

3 | 科学技術イノベーションの今後の課題

この章では、「1 科学技術イノベーションの俯瞰の前提」で見てきた世界全体の動きと、「2 科学技術の俯瞰」で見てきた各研究開発分野の動向を踏まえ、今後の我が国の科学技術イノベーションを議論する上で、重要と考えられるポイントを考察してみたい。

(1) 課題を考察する上での背景

2019年末に中国で発生し2020年にパンデミックとなった新型コロナウイルス感染症は、人類社会に不可逆な変化を与え続けている。また、気候変動による温暖化、近年頻発している気象災害、人口爆発による食糧難・資源枯渇をはじめとして、人類の生存を脅かすとされてきた諸々の危機はその深刻さを増している。さらに、米国と中国の対立に起因する不安定な国際関係が国家間の分断を招き、国際協調に悪影響を与えている。このように人類社会は新型コロナウイルス感染症も含めて多くの危機にさらされながら営みを続けている。科学技術と社会との関係が深化しているといわれる今日において、これら危機に対し破綻することなく、早期の復旧・復興が図られる社会（レジリエントな社会）を目指すことが科学技術イノベーションの大きな主題となっていると捉えるべきである。これは我が国においては、第5期科学技術基本計画以降掲げてきた Society 5.0をレジリエントな社会に向けてリデザインしつつ、具体化を進めていくこととも言える。

1999年の「ブダペスト宣言」に象徴されるように、21世紀において科学技術は社会から独立した存在ではなく、社会と相互に影響を与え合う関係にあり、科学技術が社会に対する責任を負うという認識が生まれてきた。2015年には国連の全加盟国が一致して、21世紀の人類と地球の共通ビジョンとして「持続可能な開発目標-2030年アジェンダ」(SDGs)を決議した。ここで設定された17のゴールと169の目標の達成と課題解決に向けて、科学技術が果たす役割は大きいものと期待されている。一方で、大量生産・大量消費等を特徴とする現代社会の基盤には科学技術の発展があり、結果として気候変動をはじめとする多くの社会課題を引き起こしているという負の側面にも目を向けなければならない。SDGsのような社会に直結した複雑な課題の解決にあたっては、科学技術の正負両側面を捉える広い視野で、自然科学だけでなく、経済学、心理学、歴史学、文化人類学等、人文・社会科学分野との学際的連携と、アカデミア以外の多様な関係者との共創的価値の創出といった学際共創研究(トランスディシプリナリー研究)のアプローチが不可欠になっている。

このような時代の急速な変化に伴い、新しい知識の生産に加えて社会課題解決のために知識を活用する方向に科学技術イノベーション(STI)政策が拡大している。2018年以降、毎年内閣府がまとめている「統合イノベーション戦略」は、我が国の科学技術政策が産業競争力、環境、教育等の他の政策分野への貢献を通じて相互の整合性を強め、我が国全体として政策の効果を挙げようとしているものと理解できる。このような科学技術政策と他の政策との連関は、世界的な潮流となっている。例えばEUの科学技術政策である Horizon Europe(2021~2027年)では欧州域内の共通課題である気候変動対策とデジタルトランスフォーメーション(DX)を最優先課題と位置づけている。

(2) 課題として浮かび上がってきたもの

1) 日本のSTI政策の形成とマネジメントの体系化

我が国のSTI政策については、科学技術・イノベーション基本法のもと、科学技術・イノベーション計画等においてその基本方針が打ち出され、その中では社会変革実現への貢献、イノベーションの創出、研究力強化、研究人材・資金、等各種の政策が記載されている。まずSTI政策に関する基本認識として、個々の政策は単

独で機能しているわけではなく、相互に関連して全体として一つのシステムを形成していると捉えることが重要である。それを踏まえた上で、これらの相互バランスはどうあるべきか、どのタイミングで方針の見直しを行うか等について、全体像が描かれていないのではあるまいか。例えば、短期的な経済社会へのインパクトが測定しづらい基礎研究に対して国の資金をどれだけ割り当てるのが妥当であろうか。また課題解決型研究開発やスタートアップ支援等、他の研究開発資金も合わせて中長期的視点での日本全体のポートフォリオを十分な検討を踏まえて組む必要がある。我が国の財政が厳しい中で、国の科学技術イノベーションへの投資を増やす主張を行うためにもこのポートフォリオが必要である。また、かかる主張を裏付けるためにも、STI政策に関する調査や分析、研究が一層活発に行われるべきである。

科学技術と社会との関係が深化し、社会からの科学技術への期待が増大する中で社会課題の解決を目指す研究開発が増加しているが、その変化の中でどのように研究開発を行うか（How）が大きく変化している。例えば、解決すべき社会課題は人々の価値観によって変わり得るが、変化する社会情勢の中で人々の価値観も変わっていく。従って、社会課題対応型研究開発においては研究開発課題を設定する段階からさまざまな専門を持つ研究者のみならず多様なステークホルダーの参画を得て、共創による社会課題解決を目指すことが重要である。このとき、ELSI/RRIの観点も含めた議論も重要となる。また、ほとんどの社会課題は社会制度の見直し等研究開発以外の取り組みと連携して初めて解決に向かうため、これらの連携を取る方法論や調整システムの開発が必要となる。さらに、研究者レベルでの研究開発の実施方法においてもデジタルトランスフォーメーション（DX）を最大限活用した変革が進んでいる。このように、STI政策の形成においては、社会の変化に柔軟に対応し、これまでの経験から得られる教訓を着実に積み上げた上で、既存の政策の維持にとらわれない視点で、研究開発のHowを検討していかなくてはならない。さらに、科学技術と社会との関係が深化していることは、STI政策にとどまらない幅広い政策の形成過程において科学技術の果たすべき役割、言い換えれば科学的助言の役割が拡大していることを示している。直近では2020年の始めより我が国政府の新型コロナウイルス感染症対策について専門家会議が医学的な見地から助言を行ったことが記憶に新しい。しかし科学的助言については、専門家と政治・行政との関係をはじめとして課題が多く、新型コロナウイルス感染症を契機に助言が建設的に機能するための仕組みを検討することが必要である。

もう一つ、実際の施策レベルの問題として、施策の実施結果に対する評価が十分行われないうままに次の施策に移ってしまい、実施段階で得られた多くの知見や教訓が蓄積されず、また関係組織の間で共有されていないのではないか、という点を提起したい。

例えば、「研究評価の大綱的指針」（2012年改訂版）の中では「プログラム評価」の重要性が強調されたが、「プログラム」の実施状況の評価とマネジメントの変更、プログラムの再設計には、ほとんど関心が寄せられず、その活動への人材と資金投入が十分なされていない。そのため、「プログラム」の設計からマネジメントにかけての経験を蓄積・活用しないまま、次の新たな「プログラム」を大急ぎで立ち上げるということを繰り返して、本質的な改善ができない。

この「プログラム」には、それを構成する制度だけでなく、プログラム参画者が制度を運用する際の姿勢、行動様式といった一種の風土のようなものが含まれていることに特に注意を払うべきである。例えば、野心的な目標を設定し失敗を許容しながら研究開発に取り組むためには、研究開発の責任者に大きな裁量を持たせる制度が有効であるが、それだけでは十分ではない。プログラムの期中において、目標に対する進捗度合いを細かくチェックするような評価を繰り返せば、プログラム参画者の中に失敗を恐れず挑戦しようとする風土は育たないであろう。プログラムの運用においては風土への配慮も重要である。

今後、新型コロナウイルス感染症によるさまざまな不可逆な変化に伴い、研究の対象や研究の手法にも大きな変化が生じてくる。その一方で、我が国の研究者人口は大きく減少し、研究環境の維持や研究の質そのものの維持も難しくなってくるであろう。社会の変化や要求に応じた新規の「プログラム」の創設をはじめとする政策の推進にあたって、「プログラム」の設計とマネジメントについて、現在研究者が置かれている状況を十分に踏まえることは当然のこと、過去の施策の問題点や改善策を継続的に検討しておくことが、我が国

全体の研究の質と効率を高め、STIの力を強化することにつながる。

2) 研究スタイルの大きな変化

近年におけるITの著しい進歩はDXと呼ばれる変化を多方面にもたらし、研究開発の方法にも大きな変革をもたらし続けている。センサーを含むさまざまなIoTデバイス、あるいはそれらを実装した機械・ロボットが導入され、実世界（フィジカル空間）からリアルワールドデータを収集し、ディープラーニング（深層学習）を含む機械学習の解析結果に基づいて、新たな科学的知見の発見や、実世界のシステムにフィードバックをかけるような応用が広がってきた。例えばナノテクノロジー・材料分野では国際的な競争が激化しているために、物質・材料の発見から量産化技術の開発までのスピードアップが要求されている。そのために情報科学を用いて材料設計を効率化するマテリアルズ・インフォマティクスのような新しい技術が基盤となるだろう。またライフサイエンス分野でも、自動化、大規模化の流れが見られる。そこでは数理・情報の研究者が先導して、各研究者からのデータ・情報を集約・統合するプラットフォームを作り、モデリングをしていくような体制が主流になるといわれる。

かかる状況下で新型コロナウイルス感染症が拡大し、世界・日本の研究開発活動は広範囲に停滞している。これに対して在宅・テレワークのまま研究を遠隔化するシステム、実験の自動化・ロボットの導入によるラボの省人化などによる研究活動の効率化が図られているが、実験やフィールドワークを主体とする研究においては限界があり、また遠隔で研究を続けていくこと自体に心理的負担を感じる声がある等研究環境上の問題がいくつも顕在化している。元々研究環境の改善・改革については上述してきたDX以外にも、研究者の多様なキャリアパスを想定したキャリア開発、クロスアポイントメントのようなフレキシブルな雇用形態、研究開発費における財源の多様化や合算使用等の取り組みがなされてきているが、今回の新型コロナウイルス感染症を契機に、DXを改革の駆動力としながら、DXのみならず、さまざまな側面から研究環境を構造的に変革していくことが必要である。我が国の学術界や産業界がこのような研究スタイルの劇的な変化に追随できるか危ぶまれるところであるが、変化への対応を促し、またその変化に向けて変革しようとする学術界や産業界を、国が資金面、制度面等で適切に支援することが必要である。

このような研究スタイルの変化に伴って、言語や文化的背景の異なる異分野の研究者、海外研究者との協働もこれまで以上に増えてくるはずである。こうした研究のオープン化、国際化は研究の活性化のために不可欠であると認識される一方、国家による組織的関与等によるオープンな研究システムの不当な利用が、研究システムの健全性を毀損したり、技術流出等を通じて国家安全保障へ悪影響を及ぼしているのではないかと、との懸念が広がっている。そのような懸念に対し、安全保障貿易管理などの規制の強化のみでは、実効性があり、かつ研究の活力も損なわない対応は困難であると考えられ、研究コミュニティ自身が研究システムの健全性・公正性を確保することにより不適切な行為を防いでいく、研究インテグリティの取り組みが改めて重要になっている。また、オープン化の一例として、近年査読前論文をオープンアクセスで公開するケースが増加しているが、論文投稿から公開までの時間が短縮できる一方で、論文の質をどう保つかが課題となっている。オープン化の中で質を維持することも重要である。さらに、AI/IoT、量子、バイオテクノロジーなどは産業競争力あるいは安全保障の観点から、技術覇権争いの対象となっている。近年の米中対立の影響を受け、研究に必要なデータの移転規制が進む可能性があるが、内容に応じて“オープン”と“クローズ”を適切に使い分けることが研究開発の活力と健全性の観点から重要である。

3) 人材に主眼を置いた、独創的な基礎研究、技術基盤への持続的な支援

近年の潮流として、科学技術の知識や経験を社会課題解決等に活用することの期待が高まっている。一方で、長い年月を要して生み出してきた科学技術の「果実」をひたすら刈り取ることだけに目を向けているうちに、次世代の種蒔きがおろそかになる危険があることも事実である。種から芽が出て、しっかりと成長の軸が形成されるまで、安定的に支援する条件や体制を整えることが不可欠である。当然ながら、蒔いた種がすべ

て芽を出すことはない。さらにそれが成長して果実となり、実社会に有用であると分かるまでには相当の期間を待たなければならない。「種」すなわち独創的な研究シーズを生み出す主体は言うまでもなく研究人材、特に将来の科学技術を担う若手人材であり、職業として研究者・技術者を選ぶ可能性のある高校生、大学生等も含まれると解釈したい。

まず研究開発投資の面から見ると、独創的な基礎研究と人材育成のための投資には不確実性が常につきまとう。このようなリスクは国レベルで負わざるを得ない。独創的研究と課題解決型研究への投資のバランス問題は、財政状況の厳しい下で各国の為政者は厳しい判断を求められる。例えば、国連のSTI for SDGsの議論の場で繰り返し強調されているのは、「SDGsへの科学技術の対応は課題解決型だけでは持続しない、良い成果は上がらない」という点である。科学技術への公的投資全体の20～30%程度を、基礎研究と人材の分厚い基盤の持続的形成と維持に当てる必要があるとの意見もある。

この問題を人材面から考えると、我が国の少子化、人口減少のトレンドに鑑みれば、遠からず科学技術の担い手が減少していく可能性が高い。加えて、若手研究者のポストは減少の一途であり、ポストがあったとしても不安定な立場に置かれるなど生活が見通せず研究への熱意だけでは乗り越えられない状況に置かれている。こうした状況に対して研究現場から課題を解決していこう、研究システムをより良いものに変えていこう、という動きは十分ではない。これでは研究現場の活力がそがれ、職業としての魅力も低下していく。例えば、修士課程から博士後期課程への進学率（2010年：16.7%→2018年：9.3%、学校基本統計より）は長期的に低落傾向にある。

職業としての研究者の魅力の低下に対して、多様な人材を惹き付けることは非常に重要な課題である。自由な発想に基づく研究に長期的に取り組める研究環境は若い人から見て魅力であると考えられる。その際、実験の失敗が後にノーベル賞につながる成果を生んだ事例が多数見られるように、失敗を知識の蓄積と見なす前向きな研究風土が重要である。そのような環境を一定規模維持することが、職業として研究者が選ばれるためにも、また若手研究者が独創性を伸ばしていく上でも重要である。その観点から、若手人材育成と独創的基礎研究は政策として深く連関していると捉えるべきである。

加えて、人材のダイバーシティを増大させることが単に研究人口の減少を補うという意味ではなく、優秀な研究者・技術者を惹きつけること、研究対象に向けてより多様でユニークな発想を提供できるという点で意義があり、これまで以上に科学技術の世界を豊穡にしていくことにつながる。科学技術の現場は大学等の研究機関だけでなく、多くの民間企業の開発部門に広がっている。また研究現場では研究を支援する専門知識を持つ研究マネジメント人材や支援者も多く必要とされている。学生や若い研究者にとって、このような多様で幅広い仕事の間や職種に目を向けて、早い時期から自己のキャリア形成を考える機会が与えられれば、若い人たちが自分の適性に合った職を見つけることがより容易になることが期待できる。産業界や産学間でも人材の流動化が一段と促進されることになろう。

人材の問題を個々の研究者・技術者や個別の大学や学会が自分のこととして捉え、研究コミュニティ全体として考え行動していくことが我が国研究コミュニティ自身の存立のためにも重大な問題であろう。

さらに、科学技術における、計測や加工技術、セキュリティ等の基盤技術と技術者人材確保への持続的投資は、地味で軽視されがちであるが、一国の産業と安全の基盤であるという認識を改めて確認する必要がある。国の科学技術基盤は、プロジェクト型の研究開発だけで支えられるものではない。多様な基礎研究と基盤技術への持続的な投資について、国民を含めてしっかりしたコンセンサスを形成することが必須である。

例えばEUのHorizon Europeの枠組みにおいては、基礎研究と基盤整備に対して予算枠をあらかじめ30%弱程度に設定している。基礎研究や基盤整備に対する投資効果を事前に予測すること自体が困難である以上、あらかじめ一定の枠を決定して、安定的に確保することが重要である。それは、研究の現場活動と人材のキャリアパスにおける心理的ストレスの緩和にも効果があるはずである。

繰り返しになるが、政府もさまざまな政策・制度により問題解決を指向しなくてはならないが、高度な職能集団である研究コミュニティが自身の自発的な行動や仕組みを持たなければ、中長期的な問題の改善には

つながってこないであろう。

4) 新しい時代に合ったイノベーション・エコシステムの構築

科学技術の研究開発は、大学や国だけでなく、民間企業（産業）の役割も重要である。

先進国においては、科学技術振興に振り向ける国家予算の規模に比べて、民間企業が投資している研究開発費の総額ははるかに大きい。例えば、日本の研究開発費総額19.5兆円（2018年）のうち、政府負担は約17%、企業負担は約73%である。これを見れば、国だけでなく、民間の研究開発活動を含めて一体のものとして捉える重要性がわかる。

研究開発成果を製品・サービスとして結実させるのは主として企業であるが、迅速な社会実装を進めるためには、大学や公的研究機関と研究の初期段階からの連携が必要である。この連携の「場」は社会課題解決を指向する基礎研究から社会実装までを包含し、企業、大学、公的研究機関等が継続的にそれぞれの強みを生かし、補完的に協働する「場」である。そこでは企業側のニーズに合う研究シーズを大学等において探索するのみならず、研究シーズが新たな企業ニーズを誘発し得るという双方向性があるべきである。また研究の進捗に伴ってシーズやニーズの組合せが変わり得るとともに、それに伴い連携相手も変わり得るといったオープン性・柔軟性があることも重要である。このようなオープンな形でイノベーションを推進できる「場」をイノベーション・エコシステムとして構築していくことが重要である。また、研究開発成果を事業化し社会実装するためには、研究開発以外に法務、財務、ビジネスコンサル等の専門的能力が必要であり、それらが「場」に組み込まれている必要がある。さらに「3 (2) 1) 日本のSTI政策の形成とマネジメントの体系化」で述べたように、研究開発課題設定の段階で人々の価値観を取り入れるためにも多様なステークホルダーが参画できるメカニズムが併せて「場」に備わっている必要がある。この観点から言えば、近年重要度が高まっている「ESG投資」は持続可能性が重要である等の価値観をイノベーション・エコシステムへ反映させる仕組みであると捉えられる。環境、社会に配慮した製品やサービスを生み出そうとする企業には機関投資家の注目が集まる。そのような企業は資金調達も有利となり、研究開発もスピードアップできる。また、仮に研究開発成果が社会実装可能な形にまで具体化したとしても、それが社会・市場に受け入れられるまでには、なお不確定要素があり最終的には失敗に終わる可能性もある。そのように失敗した事案に対しても、再評価し、再挑戦を許すような寛容な風土が「場」には必要であり、この点は特に強調されるべきである。

このエコシステムは人材流動の観点からも重要である。研究開発者が基礎研究、応用研究、開発研究等の自分の担当するフェーズに閉じこもっているだけではなく、フェーズをまたがる移動も必要であろう。研究開発のスピードが速い人工知能やロボット等の分野では、大学発ベンチャーの活発な起業に見られるように、フェーズをまたがる人材の還流はすでに始まっている。この他の研究分野も含めて、民間企業、大学、公的研究所等の間で人材の循環が容易に行えるような仕組みや組織風土が求められる。

イノベーション・エコシステムの重要なテーマの一つが「地域」であり、少子高齢化や産業縮小の現実に直面している地域社会の持続的発展に対して、科学技術イノベーションが寄与することへの期待は高い。例えば、都市部をどのように再デザインするか、過疎地の交通手段や医療手段をどうすべきか、人手不足の農作業をどのように機械が代替できるか等、具体的かつ喫緊のニーズと課題は山積している。地域が直面している課題に対応するに当たり、当該地域の実情・実態を把握している地方自治体、地域産業の中核企業等のステークホルダーの主体的な参画を得ると同時に、研究の側からは、特定の技術の専門知識だけでなく、地域社会に関することなど人文・社会科学の知見も必要であり、地域の大学等の役割が重要である。特定の地域で課題解決が進んだ場合、そのモデルや方法論を他の地域にも展開することを意識することが重要であり、その成果をローカルからグローバルへ世界にインパクトのある特長あるイノベーションとして展開できる可能性もある。

5) 分野を越えた連携とそのための素養の涵養

第5期科学技術基本計画は「Society 5.0」をビジョンに掲げ、SDGsと歩調を合わせて、AI・ビッグデータ時代に経済だけでなく社会的・公共的価値の創出、人間重視をめざす野心的な試みといえる。そして第6期科学技術・イノベーション基本計画では「Society 5.0」を現実の社会で実現しようとする段階に入る。その意味で、今は科学技術政策の大きな転換点とみることができる。では、Society 5.0やSDGsのビジョンを研究現場の実行と動機付けにどう結び付けるのか。例えば、現実の社会的課題を解決しようとしたとき、自然科学だけで太刀打ちできないことは明らかであり、人間や文化について広い知識を持つ人文・社会科学が関わる必要が出てくる。さらに当事者である市民と常に対話を保つことが求められるだろう。このような異なる立場の者が協力し合い、新たな解決策を探す「共創」の概念とその実践が大切である。

複雑な社会的課題の解決には、新しい知識、新しい科学技術、社会の変化を必要とする。このうち科学技術には、持続可能で豊かな未来の実現に必要な変革に影響を与える上で、果たすべき中心的な役割がある。この役割を果たすためには、研究コミュニティだけでなく、社会の他のセクターからの支援と関与も必要となる。異分野連携、自然科学と人文・社会科学との連携、市民参画などこれまでもいわれてきたが、政策立案者は、既存の阻害要因を低減し、すべての関係者の関与を促す枠組みを開発する上で、より一層重要な役割を果たしていくべきである。

これには、政策を策定する側と科学技術活動の現場とが、相互に信頼しながらトップダウンとボトムアップの率直な意見交換や共創を継続的に行うプラットフォームといった「場」や仕組みを構築すること、ミッションに応じて機関を横断した水平連携等も必要であろう。またAI、ビッグデータ、ゲノム編集といった、人類の生存と日々の生活に直接インパクトを与える新しいフロンティア技術の開発と利用、将来方向の検討に当たって、一人一人の政策担当者、研究者も世界観と歴史観を身に付けて活動することが求められる。世界水準の研究開発を実施する上でも、そうした思考の枠組みと素養が必要となっており、その涵養のために若手世代向けの教育研究環境を早急に整えていくことが大切である。

(3) 最後に

これまで述べてきたように、最近の世界動向や科学技術動向を見ると、科学技術が社会に及ぼす影響はその規模と速度を急拡大しており、今や科学技術を論じるためには社会そのものを論じなければならず、またその逆も成り立つ。教育、科学、技術、企業、イノベーション、経済、金融、社会、市民、政策等は切り離せるものではなく、総体として議論しなければならない。

また、限られた資源をどのように配分するかを具体的に議論するためには、将来、日本をどのような国にしていきたいかという大きなビジョンを持つことが前提となるだろう。いまだ新型コロナウイルス感染症の終息が見えない中、少子高齢化は進行し自然災害が多発するという環境の下で、どのような社会的課題を科学技術によって優先的に解決してゆくか、衰えた産業をこれからどのように支えていくのか、あるいは独創的な基礎研究にどの程度の投資を行うかは、そのビジョンと国民の合意と覚悟がなければ決定することはできない。将来を担う若者が希望と夢を持って科学技術に参画し、関心を持ってほしい。このようなとき求められるのは、俯瞰的な視野を持ちながら、研究開発現場の実情をよく把握理解し、実際に施策を設計し、実行に移せる政策的リーダーシップではないだろうか。

複雑化した課題に対して多様なステークホルダーによる解決が求められる共創の時代にあって、共創は何も1人のリーダーもしくは政策を担う政府のみで牽引されるべきものではない。それぞれのコミュニティもしくはコミュニティ間で創出すべき価値や解決すべき問題を共有し、知識や経験を積み重ね、責任を持って実行に移していくことが重要である。共創に果敢に取り組む者は得てして所属するコミュニティの価値観を超えた活動をするようになる。こうした者が挑戦しようという意欲を湧き立たせ、報われることが重要である点は、科学の発展の歴史と共通である。

「研究開発の俯瞰報告書 統合版（2021年）」は、「1 科学技術イノベーションの俯瞰の前提」で強調した大きな時代の転換期にあって、産学官の科学技術関係機関における戦略の企画・立案者、研究開発事業の管理者、研究開発事業の計画・実施者、自由な発想に基づく個人研究の研究者などが、時代の変化を共有し、科学技術の動向を俯瞰的に把握し、自らの位置を認識した上で、それぞれの役割と責任を果たし、分野や組織を越境して、よりダイナミックに拡大し、次の世代へ科学技術の魅力を継承し、拡大していく大きな刺激と知識を提供するものと期待している。

また、この報告書が、今後の科学技術イノベーションに関する議論に資するとともに、科学技術と社会とのコミュニケーションと信頼の醸成のための基盤となり、科学技術の多様な国際協力の展開に貢献をすることを期待したい。