

目次

第9章 日本の学術の展望

9-1 学術の目指すもの.....	264
9-2 日本の学術の最前線.....	266
人間・社会・自然を解き明かす学術.....	266
(1) 第一部から.....	268
a. 外国文学研究.....	268
b. もう一つの知を掘り起こす ―歴史人類学からの視点.....	269
c. 政治思想史.....	270
(2) 第二部から.....	272
a. 神経科学の最前線―総合人間科学としての発展.....	272
b. 日本発・世界標準のモデル生物としてのゼニゴケ ―研究対象生物の広がり.....	273
c. iPS 細胞技術を応用したがん研究.....	275
(3) 第三部から.....	276
a. 物理学と宇宙、物質の成り立ち、そして私たちの生活.....	276
b. 化学は階層を超えて.....	277
c. 幾何学の発展と数理科学による社会連携.....	278
9-3 学術を支える基盤を整える.....	281
(1) 日本の学術研究の「危機」と政策の展望.....	281
(2) 日本の学術の基盤を広げるダイバーシティ.....	284
(3) 国際的学術情報発信の基盤形成.....	285
9-4 学術の社会的広がり.....	287
(1) 博士人材の活躍を生み出すための社会変革.....	287
(2) 高度化する社会における知的人材.....	289
(3) 博士人材の活躍を生み出すための社会変革～文系人材を生かす社会.....	291
(4) 世界で活躍する博士人材.....	293
9-5 これからの日本の学術のために.....	295

9-1 学術の目指すもの

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「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言」(ブダペスト宣言)が採択されました。この宣言は学術および学術の関係者が一堂に会し、科学のあり方、特に人類が直面する諸課題への対応について議論した結果をとりまとめたもので、次の4つの柱からなっています¹²⁴。

- ① 知識のための科学; 進歩のための知識
- ② 平和のための科学
- ③ 開発のための科学
- ④ 社会における科学と社会のための科学

ブダペスト宣言は、「持続可能な発展」という概念と相まって今日の「持続可能な開発のための2030アジェンダ」(SDGs)や2019年の世界科学フォーラム宣言「科学、倫理、そして責任」¹²⁵につながっています。「未来からの問い」の多くの章はこの宣言の1以外の柱と深く関係しています¹²⁶。

さて、科学の社会に対する貢献あるいは影響力には極めて大きいものがあります。というよりも現代社会は科学を前提にしなければ存立し得ません。大きな社会課題にどのように立ち向かい、理解し対処するかも科学的知見抜きではあり得ません。さらに成果の利用に伴い環境問題が引き起こされるなど、科学の利用には光ばかりではなく影の面が付随することもあることを私たちは良く知っています。あらゆる面で現代社会と科学は切っても切れない関係にあると言えます。

一方で、科学の営みは社会との関わりを意識せずになされる場合もあります。このときの科学は、理解したいという人類がもつ本来的欲求に基づく活動と捉えることができます。ブダペスト宣言では何々の「ための科学」と整理されていますが、その第1の柱は、私たちに知りたいという欲求があるから深まり発展したのです。このような営みに携わっている科学者は、有用性ではなく、知的好奇心に基づき研究を進めています。その意味で科学には、音楽や絵画などの芸術・文化活動のように、有用性の観点からだけで捉えられない側面があるのです。

経済発展やイノベーションに資する研究や、病気を治し健康を維持するための研究を、社会がさまざまな形で支援しています。このような「ための科学」について、民間では支えきれない長期にわたる研究を公的資金でまかなうことにも社会の理解は得られるでしょう。一方、有用性が必ずしも明確ではない、知的好奇心に基づく研究にどのくらい公的資金で支援するかは、私たちの社会が科学という文化をどの程度深く欲し、また社会がどの程度豊かであるかを反映しているといえます。

もちろん、科学は古代から有用性によって発展してきましたし、純粋に知的好奇心から進めた研究の有用性がのちに意外な形で分かることもめずらしくありません。このことから、知的好奇心に基

¹²⁴ 『学術の動向』2019年1月号の特集『「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言(ブダペスト宣言)」から20年を経て』

¹²⁵ <https://worldscienceforum.org/contents/declaration-of-world-science-forum-2019-110073>(最終閲覧日2020年7月27日)

¹²⁶ ここまでお読みになった方は、「学術」と「科学」という二つの用語が出てくることについて疑問を持たれたかもしれませんが、芸術などの文化的な活動も含めて、知的探求の営みとして一体のものとして考えます。

づく科学は、文化的側面に加えて、現時点では予見し得ないものの有用性が将来見出される可能性もあることから振興すべきと考えることもできます。

わが国には高いレベルの学術を支える文化的背景が以前からあります。そうでなければ、江戸時代に独自に数学(和算)や天文学が発展することはなかったでしょう。また、江戸時代に生まれた人たちが明治維新後に渡欧して研究をはじめ、ノーベル賞の第一回目から候補に推薦されるはずはありませんし、今世紀に入ってからのノーベル賞(だけではありませんが)受賞者がこれほど多数に上るはずはありません。ただし、その文化を維持するためには学術の側にも社会の側にも意志が必要です。どのような艱難辛苦が待ち受けていても学術の道を選ぶという時代ではありませんから、しっかりとした人材育成の体制や研究予算の確保が必要なのです。次の世代が意欲をもって学術に取り組める環境を維持発展させるのは、科学者の責務と言えましょう。

文化としての学術は、国も含めた社会の支援によってその活動が支えられていますから、その営みの意義を社会に発信し、社会と常に対話することが必要です。近年の大学の研究に対する風当たりの強さは、その意義の発信と対話が不十分であった証左であるのかもしれませんが。

学術の内容が高度になり、しかも有用性が明確でないとき、社会がその意義を判断するのは難しくなります。国際的に著名な賞を受賞したなどの例も含めて、世界の科学者が科学者をお互いに評価するピアレビューが研究の意義や価値の基準となります。これらいわば「仲間うち」の評価が、十分に高いレベルでされているかどうかを社会が認めるには、やはり社会と科学者コミュニティとの信頼関係が必須となります。

たとえ好奇心により進められた研究であっても、社会的影響があると分かった時点で、科学者は社会に対してその意義や危険性を説く責任を負っていることは言うまでもありません。さまざまな意味で社会との対話が学術には必要なのです。

本章はその対話の一環として、まずわが国の学術の最前線を、その最前線を担う科学者が執筆しました。一読いただくと、実際の科学は単純な役に立つ、立たない、の二元論で判断できないことも分かっていただけだと思います。その次に学術を支える基盤について、人材の育成、研究費、研究の場となる組織について述べます。さらには爆発的に増加している論文数に代表される激変する学術情報とその対応をわが国の立場で検討します。その後、科学者としてのトレーニングを積んだ博士人材の活躍と「有用性」について検討し、最後にまとめをします。本章が、社会とのさらなる対話を深める縁(よすが)となることを一同期待しています。

(大野 英男 東北大学総長)

9-2 日本の学術の最前線

人間・社会・自然を解き明かす学術

学会会議の会員は第一部、第二部、第三部という三つの部を基本として活動しています。第一部は人文・社会科学、第二部は生命科学、第三部は理学と工学です。会員が代表する日本の研究者は、応用的な研究も行いますが、人間や人間社会、生命の原理、物質の基本的な性質を明らかにしていく研究活動をとても大事にしています。この全てを網羅することは紙面の関係でできません。その代わりに、この章では日本の先端的な研究について、9人の方に執筆をお願いしました。

人文・社会科学に対して多くの人が期待することは为什么呢。文化や社会の構造は、過去の思想や政治制度、宗教、戦争などの影響を受け歴史的に作り出されてきたものです。技術の進歩、特に情報通信技術の発達は、我々の社会のあり方を急速に変えています。しかし歴史的にみれば、そうした変化は現代に始まったことではありません。便利になる反面で、人と人の繋がりの基盤も大きく変わることで、様々な軋轢が起きてきました。政治経済や社会の問題に対し、より確実な対処方法を提示するのも、学術の大切な役割です。その基盤には、過去から現在に至る人間の文化的営みをグローバルな視点から捉え直していく人文・社会科学の新しい挑戦が組み込まれつつあります。情報通信技術の劇的な発展の下で、人文・社会科学の基礎的な研究もまた、新たな展開の時期を迎えています。

生物学の分野では、前世紀半ばに分子生物学とそれに基づく遺伝子操作技術が確立すると、多くの生命現象が遺伝子で説明されるようになりました。しかしその研究対象は、少数の分子によって説明できる比較的単純な素反応に関するものがほとんどで、なぜ脳は記憶・学習することができるのか、なぜ生物は環境に適応できるのか、などの複雑な現象の理解は限られたままでした。今世紀になると、このような問題に対するアプローチに重要な変革が訪れます。次世代 DNA 解読技術の発展により、主要なモデル生物はもとより、ヒトのゲノム配列が決定され、個々人のゲノム配列を解読することや、遺伝子発現を1細胞レベルで調べるのが可能になりました。また、顕微鏡を用いたイメージング技術の発展により、一度に多種類の分子の動きをリアルタイムで観察できるようになりました。これらの革新技術は膨大なデータを生み出しますが、その中から生物学的に意味のあるデータを抽出し生物をシステムとして理解するバイオインフォマティクスやシステムズバイオロジーが発展し、我々の生物観を大きく変えようとしています。

人間の活動の範囲が広がるにつれ、人間の興味もより広がっていきました。ここで広がりとは、宇宙のような広大なスケールで起こっていることなど、空間的に広いということだけをさすわけではありません。目にみえないマイクロな世界、あるいは抽象的な数理的な空間への広がりも含まれます。人間の活動は分子や原子、さらにその内部の構造に働く基本的な原理、地球や宇宙におけるダイナミックな現象に及んでいます。多くの国の力を結集することによって可能となる、大規模な実験や観測が、宇宙のはじめで起こった出来事に科学の光を当てようとしています。このような極限の状態の面白いところは、複雑な現象が、ごくわずかの数式で表されるような原理で記述できることが多いということです。数式と実際の複雑な現象をつなぐ試みは、数値計算の発達によって、急速に発展しています。

新しい技術は、学術研究をさらに発展させています。一方で、数多くの学術研究が、新しい技術の基盤となってきたという歴史があります。科学の歴史を知ると、原理的な発見や発展が、何十年も

あとになって、多くの人の生活に役に立つ技術になっているということがわかります。真に新しい学術的知見が大事にされる社会が、人々の生活を支える知識や技術の基盤であるのです。

(野尻 美保子 高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所教授)

(1) 第一部から

a. 外国文学研究

文学あるいは言語文化と取り組むことは、「同じ人間同士」であると同時に「異なる人間」である他者が言語で表現したものを理解して、その内実や意義を照らし出すことだと、ひとまず言えるでしょう（もちろんテキストがどう読めるかということで、必ずしも作者・著者の「意図」を探るわけではありません）。しかし理解するということは、自分の言語理解や世界理解、思考や感性、想像力を投入して行なわれるため、その中で自分のあり方そのものも照らし出されます。例えば小説の登場人物の行動や気持ちを理解しようとしながら筋を追っていただけでも、そのためには自分の感じ方や考え方を小説内の状況に置いてみていて、共感したり違和感を持ったりもしているはずです。その状況は、日常経験とは違うことが多いので、それだけでも普段気づかない自分が現れることがあるでしょう。対象について理解が増すだけでなく、自分をもより深く、また新しく理解する、あるいは自分自身が変わえられる、つまり対象物ではなく、人格的な相手とも言えるものとの関わりだということが、この取り組みの特質です。相手が外国語・異文化のものなら、「自分」と「他者」は、自文化と他文化という拡がりを持ってきます。また時代が離れば、自国のものであっても異文化性を帯びており、それがさらに外国のものの場合、異文化性は二重になります。

この分野で学術研究が必要なのは、文学や言語そのものについての分析や方法論のためだけでなく、とくにこの他異性のためです。自分と違うから魅力や意義がある、とも言えますが、自分と違うものを相手に則して理解するためには、伝記的、時代的、文化的など微視的から巨視的に至るさまざまなレベルや範囲で、相手の状況を把握し、作品や思想をそれとの関わりで考える、骨の折れる作業が必要です。状況への関わりとして見る時、思いがけない共通性や類比の発見も起こります。それは新たな出会いで、知の地平の拡大、思考・感性・想像力の多様化につながります。そして成果は、解説や論述などで社会に還元されます。

そういった作業に、デジタル技術は大きな変化を起こしました。まずワープロが、何度でも推敲することをたやすくしてくれて、書くことによって考えを展開してゆく作業の条件を変えました。パソコンは、データ整理やテキスト編纂を格段に容易にしました。テキストの大規模なデータベース化と学術情報インターネット公開の進展は、テキストや研究文献の調べ方を変えつつあります（もっともこれには信頼性や知の断片化の問題もあるので、用心が肝要です）。さらには、古い研究文献ばかりか、手稿や数百年前の印刷本など、それを所蔵している外国図書館などでしか当たりようがなかった原資料まで、多くが居ながらにして精細画像で参照できます。研究の飛躍的な効率化と厳密化を拓き得るインフラ革新と言え、高額なデータベース等を国内の研究者が広く自由に利用できる体制を整えることが、学術政策上、喫緊の課題です。

AI の意義はまだ見通せませんが、ツールとして作業可能性を拡大してくれるのかもしれませんが。しかし、その可能性を含めて様々な技術がどれほど進んでいったとしても、ひとりひとりが自分と他者の理解を深め、思考や感性、想像力を豊かにしてゆくことには、肩代わりはありえません。データの収集・処理・操作がますます人間を支配してゆきかねない状況で、社会の中でこの営みが生き生きと保たれることが、一層大事になると思われます。言語表現がそのための優れた媒体であることは確かです。一般の言語生活と地続きとも言える文学研究は、学術の中でそのことを体現し続けるのが大きな役目だと思います。

(松浦 純 東京大学名誉教授)

b. もう一つの知を掘り起こす ―歴史人類学からの視点

文明史の観点でいうと、これまで人類は道具の発明を通して環境に働きかけ世界を構築してきました。環境との間に文明という装置を介在させ様々な知見を次代に直接継承することで、人類は生きとし生けるものの頂点に立ちました。人工知能をはじめとする技術の急速な進展は技術文明の新段階とみることができます。かつては機械化の過程で、身体知や直観が求められる機会は減り、知の組み替えが起きました。見様見真似で体得する修練的な学びの場は減少し、先人の経験や過去の学びを今に活かす類推の力も衰退しました。新たな技術文明の創造の担い手である人間は今後、どんな能力を開拓していく必要があるのでしょうか。

現実世界とバーチャル世界との間を往還するようないわば情報圏で生きることを余儀なくされた人間は、今後、時空意識や死生観も変わっていかざるを得ません。バーチャル世界で一瞬にしてあらゆる場とつながってしまう瞬間移動、瞬間接続が当たり前となる情報圏では、均一な単位で構成される近代的な時空感覚のデジタル的側面をさらに促進させていきます。他方、自然の反復のリズムのなかで永遠の今を感じる知、場の息吹を捉えるような呼吸する知は衰えていく一方です。

人類学 ― 英語では Anthropology、日本語ではそのままカタカナでアンソロポロジーと表記されるほか、人間への問いを扱ってきた哲学の伝統を踏まえて人間学と翻訳されることもあります ― といえ、西洋近代社会とは異なる文化をもつ社会の生態を調査する学問ではないかと思われるかもしれません。しかし、異質の文化を知り、それを理解しようとする人類学的思考法は、それだけに留まりません。当たり前のことのように思ってきた自分の生活様式や価値観も、自分自身が生まれ育った環境のなかでいつのまにか学習してきたものであることに気づくこと、そして、異なる文化を尊重し、理解しようとするものです。20世紀末からドイツを中心にヨーロッパで誕生した歴史人類学では、空間軸での比較、つまり異なる国や社会の文化との比較だけでなく、時間軸での比較、つまり異なる時代の思考や感情、生活様式を比較する歴史学的手法、さらに哲学、社会学、教育学などの手法も取り入れています。

とりわけ注目したのは、産業革命後の社会のなかでは忘れられがちな匠の技や、手わざの修練、見様見真似での技芸の伝承に働く身体知、暗黙知、感性、イメージなどでした。近代的な学校で重んじられてきた知を下支えしてきた「もう一つの知」に光を当てる研究です。例えば、幸福を感じ取る能力や、自らが置かれた苦境にからめとられることなく、それを楽しむ智恵が、日々の暮らしにどのように働いているかを、学校や家庭、社会のなかに見出すために、日独それぞれの研究者が混成チームを作り、クリスマスを祝うドイツの家庭や正月を祝う日本の家庭を調査し、その後、異なる文化を理解しようとする際に生じる戸惑いや自分の子ども時代の儀礼との違いなど、自身の文化そのものを突き放して眺めるための議論も重視してきました。

伝統的な儀式や儀礼は時代とともに簡略化する方向に向かっています。クリスマスや正月の伝統的な儀礼は減り、逆に、商業施設での販売イベントや音楽イベントなど、現代人の暮らしが求める新たな催しが生まれ、これまで伝統儀礼が果たしてきた役割と似たような意味をもつようになってきています。挨拶をする、誕生日を祝う、新年を迎える準備をするなど、現代人の暮らしに残る儀礼的な行為のなかで、人が何を継承し、新たに生み出していくのか、その創造的模倣(ミメシス)の仕組みを解明する学際的・国際的な研究が進んでいます。場のしつらえや心配りなど、人生を一つの舞台上に仕立てていくことで今を乗り越えていく様々な配慮や工夫が分かってきました。日々の暮らしのなかで沈潜し物言わぬ智恵として私たちの身体の奥底に眠っている知の集積を掘り起こす

試みです。分野と国境の壁を乗り越える力を蓄えつつ、知の地殻変動にただ飲み込まれてしまうことのないよう、次の一歩も踏み出していきたいと思っています。

(鈴木 晶子 京都大学大学院教育学研究科教授)

【参考文献】

鈴木晶子・クリストフ・ヴルフ編著『幸福の人類学 -クリスマスのドイツ・正月の日本』シリーズ 汎いのち学1、ナカニシヤ出版、2013年。

鈴木晶子『教育文化論特論』放送大学教育振興会、2011年。

Wulf, Christoph (Hrsg.), *Vom Menschen. Historische Anthropologie*”, Beltz Verlag; Weinheim/Basel 1997(藤川信夫監訳『歴史的人間学事典』1-3、勉誠出版、2005-2008年。

Wulf, Christoph, *Anthropology: A Continental Perspective*”, University of Chicago Press 2013.

c. 政治思想史

振り返ってみると、戦後日本において、政治思想史研究は独自の役割をはたしたように思われます。カントやフィヒテの政治哲学を研究していた南原繁は、敗戦後の荒廃した状況において「新日本文化の創造」を説き、民主主義に基づく戦後教育改革を主導しました。その影響下に、日本政治思想史の丸山眞男をはじめ、多くの政治思想史研究者が、主体的人格の確立と社会契約による新たな社会の建設を説いたことは、日本国憲法における基本的人権と国民主権の精神を体現するものでした。

そのような政治思想史研究は今日、いかなる関心を持って進められているのでしょうか。研究領域が拡大し、資料面でもデジタル資料などの充実を見た現在、その全貌を一言で総括することは難しいと言わざるを得ません。しかしながら、その大きな特徴を何点か指摘することは可能でしょう。

一つは研究のグローバル化です。グローバル・ヒストリー研究が活性化する現在、かつての西洋中心主義的な政治思想史理解は大きく相対化されています。古代から中世、そして近代化へと進む単線的な発展史観は相対化され、世界における多様な思想的潮流の交流とその影響が、詳細に分析されるようになっていきます。自由や平等、正義や公正などの諸原理についても、それぞれの地域や文化における多様性を考慮に入れた上でなお、どれだけの「普遍性」を主張しうるか、活発な議論が交わされていると言えるでしょう。

もう一つの特徴はやはり、民主主義への関心です。英米を含む多くの国々でポピュリズムの台頭が見られる今日、あらためて民主主義とは何か、民主主義を支える条件とは何かが問題になっています。民主主義と市場経済の関係が問い直されると同時に、民主主義が格差の拡大や世論の分極化とどのように立ち向かうことが可能かについてなど、政治思想史の視点からも多くの研究が出現しています。

日本の政治思想史研究が、このような世界的潮流の中で進められていることは言うまでもありません。問題は、非西洋の世界においていち早く近代化に取り組み、自由や民主主義といった政治的理念を受容してきた日本の過去の思想的蓄積を、グローバル化し、多様化する世界にいか

立てるかにあります。今日、日本政治思想史研究一つを取っても、これを主導するのは日本人研究者とは限りません。世界各地に広がる研究者のネットワークによって、これまでの研究をさらに深め、前進させていくことが最大の課題です。

(宇野 重規 東京大学社会科学研究所教授)

(2) 第二部から

a. 神経科学の最前線—総合人間科学としての発展

神経科学は自然科学の一分野で、脳や末梢神経の機能を理解することを目指していますが、脳は「心」の物質的な基盤でもあり、「心とは何か」という人文・社会科学の重要な研究対象に別の視点から貢献できる可能性もあります。神経科学を「総合的に人間を科学する学問」と捉えて、哲学、心理学、教育学、社会学、法学、経済学等の領域とも関連を深めていく事が今後はより重要になると考えられます。神経科学ではヒトの個性、人格、経験などが形づくられる基盤となる「記憶・学習」のメカニズム、そして脳の情報処理の理論といった分野でこれまで活発な研究が行われ、今後もその大きな展開が期待されています。

記憶・学習はこれまで長く神経科学の中心的なテーマとして研究されてきました。記憶・学習は単一のものではなく、脳神経回路の変化、行動の変化という点からも多様性が存在します。また学習は脳発達と密接に関連しており、記憶の実体として神経細胞間の接着部位であるシナプスが重要であることがわかってきました。光や薬物を用いて神経回路を制御することができるようになって、記憶の形成・維持についての理解が飛躍的に進んでいます。将来的にはシナプスで起こる変化と動物の行動を直接結び付けることも可能になると期待されています。また記憶は脳の特定の場所に留まらず、短期記憶から長期記憶に変化する際に別の場所に移動する、という仮説が提出されており、この検証も今後の重要な課題です。さらに蓄積した記憶を必要が生じた際にヒトはどのように読み出すのか、という疑問もまだ解決されていませんが、脳の特定の部位が司令塔として働いてトップダウン的に記憶の貯蔵部位から必要な情報を取り出している、という仮説が有力視されています。

記憶・学習研究の応用としては、まず認知症などの脳疾患の克服が挙げられます。認知症の発症後でも記憶を強めることが出来れば生活の質の向上への大きな貢献になります。また認知症の初期変化は認知機能低下よりも数十年前に始まっていて、最初の変化はシナプスに起こるとも言われています。神経回路の障害から認知症がどのように進むのか、日本社会の高齢化が更に進行する次の10年で解決すべき大きな課題と言えます。

脳の機能は多様で、記憶・学習はその一部に過ぎません。多様な機能を理解するには実験だけではなく理論的なアプローチが重要です。日本では脳の理論的な研究は以前から盛んで、小脳の内部モデル理論や大脳を含む回路をモデルとした強化学習理論など大きな業績が挙げられてきました。このような理論研究を基盤として、非侵襲的に計測した脳の信号からヒトの感覚を推定する研究、更にこの様な情報を利用して脳機能を変化させるニューロフィードバックの研究は日本が世界に先んじています。

神経回路の数理解析が進展する一方で、人工知能の分野では2010年代に入ってから機械学習の一種である深層学習の性能が飛躍的に向上して、様々な分野で産業応用が可能なレベルに到達しています。深層学習のデザインは大脳皮質の視覚野に存在する多階層構造をヒントとして、深層学習が得意とする課題も画像識別の様な視覚の情報処理に近いものです。神経回路のデザインと新規の機械学習の手法の関連性については強い関心が持たれています。ヒトは少数の例から効率よく学習することが得意ですが、これは機械学習が逆に苦手とすることです。このようなヒトの脳機能の優れた点を人工知能に実装することには大きな意義があります。ヒトの脳神経回路の作動原理の全容は未だ解明されていませんが、神経回路の発達やその障害によって生じる疾

患の研究が推進することで、新しい「知性」に関する知見とその人工知能研究への適用が「ニューロインテリジェンス」という概念の元に今後 10 年で可能になると期待されます。

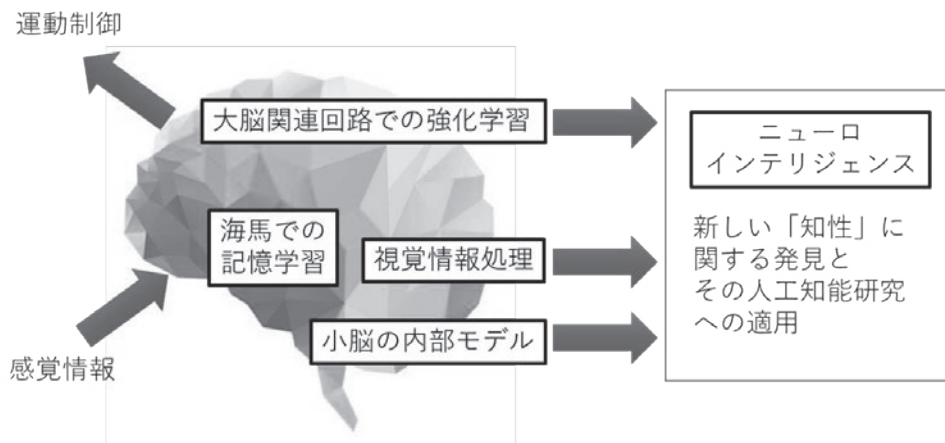


図 9-1

(岡部 繁男 東京大学大学院医学系研究科神経細胞生物学分野教授)

b. 日本発・世界標準のモデル生物としてのゼニゴケ — 研究対象生物の広がり

日本の学術の最前線の項目に「ゼニゴケ」という言葉があることを見て驚かれた方も多いでしょう。生命科学研究を取り巻く解析技術は近年大きく進歩しました。なかでも、次世代シーケンサーとゲノム編集の登場は、生命科学研究に大きな変革をもたらしつつあります。このような背景のもと、一見役に立たない生物も学術に貢献できるという話をお伝えしたいと思います。

現在の地球規模の課題を考えてみますと、食料としてはもとより地球環境の保全に対しても植物が重要な役割をもつことが見えてきます。地球上の生命は、究極的には太陽の光エネルギーによって大気中の二酸化炭素から作られる有機物や副産物として放出される酸素に依存しています。地球には植物を一次生産者として豊かな生態系が作られています。持続可能社会には植物の理解と活用が必須ということになります。植物研究では主にシロイヌナズナをモデル生物として遺伝子の理解が進みました。しかし、いまだ多くの遺伝子の機能は未知のまま、植物の完全な理解には至らない状況です。その要因のひとつは被子植物の遺伝子の冗長性とシステムとしての複雑さにあります。

ゼニゴケは陸上植物進化の基部に位置するコケ植物で古くから観察の対象とされてきました。多数の日本のグループが参加する国際共同研究によりゲノムが解読され、陸上植物としての基本的な遺伝子構成を単純な形でもつことが明らかになりました[1]。実験技術基盤を整備しながら、材料の利点を生かした研究が進められています。たとえば、まずゼニゴケを使って環境依存的に有性生殖を誘導する鍵因子の遺伝子が発見されました。次に、シロイヌナズナには複数ある相同遺伝子

に注目し、それらをすべて同時に破壊して解析することで、それらは花粉での雄原細胞¹²⁷の形成に機能することが示されました。つまり、被子植物と進化的に姉妹関係にあるコケ植物のゼニゴケを起点として陸上植物に共通する生殖細胞系列を決定する遺伝子が発見できたということになります[2]。いまではスピード感をもって研究することができる優れたモデル生物として世界の研究者がさまざまな視点からゼニゴケを研究材料として利用するようになり、国際研究者コミュニティも形成されました[1]。日本発の数少ないモデル生物のひとつと言えるでしょう。

これまでの分子生物学研究は新たなモデル生物を加えながら進展してきました。近年の解析技術の進歩によりモデル生物と一般の生物の境界は取り払われようとしています。これは応用に直結する材料を選択すべきということではありません。個々の研究者が知的好奇心から注目する現象の仕組みを解くのに適した材料を選択し、その知見を広く利用できるようになったことを意味します。自然環境のなかでの遺伝子発現変動や生物間相互作用といった生態系を対象とする領域も注目されています。資源に乏しいながらも豊かな生物叢をもつ日本ならではの生命観を背景とした学術の展開が期待されます。



図9-2 モデル植物

左:シロイヌナズナ、中央:ゼニゴケ(雌)、右:ゼニゴケ(雄)

(河内 孝之 京都大学大学院生命科学研究科教授)

【参考文献】

- [1] 西浜竜一、河内孝之 新しいモデル生物:苔類ゼニゴケ、領域融合レビュー, 7, e008 (2018)
DOI: 10.7875/leading.author.7.e008
- [2] 山岡尚平、河内孝之、荒木崇 陸上植物の配偶子形成の分子メカニズムとその進化、生化学
91, 534-539 (2019)

¹²⁷ 被子植物の雄性的配偶体世代である花粉のなかで形成される細胞。細胞分裂によって生殖細胞である精細胞を作り出す。

c. iPS 細胞技術を応用したがん研究

山中伸弥先生が成功した iPS 細胞の樹立は、10 年足らずで再生医療や創薬研究の主軸となる技術へと発展を遂げました。iPS 細胞技術は、ともすると医療への応用ばかりが注目を集めていますが、この技術が与えた生物学へのインパクトは計り知れません。哺乳類の受精卵は多種多様な細胞へと一方向性に分化し維持されるよう運命づけられています。iPS 細胞技術により、ゲノム情報の改変なしに哺乳類の細胞運命に介入することが可能となりました。私自身も、初めて iPS 細胞の樹立を再現した時の、起こるはずがないと考えていた現象を目の当たりにした不思議な感覚と自らが細胞の運命を巻き戻したことに対する興奮は、今も鮮明な記憶として残っています。

iPS 細胞技術を応用してがん発生メカニズムの解明やがん細胞の運命を制御する取り組みが進められています。一般には、がんはゲノムの病気であり、遺伝子配列異常の蓄積により発生すると考えられています。実際に、がん細胞における遺伝子配列の網羅的な解読により様々ながんの発生メカニズム仮説が提唱され、治療方針の決定にも応用されつつあります。一方で、一部のがんでは、遺伝子配列変化が極端に少ないことが示され、特定の遺伝子配列異常が原因であるとは言いきれないがんが存在します。

具体的な成果を紹介すると、生体マウス個体内の体細胞を iPS 細胞へと変化させる技術が開発され、体細胞が iPS 細胞へ変化する過程でがん細胞が発生することが示されました。さらにそのがん細胞を iPS 細胞へと変化させるとがん細胞の性質を失い、マウス個体内で正常細胞と区別できない体細胞へと分化します。つまり遺伝子配列異常に依存しない発がん過程が存在しうることが示唆されたのです。別の実験では、遺伝子配列異常を持つがん細胞を iPS 細胞へと変化させて、がん細胞由来 iPS 細胞を用いてマウスを作製することでがん細胞であった細胞を様々な体細胞へと分化させることが示されました。このマウスを構成する多くの細胞はがん細胞と同じ遺伝子配列異常を持つにも関わらず、がん細胞には変化せず、むしろ細胞老化の形質を示しました。このことから、がん細胞の性質は遺伝子配列のみでは説明できないことが示唆されました。

このように細胞運命をダイナミックに変化させる iPS 細胞技術を応用したがん研究により、がん細胞の理解が深化するとともに、遺伝子配列異常を持ったがん細胞の運命制御による治療の可能性が提示されつつあります。iPS 細胞は哺乳類発生のドグマ(定説)に逆行することを可能とした技術ですが、これを駆使しながら、がん発生のドグマへの挑戦が続けられているのです。

(山田 泰広 東京大学医科学研究所教授)

(3) 第三部から

a. 物理学と宇宙、物質の成り立ち、そして私たちの生活

物理学は、自然界の基本法則を見出し、そしてその基本法則をベースに、この宇宙の成り立ちや、素粒子・原子核の世界、自然界の物質の起源や性質を明らかにしようとする学問分野です。分野の今後の展望については、シンポジウムなど[1]でもお知らせしてきました。

物理学の理解に基づいた新技術によって人々の生活は格段に便利になりました。例えば近年の半導体エレクトロニクス、レーザー、X線や核磁気共鳴など量子力学に密接に関係する基本的な原理は、スマートフォンや医療機器等として、我々の生活を一新しています。一方で、精密な技術によって、我々の時間や空間の理解の精度も劇的に向上しました。現在我々が日々使っているGPSには、精密な原子時計が搭載されており、GPSから送られてくる時計のデータを正しく解釈するには重力の時間に対する影響を理解する必要があります。また、2019年には、重さの単位が、量子力学の基本的な定数(プランク定数)によって定義されるという記念すべき年[2]でしたが、ここでも物質の基礎的理解から応用まで幅広いスペクトルを持つ、日本の学術が貢献しています。今後も秒の再定義、量子情報・量子計算、スピントロニクスなどを含めて、日本の基礎研究から発展した科学技術が世界を変えていくことが期待されます。

素粒子分野では、物質の質量の起源となるヒッグス粒子が、日本も貢献する国際共同研究である大型ハドロン衝突型加速器(LHC)の陽子-陽子衝突実験で発見されました。ヒッグス粒子の質量から理論的には宇宙の真空の性質が不安定であることが予想され、それが現実の宇宙の性質と直感的に異なることから、ヒッグス粒子のより詳しい性質を調べたり、初期宇宙のヒッグス粒子のダイナミクスについて調べる必要があることがわかりました。そのためLHCのビームの衝突頻度をあげ、より多数のヒッグス粒子を生成する高輝度化LHC(HL-LHC)実験計画が進行中です。日本国内ではクォークの性質の解明を目指すスーパーBファクトリー実験やニュートリノの性質を調べるスーパーカミオカンデ実験とその後継のハイパーカミオカンデ計画で、物質が宇宙になぜ存在しているかという大きな謎の手がかりを探そうとしています。

物質を構成する原子核についても、その起源と進化を様々な方法で解明することができるようになりました。理論的には、スパコン等を用いて基礎理論から陽子や中性子などのハドロン、原子核、さらに中性子星内部の高密度物質までの理解が進んでいます。また、ビッグバン宇宙に存在していたバラバラのクォーク物質の性質の解明を目指すLHCや重イオン衝突型加速器(RHIC)での高エネルギー重イオン衝突実験に日本も大きな貢献をしています。国内ではJ-PARC、東北大学ELPH、Spring-8等の加速器を使ってハドロンや原子核の研究が進められ、更に元素が宇宙のどこでどのように作られたのかを解明する理研RIビームファクトリー(RIBF)加速器での不安定核や超重元素(新元素)の研究が世界をリードしており、今後、中性子星合体などの天体観測との連携研究が進展すると考えられます。

天文学・宇宙物理学では、大型天文台「すばる」や世界の3極の一つを担うALMA望遠鏡を利用した観測、また宇宙空間での天文観測や惑星探査を行なうなど、日米欧の一角として研究をリードしてきました。その結果、3Kの黒体放射の精密測定とあわせて宇宙の進化の過程が明らかになり、標準宇宙像として確立しました。また、重力波の発見に伴って、ブラックホール連星、中性子連星の合体や、そのフォローアップ観測がおこなわれ、重元素合成の証拠が発見されるなど目覚まし

い成果が上がっています。また、最近話題となった世界中の電波望遠鏡の連携によるブラックホールの撮像でも、日本も大きな役割を果たしました。

研究の国際化が急激に進み、日米欧の従来の構造から、中国などとの協調といった多軸の国際研究協力に移行しつつあります。世界的協力を行う際には、長期的に安定した研究体制をサポートするための制度的・財政的基盤が求められます。研究の進展に伴って装置の大型化も進んでいます。これに対し、日本の科学予算の伸び悩み等により、日本の研究力が十分に発揮できなくなることが危惧されています。日本の研究が今後も世界をリードするために、様々な支援策が必要です。

(梶田 隆章 東京大学宇宙線研究所・教授)

【参考文献】

- [1] 日本学術会議公開シンポジウム「基礎科学研究の意義と社会」平成 30 年 12 月 17 日、日本学術会議講堂。本シンポジウムのまとめは「基礎科学で未来をつくる」(田村裕和他著、丸善出版、令和元年 12 月 20 日発行)。
- [2] 日本学術会議公開シンポジウム「新しい国際単位系 (SI) 重さ、電気、温度、そして時間の計測と私たちの暮らし」平成 30 年 12 月 2 日、日本学術会議講堂。

b. 化学は階層を超えて

自然科学は「つくること」と「わかること」を目指し、その中でも化学は「つくること」に比較的大きな重心が置かれた学問領域です。化学は具体的な物質を対象とする学問であり、化学における「わかること」は現象の観測とその理解が中心になります。

20世紀後半からの計測技術の進展はめざましく、人類が夢見ていた極限的な計測手法を確立してきました。サブ Å (10^{-11} m) の空間分解能、アト秒 (10^{-18} 秒) の時間分解能、そして、 μ eV (10^{-6} eV) のエネルギー分解能を達成し、物質科学が必要とする物質の性質を知る上で観測上必要とされる最小値は既に我々の手中にあります。物質科学の理論分野においては、電子状態の記述、分子振動の記述などの基本的な要素は既に理解されており、理論的な経路計算による反応予測も可能となってきました。エネルギーの階層を越える理論に関しては、振電相互作用に代表されるように、数 eV の電子状態への刺激が数 meV の核の運動 (分子振動) へ伝わる機構は化学反応を理解する上での中心課題であり、多原子分子を記述するには近似的に原子間の相互作用を取り入れることで解決してきました。孤立した分子系の議論では成立していたこの仮定は、水素結合などのソフトかつフレキシブルな結合が混じる複雑な分子系では、必ずしも自明ではありません。化学が対象とする系は、限られた空間を切り出したモデルが成り立つ場合もありますが、多くの現実の化学系では、対象とする分子が溶媒分子など他の化学物質に囲まれています。水溶液中に置かれた電子は溶媒和電子と呼ばれ、その直径は数 nm です。近接相互作用に比べれば個々の相互作用は小さくても、熱揺らぎや置かれた環境などにより水素結合の相互作用の影響はかなりの長距離 (サブ μ m 程度) まで及ぶため、限られた空間に置かれていると、容器の壁ですら全体の系に及ぼ

す影響を無視できなくなってきました。これまで手中に収めた先端計測技術や理論を駆使して、サブ Å から nm、さらには μm に至る空間やアト秒からマイクロ秒をつなぐ時間の階層、さらには、エネルギーの階層を超える化学現象を解明することが今後の化学分野の課題としてその解決が期待されています。

今世紀に入り、化学の「ものづくり」の分野では、「非共有結合形成」に基づいたものづくりの世界が大きく広がってきました。強固な共有結合を有する分子を一つの構成要素として、金属原子などを仲介して非共有結合でつなぐことで、Metal Organic Framework (MOF) や超分子など、自己組織化材料や自己集合分子といった概念で表される新しい材料が生まれてきました。「空間材料」という概念が生まれたのもこの分野であり、この分野からは、有機化学的精密さをもった材料(構造材料や空間材料)や機能性物質がさらに開発されることが期待されます。天然物創薬(天然化合物を候補化合物とする低分子医薬)も期待される分野です。天然資源の枯渇や製薬業界の天然物創薬からの撤退を受け、一時期は存続意義さえ問われた分野ですが、バイオ創薬の様々な問題が明らかになり、天然物創薬への回帰が叫ばれています。解読ゲノム情報は、バイオ技術のみならず、化学合成にも大きな影響を与え始めています。例えば、ゲノム編集技術を基に自在な生物生産工場の設計や”建設”が可能になり始め、コストやスケールの、有機合成と競合する合成プロセスを提供し始めています。かつては発酵学などに代表される分野でしたが、近代的な「生物機能の特性を活かした合成」はほとんど未開拓であり、今後の成長が期待されます。

(川合 眞紀 自然科学研究機構分子科学研究所所長)

c. 幾何学の発展と数理学による社会連携

前世紀からの計算技術の急速な進展のなかで、理想化された対象に関して行われてきた幾何学研究が具体的に应用される場面が増えてきています。

一つの例として、ホモロジーという抽象的な数学理論がどのように応用されているかを示します。図 9-3 のような粒子の集まり(左)に対して、粒子を中心とする球を描き、半径を増加させていくと、球同士が繋がりと、輪のような構造が現れます(右)。さらに半径を大きくするとこの構造は見えなくなり、構造の出現と消滅に注目し、前世紀の高度に抽象化された数学理論を用いて定式化したものが、パーシステントホモロジー理論です。前世紀の終わりから今世紀にかけて、Edelsbrunner をはじめとする多くの研究者により整備されてきました。この理論によって出現と喪失を「座標」として表現したパーシステント図は、近年原子配置の解析に用いられ、液体とガラスの原子の配置を定量的に比較することに役立っています(図 9-4)

幾何学は、曲面の一般化である多様体や力学系の極限集合に現れる野性的空間などの図形や、それらの図形上の構造、構造の変形などを記述し、その性質を明らかにしようとするものです。構造を表現するために、対象となる図形の族において何を同じと見なすか(同型)を定義し、同型であれば同じ値になる「不変量」が定義されてきました。最先端の幾何学の研究においては、多数の不変量の「関係性」に着目し、それを「圏論」で記述し、微妙な構造を捉える試みが盛んに行われており、パーシステントホモロジー理論はその例のひとつです。様々な構造の変形の空間の圏論的研究がおこなわれており、2018 年チャーンメダルを受賞した柏原正樹の研究もパラメータ付きの積分の理

論を圏論的にまとめた導来圏により記述されています。こういう「圏論的幾何学」は将来性のある研究方向と考えられています。トポロジカルデータ解析、離散幾何解析、幾何学的群論、最適輸送問題と測度距離空間など、新しい研究対象に対する幾何学研究の成果が現れてきています。応用される範囲が広がるに連れて、次の課題も明らかになってきています。

今世紀に入ってから数理科学研究は、前世紀の抽象化形式化の成果を、具体的な問題の解決、特に社会の課題の解決へ応用する方向に向かっていきます。3名のフィールズ賞受賞者(小平邦彦、広中平祐、森重文)を出している日本の代数幾何学研究も極小モデル理論の完成に向けて着実に進展している一方で、暗号の安全性を保障する数学理論への応用が始まっています。またガウス賞を受賞した伊藤清が前世紀に切り開いた確率解析は金融や遺伝子等の複雑現象の解析にはなくてはならないものになっています[1]。圏論という枠組みは多くの現象を記述でき、これによる分野連携が期待されます。日本の数理科学の社会連携においては、このように数学の基礎研究力が生かされるという強みがあります。この方向を発展させるためには分野を超えた集中討議を数理科学の言葉により可能にする「訪問滞在型の研究施設」の設置が望まれます[2]。

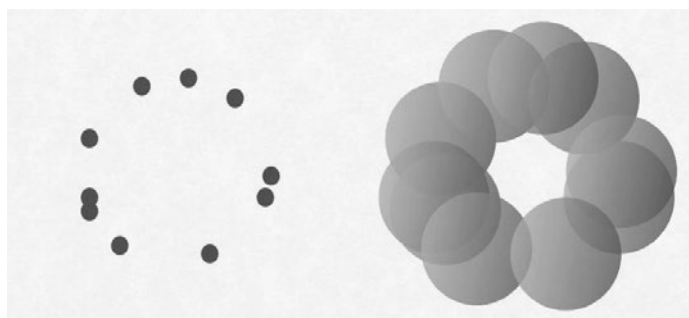


図 9-3 粒子が「丸い形を形作っている様子」を定式化するには、粒子を中心とする球の和集合の連結成分、輪状成分が、球の半径を増加させるときに「どのように変化するか」を考察すればよい。

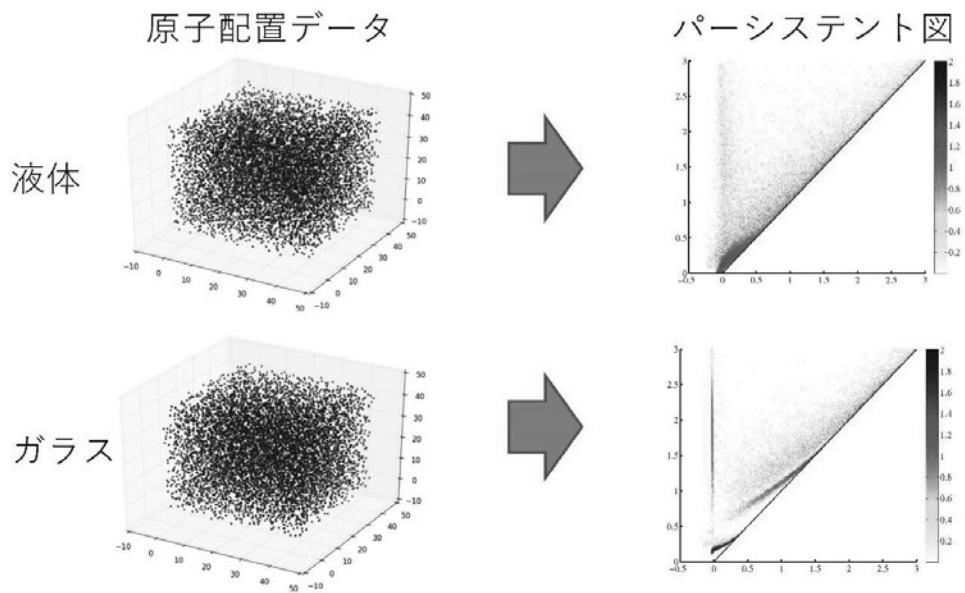


図 9-4 SiO_2 の原子配置とそのパーシステント図。ガラスは液体と異なり三つの曲線のような帯状領域を持つ。平岡裕章氏提供。

(坪井 俊 武蔵野大学工学部特任教授・東京大学名誉教授)

【参考文献】

- [1] 伊藤清博士の業績については <http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~kenkyubu/past-director/ito/ito-j.html> 最終閲覧日 2020年3月22日
- [2] 第23期日本学術会議第三部数理科学委員会数学分科会の提言「数理科学と他の科学分野や産業との連携の基盤整備に向けた提言」
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t250-2.pdf> 最終閲覧日 2020年3月22日

9-3 学術を支える基盤を整える

(1) 日本の学術研究の「危機」と政策の展望

近年の日本では、ノーベル賞の受賞が相次いでいます。2000年代に入ってから受賞者はすでに20人を数え¹²⁸、このことは、日本の学術(科学)が、長年にわたり世界的にも高い水準で行われてきたことの一つの現れと見ることができ、大変喜ばしいことです。

しかしその一方で、とくに最近、関係者の間では、世界の中で日本の研究力が危機にあるという認識が急速に広がっています[1][2][3]。具体的には、今日、日本の大学等の教育研究機関において、研究者各自の内発的関心にに基づき、長期的視野から腰を据えて基礎研究に取り組む環境が急速に失われ、学術の裾野を形成する研究者の活動が弱体化しているのではないかとことです。世界的に注目される論文の数でみた場合の日本の順位が、近年低下傾向にあることも指摘されています[4]。

このような「危機」が生じている理由はなぜでしょうか。この点について、国際的なデータに精密な分析を加えた研究の結果では、次のことが指摘されています[2]。①実質的に研究に従事する研究者数が、日本は先進国で最低クラスであり、かつ、この10年間停滞している。②大学への公的研究資金が、日本は先進国で最低クラスであり、かつ、この10年間停滞している。③博士課程学生数が、日本は先進国で最低クラスであり、かつ、この10年間停滞している。そしてなぜこのような事態になってしまったのかといえば、日本の政府(国)の大学に対する財政政策が大きく関係しており、大学の教育・研究の基盤的な経費(国立大学への運営費交付金など)が削減された結果、実質的に研究に従事する研究者数が減り、学術の裾野を形成する研究者の活動が弱体化する結果がもたらされた。

このように考えると、これからの日本の学術の将来を展望するとき、近年の活発なノーベル賞受賞に喜んでばかりいるわけにはいきません。前節においてせっかく学術の魅力を語った後に、少々暗い話になってしまいましたが、日本の学術の未来を展望するためには、現在日本の学術の現場が直面している課題を直視し、学術を支える基盤をあらためて整え直すことも重要です。そのような考え方から、日本学術会議は、折に触れて、日本の学術政策のあり方に関するいくつかの提言を発表してきました[1][5][6][7]。それらの提言によれば、日本の学術がこれからも世界に遅れることなく持続的な発展を遂げるためには、以下のような視点から、学術研究を支える研究資金制度のあり方を再構築することが必要です。

まず重要なことの第1は、学術研究を支える国立大学運営費交付金や私立大学等経常費補助金等の基盤的資金の拡充です。国立大学の法人化が行われた2004年度に1兆2,415億円であった運営費交付金はその後削減傾向が続き、2017年度には1兆971億円となっています。額にして1,400億円あまり、率にして11.6%(この間の企業物価指数〔日本銀行〕の上昇率6.2%を考慮すると、実質は16.8%)の大幅な減少です。2018年度・2019年度はかろうじて2017年度と同水準を維持していますが、事態が大きく好転したわけではありません。運営費交付金の削減は、基盤的

¹²⁸ 白川英樹(2000年、化学賞)、野依良治(2001年、化学賞)、小柴昌俊(2002年、物理学賞)、田中耕一(2002年、化学賞)、小林誠・益川敏英(2008年、物理学賞)、南部陽一郎(2008年、物理学賞)、下村脩(2008年、化学賞)、鈴木章・根岸英一(2010年、化学賞)、山中伸弥(2012年、生理学・医学賞)、赤崎勇・天野浩・中村修二(2014年、物理学賞)、大村智(2015年、生理学・医学賞)、梶田隆章(2015年、物理学賞)、大隅良典(2016年、生理学・医学賞)、カズオ・イングロ(2017年、文学賞)、本庶佑(2018年、生理学・医学賞)、吉野彰(2019年、化学賞)の各氏。

な研究資金の削減をもたらしただけでなく、国立大学の経営経費の多くを占める人件費に深刻な影響を及ぼし、教員ポストの減少や研究支援要員の削減等をもたらしました。それらの結果生じた研究時間の減少(研究時間の劣化)も深刻です。運営費交付金は、研究費だけでなく、大学の重要な使命である教育にかかるコストも含んでいるため、見かけの比率よりも影響はもっと大きいのです。私立大学における研究資金の確保も厳しさを増しています。日本の学術研究、特に研究成果が目に見える形で現れるまでに比較的長い時間を要するボトムアップ型の基礎研究を今後も維持・発展させるためには、人件費および研究費の双方について、基盤的資金の拡充が極めて重要です[1][5]。

このこととも関連して第2に、公的研究資金の全体について、基盤的資金と競争的資金、そしてボトムアップの自由な研究のための資金とトップダウンで計画化された研究に対する資金のバランスを取り戻すことも重要です。この間政府は、上記のように国立大学運営費交付金等の基盤的資金を削減する一方で、予め重点分野を決めて、そこに公的研究資金を集中的に投入する政策を進めてきました。いわゆる「選択と集中」政策ですが、過度の「選択と集中」という政策のあり方が日本の研究力の地盤沈下につながったと考えている研究者は少なくありません。基礎研究の充実や、学術研究の多様な発展を確保するには、各種のバランスのとれた資金配分が必要です[1][5][6]。

最後に、産業界からの支援も重要です。現在、大学等における研究費の民間負担率は3%程度とされますが[4]、種々の研究のうち社会の発展や産業界の振興に関連の深い応用研究や開発研究については、資金面で、産業界から大学等への支援強化が期待されるところです。長期的な視野に立った取組みが必要な基礎研究の充実には公的資金による支援、比較的短期の取組みでも十分な投資効果が見込まれる応用研究や開発研究については産業界からの支援という役割分担が考えられます[6][7]。

以上述べたことについては、もちろん、国民や産業界の理解を得ることが前提となります。学術の目的は真理の探究にあります。それを通じて学術は、人びとの知識や社会の文化を豊かにし、また、イノベーションを通じた経済発展の最大の源泉にもなります。さらに、社会が抱えるさまざまな課題の解決に貢献することも、学術が果たしうる重要な役割です。学術が持つ多様で複層的な意義について社会全体の理解を得られるよう、学術コミュニティが社会との対話を重ねていくことも重要です。

(佐藤 岩夫 東京大学社会科学研究所教授)

【参考文献】

- [1] 日本学術会議 科学者委員会学術体制分科会、「第6期科学技術基本計画に向けての提言」、2019年10月31日
- [2] 豊田長康、「科学立国の危機—失速する日本の研究力」、東京経済、2019年
- [3] 毎日新聞「幻の科学技術立国」取材班、「誰が科学を殺すのか—科学技術立国『崩壊』の衝撃」、毎日新聞社、2019年
- [4] 文部科学省 科学技術・学術政策研究所、「科学技術指標 2018」(調査資料-274)、2018年8月

- [5] 日本学術会議 学術の観点から科学技術基本計画のあり方を考える委員会、「第5期科学技術基本計画のあり方に関する提言」、2015年2月27日
- [6] 日本学術会議 学術研究推進のための研究資金制度のあり方に関する検討委員会、提言「学術の総合的發展と社会のイノベーションに資する研究資金制度のあり方に関する提言」、2017年8月22日
- [7] 日本学術会議 科学と社会委員会政府・産業界連携分科会「産学共創の視点から見た大学のあり方—2025年までに達成する知識集約型社会—」、2018年11月28日

(2) 日本の学術の基盤を広げるダイバーシティ

日本の大学の教育は、20年前、30年前と比べると大きく変化しました。卒業認定や学位授与の方針が明確化され、教育課程がより詳しく開示され、入学者の受け入れの方針がより明確が打ち出されるようになりました。学生にとって、大学で何を学ぶかがより明確になりました。また、オープンキャンパスなどのアウトリーチも一般化して、より大学は身近なものになっています。

しかし、大学が今後の日本を牽引していくためには、さらに大きな変化が必要です。特に大きな問題は、大学に学び、研究をし、教育をする人のダイバーシティが、十分でないことです。理系分野、特に、工学分野には、学部時点で女子学生がほとんどいません。文系分野でも、経済学、社会学などの分野では、女子学生が少ないのです。100年前であれば、多くの国で、女性が教育を受け、社会のリーダーとして活躍することはまれでしたが、今、ほとんどの国で、女性が政治にリーダーとして参加し、企業や研究で中心的な役割を担っています。男性、女性に限らず、全ての人が自分の能力を最大限に発揮していくことが必要だということが、共通認識となっているのです。また、全ての人が、家事や育児に参加することで、学術としてこれまで見過ごされてきた視点が追加され、学術がより豊かになっていくと期待されています。

今これを読んでいる、女子中学生、高校生のみなさんは、何を参考にして、自分の将来を決めているでしょうか。保護者の方、先生がたが、育児や、子育てなど、将来の負担を心配して、色々なアドバイスをくれることがあるかもしれません。でも、今の日本では以前はなかった、様々な制度があり、より多くのことに挑戦することができます。自分の周囲の大人が選んだ選択肢をそのまま受け入れるのではなく、自分の能力を発揮できる選択をしてほしいと思います。

もう一つ大事なことは、国際性を養うことです。人類が共同して解決に当たる必要がある地球規模の問題が増え、外国の人と共同作業をすることが重要になっています。AIの発達によって、言語の壁が低くなり、海外の人とチームを作ることが、ますます普通となっていくでしょう。この中で、考え方や習慣の違いを学び認め合うことが必要になっています。学術の世界では、このような国際性が最も必要とされていて、大学で学び、研究することで、このような能力を伸ばすことが十分に可能です。日本の大学や研究機関には、すでに多くの外国人が在籍しており、また、海外経験をもつ日本人研究者が、研究を推進しているのです。十分な資金を投入して、この機能をさらに発展させる必要がありますし、日本学術会議はこれからキャリアを積み上げていく人が、世界に乗り出す機会を積極的に作るべきだと考えています。

(野尻 美保子 高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所教授)

(3) 国際的学術情報発信の基盤形成

AI の時代がおとずれることで、学術情報の発信が大きく変わろうとしています。この中で、日本の学術が世界の中で実力や貢献度に見合った評価を得るためには、これまでとは異なる枠組みが必要になってきています。

学術出版は今後 10 年で大きく変わると予想されています¹²⁹。具体的には、購読料を払わなくてもオンラインで論文を読むことができるオープンアクセス(OA)化の進展と出版論文数の急増や、これまで学術情報発信の中心であった論文出版からデータのみを出版するデータ出版へのシフト、学術情報分野への人工知能(AI)利用の急速な進展などが予想されています。わが国の英語の学術論文(英文)誌のほとんどは学協会が発行していますが、海外の大手商業出版社や欧米の大規模学協会による学術誌出版から大きく後れを取っています。学術誌の影響力を測る指標として、発行した論文の被引用数を示すインパクトファクター(IF)¹³⁰が広く用いられていますが、わが国の発行する英文誌の IF は低迷しています。既存の米国、英国に加えて中国等も積極的にトップジャーナルの出版を目指しており、有力誌に匹敵するフラッグシップ誌の実現が長年の夢となっています。

競争的研究資金配分機関によるプロジェクト成果の OA 出版への傾斜は今後も進むと予想されますが、この中でデータ出版やデータアーカイブが激しい国際競争に晒されるでしょう。データリポジトリーの充実喫緊の課題であり、わが国のデータアーカイブの充実と、データの保持と適切な公開ができるシステムの構築が望まれます。OA 誌の多くは知的財産の再利用が可能な CC-BY ライセンスのもとで出版されるため、著作権に加えて知的財産に関するリテラシーを科学者も身につける必要が生じます。多様な情報発信の方法も利用されるようになり、AI を利用した無機質な編集システムや arXiv などの科学者が相互に評価するピアレビューに依らない研究成果の公表が普及する傾向にあります。低質な論文を出版するハゲタカジャーナルや実体のないハゲタカ国際集会の識別なども含めて、科学者コミュニティの適正な対応に日本の研究者も協力していく必要があります。近未来には AI の発展により多くの分野で学術論文における言語の壁が消失する可能性が高く、機械翻訳を利用した多言語同時出版により、日本語論文としてまとめられた学術研究の成果が素早く世界中の研究者や技術者に還元されることになるでしょう。この仕組みをさらに有効にするためには日本語論文や著作物等の正確な被引用データが不可欠であり、早急なシステムの整備が必要となります。

長年続いてきた研究機関と商業出版社の個別の契約によって決められてきた購読料は、商業出版社の学術研究の囲い込み戦略によって高騰しており、重要学術誌の論文閲覧が困難になるなどの重大な問題が生じています。一方 OA 出版では図書出版費用(APC)を投稿者が研究費などから負担するため、OA 出版の拡大により論文出版経費が研究費を圧迫する傾向にあります。このような出版ならびに購読費用の高騰に対しては、複数の大学や公的研究機関の連合体の一括契約による経費圧縮を切望する声が高まっており、購読契約の基本経費と参加機関からの出版経費の徴収を管理する新しい購読契約システムの整備により、誰もが学術情報を利用できるとともに情

¹²⁹ “Research Futures,” <http://www.elsevier.com/connect/elsevier-research-futures-report> (最終閲覧日 2020 年 3 月 23 日)

¹³⁰ ある年の1年間に、前年以前の2年間あるいは5年間に発行した論文が引用された総数を、その期間の発行論文数で割ったものを2年または5年インパクトファクターと呼ぶ。

報発信できる充実した学術環境の実現が期待されます。ただし、一括契約は将来的にはデータ出版も包括して高騰する可能性もあり、諸外国の動向も慎重に見据えたうえで政府、科学者ならびに図書館組織が協力して合理的な運営を行い、学術情報に関するインフラを維持してゆく必要があります。

一方学術出版を支える日本の学協会の多くは少子化による会員減少と厳しい公益法人会計に苦しんでおり、今後も多様な学術活動の基盤を支えるには、スケール効果が期待できる連携・連合体化と国際化を推進する必要があります。例えば、帰国留学生との協同による東アジア圏の科学者ネットワーク形成など、学協会活動の新しい展開が望まれます。

(山口 周 大学改革支援・学位授与機構研究開発部特任教授)

9-4 学術の社会的広がり

(1) 博士人材の活躍を生み出すための社会変革

1990年代から始まった大学院重点化政策により増加してきた博士課程への進学者数が、また下がってきています。博士課程在籍者の総数では、最近15年間で約20%減ですが、内訳では、企業から派遣されて博士課程に籍を置く社会人大学院生の割合が増えているので、修士課程から博士課程に進むいわゆる進学者の数は、ほぼ半減しています(文科省データによる)。さらに付け加えると、米、独、英、韓と比べ日本の博士号取得者の人口比は半分以下であり、このまま減少が続くと今後ますます差は大きくなるばかりです(文科省データによる)。我が国の知的人材不足は学術界の低迷はもちろんのこと、経済界、行政、外交、などの各方面において日本の活力や地位を低下させている要因の1つであることは容易に想像できます。

なぜ日本だけが博士人材の育成がうまくいかないのでしょうか。重点化政策開始当初は、多くの学生が、将来の職業選択に有利と考え、博士課程に進学しました。ところが蓋を開けてみたらポストク問題などが深刻化しただけで、進学のメリットはあまりなく、それを見た学部・修士の学生が進学しなくなってしまったのです。学位の取得が職業選択に有利に働かなかった理由の1つに、日本の企業文化の壁があります。高度経済成長期に人手不足を補うべく企業での on job training(働きながら、その会社での仕事を覚えていく)が一般化し、そのまま定年まで、同じ会社に務めることが慣習化しています。そこに学位取得者が入り込めず、結局博士はアカデミア以外ではあまり必要とされなかったわけです。日本以外の先進国では科学や学問の進歩に伴い、学部教育のみでは専門教育が追いつかなくなり大学院が必然的に重要度を増してきました。日本だけが「教育は学部だけで十分、あとは会社で」という慣習から逃れられずに、そのまま現在までできてしまったのです。

例えば欧米の企業の研究開発職や管理職の多くが博士号を持っていますが、日本は非常に少ないです。厳しい言い方をすればエグゼクティブの「低学歴国家」と言ってもいいかもしれません。単純に比較はできませんが、高校卒と大学卒は4年在学期間が違いますが、大卒と大学院博士課程卒では5年以上違います。しかも研究力、開発力を育てることを目的とした教育は、学部教育ではほとんど行われていないのが現状であり、大卒と博士ではその実力の差は明白です。このような現状において日本がグローバリズムの中で衰退するのは仕方ありません。特にITや生命科学などの、発展めざましく、しかも生産性が高い分野で世界の潮流から取り残されてしまうのも、もっともな話です。広い視野と高い研究開発能力を持った人材の育成をさぼったツケが、今、回って来ているのです。ではどうすればいいのでしょうか？答えは簡単で、今から増やす以外の解決策はありません。

学生に博士課程に行かない理由を尋ねると答えは主に2つあり、1つは経済的な理由、もう1つはその後のキャリア形成の不透明さです。前者は、欧米の大学院生が給与を支給されているのに対し、日本では授業料も含めて自己負担が一般的です。親も退職している年齢なので、経済的に相当恵まれていないと博士課程に進学するのは、難しいです。政府が大学院生の経済支援に高い優先度を与えるべきです。大学院教育は将来に向けての「国家レベルの投資」と考え、早急に取り組んでもらいたいです。

さらに問題なのは、後者の卒業後のキャリア形成です。こちらがうまく機能しないと上述のように大学院に行くインセンティブがありません。日本では博士号保持者を採用した経験がない企業が多いため、ハードルが高いと感じられている経営者も多いと思います。しかし博士号取得者には、英語

で書かれた論文を読みこなし、新しい技術や情報を取り入れ、現状突破力に長けた人材が多数います。彼らが、企業に大きな利益をもたらす貴重な人材であることはいうまでもありません。古い考えや慣習は捨てて、積極的に採用すべきです。実際に、大隅基礎科学創成財団が最近とったアンケートでも、博士採用を増やしたいと考えている企業が増えてきています。その点でも大学院生へのより手厚い支援は時宜を得たものと言えるでしょう

博士課程進学者が増えれば、それに応じて大学院教育も変化し、その質も向上してさらに社会に与えるポジティブな効果が高まります。今が大事な分岐点と考えて、必要な投資を企業ならびに行政にぜひお願いしたいです。

(小林 武彦 東京大学定量生命科学研究所教授)

(2) 高度化する社会における知的人材¹³¹

前節に述べられている通り、わが国の人口当たりの博士号取得者数は主要国に比べ半分以下であり、博士課程進学率も下がってきています。博士の数において世界との差が開きつつあるのです。もし博士の数とグローバルな競争力が無関係であるとするなら、とりたてて問題視する必要もないのかもしれませんが。実際、20世紀後半の日本経済は、博士の数に関わらず勢いがありました。当時、博士課程は専らアカデミアのためのものと見なされていました。ところが急激な経済成長が終わると、企業でも次の成長の種を探すのに基礎研究が見直され、政策の助けもあって一時博士課程の進学率が上がる局面もありました。しかしその後の経済は長く停滞し、その間日本企業の基礎研究を維持する体力が低下した結果、再び博士人材への企業の期待が萎んでいます。アカデミアへの就職も狭き門となる中、博士課程進学率が下がっています。

日本企業の動向をもう少し詳しく見てみましょう。日本企業が博士人材を必ずしも必要としない一因として、修士人材の存在があります。修士課程は、学部4年では不足する専門講義や演習を補強するのに十分で、かつ研究経験もそれなりに積めるので、特に理系では、修士人材は企業にとって、過度にアカデミックでなく過度に未熟でもない「最適」な専門人材とみなされてきたのです。実際理系の修士課程進学率は、多少の変動はあるものの高止まりしています。修士に加えて博士課程を履修する意義を大きくしないと、「企業には修士で十分」という意識は変わらないでしょう。

では修士課程まででは得られない、博士課程でしか得られないものは何か、と問われれば、すぐ思いつくのは、特定の分野の深い専門性です。しかし、博士課程を出てキャリアを積んだ多くの人々が、「課題を自ら発見し、分析し、解法を編み出し、実証し、学問として普遍化する」という研究の起承転結を、一人で(すなわち主体的・自律的に)行った経験が大事だと考えています。それに加えて、多くの場合は、修士学生、学部学生、インターン生を教育、統率して、チームとして成果をあげる経験もします。この過程で留学生と日々接し、またグローバルな大舞台で成果を問う経験もするので、世界と渡り合う能力が涵養されます。

博士人材を専ら「基礎研究の担い手」と考えるならば、全ての企業がその人材を有効に活用できる状況ではありません。一方、「新たな難題に対して科学的かつ主体的・主導的に挑戦できるグローバルな」人材と考えると、日本企業が現在最も必要とする人材ということになります(政治や行政のリーダーにも必要な資質であることはもとよりです)。本来この二つの人材像は同じものなのですが、これまでは前者の側面で博士人材を捉えがちでした。博士人材の本来の姿は後者の側面であって、そこにスポットライトを当てて、企業経営にとって修士人材以上に博士人材が重要であることを認識するところから始める必要があります。

博士人材の社会での活躍をさらにサポートするために、大学側にできる努力としては、現有の博士課程教育が、後者の側面すなわち「科学的思考のリーダー」を育成するに最適な仕組みになっているかどうか、再点検することがあると思われます。従来、博士課程で優れた基礎研究の経験を十分に積めば、後者の素養は自然に身に付くと考えるのが暗黙の了解でした。しかしとすると、博

¹³¹ (本小節の内容は、電気電子工学委員会デバイス・電子機器工学分科会が2019年3月21日に行った公開シンポジウム「21世紀社会における日本のエレクトロニクスを支える博士人材育成」での議論が発端になっております。同シンポジウムの講演者、参加者、分科会委員の皆様にご感謝いたします。)

士課程の間社会から隔離され、結果的に専門以外のことは分からない人材が輩出されることで、博士人材の企業における過小評価に繋がった面が否めません。これまでより明示的に、専門外の教育を含め、広く社会のリーダーとなる素養を育てる働きかけが必要と思われます。特に理系には文系を、文系には理系を、博士課程で再度学ぶ仕組みが用意されるべきでしょう。企業で成功した博士人材の例(ロールモデル)を多数示すことで、博士人材の能力の社会的信用度を上げる努力も必要でしょう。起業家教育も重要な要素になります。昨今各所で見られる新たな博士課程の試みの中には、このような工夫を施したものが見られるようになって来ました。また、博士課程教育に積極的に企業人に関わってもらう仕組みを導入した試みなども注目されます。

企業側にできる努力としては、博士人材を「科学的思考のリーダー」という観点から採用し、初めから大きな責任のある立場に登用し、職責に釣り合う高い報酬を与えるような制度改革をすることです。活躍の場も、研究開発はもとよりですが、これからはむしろ、(文理に拘らず)広く経営に関わる要職や国際舞台で対等に交渉するような役割に早くから就かせるのが適切と思われます。「採用当初からグローバルに活躍できる幹部候補生は、まず博士課程修了者から採用する」という認識が一般的になると、博士を目指す学生数は飛躍的に増えるでしょう。実際、海外企業ではすでに、博士号が上級職を得る必要条件になっています。

日本では大卒の初任給と大学院卒のそれとが勤務年数分しか変わらない現状がありますが、これはとてもおかしいことです。博士号を取得後大学の助教に採用された場合の年収は400~500万円(27歳)ですが、ポストの数も少なく、インセンティブにはなりません。企業において海外並みに年収が600~700万円(27歳)くらいでスタートすれば、優秀な学生が博士課程に進み、企業に就職するインセンティブになると思います。グローバル化が加速する中、後追いではなく、ゼロからの研究開発力が問われる時代です。会社の規模に関係なく、自社が生き残るための必須な投資と考え、大胆に博士人材の採用を増やしていただきたいです。

(中野 義昭 東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻 教授)

(3) 博士人材の活躍を生み出すための社会変革～文系人材を生かす社会

次に文系の博士人材について考えてみましょう。日本の文系博士人材は、その規模が他の先進諸国と比べて非常に小さいだけでなく、民間での雇用機会がきわめて限られています。近年はアカデミア以外の多様な民間企業への就職がわずかに増加しつつあります¹³²。すでに指摘されているように、科学技術の急速な進展や環境変化は、時間と空間を超えて人間と社会に関する深い洞察を不可欠とするため、文系博士人材がアカデミアを超えて社会の各所で活躍できる状況を実現してゆくことはきわめて重要です。

たとえば、国連難民高等弁務官や人間の安全保障委員会共同議長などを歴任し、紛争解決や苦境にある人々の救済に尽力して各国首脳から「身長5フィートの巨人」と称賛され、2019年10月に惜しまれながら世を去られた緒方貞子さんの原点は、国際政治学分野の博士論文にありました。満州事変について多角的に描いたその博士論文は、異なる立場の見方を理解し、複雑に絡み合う事態を解きほぐす内容のものであり、まさに緒方さんのその後の人生や活動において様々な主題に関して遺憾なく発揮されたふるまい方が博士論文に凝縮されていたと言えます。

国際政治学に限らず、人文・社会科学系のどのような分野であっても、多言語を含む多数の文献の読解と総合、史資料・データの分析、批判的・論理的思考など、博士号の取得にいたる過程で身につける様々な知識やスキルは、社会の諸課題の解決に大きく寄与できる可能性をもっています。

このような文系博士人材の活用の必要性和課題については、近年、大学院側と産業界の双方において認識の共有と協議に一定の進展がみられます。たとえば、2019年4月に中央教育審議会大学分科会大学院部会がとりまとめた「2040年を見据えた大学院教育のあるべき姿～社会を先導する人材の育成に向けた体質改善の方策～」では、人文・社会科学系大学院の課題として、①体系的・組織的な教育に取り組んでいる専攻の割合が他の分野より低いこと、②博士号取得までの期間が他の分野より長いこと、③教員と学生の関係が限定的・固定的であり、教育の内容が社会のニーズから乖離していること、④修了者のキャリアパスが見えにくいこと、の4点を挙げ、それぞれについて改善の取り組みが喫緊の必要性をもつとしています。

また、「採用と大学教育の未来に関する産学協議会」の「分科会の中間とりまとめ」（2019年4月）では、「大学院生（修士、博士）の採用の方向性と課題」として以下のような記述があります。「ジョブ型採用の割合が増大し、グローバルな企業活動が拡大する中で、大学院生の採用について、今後は拡大して積極的に採用する企業が増える方向が指摘された。今後の課題として、人文社会科学系も含む大学院生の採用を拡大するため、企業側は、必要とする大学院レベルの専門性を明らかにするとともに、専門性に即した処遇・キャリアパスを示す一方、大学側は、大学院教育によって、どのような専門性や能力が身につくのかを具体的に明らかにすべきことが指摘された。また、大学側からは、欧米企業の幹部などは、修士以上の学歴を持つことが標準であることから、日本も、社会人のリカレント教育や国際的に通用する学位の取得に、大学院をより積極的に活用すべきとの意見があった。」

¹³² 科学技術・学術政策研究所「科学技術指標 2019」、「博士人材追跡調査」第2次報告書[NISTEP REPORT No.174]、中央教育審議会大学分科会大学院部会「2040年を見据えた大学院教育のあるべき姿～社会を先導する人材の育成に向けた体質改善の方策～（審議まとめ）」および関連データなどを参照。

これらの提言にも明確に表れている文系博士人材の活躍の必要性を、大学・産業界・博士人材自身が明確に認識するとともに、その機会の拡大と、そこへの道筋の確実な整備を、一刻も早く実現していくべきです。

(本田 由紀 東京大学大学院教育学研究科教授)

(4) 世界で活躍する博士人材

「博士」という字を見ると、ほとんどの一般の人は「はかせ」と読むのではないのでしょうか。広辞苑では「はかせ」は「学問またはその道に広く通じた人。ものしり。学者」とあり、知識を持つ人という位置付けのようです。一方「はくし」は「自律的研究能力と学識とを有するものに授与される学位」とあり、能力が問われています。ここまで読んだ皆さんはお気づきかもしれませんが、「はくし」のもつ「自律的研究能力と学識」を証明する資格として博士号が世界で重要視されているのです。事情は国・文化によって大きく違いますが、例えばドイツでは政治家でメルケル首相をはじめとして博士号を持つ人が多く、政治家が学歴詐称して博士号を持っているふりをするスキャンダルがあるほど、尊敬できる人の一つの条件になっているようです。この小節の筆者である村山の所属する UC Berkeley の物理教室では博士号を取得した学生の約半数が大学・研究所で研究職につきますが、残り半分は様々な道へ進んでそれぞれ活躍しています。仮説を立て、定量的に予言をし、検証をする、という訓練は金融で重宝されるので投資関係の仕事に就く人や、データを解析する経験を買われてビッグデータ企業へ進む人が多くいます。また、起業にも積極的です。一般に「博士号を取るくらい優秀な頭脳ならなんでもできるはずだ」とみられているのです。日本の官僚や企業人が欧米のカウンターパートと交渉などをする際、先方が博士号を持っていて出発点から低くみられてしまって不利になることも多いと聞きます。逆に言えば、博士号を取ったら世界で活躍できる可能性は十分あるし、実際にそういう人たちがたくさんいます。そして海外で博士号をもって活躍し尊敬される人材が「尊敬される国日本」へ結びつきます。実際アジアでは唯一、自国での研究が多くのノーベル賞に輝く日本への尊敬は、欧米で既にとても高いです。

日本でも海外でも、学生が大学院に進む時にはほとんどの人が研究職を目指しています。海外でも研究職につけない人が「失敗」という印象があるのは日本と変わりません。しかしそれ以外の道に進んだ人はむしろ大学よりもはるかに高い給料をもらえることが多く、経済的には「成功」になります。実際、学生たちは将来「食っていけない」ことをあまり不安に思っているようには見えません。このような気分の差は研究をしている学生の積極性、ひいては、パフォーマンスにとってとても重要で、日本の社会の中で改善されないといけないと考えます。

日米のもう一つの大きな違いはテニユア制度にあります。アメリカは社会全体として雇用が非常に不安定で、レイオフもしばしば起き、昇進のためには別の組織に移らないといけないことが多いです。その中で、大学に限って生涯にわたって安定したテニユア職に就くことができます。「年齢による差別は憲法違反」ということで定年すらありません。そのため優秀な人が死に物狂いで戦ってテニユア職を手に入れようとするのです。一方日本では企業が今まではほぼ終身雇用を建前とし、むしろ大学だけが若い時代に不安定な有期雇用を続けることになったため、優秀な人が研究職を目指すのはむしろ当然でしょう。

日本の社会の文脈の中では、若手の雇用を保証する人事システムを大学・研究所に取り戻す必要があると考えます。

日本では、「博士号をとるほど特定の専門分野に集中した人は、頭が固くなって他のことができなくなり、企業では使いにくい」と思われているそうです。そのためせっかくの長年の努力と訓練を生かせず、就職にもむしろ不利になると心配し、学生が博士課程に進まなくなっています。日本の大学院生や博士号取得者は海外の博士号取得者に比べて劣っているのでしょうか？

個人差は大きいですが、一般的に日本の学生は非常に優秀で、とくに問題解決能力に優れていると感じます。しかし、国外で活躍するためには文化・教育のために損している点があります。コミュニケーション能力と課題発見能力です。アメリカの学生は課題発見能力が高いと感じています。広く興味を持つ中で他の人が取り組んでいない既存のテーマの狭間にある新しい問題を見つけようとするのです。“A problem well-stated is half solved.”という言葉があり、既存の問題を深く掘り下げたよりも、新しい問題を見つけた方がゲームチェンジングな研究になるという考えです。コミュニケーション能力については、英語力はもちろん重要ですが、なんとかなるものです。それよりも、自分の言いたいことをしっかり持っていること、そしてそれをサクッと短くまとめて言えることが大事です。英語では elevator pitch という言葉があります。たまたまエレベーターで乗り合わせた時に、目的階に着く前に自分を、または自分のプロジェクトや研究を売り込めるだけの、簡潔な言葉、という意味です。

海外のポジションについてのことのある日本人の多くは、こうした感覚を身につけています。でも、国内の大学院でも、自らの意識の持ち方で獲得できる能力ではないでしょうか。今、多くの大学院では博士課程在籍中に国際性や起業能力を高めるプログラムを持っています。例えば、筆者(村山)のコーディネイトする東京大学の物理、数学分野の卓越大学院のプログラムでは、国際キャリア研修、Academic Writing and Communication など、外国でのキャリアを意識したトレーニングや、AIや量子計算など本来は物理、数学から派生した内容を積極的に取り入れています。さらに社会の抱える課題について知るために、SDGs などについての講義を取ることも推奨しています。原子物理学の基礎研究でノーベル賞に輝いた Steven Chu は、オバマ政権でエネルギー省長官につき、気候変動や環境問題についての多くの政策を推進しました。こうしたロールモデルを知ること重要です。専門的な研究で磨いた応用力は、すこし視点を広げるだけで、企業で活躍する、あるいは自分で起業するときの武器となるはずです。また、社会への興味が広がれば、その分、人文学的な知識の重要性も感じられ、総合的な能力が身につくでしょう。ぜひ「はくし」を世界で活躍するチケットとして、生かしてほしいと思います。

(村山 斉 東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構教授・主任研究者、カリフォルニア大学バークレー校教授)

9-5 これからの日本の学術のために

本章では、学術のさまざまな分野における最先端の動向を述べ、今世紀の学術の方向性を占うと同時に、健全かつ着実な学術の発展のためにはどのようなインフラが必要なのかを見てきました。

そもそも、私たちはなぜ学術研究に夢中になり、その発展のために寝食を忘れることができるのでしょうか？研究活動は、常に成功して偉大な成果を得るわけではありません。しかし、稀にしか訪れない僥倖ではあっても、地道な研究の末に、人文・社会科学であれ自然科学であれ、研究対象に隠れていた美しさを見出すことができる瞬間の喜びのゆえに多くの研究者は果てのない旅を続けるのだと思います。

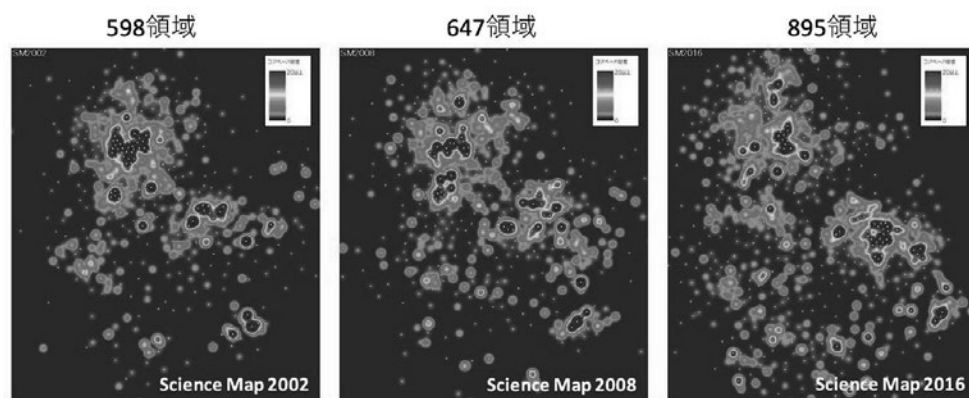
美しさとはなにか。それは存在が予言されていた未知の因子を探し出したり、革新的技術を生み出すこともそうかもしれません。しかし、本当の美しさとは見出された個々の事実にあるのではなく、その事実を知ったことで全体が統一的に理解できる(あたまたにストンと落ちる)喜びにあるのだと思います。

自然現象は時として予想もしなかった表情を示します。しかし、それが起こる仕組みや起きている時の状況をよく考えてみると、全く別の状況で起きていることと同じ言葉で理解できることがあります。たとえば、がんは長らく我が国の死因の第一位を占め、がんと診断されることは一種特別な感情を引き起こさせます。治療がうまくいかなかった時には死に至る確率が高いからです。それでは、がん細胞はなぜ治療に抵抗しそれに打ち勝つのでしょうか？がん細胞を患者体内という生態系にある独立した生物と考えた場合、がんの悪性化はあたかも生物が治療という環境変動に適応して進化し続け、最終的に宿主(患者)を斃しているように見えます。このように、がんと生物進化は、それらが起こる時間スケールは全くちがうものの、それらの間に類似性があることは以前から指摘されていましたが、最近のゲノム医学はそれが正しいことを証明しています。この結果、がんを治療する新しい戦略のヒントを得ることができました。研究において、メタファーがいかに重要であるかを示す一例です。

我が国の学術の将来を占うとき、明るい未来とともに多くの問題点が指摘されています。文部科学省の科学技術・学術政策研究所(NISTEP)はサイエンスマップという興味ある解析を行っています。学術の対象は無限であっても、人の営みである学術そのものは無限の広野ではありません。同好の士からなる学会があるように、我々は比較的類似した対象を研究する集団を作っていると言えます。集団に属する者どうしはお互いの研究内容をよく知っているので、論文発表では同じ集団内の研究者の成果を多く引用し、他の集団の成果はあまり引用しません。こうして、互いに成果を論文で引用し合う研究者集団をひとつの領域と定義することができます。NISTEPはこのことを利用して、世界の研究者の集団地図を作成しました。図9-5はこのような作業を2002年、2008年、2016年にわたって経時的に行った結果です。学術領域にも興亡があり、次第に研究者数が増える領域と減る領域があります(減るからといって重要性が失われたわけではありません)。一方、この地図上でこれまでに検出されなかった新領域が新たに出現する場合があります(2002年には598領域だったものが2016年には895領域、約50%増)。その中で、既存の領域とは地図上で離れた場所に出現したものは、既存の領域の単純な発展・拡張ではなく全く新しい領域であると考えられます。そのような領域は将来的にこれまでにない新しい世界の理解につながる可能性があります。ところが、我が国研究者のこれら新領域創生に対する貢献は相対的に少ないのです。

以上のことは、我が国の研究者は既存の領域に群れている(クラスター化している)一方、他領域への進出に躊躇しがちであることを意味します。これはなぜなのでしょう？異分野への進出は、その分野の基礎知識が少ないが故に飛び越えるべき溝があり簡単なことではありません。しかし、前述したメタファーを梃子にそれを飛び越えることはできます。若手研究者は頭脳が柔軟なので異分野交流に適していると言われます。しかし、異分野をある程度のぞき見る経験を積んだ中堅以降の研究者でしか飛び越えられない溝もあるでしょう。また、さまざまな領域の学会に気軽に参加できない地理的・言語的バリアも理由のひとつかもしれません。

我が国は少子高齢社会を迎え、優秀な若手人材の確保とともに、さまざまな世代の研究者がそれぞれの立場と能力を活かして少ない研究資源を最大限に活かす必要があるといえます。このために、日本学会会議はアカデミーの代表としてこれからも積極的な提言を行います。



(出典)サイエンスマップ 2016 より引用。 https://www.mext.go.jp/content/1422277_06.pdf
2020年3月24日閲覧。

図 9-5 図中のヒートマップで示されるスポットそれぞれが個々の学術領域に相当する。抽出された領域数は経時的に増加している。

(石川 冬木 京都大学大学院生命科学研究科教授)