

科学技術をめぐる今日に固有の状況と問題性

——科学史的観点からの考察——

宮 坂 和 男

(受付 2017年5月30日)

1 はじめに——科学技術をめぐる今日の特異な状況——

今日人類が《科学技術の時代》を生きていること、そして多くの人々がそのことを自覚していることに異議を唱える人は少ないであろう。そして、科学技術がこれほど生活の隅々に浸透し、大きな威力を発揮している状況は、決して古くからあることではなく、人類の歴史の中ではかなり新しい現象である。産業革命がイギリスで始まってからまだ250年ほどしか経っていないし、それが欧米で本格化したのは19世紀以降のことである。さらにわが日本では、欧米の産業技術が移入され始めたのは、ようやく150年ほど前のことになる。100万年とも200万年とも言われる人類の歴史の中で、われわれはかなり珍しい時代を生きていると言えることができる。

科学技術に一瞬たりとも関わらないでは生活が成り立たないという、特殊な状況の中で現代人は生きているわけであるが、この状況下で現代人が科学技術に向き合うときの姿勢は、肯定と否定の両方を含んだアンビヴァレントなものになっていると言えよう。

われわれが科学技術にかけている期待は、今日でもかなり大きい。たとえば近年では、人工知能やロボットの開発が日進月歩の進捗を遂げていることが伝えられており、車両の自動運転システムや、身障者や高齢者の介助に応用する途が探られている。また医療の分野では、再生医療の進歩に大きな期待がかけられており、これまで手の施しようのなかった難病に、これまでとまったく異なる方法で対処されてゆくことが望まれている。

だが同時に他方で、科学技術の進歩を否定的に受けとめる見方も、かなり以前から存在してきた。たとえば、水俣病をはじめとする様々な公害問題は、すでに久しく世間を騒がせてきたし、昨今豊洲への市場移転に絡んでよく話題になるように、有害な化学物質の問題もかなり懸念の対象になっている。また今日なんと言っても大きな懸案として、原発の問題がある。いまさら言うまでもなく、福島の大事故によって大量の放射性物質が飛散し、また海中にも流入した。拡散したセシウム等が発する放射線によって、近辺の住民にがん等の病気が増えることが不安視されている。

もっともこうした両面的な受けとめ方は、すでにかなり以前から多くの人々に共有されてきたものであり、別段目新しいものではない。ところが近年、科学をめぐる、こうしたこととは別のタイプの問題も知られるようになってきた。近年、科学者の研究活動や研究成果、科学の理論や概念をどう見るべきかに関わるような、新たな問題が出現するようになってい

るのである。

1996年に起こった「ソーカル事件」は、この新たな問題を露わにした代表的な出来事であった。この事件は簡単に言えば、難解な科学用語を用いてさも意味ありげな文章を書いているポストモダン派の社会学者や思想家たちが、実は科学に関する正しい知識を有していないことを、プロの物理学者であるソーカルが暴きたてた事件である。これらの社会学者や思想家たちが、「カオス」、「ファジー」、「フラクタル」といった用語を、その本来の意味も踏まえずに勝手な思い込みで用いていることは、プロの科学者たちがかねてから苦々しく感じていたところであった。その上にこうした論者たちが、自然科学の営みが社会の状況に依存した相対的なものにすぎないことを指摘するに及んで、ソーカルは、これらの論者たちが編集する社会科学系の雑誌に、科学論文を装った偽論文^{にせ}を投稿するという行為に出た。そうしたところ、ソーカルのこの論文は何と査読を通過して採用・掲載されるに至った。いかさま論文が審査に耐えうる上質な論文として評価されてしまったのである。

ソーカルはこの雑誌が出版された直後に、自分のこの論文が昨今のポストモダンの論調を模倣しただけの無内容な論文であること、科学論文に見せかけた無意味な言葉の羅列にすぎないことを、別の論文で自ら暴露した。ソーカルは、論文を査読した社会学者や思想家たちが実は科学について無知であることを、はっきりした形で暴いてみせたのである。そして、このような無知にもかかわらず、こうした論者たちがさも分かっているかのように科学について論評していることを、ソーカルは激しく糾弾した。

「ソーカル事件」は、その後、自然科学者と社会科学者との間で「サイエンス・ウォーズ」と呼ばれる論争状況が生じるきっかけとなった。この論争の内容について述べると話がそれすぎるので控えるが、少なくとも言えることは、自然科学が時代の経過とともに特殊性や専門性を著しく高めており、容易な理解を許さなくなっているということである。科学の世界で語られることは、われわれが生活世界の中で経験する具体的事象からかけ離れるばかりで、いまや科学は一種の秘教のような性格すら帯びている感がある。今日、科学に関して正しい知識をもち、正しい判断を下せる人は、非常に限られているのが実情であろう。

このような「科学の秘教化」とも呼ぶべき現象に対しても、人々の反応はアンビヴァレントなものになっているように思われる。たしかに、このような自然科学の理論や成果を疑わしく受け取るような見方は生じているように見える。「空間が曲がる」とか「宇宙の始まり」、「**粒子」、「同じ自分が別の状態で存在する世界」等々のような話をされても、実際のとこ

る真に受けられないと思う人々は多いのではないだろうか。まさにソーカル事件で問題になったように、今日、科学に関する用語や概念、理論等が、実質を欠いた妄念の遊戯に墮していることが疑われている向きはあるように思われる。

だがその一方で、これと逆の受け止め方をしている人も同様に多いのではないだろうか。科学がほんの一握りの専門家にしか理解できなくなっているという状況は、科学が難解で深遠な真理を手に行っていると思わせる効果を生んでいるように思われる。今日科学は、限られた人にしか理解されないがゆえにこそ高尚で価値のあるものとして見られている向きもあると言えよう。この傾向は今日、科学が技術を介してわれわれの日常生活の隅々にまで浸透し、大きな威力を示しているのとは別の経路で、科学に対するわれわれの畏敬の感情を呼び起こしているように思われる。

さて1996年のソーカル事件では、ポストモダン派の社会学者や思想家たちの無知が暴かれたわけであるが、今日こうした論者たちだけでなく、プロの科学者でも時に新しい理論や成果を理解できないのではないかと思われるような現象も見られるようになっている。思い出されたいのは、2014年に生じた「STAP細胞騒動」である。周知のように、新しいタイプの万能細胞の作成に成功したことが華々しく発表されたが、後にそれが捏造であったことが判明した事件である。研究成果を記した論文が外国の権威ある雑誌に採用・掲載されることが決定し、間違いのない成果として記者会見で公表されたが、その後、別の実験で撮られていた写真が証拠写真として使い回されていることなどが発覚して、成果が虚偽であることが疑われていった。最終的には当該研究者自身によっても再現できないことが確かめられて、研究成果が虚偽であることが確定した。一大騒動となって世間の話題をさらった事件であり、これ以上その内容を詳述する必要はないであろう。

この事件には、謎めいたことや不可思議なことが山ほどついてまわっている。私個人の関心を言えば、虚偽であることが判明するような研究結果を、なぜ真実だと思い込み、なぜあれほど堂々と発表することができたのか、大変に不思議に感じている。人間がこのような行動をとるときの意識のあり様や心の働きについて、心理学者や精神分析家の解説を聞いてみたい気がする。

ただ、こうした世間話的な関心を別に、この事件は今日の科学研究がはらんでいられると思われる問題に大きく関わっており、科学研究とは何かを考える上で真摯に検討されるべき事例にほかならない。何と云っても不思議なのは、共同研究者として名前を並べた一流の科学者たちが確認実験を行わなかった（行っても成功しなかったのかのかもしれないが）ことである。ここには、今日実際に営まれている科学研究が、実情としてどのようなものであるかを窺わせるものがある。

第一に、科学研究が時代とともに分野を細分化させ、分野ごとの特殊性や専門性を高めて

いる事情が窺われる。今日、少しでも専門分野が異なると、科学者にも理解がもはや行き届かなくなっており、実験の手法や手順に関して知識を共有することが難しくなっていると考えられる。

第二に挙げられる点は、実際の科学研究においては、実験や観察による裏づけが、素人が思っているほど重視されていないように見受けられることである。STAP 細胞の作成に成功したという事実は、権威ある雑誌に論文が採用・掲載されることが決定したときに公認されたと思われ、記者会見を開いて公表された。このことから、科学研究の成否が、実験や観察による検証よりも、同業者の組織の承認によって決定されるという実情が窺われる。そして、この承認を得ることを可能にするのは、論文が優れた構成をとって、説明や論証に説得力が備わっていることだと考えられる。STAP 細胞騒動においては、ある高名な共同研究者が「論文構成の天才」と呼ばれていたことが報じられた。

ここにはソーカル事件との類似が見られるであろう。STAP 細胞論文はたしかに、ソーカル論文のように言葉使いだけを科学論文らしく見せたり、実質のない言葉を羅列したりするようなものではなかったが、説明や論証に説得力が感じられたという点ではソーカル論文と共通している。

さらに STAP 細胞騒動からは、ソーカル事件で見られた問題がある意味では深刻化していることが見て取られる。それは、ソーカル事件では審査を担当したのがプロの科学者ではなかったのに対して、STAP 細胞論文は専門家の審査を通過したという点に表われている。見た目に優れた体裁や構成をとり、説明や論証が鮮やかで説得力を感じさせれば、いまや専門の科学者でも論文の正否を時に正確に判断できないことが、STAP 細胞騒動によって明らかになった。時代の経過とともに分野の細分化が進み、分野ごとの特殊性・専門性が高まって、いまやアマチュア的な論者だけでなく、プロの科学者までが虚偽論文によって欺かれるまでになっている。今日、科学における研究活動や研究成果、科学の理論や概念に関しては、説明や論証が精緻で説得力をもっていることが過剰に重視されがちになっている点を指摘することができると思われる。

だが、素人からすればむしろまったく当然のことであるが、説明に説得力があるだけで研究の成果が正しいものとして認められていいはずはない。成果の正否が、最終的にはやはり実験や観察を通じた検証によって決定されるのは当然のことである。STAP 細胞が作成されたという成果が最終的に否定されたのも、何度繰り返しても実験が成功しないからであった。「STAP 細胞はあります」と毅然と宣言しても、当然のことながら、STAP 細胞の存在が証明されるわけではない。科学の成果が実験や観察による検証によって確かめられるという事情は、今日においても変わらないのである。

事情をこのように辿ってみると、今日の科学をめぐる状況として、次のことが指摘されう

るように思われる。すなわち、今日の科学研究においては、一方で、理論や概念が斬新であることや言説が巧みであること、また論証や説明が精緻で説得力をもっていることが、過剰に重視されるような傾向がある。だが他方で、研究成果の正否は、最終的にはやはり実験や観察を通した検証によって決定される。今日の科学者の研究活動は、この二つの契機のあいだを往復する中で営まれていると見ることはできないだろうか。

今日の科学技術に関しては検討されるべき課題が山ほどあるが、本稿では、科学についてまわるこのような“揺らぎ”とも言える事象を特に意識しながら、過去の科学技術の歴史を振り返ることを試みたい。今日見られるこの“揺らぎ”が過去にも見られたのか、見られたとすれば具体的にどのような形をとって現われたかを検討することにしたい。ここで過去の歴史に注目するのは、この“揺らぎ”の問題は、これまでの科学史研究の中ですでにテーマになってきたと考えられるからである。過去の科学の業績が、ありのままの事実を虚心に見ることよりも、それに先立つ説明や理論に基づくことによって形成されてきたということは、科学史家がこれまでしばしば指摘してきたところである。本稿でも後にあらためて見ることになるが、たとえば「慣性の原理」という今日誰もが知っている法則は、アインシュタインとインフェルトがしばしば強調しているように¹⁾、実験や観察によって純粹に確かめられることはありえない。それにもかかわらず、この法則を認めなければ、物体の運動はほとんどすべて説明不可能になるため、この法則は科学者たちによって受け容れられ、科学者たちが共有する理論的前提となった。

では、過去の科学研究の中で、実験や観察は本当に大きな役割を果たしてこなかったのか、今日あらためて検討されなければならないであろう。ここで結論を先取りして言うことにすれば、実験や観察による検証は、過去の科学研究の中でたえず不可欠なものとして重視されてきたし、このことは今日も変わらない。だからこそ STAP 細胞の成果が虚偽であることも暴かれたのである。この点については今日一般に誤解されている向きが強いようにも思われるが、現代の難解な科学理論は、単なる理屈の遊戯のようなものではない。本論中で、相対性理論と量子力学の内容に関連して述べることになるが、秘教的にも見える今日の科学理論は、むしろ、実験や観察の結果をそのまま受け容れることによって成立したものにはかならないからである。

だが、それにもかかわらず他方で、STAP 細胞騒動のような事件が生じるということは、実験や観察による検証がともすれば軽視される傾向が今日あることを示している。今日、科学の成果が理論の斬新さや精緻さによって評価されてしまい、実験や観察による検証がともすれば軽視される傾向が生じていると見られる。しかもこの傾向が、素人のみならずプロの

1) アインシュタイン, A., インフェルト, L. (石原純訳)『物理学はいかに作られたか (上巻)』(岩波新書, 1939年), 10頁ほか。

科学者にとっても無関係ではなくなっていることは、今日の科学技術をめぐる状況がいかに特異なものであるかを示すものにほかならないであろう。

今日、明らかに誤った科学研究がまかり通りそうになってしまう事情について述べようと思えば、その背景として、自然科学が社会の中で不動の地位を得ていることを挙げなければならない。そしてその理由としては、自然科学が産業技術と結びついたことが何といても大きい。とりわけ産業革命以降、両者が結びつきを強め、産業技術が飛躍的な進歩をとげて圧倒的な実用性を発揮したとき、それに基礎を与えるものとして、自然科学は人々から絶大な信頼を勝ち取ることに成功した。このあたりの事情は、今日の科学技術のあり様について論じようとするとき、言及せずにすまずることのできないことであろう。

さて、このあたりの事情について仔細に述べるのは後に譲ることにして、以下の本論では、まず、科学技術の歴史を見通すための視点や概念を確かめることから始めることにしたい。はじめに見ることにしたいのは、T・クーンのパラダイム論である。これは周知のように、科学者の研究活動が実際のところ、科学者のあいだであらかじめ通用している考え方やある種の常識にかなり依拠していることを指摘した議論である。クーンの議論を踏まえた上で、われわれは主としてヨーロッパにおける科学技術の歴史をたどることになるであろう。

2 クーンのパラダイム論

クーンが提示した「パラダイム (paradigm)」という概念は、大雑把には、科学者たちが共有している「物の見方」や「考え方の枠組み」と言われてよいものである。ただ、クーンがこの概念を『科学革命の構造』においてはじめて示したときには、多義性や曖昧さをもつものとして批判の対象にもなったため、その後クーン自身によって「専門母体 (disciplinary matrix)」という言葉で置き換えられている。「パラダイム」や「専門母体」という言葉に関しては、そもそもこうした用語によってクーンが何を表そうとしたかを確かめることが重要である。

『科学革命の構造』に後から書き足された補章では、クーン自身が「専門母体」という概念に含まれる諸内容を分析して列記している。そこでクーンは、「専門母体」という概念に込められている最も重要な点は、それが「見本例 (exemplars)」を意味していることであると述べている。そして、それを「学生たちが科学教育のはじめに出会う具体的な問題解答」とも言い換えている²⁾。科学者になることを志す者は、教育を施されるはじめの過程で、まずどのような問題が立てられ、それにどのようにして答えが与えられるか、その具体例を教えられる

2) Kuhn, T., *The Structure of Scientific Revolutions*, Second Edition, Enlarged (The University of Chicago Press, 1970), p. 187.

というわけである。クーンの言う「パラダイム」ないし「専門母体」とは、何より、このようにして科学者たちに仕込まれる問題と解答の模範例のことにほかならない。では、こうした模範例はどこから与えられるのであろうか。それはクーンが「パラダイム」に与えている最初の定義を見るとき明らかになる。そこでは「パラダイム」は「一般に認められた科学的業績で、一時期の間、専門家に対して問い方や答え方のモデルを与えるもの」³⁾と定義されている。すなわち「見本例」は、「一般に認められた科学的業績」によって与えられるのである。

「パラダイム」ないし「専門母体」とは、第一義的には、専門家集団に支持されて権威を得た科学的業績によって与えられる、科学上の問題の立て方と答え方の模範例であることが確認される。クーン自身も「パラダイム (paradigm)」という言葉の語義的な意味に注意を促している⁴⁾が、この言葉はギリシャ語で「手本」や「模範」を意味する「パラダイグマ (paradeigma)」という語に由来している。そして、このような「手本」や「模範」を提供する有力な業績は、単発的な発見や理論の寄せ集めではなく、「さまざまな種類の秩序ある要素によって構成されている」⁵⁾。クーンによれば、「母体 (matrix)」という語には、組織的に構成されているという意味が込められているという。

専門家集団に支持されて権威を得ることに成功した科学的業績とはどのようなものかを知ろうと思えば、典型例としてニュートンの物理学を考えればよいであろう。言うまでもなくニュートン物理学は、個々の発見や法則を単に寄せ集めたものではない。ニュートンの著書『プリンキピア』は、ユークリッド幾何学と同じスタイルで書かれており、少数の定義と公理から多くの定理を導き出す構成をとっている。ここには、自然を数学的・幾何学的に解明しようとする探究姿勢が示されていることは言うまでもない。このように数学的・幾何学的な体系性を目指したニュートン物理学は、実際に圧倒的な支持と権威を得ていったが、このような業績が科学者共同体の中で共有されると、以後の科学研究においては、ニュートン物理学の枠組内で適切とされる仕方で問題が立てられ、またその答えが求められることになる。ニュートン物理学の体系内で無意味とされるような問題ははじめから立てられないし、体系と整合しないような研究結果が得られた場合には、単なる例外的事象として正視されないことになる。

よく知られていることであるが、ニュートン物理学の体系においては、全宇宙において時間と空間はそれぞれ一つしか存在しないとされる。宇宙に唯一存在する本物の時間、「絶対時間」は、何物の影響も受けずにたえず均等に流れる時間のことである。また空間は、全宇宙に広がるものが唯一の真正な空間であり、この「絶対空間」は均質に伸び広がった不動の存在だとされる。(なお20世紀になって、アインシュタインの相対性理論によってこのような時

3) *Ibid.*, p. viii.

4) *Ibid.*, p. 186f.

5) *Ibid.*, p. 182.

間と空間は否定され、慣性系ごとに時間と空間は異なっていることが明らかにされたが、そうするとニュートン物理学の体系全体が改変されなければならなくなった。これは既存のパラダイムがまるごと別のパラダイムにとって替られる現象であり、「パラダイム・シフト」と呼ばれる。これらについては後ほどあらためて論じる。）

また次に見るのは、クーン自身ではなく先達のハンソンが挙げている例であるが、分かりやすい事例だと思われるので取り上げることにしたい。細胞を顕微鏡で観察するとき必ず見える塊状のものがあるが、それはかつて、染色技術が劣っているために出来てしまう顔料の凝固物と見なされていたという。そのため、それは科学者の注意を引かなかった。その後ある科学者によって、それが細胞内の重要な一器官であることが突きとめられ、その科学者の名をとって「ゴルジ体」と呼ばれることになった⁶⁾。観察という作業が、ものをありのままに見る行為ではありえず、それ以前に了解されている前提に基づいていることを示す例である。

『科学革命の構造』の第 5 章には「パラダイムの先行〔パラダイムのほうが先に存在すること〕(The Priority of Paradigms)」⁷⁾ という表題が与えられている。科学研究においては、個々の実験や観察などの作業に先だって、科学者共同体が共有するパラダイムが存在していることを意味するタイトルである。科学研究が先行するパラダイムにいかに制約されるものであるかは、上のゴルジ体の例を考えればよく分かるであろう。何らかの理論的な前提を一切抜きにして、あるがままの事象に虚心坦懐に向き合うといったことは、現実にはありえない。科学研究の実際の営みがこのように、われわれ素人が想像しているのとは大きく異なっていることは、今日の科学のあり様について考えるために、ぜひとも知っておく必要があろう。

科学研究の実態がこのように一般の素人が思うのとは異なっているということであれば、科学の進歩や発展も、一般に考えられているのとは異なるものとして理解されねばならないはずである。というのは、実際の科学研究がパラダイムによってあらかじめ決められた手順や手続きに従うものであれば、行われるのは一種のルーティン・ワークにすぎないことになり、新たな発見や知見を導き出すような役割は果たしにくいと考えられるからである。科学者共同体の中で営まれるこうした通常の研究活動を、クーンは「通常科学 (normal science)」と呼んでいる。それはこれまで見られたように、パラダイムに適合するように問題を立て、それに対してパラダイムに矛盾しない解答を与える作業にほかならない。クーンはこうした作業を「パズル解き (puzzle-solving)」に喩えている。科学研究をジグソーパズルの組立になぞらえるとき、クーンの主張はより理解されやすくなると思われる。ジグソーパズルを組み立てるとき、個々のピースは、それだけ眺めても何が描かれているか意味不明であるが、

6) ハンソン, N. R. (村上陽一郎訳), 『科学的発見のパターン』(講談社学術文庫, 1986年), 11頁。

7) Kuhn, *op. cit.*, p. 43.

われわれは完成される全体図を予想しながらピースがはまる位置を探してゆくことができる。そして、はまり合うものを少しずつ隣接させてゆく作業を積み重ねてゆくと、徐々に像が結ばれてゆく。ピースの位置をつきとめるのも次第に容易になり、作業がルーティン度を増しつつ継続された後に、ある程度の範囲の絵柄がはっきりとした像として確定される。こうした像の確定を、解答が得られた状態に見立てることができよう。このとき、個々のピースに何が描かれていたのかも明らかになる。この場合、この小さな範囲の絵柄を取り囲むものとして予想されていた、大きな全体的絵柄がパラダイムに当たる。

通常科学における科学研究がジグゾーパズルの作成に似たルーティン的なものであるということは、通常科学の価値が低いことを意味するものではない。このように行われる科学研究は実直なものであり、もちろん情報や知見の蓄積に貢献するであろう。ジグゾーパズルの多くの箇所では絵柄がはっきりしたものになり、その範囲が次第に広がってゆくようにして、様々な事象が現行のパラダイムの下で解明されることになる。研究の進展にともなって知識や情報が蓄積してゆき、科学は次第に豊かな内容を備えたものになってゆくであろう。

だがこうしたルーティン・ワークとしての科学研究は、画期的な発見や科学の劇的な変革をもたらすものとは考えにくい。クーンによれば、科学の実際の歴史を辿ってみると、大きな発見がなされたり、科学が劇的な進展を遂げたときには、これとはむしろ逆のことが生じてきたという。すなわち、歴史の中で科学が大きな変革や進歩を遂げたのは、上述のように既存のパラダイムに即して研究が積み重ねられるよりも、パラダイムそのものがそれまでとまったく異なるものに変化したときだったというのである。これは、ジグゾーパズルの喩えで言えば、それまでどうしてもはまらなかったピースをはめ込むことができた場合に当てはまる。はまらないピースをどうにかしてはめ込もうとすれば、組み立てられる（部分的）像に関する考えをまったく変更して、パズル面の出来上がっていた部分を一度すべて崩し、はじめからピースをはめ直す作業が必要になる。この場合、組み立てられる絵柄が以前とまったく違ったものになり、予想されていた全体図もいつの間にかまったく異なったものになることもある。

「はまらないピース」という喩えで呼ばれているのは、科学研究のなかで出会われる「変則事象」のことである。通常科学の営みは、現行のパラダイムでは説明を与えることが難しい現象にしばしば出くわす。それらは特に注視されずに放置される場合もあれば、現行のパラダイム内で説明が図られる場合もある。だが、見出される変則事象の数が許容量を越えたり、現行のパラダイム内の説明では対処しきれないと思われる場合には、もはやパラダイムが持ちこたえられないようになる。その場合には、現行のパラダイムが科学者共同体による支持を失い、別のパラダイムが採用されることになる。問題の立て方や答え方を示す見本例も、以前とまったく異なるものになり、そもそも何を問題にするのか、問題にどのように答える

のかも、以前とまったく違ったものになる。

このようにパラダイムが転換して（専門用語で言えば、パラダイムがシフトして）、科学が根本からまったく別のものに変化する現象は、周知のように「科学革命（scientific revolution）」と呼ばれる。クーンによれば、科学の歴史の内実を辿ってみると、見えてくるのは、科学が知見や情報を豊かに蓄積させて進歩を遂げてきたことではなく、むしろ、時に「科学革命」によって生じる断絶を経て、科学が以前のものとはまったく異なるものに変貌を遂げてきた事実だという。

こうした解説は、科学の歴史を学んだことのない者にとっては、やはり意外なものであろう。少なくとも科学の実情を知らないわれわれ素人は、常識的に、科学者は日々の研究活動によってデータを積み、そこから得られる新しい知見や情報を蓄積してゆく作業を通して科学の進歩に貢献していると考えられるであろう。ところがクーンの説明は、こうした常識とほぼ正反対のことを主張するものにほかならない。

クーンのパラダイム論に関しては、注意されるべきこととして次のことが挙げられると思われる。すなわち、クーンと同様の見方をとると、実験や観察のもつ意義が、常識的に考えられているよりも小さいものに考えられがちになるということである。先に見たゴルジ体の例から分かることは、観察による検証という作業も、何かを純粹に見るということにはならず、何らか理論的な説明に類するものを背景にしていなければ実際には成り立たないということであった。クーンのパラダイム論は、ともすれば、科学研究において実験や観察よりも理論や説明のほうが優位に立つと考えさせるものだと言える。

さてここで一度、STAP細胞の問題を振り返っておきたい。思い出されたいのは、STAP細胞の作成に成功したことの根拠として、実験や観察の結果が必ずしも重視されていなかったことである。名前を並べた共同研究者は確認実験を行っていなかった（か、行っても成功していなかった）。それにもかかわらず、論文に記された論証や説明が優れていて説得力をもっていたため、権威ある科学雑誌にも採用され、それをもって研究成果が公認されたと受けとられた。このように、専門家集団が支持するか否かによって科学活動の成否が決定されるという構造があることも、現実に見てとられた。こうしたところには、クーンが指摘したことによく合致するものがないであろうか。また、当初 STAP 細胞発見の成果が喧伝されていたころには、普段の実験では細いガラス管を通して捨てられてしまう小さい細胞のほうに着目した話なども紹介されており、大胆な発想の転換があったことなども賞賛の対象となっていた。何やら「科学革命」や「パラダイム・シフト」に似たことを研究者が意識しているような様子が窺われた。

科学研究のあり方に関して、クーンが50年以上も前に指摘したことの正鵠さが、STAP細胞騒動を通してあらためて確かめられたように思われる。STAP細胞騒動を通して、通常の

科学研究において、理論や説明が実験や観察に先立っていること、専門家集団が下す評価によって研究の成否が決定されることなどが明らかになった。実験や観察を通して、あるがままの事象に実直に向き合うことが、素人が考えるほど重視されていないことに、驚かされた人は多かったのではないだろうか。こうした傾向は今日、クーンの時代に比べてさらに進んでいることも十分考えられよう。

だが先にも述べたように、科学研究の実情がクーンの指摘するようなものであるとしても、科学において実験や観察が意義を失うわけではない。このことは、ここでもう一度確認されなければならない。STAP細胞の成果が虚偽であったことは、やはり実験によって確かめられた。今日の科学研究においても、実験や観察は重要であるどころか、決定的な意味すらもっている。この点で、科学は今日も、むしろ素人が思っているところと合致している。

われわれはすでに、科学に“揺らぎ”がついてまわることを見たが、クーンのパラダイム論に即して、もう一度この“揺らぎ”を確認しておいても無駄ではないであろう。われわれ素人が思い込んでいるのとは違って、科学研究はパラダイムによってあらかじめ規整されている。それゆえ実際には、事前に共有されている理論や取り決めのほうが先行して、それに適合する仕方で行われる。この点で、実験や観察が果たしている役割は、たしかに素人が思うのとは異なるものである。だが、だからといってそれらが意義を失うことは決してない。理論や説明だけで構成され主張されるような成果は、やはり仮説の域を出ないものであり、極端な場合には、ポストモダン派の言説に見られるような無内容な言葉の羅列に陥ることすらある。実験や観察による検証が科学研究に不可欠であるという事情は、今日でもやはり変わらない。

理論・説明と実験・観察とが乖離するよう見えながらも補い合うという関係は、何とも微妙なもので、この関係が実際のところどのようなものであるかは、一度じっくり論究する価値がある。そしてそれは何より、過去に実際に行われた科学研究の中に探られるべきであろう。次にわれわれは、科学の歴史に目を向け、代表的な科学的業績の中でこの関係のあり様がどのようなものであったかを見ることにしたい。私自身は科学研究の仕事に携わったことはないし、科学史を専門的に研究したこともないが、今日科学史家たちによって夥しい数の書物や論文が著されており、手がかりに事欠くことはない。科学者や科学史家たちが明らかにしたことを参照しながら、上記の問題について考えることにしたい。

3 17世紀科学革命

「科学」という概念ないし学問分野は、人類の歴史の中で決して古くからあったものではない。後にもあらためて述べるが、「科学者 (scientist)」という言葉がはじめて文献に登場し

たのは1834年であることが、科学史家によって突きとめられている。したがって、人類の歴史の中で「科学」が今日とほぼ同様のものとして意識されるようになったのは、19世紀前半あたりのことだと考えられる。人類が「科学」に馴染むようになってから、まだ200年ほどしか経っていないことになる。「科学 (science)」は人類にとってかなり新しい存在である。

もっとも、言葉が登場するのは別に、今日という言葉で「科学」に当たる営みが、それ以前にすでに始まっていたことははっきりしている。それは16-17世紀のヨーロッパで始まったことが、やはり科学史家によって突きとめられている。このことを明らかにしたイギリスの科学史家H・バターフィールドは、この時期にヨーロッパで近代科学が誕生した出来事を「科学革命 (Scientific Revolution)」と呼んだ。「科学革命」という言葉をはじめて用いたのは、クーンではなくバターフィールドである。クーンの言う「科学革命」が特定の場所や時期に限られるものではなく、科学研究のあり様の転換を示すために汎用的に言われるのに対し、バターフィールドの言うそれは、主として16-17世紀のヨーロッパで生じた特定の出来事を指しており、それゆえ大文字で記される。この「科学革命」は、今日「17世紀科学革命」と呼ばれるのが通例になっている。

すでにクーンに関しても見たように、「科学革命」とは「革命」である以上、断絶をもたらすものにほかならず、それ以前の自然探求が根本的に異質のものに変化することを意味している。バターフィールドによれば、17世紀科学革命はスコラ哲学もアリストテレスの自然学も駆逐して、ヨーロッパ人の思考習慣や思考姿勢を根本から一変させた⁸⁾。この点でそれは「キリスト教の出現以来他に例を見ない目覚ましい出来事」⁹⁾であり、ヨーロッパの近代の真の生みの親にほかならない。ルネサンスや宗教改革にその地位を認めてきたかつての見方は、変更されなければならないとバターフィールドは言う¹⁰⁾。

バターフィールドが挙げている科学革命の推進者は、コペルニクス、フランシス・ベーコン、ハーヴェイ、ガリレオ・ガリレイ、ケプラー、デカルト、ニュートン、ラヴォアジエといった人物たちである。本稿は、これらの人物たちについて各論的に論じることを意図するものではないため、ここでは、“科学革命のクライマックス”¹¹⁾たるニュートン物理学の成立についてまず見ることにしたい。特に注目したいのは、ニュートンが自分に先立つ業績を集めて結びつけた結果、惑星の運動に見事な説明を与えるに至ったことである。バターフィールドがまとめているところを見ておこう。

8) バターフィールド, H. (渡辺正雄訳)『近代科学の誕生 (上)』(講談社学術文庫, 1978年), 14頁。

9) 同上。

10) 同上。

11) バターフィールド「ニュートンとその宇宙」, バターフィールド, H., ブラッグ, W. L. 他 (菅井準一訳)『近代科学の歩み』(岩波新書, 1956年), 所収, 88頁。

サー・アイザック・ニュートンは、まだ若く、大学を卒業したばかりのころ、1665-66年に、私が前に挙げた諸問題の一つ一つについて正しい推測を立て、つぎにそれらを接ぎあわせて互いにぴったり合うことをあきらかにするという、すばらしい考えをいだいた。彼は、天体が空間に浮かんでおり、それらもまた他のすべての物質粒子も互いに引力を及ぼしあっていて、その引力は互いの質量に依存し、互いの距離の二乗に反比例して変化する、という考えかたをうけいれた。また、近代的な慣性の原理をうけいれ、それを惑星に適用して、惑星はそのときそのときの運動を一直線になおも続けていこうとするのだが、引力にひきとめられて曲げられ、楕円軌道を描くようになる……と考えた。彼は、月は……接線方向へとび去ろうとはするが、引力によってひきとめられているのだと想像した。そして計算により、月をその軌道にひきとめておくに必要な「引力」は、重力に等しいこと——じっさいにリンゴを地面にひっぱっている力に、数学的に等しいこと——をあきらかにした。事実、リンゴを木の枝からひっぱりおとすのおなじ力が……月をけんめいにひっぱっていたのである¹²⁾。

ここで言われている内容を、月は一方でたえず地球に引っぱられ、地球に向かって落ちようとしているが、他方で直線方向に飛び去ろうとしているため、落ちきらずに地球のまわりを回る現象として描くことも可能であろう。リンゴが落ちるのを見てニュートンが万有引力の概念を着想したという有名な逸話については、その真偽のほどが定かでない。「低い場所にあるリンゴが簡単に落ちるのに、あれほど高い場所にある月はなぜ落ちてこないのか」というのが、実際にニュートンの抱いた疑問だったという説がある。これに即して言えば、実は月もまたリンゴと同様にたえず落ちているのであるが、落ちきらずに地球のまわりを回ってしまうというのが、ニュートンの与えた解答だということになる。

朝永振一郎が紹介しているところによれば、ニュートンは『プリンキピア』とは別の『世界の体系について』という小冊子の中で、これとほぼ同様のことを述べているという。ニュートン自身の説明をここで見ておいてもよいであろう。ニュートンは図1に即して次のように述べている。

いま AFB を地球の面とせよ。その中心を C とし、高い山の頂上 V から水平に物体を投げたと考えよ。曲線 VD, VE, VF はだんだんと速い速度で投げられた物体の描く進路であるとする。図に見られるように、投擲速度が大きくなれば、それにつれて進路はより長い弧を描き、落下地点は D, E, F と遠方へ延びる。そして G まで行き、さらにそ

12) 同上、86頁以下。

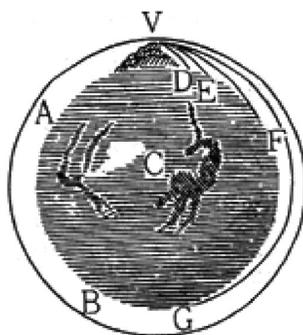


図 1 (朝永振一郎『物理学とは何だろうか (上)』, 109頁より)

れ以上投擲速度を増すと、最後に進路は地球の大円を超えるであろう。そうなれば物体は地上に落下することなくふたたび山頂 V にもどってくるであろう¹³⁾。

実際に今日、これとまったく同じ原理に従って、多くの人工衛星が地球のまわりを周回している。ロケット技術さえあればニュートンの時代でも人工衛星を飛ばすことができたと考えれば、何やら独特の感慨を覚える人も多いであろう。

ニュートンによる惑星運動の研究は、三角関数の微積分法という高度な数学を駆使したもので、惑星の運動に完全といってよいほど正確な説明を与えた。ニュートンの説明の精緻さは、ずっと後の1846年、海王星が発見されたとき、これ以上ない仕方でも明らかになる。当時、天王星の軌道が、ニュートンの計算による理論的測定値からはずれていることが発見され、ニュートンの軌道計算が正しいとすれば、別の惑星が存在して天王星の動きに影響を与えているはずだという仮説が天文学者たちのあいだで立てられた。その後ほどなくして、観測の結果、予測された位置に惑星（海王星）が実際に存在することが発見された。

この出来事がニュートンの業績の偉大さを証明したことはもちろんであるが、それと同時にわれわれは、自然探究において理論的説明がいかに大きな役割を果たしているかをよく理解しなければならない。われわれ素人が思い込んでいるのとは違って、実際の科学研究が理論的な論証や説明に大きく依拠していることは、すでに見てきた通りであるが、海王星の発見という出来事は、まさにこのことを典型的に示す事例である。この場合、海王星の存在が観測によって確かめられるよりも、数学的な理論に基づく説明のほうが明らかに先立っている。

さて、ニュートンがこのように非常に精度の高い理論に基づいて、太陽系内の惑星の運動

13) 朝永振一郎『物理学とは何だろうか (上)』(岩波新書, 1979年), 109頁以下からの再引用。

をほぼ完璧に説明してみせたことは、宇宙や自然の捉え方として、固有のものを確立させることになった。それは自然を、オートマチックな運動を続ける自動機械として捉えようとする見方である。バターフィールドは、ニュートンが描いてみせた宇宙を「時計じかけの宇宙」と呼んでいる。

こうしてニュートンは、一種の時計じかけの宇宙を生みだした。この宇宙にあっては、神が一たび、いわばゼンマイをまくか、あるいは運動を開始させるかしてからのちは、全体系が自動的に動いていくように見える¹⁴⁾。

このような宇宙においては、ある時点における物体の初期条件（質量、位置、速度）が決まれば、その物体がその後どのような運動を続けるかは一意的に決定されることになる。宇宙や自然をこのような自動機械として捉えようとする見方は、自然の中に見られる運動や変化を生命現象に似たものと見なそうとした、アリストテレスの自然学の見方とは、もちろんまったく異なるものである。ニュートンによって完成された17世紀科学革命は、このような機械論的自然像を人々のあいだに浸透させてゆくことになる。

宇宙や自然が自動機械だということになれば、その中でどのような事象が生じ、またそれがどのような経過を辿るかは、神が宇宙をはじめに創造した瞬間にすべて決定していることになる。そして、もしそうならば、偶然の出来事や未知の事柄はまったく存在しないことになる。このことを表すためによく持ち出されるのは、「ラプラスのデーモン」という仮想の全知全能の存在である。19世紀フランスのニュートン主義者であったラプラス（1749–1827）は、世界の中で今後いかなる事象が生じるかはすでに完全に決定しており、それがあらかじめ知られなかったり偶然のことにしか見えないのは、われわれ人間が有限な存在であり、世界や自然についてわずかしかなることができないからだと考えた。世界や自然の所与の状態や、それらを構成する物質、条件などをあますところなく捉えることのできる万能の知性がもし存在すれば、今後生じることをすべて見通して予言することができるラプラスは考えた。このように仮想された万能の知性は「ラプラスのデーモン」と呼ばれるようになった。

ラプラスのこのような考えに本気で同意する人は稀であろうが、近代以降、自然を何らかの機械に類したものと捉えようとする傾向が強まったことは確かであろう。たとえば今日の医学は、人間や動物の身体を基本的に機械と見なす考え方に立って営まれている。バターフィールドが断言しているように¹⁵⁾、17世紀科学革命はそれ以後のヨーロッパで、物の運動に限らずあらゆる自然現象を機械論的な体系によって説明しようとする傾向を生じさせた。

14) 前掲, バターフィールド「ニュートンとその宇宙」, 88頁。

15) 前掲, バターフィールド『近代科学の誕生（下）』, 10頁。

そしてその最大の理由は何と言っても、革命を完成したニュートンの理論が精緻で、信じがたいほどの完成度を備えていたところにあったと言えよう。

本章では、主としてニュートンによる科学革命の完成態について見るのが課題になり、例の科学の“揺らぎ”のことは十分に検討されるに至らなかった。次章でこの“揺らぎ”の問題に取り組むことにしたい。見られたところからすでに明らかなように、ニュートンの業績の重要な部分が理論的論証・説明によるものであったことは間違いない。しかもそれは、三角関数の微積分という高度な数学的技法によってはじめて可能になるものであった。だが、ニュートン自身が実験を行わなかったということはもちろんないし、ニュートンの業績が実験や観察からまったく離れたものであったということもない。次章でこの“揺らぎ”の問題について検討することにしたい。

4 慣性の法則

ニュートンが描いた「時計じかけの宇宙」については、それを構成する枢要な要素としてもう少し検討されなければならないことがある。それは「慣性の法則」である。ニュートンの説明では、月は一方で直線状に飛び去っていなければならないが、しかもこの運動をどこまでも続けなければならないとされる。このことが可能になるためには、「慣性の法則」が成り立っていないなければならない。それは言うまでもなく、静止している物体は静止した状態を続け、運動している物体は直線状に等速運動を続けるというものである。月にはある時、それをある方向に弾き飛ばす“神の一撃”が与えられたと考えられ、この運動は一度始まると止まることがないため、月は地球の周りを回る運動を続けると考えられる。

「慣性の法則」は、義務教育の理科の授業で必ず教えられるため、われわれに馴染みの深いものである。それは今日、常識と見られて疑われることはなくなっていると言えよう。だがこの法則は、われわれが思い込んでいるほど自明のものではない。アインシュタインとインフェルトが何度か言及しているように¹⁶⁾、この法則は実験と観察によって直接確かめられるようなものではないからである。投げられた石が永久に飛び続けるのを見たことのある人はいないはずである。また床の上でコマを回すと、しばらくは回り続けるが、ほどなくすると止まってしまう。もっとも、スペースシャトル内でコマを回せば、コマは無重力空間の中に浮かんで、止まりそうな気配を見せずに回り続ける。この様子はテレビに映し出されたことがある。たしか日本人の乗組員が「いま慣性の法則を目の前で直接体験しています」といったコメントをしていた。ただこの場合でも、慣性の法則を本当の意味で体験したことにはな

16) 注1を参照。

らないであろう。というのは、この場合、手で止めない限りコマが回り続けることは体験されても、コマが永久に回り続けることは確かめられないからである。

だが、この法則を認めずにいようとすることは非常に難しい。この法則を認めなければ、近代以降の自然科学の成果はほとんどすべて否定されてしまうであろう。この法則を否定すれば、矢が飛び続けるというような単純な運動を説明することもできなくなってしまうからである。近代以前には、運動が生じているところには必ず力が加わっていると考えられたため、このような日常茶飯の現象に関してすら、説明をつけるのが非常に難しかった。弓から離れてからは、矢は何物にも押されておらず、矢に力はかかっていないため、本来、矢は弓を離れた瞬間にその場にポトリと落ちなければならないはずである。ところが実際には、何回弓を弾いても、矢は間違いなく遠くまで飛ぶ。このことを何とか説明するために、古代ギリシャの自然学では、矢に押された空気が渦を巻くように後部に流れて矢を後ろから押すとか、弦の力が空気をも押すため、空気が矢を後ろから押し続けるといった、非常に無理のある理屈がつけられなければならない¹⁷⁾。

これに対して、見方をまったく変えて、一度運動を始めた物体は、妨げられない限り同じ運動を続けると考えれば、説明はずっと簡潔で整合したものとなる。運動は現実には止まってしまうが、それは空気の抵抗や地面との摩擦によると考えることで説明がつく。実際「慣性の法則」ほど近代科学にとって決定的で重要な概念はなかったであろう。この法則は、われわれの周囲にある身近な物の運動からはじまって、太陽系内の惑星の運動に至るまで、この世で生じる運動の大多数の説明を可能にした。ニュートンが太陽系内の惑星の運動を自動機械的なものとして説明したことで、あらゆる自然現象を機械論的に説明しようとする近代科学の姿勢が生じたことは、先にも見たとおりである。ニュートンが描いた「時計じかけの宇宙」が慣性の法則を前提してはじめて構成されたとすれば、慣性の法則の発見こそが、近代以降の自然科学の全体的動向を決定したと見ることも可能であろう。

さて、「慣性の法則」がこれほど大きな意味をもつものであるならば、それは一体どのような形で発見されたのか、ぜひとも辿られなければならないであろう。ただ、ここでも注意されなければならないのは、例の“揺らぎ”の問題である。すなわち、科学研究の成果が論証や説明の精緻さや説得力に主導されているように見えながらも、やはり最終的には実験や観察によって確かめられるという現象のことである。「慣性の法則」は、この“揺らぎ”が特に問題になる事柄である。というのは、先ほどから述べてきたように、この法則は少なくとも厳密な意味では実験や観察によって確かめられるものではなく、自然現象を説明するために理論的に要請されるものにほかならないからである。それは科学研究内で特権的な地位を得

17) 前掲、バターフィールド『近代科学の誕生（上）』、26頁、村上陽一郎『西欧近代科学』（新曜社、1971年）、161頁以下。

て、実験や観察による検証を免除されてきたような感すらある。だがそれにもかかわらず、それは近代科学が形成される上でこれ以上ないほど重要な役割を果たした。慣性の法則が実験によって検証される必要はないのかという問題は、一度は検討される必要があるだろう。

「慣性の法則」の成立について検討しようと思えば、何より参照されねばならないのはガリレオ・ガリレイの業績である。バターフィールドが言うように、「彼 [=ガリレイ]こそは、私たちが近代的な慣性の法則とよぶものの確立へむかってすすんでいた全過程を、ほとんど完成した」¹⁸⁾からである。ここでわれわれは、しばらくガリレイによる研究の内容や成果について検討しなければならない。

もちろん検討はできる限り手早く行われることが望まれる。ガリレイの脳裏に慣性の法則が着想されたときの状況や事情に直接迫ることができるならば、それが最も望ましいであろう。だが、ガリレイの研究の内容を検討し始めるとまもなく分かることであるが、われわれの検討はそのような直接的なものにはなりえない。ガリレイが慣性の法則の着想に至る過程には、落体運動をはじめとする他のさまざまな問題に関する研究が絡んでいるからである。そのため、われわれの論究も間接的な道を行かざるをえない。確かな理解を得るために回り道をするを厭わず、ガリレイの探究の経過を辿ることを次に試みたい。ガリレイによる落体運動の研究を検討することから始めることにしたい。

ガリレイが落体運動について実際に述べているところを参照してみよう。落体運動が速度を次第に増加させてゆくものであることは、ガリレイ以前からすでに知られていた。この現象をガリレイは、『天文対話』の中で次のように記述している。

三角形を考えればわれわれの考えをいっそうよく表すことができます。そこでその三角形をこの ABC としましょう。辺 AC 上に好きなだけ等しい部分を取り、これを AD, DE, EF, FG とします。そして点 D, E, F, G を通って底辺 BC に平行な直線をひきます。そこで AC 上にとられた等しい部分が等しい時間を表わし、点 D, E, F, G を通って引かれた平行線が等しい時間に等しく加速し増大する速さの度合を表わし、点 A は静止の状態であり、運動体はこの点から出発して、たとえば時間 AD で速さの度合 DH を得、つぎの時間に速さは度合 DH から度合 EI にまで増大し、さらにそれに続く時間に線 FK, GL などの増大につれていっそう大きくなるものと想像して下さい¹⁹⁾。

まず、ここで示されている図に注目しなければならない。今日風のグラフとは趣きが異なるものの、運動がこのような図で表されることには、今日のわれわれは大きな違和感をもた

18) 前掲、バターフィールド「ニュートンとその宇宙」、81頁以下。

19) ガリレオ・ガリレイ（青木靖三訳）『天文対話（上）』（岩波文庫、1959年）、341頁以下。

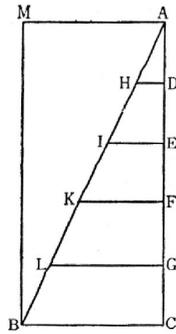


図2 (ガリレイ (青木靖三訳)『天文対話 (上)』, 341頁より)

ないであろう。ところがガリレイの時代には、このような図はやや異色だったようである。というのはバターフィールドも指摘しているように、ここには「問題を幾何学化または数学化する傾向」²⁰⁾が見られるからである。この図では運動が、点、直線、三角形といった、現実の知覚の中には与えられることのない幾何学的な思考装置を用いて表現されている。このようにして設定される運動の場は、やはりバターフィールドに倣って「ユークリッド空間」²¹⁾と呼ばれてよいものであろう。こうした図に即して運動について考えようとする姿勢は、馬が車を引くことを念頭に置いて運動について考えようとしたアリストテレスの思考の中には存在しえないものだったと言えよう。アリストテレスが運動について考えようとしたときには、絵画的なものや情景的なものが脳裏に浮かんでいたかもしれない。

もっとも思考法のこの程度の違いは、そこまで強調されるようなものではないという見方もありえよう。幾何学的な図を用いて運動を考えるとすることは、普通の人でも行いえることかもしれないし、村上陽一郎によれば、ガリレイの時代には図2と同様な図が用いられるのは珍しくなかったとのことである²²⁾。

だが図2に示されている内容には、これとは別の、決定的な思考の転換に由来するものが含まれていることを次に指摘しなければならない。それは、ガリレイが縦の直線A—D—E—F—G—Cを、時間の経過を表わすものとして捉えていたことである。はじめから言われてしまうと大したことには感じられないかもしれないが、あらためて考えてみると、こうした捉え方は普通の人には思いつくことが難しいものだと言える。というのは、われわれの日常の感覚に即せば、A—……—Cは、空間内に引かれる線分として見られるのが普通だからである。この場合には、A, D, ……Cの各点は、落下する物体が空間内に占める位置であり、AD, DE,

20) 前掲, バターフィールド『近代科学の誕生 (上)』, 38頁。

21) 同上, 25頁。

22) 村上陽一郎, 前掲書, 203頁。

EF……といった間隔は、物体が移動した距離を表わすことになる。

だが、A……—C を空間軸と見なす限り、落体運動を正しく捉えることはできない。AD, DE, EF……といった諸間隔はすべて等しい長さを示しているため、A……—C を空間軸として捉えてしまうと、物体は等速度で移動しているように描かれてしまうからである。この図は、落体運動において速度が増加していくことを表わそうとするものであるが、A……—C を空間軸と見なしてしまうと、そのことが表現されなくなってしまうのである。

このパズルを解くために、ガリレイは A……—C を時間軸として捉え直した。先の引用箇所の中でガリレイが、「AC 上にとられた等しい部分が等しい時間を表わし」と述べていることに注意されたい。図 2 の中の AD, DE, EF……といった間隔は等しい時間の長さを表わしているのである。このように空間軸を時間軸に読み換えるということは、一見考えられるほど容易なことではない。あるとき突然ガリレイの脳裏に新たな着想が生まれたといったことを仮定しない限り、理解できないことではないだろうか。村上によれば、ある時期まではガリレイも A……—C を空間軸として捉えていたことが確認されるという²³⁾。またデカルトのような人は生涯、これを空間軸としてしか捉えることができず、時間を軸にとるという考えをもつことはできなかったとのことである²⁴⁾。指摘されることは少ないが、運動を記述するのに空間に換えて時間を軸にとることを着想したことは、ガリレイに類まれな天賦の才が備わっていたことを証明するものだと言える。

ともあれ、ガリレイの考え方の転換によって、落体運動の速度が時間とともに増加する現象が正しく捉えられるようになった。だが、これだけですべてが明らかになったわけではない。これまで見たところでは、図 2 から空間が消えてしまうことになるからである。物体が落下した空間的な長さ、移動距離はどこに行ってしまったのであろうか。今度は距離が図中のどこに表されるかが問題として生じることになる。

話を簡潔にするために、ここでは、今風のグラフに即して答えを先に述べることにしよう。図 3²⁵⁾ の斜線部の面積が、落体運動の通過距離に当たる。このことをきちんと説明しようとすると、話がかなり難しくなってしまうが、差し当たっては、自動車の走行を例にとって考えると理解しやすいであろう (図 4)。ある自動車が移動の途中のある区間をぴったり時速 60 キロメートルの速度で 2 時間走ったとしてみよう。言うまでもなく「時速」とは、1 時間かけて進む距離を意味するから、車が等しい速度で移動を続けた区間の距離は「時速×時間」で表される。この場合には、 $60 \text{ [km/h]} \times 2 \text{ [h]} = 120 \text{ [km]}$ が当該区間の長さである。図の網かけ部の面積がこの長さに当たる。これと類比的に考えれば、図 3 に示されるような加速

23) 村上陽一郎, 前掲書, 202頁。

24) 同上, 204頁。

25) 前掲, 朝永振一郎『物理学とは何だろうか (上)』, 93頁に示されている図。

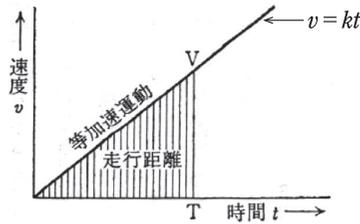


図3 (朝永振一郎『物理学とは何だろうか(上)』, 93頁より)

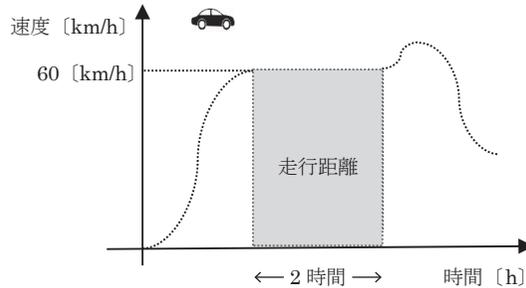


図4

運動でも、斜線部の面積が距離を表すことになる。

ガリレイもこのような類比に従って考えたかどうかは不明であるが、面積が距離を表すという結論は同じである。ガリレイ自身の説明を見てみよう。図2をもう一度見ながら辿っていただきたい。

加速は継続的に一瞬一瞬になされるもので、……また一端Aは速さが最小である瞬間すなわち静止の状態、これにつづく時間ADの最初の瞬間、とされているのですから、……線DA上にある無限の点に対応した、時間DA上にある無限の瞬間に得られる無限の小さな度合が通過されることは明らかです。ですから、……線DA上の無限の点からDHに平行に引かれると考えられるたえず小さくなる無限の線を考えねばなりません。この線の無限性は結局、三角形AHDの面積で表されます²⁶⁾。

容易には理解しにくい内容であるが、この箇所もガリレイがまぎれもない天才であったことを示すものである。内容理解のために朝永振一郎の解説を援用しよう。ガリレイが言おうとしているのは、「瞬間瞬間に物体がその速度で動いた無限小距離の総和が走行距離に

26) ガリレイ, 前掲書, 342頁。

なる」²⁷⁾ということである。運動している物体は、言うまでもなく絶えず移動している。経過時間をどれだけ小さくとっても、物体は、微量とはいえ一定の距離を必ず通過するのであるから、いくら小さい時間内で考えても移動距離を 0 と見なすことはできない。物体が移動した距離とは、この無限小の移動距離が積み重なった総和だというわけである。すでに容易に窺われるであろうが、これは後にニュートンやライブニッツによって積分法として確立された考え方である。ガリレイはすでに独自に積分法を着想していたことになる。驚くべき天賦の才の発露だと言う以外にない。

さて、運動の距離がグラフ内の面積によって示されるということになると、物体が落体した距離は時間の 2 乗に比例することが導き出される。図 3 で考えよう。斜線部の三角形の面積は、 $1/2 \cdot kt \cdot t = 1/2 kt^2$ と計算されるからである。ということは、落下距離は、1, 4, 9, 16, 25, 36, …… という増え方で伸びてゆくことになる。したがって、このとき通過される地点間の間隔の長さは、1, 3, 5, 7, 9, 11, …… という増え方で伸びてゆくことになる。次の引用箇所に表示されているように、ガリレイはこのことにはっきり気づいていた。

落下する重い物体の運動は斉一的ではないこと、静止から出発してたえず加速することを考察しなければなりません。……どのような時間でもどれだけの時間でもよいから等しい時間を区切って、もし第 1 の時間に運動体が静止から出発してある距離 t と例えば 1 丈を通過したとすると、第 2 の時間には 3 丈、第 3 の時間には 5 丈、第 4 時間には 7 丈、このようにつづいてそれにつづく奇数に従うのです。つまり静止から出発する運動体の通過するそれぞれの距離は、それぞれの距離が通過されるのに要する時間の自乗の比率になる、……というのと同じことです²⁸⁾。

『新科学対話』の中でガリレイは、このことを実験によって確かめたと述べている²⁹⁾。この実験はガリレイならでは着想に基づくもので、われわれはまたしてもガリレイの天才ぶりに驚かされることになる。この実験とは斜面上で物体を転がり落とすというものであった。ガリレイは斜面上で物体が転がり落ちるのも、物が重力に従って下方に移動するという点で、落体運動と変わらないと考えたのである（斜面の角度が 90° のとき、斜面上の運動は落体運動と合致することになる）。上のように予想された落体運動の距離の変化を、落体運動そのものを直接観察して確かめようとするれば、かなり難しいことになるだろう。それに比べて、斜面上で

27) 朝永振一郎、前掲書、94頁、97頁。

28) ガリレイ、前掲書、331頁以下。

29) 以下の二つの段落の内容は、ガリレイ（今野武雄・日田節次訳）『新科学対話（下）』（岩波文庫、1948年）、42-44頁に記されている。

物体を運動させれば、物体がどれだけの長さを移動したかを測定するのに、何らか方法が見つかりそうに思えてこよう。

ガリレイは、長さが約7メートルで、表面を非常に滑らかにした斜面を用意し、そこに溝をつけ、その上を真鍮の硬い玉を転がり落とす実験をしたという。この玉も表面が滑らかで、形は完全な球形だったという。なおその際他方で、「水時計」を使って経過した時間の長さが測られた。上方の容器からたえず均等に水が流れ落ちる装置を傍らに置き、下の容器にたまった水の量を見て、経過した時間の長さが測られたのである。今日と違ってストップウォッチ等の計器はもちろん、時計すらもない時代であったから、経過した時間の長さを目に見える仕方で測ることが容易でなかったことは言うまでもない。このような時代に何とかして時間の長さを知ろうとして独自の方法を考案するといったことは、ガリレイのような人にしかできなかったのではないか。こうした装置を用いた独創的な実験をガリレイは100回以上も繰り返したという。

この実験の精度が十分高かったと言えるか、本当に実験が行われたと言えるかどうかは、たしかに問題であろう。ただ、それについては後にあらためて考えることにして、ガリレイが獲得してきたここまでの成果がどのような性格のものであったかについて、ここで考えておくことにしたい。確認されなければならないことは、実験が行われたとはいえ、ガリレイが洞察した事柄は、本性上、目視によって発見されるようなものではないということである。「落体運動の距離が時間の2乗に比例する」とか「無限小の移動距離の総和が走行距離になる」といったことは、物体の落下を何回観察しても発見されることはありえないであろう。この法則は、運動を表すために時間軸を導入し、さらに現象を幾何学的・数学的に捉え、理論的な論証を積み重ねた後にはじめて導き出されるものにほかならない。

そしてガリレイは、斜面上の物体の運動を考察することを通して、ついに「慣性の法則」の発見に至っている。この発見も実験や観察によってではなく、理論的な論証を通して到達されている。斜面上の物体の運動に関する考察がどのようにして「慣性の法則」の発見に結びつくのか、次にガリレイ自身が述べているところを参照しながら辿ることにしよう。『天文対話』でガリレイは、サルヴィアチという人物とシンプリチオという人物とが対話する中で慣性の法則が気づかれるという話を創作しており、慣性の法則が導き出される過程を示している。サルヴィアチという人物はガリレイの分身で、それが語る内容はガリレイの考えそのものである。それに対してシンプリチオという人物は古い自然学の信奉者で、アリストテレス的な見方で自然について考えようとする人を代表している。

サルヴィアチ ……ではいって下さい。君は鏡のように滑らかで鋼鉄のように硬い材質の平らな面を地平線に平行でなく少し傾け、その上に完全な球形の、たとえば青銅の

ような重くて非常に硬い材質の球をのせ、これを自由にした場合、この球はどうすると思いますか。

……

シンプルチオ 球は決してじっとしているとは思いません。むしろ傾いている方に自分で動いてゆくに違いありません。

……

サルヴィアチ ……ところでその球はどれだけ、またどんな速さで動きつづけますか。ほくがあらゆる外的・偶然的障害を除くため、最も完全に丸い球、最も正確に滑らかな面〔を用意した〕と言ったことに気をつけて下さい。したがってかき分けるのに抵抗する媒体の空気の障害やその他にありうるあらゆる偶然的な妨害も捨象してほしいのです。

シンプルチオ すべてよく了解しました。お尋ねのことについては、その球は面の傾斜がつづくかぎり無限に、そしてたえず加速する運動で動きつづけると答えましょう。……そして傾きが大きくなればなるほど、速さも大きくなるでしょう。

サルヴィアチ しかしたれかがその球を、その同じ表面上を上の方に動かせようとした場合、その球は上の方に進むと思いますか。

シンプルチオ 自分からは進みません。しかし引き上げるか、力で押し上げれば進みます。……

サルヴィアチ ……それでは、この同じ運動体は上にも下にも傾いていない表面上でどうするか、いって下さい。

シンプルチオ この場合、答える前に少し考えねばなりません。これは下方に傾いていないのですから運動への自然的傾向はあり得ません。しかしまた上方へ傾いてもいないのですから動かされることに対する抵抗もあり得ません。ですから運動への推進と抵抗との間でどちらにも偏らないことになるでしょう。ですから自然的にはじっとしておらねばならぬように思います。……

サルヴィアチ たれかがそれをそこにじっとさせておくときにはそうするだろうと思います。しかしどちらかの方向に向かって衝撃を与えられた場合はどうなるでしょうか。

シンプルチオ その方向に動きつづけるでしょう。

サルヴィアチ しかしどのような種類の運動ですか。下方に傾いている面上におけるような継続的加速運動ですか。それとも上方に傾いている面上におけるような連続的減速運動ですか。

シンプルチオ 加速の原因も減速の原因も見いだされません。下方へも上方へも傾いていないのですから。

サルヴィアチ そうです。しかしもし減速の原因がないのなら、まして静止の原因もあ

り得ません。それで君は、この運動体はどれだけ運動をつづけると思いますか。

シンプリチオ 上りも下りもしていないその表面の長さがつづくかぎりです。

サルヴィアチ それではもしそのような空間が無際限であれば、そのなかの運動もまたやはり無際限すなわち永遠でしょうね。

シンプリチオ そうだと思います。……³⁰⁾

ガリレイの思考が「慣性の法則」を捉えている現場を確かめるために、つい引用が長くなった。ガリレイがここで明らかにしているのは、今日われわれが常識として知っている内容である。水平な平面の上に球を静かに置いた場合に、球が動かず静止しているのは誰にでも分かることであろう。問題は、静止している球をある方向に弾いた場合、その球がその後どのような運動をするかである。斜面上に置かれた物体の場合には、斜面のもつ傾きが原因になって、物体の下方への運動には加速が伴うが、水平面においては加速を生じさせる原因がもはや存在していない。運動に加速が伴うことはないから、等速の運動が続くとガリレイは論証しているわけである。しかも空気の抵抗をはじめとする障害はないと仮定されているので、この等速運動は永遠に続くとガリレイは考えている。このように現実には成り立たないことも含むものであるから、ガリレイがここで示しているのは「思考実験」と呼んでよいものであろう。今日われわれが常識的に理解している「慣性の法則」は、実験や観察によって発見されたものではなく、このような「思考実験」を通して論証的に導き出されたものにほかならないのである。

われわれはあえて回り道をしてガリレイの研究過程を瞥見し、ガリレイ自身の言葉も参照して、ようやく「慣性の法則」が見出された地点にまで至り着いた。われわれが慣性の法則に特に注目したのは、これこそがニュートンの描いた「時計じかけの宇宙」を可能にするものだったからである。先にも述べたように、同じ運動をどこまでも続ける自動機械として自然を捉える見方が17世紀科学革命によって確立したが、慣性の法則の存在を認めなければこのような見方をとることは不可能であった。そして、この法則が実験や観察によって確かめられたものではなく、ガリレイの「思考実験」によって見出されたものであることもあらためて確認された。

さてここで、われわれが検討しなければならない問題を思い出そう。それは例の“揺らぎ”の問題である。科学研究は、たしかに理論的な論証や説明によって主導されるが、やはり最終的には実験や観察を通じた検証を要するという現象のことである。ただ本章のわれわれの考察は、ガリレイが「慣性の法則」の発見に至るまでの過程を見るだけで紙幅を費やさざる

30) 前掲、ガリレイ『天文対話（上）』、222-226頁。

をえなかった。ここまで見たところでは、「慣性の法則」はガリレイの理論的な論証や思考実験によって導き出されたことが明らかになった。「慣性の法則」についてガリレイは、実験や観察による検証を行っていない。だが、これほど重要な法則が検証されないままであるということ、問題化せずに放置することはできないのではないか。「慣性の法則」に関しては、われわれは検討をもう少し続ける必要がある。「慣性の法則」が実験や観察によって検証される必要はないのか、いかなる意味でも検証は不可能なのかといった問題について、次章で検討することにした。

5 「慣性の法則」の検証

科学の素人が思っているのとは逆に、ガリレイに関しては、「慣性の法則」にとどまらず、様々な発見や理論が実験や観察によって確かめられたというよりも、新たな思考法に基づいて論証されていること、あるいは思考実験によって導き出されていることは、科学史家のあいだではむしろ常識になっていると言ってよい。自然を数学的・幾何学的な思考装置を用いて探究するという姿勢は、それ以前の伝統的学問には見られなかったもので、ガリレイの業績は「思考の帽子をとりかえて別の見方をすること」³¹⁾ ことによってはじめて可能になったのだと科学史家たちは考えている。

これに対して、ガリレイが行った実験や観察に関しては、科学史家たちの評価は高いものではない。たとえば、ガリレイを本格的に研究した A・コイレは、ガリレイが斜面を用いて行った実験を、真の意味の実験だったとは言えないとして、かなり辛辣に批判している。

“滑らかに磨いた”木材を転がる青銅球！ 水で一杯の小穴のついたバケツがあり、その小穴から水が流出し、その水を後で測り、降下時間を測定するため水を小さなコップに集めるだって……、何という誤差と不正確さの蓄積！ ガリレイの実験が完全に無価値であったことは明白である³²⁾。

ガリレイが自らの実験について「それは極めて精確なもので、幾回繰返してもその結果には目立った偏差は生じなかったのです」³³⁾ と述べているのにまったく逆行した評価である。コイレに限らず、ガリレイの実験報告を信じない科学史家は多いようである。この後見るよう

31) 前掲, バターフィールド『近代科学の誕生(上)』, 25頁。

32) Koyré, A., “An Experiment in Measurement”, in: *Metaphysics and Measurement* (n. 29), p. 94. 佐々木力『科学革命の歴史構造(上)』(岩波書店, 1985年), 177頁からの再引用。

33) 前掲, ガリレイ『新科学対話(下)』, 44頁。

にバターフィールドがそうであるし、メルセンヌのように、ガリレイの同時代人でもガリレイの実験報告に強い疑いをもつ人はいたようである。

ガリレイの実験について考えるために、ガリレイが行った別の実験についても考えてみよう。ガリレイが発見したものとして、物体は質量の大きさに関係なく同じ速度で落下するという法則がよく知られている。これについてもガリレイは実験で確かめたと主張しているが、このことを実験で確かめようとしても現実には明確な結果は得られないという指摘がある。この問題についてここで見ておくことにしよう。

アリストテレスの自然学では、物体の落下速度は物体の質量に比例するとされていた。われわれは日常の体験から、重い鉄球は威力をもって落下するのに対して、羽や紙はふわふわとしてなかなか地面に到達しないという直感を得ているであろう。アリストテレスの説はこの直感によく適合するものである。だが周知のように、この見方は解けない問題を生じさせてしまう。重い物体と軽い物体を、縛りつけるなり貼りつけるなりして、結びつけて落下させた場合に、どのような速度で落ちてゆくのか決定できなくなってしまうのである。この物体は両者をあわせた質量に応じた速度で落ちる——したがって速度は大きくなる——のであろうか。それとも、両者の中間の質量に応じた速度で落ちるのであろうか。物体の落下速度が物体の質量に比例すると考える限り、どちらも等しい権利をもって主張されうるため、落体運動の説明が不可能になってしまう。

そこでガリレイは、よく知られているように、いかなる質量の物体も等しい速度で落下するという仮説を立て、それを実験で確かめたと述べている（ガリレイは公衆が見守るなかで、ピサの斜塔から物体を落とす実験を行い、自説が正しいことを公衆に対して証明してみせたという話が伝わっているが、この話は伝記作家等によって後から捏造された疑いが強く、信憑性が低いようである）。ガリレイは『新科学対話』の中で、鉛球と櫂の木でできた球を一つずつ用意し、75～100メートルの高所から落下させる実験を行ったと述べている³⁴⁾。この二つの球は、体積は等しいが、質量は鉛球のほうが10～12倍大きかったという。アリストテレスの説のようにはまったくならず、地面に達する時間にはほとんど差が見られなかったという（鉛球のほうが先に地面に届いたが、その差は1メートル足らずであったという³⁵⁾）。

ガリレイのこうした実験報告に対して、バターフィールドはかなり厳しい見方をとっている。バターフィールドはガリレイを疑うあまり、ガリレイの実験報告を誤解しているか意図的に誤読しているように思われる。バターフィールドは、上記のように鉛球がいつも先に落ちたとガリレイが言っていることを理由に、ガリレイの実験は失敗でしかなかったと見なし

34) 同上、160頁。

35) 同上。

ている³⁶⁾。また、質量に関係なく物体は等しい速度で落下するという説が正しいことを実験で確かめようとするれば、——75～100メートルの高所から落下させたというガリレイの言葉を信用していないか誤解しているからだと思われるが——ガリレイが行ったよりも高い場所から物を落とさなければならないはずだと言う。そして、実際にそうした実験を行ったコレシオという学者の報告によれば、現実には重い物体のほうが軽いそれよりも速く落ちるという結果が得られた事実を指摘している³⁷⁾。コレシオは何と、実験の結果「アリストテレスの正しさが証明された」とすら言ったという³⁸⁾。

またバターフィールドは、質量に関係なく物体は等しい速度で落下するという法則は、実験が試みられる以前に、ガリレイの先駆者たちが推論や思考実験によって気づいていたことが推測されるという。すなわち「1ポンドの重さをもつ2つのタイルを同時に落とせばまったく同時に地面に落ちるはずである。この2つを、その端と端とを横に結びつけて落とすとしても、ただ並行して落とす先の場合と同じ速さで落下するだろう」³⁹⁾といった思考実験である。ガリレイに先立ってこのように推論していた人たちがおり、ガリレイもそれを引き継いだのではないかとバターフィールドは推測している。ともあれバターフィールドによれば、物体の落下速度がその質量とは関係ないという科学的認識は、知覚において目視されたり、実験や観察を通して検証されたりするものではなく、「推論」や「思考実験」によって得られるものだという。

バターフィールドの指摘は非常に興味深く、重要なものではあるが、実験や観察がもつ意義を低く見せかねないものでもある。バターフィールドの指摘に従うと、科学研究において実験や観察がともすれば不要であるか、副次的な意味しかもたないように見えかねないが、実験や観察は本当に大した役割を果たさなかったのであろうか。例の“揺らぎ”の問題に、ついに取り組むべきときであろう。科学において「実験」や「観察」が果たす役割について、次にガリレイの探究に即して考えることにしよう。

私としては、バターフィールドの主張はガリレイに対してやや酷すぎるものだと考える。アリストテレスの説に従えば、鉛球に比べて、櫂の木でできた球は、地面に到着するまでに10～12倍の時間を要するはずであった。実際に同時に落としてみたら到着に1メートル足らずの差しか出なかったという結果は、実験の成果としては十分な意義があると言える。加えてガリレイは、空気の抵抗をすでに考慮に入れている。軽い櫂の球のほうが空気の抵抗を受けやすいために到着が遅れたという説明を加えれば、実験結果は予想に十分に合致していたと解釈

36) 前掲, バターフィールド『近代科学の誕生 (上)』, 134頁以下。

37) 同上。

38) 同上, 135頁。

39) 同上。

することは可能であろう。実験の結果が近似的なものであっても、実験に意味がなかったことにはならない。ガリレイによる落体運動の研究は成功を収めていたとわれわれは考える。

コレシオがむしろアリストテレスの説を支持する実験結果を得たとされる話を先に挙げたが、これは実験結果に関する解釈を誤ったものだと思われる。地面に到着する時刻がぴったり一致しなければガリレイが間違っており、アリストテレスが正しいということにはならない。アリストテレスの説が正しいとすれば、先にも述べたように、物体の質量に応じて落下時間の長さは何倍もの違いが出なければならないはずである。

また、コイレがガリレイの斜面実験を酷評していたことについても、ここで幾分か検討しておこう。ガリレイの用いた実験装置は——特に今日の日から見れば——たしかに粗末で不十分なものにしか見えないかもしれないが、それはガリレイの報告を全面的に否定する根拠にはなりえない。

落体によって実際に行われる加速運動が上述の通りのものなることを実証したのです⁴⁰⁾。

かような実験においてわれわれはつねに、経過距離が時間の2乗に比例すること……を見出したのであります⁴¹⁾。

ガリレイの分身たるサルヴィアチが示している上のような口吻に突き合わせてみると、ガリレイの実験を無下に全否定することは難しいように思われる。また先にも述べたように、結果が近似的なものでしかなかったとしても、実験が不成功だったとは言えない。ガリレイの実験報告に誇張があり、実際には精確な結果ではなく、近似的な結果しか得られていなかったことは十分考えられる。だが、「物体が斜面を転がり落ちる運動の距離が、運動の時間の2乗に比例する」という大変に重大な事実が、大雑把ながらも実験によって確かめられたことには、十分すぎるほどの意義が認められるであろう。斜面実験に関しても、われわれはガリレイの実験は十分な成果をおさめたと考える。

さて次に、肝心の「慣性の法則」について考えよう。これについてガリレイはたしかに直接的な実験を行っておらず、思考実験に基づいた論証しか示していない。その理由は単純で、「慣性の法則」がその性格上、実験による検証のしようのないものだからである。「等速運動を永久に続ける」ことを実験や観察によって確かめることは、いかなる手段を用いても不可能である。人間は時間的に有限な存在であり、“永遠”の相で運動が続くのに立ち会うことは絶対にできないからである。また、スペースシャトル内のように空気や地面の抵抗がない場

40) 前掲, ガリレイ『新科学対話(下)』, 42頁。強調引用者。

41) 同上, 43頁。強調引用者。

所で実験や観察を行うことができれば、「慣性の法則」に似たものを確かめることはできたかもしれないが、それがガリレイの時代には不可能であったことは言うまでもない。

だが、「慣性の法則」は今日のわれわれにも馴染みの深いものであり、実際のところ、ほとんどの人が疑わずに受け容れているであろう。学校で教え込まれることがその最たる理由であろうが、それにとどまらず、「慣性の法則」にはわれわれの日常の経験との符合を感じさせるものがあるように思われる。標高の高いところや、風が吹いていない場所で矢を飛ばすと普段より遠くまで飛ぶとか、向かい風や横風があると矢が飛びにくいといったような経験を、人類は無数に積み重ねてきたであろう。「空気が存在せず、抵抗が0になれば、矢はどこまでも飛ぶのではないか」といった想像が働くことは難しいことではないと思われる。かつては滑らかで距離の長い水平面を用意したり、パチンコ玉のように完全な球形を思わせるような物体を製作することは難しかったであろうから、弾かれた物体が等速運動を長く続ける現象に出くわすことは少なかったであろう。だが、凍った池や湖の上で物を滑らせれば、それがどこまでも運動を続けるという経験は、昔の人々にも馴染みがあったのではないか。すなわち、「慣性の法則」に関しては、あらためて実験で検証することは不可能であるが、近似的な実験結果に準じるものが日常経験の中で得られていると言えるのである。

「慣性の法則」に関してわれわれは、日常生活内で見られる現象が実験に代って検証の役割を果たしていると考え。この上にさらに、斜面上の滑落運動には加速が生じることが実験によって確かめられたことを考え合わせれば、「慣性の法則」は実験と観察によって検証されたと考えて差し支えないと思われる。斜面上の滑落運動には加速が生じることが、実験によって見紛うことなく確かめられることである。傾斜がない場合には加速が0になることを考慮に入れながら、日ごろ経験される現象を振り返ることで、「慣性の法則」は他の物理的事象と同様に実験による検証が得られているとわれわれは考える。この検証はもちろん間接的で近似的なものにすぎないが、実験によって得られる結果が近似的であることは、先にも述べたように、他の事象に関しても同様である。

なお近代科学において実験や観察が果たした役割については、もう少し述べておくべきことがあるように思われる。章をあらためて引き続き考えることにしたい。

6 近代科学における実験と観察

自然科学において実験や観察が重要な役割を果たすことは、科学の素人にとってはもちろん自明のことで、それどころか、科学研究とはまさに実験と観察に尽きると考える人すらいるであろう。これに対して科学論者や科学史家たちは、これまで見られてきたように、そう思われるのは見かけのことにすぎず、実はそれ以前に、科学者が立てた推論や思考実験が科

学研究を主導していることを主張する。

科学論者や科学史家たちの主張はもちろん重要で、大変に啓発的である。実験や観察が重要であるといっても、自然現象をよく見さえすれば自然法則のような真理が捉えられるといったことは現実にはありえない。バターフィールドが強調するように⁴²⁾、近代科学は、数学的・幾何学的思考によって実験を「方向づけ」、「組織化」することによって成功を収めた。理論的論証や思考実験に基づいて仮説を立て、それを検証するために実験や観察が実施された。方向づけが与えられないまま漫然と事象を眺めていても、雑多な与件が眼前に広がるだけで、何の洞察も発見も得られないであろう。

だが、科学史家たちの教示に大きな敬意を払うとしても、実験や観察が自然探究にとって決定的に重要であることは否定されえないことをわれわれは見てきた。一度むしろ素人の目線に立ち返り、神話や宗教的信念から離れることができたとき近代科学が成立したという常識を踏まえながら、科学研究において実験や観察がもつ意味について考えることも必要であろう。ガリレイの著作を読むと、彼が実験や観察を好むどころかそれらに没頭する人物であったことは明らかである。これはバターフィールドも認めていることで、「ガリレオの姿を、一種の仕事場の中において、機械工を助手としてたえず物を作り、……また実験を続けて時を過ごしている人として描くのはまことにふさわしいことである」⁴³⁾と述べている。また朝永振一郎は、ガリレイを実験を非常に重視した人物と見なし、実験は「〔ガリレイ〕以前の人たちがほとんど気づかなかった強力な手法」⁴⁴⁾であったとさえ言っている。

また、こうした科学者や科学史家の評価を参照する以前に、われわれは、ガリレイが当時発明されたばかり望遠鏡を使って天体を観察し、非常に多くの事柄を発見したことを思い出さなければならない。周知のようにガリレイは、それによってアリストテレスの宇宙論を完全に破壊し、まったく新しい宇宙像を提示してみせた。月に凹凸があることを発見し、月（を含めてそれ）よりも上部の世界が、地球やその周囲と違って、完全で神聖な世界であるとすアリストテレスの考えが誤っていることを証明してみせた。アリストテレスの宇宙論では、月（を含めてそれ）よりも上部の世界では、完全な球形の物体のみが存在し、終わりをもたない円運動が実現しているとされていたが、これが現実とは異なることを示してみせたのである。また太陽に黒点があることを発見し、アリストテレスによって神聖で清浄だとされた世界に、実は汚い染みが存在していることを明らかにした。

木星の観察のことに触れておかねばなるまい。太陽系の中で最も大きい惑星である木星は、他の惑星に比べて観察が容易であったため、ガリレイは望遠鏡で木星を観察することが

42) 前掲、バターフィールド『近代科学の誕生（上）』、147頁。

43) 同上、150頁。

44) 朝永、前掲書、17頁。

多かったという。そしてこの観察によって、木星の周りを 4 個の衛星が回っていることを発見した。この発見も、アリストテレスの宇宙論の破壊に与った。アリストテレスの宇宙論では、宇宙の中心にある地球の周りを、透明な球形の膜（天球）が幾重にもわたって覆っており、天体はこの天球にはまり込んだ状態で存在するとされていた。そして、地球の周りを天体が回るように見える運動は、天球が回転する運動として説明されていた。この理論によれば、木星の周りを衛星が回ることはありえない。木星に衛星があっても、天球に阻まれてしまい、木星の周りを回るはずがないからである。ところが現実に木星の周りを衛星が回っているということは、アリストテレスが考えたような天球が存在しないことを意味する。

このように、ガリレイの業績の多くが観察に基づいていたことを忘れてはならない。むしろこうした業績のほうが分かりやすく、同時代においても後世においても、人々に与えた影響は大きかったとも考えられよう。少なくとも一般の素人にとっては、自然科学の営みはやはり実験と観察を主体とするものであり、自然科学の成果とはそれらによって発見される事象にほかならないのである。17世紀科学革命の動きも、少なくとも表層的には、自然科学者が思弁や理屈に代って実験と観察を重視し、事実を実証的に確かめる姿勢をとるようになった現象として見られたほうが、実情に合致しているのではないか。

実験と観察という要素が、「科学革命のクライマックス」たるニュートン物理学の形成においても意味をもっていなかったかどうか、幾分か検討を試みよう。ニュートンもちろん実験や観察を行わなかったわけではないが、その方面でガリレイほど重要な業績は残していない。またニュートンの功績は先にも見たように、何と云っても、自然を自動機械として描くことに成功したところにあった。三角関数の微積分という高度な数学的手法を駆使して、太陽系における惑星の軌道を計算し、惑星の運動が初期条件によってすべて決定されていることを証明したことは、すでに見た通りである。ニュートンのこうした仕事は、実験や観察によるよりも理論的論証や思考実験によって成し遂げられたように見える。

だが、ここに実験や観察がまったく関わっていなかったかといえ、決してそうではない。ニュートンの「時計じかけの宇宙」は、少なくとも間接的には、非常に詳細な観測に依拠して描かれたからである。ニュートンが数学的計算によって説明した惑星の軌道は、実はニュートンにはるかに先立ってケプラーによって解明されたものであった。ニュートンはケプラーが明らかにした惑星の運動を跡づける仕方でも説明を与えたのである。そしてこのケプラーの研究は、師匠のティコ＝ブラーエが残した膨大な観測データに基づくものであった。太陽の周りを回る火星の軌跡運動を解明しようとしたケプラーは、複雑きわまりない計算を何年も継続した結果、ティコの観測データにほとんど合致する理論を導き出すことに成功している。だが、この理論から得られる推測値はティコの観測値とわずかに異なるものであった。普通ならば誤差として処理される程度のわずかな違いであったが、並外れた根気強さの持ち主で

あったケプラーは、この違いを埋めるべくさらに研究を進め、6年後に観測データに完全に一致する理論について到達することになる。ケプラーはあるときまったく偶然に、惑星の軌道を真円と見ようとする思い込みから離れ、軌道を長円と見なすという着想を得たという。惑星が長円状の軌道上にあると考えたとき、理論値がティコの観測値と完全な合致をみた。ケプラーが行ったのはたしかに理論的な論証の作業であったが、信じがたい執念で観測結果との一致を追求し、ついにそれを実現している。ケプラーの研究はどこまでも観測の結果に忠実であろうとしたものだったのである。

話を戻そう。ニュートンの理論は、ケプラーの業績を引き継いでいる以上、ティコ=ブラーエの観測を基礎とするものにほかならない。宇宙を自動機械として捉える精緻な理論も、膨大な量の観測データを基礎として導き出されているのである。ニュートンが高度な数学を駆使して惑星の軌道を計算してみせても、観測データと一致していなければ、科学の成果が得られたとは見なされなかったであろう。科学の業績とは、その根拠を求めて遡れば、やはり実験や観察による検証に行き着くものにほかならないのである。

さて、常識的に考えられてきたように、近代科学の成立が、やはり実験や観察を重視し、経験に忠実であろうとする精神に基づいていたとするならば、17世紀科学革命の担い手として無視することのできない人物が一人いる。言わずと知れたF・ベーコンである。イギリス経験論の創始者と目されているこの人物は、まさに観察や実験を重視する思想を見紛うことなく表明したことで知られている。

人間は、……自然を解明するものとして、自然の秩序についてじっさいに観察し、あるいは精神によって考察したことだけをなし、理解する。それ以上のことは、知らず、またなすこともできない⁴⁵⁾。

また周知のようにベーコンは、人間を誤らせる偏見や先入見を「イドラ」（幻影、偶像の意）と呼び、それを最もよく避け、破壊するものとして、実験的な経験の意義を強調する。

経験こそ、他のものよりもずっとすぐれた論証である。ただし、それがどこまでも実験であるかぎりである。というのは、経験は、それに似ていると考えられる他の事例にまでもあてはめられるとき、それが正しく順序を追うて行なわれないなら、欺くからである⁴⁶⁾。

45) フランシス・ベーコン（服部英次郎訳）『ノヴム・オルガヌム』、『世界の大思想8 ベーコン』（河出書房新社、1972年）、所収、231頁。強調引用者。

46) 同上、252頁。強調引用者。

こうした経験主義の立場は周知のように、ロック、バークリー、ヒュームといった哲学者たちによって引き継がれ、イギリス的思考の基礎的土壌を形成していった。ニュートンもこの土壌を共有していたと考えられる。

もっともニュートンの仕事が、数学的・幾何学的論証によって自然現象を解明することを主眼としたのに対し、ベーコンの関心はそのような方向には向かわなかった。ベーコンが目指したのは、実験や観察を通じた自然探究を積み重ねて、実生活に役立つ実用的な知識を発達させることであった。ベーコンは「機械技術」を賞揚しているが、こうした考えを思想として表明した人は、当時は珍しかったと思われる。ベーコンの考えがむしろ今日常識として通用するような性格をもっていたことは、注目されてよいであろう。ベーコンは、伝統的な学問においては論争や議論ばかりが繰り返されて、新たな成果を積み重ねて成長するような動きが見られないのに対し、「機械技術」は逆に着実な成長と進歩を遂げることができるという点で、すぐれた性格を備えているという。

……〔哲学をはじめとする諸学は〕いつまでもたちどまって、同じ状態をつづけ、これというほどの進歩もせず、むしろそれらをはじめてつくられたときにもっとも栄えていて、その後は衰退した……。ところが、自然と経験の光とをもとした機械技術においては、それと反対のことがおこるのがみられるのである。すなわち、それらの技術は（盛んに行なわれているかぎり）生氣にみちみちているかのように、たえず繁茂し成長する。そしてはじめは粗雑であっても、やがて役に立つようになり、またのちには洗練されるというように、たえず成長しつづけるのである⁴⁷⁾。

ベーコンの見方には、今日の状況のほうがよりよく当てはまっているように思われる。昨今の人工知能の急速な発達のことなどを考えればよいであろう。かつては大型のものしかなかったコンピュータは急速に小型化し、パーソナル・コンピュータとして普及して、その後も機能を着実に増やしていった。そしてコンピュータはいまや自ら思考する能力を身につけつつあり、将棋や囲碁で人間に優ろうとしていることは、周知のとおりである。また電話に留守番機能がついたかと思えば、その後さらに無線携帯型に変化していったこと、また、いまやインターネットを経由して画像を見ながら通話することもできるようになったことなどを考えてもよいであろう。同様の事例は枚挙に暇がない。ベーコンの言葉は、今日の人類の状況を予言していたようにも見える点でも興味深いものである。

機械技術だけは着実な発展を遂げるとして、それに何より大きな期待をかける思想からは、

47) 同上, 256頁。

当然、この発展を促すべく社会の体制を整えようとする考えが生まれる。ベーコンは『ニュー・アトランティス』という空想小説の中で、こうした体制が実現した架空の国家を描いている。そこでは、実験科学の研究を組織化して発明発見を奨励し、人智を拡大して「人間帝国」の建設を目指す「サロモン学園」の様子が描かれている⁴⁸⁾。

ベーコンの思想は今日常識的にも思われるものであり、今日われわれがもっている科学技術の像と合致する部分が非常に多い。17世紀科学革命について科学史家は、自然を捉えようとするときの思考姿勢がそれ以前と根本から異なるものに変化したことを指摘することが多い。この時期の自然探究者が「思考の帽子をとりかえ」て、自然現象を数学的・幾何学的に理解されうる仕方で説明しようとしたことは確かである。だが同時に、ありのままの経験に従い、事象を実験や観察によって確かめようとする姿勢もあったことは、忘れられてはならない。そしてこの契機はベーコンにおいてもっとも顕著に、見間違いようがないほどはっきり見て取られる。今日われわれが抱いている科学技術像は、ベーコンを起源とするという解釈すら成り立ちえよう。

ともあれ本章では、科学が変革される時期も含めて、科学研究においては絶えず経験が重視され、実験と観察による検証が不可欠のものとして重んじられていることを見た。このことを踏まえた上で、次章では、その後の科学技術がどのような歴史を経て今日にまで至っているかを、さらに辿ることにしたい。

7 啓蒙主義

科学研究についてまわる例の“揺らぎ”に、ここで一度立ち帰っておきたい。“揺らぎ”を形成する一方の要素は、いま見たようにベーコンの思想に代表されるものだと考えてよい。科学の成果はやはり経験の裏づけを必要とするものであり、実験と観察による検証が不可欠だという常識的な見方は、ベーコンの考えに正確に合致していると言える。

これに対してもう一方の要素は、ニュートンに代表されると言ってよいように思われる。見られてきたように、ニュートンの業績は何と云っても、惑星の運動を数学的・幾何学的に、寸分の狂いもなく説明したところにあり、このことによってニュートンは理論的論証のもつ威力を十二分に示したと云うことができるからである。なおここで一点補足して、ニュートンの理論を可能にしたものとして、月や地球のような物体を“点”として扱う見方が確立されたことに触れておきたい。惑星のような巨大な物体をも“点”と見なすことは、あらためて考えてみると思考の大きな飛躍を伴うものであるが、こうした見方が成り立たなければ惑

48) ベーコン（中橋一夫訳）『ニュー・アトランティス』、同上、所収、428頁以下。

星の運動を数学的・幾何学的に考察することは不可能だったはずである。バターフィールドによれば⁴⁹⁾、ニュートンは1865年に、惑星の質量はその中心（科学の用語では「質点」という）に集中していること、したがって惑星のもつ重力はすべてこの中心点から発していることを、数学的に証明することに成功したという。「時計じかけの宇宙」の完成に至るための最後の難関が、この証明によって突破されたとバターフィールドは言う。このようにニュートンの仕事は、やはり精緻な数学的・幾何学的理論化を本分とするものであった。

ベーコンもニュートンもイギリス人であり、経験論の思想土壌を共有していたことにはすでに触れたが、両者の探究姿勢はこのようになり異なる性格のものであった。ところが科学の歴史の中で、この二つの傾向は時代とともに融合してゆき、一体化して今日にまで至っている感がある。このような融合が生じた大きなきっかけとしては、18世紀フランスの啓蒙主義思想家たちがニュートン物理学を、ほかのイギリスの文物とともに積極的に輸入したことが挙げられる。本章では、このあたりの事情を簡略に辿ることにしたい。

村上陽一郎によれば、18世紀のフランスの思想家（啓蒙主義者）たちは「ニュートンの仕事をあっさり事実として、面倒な解釈ぬきに、受けとめ、自分なりの体系の中に積極的にとり入れようとした」⁵⁰⁾という。ニュートンの研究成果はイギリス国内でももちろん大きな賞賛を集めたが、意外なことに、当時のイギリスの知識人たちにスムーズに受け入れられたわけではなかった。「万有引力」という、接触することのない物体の間で働くことされる力の原因は何か、このような神秘的な遠隔作用が本当に存在しうるのかといった問題が、知識人たちの間で深刻に受けとめられ、論議のテーマとなったからである。例えば哲学者のロックは、万有引力の原因を神に帰する議論を展開したという⁵¹⁾。ただ、こうした純粹理論的な水準の議論はイギリス国内にとどまって、外国の知識人たちの関心を引くことはなかった。外国の知識人たちにすれば、ニュートン物理学のような偉大な業績が出現したことだけでも驚くべきことであり、それは当時のイギリスに見られたほかの先進性とともに賞賛の対象となって、そのまま受け容れられていったと考えられる。

ニュートン物理学をヨーロッパ大陸に移入するのに大きな役割を果たしたのは、ヴォルテールをはじめとするフランスの啓蒙主義思想家たちであった。1726年に渡英を経験したヴォルテールは、そのときに受けたイギリスの印象を数年後に『哲学書簡』（『イギリス便り』とも呼ばれる）の中で表わしている。そこでは、イギリスの宗教や議会政治、文化的事象等々、非常に多岐にわたる事柄について述べられている。ヴォルテールの言葉の端々からは、ブルボン王朝の絶対王政下にある自国に比べて、イギリスのほうが諸々の点で先進的であること、

49) 前掲、バターフィールド『近代科学の誕生（下）』、65頁。

50) 村上陽一郎『近代科学と聖俗革命』（新曜社、1976年）、33頁。

51) 同上、31-2頁。

イギリス国民の生活のほうがか豊かであることに強く印象づけられていたことが窺われる。そして同書では、ニュートン物理学について論じるのに非常に多くの紙幅が割かれている。意外にも見えることであるが、フランスの啓蒙主義者たちの目には、イギリスで生まれた文化的成果の中で、ニュートン物理学のもつ意義はかなり大きい比重を占めているように見えた。もちろんヴォルテールはニュートンを激賞しており、その理論を生み出した発想の斬新さや先進性を、ことあるごとに強調している。なおヴォルテールがこうしたことを論じるときには、自国の哲学者にして自然探究者であったデカルトを比較の対象としている。簡単に言うと、ヴォルテールはデカルトを否定し、ニュートンを高く評価した。フランス人が自国の文化の賜物を貶め、外国のそれを称揚するのは珍しいことであるし、デカルトとニュートンとの比較は科学史に関する重要なテーマでもあると思うので、この点に幾分か検討を加えておきたい。

ヴォルテールがデカルトを低く評価した理由としては、二つのことを挙げてよいように思われる。一つは、デカルトが偉大な幾何学者であり、自然を幾何学的に解明する道を開きながらその道を最後まで進まず、旧態の学問体系に戻ってしまったとヴォルテールが見ている点である。もう一つには、運動をすべて微小粒子の渦状運動によって説明しようとするデカルトの自然学では、説明しきれない問題が多く残ってしまうとヴォルテールが考えていたことが挙げられる。

前者から検討しよう。ヴォルテールは『哲学書簡』のある個所でデカルトを次のように批判している。

この〔幾何学という〕手引きでデカルトは間違わずに彼の自然学へと導かれるはずであった。ところが、彼はついにこの案内人を見捨て、体系に固執する精神の意のままになってしまった⁵²⁾。

ここで言われている「体系」が何のことであるかは、必ずしも判然としないが、スコラ哲学の旧態的な神学体系を指していることは十分考えられる⁵³⁾。というのは、この数行先でヴォルテールは「デカルトはその形而上学的誤りの度が進むに及んで、2たす2が4になるのは、神がそうお望みになったからであると言うようになってしまった」⁵⁴⁾と言っているからである。デカルトの哲学が、近代哲学の出発点であったにもかかわらず、それ以前のスコラ哲学

52) ヴォルテール（中川信訳）『哲学書簡』、『世界の名著35 ヴォルテール・デイドロ・ダランベール』（中央公論社、1980年）、所収、144頁。

53) 前掲、村上『近代科学と聖俗革命』、46頁、参照。

54) 注52と同箇所。

に含まれていた要素を引き継いでいた事情はしばしば指摘される場所である。ヴォルテールの指摘もこれと重なるものと思われる。デカルトは、曲線も含めた幾何学的図形を代数的に表現する方法を発見したほどの偉大な幾何学者であり、幾何学の発展に決定的な貢献を果たした人物であったが、それにもかかわらず自然を幾何学的に解明する道を最後まで進みきらなかったことをヴォルテールは嘆いている。またデカルトは、生得観念の存在を認めたために経験の役割を十分に評価することができず、さらには神の存在を証明することに腐心した。デカルトの哲学がこのような古さを感じさせることは、ヴォルテールの不満を誘うものであった。

デカルトに関してヴォルテールが不満を感じていたもう一つの点は、デカルトの運動理論が物体の運動に十分な説明を与えていないところにあった⁵⁵⁾。周知のようにデカルトの哲学では、物は空間的な延長を本質とするとされており、したがって空間的な広がりがあるところには必ず物が存在すると考えられた。そのため、デカルトは真空の存在を認めない。空間的な広がりだけがあってその中に何も存在しないこともありうるように思えるのは、見かけだけのことであって、いかなる空間の中にも人間の目に見えない微小粒子がすきまなく充満しているとデカルトは考えた。そしてデカルトによれば、こうした微小粒子は西から東へと流れるため、それに押されて惑星も西から東へと移動する。太陽の周りを惑星が回る運動はこのことによって生じる。またデカルトは、こうした渦状運動はどの惑星の周りでも生じており、地上で働く重力もこのことによって生じるとする。地球の周りを微小粒子が地球の17倍の速さで回っており、そこから生じる巨大な遠心力が物体を地球のほうに押しやるとデカルトは考えた。

微小粒子の理論には、離れた物体間で力が働くことを説明できるという利点はあるかもしれない。だが、この理論を正しいものとして示すためには、こうした微細な物質が存在することを証明しなければならないはずである。また、地上の重力をこの理論によって説明しようとするには、どうみても無理があるように思われる。地上でデカルトの言うような渦状運動が本当に生じているとすれば、遠心力によって物体が地球の外に放り出されると考えるほうが自然であろう。

このように無理を感じさせる理論よりもニュートンの物理学のほうがはるかに優れているとヴォルテールが思ったのは当然であろう。見られてきたように、たしかにそれは真空の存在と「万有引力」という神秘的な力の存在を認めて、離れた物体どうしが介在物なしに作用しあうことを主張したものであり、知識人たちの間に大きな困惑も生じさせた。だがこれらのことさえ認めれば、それは、多くのパズルを一挙に解くことを可能にするものであった。

55) ヴォルテールのデカルト批判は、主として、前掲、『哲学書簡』、139-148頁に記されている。

それはリングの落下と月の運動とを同じ原理で説明し、またその延長で、太陽系の惑星の運動をくまなく説明することができた。ニュートンの理論は、デカルトの渦状運動の理論のように、惑星の運動に雑駁な説明だけを与えるようなものではなかった。先にも述べたように、ニュートンの理論は、ケプラーが解明しきった惑星の軌道に跡づけ的に解明した。観測で確かめられてあった軌道に完全に一致するような説明をケプラーが超人的な努力によって見出したことは、すでに述べた通りである。ニュートンの理論の精緻さを知れば、ヴォルテールがデカルトの自然学を、自国の文化的産物であるにもかかわらず捨て去り、ニュートン物理学のほうを採用したことも理解されうるのであろう。ヴォルテールに言わせれば、デカルトの自然学が「一試論」にすぎないのに対して、ニュートン物理学は「一大傑作」にほかならない⁵⁶⁾。

さて以上では、ニュートンの研究成果がフランスの啓蒙主義思想家に受け容れられていった次第を瞥見したが、われわれには、さらにもう一人、その後継承されたかどうかを点検しなければならない人物がいる。それはベーコンにほかならない。科学の“揺らぎ”を形成する、ニュートンの要素とは別のもう一方の要素を代表する人物である。ベーコンが唱えた観察や実験の精神は、その後の思想家たちによってどのように評価されていったのであろうか。

答えを先に言えば、ベーコンもニュートンと同様にフランスの啓蒙主義者たちから最大限の賛辞を与えられ、その精神は大いに尊重され継承されていった。それがはっきり見て取られるのは、啓蒙主義者たちが編集・刊行した『百科全書』においてである。『百科全書』はその正式な標題を『人文家のグループの手になる、科学と芸術と技術についての合理的な事典、すなわち百科全書』とするものであり、その中で立てられた「百科全書」という自己言及的項目のなかで、代表編集者のディドロは「『百科全書』の目的は、地上に散在している知識を集成することである。知識の一般的体系を同時代の人間に提示するとともに、未来の人間にもこれを伝達することである。このようにして、過ぎ去った時代の業績が、きたるべき時代に無用のものにならないようにしたい。われわれの子孫が、より多くの知識を獲得すると同時に、より有徳でより幸福になるようにし、またわれわれ自身が人類にふさわしいことをしおえたのちに死んでいくようにしたい」⁵⁷⁾と述べている。

このように知識の集積を重視し、その継承を期待する姿勢は、先に見られたように、ベーコンの思想に含まれていたものにほかならない。またフランスの啓蒙主義者たちが、いかにベーコンを尊敬し、その思想を継承しようとしていたかは、『百科全書』の冒頭にダランベールが記した有名な「序論」の内容を見ると、見紛うことなく明らかになる。先行思想の継

56) ヴォルテール、前掲書、145頁

57) 前掲、『世界の名著35 ヴォルテール・ディドロ・ダランベール』、35頁以下（編集者の解説からの再引用）。

承がこれほど明らかに宣言されることは非常に稀なことである。ダランベールがベーコンを激賞するときの口吻をここで見ておくことも無駄ではあるまい。

〔先の時代の〕傑出した人物の筆頭には、イギリスの不滅の大法官フランシス・ベーコンが置かれねばならない。……この偉人の健全で幅広い視力、彼の精神が向けられる対象の多様性、いたるところでこのうえなく崇高な心像をこのうえなく厳密な正確さと結合させる文体の大胆さ、こうしたことを考察するならば、誰しも彼を最も偉大で普遍的で雄弁な哲学者とみなしたくなるであろう⁵⁸⁾。

フランスの啓蒙主義者たちが『百科全書』でベーコンを引き継いでいる次第としては、人間の知識を系統化するときの体系をベーコンからほぼそのまま受け継いでいることが、何といても大きい。先にデイドロが自己規定しているところにも見られたように、『百科全書』は「知識の一般的体系」を提示しようとした点で、もっぱら網羅性を追求するような今日の百科事典とは異なっていた。この「体系」を簡略化したものを図5に示しておこう。

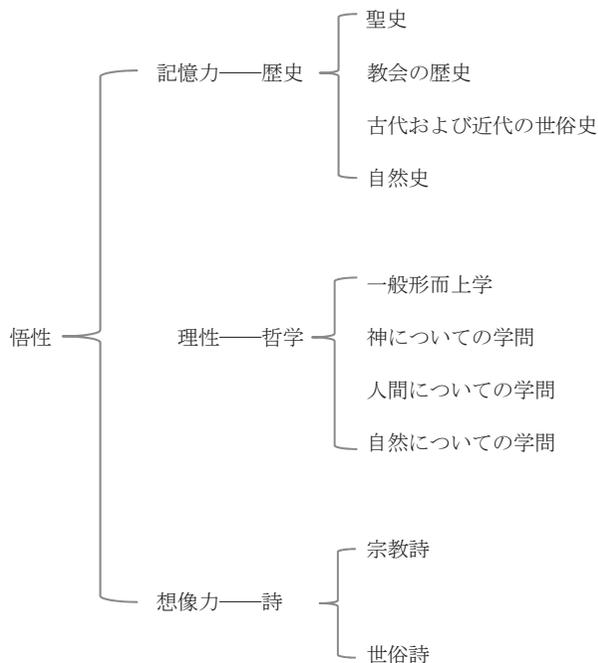


図 5

58) ダランベール『百科全書序論』、前掲『世界の名著35 ヴォルテール・デイドロ・ダランベール』、所収、479頁。

この体系は、ベーコンが示した体系にわずかな修正を加えてはいるが、それをほとんどそのまま引き継いだものであった。ベーコンは自らの体系を次のように解説していた。

人間〔の知力〕による学問の諸部門は、学問が宿る、人間の知力の三つの部門に関係がある。すなわち、歴史は人間の記憶に、詩は人間の想像力に、哲学は人間の理性に関係がある⁵⁹⁾。

ベーコンが挙げた三つの部門は、図5にも見られるように、『百科全書』では順番が変えられ、「記憶—歴史」、「理性—哲学」、「想像力—詩」の順に並べられている。順序が一部変えられているだけで、ベーコンが考えた知の秩序や系統性はほとんどそのまま引き継がれている。この点に注意することは、『百科全書』の性格を理解する上で決定的に重要なことだと言わねばならない。それは『百科全書』がベーコンの思想をグラウンド・コンセプトとして採用していることを意味するからである。思想史において非常に稀有な現象であるが、フランスの啓蒙思想家たちは自らの思想や哲学を、自らの先駆者と見なしたベーコンを徹底して引き継ぎながら形成していったのである。このことをバターフィールドは「ベーコンはフランスの百科全書派のいわば守護聖人に選ばれた」⁶⁰⁾と表現している。

また当然のことであろうが、ベーコンが表明した観察と実験の精神も同様に重視され、継承されている⁶¹⁾。そして、さらにもう一つわれわれが注視しなければならないことがある。それは、ベーコンが「機械技術」について述べていたことに関わる。ベーコンは、哲学をはじめとする伝統的学問が不毛な論争や議論を繰り返して停滞し続けるのに対して、「機械技術」は着実な成長と進歩を遂げることを強調していた。フランスの啓蒙主義者たちはこの考えもベーコンから引き継いでいるであろうか。

ダランベールが書いた「序論」を見る限り、これも見誤りようのないほどはっきり引き継がれている。ダランベールは、確固とした規則で整序された知識体系をすべて「技術 (arts)」と呼ぶことを宣言した後、それを「自由人の技 (学芸)」と「手職的な技 (工芸)」とに区別する。前者は、簡単に言えば、精神の天分に恵まれた者のみが実践できる学問的探究のことである。今日では、細分化された諸分野の内部で営まれる専門的研究がこれに当たるであろう。高い知的能力が必要とされる営みである。それに対して後者は、手作業と熟練の技をもって行われる職人の営みのことである。ダランベールによれば、これまでは両者の間に優劣の差がつけられ、前者に優位が認められて、後者には低い価値しか認められてこなかったとい

59) ベーコン (服部英次郎・多田英次訳) 『学問の進歩』, 前掲『世界の大思想 8 ベーコン』, 所収, 66頁。

60) 前掲, バターフィールド『近代科学の誕生 (下)』, 90頁。

61) ダランベール, 前掲書, 479頁以下。

う。これまでの人間の歴史においては、時代の経過とともに、体力よりも知力が大きな意味をもつことが多くなっていったため、高い精神能力をもつ者のみが営むことのできる「自由人の技（学芸）」に高い価値が認められることになってしまった。これに対して「手職的な技（工芸）」のほうは、熟練を必要とするとはいえ、手さえ動けばできるような単純な作業が多く、これといった天分に恵まれない者でも営むことができたため、高い価値が与えられることはなかった。

だが、いまやこの序列を見直し、「手職的な技（工芸）」にも高い地位を与えなければならぬとダランベールは言う。それは有用性が高いという点で、「自由人の技（学芸）」に劣らない価値をもつからだという。

自由人の技（学芸）が、精神に要求される労苦と、そこにおいて卓越することのむずかしさの点で、手職的な技（工芸）に対してもっている優越性は、後者がわれわれ大多数の人間にもたらす前者よりもはるかにすぐれた有用性によって、十分相殺されている。工芸が、より多くの人間にとってたやすく実践しうるものとなるために、純粹に機械的な操作に単純化されるのやむなきに至ったのは、まさにこの有用性そのものためである。だが、社会は、片方では正当にも自分に光をもたらしてくれる偉大な天才を尊敬しながら、片方で自分に奉仕してくれる手を見くびるべきではない。羅針盤の発見が人類にもたらす利益は、その針の諸特性の解明が物理学にもたらす利益に劣るものではない⁶²⁾。

またダランベールによれば、こうした機械技術は単にその有用性の点で重要であるだけでなく、複数の機械を組み合わせて高度な機械を作製し、それまで考えられなかったことを可能とする点でも大きな意義をもつという。ダランベールは、円錐滑車と逃がし止め、時鐘装置などが組み合わされて、高度な時計装置が発明された例を挙げている。こうしたことを成し遂げた天才は、「自由人の技（学芸）」において名を残している天才と同様に称揚される資格をもつとダランベールは言う。

機械の中には、発明者がひとり以上いると考えるのが困難なほど、きわめて複雑で、しかも各部分がすべて相互に依存しあっているようなものがある。この類まれな天才の名前は忘却の中に埋められているが、彼こそは、学問においてわれわれに新しい道を開いてくれた数少ない創造的精神と並んで置かれるに十分ふさわしい人物ではなかったろうか⁶³⁾。

62) 同上、450頁。

63) 同上、451頁。

ここで言われていることには、機械技術の着実な進歩を賞賛したベーコンの主張に重なるものがある。複数の機械が組み合わせられて高度な機械に統合されるときにこそ、機械技術は最も長足の進歩を遂げると言えるからである。ダランベールは、こうした統合はむしろ一人の人物が独力で行わなければ不可能であったと言い、このような天才的な人物にこれまで然るべき名声が与えられてこなかったのは不当なことだと言っているのである。

ダランベールが指摘している状況は、今日とは逆のものであると言えよう。エジソンやライト兄弟といった人物たちの名前は今日誰もが知っており、もちろん彼らには大きな名声が与えられている。ダランベールの議論からは、当時の学問の序列や位階が今日のそれとは大きく違っていたことが窺えて興味深い。今日ではむしろ、哲学のような伝統的学問のほうが低く評価される傾向が強いと見える。私事になってしまうが、特に大学院生時代の私は、自分が哲学を専攻していることを人に言いにくいように感じるが多かった。「そんな役に立たないことを勉強して何になるのだ」という類のことも時に言われた。

こうしてみると、フランスで啓蒙主義が隆盛した時期は、時代の大きな転換期であったと見ることができよう。啓蒙主義思想家たちはベーコンにならって機械技術の価値を強調し、学問の伝統的な序列や位階の転換を図った。そして『百科全書』を世に出すことによって、この新たな価値観を民衆のあいだに浸透させ、機械技術が優位に立って時代とともに進歩してゆくような社会の構築を企図した。刊行から半世紀も経ずにフランス大革命が勃発したことを考え合わせると、啓蒙の気風は成熟を遂げて価値観の転倒にかなりの程度成功をおさめたと推測される。啓蒙主義の時代にはたしかに大きな転回が果たされたのであり、啓蒙の動きは今日的な科学技術を成立させる大きな契機の一つだったと言えよう。

さて本章を締め括るにあたって、ベーコン主義を徹底して引き継いだ啓蒙主義が、先に見られたようにニュートン物理学をも採用していたことを思いささなければならぬ。たびたび言及してきたように、ベーコンの思想とニュートンの物理学とは基本的に異質のものであった。こうした異質なものが同時に採用され、結合することは、あらためて考えてみれば変則的なことであり、そこからどのようなことが帰結するかは、注意して見て取られなければならないことである。なお、イギリス以外の国でこうした融合が生じたことは意外にも思えるが、考えてみれば、こうした融合は本国と違う場所でこそ可能だったとも言えよう。外来の思想だからこそ新鮮で啓発的に見えるということはあるだろうし、それゆえ大きな疑問がはさまれずに受容されるとも考えられるからである。

ベーコンとニュートンとが融合するとき、重大なことが帰結する。それは、イギリス発の近代自然科学を万能のものに見なすような思想が生じかねないということである。まず、ニュートンによって宇宙が自動機械として示し出されたことと、ベーコンによって機械技術の着実な進歩が見込まれたことが結びつくとき、技術によって自然を支配しようという期

待が高まることになろう。機械を制御する技術が進歩を続ける限り、いずれ技術の制御力が、自動機械たる全自然、全宇宙にまで及び、すべてを人間の意のままにすることもできるかもしれないと考える見方も生じうるであろう。この見方は実際に生じて存続し、今日の人類がほぼ共有している《科学技術主義》に至っていると見ることができる。

そしてもう一つには、自然は自動機械であるがゆえに限なく解明可能なものであり、原理的には観察と実験によって解明し尽くされるはずだとする見方が生じうるであろう。すでに触れたように、実際にラプラスが基本的にこれと同じ見方を取った。フランス人であったラプラスがこのような見方をとったことは偶然ではないであろう。宇宙を自動機械と見なす見方は、惑星の運動を数学的・幾何学的に説明しようとする姿勢から生まれたものであり、観察や実験の精神と必ずしも重なるものではないが、フランスではこの両者が次第に融合していったと考えられる。

こうしてみると、イギリスにおいて完成をみた17世紀科学革命の成果は、その後フランスに移入されて成長と成熟を遂げていったと見ることは十分に可能である。そして、それを証拠だてる出来事もフランスで実際に生じている。それは化学の分野においてラヴォアジエが成し遂げた革命である。イギリスにおいてニュートンが完成した物理学の革命に約1世紀遅れているため、それはバターフィールドによって「遅れた科学革命」とも呼ばれている⁶⁴⁾。次章ではこの「化学革命」の内実について見ることにしたい。

8 ラヴォアジエによる化学革命

われわれが身近に接する物質がどのような性質のものか、また、それを構成している微細な粒子はどのような状態にありどのような動きをするかといったことは、もちろん自然探究上の重要な問題である。この方面の探究は数多く積み重ねられてきたし、とりわけニュートンによる革命の後には、こうした問題を機械論的に解決しようとする試みが繰り返されることになった。ただこの方面の研究には、混乱を含んだものや要領をえないものが多く、化学の分野は無政府状態の様相を呈していたようである。

そのような状態にあって、ある人物が突如として混乱を收拾し、すべてを整理してまとめあげる仕事をやってのけた。その人物がラヴォアジエであった。彼の業績がいかに画期的で鮮烈な印象を残したかを知るために、バターフィールドが述べているところを見ておこう。

鶏群の一鶴という趣きで現れたある人物が、雑然と投げ出されたはめ絵の断片を一瞥

64) 前掲、バターフィールド『近代科学の誕生（下）』、第11章。

するや、たちまちそれを並べ変えてすっきりまとめ上げたのである。この人物こそラヴォアジェであり、彼が他の人々と比べて群を抜いて、科学革命の歴史の中で最高の座に居並ぶ少数の巨人たちのひとりに数えられることは論をまたない⁶⁵⁾。

ラヴォアジェは、物を燃焼させたり、金属を高温度で熱したりすると、そこに空気の特徴的成分が流れ込んでゆくことや、その成分が、人間が呼吸する空気の中の最も純粋な部分であることなどを突きとめた。また、この成分が非金属的な物質と結合すると酸を生じさせることを発見し、酸の元となる物質という意味でこの成分を「酸素」と名づけた。

なおラヴォアジェの業績は、「科学革命」の典型例としてクーンが好んで取り上げるものの一つである。現象を捉えるときの見方がきれいに正反対のものに変わったケースであるため、「パラダイム・シフト」を示す好例になるからであろう。ラヴォアジェの理論が確立する以前には、物の燃焼においては、物の実質のうちの何かが炎という形で逃れ出ようとするという考えがとられていた。燃焼の過程で物は分解し、より基本的な要素に分かれてゆくと考えられた。こうした考えは観察から常識的に導き出されるものであり、古くから探究者たちによって採用されてきた。その原型はアリストテレスの理論にまで遡る。ただ、この考えが明確に理論化されたのは古いことではなく、18世紀中葉のことで、ラヴォアジェの理論が出現するほんの数十年前である。ドイツ人化学者のG・E・シュタールが古来の理論を練り直し、炎を構成する物質を「フロギストン (Phlogiston)」(燃素)と名づけた。フロギストンはひとつの実質的な物質、固体で脂肪質のものであり、燃焼する物から放出して炎の形をとった後、空気と結合するとされた。場合によっては、その一部が煤(すす)の形をとって残ることがあるとも言われた⁶⁶⁾。

だが、フロギストン説には大きな難点があった。物を燃焼させたり、金属を熱したりするとき、その残滓のほうが元の物よりも重くなるのが分かっていたのである。これはフロギストン説とまったく矛盾する現象にほかならない。フロギストン説では、燃焼した物から実質的な物質が抜け出てゆくとされる以上、残った物は軽くなるはずだからである。

バターフィールドが辿っているところによれば、ラヴォアジェ以前の化学研究は、この矛盾に直面していたにもかかわらず、フロギストン説をどうにか維持しようとして、非常に無理のある説明をさまざまに試みていたという。フロギストンが抜け出た後には物の密度が増すという説や、フロギストンは負の重さをもつという説すらあったという⁶⁷⁾。この時期の化学研究には、このように混乱を含んだり要領を得ないような説が乱立していたようである。

65) 同上、135頁以下。

66) 本段落の記述は、同上、120頁以下に依っている。

67) 同上、123頁。

また、科学の歴史においては、まったく明らかな矛盾に行き当たっても、既存の理論が実際にはなかなか放棄されないことも分かるであろう。ラヴォアジエ以前の状況を辿ったバターフィールドは、この現実を再確認して驚きを新たにしている⁶⁸⁾。われわれとしてもここで、科学の現実がこうしたものであることを銘記しなければならないであろう。科学研究は通常、既存の学説に強固に捕縛されるものなのであり、この拘束を解き放つことは後の時代の者が考えるほど容易ではないのである。

さて、化学研究が多くは無理を重ねて無政府状態に陥っていたとき、かねてからフロギストン説に対してかなり懐疑的な見方をとっていたラヴォアジエが、ついにこの説を大々的に批判し、この説の放棄を主張した。そしてこのとき、多くのパズルが一挙に解かれることになった。燃焼や煅焼において、空気中の非常に重要な成分が物と結合するという、以前とは正反対の考え方をとったとき、化学研究に混迷をもたらしていた様々な矛盾が解消することになったのである。化学研究においてラヴォアジエが果たした役割は、物理学においてニュートンが果たしたそれに匹敵するとも言えるほど大きなものであった。

なお、ここで検討しておきたいことが一つある。それは、ラヴォアジエがもたらした革命がニュートンのそれよりも約 1 世紀も遅れたのはなぜか、という問題である。「近代化学が独立するまでになお 1 世紀を要したことについては何らかの歴史的説明が必要となる」⁶⁹⁾ とバターフィールドは言っている。ただ、このように問題提起しているバターフィールドは、他方で自らの解答をすでに与えているように思われる。別の箇所では「実験が最大の支配力をもっているような科学の分野……では、近代的形態に達するのがもっとも遅れたとは言わないまでもいちじるしく遅かった。……錬金術が化学となり、その化学が、……変わるまでには、まだまだ時間を要したのである」⁷⁰⁾ と述べているからである。すなわち化学の分野では、運動の研究の場合等と違って、実験の実施が難しかったため、研究がなかなか進まなかったということである。バターフィールドによれば、化学研究を行うためには複雑な実験装置が必要となるため、そうした装置が発明・開発されるまで、まともな研究が成り立たなかったという。

物理学等と比べて、化学研究において実験が非常に難しかった事情は容易に想像できる。たとえば運動を研究するためには、よく磨いた金属球や滑らかな斜面を用意すれば、不完全ながら実験は可能であるが、化学においては空気のような捉えどころのないものが探究の対象となるため、実験や観察を行おうとすれば、そのための特殊な装置を創作することがまず必要となる。気体を採集する方法や天秤の使用、そのための器具製造の一般的改良⁷¹⁾、空気

68) 同上。

69) 前掲、バターフィールド『近代科学の誕生（下）』、28頁。

70) 同上（上）、132頁以下。

71) 同上（下）、128頁以下。

ポンプの発明や空気を固定する技術の開発等々⁷²⁾、バターフィールドが挙げているところを見るだけでも、ラヴォアジェに至るまでに実に様々な方法や装置の開発が必要であったことが分かる。またラヴォアジェ自身も、化学研究の混乱した状態を整序し、首尾一貫したものにするためには、方法や装置を大々的に改めながら実験を積み重ねる必要があることを主張していたという。

科学研究についてまわる“揺らぎ”とわれわれが呼んできたものを、ここでまたしても思い出さなければならない。科学研究を主導するのは理論的な論証や説明であるが、やはり実験と観察による検証は不可欠になるという現象のことである。ラヴォアジェの仕事にも、このことが正確に当てはまるように思われる。バターフィールドによれば「彼〔＝ラヴォアジェ〕の実験結果はしばしば、彼の言うほど正確なものではなかったし、彼はまた、まだ予測の段階にあるものを証明もせずに発表したり」⁷³⁾したというから、ラヴォアジェはすべてを実験で確かめようとしたり、実験結果に杓子定規に従おうとするタイプの人物ではなかったと考えられる。先にも触れたように彼はむしろ、既存の理論を廃棄し、見方を正反対にすることで、それまで誰にも解けなかったパズルを解いてみせた人であった。

だが、すでに見られたことから明らかなように、このことは、ラヴォアジェが実験を軽視したということは何ら意味しない。彼は一方では、実験の集積の重要性を主張していたからである。またラヴォアジェは、他の研究者の実験結果からヒントを得たり、自分の説の論拠を他の人の実験結果に求めることも多かった⁷⁴⁾とのことであるから、自らは実験に没頭するタイプではなかったとしても、実験を非常に重視する人であったことは間違いない。実験や観察に先立つ「方向づけ」や「組織化」を行う上で、他の人に見られなかった発想をとることができたところに、ラヴォアジェの個性が最も発揮されていたことはたしかであろう——この点ではガリレイに似たタイプの人物であったと思われる——が、同時に彼は、実験や観察による検証が決定的に重要であることを忘れたことはなかったのである。

こうしてみると、ラヴォアジェによって「遅れた科学革命」「化学革命」が成就された理由は、やはり何といても、さまざまな器具や装置、方法等が時代とともに進歩・発達して実験と観察が積み重なったところに求められるであろう。このための時間がニュートン物理学の完成の後100年近く必要だったということになる。そして、この動きの底流にベーコンの思想が生き続けていたことも、もはや明らかであろう。実験や観察が重んじられたこと、そのために機械技術が発達させられたことは、まさにベーコンの思想の体現にほかならないからである。「百科全書派の守護聖人に選ばれた」ベーコンの思想は、フランスにおいて大きな威

72) 同上、130頁以下。

73) 同上、138頁。

74) 同上、137－8頁。

力を発揮し、科学の発展の原動力として働き続けたとすることができる。ニュートンの物理学が異国のフランスにおいてむしろ抵抗なく受け入れられたこと、さらに啓蒙主義においてそれにベーコンの思想が融合しはじめたことは、先に見たとおりであるが、この融合はラヴォアジエの業績においてその顕著な成果を顕したと見ることができよう。

この動向はそれ以後も続き、その結果、自然探究のあり様も大きく変容してゆくことになる。この変化は科学史家たちによって大規模で決定的なものとして見られるようになり、やがて「第2次科学革命」と呼ばれるようになった。次章では、これについて見ることにしたい。

9 第2次科学革命

村上陽一郎は「今私たちが『科学』と呼ぶ知的活動が西欧に成立したのは、19世紀のことだった」⁷⁵⁾と断言している。この指摘は、これまでわれわれが見てきたことと矛盾するように見えるが、村上が言おうとしているのは、これまで見られてきたケプラー、ガリレイ、ニュートン、ラヴォアジエといった人たちの営みが、今日われわれがイメージするような「科学」の営みとはかなり異なったものだったということである。たとえばケプラーやニュートンの性格や活動には、かなり宗教的ないしは魔術的な要素も備わっていたことが知られている。

そして大変に意外なことであるが、これらの人物たちは生前に「科学者」と呼ばれたことが一度もなかった。理由はまったく単純で、そもそも「科学者」という言葉が存在していなかったからである。「科学者 (scientist)」という言葉はイギリスのヒューエルという人物によって造られたもので、1834年にはじめて用いられたことが突きとめられている。この言葉はもちろん「science をする人」を意味するものであるが、このような言葉が造られたということは、単に語彙の増加を意味するものではない。

“science” という英語は、以前はラテン語の「スキエンティア (scientia)」と同じように、広く「知識」や「学問」を意味していたもので、今日のように「科学 (サイエンス)」を意味する語ではなかった。ラテン語の “scientia” は、「知る」を意味する “scio” から派生した語であり、広い意味の「知識」を表すものにすぎなかった。

これを営む人という意味で “scientist” という言葉が用いられるならば、この言葉は、分野に関係なく学問を営むすべての人に当てはまったはずであろう。だがこの言葉が実際には1830年代に登場した新語であったということは、“science” という言葉の意味がこの頃、それまで

75) 村上陽一郎『科学の現在を問う』（講談社現代新書、2000年）、8頁。

とは異なるものに変化したことを意味している。この変化にはヒューエルの知的活動と知的関心が関わっていたと考えられる。

ヒューエルはケンブリッジ大学で非常に広範な分野にわたって精力的な研究を行った人物で、文学、神学、哲学などの伝統的学問を研究しながらも、同時に、当時新しい知識系として勃興しつつあった化学や金属学などに強い関心をもった。ヒューエルは、当時ドイツなどでこうした新しい学問分野が組織化されている事情を知って、それが来たるべき社会の重要な財産になることを予感していた。ヒューエルはこの学問部門の振興を図らなければならないという課題意識を強くもったため、この新しい部門を特別視してそれに“science”という言葉当てようになった。ヒューエルは、何よりこの新しく重要な分野に、知識体系・学問体系としての“science”の資格を認めたのである⁷⁶⁾。

当時、組織化・体系化が行われるまでに進んでいた化学や金属学といった分野は、もはやアマチュアが片手間に携わることができるようなものではなく、高度な専門知識を身につけたプロフェッショナルだけが関わることであり、特殊な領域を形成していた。今日営まれている「科学」にかなり近いものが出現していたと考えられる。またヒューエルが“scientist”という言葉を作ったことには、このような新たな“science”を研究する人々がかなり見かけられるようになった、当時の社会的状況が反映していると言えよう。これらの人々は、いま述べたように、プロフェッショナルとして研究活動を行う人々であり、その活動はすでに職業的なものであったと考えられる。職業として認められるということは、社会がそれを必要としているということであり、したがって、社会の中に居場所を与えられることを意味する。

このように今日いわれる「科学」が成立し、「科学者」が登場した過程は、今日、科学史家たちによって「第2次科学革命」と呼ばれるようになっている。「第2次科学革命」とは、いま見たように、17世紀の「第1次科学革命」で見られた変化とは大きく違って、自然探究が社会に受け容れられるような形態のものになったことを意味している。問題になるのは、社会との関わりであり、科学が社会に認められて居場所を得た現象は「科学の社会化」とも呼ばれる⁷⁷⁾。

そして、これに関連してよく言われるのは、「科学の制度化」ということである。科学が「社会化」されるということは、同時に、科学研究を支えるような社会制度がつくられることを意味するからである。「制度化」の具体的な内容としては、(1) 科学研究を職業とする専門家集団が成立したことと(2) 理工系の高等教育機関や大学の理工系学部など、科学研究を教育する諸機関が設立されたこと、を特に挙げることができる。こうした事柄の内実を知ることは、今日

76) 本段落の記述は、主として、村上陽一郎『文明のなかの科学』（新曜社、1994年）、12-25頁に負っている。

77) 前掲、村上『科学の現在を問う』、30頁、参照。

の科学のあり方を考える上で有益だと思われるので、次に具体的に辿ってみることにしたい。

(1) 学会の成立

科学に限らず、学問研究の専門家集団は今日「学会」と呼ばれる。その原型が成立したのは「第2次科学革命」の時代よりもはるかに古く、ニュートンも所属していた「ロイヤル・ソサエティ」が初期のものとして有名である。1660年にロンドンで設立されている。またこれに刺激を受けて、絶対王政下のフランスでは、1666年に宰相コルベールの肝煎りで「科学アカデミー（アカデミー・デ・シヤンス）」が創設されている。ここで述べておくことにすると、フランスではそれよりもかなり以前から、主としてデカルトの影響で、自然探究を愛好する人たちのサロンの集まりがかなり開かれていたようである。デカルトやガリレイと接触をもっていたメルセンヌは、自らの周辺に自然探究者のサロンを形成し、それは1635年頃から「メルセンヌ・アカデミー」と呼ばれるようになっていた。また、時代が跳んで1680年代のパリでは、実験家たちの実演を見学する会合が頻繁に開かれ、それに参加しようとしてやってきた外国人で街はあふれかえっていたという⁷⁸⁾。

バターフィールドによれば、1680年代フランスのこのような状況は、フォントネルという作家によって描きとめられたため、今日われわれも知る事ができるところになっているという。科学アカデミーの書記を務めたこともあるこの人物は、多くの短い伝記を著しており、その中で当時の自然探究の状況や探究者の活動の実態を伝えている。また講演や追悼演説の名手だったため、その記録からは、当時著名だった探究者の人となりに関する貴重な情報なども得られるという。さらにフォントネルは、1686年に『複数の世界』という対話形式の読物を出版し、自然探究に関する知識や情報を一般読者にも分かるように書き表しているという。フォントネルは、当時の自然探究の状況を記録するだけでなく、自然探究を一般大衆にとって身近なものにして、自然探究の普及に貢献する役割も果たした。なおこうしたことは、フォントネルがはじめ文学作家を目指した人物で、そこから自然探究に関心を移したために成り立ったことだという⁷⁹⁾。

啓蒙主義の動きに先立って、このように一般大衆に自然探究の精神が浸透していたこと、また実験が好んで行われていたという状況を知ることは、非常に重要なことであろう。啓蒙主義の動きはこうした状況の後に生じたことを考えると、フォントネルが伝えている状況は啓蒙主義の前提ないしは基盤であったとさえ言えるかもしれない。啓蒙主義の原点は意外なことに、ルイ14世治下の絶対王政の絶頂期にあったと言っても誤りにはならないと思われる。

もっともこのようなサロンの集会は、今日言われる「学会」とは根本的に異質なもので

78) 前掲、バターフィールド『近代科学の誕生（下）』、76頁。

79) 本段落の記述は、同上、第9章に依っている。

あった。それはアマチュアの愛好家たちの集まりにすぎず、本格的な研究者集団とは言えないものだったからである。また、科学革命の本国と言ってもよいイギリスにおいても、伝統を誇るロイヤル・ソサエティが19世紀には形骸化しており、実質的な活動を行わなくなっていたという⁸⁰⁾。

これに対して、19世紀の第2次科学革命の時期に成立した「学会」は、プロフェッショナルの「科学者」たちをメンバーとする本格的な研究者集団であった。今日的な「学会」は、これまで見られたところからすると意外なことに、ドイツで生まれている。科学史家が突きとめているところでは、ドイツの生物学者L・オーケンが1822年に創設した「ドイツ科学者・医学者会議」が、今日言われる「学会」の嚆矢にほかならない。そして、この学会に刺激を受けて、イギリスでもロイヤル・ソサエティとは異なる今日的な学会が設立されることになった。1828年にベルリンで開かれていた「ドイツ科学者・医学者会議」の研究大会を、イギリスの数学者バベジが傍聴している。病氣療養のためにヨーロッパ大陸を旅行していたバベジは、偶然この研究大会に参加する機会を得た。イギリスの数学が大陸諸国のそれに比べて水準が低いことを日ごろから痛感していたバベジは、プロイセン国王も臨席している場で意気盛んに議論する「科学者」たちの様子を目の当たりにして強い衝撃を受けた。

帰国後バベジは、思いを同じくする科学者たちとともに「イギリス科学振興協会 (British Association for the Advancement of Science: BAAS)」を設立する (1831年)。BAASはその名のおりイギリスを代表する学会となって、今も存続している。また、BAAS設立をきっかけとして、フランスでも同様に学会が創設される動きが生じ、さらに、BAASのような総合学会とは異なるタイプの、個別分野の専門学会も数多く設立されてゆくことになった。

学会においては、研究上の情報交換が行われる以外に、研究大会が開催され、学会誌の刊行も積極的に行われるようになっていった。これは、会員による研究発表の場を確保すると同時に、研究内容を一般に公開することを意図するものであった。また学会誌に投稿された論文については、掲載されるためには分野を同じくする専門家の審査を通過しなければならないという制度がつくられ、研究の品質管理を行って、研究の水準を高く維持するための努力が払われていくことになった。「学会」がこのように強固な組織として確立したということは、科学研究がもはや個人的な活動としてではなく、社会システムの中に組み込まれて集団的に営まれるようになったことを意味する。「科学の制度化」、すなわち、科学が社会内の制度として確立する現象は、一つには、このような学会の組織化という形で生じた。

80) 本章の以下の論述は、主として、成定薫『科学と社会のインターフェイス』(平凡社、1994年)に負っている。

(2) 大学の変容

今日、科学研究が大学の理工系学部で行われるのは当然のことと見られているが、19世紀に第2次科学革命が生じる以前には、意外なことに、自然研究と大学とが結びつくことはむしろ稀であった。デカルトは大学と直接関わることはなかったというし、ガリレイの裁判においては、大学人はガリレイを弾圧する側の陣営にいたという。またニュートンは、ケンブリッジ大学の教授職についたとはいえ、大学内では理解者が少なく、代表的な研究業績は大学とは切り離されたところで仕上げられたという。

これに対して、第2次科学革命はまったく別の時代の出来事であり、これ以後の科学研究はまったく新たな状況下で営まれることになった。科学研究の営みは、高度な専門知識を所持したプロフェッショナルの研究者にしか認められなくなったため、科学研究を志す者はプロの「科学者」としての資格を得なければならなかった。そしてそのためには、高度な専門知識を教え、科学者としての技量を身につけさせる特殊な教育機関が必要になったことは、理の当然であった。啓蒙主義とラヴォアジエの「化学革命」を産んだフランスでは、1794年という早い時期に、「エコール・ポリテクニク」という高等教育機関が革命政府によって設立されている。数学や幾何学を教えながら同時に技術者養成を目指す、当時としては珍しいカリキュラムに基づいた教育が施された。専門的な「科学」を教え、さらにそれを技術と結びつけようとする、特殊な高等教育機関の奔りであったと言える。

ただ、こうした高等教育機関が本格的に設立されるようになっていったのは、どこよりもドイツにおいてであった。特筆すべきなのはギーセン大学で、そこでは新進の化学者リービヒが、大学内に設置された化学実験室で実験を積み重ね、研究を精力的に推進していった。リービヒは多くの学生を人手として活用して実験や研究を推進すると同時に、学生を精力的に教育して大きな成果をあげていった。その結果ギーセンは「世界の化学者製造工場」と呼ばれるに至った。この頃、科学革命の祖国ともいべきイギリスが、後発国であったドイツの状況から刺激を受けるようになったことは先にも触れたが、ギーセン大学をめぐることも同様のことが生じていた。この頃のギーセン大学にはイギリスからも多くの留学生が学びにきており、科学を志すイギリスの青年たちにとっては、ドイツ留学が一種の登竜門にすらなっていたという。

17世紀科学革命を完成したニュートンの祖国イギリスの学生が、後発のドイツに「科学」を学びに来るというのは、顕著に逆転した現象で、印象深いものを感じさせるが、こうした状況が生まれた要因としては何よりも、ドイツで大規模な大学改革が行われたことを挙げなければならない。19世紀、フランス大革命とナポレオン戦争から大きな影響を受けたプロイセンでは、大学をそれまでとは異なるものに改革してゆこうとする動きが生まれた。この動きは、フンボルト兄弟によるベルリン大学の創設（1810年）に象徴される。言語学者にして

外交官でもあった兄ヴィルヘルム・フォン・フンボルトは、宗教公教育庁長官の職にあった1年半ほどの間に、ベルリン大学開設を準備した。ベルリン大学は、それまでの大学とはまったく異なる性格のものとして構想された。すなわち、教員が博識（Gelehrsamkeit）をもって教育に当たり、学生にほとんど教養のみを教えるそれまでの大学に替わって、たえず独創的な研究成果を産み出してゆく大学、学問（Wissenschaft）の営みを実践する大学が目指されたのである。

ギーセン大学の隆盛は、こうした動きと強く結びついていたものであった。1824年、当時21歳のリービッヒを推挙し、ギーセン大学の教員に任用させるように働きかけたのが、ヴィルヘルムの弟アレクサンダー・フォン・フンボルトだったからである。自然誌を中心として多方面に関心を抱いていたアレクサンダーは、大革命後のパリの科学者共同体に魅了されて関わりをもっていく、その中で、リービッヒと偶然知り合っていた。このときのリービッヒは、ゲイ＝リュサックに師事して当時最先端の化学研究に携わっていた。

ギーセン大学におけるリービッヒの活動の成功について、その理由がどのようなところにあったかを見ておくことは、科学技術の今日のあり方について考える上で有益だと思われる。J・B・モレルによれば、ある学派（research school）が成功を収めるためには次のような条件が満たされなければならないという。

- ① ある分野で研究の最前線を切り開いていくような研究プログラムとそれを遂行するための簡便で制度の高い実験法・測定法が確立しており、同時にマン・パワーとしての多数の学生を擁していること。
- ② 指導者が、研究・教育の諸条件を開発していくのに必要な力量を有していること。
- ③ 指導者に弟子を惹きつけるに足る一種のカリスマ性が備わっていること⁸¹⁾。

ギーセン大学のリービッヒのもとでは、このような条件が満たされていたことになる。こうした状況下であって、学生たちが新たな研究成果を精力的に発表して、競って業績をあげようとしていったことは言うまでもない。たえず新たな発見を示して、自らの成果を誇示しようとするのは、今日、科学者や研究者の姿勢として当然のことと考えられるが、こうしたことは、19世紀の第2次科学革命の時代にドイツでようやく始まったのである。

なお、業績競争が活発になった原因としては、当時のプロイセンにおいて、国家が大学教員を任用する権限を握ったことを述べておかなければならない。1817年、プロイセン政府は新たに文部省を設置し、ベルリン大学開設にも大きく関わったS・アルテンシュタインを大

81) Morrell, J. B., "The Chemist Breeders: The Research Schools of Liebig and Thomas Thomson", *Ambix*, 19 (1972), pp. 1-46. ①～③は成定薫が要約したものである。成定, 前掲書, 30頁, 参照。

臣に任命した。そしてその際、大学の人事権を文部大臣が握ることになった。大学の外部にいる者が人事権をもつとなると、誰を教員として任用するかを決定するには、具体的な形をとった研究業績を根拠とする以外に方法がない。それ以前のドイツの大学においては、人柄がよくて教師にふさわしいとか、協調性があるって社交の場でうまくやっているといたことが任用の実際の条件となっていた。いまやそれに代わって、研究業績が豊かでないと大学の教員の資格が認められない状況が生まれた。これも今日では自明に見られていることであるが、この時期に始まったことである。

最新の設備が並ぶ大きな実験室に多くの学生が出入りし、新たな成果を求めて実験や観察に一心不乱に打ち込むという、今日の大学の理工系学部において日常となっている光景を、古くからある自然のものと見なしてはならない。それは19世紀の第2次科学革命の時代になってはじめて出現したものなのである。今日われわれが「科学」と呼んでいる営みがこの時代以降のものであることは、よくよく銘記されるべきことだと思われる。人類の歴史において「科学」の営みが早くからあったものではなく、新しい時代のものであることをわれわれはよく知らなければならない。

なお、すでに自ずと言及されてきたことであるが、今日的な「科学」が、その原型が生まれたのとは別の地域で成立し、性格も当初のものとはかなり異なるものであったことも、あらためて振り返られてよいことであろう。イギリスで17世紀科学革命を完成したニュートン物理学に関しては、理論的な説明という性格が強かった。そのためイギリスでは、万有引力が存在するそもそもの原因は何かといった純粹理論的な問題、思弁的ともいってもよい問題が、その後も論議のテーマとなった。それを尻目にするようにして、フランスの啓蒙主義はニュートン物理学をそのまま受け容れ、さらにそれにベーコンの機械技術主義を結びつけていった。すでに見たように、このような思想的土壌からラヴォアジエによる「化学革命」も生じた。このようにして中心地をイギリスからフランスに移していった自然探究の営みは、さらにドイツにおいて大規模な変革を経験し、いよいよ今日的な「科学」として確立していった。「科学」の営みは「大学」や「学会」という形で制度化されて社会の公認を得、堂々と進められてゆくことになった⁸²⁾。

さて、科学研究についてまわる“揺らぎ”とわれわれが呼んできたものに即して、この状況を捉え直しておいてもよいであろう。第2次科学革命という出来事が示したところでは、科学研究の成果は実験と観察による検証を必要とするというところではない。この革命によって科学は、先にリービッチに関して見られたように、まさに実験と観察の別名になったと言っても過言ではない。フランスにおいて実験・観察の装置や方法が次第に発達したために、ラ

82) 成定, 前掲書, 139頁, 参照。

ヴォアジェによる「化学革命」が生じた次第は先に述べた通りであるが、この発達はいまや大学という場で公的・組織的に進むことになった。しかもそれは多くの学生の手で支えられ、間接的ながら国家の支援も得ていた。伝統的の学問と違って機械技術は着実に進歩を遂げるというのがベーコンの思想であったが、この思想が着実に結実していったとすることができる。

さて19世紀には、こうした科学の根本的な変革に並行して、別の部門においてもこれに似たものを思わせる変革が進んでいた。言うまでもなく「産業革命」のことである。この革命は産業技術の変革のことであり、本来は科学の進歩とは関係のないものであるが、やがて科学と無関係ではいられなくなった。次に「産業革命」について簡略に見ておかなければならない。

10 産業革命と「科学技術」の確立

周知のように「産業革命」とは、18世紀後半にイギリスで生じた、生産技術の大規模な革新のことである。工業生産力の飛躍的な向上をもたらしたこの動きは、綿工業の分野で始まった。はじめに綿織物の生産が機械化され、大量生産が実現すると、次にそれに応じるべく紡績機が機械化され、綿糸が大量生産されるようになった。すると今度は織物機械の改良がさらに促されるという循環を生んで、綿織物の大量生産が急速に進んだ。特に1769年にワットが改良型の蒸気機関を開発してからは、生産力は飛躍的に増大した。

綿工業の機械制の大工場が発達すると、機械の原料である鉄を生産する鉄工業や、蒸気機関で使われる石炭を掘り出して加工・製造する石炭業などの部門も、飛躍的な発達をとげた。また、こうして大規模な機械制工業が発達すると、大量の原料や製品などをできるだけ速く輸送するために、交通機関の改良が進んだ。そして、これを可能にしたのも蒸気機関であった。1814年、スティーヴンソンによって蒸気機関車が發明され、その後には蒸気船も發明された。

都市に大規模な工場が次々に建てられると、職を求めて労働者が都市に集中するようになり、都市人口は大幅に増加した。このように産業革命は、人々の生活風景も激変させるものであった。この動きは19世紀にヨーロッパ大陸諸国やアメリカ合衆国でも進み、同世紀の後半になると動力源が石油と電力に移行して、重化学工業、通信産業、自動車産業の発達をみた。

注意されねばならないが、この産業革命の動きは、われわれが見てきた科学革命の動きとは特に関係のないものである。水力紡績機を發明したアークライトも、自動車を發明したフォードも、電力・電気に関する技術革新を主導して「發明王」と呼ばれたエジソンも、自然科学の研究に携わったことはなかった。彼らはむしろ、職人的な技術家・起業家であった。また20世紀になってからのことであるが、動力機つき飛行機の發明という偉業を成しとげた

ライト兄弟は、何と自転車屋であった。

ただそれにもかかわらず、第 2 次科学革命と産業革命とのあいだに、やはりある種の親近性や親和性を見て取ろうとすることは、決して無理のあるものではない。前者によって確立した旺盛な実験遂行型の自然科学と、後者において多彩に生じた技術革新とのあいだに、何らかの類似があるように見えるのは、むしろ自然なことだと言える。実際にこの二つの動きは、次第に結びついていくことになった。自然科学と産業技術は徐々に結合してゆき、最終的に今日的な《科学技術》に到達する。

特に、産業革命における技術革新の中で、ワットが行ったことに、科学者の作業にかなり似たところがあったことは、注意されてよいことだと思われる。ワットはニューコメンの蒸気機関を改良する過程で、グラスゴー大学をたっぷりと利用し、科学者に似た理づめの探究を行ったという。ワットに科学者としての才能が備わっていることを見て取った教授たちは、ワットに科学の知識をはばかりことなく伝授していたようである。その一例はブラックという教授で、物理学者にして科学者であり、また医学者でもあったという。またこの人物は、物理学において温度、熱量という概念を導入し、その測定法を定めて熱学の基礎をつくった人でもあった⁸³⁾。

こうした人たちから科学の知識を得たワットは、自らの研究所を設立し、多くの人を集めて基礎的な研究を行かせたほか、シリンダに圧力計をつけ、また、ピストンの動きと圧力との関係を自動的に表わす装置を考案して、機関の効率を調べるといったことまで行ったという。科学者の研究にかなり近いことをワットが行っていたことが分かる⁸⁴⁾。

またさらに、ワットの発明は、科学における非常に重要な研究分野を開くという副産物を生んでいる。ワットの発明がきっかけとなって、熱が機械力を生む過程はどのような自然法則に従っているのかといった問題が科学者の探究テーマとなり、熱力学という分野が形成されていったのである。熱力学の端緒を開いたのはカルノーであったが、彼がこの方面の研究を始めたのは、蒸気機関の改良を動機としていた⁸⁵⁾。

この一方で、自然科学の知識や成果が単に抽象的・理論的なものではなく、現実に対して具体的な効力を発揮するものでもあることが、技術に活用される中で明らかになっていった。専門性が高く、素人には理解の届かない自然科学の知識が、技術の基礎的部分を構成するものとして社会の中で認知されるようになり、非常に有効な役割を果たすものとして受け容れられるようになっていった。

最前言及した熱力学はその後、それが予言していた現象が化学工業や冶金工業において

83) 朝永、前掲書(上)、148頁以下。

84) 同上、149頁以下。

85) 同上、153頁以下。

実証されていったこともあって、非常に有用な科学分野として認められていった。同様のことは電磁気学についても指摘されうる。それは電気と磁気とを結びつけて研究し、両者の相互転換のあり様や、電気が発揮する働きを明らかにするものであった。電気が今日これだけ使用されている現状を見れば、電磁気学がすぐさま工学に応用されていったことは容易に想像されるであろう。19世紀末から20世紀初頭にかけて、電灯や電話などの電気製品や、無線通信やラジオ放送といった電信上の発明が次々になされて、一気に電気の時代が到来した。これほど広範に活用される技術の基礎的理論を提供するものとして、電磁気学が社会に受け容れられていったことは当然のことであろう。そして、このことによって同時に、社会における科学の優越的地位がより確かなものになったことは言うまでもない。

このようにして「自然科学」と「産業技術」とが結びついてゆく過程においては、もちろん、これまでに挙げられたもの以外にも数多くの発明や技術革新が実現していった。それらを逐一挙げることは到底不可能であるため、ここでは話を急ぎ、この融合の帰結に注目することにしたい。両者は不可分に融合した状態に至って、「科学技術」という独特の性状のものを今日生み出している。「科学技術」が確かなものとして成立したのは20世紀のことで、決定的なきっかけとなったのは二つの世界大戦であった。第1次大戦では、敵を効果的に殺傷する毒ガス兵器や、敵の動きを察知する電波機器（ソナー）、爆弾、戦車、戦闘機、戦艦、潜水艦などが発明、開発されていった。第1次大戦で教訓を得た大国は、第2次大戦ではいよいよ科学技術を総動員し、壮絶な総力戦を繰り広げることになった。最も大きな出来事は、マンハッタン計画によって原子爆弾が開発され、広島と長崎に投下されたことであるが、それ以外にも、高速爆撃機や高性能爆弾、レーダーなど、新たに発明・開発されたものは枚挙に暇がないほど多い。

悲しい現実であるが、科学技術を飛躍的に進歩させるのは何といても戦争である。戦争が目的となる限り、国家が潤沢な資金をどこまでも提供し続けるからである。第2次大戦後も、米ソ間で長期にわたって冷戦が続いたほか、アメリカが朝鮮戦争やベトナム戦争、湾岸戦争、イラク戦争などに関わる中で、戦闘機等の兵器がますます高性能化したことや、新たなタイプの核爆弾の開発が続けられたこと、大陸間弾道ミサイルが構想されていったことなどは、よく知られているところである。そもそもは軍事目的で開発されながら別目的で使用されるようになったものも多い。偵察目的で人工衛星が開発されたおかげで、今日テレビの中継放送が可能になっていることや、気象予測が以前よりも正確になっていることも、われわれに馴染みのことである。また、軍事目的で開発された電子メールは、今日誰もが利用する身近な通信ツールとなっている。

かつての自然探究が性格を変えて今日的な「科学技術」にまで至った変貌ぶりは、第2次科学革命において科学の活動が社会に認知され、社会の中に居場所を得たときのそれとは比

較にならないほど大きい。いまや科学は国家や産業活動と連携して社会のすみずみにまで浸透し、社会を支配下に置きかねない地位を手に入れている。こうした事態を廣重徹は、「科学の制度化」に対比して「科学の体制化」と呼んでいる。廣重の言葉を借りて、今日の状況をまとめておこう。

科学が国家と産業のそれぞれに包摂され、研究開発において国家と産業が癒着することによって、国家・産業・科学の三位一体ができあがる。科学はこんにちの社会体制をしてみさに社会体制たらしめる、本質的契機の一つとなったのである。

こんにちの科学は現存の社会体制のすみずみにまで入りこみ、それを維持する不可欠の要素となった。そしてその結果として逆に、科学の全活動はこの体制に全面的に依存し、それから規定されるのである。このような事態をさして「科学の体制化」とよぶことができよう⁸⁶⁾。

II 体制化した科学技術の特性

「科学の体制化」に関しては指摘できることが山ほどあるが、ここでは特に重要と思える二つの論点を取り上げることにしたい。第一の論点は、科学に大きな信頼と期待を寄せる姿勢として、「科学主義」ないしは「科学信仰」のように呼ばれてよいものが、人々の間に生じたことである。もちろん、科学技術が見せつけた圧倒的な実用性や実質的効力を理由とするものである。第二に、科学研究が、探究心を動機とするもの、新たな事象や法則を競って発見しようとするものから、企業型・利潤追求型のものに変質していったことを挙げるができる。最初の論点から見てゆこう。

(I) 「科学主義」あるいは「科学信仰」の成立

見られてきたところから明らかなように、産業革命期から二つの世界大戦に至るまでの時代に大きな発展をとげたのは、自然科学よりも産業技術のほうであった。それは着実に進歩しうる堅実な営みであることが明らかになり、特に二つの大戦において圧倒的な威力を発揮した。ペーコンがかつて「哲学などの伝統的学問と違って機械技術は着実な進歩をとげることができる」と言っていたことが、今日見事に実現している。また、ダランベールが「手職的な技(工芸)」に、「自由人の技(学芸)」と変わらない地位を認めるべきだと主張していたことを思い出されたい。

86) 廣重徹『科学の社会史(上)』(岩波現代文庫, 1973年), 4頁。

今日の状況は、この二人が力説する必要はなかったのではないかと思わせるもので、機械技術は、こうした思想家や哲学者の主張にまったく関係なく、ほとんど自動的に日進月歩の発達を示している。パーソナル・コンピュータやスマートフォン、タブレットといった機器はここ数年の間に爆発的に使用者が増え、これらを所有しない人は皆無とも言える状況が出現している。また近年では、ロボットや人工知能が性能を着実に高めていることが頻繁に報道されており、大きな期待を集めている。

また、万能細胞（iPS細胞）を用いた再生医療の進歩が大きな可能性を感じさせることも様々に報じられており、これまで対処する術のなかった難病に取り組む途が探られている状況も伝えられている。細胞や組織を人工的に造り直すことができるということになれば、人間の身体を機械に似たものとして見ようとする傾向も当然強まるであろう。現代の医学（西洋医学）は実際、人体を機械として捉える見方に基づいて行われているが、この姿勢は今後ますます強固になることが予想される。また、数年前から新型の抗がん剤に顕著な効果があることが分かり、大きな話題になっているが、これもまた人体を機械として捉える見方を強めるものである。このニボルマブ（商品名オプジーボ）という薬品は、これまでの抗がん剤と根本的に異なる仕組みによってがん細胞に対抗するように考案されたものである。人体にははじめから免疫細胞が備わっていて、それががん細胞を攻撃し、食して分解してしまう働きをしているが、強力ながん細胞はこの免疫細胞の働きを抑えてその攻撃を封じる機構を備えている。ニボルマブはこの機構を破壊して、がん細胞を攻撃する免疫細胞の働きを復活させることのできる薬品だという。このような薬品開発の成果は、人体を機械として捉え、機械の動きを操るのと同様のやり方で生命の過程を操作しようとする考えに基づくものにほかならない。

われわれが昨今耳にするこれらの事象は、機械を作成したり操作しようとする《技術》の進歩を意味するものであり、必ずしも《科学》の進展に関わるものではない。これらは自然の法則や仕組み、機構等々を明らかにするものではないからである。ところが、見られてきたように、今日両者は緊密に融合して区別することが困難になっているため、一般の人々のあいだでは、《技術》の進歩を《科学》の進歩と取り違える傾向が強まっていると言える。振り返ってみると、《科学》と《技術》とが結びつこうとする動向は、かなり以前から存在した。啓蒙主義の時代のフランスにおいて、ニュートンの物理学とベーコンの技術主義とがセットになってイギリスから移入されたことを思い出されたい。《科学》と《技術》とが融合する萌芽がこのときに生じたと言うことができる。ニュートン物理学が自然を自動機械（“時計じかけの宇宙”）と見ようとするものであり、ベーコンの思想が機械技術を称揚してその発展を目指すものであったことを考えれば、両者が結びついたとき、自動機械たる自然を技術によって制御し、いずれ自然を完全に技術の支配下に置こうとするよう

な姿勢が生じたことは、自明のこととも言えよう。また同時に、今日これほどまでに発達した機械技術を利用した実験や観察によって、自動機械たる自然の仕組みや構造をいずれ完全に解明し尽くすことができるのではないかと考える、一種の幻想が生じてもおかしくないであろう。

このように、圧倒的な実用性や実質的効力を示す《科学技術》によって、自然を解明し尽くすと同時に人間の支配下に置くことができるかに思う考え方には、「科学主義」ないしは「科学信仰」のような呼称が与えられるのが適当であると思われる。程度の差こそあれ、ほとんどの現代人は《科学技術》の効力に信頼と期待を寄せており、人によっては《科学技術》を万能のものと見なしているとも考えられる。もちろん国家も今日、このような「科学主義」ないしは「科学信仰」に基づいて政策を立案し実行していることは、見られてきた通りである。

(2) 企業型・利潤追求型の科学研究の成立

19世紀に今日的な「科学」が成立する以前は、自然探究はかなり自由な知的好奇心を動機として行われていたと考えられる。探究者は誰かから指示を受けて探究活動をしたわけではないし、まして誰かから資金提供を受けることもなかったからである。だが19世紀に「科学の制度化」が生じ、「科学」が社会に必要なものと見なされ、職業として公認されて以降は、科学研究はその性質を大きく変えてゆくことになった。19世紀には、科学者たちは市民の目を気にしながら研究テーマを選び、研究活動を営んでいたと考えられる。先述したように、当時、大学をはじめとする高等教育機関には国家も関与するようになり、これらの教育機関は市民の納める税金によって運営されていたからである。科学者の関心が、純粋な知的好奇心を動機とする研究から、市民の生活に役立つ有用なもの・実質的なものを産み出す研究に移っていったことは、自然の成り行きだと言えよう。

その後、科学が産業技術と結びついてゆき、第1次世界大戦以後、科学研究が大きく国家の政策に取り込まれていったことは、先にも述べた通りである。これ以降、科学者たちは国家の顔色を見ながら研究活動を行うようになったと考えられる。第1次大戦後の科学研究は、何より戦争技術の開発を目的として営まれたのが実状であろう。軍事目的の研究活動に違和感を覚え、国家の方針に抵抗しようとした科学者もいたようであるが、国家から資金提供を受け、国家の意向に従わなければ職を解かれるような体制が成り立っていれば、国家の方針に従わないように科学研究を行うことは当然むずかしかつたであろう（プロイセンで大学教授の任用権を文部省が握ったことには、先にも触れた）。

大戦終結後も、国家が最大の資金提供者である体制が続いた以上、科学研究が国家の意向に沿うように営まれているのは当然のことだと言えよう。軍事目的に直接関わるような研究

が強いられることは少なくなったであろうが、国家が関わるからには、有用性や実利性に富んだ研究ほど奨励されるのは自明の理である。国家はやはり、「社会のために役に立つ」研究のほうを重視するからである。先にも触れた、ロボットや人工知能の開発、自動車の自動運転システムへのその応用、再生医療の発展といったことは、どれも日本の政府が現在プロジェクトとして推進していることにほかならない。いずれも莫大な資金が必要となる研究であり、国家の支援がなければ成り立ちにくいことは、容易に想像がつくであろう。

このような体制の確立は、科学研究の変質をさらに促すことになる。というのは、このような体制下では、手段と目的がいつの間にか逆転して、資金獲得を目的として科学研究が計画・実施されるようになるからである。技術開発と連携している今日の科学研究は、莫大な資金を必要とするため、とりあえずまず資金が獲得できないことには何ひとつ始まらない。そして資金を獲得するために、独創的な研究や、実用性の高い成果を生むような研究が目指されることになる。他の研究との競争に打ち勝って公募型の予算を獲得するためには、研究が非常に独創的であることや、非常に役に立つものであることをアピールしなければならない。そのため科学者たちは今日、どんなに小さくともよいから「世界初」か「世界で一番」の成果をあげることに異常なこだわりを見せるようになってきているという。日本では2010年の民主党政権下の「事業仕分け」の作業の中で、ある研究所が「世界でトップ」を目指すことをアピールしたのに対し、ある政治家が「世界で2番であってはいけないのか」と言って話題になったことがある。素人には馴染みの薄いことであるが、科学者にとっては「世界初」「世界で一番」が大変に重要であることが窺えた出来事であった。

こうした傾向は、国だけにとどまらず、民間の企業や財団が資金提供者となるとき、さらに強まることになる。民間企業が関わってくるとなると、科学研究はついに市場原理に巻き込まれることになって、利潤追求と結びつくことになる。民間からの資金提供を勝ち取るために、利益を生むような研究を重点化しなければならなくなるからである。日本では、こうした「産学協同」の動きに対して、1960年代、学生運動が盛んだった時期には、学生たちが大きな抵抗感を露わにしたという。純粋な知的活動であるべき科学研究が、企業の利潤追求に隷属するようになることを恐れた反応であった⁸⁷⁾。

ところが、時代とともに事態はときに驚くほど変化するもので、今日では、大学と企業とが連携することはもはや常識であるどころか、世間では望ましいこととして受けとめられている。また政府も、こうした連携が容易にできるように法整備を行った。このため今日、大学と企業と国家とが結びついた科学研究の体制が出来上がることになった。このような体制は「産官学連携」と呼ばれる。企業論理が当然のように大学に持ち込まれ、大学発のベン

87) 前掲、村上『科学の現在を問う』、31頁。

チャー企業の立ち上げも今日ごく普通に行われるようになってきている。こうした変化を、池内了は『『知の共同体』であった大学の『知の企業体』への変質』⁸⁸⁾と呼んでいる。

こうした企業論理を取り込むような変化があったため、「世界初」「世界で一番」という勲章は、今日、特許を取得することで示されることが多くなっているという。また今日、先端的な科学研究ほど分野が細分化して、特殊化・専門化が進んでおり、狭い領域内で小さな成果が得られただけで特許が申請され、「世界初」であることが誇示されようとしている。池内が次のように書いたのは、2011年に東日本大震災が発生してから数か月後のことであるが、3年後のSTAP細胞騒動で問題になることを予告しているようにも見え、興味深いものを感じさせる。

科学者の勲章であるはずの論文も変質するようになった。「世界初」を競うのは特許に回し、あるいは誰もが追試できないような簡単な論文でしか発表せず、本格的な論文は特許の後ということになろうとしている。業績リストには、発表論文とともに取得した特許を記載することも当たり前になった⁸⁹⁾。

STAP細胞騒動の折り、記者会見の場で、STAP細胞の作成には「レシピや独特のコツがある」と答えた筆頭研究者は、「それをすぐにも公開するべきではないか」という記者の質問に対しては、「特許を取得してからでないと公開できない」と答えている。池内の言うところに照らせば、最初のSTAP論文はむしろ、別の科学者が再現できないことを意図して書かれたことも考えられる。特許取得の後にSTAP細胞の具体的作成方法を発表することが、はじめから予定されていたのかもしれない（ただそこに至る以前に、写真の不正転用等が発覚したため、STAP細胞の成果は虚偽であることが強く疑われることになった）。この点でSTAP細胞騒動は、決して単に例外的で特異な事件ではなく、現在の科学研究のあり様を強く反映するものであったことが分かる。大きな騒動に発展しないだけで、似たような研究不正事件は実際のところ非常に多いようである⁹⁰⁾。

88) 池内了『科学と人間の不協和音』（角川 one テーマ21, 2012年）, 95頁。

89) 同上, 96頁。

90) 話が煩雑なることを恐れて、本稿ではあえて取り上げなかったが、STAP細胞騒動に非常によく似た事件が、その10年以上も前にアメリカで起こっている。ベル研究所に勤めていたシェーンというドイツ人物理学者が超伝導に関する画期的な研究成果を次々に発表したのが、すべて捏造だったという事件である。事の次第は次の書に詳しく書かれている。

村松 秀『論文捏造』（中公新書ラクレ, 2006年）。

事件が起こった理由としては、本稿に記したことと同様のことが、同書の第9章で述べられており、科学研究に関する不正事件がどれも同じような理由で生じるものであることが分かる。なお同書では、当時すでに、日本を含めて世界中で研究不正事件が非常に頻発していることが述べられており、何と理化学研究所でもすでに不正事件が起こっていたことが記されている。2014年のSTAP細胞騒動が決して珍しいものではなく、現在の科学研究のあり方に起因する、よくある性格のものであったことが分かる。この辺りの事情を熟知する人は、STAP細胞事件の報道に接して、珍しい事件に驚くよりも「またか」と舌打ちしたことであろう。

こうしてみると STAP 細胞騒動は、「知の企業体」の中で科学研究が営まれることから生じた、科学者の勇み足であったと見ることができよう。iPS 細胞よりもはるかに容易に作成できる万能細胞という「世界初」の成果をあげて特許を取得し、利潤追求に役立てるとともに、研究所＝企業体（理化学研究所）を「特定国立研究開発法人」にまで格上げさせて、さらに潤沢な資金と恵まれた研究環境を獲得しようとする意図が背景にあったことが推測されている。STAP 細胞騒動は、単に奇怪な事件として世間話のテーマになるだけのものではなく、今日の科学研究の体制からどのような問題が生じるかを示した点で、大変に重大な事件であった。忘れられてはならない事件であると言えよう。

またこの騒動は、今日の科学において分野がいかに細分化しているか、それぞれの分野がいかに特殊化し専門化しているかを示した点でも、今日の科学研究の現状を映し出すものであった。第一線で活躍している科学者たちが何人も共同研究者として名を連ねながら、自分以外の科学者が担当した部分について口をはさむことができない状況が知られることになった。この点でも STAP 細胞騒動は今日の科学研究の体制がはらんでいる問題を露わにしており、記憶に刻まれるべき事件であったと言えよう。

12 20世紀以降の自然探究としての科学

前の数章では主として、「科学の制度化」や「科学の体制化」、科学と技術との融合といったことについて見た。社会との関わりという観点から科学のあり方について検討した。それでは科学研究は、自然の法則や仕組み、機構等を解明しようとする本来の意図をものはや失っているのだろうか。決してそのようなことはなく、20世紀以降にも、技術とは特に関わりをもたない純粋な自然探究が新たな形で出現している。本章ではその次第を簡略にたどり、今日の自然科学に関して、これまで見られたのとは別の状況もあることを確かめることにしたい。ここでは、現代物理学の二大支柱とも目されている、相対性理論と量子力学の内容を瞥見することにしたい。どちらもニュートン以来の近代物理学のパラダイムに収まらない内容のものとして知られている。特に量子力学では、原因と結果が一意的に対応しないことが主張され、自然を自動機械と見なす見方が科学研究自身によって否定されるという、注目すべき帰結が生じている。

(1) 相対性理論

20世紀に登場した新たな科学理論について述べようとすれば、何とんでも、アインシュタインが提出した相対性理論に触れずにいることはできないであろう。本稿では専門的な話はできるだけ避け、それがニュートン物理学とは根本的に異なる見方を提示して、物理学の

革命をもたらしたこと、それゆえ鮮やかなパラダイム・シフトの事例となったことについて述べることにしたい。

アインシュタイン以前の物理学においては、ニュートンの「絶対空間」の概念を踏まえて、地球の絶対運動のあり様とその絶対速度を明らかにしようとする研究が繰り返されていた。太陽を基準にする場合には、地球の運動がどのようなものであるかは今日誰でも知っているし、その運動速度を調べることに原理的な困難は伴わない。だが、太陽も宇宙全体の中で運動して位置をたえず変えていると考えると、地球が宇宙全体の中ではどのような運動をしているか、またその運動速度はどのような大きさのものかといったことが、新たな問題として見出されるであろう。ニュートン物理学では、宇宙はどこまでも均質に延び広がる唯一の空間からなるとされていたため、こうした探究課題を立てることは正当なことだと考えられた。ただ、これは解明が非常に難しい問題である。

アインシュタイン以前の科学者たちは、この問題について考えるために、光の速度を手がかりにしようとした。当時、光は波動と考えられており、水が波打って打ち寄せたりきたり、空気が波打って音が伝わるのと同様の現象だと考えられていた。音が伝わるときに空気が波打つと同じように、光が走る場合にも、波打つ媒質があると考えられた。この媒質は「エーテル」と呼ばれていた。それは、水や空気と違って物質性を感じさせない媒質であるが、それが唯一の絶対空間たる宇宙全体を均等に満たしていると考えられていた。

アインシュタイン以前の科学者たちは、光が地球に届くとき、地球がどの方向に運動しているかに応じて光の速度は異なる値をとるはずだと考え、それらの比較を手がかりにして地球の絶対運動速度を明らかにしようとした。地球に届く光の方向が地球の運動方向と同じになる場合（図6の光A）には、光の速度は小さく観測されるはずであろう。逆に、光の方向が地球の運動方向と反対の場合（図6の光B）には、光の速度は大きいものとして観測されるはずである。自分と同じ方向に走っている自動車は遅く走っているように感じられ、自分と逆方向に走っている自動車の速度は大きく感じられるのと同じである。このように考えれば、地球の運動によって光の速度がどのように減殺されたり増幅されたりするかを調べるこ

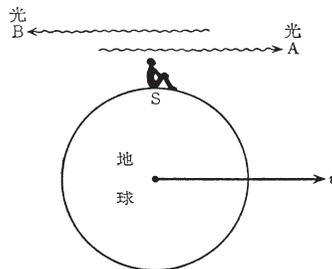


図 6

とによって、地球の絶対運動速度が突きとめられると思われるであろう（光の速度は当時すでに確かめられていた）。絶対空間たる宇宙全体を均等に満たしているエーテルが共通の基準となりえるため、それを媒質とする光の速度に突きあわせれば、宇宙全体の中で地球がどのような速度で運動しているかが確かめられるはずだと考えられたのである。

ところが、この種の実験がアインシュタイン以前の科学者たちによって様々に試みられたにもかかわらず、求めた成果が得られることはなかった。いつどの地点で測定しても、光の速度は等しいものとしてしか捉えられなかったからである。この実験としてよく知られているのは「マイケルソン＝モーレーの実験」である。この実験は、簡単に言えば、地上に届く光が東西方向に走ったときの速度と、光を鏡に反射させて南北方向に走らせたときの速度とを比較することによって、地球の絶対運動の速度を解明しようとしたものであった。ところが、当初の期待とはまったく違って、この両者の速度には違いがまったく見られないという結果が得られた。当然のことながら、この実験結果は科学者たちの大きな困惑の種となった。「絶対空間」や「エーテル」といった概念を前提とする限り、地球が宇宙の中心にあって静止していると考えなければ説明のつかないような事実をこの実験は示したからである。

アインシュタインは、「マイケルソン＝モーレーの実験」の結果を知る以前から、似たような実験が同様の結果を示していたことをすでに知っており、はやくから「エーテル」という概念に対して懐疑的な見方をもっていたようである。彼は「絶対空間」という概念も「エーテル」の存在も単純に放棄するべきことを主張し、物理学を構想する上で、これまでとは根本的に異なる見方をとるべきことを主張した。「特殊相対性理論」と呼ばれるこの見方は、二つの原理からなるとされる。

一つは「相対性の原理」と呼ばれるもので、その内容は「いかなる慣性系を基準にとろうとも、すべての物理法則はまったく同じである」というものである。「慣性系」とは、その中で慣性の法則が成り立つ場のことで、何か等速直線運動をしている物があれば、それに付随して慣性系が出現する。われわれが生活している地球上の空間はすでに一つの慣性系であり、飛行機や電車のような乗り物の内部も——乗り物が等速直線運動をしていると仮定される場合には——慣性系である。このように、慣性系はあらゆるところに複数存在しうる。アインシュタインが主張しようとしていることは、無数に存在しうる慣性系の中で、唯一基準となりえるような特権的な慣性系は存在しないということである。ニュートンのいう「絶対空間」は特権的な絶対的慣性系ということになるが、そのようなものは存在せず、共通の基準をもたない異種の慣性系が複数並存するということになる。そしてどの慣性系においても、同じ物理法則がそれぞれ独立に成り立っていることが主張される。

たとえば新幹線がある区間を等速度で走行している場合を考えてみよう。新幹線の速度はもちろん大変なもので、1秒間に平均して50～100メートルも移動するという。新幹線の中で

物が上から床に落下してしまった場合を考えよう。この運動を新幹線の外にいる人が観察すれば、同時に横方向にも移動しているのが見えるから、運動は斜め方向の落下として捉えられるはずである。だが、新幹線の外の慣性系（地上の慣性系）が、内部の慣性系に対して優位な地位を占めると考えることはできない。地上に立っている観察者も、地球外の慣性系から見れば移動していることになるからである。かくして、どの慣性系にも特権的な地位を認めることができない以上、新幹線の中で物が落下する運動は、その慣性系の中にいる人にとって成り立つ相対的な運動として見られる以外になく、垂直な落下運動だと言われるほかはない。このように「相対性の原理」とは、それぞれの慣性系を、それだけで完結した独立のものとして認めることを意味するものである。

ところが、マイケルソン＝モーレーの実験の結果を説明するには、この「相対性の原理」だけでは十分ではない。自転にせよ公転にせよ地球の回転運動の速度は大変なものであり、地上の観測者もそれにあわせて大変な速さで運動しているはずである。観測者がこれほど大きな運動をしているのに、それに影響を受けず、外からやってくるものがいつも同じ速度のものとして観測されるというのは、光にのみ認められる特別な性質である。

この点についてもアインシュタインは、この事実をそのまま法則として受け入れた。それは「光速不変の原理」と呼ばれる。「光が真空中を伝播する速さは光源の運動状態には無関係である」のように表現される。光の速さは、光源が静止しているか運動しているかに関係なく不変であることを言うものである（図7）。（なお、念のために言えば、光源ではなく観測者のほうが運動している場合でも、観測者のほうを止めて考えれば光源が移動していることになるから、同じことが成り立っていることになる。）

アインシュタインの相対性理論について述べようとすれば、さらに慣性系ごとに時間が異なるとされることなど、説明を要することがキリがないほど多い。ここでは、物理学において、ニュートンのパラダイムを破壊するような画期的な理論が提出されたことだけを述べておきたい。なお、この理論は自然の法則や仕組みを解明しようとしたもので、このような理

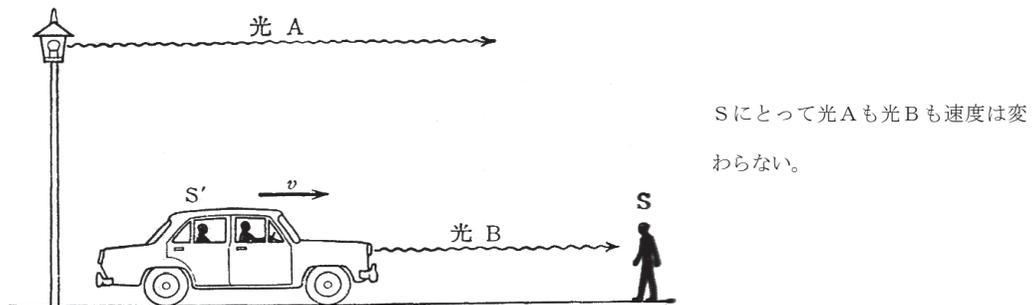


図7 光速不変の原理

論の出現は機械技術の発達とは関係のないものである。アインシュタインの成果は、原則的には紙と鉛筆さえあれば可能であったとよく言われる。産業技術との融合とは関係なく、また科学の企業化とはさらに無縁な仕方でも、もっぱら知的関心に基づいた科学研究が20世紀にも営まれていたことは、銘記されなければならないことであろう。

ただ、こうした科学研究の内容は難解なもので、素人の理解がなかなか至らないものもある。後にあらためて論じるが、こうした研究成果が示されることは、これまで見られたのとは別の意味で、科学に特別な地位を認める傾向を生じさせている。今日一般の素人は、科学を、普通の人の理解が届かない深淵な真理を明らかにするものとして、特別視していると思われる。これは、先にわれわれが挙げたのと異なるタイプの「科学主義」ないしは「科学信仰」だと見られてよいであろう。

(2) 量子力学

「量子力学」は、20世紀初頭に成立した自然科学の分野で、原子、電子、原子核などからなるミクロの世界の法則を解明しようとしたものである。当時、実験技術が大きく発達したために可能となった（このことは、実験装置や観察技術の発達をまっけてラヴォアジエの化学革命が生じたのと似たものを思わせる）。そして、相対性理論の場合と同様に、ミクロの世界に関して量子力学が明らかにしてみせたことも、われわれの日常の常識では理解できないような事柄で満ち満ちていた。ミクロの世界で成り立っている法則は、マクロの世界で理解されている物体の法則からは想像できないようなものであることが明らかにされていった。

物体を構成している最小の粒子は、長い間「原子 (atom)」だと考えられていた。“atom”の語源であるギリシャ語の“atomon”は、「(それ以上) 分割されえないもの」を意味する言葉であった。ところが量子力学によって、原子はさらに小さな粒子から構成されていることが明らかにされ、周知のように、中心に原子核があり、その周囲を電子が回っている構造が発見されていった。

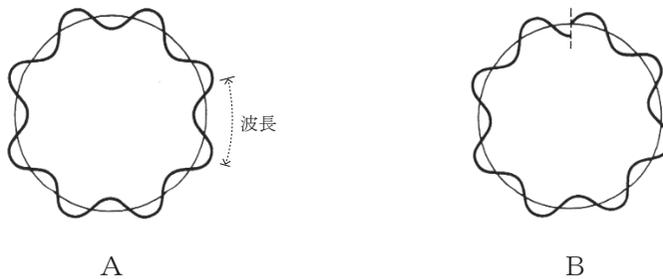
原子核の周囲を電子が回る仕組みを考えるだけでも、謎が多く、説明は難しかった。原子核はプラスの電気を帯び、電子はマイナスの電気を帯びているから、本来ならば両者は引き合って結合するはずである。だが、実際にはそうならず、電子は原子核から距離をとって周回し続ける。このことから、電子には、原子核が引き寄せるのに逆らって回り続けるエネルギーが備わっていることが分かる。このエネルギーが電磁波となって放出されるとき、エネルギーを減らした電子は原子核に近づくことになるのだが、このときのエネルギーの減り方が、マクロの世界で見られるのとはまったく違うものであることが判明する。すなわちエネルギーの減少が連続的なものではなく、とびとびの段階を踏むものであることが分かったのである。また、電子のもつエネルギーがすべて失われて原子核と結合することはなく、最低

限のエネルギーを保持して原子核を周回し続けることも明らかになった。

このあたりの事情をきちんと説明しようとするので紙幅をとりすぎるので、結論のみを見ることにしたい。上記のことは、電子を粒子であると同時に波動であると見なすことによって、説明がつけられていった。すなわち、電子は粒子ではあるが、同時に、図 8 のように定常波（範囲が固定された波動）の状態では原子核の周りに存在すると考えられたのである。図 8 のような定常波が破綻せずに成り立つためには、波の 1 周の長さが波長の整数倍になっていなければならない。そして、電子がエネルギーを減らして原子核に近づく場合、電子は小さい定常波に変化することになるが、この新たな定常波の長さも波長の整数倍になるはずである。このため、電子のもつエネルギー量は連続的な増減を示さず、とびとびに変化することになる。このように電子を波動としても考えることによって、電子のもつエネルギーやその運動に関するパズルが解かれていった。

それにしても、「粒でもあるが波でもある」というのは、われわれが馴染んでいるマクロな物体に即して理解することのできないもので、何とも矛盾を感じさせるものである。デンマークの物理学者 N・ボーア（コペンハーゲン大学）は、この矛盾をそのまま自然法則として受け入れ、それを「粒子性と波動性との相補性」と呼んだ。しかもそれは、電子を、観察されていないときは波の状態で存在し、観察される瞬間には粒子になるものと見なすものであった。素人にとっては何やら手品やオカルト話を連想させるような話で、「本当に科学の話なのか」と言いたくなるような説明である。だがボーアは、なぜこうした現象が起きるのか、こうした現象が起きるとき原子内で何が起きているのかを解明する途には進まず、実験と観察によって確かめられる事実をとりあえずそのまま受け入れ、原子内の現象を計算的に記述してゆく途を選んだ。このような実用的な解決は「コペンハーゲン解釈」と呼ばれる。

「コペンハーゲン解釈」に含まれるものとしては、また、「原子の世界では変化が確率的に



A
電子の波が定常波として存在するためには、波の一周の長さが波長の整数倍になっていなければならない。

B
Aが成り立っていないと、定常波が破綻してしまう。

図 8

起きる」という説がある。原子に外部から何らかの粒子（電子でもほかの粒子でもかまわない）をぶつけたとき、どのような現象が生じるか（ぶつかった粒子がどのようにはねかえるかとか、原子内の粒子が衝撃で外に飛び出るといったこと）は、一つには決まらないということである。「コペンハーゲン解釈」では、この場合に粒子がどこに移動するかは、確率的にしか言えず、したがって複数の事態が生じるとされるのである。

これもマクロの世界では考えられないことである。ビリヤードのように玉突きをする場合、——理想状態を仮想した場合の話であるが——玉の大きさや速さ、角度などの条件がすべて同一であれば、衝突を受けた玉がどの場所に移動するかは、いつでも一つに決定すると考えられるであろう。ところが、原子の内部というミクロの世界では、この常識が成り立たないことが量子力学によって主張された。条件がすべて同じであっても、粒子が移動する先は複数考えられ、どの場所に至るかは、場所ごとにそれぞれ確率が何パーセントという仕方ではか答えられないというのである。これもまた、理解するのが難しいことであるが、不可解に感じるのは素人だけではなかったようで、アインシュタインもこのような「確率解釈」にどうしても納得できず、ボーアと激しい論争を繰り広げた（「神はさいころを振らない」という有名な言葉をアインシュタインは残している）。

ただ、量子力学の分野で勝利を取めたのはアインシュタインではなく、ボーアの解釈のほうであった。コペンハーゲン解釈において得られた成果は、化学、生物学、電磁気学、原子力工学ほかの諸分野で、自然の基本法則を示すものとして活用され、実用的にも大きな役割を果たしている。関係する条件がすべて同じであっても、原因に対応する結果は一つに決まらないという見方が、科学者によって提示されたことには、非常に大きな意味があると言わねばならない。このような見方は、近代自然科学の根底に置かれている基本的な自然像に逆行するものにほかならないからである。宇宙を「時計じかけ」の自動機械として捉えようとしたニュートンは、『プリンキピア』の中で「同一原因・同一結果の規則」を提示しており、同じ原因からは同じ結果しか生じないことを自明視していた。「確率解釈」は、このような科学の常識が科学研究自身によって否定されたことを意味する。

ここでまたしても、科学研究についてまわる例の“揺らぎ”のことを思い出されたい。相対性理論などで言われる、慣性系が異なると時間の速さが変わるとか、空間が曲がることがあるといったような話は、素人にとってはとにかく訳がわからず、科学に固有の空想のように思えるもので、ともすれば、もっぱら説明のための理論（空論？）であるかにも見えるものであろう。だが実際には事情は逆で、こうしたことはむしろ実験や観察によって確証されたことであり、だからこそ正当な科学学説として認知されたことは、よく知っておかねばならない。相対性理論はそもそも、マイケルソンとモーレーが行ったような実験の結果を素直

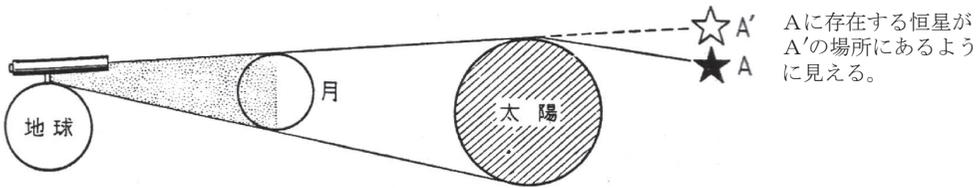


図 9

に受け容れることで形成されたことを思いさなければならぬ。また、光の速さが光源の移動に影響されないことも、後に連星からの光を利用して実験的に証明されている。さらに、本稿では論じる余裕がなかったが、一般相対性理論では、光線は重力の影響を受けて曲がるとする説が提示されており、この説は、1919年の皆既日食を利用した実験によって、イギリスの A・S・エディントンによって確かめられている。皆既日食のとき、月と太陽に隠れて見えないはずの恒星が見えることが、望遠鏡を用いた観測によって確認されたのである。恒星から来る光線が太陽の重力によって曲げられたために、本当の場所とは異なる場所にあるように見えたとしか考えられない現象である (図 9)。

また、量子力学についても同様のことが言える。先にも述べたように、量子力学の成果は実験技術が発達したために得られたものであり、また実験結果をそのまま受け容れることによって生まれたものであった。またその後、やはりミクロの粒子 (素粒子) ——陽子、中性子、電子、中間子、クォークといった、原子よりも微小な粒子——の動きや法則について研究する「素粒子物理学」という研究部門が生れたが、これはまさに大がかりな実験を抜きにしては成り立たないものである。素粒子物理学では、素粒子を光速で飛ばして実験を行わなければならないため、巨大な加速器が必要になるからである。

このように、20世紀以降に生まれた自然科学は、たしかにそれまでの科学の常識を覆すような斬新さを備えていたが、実験や観察による検証を欠くものではなかった。科学研究が実験や観察を営むことによって成り立っているという点は、むしろ素人の常識的な見方が当たっており、科学革命論 (パラダイム論) 等と言われることのほうに、誤解を招きかねないものがあると言える。非常に奇矯で日常的な感覚では理解できない理論が提示されるとき、われわれは、今日の科学理論はもっぱら発想の転換によって生み出されるかのように思い込みかねない。だがそれは見かけだけのことで、科学研究の成果が今日でもやはり実験や観察による裏づけを必要とすることは、あらためて確認されねばならない。

13 科学技術をめぐる今日の状況と問題

科学理論が時代とともに難解になり、素人の理解が届かないもの、ときに奇怪な印象を与え

るものになるということについて、もう少し考えてみたい。「素粒子物理学」の分野では、日本人研究者がこれまで何人かノーベル賞を受賞しており、研究の内容も報道で紹介されてきた。だが、それを少しでも理解できた人はどれくらいいたであろうか。ごく一握りの同業者と近い分野の研究者だけだったというのが実際のところではないだろうか。そして、この傾向は時代とともに強まりこそすれ、弱まることはないであろう。時代とともに分野は細分化し、狭い領域の中で特殊性や専門性はこれからも高まる一方だと考えられるからである。少しでも分野が異なると、プロの科学者でも成果や業績の成否を判定することができないという傾向は時代とともに強まっており、だからこそ STAP 細胞騒動のような事件も実際に起ったのである。

科学研究の営みがわれわれ素人にとってますます縁遠いものになるどころか、科学者の理解をも逃れてゆくかに見える状況は、どのような帰結を生み出すであろうか。科学は何やら訳がわからず、しかもときに信用されないものに見られ、誰からも期待されなくなるであろうか。

逆であろう。数少ない本当の専門家しか理解できない科学は、多くの人にとって、むしろ深遠な真理を蔵した高尚なものに思えるのではないか。そして科学である以上、それによって解明される真理は正確で精密なものだと考えるのが、普通の受けとめ方であろう。STAP 細胞騒動のような事件はたしかに起こったが、この事件は、むしろ人々が普段は科学を信頼しているからこそ大きな衝撃となったとみることもできる。今日、科学は秘教に似たものに見られ、一種の崇拜や信仰の対象となっている向きすらあると言える。われわれは先に、これとは別の事柄を指して「科学主義」「科学信仰」という言葉を用いたが、これとは別に、科学を素人の手の届かない高尚なものとして崇敬する姿勢に対しても、同じ言葉を適用することができると思われる。ここで整理をつけ、二つの「科学主義・科学信仰」を区別してその内容を要約しておくことにしたい。

科学主義・科学信仰 A：産業技術の基礎として、それと分かちがたく結びつき、圧倒的な有用性と実質的効力を発揮するものとして、自然科学の価値を特別視する見方。

科学主義・科学信仰 B：素人の理解が届かず、数少ない専門家にしか分からない斬新な科学理論に対する崇敬の念。

今日この両者が結合した状況が生じており、なおかつ、それぞれに対する人々の向き合い方も、肯定と否定とをともに含み込んで複雑になっている。A と B どちらに関しても、それに与する姿勢の人もいれば、疑問視する人もいると思われる。というより、同じ人でもそのつど立場を変えているのが実際のところであろう。このように入り組んだ現実があるために、科学技術をめぐる状況は現在大変に複雑なものになっていると見なければならぬ。ともあれ、この

二つの「科学主義・科学信仰」を検討することを通して、科学技術をめぐる今日に固有の状況を見定め、それに対してどのような姿勢をとるべきかについて、次に考えることにしよう。

以下に続く議論の都合上、上の二つのうち、後者（「科学主義・科学信仰 B」）にももう少し検討を加えておくことにしたい。先ほども述べたように、素人にはもちろん、いまやプロの科学者にも科学の斬新な成果を理解することが難しくなっている状況は、むしろ科学の権威を高める効果をもつ。

ただ他方で、むしろそれゆえにこそ近年、プロの科学者をも欺くような研究不正が頻出していると見ることができる。今日、新しい科学の成果や斬新な理論が正当な裏づけを得たものか否か、容易に判定がつかず、不正なやり方で成果を捏造したものであったり、単なる妄念の遊戯に墮してしまうようなことも起こりやすくなっている。

近年こうしたことが起こりやすくなっている理由は、先にも述べたように、やはり科学研究が今日、企業的なもの、利潤追求的なものになっているところに求められる。国や企業から資金提供を受けなければ、そもそも研究を始めることができない現状においては、これまでになかった独創的な成果や、先々高い実用性が見込まれるような成果を挙げることができることをアピールする必要がある。またさらには、そうした成果からなる実績を積み重ねることが必要となる。そうしなければ、資金提供を受け続けることが難しくなるからである。そのためいつ頃からか、どんなに小さなことでもよいか独創的な成果を挙げて特許を取得しようとするのが、科学の世界では常識になっている。特許を取得することによって、特許料を得て利潤を上げることができるだけでなく、「世界初」の成果であることを示すこともできるからである。また特許取得の事情が絡むことを理由にして、研究の具体的な過程や手法を部分的に秘匿することも容認されることになる。

またこのことに加えて、今日科学者たちが研究機関で活動ができるのは、原則として期間が限られているという事情もある。限られた期間の間に明らかな成果をあげないと任期は延長されず、失職しなければならないというのは、当然のことながら、当事者にとって大変に切実な問題である。「早く成果をあげなければ」という動機が働き、つい不正な行為に走ってしまうのも道理であろう。これらの事情が土壌となって、科学をめぐるスキャンダルが近年頻出するようになってきていると考えられる。

ただ、このような傾向が決して古くからあったものではないことにも注意しなければならない。20世紀前半に示された相対性理論と量子力学の成果は、先にも述べたように、実験や観察の結果をそのまま受け容れようとするものであった。科学研究の成果は、いかに奇矯に見え、素人の理解が至りにくいようなものであろうとも、やはり実験や観察によって検証されたものだったのである。科学研究をめぐる今日の難しい状況にあって、実験や観察が軽視されたり、データが改竄・捏造されたりといったスキャンダルが頻出しているが、こうした

ことが問題になるということは、裏返して言えば、科学研究においては今でも実験や観察が非常に重視されていることを意味している。実験や観察によって確かめられていなければ、やはり科学の成果とは言えないのである。この、素人からすればまったく自明のことが、今日あらためて確認されねばならなくなっている。

さて、以上のことを踏まえた上で、「科学主義・科学信仰 A」についても検討してみよう。見られてきたように、自然を自動機械と見なそうとするニュートン物理学とベーコン的な技術主義とが結びつき、産業革命を経た後、世界大戦で圧倒的な威力を発揮することを通して、今日的な《科学技術》が揺るぎようのないものとして確立した。今日のような《科学技術の時代》においては、自動機械たる自然を技術によって制御し、科学が自然を完全に支配下に置くことを期待するような見方が生じても、何ら不思議ではない。また同時に、機械技術を駆使した実験や観察によって、自然の仕組みや構造をいずれ完全に解明し尽くすことができるのではないかと考えるような期待も生じよう。科学技術の進歩によって、人間の生活や活動はどこまでも便利で豊かとなり、また自然に関する真理も着実に解明されてゆくと考えるのが、「科学主義・科学信仰 A」である。

だが現代人は、一方でこのような期待を抱きながらも、同時に科学技術の暴走に対する警戒心も持っているのが普通であろう。身近なところでは、交通事故の危険や化学物質の毒性に対する恐れを挙げることができよう。またそもそも、自然を自動機械と見なすことができると本気で考える人は、当然といえば当然であるが、非常に稀であろう。そして20世紀になって、このことがほかならぬ科学によって明らかにされたことを思い出さなければならない。ミクロの世界において、原因と結果との間に一意的な対応関係が成り立たないことを量子力学が明らかにした件である。物体を構成する最も基礎的な部分について、しかも最も単純な運動に関してすら確率的なことしか言えず、はっきりした予測は立てられないことが明らかになった。このことによって、自然を機械と同様のものとして捉えようとする見方はもはや維持不可能であることがはっきりしたと言えよう。自然が本当に自動機械であれば、機械技術を発達させることによって自然をコントロールすることも可能であろうが、自然の中で機械に等しいと思われる部分は、実は非常に少ない。精密機械のような正確な動きを見せるのは、太陽系の惑星の運動くらいであろう（だからこそ、ニュートンがこれを説明し尽くすことができたとき、自然を機械と見なす近代科学の見方が確立した）。

気象現象は機械的には捉えられないため、気象予測は長期のものになるほど外れることが多い。地殻の構造や動きが機械状のものであれば、地震の予知や予測も可能になるであろうが、すでに久しく研究が続けられてきたにもかかわらず、ほとんど進歩が見られない。近年、激甚な地震が日本でこれだけ頻発していることを思えば、地震予知の方法を確立することは非常に切実な課題であるが、それにもかかわらず研究は一向に成果をあげていない。地震に

関しては、いつも実際に発生した後にもっともらしい解説が専門家によって与えられる。このように説明がつけられるのであれば、なぜ予知ができないのかと訝るのは私だけではあるまい。むしろ身近な現象や切実な問題をめぐって、自然を機械として捉えようとすることに無理があることが判明している。

それにもかかわらず、われわれが時に、ともすれば自然を機械として見る姿勢をとりそうになるのは、われわれが機械技術の進歩と科学理論の発達とをいつのまにか混同してしまい、技術の進歩に伴って自然の解明も着実に進むと考えてしまうことが、原因としては大きいと思われる。われわれは、これが誤った思い込みであることを自覚し、こうした誤解をただしながら、科学技術をめぐる様々な問題に向き合っただけでゆかねばならないであろう。とりわけ、ミクロの世界における粒子の運動について予測が立てられないという事実は、今日きわめて重大な意味をもっている。というのは、このことは、日本が現在抱えている最も切実な懸案に密接に関わっているからである。それは原子力発電所の問題にほかならない。福島第一原発事故以来、日本では、広く拡散した放射性物質が重篤な健康被害を生じさせることが強く懸念されている。放射線とは、ウランのような物質の原子から素粒子が飛び出す現象であるが、これがどのような影響を生じさせるかについては、確率的にしか予測されえない事象が幾重にも重なるため、確定的なことはほとんど何も言えない。

ましてそれが生命体にどのような影響を及ぼすかという問題については、なおさら確かなことは言えないことになろう。物体についてすら機械論的な見方が成り立たないことが明らかになった以上、生命体を機械として捉えようとするのは、まして不可能だと考えられるからである。放射線が細胞核内の DNA を切断してがんを発症させる働きをもつことは、もちろん分かっているが、切断された DNA が修復されることがあることも知られている。また、がん以外にも、放射線が発症させる病気は多数あるとも言われている。素粒子の動きも生命の働きも機械的なものではないことが分かっている以上、こうした問題については、理論レベルの話をしていても決着がつかない。そのため、広島と長崎で被爆した人のその後の健康状態や、チェルノブイリ事故がどのような影響を残したかに関する疫学的な調査が行われてきた。だが、別の機会に詳述したが⁹¹⁾、こうした調査を正しく行うことは現実には非常に難しく、放射線がもたらす健康被害の問題に関しては、いまだに明確なことはほとんど言えないのが現実である。国際機関が調査結果や放射線の基準値などを提示しているが、示されている判断は楽観的すぎるという意見も根強い。それにもかかわらず科学者によっては、こうした国際機関の判断に基づいて、放射線の問題に関して非常に楽観的な予測を示して憚らない⁹²⁾。

91) 拙稿「原発をやはり廃止しなければならない理由——フクシマ以後の日本の原発論議を検討して——」、『人間環境学研究』第15巻（広島修道大学人間環境学会、2017年）所収、第3章。

92) 中川恵一『放射線医が語る 被ばくと発がんの真実』（ベスト新書、2012年）。

同様のことは、化学物質の問題に関しても指摘されうる。現代の化学工学の技術によって、天然には存在しない化学物質を石油などから人工的に造り出すことが可能になっている。農薬や殺虫剤、除草剤、接着剤、洗剤などに使われるこうした化学物質は、思わぬ毒性を発揮することがある。その上、天然には存在しない物質であるため分解しにくく、残留性が強いいため、長期間にわたって毒性を発揮することが多い。農薬や殺虫剤が人間にとっても危険であることは、今ではもちろん常識であるが、この問題はさほど古いものではなく、R・カーソンがはじめて指摘したのは1964年のことであった⁹³⁾。その後1990年代には、T・コルボーンらの科学者が、人体内でホルモンに似た働きをする物質があり、本来のホルモン分泌の働きを攪乱してしまうことを突きとめ、これらの物質に「内分泌攪乱化学物質」という名称を与えた（日本では、実質を短い言葉で伝えようという意図から、「環境ホルモン」という名称がメディアによって選ばれ、使用されるようになった⁹⁴⁾）。

「環境ホルモン」は、特に性ホルモンの分泌を攪乱するため、生殖機能に影響を与えて子どもを出来にくくするほか、様々な病気の原因になりえる。そのため、90年代には危険視する声が非常に高まった。その後話題になることは少なくなったが、人工の化学物質の脅威が無くなったわけではない。今日でも例えば、汚れを強力に分解する人工の物質（界面活性剤）が、非常に様々な洗剤の中に混入されて、広く使用されている。成分表示を見ると明らかのように、なんと歯磨き粉の中にも含まれている。知らないうちに危険な化学物質を口に入れる人は非常に多いと考えられ、かなり恐ろしいことが現実に行われていると言える。また農薬や殺虫剤、除草剤等がいまでも広く使用されていることは言うまでもない。

こうした物質についても、人体に害があるか否かは、理論レヴェルの話をしても解明しようがない。素粒子においてすら単純な運動の経過が決定されえないのであれば、人工の化学物質に関してはなおさら明確な因果関係を想定することは不可能であろう。がんをはじめとする病気を発症させる等の影響を、人工の化学物質が与えていないか、確かめるのは現実にはかなり難しいであろう⁹⁵⁾。有機水銀が水俣病の原因であることが突きとめられるのにも、何年もの時間が費やされている。また、人工の化学物質はこれまですでに8万種類以上あり、

93) レイチェル・カーソン（青木築一訳）『沈黙の春』（新潮文庫、1964年）。

94) シーア・コルボーンほか（長尾力訳）『奪われし未来』（翔泳社、1997年）。

95) 環境ホルモンがどれほど危険であるかに関しては、調査が行なわれるたびに調査結果が異なっており、はっきりしたことはいまだに分かっていない。日本では1998年に「カップ麺の容器や学校の給食器から環境ホルモンが溶出している疑いがある」という説が流れて、調査が行われている。カップ麺のメーカーの研究所は、当然のように「まったく溶出していない」という結論を出し、新聞に意見広告を掲載して、カップ麺が安全であることを宣言している（1998年5月15日）。また横浜市の教育委員会も同様の調査をして、「学校給食器に安全性の問題はない」という結論を出している（1998年9月）。ところが、それから10年以上もたってから、アメリカの食品医薬品局（FDA）は、「わずかながら懸念がある」という調査結果を示し、容器に熱湯を注がないことや、傷がついた容器は使わないように警告している（朝日新聞、2010年1月19日付の記事）。

さらに毎年2500種類ほどの物質が新たに造られているという⁹⁶⁾。これらの物質のすべてに関して、それらがどのような影響を及ぼすかを確かめることなどできるわけがないであろう。放射線の場合と同様、人工の化学物質についても、健康被害を生じさせないか否かを科学の力で見通すことは現実にはできない。現在東京の豊洲市場に関して話題とされている問題等を考えるとき、念頭に置いてよいことだと思われる。

放射線の場合と同様、こうした物質の危険に関しても、非常に楽観的な見方をとる科学者は思いのほか多い。天然の植物にも環境ホルモンと同様の有毒な物質は含まれており、すでに天然において毒物はたくさん存在していると科学者が主張するのを聞いたことがある。人工の化学物質についてばかり毒性を心配するのは意味がないというわけである。だが、こうした主張は科学の真実を逸したものだと言わなければならない。天然の毒物と違って、人工の化学物質はたえず新たに造られて何万種類も存在しているため、それが与える作用や影響としてはたえず未知のものが残り続ける。このように判断を下すことのできない問題について、科学者によっては非常に楽観的な見解や見通しをはっきり述べるのは何故であろうか。

この問題について考えるためには、先に見たように、今日「産官学連携」の体制が確立し、科学研究が企業の利潤追求と結びついていることを思い出す必要がある。科学研究に必要な資金を、国だけではなく民間の企業や財団も提供していることは、特に大きな問題だと見なされねばならない。民間の企業から資金提供を受けるとなると、科学者の姿勢も企業の経営論理と無関係でいられなくなるのは当然である。様々な化学物質を製造している企業にとって不利になることを科学者が言わないのは、不思議なことではない。だが、このように企業と結びついた科学者の見解を信用することができないことは言うまでもない。

科学者が不確かな見解を時に大胆に提示することは、STAP細胞騒動の場合と同様に、科学者が商業化の傾向に毒されて勇み足をおかす現象だと考えられる。大学が「知の企業体」へと変質した今日、科学研究も企業活動に似た性格を帯びているため、資金提供者である国や企業の利害を顧慮して、確かめられていない成果や見解を堂々と披瀝してしまう傾向は、実際のところかなりあると推測される。STAP細胞騒動において典型的に示されたように、今日、科学者が提示する成果や調査結果には、そのまま信用することのできないものがかなりあると考えねばならない。

さて、科学技術をめぐってこのような現状があることを知るとき、科学の素人であるわれわれはそれに対してどのように向き合うべきかを、次に考えることにしたい。たしかに今日、われわれ素人が科学者に対して疑義を突きつけるのは、現実のところかなり難しくなっている。今日、素人どころか科学者でも、研究分野が少しでも違えば理解を至らせることがで

96) 読売新聞科学部『環境ホルモン・何がどこまでわかったか』（講談社現代新書、1998年）、177頁。

きないからである。

だが考えてみれば、だからこそ今日われわれ素人が科学技術のあり様に口をはさみ、ときに強い抗議や警戒を表明することはできるし、またしなければならない。今日、科学者でも最先端の科学の内実を理解できないということは、科学者もわれわれ素人に近い存在になっていることを意味しているのであるから、われわれが科学者に対して「本当に分かっているのか」、「断言できるのか」と問いただすこともできるはずなのである。また科学者であればこそ、科学技術に限界があることを知っているはずだということを、われわれはたえず思い出さなければならない。物質の最も基礎的な部分について確固とした因果関係が成り立たないこと、それゆえ、自然の過程や機構の中で機械的な部分はほとんどなく、機械技術と結びついた科学が効力を及ぼしうる範囲は非常に限られていると考えることが、正しい科学的認識にほかならないはずである。このことを踏まえて、われわれ素人は科学技術に対してたえず警戒心を解かず、時に抗議の姿勢を表さなければならない。このことを怠るとき、企業論理に浸った科学者がわれわれの無知に乗じて暴走したり、危険を過少視して楽観論を大胆に公言するようなことも生じやすくなる。

例えば福島原発事故に関しては、2011年12月に国が「冷温停止状態」を宣言し、福島原発がすでに安全であることを公言している。だが2013年の夏には、海への汚染水漏れが事故以来とぎれることなく続いていることが公表され、状況は逆にどうしようもなく絶望的であることが判明した。国の判断と宣言が拙速で楽観的すぎるものであったことが明らかになった。現在の日本における最も切実な問題に関して、国が公言する認識や判断がこれほどまでに誤ったものになるのが現実である。われわれは、素人だから何も言えないと考えるのではなく、今日の科学技術の問題に関して、国や専門家ですら正しい判断を下すのが難しいという現実を知り、たえず警戒や抗議の姿勢を保つように心掛けねばならないはずである。

結 び

本稿のわれわれの課題は、科学技術のこれまでの歴史をたどった上で、科学技術の今日に固有の性格を見定めようとするものであった。その結果、次のような諸点が明らかになったと思われる（すべてを網羅的に示すことはできないため、重要なものから挙げることにしたい）。

(1) 自然探究や科学研究はたしかにパラダイムのような既存の思考姿勢に先導されるものであるが、実験や観察による検証から離れることはない。とりわけ第2次科学革命によって科学が制度化されて以降、科学研究はまさに実験や観察を大々的に遂行するものとなった。そしてこのことは今も変わらない。現代科学の概念や理論がときに空虚な妄念の遊戯に見える

こともあるが、これらを実験や観察から離れたものとするならば、それは誤解である。それらはむしろ、実験や観察の結果をそのまま受け容れることによって成立したものである。また近年、実験や観察を軽視したり、その結果を歪曲したり捏造したりするような研究不正事件が頻出しているが、こうしたことが問題になるということは、むしろ現在の科学研究においても実験や観察が決定的なものとして重視されていることを示している。

(2) 17世紀に近代科学が誕生して以来、人類が自然を自動機械に似たものとして捉えるような傾向が生じた。そして、産業技術の劇的な進歩と結びつくことを通じて、この自然像はさらに強化されていった。技術が発揮した圧倒的な実用性と結びついて以降、科学は人類の生活を便利で豊かにするものとして、大きな期待を集めていった。科学技術に対する人々の期待はいまでもかなり大きいものがある。

(3) 自然を自動機械に似たものに見なすような見方、それゆえ自然科学が自然を解明し制御することができるように考えるような見方は、いまでもある程度存続していると考えられる。だが、自然を機械と見なす見方に無理があることは、20世紀以降むしろ科学研究自身によって明らかにされている。したがって、いまでも基本的にこうした見方に依拠している科学技術に対しては、単純に期待をかけることはできず、それがもたらす危険や害悪に対して警戒感をもたなければならない。

(4) 世界大戦以降、科学技術は国家と強く連携するようになり、さらに今日では企業の利潤追求とも結びついている。科学は20世紀後半以降大きく変質して、知的関心を動機とするような本来の姿を失いかけている。利潤が絡むとき、放射性物質や化学物質の問題に関して見られたように、本来は判断がつかないはずのことについて科学者が大胆な予測を提示することがある。それはときに非常に楽観的で問題を小さく見させるものであるが、われわれは、このような予測を示そうとする姿勢自体がそもそも科学的でないことを知り、それらに対して抗議する姿勢をもたなければならない。

さらなる課題として、われわれは、こうした警戒や抗議の姿勢をいかにして実効性のあるものにしてゆくかを考えなければならない。一般の素人が科学の専門的な内容にコミットしてゆくのは、実際のところかなり難しいことも事実であろう。本来ならば、どうすればこのことが可能になるかについても論じなければならないところであるが、この問題に取り組むためには、あらためて別途の論究を行う必要があるだろう。次の機会を待ちたいと思う。

Summary

Der gegenwärtige charakteristische Zustand und die Problematik von Wissenschaft und Technik: Betrachtungen aus Sicht der Wissenschaftsgeschichte.

Kazuo Miyasaka

In diesem Aufsatz handelt es sich darum, daß der gegenwärtige Zustand der Naturwissenschaften sehr kompliziert und schwierig zu verstehen ist. In den letzten Jahren wurden in vielen Gebieten der Naturwissenschaft immer mehr gefälschte Untersuchungsergebnisse veröffentlicht (z.B. die Affäre der STAP-Zelle in Japan). Heute wird anscheinend in der Naturwissenschaft Erkenntnisgewinnung durch Experimente und Beobachtung nicht mehr für sehr wichtig gehalten.

In diesem Aufsatz wird versucht, zu beweisen, daß in der Geschichte der Naturwissenschaft ohne Ausnahme alle Ergebnisse durch Experimente und Beobachtungen verifiziert wurden.

Im Hintergrund des gegenwärtigen Zustandes ist die Tatsache, daß die Naturwissenschaften in letzter Zeit in immer mehr, immer kleinere, speziellere Bereiche unterteilt wurden. Heute kann ein Naturwissenschaftler sehr schwierig über Ergebnisse von Untersuchungen aus Bereichen urteilen, auf die er sich nicht spezialisiert hat.

Außerdem gibt es heute die Situation, daß Naturwissenschaftler sich mit dem Erbringen von Resultaten beeilen müssen, um Geldmittel für die Forschung zu bekommen.

Diese Situation ist unter anderem dadurch entstanden, daß die Naturwissenschaft immer stärker mit der Industrie verknüpft wurde. Diese Verbindung ist auch ein charakteristisches Phänomen der Gegenwart.