

ゲノム編集時代の科学コミュニケーション

川上 雅弘

The Role of Science Communication in the Era of Genome Editing

KAWAKAMI Masahiro

1. はじめに

本稿は、2023（令和5）年1月25日に開催された世界問題研究所研究会にて発表させていただいた内容をまとめ、大幅に加筆修正したものである。

2. 科学コミュニケーションの多義性

地球上の生命はどのように誕生したのだろうか。自然の仕組みはどのように成り立っているのか。肉眼では見ることができない微生物を含め、なぜ地球上には幾多の生きものがあるのだろうか。このような疑問は、研究者に限らず、多くの人が一度は抱いたことがあるのではないだろうか。このような素朴な疑問から出発する純粋な科学探究の営みがある一方で、近現代においては科学探求の結果は技術と結びつき、エネルギーの創出、清潔な環境の維持や薬など、人々の暮らしに不可欠な仕組みを構築する基盤になっている。このような科学技術の発展は人類社会に変化をもたらし続け、20年前、いや10年ほどで私たちの生活は各段に便利になったと感じられるし、これからもその変化は絶え間なく、科学技術がますます社会を様々に変化させていくと言っても差し支えないであろう。

しかし科学技術の発展は恩恵を生み出すばかりとは限らない。地球温暖化の要因とされる二酸化炭素などの温室効果ガスは、人々の日々の営みの中で生み出されている。都市化の進行や耕地を作るために山や森林がなくなることは生態系や自然環境に深刻な影響を与えることとなる。近年ではプラスチックによる海洋汚染が大きく注目されているが、元々は自然界に存在しなかったプラスチックを生み出したのも科学技術によるものである。プラスチックは安価で成形の自由度が高いがゆえに様々なものが作られ、代替されてきた結果、地球上には大量のプラスチックが存在するようになっている。適正に処理されなかったプラスチックが河川を通じて海洋に流出し、海洋を漂いながら小さな破片に

なっていくことで世界中に海洋汚染が広がっている。このように科学技術の発展は、人類の生活を豊かにすると同時に過去にはなかった様々な問題も生じさせている。

1999年にハンガリーのブダペストで開催された世界科学会議において、21世紀の科学、科学技術のあり方が議論され、ブダペスト宣言（科学と科学的知識の利用に関する世界宣言）が採択された。この宣言では、「知識のための科学（進歩のための知識）」「平和のための科学」「開発のための科学」「社会における科学と社会のための科学」といった4つの方向性が示されている。最初の「知識のための科学（進歩のための知識）」は、純粋な科学探求の営みを想起する内容であるものの、他の3つからは科学が社会の中に組み込まれていることを前提として掲げられた内容になっている。そして、特に4つめの「社会における科学と社会のための科学」では科学者の社会的責任や研究の品質管理、知識の共有、社会との意思疎通、若い世代への教育などを求めた内容となっており、「科学コミュニケーション」と呼ばれる分野が広がることになる重要な転機になったと考えられている。

ここで「科学コミュニケーション」という言葉について説明しておきたい。科学コミュニケーションは、「難解で敬遠されがちな科学の情報や話題をその内容にあまり認識を持たない非専門家に分かりやすく説明すること」と端的に解説されることが多い。筆者自身も短時間で説明せざるをえない場面ではこのように解説することがあり、このように認識している人は多いかもしれない。この解説自体は間違っていないが、十分な解説ではないことを付記しておきたい。他にも様々な「科学コミュニケーション」の解釈がなされており、様々な意味を包含した言葉という認識の方が適切ではないかと筆者は考えている。内容の理解が難しく説明が分かりにくい場合でも「科学コミュニケーション」と言うことはできるし、科学の専門家と非専門家との対話促進を目的とした活動それ自体を科学コミュニケーションということもある。一方で、科学が話題になる際に、科学の専門家がそこに居ないと成立しないといったことはなく、たとえ科学者と呼ばれる人がいたとしても、研究領域が細分化されている中では、他分野の話題に関しては専門家と呼べるほどの知識を持ち合わせていないということもよくある。ある科学コミュニケーションの専門家は、科学リテラシーを高めあうことに寄与するコミュニケーションのことを全て科学コミュニケーションであると説明していたり、文部科学省は、「科学のおもしろさや科学技術をめぐる課題を人々に伝え、ともに考え、意識を高めることを目指した活動」のことを科学コミュニケーションと解説し、研究成果を人々に紹介するだけでなく、その課題や研究が社会に及ぼす影響をいっしょに考えて理解を深めることの重要性を強調している。広く捉えると科学に関するコミュニケーション全般を科学コミュニケーションということもでき、なかなか定義することが難しい。とは言え、筆者なりに「科学コミュニケーション」について説明するならば、「科学の価値」を共有し、より良い社会を創るための手段といったところである。「科学の価値」には、人類の発展と社会課題の二つの側面があると考えているが、人類の発展には科学の真理探究によって得られる知やその知から生まれる科学技術が含まれる。一方で、科学技術がもたらす社会課題を明ら

かにすることやその課題について多くの人に認識してもらうことも、社会課題を解決する道筋作りや危機管理の方策に繋がるため、社会課題も科学や科学技術にとって同様に大きな「価値」を持つものである。これらを区別せずに扱いながら、科学について様々な人に伝え情報や認識を共有していくことを「科学コミュニケーション」と呼ぶと考えている。

ブダペスト宣言が「科学コミュニケーション」にとって転機になったと記したが、日本においては1999年のブダペスト宣言が、それ以降の科学技術基本計画に取り込まれる形で広がっていったことが見て取れる。1996年に策定された第1期科学技術基本計画では、「科学技術に関する学習の振興及び理解の増進と関心の喚起」というフレーズで表現されているが、これは1960年代以降から行われてきた一般の人々に対する科学技術への理解増進・興味関心の喚起の潮流と変わらない科学の普及・啓発への言及であった。しかしながら、ブダペスト宣言の後、2001年に策定された第二期科学技術基本計画では、「社会のための、社会の中の科学技術」が強調されるとともに、研究者による一般の人々への研究成果の情報提供の取組みの推奨や、科学技術活動についての社会とのチャンネルの構築を求める内容、科学技術に関する倫理、研究者の社会的責任への言及が見られるようになった。第1期科学技術基本計画の実施時期までは、科学を伝えることが専門家の役割として強調されていたが、第2期からは専門家に対して社会を学ぶ意識が強調されるようになったと言えるだろう。また2001年に設立された科学技術社会論学会において、海外における科学コミュニケーションの取組みや役割が紹介されたり、2004年公表の「平成16年版科学技術白書—これからの科学技術と社会—」の中で科学コミュニケーションに関する記述が多く見られたことなども、「科学コミュニケーション」の概念への認識が広がる契機になったと言われている。そして2006年策定の第3期科学技術基本計画では、「社会・国民に支持され、成果を還元する科学技術」が掲げられ、科学技術に関する説明責任や情報発信の強化とともに国民の科学技術への主体的な参加の促進、そしてこのような活動を担う人材として科学技術コミュニケーター育成といった具体的取組みへの言及へと展開した。さらに2011年に策定された第4期科学技術基本計画では「社会とともに創り進める政策の展開」の下、国民の政策への関与を高めるための支援や国民と研究者らの双方向での対話促進、倫理的・法的・社会的課題への対応が明文化され、専門家による社会との協働が強調されるようになった。2016年の第5期科学技術基本計画では、「社会の多様なステークホルダーとの対話と協働」として専門家と社会との対話・協働の深化とともに、共創的科学技術イノベーションの推進がうたわれている。2021年の科学技術基本法の改正による人文科学のみに係る科学技術やイノベーションの創出が法の対象に追加されたことなどで、第6期科学技術・イノベーション基本計画では、表立って社会との対話・協働を強調する文言は見えなくなった。しかし、科学技術・イノベーションを活用した社会の実現を目指す中の文言に、制度・ルールや、それを支える技術・インフラ基盤の1つとして社会との対話・協働が含まれていることが示されている。

このように、この四半世紀の科学技術政策の進展の中で、「科学コミュニケーション」の概念やスタイルは、科学技術の理解増進から対話や協働を重視する内容に転換するとともに、これらを促進するツールや人材育成の基盤的役割を担うものに大きく変化してきたと捉えることができる。

3. 専門家コミュニティから生まれた社会課題への取組み

1972年にアメリカの核物理学者のアルヴィン・ワインバーグは、科学技術と社会に新たな関係が生まれていることを指摘し、「トランス・サイエンスの出現と拡大」と表現した。それまでの真に知的関心による知識生産としての純粋な科学領域には、政治の領域と接点を見出す必要はなく、逆に政治とは切り離すべき対象と考えられていた。しかし、科学技術の高度化とともにその社会的影響が大きくなるにつれて科学技術のリスク評価の場面が増えてくると、科学的問いだけではその対応への意思決定に必要な情報を十分に得ることができなくなった。つまり、リスクを評価して何かを決めるためには政治的要素を加味する必要性が生じ、科学が関わる内容であるものの科学的問いで回答できる領域を超え始めるのである。ワインバーグは、このような科学と政治が交差する領域を「科学によって問うことはできるが、科学によって答えることのできない問題群」と説明し、「トランス・サイエンス」と呼んだのである。さらには、「トランス・サイエンス」領域の検討が科学の専門家だけではできないことを指摘し、専門家は利害関係者や一般市民を巻き込んだ公共的討議に参加しなければならないと述べている。このような指摘が1970年代になされていたことに驚く一方で、近年の科学コミュニケーションが果たす役割に示唆を与えているとも感じる。

一方、生命科学の領域からも、1975年に開かれたアシロマ会議の足跡を紹介しておきたい。1970年代は遺伝子組換え技術の開発黎明期にあたる。これらの研究の中心にいた米国の生化学者のポール・バーグらが主導して28ヶ国から140人ほどの専門家を集めて議論し、遺伝子組換え技術に関する研究ガイドラインを作成したのである。このガイドラインはその後、各国での遺伝子組換え技術の扱いに関する法規制の規範になるなどしている。今日においてこの会議は、研究者コミュニティがその技術の懸念点をいち早く察知し、自らルール作りをすることが社会の安堵と信認をもたらし、科学研究の自律性の土台となることを示した重要な例とされている。

そして1990年頃から始まったヒトゲノム解読計画におけるELSI研究は、科学と社会の間に生じる課題に焦点を当てた研究プロジェクトの重要な起点になったと考えられている。ELSIとは、Ethical, Legal and Social Issues（倫理的・法的・社会的課題）の頭文字からなる言葉で、研究開発の成果が社会に与える影響について、倫理や法制度、社会の側面からあらかじめ検討し、対応する取組みを指す言葉である。アメリカのヒトゲノム解読プロジェクトのリーダーであったジェイムズ・ワトソンが、「ヒトゲノムが解読されると社会に対してどのような影響を及ぼす可能性があるか」について検討の

必要性を訴え、倫理学者や法学者、哲学者などからなる研究チームが作られて始まっており、米国ヒトゲノム計画の研究プロジェクト予算の約3%を充てていたとされている。遺伝情報による差別や遺伝子検査のあり方など、様々な検討課題が浮上し、その後の法整備や人材養成にとって重要な役割を果たしたとされている。ELSIの検討は、その後、様々な分野に広がり、欧州ではRRI (Responsible Research and Innovation: 責任ある研究&イノベーション) と呼ばれる概念に発展している。

4. ゲノム編集技術の登場と広がり

1990年に始まったヒトゲノム解読計画プロジェクトの解読完了は、2003年に報告された。ヒトでは染色体を構成するDNAが約30億対の塩基 (A, T, G, C) からなっていること、そのうちの遺伝子としての役割を持つ配列は2%ほどしかないこと、タンパク質をコードする遺伝子は約2万2千個ほどであることなどが新たに分かった。このようにDNAの塩基配列の詳細が分かり、この情報がデータベースとして整備されると、世界中の研究者が、DNAのどの部分にどのような遺伝子があるのか、その働きを調べるといった研究が加速度的に進展することとなった。このような研究の進展とともに、多数のヒトゲノムの解読が進むとゲノムの個人差の比較ができるようになり、塩基一文字の違いで性質が異なる一塩基多型と呼ばれる違いが多数発見された。一塩基多型の違いを調べることで、その人の体質の特徴が分かたり、遺伝性の病気の原因遺伝子が判明するなどの報告が行われている。さらには医療機関を介さずインターネットのウェブサイトを通じて誰でも入手可能なDTC遺伝子検査 (医療用以外の遺伝子検査) への利用も広がり、民間企業の参入が起こっている。このように20世紀末に進んだヒトゲノムプロジェクトによって、ゲノム解析技術は精度が高まるとともに時間や費用などのコストが格段に下がったことで、商業化が進むようになった。その一方で個人情報の管理や望まない利用法への懸念も高まっており、一般市民への認識の広がりも課題となっている。

この一方で、DNAを操作する技術の進展も著しい。1970年代に開発された遺伝子組換え技術によって異なる種の遺伝子でもゲノム中に導入することができるようになったが、この方法はホストのDNAの特定の場所を定めて遺伝子の塩基を導入することはできなかった。このような技術的限界を打破したのがゲノム編集であり、ゲノム中の狙った塩基配列の人為的改変が可能になってきている。1996年に第一世代となるZFN法、2010年に第2世代のTALEN法、そして2012年に第3世代となるCRISPR/Cas9法が開発された。ZFN法とTALEN法は、ターゲットの宿主DNAの決まった塩基配列を見つけてDNAを切断するタンパク質を結合させる方法であったが、目標通りにタンパク質をデザインして作成することが簡単でなかったことから限られた研究者の利用に留まっていた。しかし、CRISPR/Cas9法は、ゲノムDNAにデザインしたRNAを結合させる方法であり、それまでより格段に扱いが容易で、オフターゲットと呼ばれるエラーの予測もしやすく、費用も安価であった。このよう

なことから様々な研究者にとって手軽に利用できる技術となり、世界中でこの技術の利用が広がることとなった。現在では、ゲノム編集技術は医療や農業など様々な分野への利用が期待され応用研究が進んでおり、農業分野ではゲノム編集技術を利用して品種改良された一部の農作物が市販されるまでに至っている。また医療の分野においても遺伝子治療の手法として利用され臨床研究が始まっている。一方で、ゲノム編集技術の応用範囲に関して治療とエンハンスメントの境界をどこに引くか、遺伝病を持った胚への遺伝子治療の是非など、容易には答えを出すことのできない課題が生まれている。

5. ゲノム編集時代における科学コミュニケーションの役割（まとめにかえて）

人類は古くから、人間にとって優良なもの同士の交配や選抜を繰り返してより良い作物や家畜を求めてきた。20世紀に入ると、遺伝の規則性や突然変異を引き起こす方法など科学的な手法を利用した品種改良が行われるようになり、20世紀中頃のDNAの発見を契機とする分子遺伝学の発展によって、遺伝子組換え技術を利用した品種改良を可能にした。そして現在ではゲノム編集技術によるDNAレベルの精密な品種改良が確立されつつある。医療分野においても、ヒトゲノムの情報化とゲノム編集技術によってDNAレベルでの治療に道筋がついたと言っても過言ではない状況にある。ゲノム編集によって、生物のDNAを自在に操作し作り変える技術的ハードルがなくなり、もはや人類は創造神のように振る舞える時代を迎えている。技術的なハードルによって閉ざされていた扉が開き、その先にどのような社会を構築するかといった問いは、まさに科学の専門家だけでは回答できない「トランス・サイエンス」的な問いと言えるだろう。

このようなゲノム編集技術を手に入れた現在の社会において、生命を扱う技術をどのように利用していくか、生命科学の進展する方向性も含めて検討し何かしらの決断を下していくことが必要になってくる。また、この決断の積み重ねは、現在の社会に留まらず後世の人類にとっても大きな影響を与えることが考えられる。また食や医療の利用に関する課題は最終的には個人の選択にも行きつくことから、このような判断や決定に対する認識は社会レベルに限らず、個人レベルでも必要になるであろう。個人の科学リテラシーを高めながら、これらの知や現代のELSI研究とも認識を繋ぐこと、社会の様々な集団を含めた対話の促進を目指すといった科学コミュニケーションの取組みや概念が、これからますます重要になるのではないだろうか。まだまだ十分とは言えない科学リテラシー向上のツールや対話促進のためのツールを開発し、対話手法の充実を図ることなど、人々にとってより良い社会の姿を描くための下地作りを進めていくことが、科学コミュニケーションの役割として重要ではないだろうか。個人的にはこういった取組みの充実に努めることを進めていきたいと考えている。

【参考文献】

- 奥本素子, 種村剛, 「まだ見ぬ科学のための科学技術コミュニケーション—社会との共創を生み出すデザインと実践」, 共同文化社, 2023年
- 小林傳司, 「トランス・サイエンスの時代—科学技術と社会をつなぐ」, NTT出版, 2007年
- 標葉隆馬, 「責任ある科学技術ガバナンス概論」, ナカニシヤ出版, 2020年
- 独立行政法人 国立科学博物館 (編者), 「科学を伝え、社会とつなぐサイエンスコミュニケーションのはじめかた」, 丸善出版, 2017年