領域をつくっていくという、そういった視点に変わっていくということが本来は重要なのかなという気がします。なので、人文社会科学の研究者の立ち位置は、部外者的なものではないのかなというのが最近思っているところです。

小宮： 部外者ではないということはお本場にそうですね。なかなかそういう形のできるプロジェクトがない中で、1つのきっかけにはなれていると思っていて、非常にそれは大事というか、面白いことだと思っています。

例えば、ガイドラインなどを作っていく時にバイオテクノロジー的な技術であったら、生命倫理の話で何を守るべきか、何を踏み越えてはいけないかといったことを議論します。その中で、生命とは何かという根幹の理解が背景ではなくて、議論するトピックとして前面に出たりする。そこまでいくと、生命とは何かという問いに対してどういった観点、階層で論じているかというのは、生物学の分野で論じられることと、社会で広く議論するところでは全然違うことが語られると思いますが、そこはやはり地続きです。社会で何が語られるのかを無視してしまうと、恐らくその「何か」を解明した時に、サイエンスとして社会にとって大きなインパクトがある成果になっているかということ、とても矮小（わいしょう）なレベルにとどまってしまおうと思います。

実験で示すことそのものではないけれども、その実験を通して何を、どのような問題を問うているのか、どこまでの答えを出せたのかということ、人文社会系の視点や興味などを踏まえて真っ向から議論していただくと、何が解明されたのか、またそ

の意義付けもきちんと語れるようになって、科学としてのインパクトも増すだろうと期待しています。それがガイドラインやルールメイキングにも直接的に関わってくると思いますし、そういった意味ではやはり全然外部ではなくて。分子ロボット分野なら分子ロボットというテーマで何を研究するか、何が解明すべきことかという、かなり研究のトピックとしては次元の高いというか、メタなどころにはなっていくのですが、決して抽象的ではなく、理工系の論文に書かれるような内容の議論になるのではないかと思うのです。

そういうつもりで話していただくと、人文社会系の研究者の視点や語る言葉は社会の肌感に近いものだったりするので、科学が何をしているかということが社会に伝わっていく。理工系の研究者が“先生”として説明してしまうとなかなか伝わらない研究の意義だったり、また研究者が社会と一緒に暮らしている人なのだということがより伝わるのかなと。広報ということではなくて、社会科学にとっての議論がなされてそれが見えると、世の中に自然に伝わっていく内容が増えるという意味で、同じコミュ

ニティー内で活動する研究者として、理工系と人文社会系が同じトピックに関して議論するということが、非常に生産的な気がしています。

見上： お話を聞いていて思ったのは、やはり「研究者の自治」は研究者コミュニティづくりと密接につながっているということですね。研究者が自分たちのやりたい研究を面白いと思って積極的に進めていって、それが研究だけにとどまらないで、社会に対しても、応用のような形でうまく活用していこうということかもしれないし、面白さを伝えようということかもしれないし、いろいろな形で社会との接点をつくりながら研究をしていくという。そのような活動がプラスに循環するような、そういった研究者コミュニティをつくっていくというのが理想としてあるのかなという気がしました。



生命とは何か？

豊田太郎 × 見上公一



豊田太郎

東京大学大学院総合文化研究科 准教授

2005年東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程修了。博士（学術）。千葉大学大学院工学研究科助教、東京大学大学院総合文化研究科講師を経て、2011年から現職。2009年～2015年JST さきがけ研究員（ナノシステムと機能創発）を兼任。著書に「生命の起源をさぐる」（東京大学出版会、分担執筆）、「生命起源の事典」（朝倉書店、分担執筆）。

見上： レファレンスブックに「生命とは何か」という項目を立てたいという話になった際に、それはこだわりのあるトピックだというお話を豊田先生から頂いたことがこの対談のきっかけです。まずはそのこだわりについてお伺いしたいのですが、いかがでしょうか。

豊田： 僕の研究テーマは、細胞を一から理解するために人工の細胞をつくるというものです。その中に、分子ロボティクスという情報やロボットの考え方が導入されると、今まで魑魅魍魎（ちみもうりょう）としていたアイデアがすごくクリアになっていきました。その一方で、情報やロボットの考え方には細胞の生命として持っている機能や性質と近いところと遠くないところがあるとも感じています。今回見上先生から「生命とは何か」という項目を立てるといってお話を聞いて、その問いが分子ロボティクスにとって重要なものなのか、あるいは足かせとまでは言わなくとも、分子ロボットではそこは考えなくてもいい部分なのか、きちんと考える必要があるなと思いました。

見上： 人工細胞を含めた合成生物学では

「生命とは何か」という問いに答えようと、私たちが知っている生命の理解をもとに、今度は作ってみて、それでどのくらい理解できているのかを試してみようというアプローチがあると理解しています。今のお話からすると、分子ロボティクスはそれと一線を画した研究領域というイメージをお持ちですか。

豊田： はい、そうです。生物や細胞のもつ機能をロボットとしての側面からきちんと定義して、分子を使って作り上げていくという研究の立場からは、生物や細胞はロボットとしても捉えられます。しかし、やはり、そうではないところがあって、そこが僕にとっては知りたい内容になるわけなので、分子ロボティクスと合成生物学には違う部分があると思います。人工的に細胞をつくる際にもある程度緻密な設計をしなければいけなくて、その点は共通していますが、そこからどのように予想していなかった領域に入れるかがポイントになります。その領域では、化学や物理の知識を駆使して何が起きているかを理解しようという流れです。

分子一個一個をデザインしてつくった時

に、ロボットとして明確なアウトプットが出ることで、自体がすごく難しいので、入力と演算と出力のデザインをしていく分子ロボティクスでは、アウトプットがでないときは、それをさらに改良していく取り組み方が求められます。自分自身でデザインしてつくり上げてロボットが出来上がる楽しみが分子ロボティクスにはありますが、アウトプットとして設計していなかった、もしくは設計した以上の現象が出てくることが人工細胞の楽しさと私は感じています。

見上： 両方の領域で活動されていると、それはジレンマではないかと思うのですがいかがですか。分子ロボットでは制御をしたくて、プラスアルファの部分は出てこないほうがいい。でも、人工細胞の研究者の視点からは、そのような予期しない部分が出てきたところに面白さや次への展開の機会があって、それを求めているというか望んでいる。ここら辺はどうやって折り合いをつけているものですか。

豊田： 僕としては3つのコンセプトを持っていて、ジレンマを感じてはいません。確かに一時は悩みましたが、自分の中では平行に走らせることを意識しています。

一つ目は、精緻に設計してデザインに基づいたアウトプットを目指していくならば、観測しやすいということです。魑魅魍魎のような現象が出てくると、その観測からは外れていく、もしくは、観測できたとしてもそれを理解するためにはさらにいろいろな観測が必要になります。ですから、現時点でできる研究の取り組み方やリソースを考えた時には、アウトプットの観測のしやすさ、つまり方法論としては、分子ロボティクス研究に利があると思っています。

二つ目ですが、分子ロボティクスで他の先生との共同研究において、細胞膜のモデルとなる袋状の小さな分子集合体を、よく知られている DNA やタンパク質で動かしてみたり、連結した分子集合体の中で例えば記憶や学習のように新たな機能を持たせたりということを目指しています。まずはよく分かっている分子を使って、しかも分かっている仕組みがアウトプットとして出てくるところの研究のストラテジーを先に確立しておいた方がいい。そのベースができれば、今度は、例えば DNA ではない分子を使ってみたり、袋状の分子集合体も細胞膜のものとは違う材料も使ってみたり

する上での指針になっていくと思っています。要するに同時にやるのではなく、分子ロボティクスを先行させて、そこで得た知識をまた人工細胞の研究に生かすというストラテジーでいいのではないかというのが二つ目です。

最後のコンセプトです。人工細胞の研究に取り組みでは、物理化学のコンセプトに基づいてできるだけ物事を整理して考えようとしていました。ところが、分子ロボティクスでは、材料として当然いろいろな物質を使うのですが、次に考えることは情報・制御です。情報・制御というのは物理化学のルールにも乗るのですが、情報・制御には情報・制御なりの論理と、それから作動原理があります。それは化学や物理を中心にやっているとなかなか到達できないし、また情報・制御と物理化学をつなぐような研究はまだそこまで進んでいなくて、例えば非平衡統計力学や情報熱力学という研究が立ち上がって、物理化学現象と情報を直接つなげる理論がされてきたばかりです。そういったことを勉強しながら、物理化学の視点で分子ロボティクスが掲げる情報・制御をいかに物質レベルで実現していくか

ということにも興味があります。なので、私のような化学を中心にやってきた人間が情報・制御の研究者のアイデアをいろいろと学んで、それを人工細胞の物理化学に落とし込んでいった時に、もっと新しい作動原理を見つけていたらと思っています。

見上： 豊田先生のお考えは急がば回れという感じを受けました。分かりたいことがあって、そこにたどり着きたいのだけれども、そこに直進的に向かっていくのではその道が険し過ぎるので、周りをきちんと埋めていきながらそこにたどり着けるようにしましょう。その道筋に分子ロボティクスと呼ばれる研究分野がある、そういうイメージで受けとめました。

豊田： 確かにその表現は当を得ている気がします。

見上： 分子ロボットのコミュニティの中で、いろいろな先生と共同研究されたり、ディスカッションをされたりすると思いますが、分子ロボットのコミュニティ全体としてはそういった考えをお持ちの方は多いですか。それとも分子ロボットを作ることを目的として研究されている先生のほうが多いでしょうか。

豊田： 多分半々ぐらいではないかと思えます。分子ロボティクス研究会が日本で最初に立ち上げられた時に、情報・制御の先生がかなり中心的に活動してこられているバックグラウンドがあります。そのバックグラウンドからすると、緻密な制御やそれを支える情報理論を開拓して、ロボットを作るということだけではなく、分子ロボティクスにはその後ろにある自然現象を情報・制御の理論でいかに制御しきれるか、理解しきれるかという究極の目的があると私は理解しています。分子ロボティクス研究会は、村田智先生、そして村田先生だけではないと思いますが、実際に扱う物質をDNAからDNAだけじゃない分子に広げていこうと取り組んでこられました。そこでは、化学や生物物理、工学の先生との連携があることから、そのような先生方も分子ロボティクスをどう捉えて研究を盛り上げていくかという形に、研究会は成長してきているというのが私の印象です。

見上： 生命とは何かを理解することという、やはり生命の起源についての議論が多いかと思いますが、研究分野として生命の起源を探るといのは大きな研究テーマ

としてあるのでしょうか。

豊田： それはまさにおっしゃるとおりです。生命起源を模倣した環境内で、生体物質、例えばアミノ酸や、核酸塩基、タンパク質、DNAといった物質がいかに作られるかということは、化学実験でかなり明らかになってはきています。しかし、そこから分子の集合体ができる、その分子の集合体が代謝をしながら機能化していくプロセスのところは、まだそれほど研究が進んでいない状況です。

特に、分子集合体であるリポソームや、液-液相分離液滴、コアセルベートといった粒子が代謝をしながら増殖していく研究例というのはほとんどまだ出てきていません。ですから、そこは現時点で生命起源に関わる重要な研究課題になっていると思います。

見上： 生命に関する議論について歴史的な経緯を見た時に私が感じたのは、やはり生命はずっとつながってきたというイメージがあることです。進化論もそうだと思うし、自然発生説が否定されることもそうだと思いますが、生命として一回誕生したらそれが複雑な形で多様化をしてきて、現在

のわれわれが知る生命を作ってきたというストーリーが多分受け入れられていると思います。そうすると、出発点がある程度見えてくれば、この後ろの解釈とか理解がある程度完結することになる。生命の起源についての問いの重要性はそこにあるのですかね。

豊田： おっしゃるとおりです。分子集合体の粒子ができて、その粒子がまたばらばらに小さくちぎれてしまっただけで連続性がないわけです。また、粒子が大きくなって分裂して、また大きくなって分裂していくというプロセスの繰り返しが起きても、常に同一の成分で起きている状況では、それは生命としての継続性はありません。ある程度成分を変えていたり、構成している物質の量を変えていながらも、太って分裂するというプロセスが連続していることがおそらく大事です。それを頑健性、ロバストネスというのですが、これができるような細胞程度の大きさをもつ粒子が生命の起源には重要です。なので、それがどういう条件だと発現し得るかをたぐっていこうという研究が、生命起源の構造的な研究です。

これに対して、生命起源の探索的な研究は、それこそ微化石の研究で、その当時の地層における代謝物の生化学、つまり化学として、化石の中に閉じ込められた化合物がどのようにつくられていたのか、を探っていく研究になります。あともう一つは、極限環境、特に生命起源と考えられているような深海や間欠泉の近くの環境、を調べて現在日常に見られるような真核生物と原核生物、それから古細菌以外の生物のようなものを探り当てていくという取り組みがあって、この3つが生命起源の研究に関わっているとと言えます。

さらに近年そこに4つ目が加わろうとしていて、地球外生命探査という、地球の生命起源ではなく、宇宙にまでテリトリーを広げて生命探査をしていこうというものが加わってきていると思っています。その4つのアプローチがうまく組み合わさることによって、生命の起源にせまり、人類の発展に寄与する研究になっていくと思います。

見上： 最後の地球外生命探査は、地球でわれわれが認識をしている生命システムとは違った可能性を探索していることだと思いますが、それはわれわれが一般的に理解

をするような生命、あるいは科学的な意味での生命の定義にも大きく影響するというか、場合によってはわれわれが生命と思っているもの以上に、生命の存在を認識することになると思いますが、そのような可能性もやはり議論されているのでしょうか。

豊田：そこは、アメリカのNASAが地球外生命探査をするためのよりどころにしている定義があります。いわゆるダーウィン進化が化学物質の代謝で起きているような個体をまずは見つけようというものです。それが地球型の生物と同じものかどうかは分からないけれども、生命をかなり広い意味での化学物質の塊とみなして、ダーウィン進化自体も単なる情報の変異と淘汰(とうた)の繰り返しを考えます。だから、DNAにも限りません。なので、私たちがこれまで地球で目にしてきた生物とは違う生命体が見つかる可能性は十分あります。

見上：場合によっては分子ロボットで作ろうとしていたものが、急に地球外に生命として存在をしていたなんていう可能性も出てくるわけですよ。構成要素だったり、使っている材料としてわれわれが理解している生命とは違うものを使っているの、

これはロボットとして構築したシステムなのだけれども、そのような可能性が広がることで、生命として別に存在をしているものと基本的には同じシステムを使っているという認識が変わってくることもあり得るわけですね。

豊田：あり得ます。ただ、いろいろな先生との議論からは、分子ロボティクスで目指している構造体に求める機能として、増殖というのは今のところはターゲットにはしていないそうです。環境変動も含めたインプットに対して、演算処理を行い、アウトプットとして何か放出したり、動いたり、力を発生させたり、もしくは記憶や学習のような高次の機能の発現に貢献するものをつくることになっていて、増殖という生命の性質に関しては、そのアウトプットの中に入れていないと伺っています。

ただ、DNAに限らず情報を管理できるような物質は、リーダーとライターがあれば情報はコピーされて、その情報は活用されます。ですから、分子ロボティクスでは自己増殖をすることを目指さないわけではなく、やろうと思えばできるけれども、あえてそこは今はまだトライしていないという

言い方もできるかもしれません。

見上： そのお話を伺っているとウイルスはロボットというイメージになりますが、そういう理解でよろしいですか。自分では増殖できないけれども、何らかの形でシステムに載って増殖をする可能性は否定しないというイメージかなど。ウイルスというのは結構そういうものかと思いました。自己増殖はしないけれども、増殖をするようなシステムの中にその要素が入り込むことによって増殖が可能になるという。

豊田： それはすごくいい点を突いていると思います。ウイルスはロボットかと言われた時に、ウイルスはDNAやRNAをもつ粒子なので情報媒体であり、リーダーやライターは宿主の細胞にあるので、ロボットとは異なると考えています。でも、宿主の細胞に侵入していきける表面をウイルスを持っているので、そういう機能があると言うならばロボットとしての側面は結構あるかと思います。

見上： ウイルスは生命かというのと、その答えは科学者の方の中でも一致しないというか、いろいろな視点を持っている方がいらっしゃると思います。それはやはり生命

の定義が定まっていないことにも大きく影響している部分があるのでしょうか。

豊田： それはおっしゃるとおりだと思います。生命の定義については、それぞれの研究者の方たちが、言ってみれば仮定義という形で取り上げ、それに従って分類したり、ご自身の研究対象を意義付けしています。そういう意味では先ほどのNASAによる生命の定義も、それだけではないはずだという科学者もいることは聞いています。

いろいろな科学者が生命の起源について論じる本を出版したり、論文を発表したりしていて、生命の起源と名の付いている書籍や論文は1,000を超えるらしいのです。だから、私も人工細胞の研究をする時には、こういう人工細胞を作るという形でまずは明確な定義をしてから研究に取り組むようにしています。

見上： 先ほど進化の話で、同じものが大きくなって、それが同じものを常に作り続けるという自己増殖では、継続的な進化を遂げてきた生命の流れを説明するには十分だというお話がありましたが、進化とはどちらかというとならぬと思っています。

同じものを作って分裂して、また同じものを作っていくというプロセスがあるが、そこにどのくらいエラーを起こす可能性が含まれているかによって、他のものが混ざってしまったり、同じものを作っているはずなんだけれどもバランスが変わってしまったり。進化というのはそのことによって他の可能性が生じてくることだと。このことと最初に分子ロボットの話をした時の制御の度合いはつながってきているように思います。つまり、分子ロボットが増殖することになったとしても、やはりエラーが入り込まないように抑え込みたいというか、同じものが増殖するように制御をかけたいという考え方になるのかなと思いました。やはり進化と生命は非常に強いつながりがあるというイメージを先生もお持ちですか。

豊田： それはそうですね。われわれが普段目にするロボット、産業ロボットもそうですが、部品レベルまで見た時に、一個一個のばらつきがないように、マイクロメートルのレベルで厳密に作られたものを使って、求めたデザインに対して求めた出力を出させようとするわけです。

分子ロボットをつくっていく時にも、一個一個の部品に相当する分子が寄せ集まってロボットになっていくわけですけど、その分子自体が一個一個全く同じものかという、そうではありません。例えばDNAだったら、同じ塩基配列を注文していても、本当に同じ配列で同じ長さのものが100万本あるかといったら、ちょっと短いものや長いものも、100万本中に数本レベルであるかもしれません。そういったばらつきは認めざるを得ないのです。そのばらつきが蓄積されていった時に、今おっしゃっていたようなばらつきを認めない制御が必要になっていくので、うまくできたロボットとうまくできなかったロボットの比率をどう制御するかという、また新たな実験条件の考察に入ることになると思います。

逆に言うと、分子ロボットの中で不良品とまでは言えないけれども、絶妙に働けないロボットも一定の割合で出てくるはずですよ。そこから進化に絡めていくというような研究は、非常に有用な価値があると私は思います。

見上： そこら辺が先ほどおっしゃっていたプラスアルファ的な混沌（こんとん）と

した世界への入り口でしょうか。本当は完璧なロボットが同じように作られて、それが製品として出荷されていくことが望ましいのだけれども、その中にはある種ドラえもん的にも言える、同じではないために質が悪いと思われるけれども、ちょっと違った形で働き始めるようなものが出てきて、そこに広がりの可能性が生じるような、そういうイメージですかね。

豊田： そうです。そのような、いい意味で出来上がったもの自体のばらつきを、1軸で評価すると不良品のような感じですが、2軸、3軸、4軸と評価軸および測定方法の方法論を人間側が認めていくことができれば、多分そのようなことができるし、生物であれば、最後には淘汰（とうた）が関わることになります。

だから、分子ロボットが別の状況になった時にも機能し続けられるか、環境変動に耐えられるか、という研究課題は、生物には地球上で経験してきた40億年分の外乱があるので、分子ロボティクスの研究でもこれから興味ある対象になるのではないかという気がします。

見上： 今のお話と関係して、生命とは何

かを考える時に、われわれは一個体単体で見がちだと思います。でも、例えば分子ロボットは今おっしゃっていたように本来デザインした形ではない可能性があって、環境の中で耐えられないとしても、それが単体としては耐えられなくても、他の分子ロボットと同じ環境に置かれると相互作用で耐えられるようになるというような可能性も否定できないと思います。なので、生命の起源をたどっていく時に、その一つのシステムに起源を求めていくことと、複数システムが共存するタイミングが偶然にでも発生したことによって、それが生命として広がることができるようになったと考えるのは違うのかなと思います。やはり生命の起源は一個の個体に集約するイメージなのではないでしょうか。

豊田： その観点も非常に重要です。先ほどお伝えした、ダーウィン進化する化学反応の代謝を続けられるものという生命の定義でも、遺伝子という情報をつかさどる物質があってもそれにはばらつきでできて、しかも、それは生物の継続性のなかで淘汰されるということから、やはり一つのシステム、原始の細胞、に集約されると思い

ます。ただ、これは人工細胞の研究をやっているから私が思うところなのですが、生命の基をたどって一個にいきついたとしても、その周りには出来損ないがいっぱいいるはず。出来損ないたちは食べられる側や吸収されてしまう側であり、多分犠牲になっています。だから、一個に集約していく道筋をたどっていく時でも、それぞれの時代に犠牲になったものたちが物質レベルでもありますし、生命にはなれなかったけれども生命の形質を持っているようなものたちが、その当時はさらに存在してよかったですのではないかと思います。

見上： そうなってくると、一個体を見た時にこれが生命かどうか判断するのと、環境との関わりの中で生命として認識することができるかを考えるのは違う問いというか、少なくとも違った答えを導き出し得るのかなという気がちょっとしました。

豊田： そうですね。JAMSTEC の研究報告だったと思いますけれども、深海の微生物でも微生物と言えるかどうか分からないものが発見されています。研究者が準備している実験環境では増えません。だから、単なる物質と言い切れなくもないけれど

も、生物に関連する DNA をもち、その塩基配列を現存している生物の塩基配列と比較すると、近いものがあるそうです。仮に、人間が増やせない理由が、有限の観測時間内で単に増殖できないだけなのか、それとも、増えることがなく犠牲になる側の物質の塊になっているかは興味深い問題だと思います。

深海には、さまざまなバクテリアや多細胞生物がたくさん生存していますから、そういう中で、単純に物質として DNA を持った粒子が集まっていたとしても不思議はないです。

見上： 話が少しずれるかもしれませんが、今日伺おうと思ったことの一つに、豊田先生は、あるいは豊田先生の研究領域では、生物と生命は区別されているのでしょうか。もし区別されているのだとすると、それはどう区別されているのですか。

豊田： 私個人の意見としては、地球上に現存している生命体を生物と表現していて、そうではないけれども生体関連物質で出来上がっているものも含めた場合は生命体と使い分けているつもりです。だから、生物のほうが定義としては狭く、生命体は

もうちょっと大きいです。

見上： そうなってくると、生命を持っている非生物がいてもいいということですか。

豊田： はい。生命を持っている非生物がいてもいいと思っています。

見上： 非生物に対しても生命を見いだすことを人間はしていると思います。例えば感覚として捉えるような生命観と、科学として定義をする生命は必ずしも一致しないという感覚はお持ちですか。

豊田： 例えばすごく精巧にできたヒューマノイドを人間だと思ってしまうような感覚のことでしょうか。それはやはり否定はできません。サイエンスフィクションの立場を拝見すると、そこに人が全ての営みを懸けてでもやりたい創作活動があると思いますし、表現の一つにもなると思いますし、生物ではないものを生命だと思って作り上げたり表現したりすることは、これまでずっと続けられてきた営みではないでしょうか。

見上： われわれが認識するような生物に近い外見だったり、触れた感じであったり、動きであったりが近似してくればくる

ほどに、感覚としてはそこに生命のようなものを見いだしがちだと思います。例えばSONYのaiboは、犬に似せていると言えば似せていますけれども、多分触った感じも犬ではないし、見た目も犬型だということは認識できても、犬と見間違えるほどに犬に見ているわけでもないと思います。でも、それが実際に生きているかのように扱っていたわけですね。例えば分子ロボットでも、アメーバ型のような比喩というか、例えを持ち出してきて、それを特徴付ける時に生物をイメージさせるということがありますが、ロボットの作成を目指す研究のアプローチとして誤解を招きかねないのではないかと思います。このことについて何かお考えはありますか。

豊田： 誤解というと、その誤解を積極的に研究者が利用しているケースと、その誤解を基に解釈されると困ることもあるのではないかということでしょうか。

見上： 両方ですかね。分子ロボットはかなり制御されたものとして生命とは線引きができるはずのもので、そちらを目指しているということでしたが、一方でそれが一線を越えてしまうようなタイミングももし

かしたらあるかもしれないというお話があったと思います。目指している方向性として、例えばアメーバ型という形で生物を例えとして使っていることが、分子ロボットが目指そうとしている研究の内容をきちんと伝えることにつながっているのかということが一つです。

一方で、そのような生物に近いものとして提示することで、例えば一般の市民や、支援してくれる研究助成機関、あるいは近い分野の人たちなど、分野の研究者以外の人たちがこの分野に関心を寄せてくれるかもしれないという可能性も含めて、本来自分たちがやろうとしていることとちょっと違う見せ方になっている部分があるのではないかとも感じたので。

豊田： まず、分子ロボティクスで目指しているような、精緻に設計されたアウトプットについて、生物がもつある特定の機能とか、生物が持っていないような機能でも、それをアウトプットとして定義してしまえば、それに向けて精緻に、入力を感じ取る部位や演算処理をデザインして、アウトプットを求めていくということなので、そこは特に食い違いはないと思います。

一方で、科学として作り上げていったものを、アナロジーというか、似ていながらも非なるものなんでしょうけども、似せていく方向に目立たせていくようなことは、研究者個人の姿勢の違いがあって、それを積極的に使う研究者もいれば、徹底的に距離を置きたいという研究者もいると思います。そこは多分考えたい研究課題の抽象度が関わっていて、生命体としての側面を純粋に例えば数理的に、あるいは物質的に探求していきたいと思っている研究者は、そういうアナロジーや比喩を使って表現していくことには抵抗があると思います。一方で、動きや外見、機能が生物や細胞の一面を捉えているように思えるものであれば、それを積極的に伝えていくことで新たな研究につなげようとする、もしくはそこからヒントを得て次の研究につなげていくという研究者もいると思います。

見上： 今日お伺いしたいと思っていた内容はだいぶカバーしたと思いますが、先生からこの生命とは何かというテーマで対談するに際して、話しておきたかったり、伝えておきたいことがあったら最後にお伺いしたいです。

豊田： 体内にある RNA の基を使って、ワクチンとなる RNA を体内で生産させて、ワクチンの効果を上げようとする研究がスタートしています。要するに体内のリソースを奪う形で薬効を発揮させるシステムが提案されて臨床研究も行われていますし、市販のラインに乗せられるかどうかの検証が始まりました。

これは体外由来の RNA をその情報を基に体内で複製させるので、簡単に言えば、ウイルスのような働きを人工的に誘導しようという形です。こういったアイデアがそもそも社会に受け入れられるのかが気になっています。体内だとダメで、体外であればいいのか、ということもあるのかなど。いかがでしょうか。

見上： 社会の認識も環境や外の見える世界に対しては意識が広がってきていると思いますが、やはり体内や見えない世界に対しては、感覚としての効用というか、体調がいい、健康である、病気にならない、そういうことが優先される傾向はどうしても強いと思います。分子ロボットの研究の方向性としても、解放環境系で使うようなものと医薬系で体の中で使うようなものを

どう区切ってどう議論していくかは重要なポイントになるかもしれないですね。

豊田： それは今回の生命とは何かという問いにも関わっていると思ったので、ご意見頂いたところです。

見上： はい、ぜひ今後も議論をさせて下さい。予定していたよりもだいぶ長くなってしまいましたので、ここら辺でおしまいにさせていただきますと思います。ありがとうございました。

さらに知りたい人は・・・

●ピエル・ルイジ・ルイージ (2009)『創発する生命—化学的起源から構成的生物学へ』(白川智弘, 郡司ペギオ幸夫訳), NTT 出版.

●クリストフ・マラテール (2013)『生命起源論の科学哲学』(佐藤直樹訳), みすず書房.

●山岸明彦 (2016)『アストロバイオロジー：地球外生命の可能性』, 丸善出版.

編集後記

このレファレンスブックは、2022年3月にまずVer 1.0を発行し、その後Ver 2.0、Ver 2.1と改訂を行った。その間に、主な想定読者である自然科学を専門とする学生や研究者に知っておいてほしい研究・イノベーションや科学技術の社会的側面に関して、編者らで議論を重ね、項目の追加と内容の加筆修正を行ってきた。2024年秋に公開されるこのバージョンはその集大成である。この編集後記では、今までレファレンスブックを編集するにあたって、意識した点や反省点を述べる。大きくは、(1) シンプルな文章とすること、(2) 知識のすり合わせをすること、(3) 図表の提示について、(4) 自身の研究がどのように社会に埋め込まれるかを自分ごととして捉えてもらうこと、(5) 項目の順序について、という5つの事柄である。

まず、レファレンスブックの作成にあたり常に心がけてきたのが(1) シンプルな文章とすることである。人文・社会科学と自然科学はそれぞれ独自に発展してきた分野である。そのため、それぞれの分野が発展の過程で培われてきた文化を有しており、それは文章の読み方や書き方としても

現れる。レファレンスブックの想定読者は、自然科学系の分野の学生・研究者である。自然科学系の分野や研究者も多様ではあるが、言い切った書き方を好んだり、一文が短いなど、比較的シンプルな文章の方が読みやすいと感じる人が多いように思う。実際、そのようなコメントを分子ロボット分野の研究者からいただいたこともあった。一方、このレファレンスブックの筆者は、人文・社会科学や学際科学分野出身の研究者や、自然科学を専門としたのちに、科学技術社会論に転向した研究者である。それぞれの分野や個人の文章の書き方を土台としながらも、自然科学系の分野を専門とする想定読者がすんなり読めるように依頼した。この点について、執筆者の方々に大変なご協力をいただいた。

また、編者らは、想定読者が人文・社会科学に関する背景知識をどの程度有しているかを意識しながら執筆してほしい旨を執筆陣に度々お願いした。このレファレンスブックは、PIレベルの研究者から学部生まで、幅広い世代に読んでもらうことを期待して作られている。そ

のため、幅広い人文・社会科学に関する知見に関して知識を有する人々(例えば、人文・社会科学の事柄に元々関心を抱いている人、一般教養の授業をとった経験がある人、大学のセンター試験や共通テストで地歴公民を受験した人、高校などの中等教育課程の間で受けた授業で習ったがあまり覚えていない人など)に、どのような内容を、どのように表現をすれば伝わるのかということは工夫を要するところであった。プロジェクトの活動を通じて、人文・社会科学系の研究者と自然科学系の研究者の有する知識の範囲には違いがあることを痛感したとともに、このようにすり合わせがある程度は可能であると実感できたことは編者として大きな学びであった。これが(2)知識のすり合わせをすることにあてはまる。

そのようなすり合わせは、有する知識の範囲の違いに関してだけではない。日頃から実験結果をスライドや論文中で見やすいように効果的に表している実験系の研究者が多くいる。その慣例を模倣するべく、視覚的に訴えるよう、図表を用いると自然科学の研究者がわかりやすく

感じる可能性があるというコメントをしたこともあった。その結果できたものが「市民参加」の図や、「バイオエコノミー」の表である。しかしながら、このような積極的な図表の活用は2つの項目に止まっており、この(3)図表の提示は反省点の一つである。今後、どのように図表を提示すれば効果的かを検討することが重要であろう。

さらに、このレファレンスブックを作成する際には、(4)自身の研究がどのように社会に埋め込まれるか、なぜ社会に生きる科学者以外の人々との協働が必要なのかを自分ごととして考えてほしいという願いがあった。執筆された原稿に対して、「自然科学の研究者が社会と関わることに関心を示し、重要視するように誘うことが肝要である」というコメントをしたこともあった。自然科学の研究者が、自身と一見関係のない社会と関係を構築することに関心をもち、労力も想定するよりはさほどかからず、研究者自身はその作業に関わっていくことにメリットがあるように思ってもらうように誘うことも、レファレンスブックに収録した項目の重要な役割であるという趣旨の

コメントであった。自然科学の研究者は日頃から厳しい研究競争の中にあり、忙しいことは承知している。しかしそれをふまえても、研究と社会の関わりは日頃から考えていた方がよい。そして、ぜひ、自然科学の研究者には自身の実験や研究と社会との関わりを自分ごととして捉えてほしい。だからこそ、研究に関わる用語についてはできるだけ日常的に研究室内で使用する言葉を使用するように執筆者にお願いしたこともあった。

そして、(5)項目の並びに関しても、科学技術が社会に浸透する順を考え、科学技術の内輪の議論から、徐々に社会との関係性に関する議論になるように配置をした。研究とはどういうものか、研究者としてどのような姿勢を取ればよいかという内容の項目が先にあり、その次に研究者が市民や社会とどのように関わってゆけばよいかについての議論を提示するという並びである。そして、このレファレンスブックが分子ロボット分野の研究者との連携の中で誕生したものであることを反映して、分子ロボット研究やそのほか、科学技術に関する研究をしている学生・研究者にぜひ読ん

でもらいたい過去の議論を後半にもってきた。特に前から順番に読み進んでもらうことを前提としているわけではないが、いくつかの項目を読む中で他の項目にも興味を持ち、全体を通して読んでくれる読者が出てくるかもしれない。そう考えると、項目の並びにこだわり、意味合いを持たせることも重要だと思われた。

このレファレンスブックはプロジェクトメンバー、プロジェクト外の執筆者の方々、コメントをくださった方々、対談に協力してくださった小宮健氏と豊田太郎氏、そして分子ロボット研究者として作業に対してご支援いただいた小長谷明彦氏、瀧ノ上正浩氏の協力なしには作成できなかった。ここに感謝を表したい。特に、執筆者の方々には、編者からの無理なリクエストに答え、大変な作業をしていただいた。そのおかげで、とてもわかりやすい文章を読者に提供できるようになったと思う。また、最終版に向けての修正や装丁などについては科学コミュニケーション研究所（さくり）に多大な貢献をいただいた。お礼申し上げます。最後に、本書の作成は、JST RISTEX 科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題

(ELSI) への包括的実践研究開発プログラム (2021 年度採択)「研究者の自治に基づく分子ロボット技術の RRI 実践モデルの構築」研究開発プロジェクトによって実現した。プログラム統括とアドバイザーにも、ここにお礼を申し上げたい。

分子ロボティクス分野の研究者をはじめ、多くの自然科学系の研究者にぜひこのレファレンスブックを読んでもらいたい。そして、RRI や研究と社会に関して、どのように議論がなされているかを把握し、RRI の重要なキーワードにもなっている「未来へのケア」を実践する糧にしてもらえ、願ってやまない。

2024 年 9 月

西 千尋

「研究者の自治」のためのレファレンスブック

2024年9月30日 発行

編者 西千尋・桜木真理子・見上公一
連絡先 慶應義塾大学理工学部見上研究室
〒223-8521 神奈川県横浜市港北区日吉4-1-1
慶應義塾大学日吉キャンパス 来往舎
TEL: 045-566-1193 / FAX: 045-566-1102
協力 科学コミュニケーション研究所

JST 社会技術研究開発センター (RISTEX)

科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題 (ELSI) への包括的実践研究開発 (RInCA) プログラム

「研究者の自治に基づく分子ロボット技術のRRI実践モデルの構築」研究開発プロジェクト

(2021年度採択、JPMJRX21J4)

ISBN 978-4-910628-08-0

発行 CBI 学会出版

