



科学・技術と社会の関係を考える

1. —科学・技術から科学技術へ—

柴田 清*

1. はじめに

この原稿を準備している数週間前に、日本原子力研究機構の幌延高レベル放射性廃棄物深地層処分研究センターを見学する機会を得た。高レベル廃棄物の処分技術は幾重もの漏洩防止技術を組み合わせたものであり、相当長期にわたり小惑星の衝突でもない限り安全性を確保できる可能性があると感じられた。しかし、それでもその処分場設置を実際に受け入れる地域が現れるとは思えないし、実際に今現在存在しない。原子力廃棄物の処分技術は科学技術に基づく合理的な解にたどり着いているのに、社会には受け入れられていない。これは、社会の側が非合理的な判断をしているからだろうか。社会は科学技術の専門家とは全く異なる合理性で判断をしているのではないだろうか。

科学技術の成果の多くが人間生活の安全性・快適性・利便性を向上させてきたのは間違いない。社会も変えてきた。スマートフォンが典型的な例である。しかし、それを社会が受け入れるかどうかの問題となった事例も少なくない。古くは産業革命時には機械化による熟練労働者の失業、不熟練労働者の酷使や労働環境の悪化などに抗議して機械や工場建築物を打ち壊したラッドアイド運動があった。現代では、原子力発電や遺伝子操作作物などは是非の議論が残る中を商用利用が拡大されているもの、遺伝子編集による人間の能力増強、人工知能搭載の完全自動兵器など規制の対象と考えられるものもある。実際、軍事技術の削減協定は何度も締結されたし、遺伝子操作技術の開発初期においては科学者による自主的なモラトリアム規程が設けられた。本誌に関係深いところでは、ナノマテリアルによる健康被害などがこうした例として挙げられる。その一方で、非科学的な言説、あるいは科学と紛ら

わしい言説が社会の人々を惑わせているように感じられる事案もある。

物理学者のアルヴィン・ワインバーグ⁽¹⁾は「トランス・サイエンス問題」という概念を提起している。「科学によって問うことはできても、科学によって答えることができない」というのがワインバーグの定義だが、若干の拡大解釈をすれば、科学が一因となって引き起こされる問題だが、科学だけでは解決できない問題と言える。科学技術の発達によって、このような社会における問題の頻度・複雑さは増しているように思える。その一方で、科学技術の側もそれ自体の原理で進展するのではなく、社会の影響を受けているはずである。つまり、科学・技術と社会の界面で発生する問題(STS問題、STS: Science, Technology and Society)と言える。

このような問題に対して、科学技術の専門家はどうか対処すべきか、また専門家ではない人々はどのような態度で接すればよいのか。本誌のプロムナードという場を借りて、4回の連載においてこの問題を考えていきたい。

初回ではまず、なぜ、社会との間で起きる問題が深刻・拡大するようになったのかを考えるために、科学技術が歴史的にどのような変化(発展)を遂げてきたかを振り返り、以降、表1に示すような題材を採り上げながら、最終的には科学技術の専門家の役割と社会の側が備えるべき素養などを考えていきたい。

2. 科学

前節では「科学技術」という言葉を何の断りもないままに用いたが、2010年に日本学術会議において「科学技術」では科学技術政策が出口志向の研究に偏るとの疑念を生むので、「科学・技術」と表記すべきとの勧告がなされている⁽²⁾。

* 千葉工業大学社会システム科学部；教授(〒275-0016 習志野市津田沼2-17-1) Interactions among Science, Technology and Society —1. “Science and Technology” to “Scientific Technology”—; Kiyoshi Shibata (Chiba Institute of Technology, Narashino) Keywords: science, technology, engineering, society, expert, conflict, history 2019年9月20日受理[doi:10.2320/materia.59.32]

表1 本連載の構成予定.

	テーマ	トピックス
第一回	科学・技術から科学技術へ	科学とは、技術とは、科学技術の誕生
第二回	科学技術の理解	科学的正統性の条件、疑似科学、科学技術リテラシー・コミュニケーション
第三回	科学技術の制御	社会的合理性、レギュラトリーサイエンス、イノベーション、テクノロジーアセスメント、市民参加
第四回	科学技術の倫理と公正	責任ある研究・イノベーション(RRI)、技術者倫理、適正技術、軍事研究

歴史的にはそもそも全く異なる活動であった「科学」と「技術」が、近年では一体化したものとなり、その影響力が増してきたことが、STS問題が拡大深化する大きな原因となっていると考えられている。そこで、この連載の第一回目は「科学技術」の成り立ちについて、そもそもの「科学」と「技術」の変質を順に見ていきたい。

(1) 科学の歴史

「科学」は Science の邦語訳とされる。Science の語源はラテン語の *Scientia* であり、知識や学問の総体を意味する。本節では紙幅の都合上、「科学」を今日的な意味での自然科学に限定して、その内容(自然の理解の仕方)が決して一貫したものでなく、時代と主に変遷してきた様子を手短に振り返ってみる。

古来人間は様々な自然現象に関してなぜそのようなことが起きるのか理解したいと考え続けているようだ。まずそのような自然の探求は多くの場合、神話や宗教の体系による解決となったが、古代ギリシアにおいては論理的な一貫性をもった説明の仕方が追求された。その意味で「科学」の源流は古代ギリシアに求められる。アリストテレス、アルキメデス、ユークリッドらの知識は都市国家とその市民階級の衰退とともにアラブ世界に伝えられ、それが十字軍遠征やレコンキスタ運動を通じてルネサンス初期に欧州世界に発見された。

一般に、現代の自然科学の基礎は、16世紀半ば頃から17世紀のコペルニクス、ケプラー、ガリレオ、ニュートンらによって築かれたと認識されている。キリスト教教会の知的支配から脱却する「科学革命」と言われる。しかし、彼らの自然の理解は現在の我々のそれとは大きく異なっている。つまり、彼らはまだキリスト教神学の枠の中にあり、彼らが目指したのは神が創造したはずの自然の美しい秩序を明らかにすることであった。ニュートンが生涯にわたって最も力を入れていたのは、賢者の石による錬金術や聖書の解釈であったという。Scientist という言葉が生まれたのは1830年代であり、この時代の自然探求は自然哲学と呼ばれるものであった。従って、ニュートンらの時代には現在のような科学の活動は無く、彼らは「科学者」ではなく、神学者あるいは哲学者であった。我々は彼らの活動の中に、現在のわれわれの科

学意識に沿うところだけをつまみ食いしているということになる。それが、宗教革命や啓蒙主義の影響を受けた市民革命を経て、脱キリスト教化される。この過程を村上陽一郎は「聖俗革命」と言っている⁽³⁾。教会の支援を離れた Scientist たちは自らの資力や国王・領主などの支援を受け、自らの好奇心に基づき探求を進め、その成果を同好の士が集まる学教会で発表するようになった。それが何の役に立つのかはほとんど問題視されなかった。この好奇心駆動型の科学時代のエートス(性格・精神)を社会学者のロバー・C. マートンは CUDOS というアクリニムで表している。C (Communalism) : 科学知識の公的共有性, U (Universalism) : 真理としての普遍性, D (Disinterestedness) : 私的利益への無関心, OS (Organized Skepticism) : 組織的な懐疑主義である。我々が現在抱く心理を追求する科学の理念的なイメージに近いものであるが、プロテスタント、特にピューリタンのエートスとの類似性が指摘されている。だとすれば、ここにもキリスト教の痕跡がうかがえる。

しかし、そういった中でも、徐々に発見された自然に関する知識が役に立つことが気づかれるようになっていった。1620年にフランシス・ベーコンは「知は力」と表現し、自然現象の理解が人間の意図する結果を生み出すのに役立つことを主張した。タランベールやデイドロを中心に1751年から刊行が始まった「百科全書」では当時の科学と技芸の知識が総合的にまとめられている。1820年代にはドイツのゲーセン大学にリービッヒの化学実験室が設置され、そこから有機化学の発展が始まった。しかし、後述するように18世紀半ば頃からの産業革命を担った起業家技術者は、こういった科学活動とはほとんど無縁であった。産業革命を実現した機械類の作動原理の理解は、技術の実用化の後を追いかけている。蒸気機関に関する熱力学がその例である。科学知識が技術に活かせることを示したエポック・メイキングの例として、カローザスによる高分子の発見からのナイロンの発明、マンハッタン計画による原子爆弾の開発が挙げられることが多い。勿論それ以前にも科学知識の技術への応用成功例はあるが、ここに科学と技術の大規模な一体化が実際に始まったとみてとれる。その後の半導体技術や遺伝子工学の発展はその典型である。このように国家や産業が、科学を金の卵を産む鶏のように認識しはじめ、科学者の雇用、研究所の設立に動き出したのは20世紀になってからである。第二次世界大戦後には、ヴァネヴァー・ブッシュが「科学—その果てしなきフロンティア」で、基礎研究が応用開発を導くもの(リニアモデルと言われる)としてその重要性を訴え、政府や産業界はそれに基づく投資を拡大した。事実、国家が宇宙開発などによる威信向上、軍事的優位性の確保のために科学に対する積極的な投資を行った結果、様々なスピノフ技術が生まれている。

(2) 科学の制度化、専門家の誕生

科学革命期に自然哲学の推進の場となったのは、大学ではなく学会であった。自然探求の最古の学会は、1603年にロ

ーマで創設されたアカデミア・デイ・リンチェイ(山猫アカデミー)と言われる。大学は、哲学(自由七科：文法、修辞学、論理学、算術、天文学、幾何学、音楽学)を基礎課程とした上に神学、医学、法学の専門家養成を行っていて、新しい自然探求の場は好笑的なパトロンが自宅に学者を招いて主催するサロンの集まりだったようである。1662年に発足したロンドン王立協会では、このような自然探求の同好の士が集まり、お互いの知見を紹介し合った。(1665年創刊の機関誌「フィロソフィカル・トランザクション」は今日まで続く最古の学術雑誌である。)王立とは言うものの、会員会費による運営であった。このような学会を支えたのは世俗の新興富豪、啓蒙君主、貴族らであり、旧来の教会勢力と対抗する側であった。科学が社会と全く独立に進展するものではない、社会的影響を受けるという一例である。当時の自然哲学者らの多くは、ダーウィンのように資産家で研究に専念できた者もいたが、役人や新教の聖職者が本業であるアマチュア(語源的意味は真実を愛する人)であった。それが次第に探求の深化に伴い活動が高度化し、分野を限定した教育・訓練を受けてからでないと参入できない専門化が進んだものと考えられる。専門家の養成には専門家が必要であり、ピアレビューに基づく研究成果の妥当性評価、教育・研究機関での任用や研究者の褒賞・顕彰の仕組みが同志の共同体であるかのように出来上がった。これに国家や産業がスポンサーとして関与することで、自然哲学・科学が社会制度として成立してきた。

前述のように、「科学」は Science の和訳語と認識されているが、この訳語を作った西周としては、様々な専門に分科した学問と認識していたといわれている。「理学」よりも「科学」が日本語として普及した背景には、その見方が支持されたことがうかがえる。このことは、後述するように当時の我が国が科学と工学(技術)を区別なしに明治社会の建設に取り込んだことにも繋がっている。もっとも、Scientist という言葉を編み出したヒューエルは、それ以前に自然哲学が物理や化学など専門分化が進み、分野の専門家が出現していた状況を受けてそれら専門家の総称として Scientist と名付けたらしいので、西の翻訳は極めて的を射たものなのかもしれない。

科学は勿論科学自体の論理や天才のひらめきで発展の方向が選ばれるが、同時に社会の影響も受けて進展してきたことを確認しておきたい。

3. 技 術

「技術」に関しては、目的実現のための手段という基本的な役割は、人類の歴史を通じて変わっていないように思える。すなわち、人類誕生以来と言ってよいくらい、ヒトは道具を用い、生活の質(安全性・利便性・快適性)を高めてきた。その意味で、科学と違い技術は、生物種としてのヒトを人間たらしめてきた要因の中でも大きなものであり、その進展の緩急はあるものの、どのような時代・地域においても存

在する。

技術とは何かを簡単に言ってしまうと、目的実現のための手段ということになる。しかし技術を厳密に規定しようとすると、技術には幅広い領域があり、意外に難しい。我が国においては、技術の本質に関する「労働体系説」と「意識的適用説」の対立論争や、技術の善用・悪用に関連して価値中立論の当否、技術進歩の駆動力に関して技術本質論(あるいは技術決定論、自立的存在論)と社会構成論などの議論があった。これらは技術が社会的にどのように構成され、技術を社会がどのように管理・制御していけばよいかを考える上では基礎となるものだが、そもそも技術は二者択一的に割り切れるような存在ではなく、状況に応じてどのような性格が強く現れるかが問われるものだと筆者は考える。詳細な議論は別の機会に譲りたい。

(1) 技術の担い手

自然科学(哲学)の知識がモノ作りに応用されるようになったのは、化学の場合19世紀の後半、物理の場合20世紀の初め頃、生物の場合は20世紀の後半である。それまでは科学(自然哲学)と技術は全く異なる社会的階層に担われてきたし、当然その養成手段も別々であった。

古代ギリシアの市民たちが自然探求に関わっていた時に技術を担っていたのは奴隷階級であり、その伝統は根強く残っている。例えばドイツの総合大学には工学部は設置されていない。産業革命をけん引した起業家たちの中には、正規の科学(自然哲学)の教育を受けたものはいない。技術の養成は基本的に徒弟関係に拠っていた。

大学として技術教育を正式に課程に採り入れたのは我が国の帝国大学(東京帝国大学)である。高等教育機関での技術教育についてはフランスのエコールポリテクニックやドイツのTH(Technische Hochschule)のような例があるが、これらは高等教育機関であっても「大学」を名乗っていない。技術は知的伝統の象徴としての大学が扱うべきものではないとの考えが根強く残っていたことがうかがえる。明治初期の政府が欧米の科学を輸入するにあたって、工学を法・文・医・理学と同列に扱ったことは、富国強兵・殖産興業を急ぐ必要性だけでなく、伝統的に我が国の文化が究極的真理を求めず、実利を優先するものであったことを反映しているのだろう。

(2) 技術と工学、エンジニアリング

ところで「技術」に近接する言葉に「工学」がある。「工学」の語源は少し調べてみた範囲ではよく分からない。1871年には技術官僚養成を目的に工部省に工学寮が設置され、1877年に開成学校と東京医学校の統合により発足した旧東京大学に遅れて工芸学部が設置されたから、明治初頭においては「工学」という概念が成立していたと思われる。一般に「工学」は Engineering の邦訳語とされるが、両者には微妙な差があるように思われる。Engineering の語源は、5世紀ごろの要塞建築家・兵器製作者(ingeniator)が開発した新技術や、「発明の才に富む知性」を意味する ingenium で

あるとされる。技術が目的達成のための個々の手段・手法であるのに対し、複数の技術を組織してより大きな目的を実現する営為を Engineering というと考えられる。現代日本語の「エンジニアリング」は業態を表す際にも用いられる。一般財団法人エンジニアリング協会は「エンジニアリングは、細分化、専門化した『技術』と『知識』を一定の社会目標(の達成)に向けて結集し、新たな社会システムの構築やイノベーションに貢献する活動です。」と言っている⁽⁴⁾。一方で、「工学」は学問でありエンジニアリングに含まれるような業の意味合いは薄く、人工物に関する知識体系のように思われる。技術についても、Technology の邦訳語とされているが、元々は西周が Mechanical Art に充てた訳語であり、技術と Technology にはニュアンスの違いがあるように思える。また「論理」を意味する logy が語尾についていることを考えれば、Technique が技術で Technology は技術学と言った方が適切な気がする。

(3) 科学と技術

技術を科学と対比させてみるといくつかの際立つ特徴がある。箇条書きで列挙してみる。

- 技術には解決すべき課題があり、多くの場合その課題は外部から依頼される。(科学は依頼に応える必然性を持たない)
- 技術は問題を解決しなければ存在意義がない。解決さえできればなぜ解決できるのかの理屈はどうでもよい。別の言い方をすれば、技術は現象が分かっているなくても目的を実現できなければならない。(科学では不明項を残さないことを追求する)
- 同じ目的を達成するために複数の技術があり得る。(科学では唯一解を追求する)
- 技術では多くの場合、複数の目的を同時に満たすことが要求される。品質・コスト・納期が代表的な要素であり、トレードオフ関係にあることが一般的である。依頼者の欲が深いと、そのすべてを最高レベルで達成することは困難で、それらのバランスをとることが技術者のセンスになる。(科学では、部分的な解でも許容される)
- 技術では天然の材料を利用する限り不均一な物体を扱わざるを得ないし、製造物を使用する環境も空間的・時間的に変化する。(科学では、理想化された均一の対象を扱うことが多い)
- 人間が間違いを犯すことは避けられないので、技術はそれにあらかじめ対処しておくことが求められる(科学では、誤りを指摘される可能性・論理性を有することが求められる)

いずれにせよ、既に見てきたように「科学」と「技術」は一体化し、区別がつきにくくなっている部分がある。一方で、ニュートリノの観測でノーベル物理学賞を受賞した小柴が言うように「何の役にも立たない」と公言する研究も存在している。純粋な科学から解決すべき課題が明確な技術まで幅広いスペクトラムが存在するとみるべきであろうが、総じ

て程度の差はあれ、所定の目的の実現を目指す活動であるのだから、「科学の技術化」が志向されていると言ってよい。(一部にはそれが技術化した科学が「工学」であるという言い方もある。)

4. 科学技術の成立

「科学技術」は日本語独自の表現であるらしい。英語で Science and Technology あるいは Science and Engineering というと、and で繋がれているということはそれぞれ相容れない概念を示していることになる。「科学技術」という言葉の意味は、科学に立脚した技術あるいは両者が一体に融合したものと、科学と技術の単なる並立の表現の二通りに取れる。そもそもこの言葉は第二次世界大戦直前の我が国の技術官僚たちによる発明によるものであって、その時点から科学と技術という意味と科学的技術という意味の双方を使い分けていたようである。その背景には明治以来の文官支配を打破したいという技術官僚の思いと、当時の国家主義的な政策目標実現のための総動員体制がある。その実現のために科学を担当する文部省と技術を担当する商工省の縄張りを逃れる方策として「科学技術」という言葉が生み出されたようである⁽⁵⁾。ただし、科学技術の英訳を Science and Technology とすると両者並立の意味になってしまうので注意が要る。日本語の「科学技術」が意味する科学と一体化した技術は Scientific technology、技術を支える科学は Techno-Science ということがあるようだが、それほど馴染んだ言葉ではない。個人的な印象だが、欧米でも Science と Technology あるいは Engineering はかなり曖昧に使われているように思える。

とはいえ、既に見てきたように、科学が技術の役に立つ、そして技術は科学の対象となることは明らかであって、社会からは両者が一体化したものと見られるのが普通であろう。また、科学者であるのか技術者であるのか自分でも判別できない専門家も多いはずである。科学の立場から見れば、学問のための科学から国家・産業のための科学に変容し、国家政策や市場原理に支配され、学問としての自主・自立性を失いつつあるのではないか。

ギボンズは知識生産のモード(様式)が変わったとしている⁽⁶⁾。すなわち、従来は知的好奇心に基づいて真理の探究を自主的に志向していた伝統的な科学研究のモード1であったのが、外部から与えられた課題の解決を志向する請負型のモード2の研究様式が主体になってきたという。勿論モード1が無くなったというわけではないが、公的な支援を受けるのは容易ではなくなっている。科学技術の外部からは何か役に立つ(搾取可能な)ものはないか、内部からは何か売り物になるものはないかと探られる状況になっているのではないか。

第2節でマートンの CUDOS を紹介したが、それは20世紀前半の「科学」の時代における専門家のエートス(称賛されるべき価値)であった。そのような専門家のエートス(理

想)が科学の技術化によってどう変わったか、物理学者のジョン・サイマンはマートンに倣って現代の現実を PLACE と表現している。それは P(Proprietary) : 知識資源の資産階級による私的所有化, L(Local) : 真理の適用範囲の局所化, A(Authoritarian) : 権威による知の制御, C(Commissioned) : 権力や資本からの要請受託, E(Expert) : 専門家としての振る舞いへの期待であり, 研究資源と業績の獲得のため権威におもね, 時流に従う研究者の態度を皮肉を込めて表している。

5. 社会との関係

科学と技術が融合することによって社会的な影響力が増大した。また従来の社会の文化では想定できなかったことが実現できるようになり, 勿論好い効果ももたらしているが, そのスピードが速いので社会の側の理解や是非判断が追い付かない。社会的な立場によってネガティブな影響を受けることもある。科学と技術の融合の過程で, それぞれの担い手の養成がオープンになり, 大衆化の可能性が開かれた一方で, 専門知識領域としての深化は専門家の蝸壺化, 外部との隔絶を引き起こしている。科学技術の個々の中身は, その分野の訓練を受けた専門家でなければ容易には理解できないものになっている。と言って, 非専門家は専門家の言いなりにそれを受け入れれば良いとは言えない。次回以降, そのために考慮すべき事項に触れていきたい。

なお, 本稿の執筆に当たっては, 文中で引用した以外に, 村上⁽⁷⁾, 池内⁽⁸⁾, 古川⁽⁹⁾の著作が参考になっている。

文 献

- (1) A. Weinberg: Minerva, **10**(1974), 209-222.
- (2) 日本学術会議: 総合的な科学・技術政策の確立による科学・技術研究の持続的振興に向けて, (2010).
- (3) 村上陽一郎: 近代科学と聖俗革命(新版), 新曜社, (2002).
- (4) エンジニアリング協会: <https://www.ena.or.jp/about/whats> (2019.9.20参照)
- (5) 大淀昇一: 技術官僚の政治参画, 中央公論社, (1997).
- (6) M. ギボンス, 小林信一(訳): 現代社会と知の創造—モード論とは何か, 丸善, (1997).
- (7) たとえば, 村上陽一郎: 科学・技術の200年をたどりなおす, NTT 出版, (2008).
- (8) 池内 了: 科学技術と現代社会, みすず書房, (2014).
- (9) 古川 安: 科学の社会史, 筑摩書房, (2018).

(次号へ続く)



柴田 清

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 1980年 東北大学大学院工学研究科材料化学専攻博士前期課程修了
 新日本製鉄, 東北大学素材研, 海上技術安全研究所などを経て2007年より千葉工業大学教授, 博士(工学)
 専門分野: 材料プロセス工学, 環境工学, リスク科学, 科学技術社会論
 ◎鉄鋼・非鉄製錬および関連環境技術の研究開発に携わったのち, 環境などの技術リスクにかかわる研究に従事する一方で, 科学技術と社会の関係に関心を持ち続けている。
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★