

理科教育における科学史の活用

北海道大学大学院理学研究科教授・杉山滋郎

<http://hps.sci.hokudai.ac.jp/history.html>

1. 「理科基礎」は科学史を教える科目？

ご承知のように、2003年度から理科の新しい科目群の一つとして「理科基礎」がスタートする。

ところがこの「理科基礎」に対しては、「理科の代わりに科学史を教える科目である」といったような“解釈”が少なくないように思われる。

こうした“解釈”に、まったく根拠がないわけではない。というのも、教育課程審議会が新しい指導要領についての「素案」を出した1997年の秋ごろ、新聞に「高校で数学史・科学史 生活に役立つ内容で科目を新設」といった見出しの記事が出たりしたからである。

とはいえ、その後に確定した「学習指導要領」では、理科基礎もあくまで理科の一科目であり、科学史的な内容は理科を教えるために利用するにすぎない、という姿勢が明確に打ち出されている。

したがって、今となっては、理科基礎が「理科の代わりに科学史を教える科目である」というのは誤解だと言うべきである。

もちろん、このたび数研出版の『理科基礎』の執筆に携わったメンバーも、当初から、「理科の内容は決して疎かにしない」「科学史はあくまでも理科の理解を助けるために利用する」という姿勢で教科書の構成を考え、執筆にあたってきた。

私は、教科書の構成を考え執筆を進めていたのとはほぼ同じ時期、文部省科学研究費の助成を受け、「科学史資料集ならびに科学史を利用した授業案集の開発に関する研究」というテーマで調査・研究を行ってきた。

科学史を理科教育に使うとどんなメリットがあるのか、具体的にどのように使えばよいのか、について検討することが目的の一つであった。

以下では、そうした調査・研究の成果の一端を述べよう。

2. エピソードの利用

「科学史の利用」と聞いて誰もがまず思うのは、教室で科学史上のエピソードを語ることであろう。

人物や学習内容への興味・関心を高めることが期待され、これまでも、折に触れ実践されてきたに違いない。

しかし、「意識的に」使えば効果がさらに高まり、「新しい効用」さえも生ずるだろう。

エピソードのそうした使い方の一例を挙げよう。まず生徒に、こう話す。「ドナルド・アーサー・グレイザーという物理学者は、1960年にノーベル物理学賞を受賞しました。泡箱という、液体中にできる泡を使って荷電粒子の飛跡を観測する装置を考案したことで賞をもらったのです。ところがそのグレイザーは、受賞の知らせを受けるとすぐに、友人にこう言いました。“たった今、僕がノーベル賞の受賞者になったという知らせがあった。もう僕は自由な人間だ、物理をやめられる。”そして、ストックホルムでの受賞式を終えるや、さっさと物理学者をやめ、分子生物学者になってしまいました。」

そして生徒に尋ねる。「グレイザーは、なぜ物理学の研究をやめてしまったのだと思いますか？」と。

「生物学のほうが将来性があると思ったから」など、いろいろな答えが返ってくるだろう。が、正解は、「大きなチームを組んで実験するという、物理学の最近の研究スタイルが好きでなかったから」というものである。

この正解は、大部分の生徒にとって意外なものであるに違いない。多くの生徒は科学の実験を、「科学者個人が“自然”に向き合い、自分の仮説が正しいかどうか“自然”に問いかける営み」というように、きわめて個人的な(孤独な)営みとしてイメージしているだろうからである。

しかし、もし上のエピソードを通して「意外な感じ」を生徒の心の中に引き起こすことができれば、それをきっかけに、「実験」について豊かなイメージをもってもらえることが期待できる。実験とは、実験

装置を設計したり組み立てる人、実験装置を動かして実際にデータを集める人、得られたデータを解析するためのコンピュータ・プログラムを開発する人、データを理論的に解析する人など、様々な人がかわる、「科学者たちの集団的な営み」なのだというイメージである。

もちろん、これら種々の作業が、一人ないしごく少数の人だけで行なわれるような科学分野も少なくない。でもそのことは、「科学」と一言で言われるもののなかにも、実はいろいろなタイプのものがあるということである。もし生徒がそこにも気づいてくれば、それは科学の多様性を理解してくれたことであり、科学についての豊かなイメージが形成されたことになる。

実験あるいは科学についてのこうした豊かなイメージは、理科系を目指す生徒たちの進路選択のためにも、また理科系を目指すのではない生徒たちが、将来、一市民として科学技術とつきあっていくときにも、有益であるに違いない。

このように、科学史上のエピソードは、単に科学知識を教えるということを超えたところで、科学とはどんなものか、科学の研究は実際のところどんな風に行われているのか、ということへの理解を深め、ひいては科学への親しみを強めることに繋がるのである。

3. 歴史的な絵や写真の利用

科学史の話題として、エピソードのほかに、歴史上の絵や写真なども効果的に使うことができる。たとえば次図である。

これは17世紀中頃のもので、当時よく知られていた3つの宇宙体系が描かれている。右下に小さく描かれたアリストテレスの宇宙体系(天動説)、中央左のコペルニクスの宇宙体系(地動説=太陽中心説)、そして中央右側のティコ・ブラーエの宇宙体系(天動説と地動説を折衷した説)である。

この絵が描かれたころには、少し前に「ガリレオの宗教裁判」があったとはいえ、コペルニクスが地動説を提唱してからすでに1世紀が経過し、「科学」の世界では天動説はもう完全に信用を失っていた。

だから絵のなかでも、アリストテレスの宇宙体系は地べたにうち捨てられている。

では、コペルニクスの地動説がアリストテレスの

天動説に取って替わったかということ、そうではなかった。

絵のなかで天秤を使ってコペルニクス説と重さを比べられているティコ・ブラーエの宇宙体系のほう有力だったのである(図では、ティコ・ブラーエの宇宙体系のほう「重い」(=重要である)という形で、このことが表現されている)。

では、なぜティコ・ブラーエ説のほうが正しいと考えられていたのだろうか？ それは、ガリレオの地動説を決定的に裏づける証拠がなく、むしろティコの説のほう証拠によく適合したからである。

このように話を進めていくと、生徒は、「では、今日、地動説の正しさを裏づけている証拠とは何なのだろう」と思い始めるであろう。地動説をきちんと理解することにつながる、貴重な問いである。

教える側としては、この種の本質的な疑問を生徒に抱かせてから授業を展開することが、効果的な授業展開に有効である。絵や写真など歴史的な素材は、そのための手段として活用できるのである。



4. 歴史上の実験の利用

あることがらを発見するのに大きな役割を果たした実験や観察、あることがらの正しさを証明する上で重要な役割を果たした実験、科学史上のそういった実験を再現するというのも効果的である。昔の実験は概してシンプルな素材・装置を用いており、直

接目で確認できるような形で行っている。そのため、デジタル計器など「ハイテク」に頼る実験とは違った味わいを持ち、ブラックボックスになる部分も少なく、高い教育的効果が期待できる。

かつての実験をできるだけ忠実に再現する必要は必ずしもない。実際、たとえば電気に関する昔の実験には水銀を用いたものが多く、安全面からいっても、そのまま再現することは適切でない。むしろ、現代は、かつて存在しなかった多種多様な素材が身近に入手できるのだから、昔の実験の「エッセンス」をうまく再現する手だてを考えるほうがいい。

「再現する」とはいても、必ずしも実際の「モノ」で再現しなくて済む場合もある。ベンジャミン・フランクリンの行った実験を例に考えてみよう。

フランクリンは、雷雨の中で凧を上げ、雷が電気による現象であることを実験的に示したことで知られる、18世紀の科学者である。彼は静電気の現象に広く関心をもち、電気を蓄えることのできるライデン瓶(要するに、コンデンサーである)についても研究した。彼にとっての謎は、「ライデン瓶のどこに電気が溜まるのか」だった。ライデン瓶は、電気を溜めるために、いかにも「たくさん溜まりそうな」瓶の形をしている。そして、瓶の中には水が入っている。…しかし、実は、瓶の形も瓶の中の水も、電気を溜めることには関係がない。そのことを彼は、巧みな実験で示した。

フランクリンのその実験を、実際に「モノ」を使って再現することもできる。しかし、彼の一連の実験操作を紙上に図入りで示し、「それらの操作でどんなことがわかるか」「どういう仮説を立ててそうした操作を行なっているのか」を考えさせる、というやり方もある。つまり、実験操作そのものの理解を目的とするのではなく、実験をやった科学者の「思考プロセス」を体験させ、科学の探究方法について深く理解させることを目指すのである(「理科基礎」の教科書では、こちらを採用した)。

5. 原典を利用する

科学者の伝記や、『近代科学の誕生』『進化論の歴史』など、科学史についての少なからぬ書物が市販されている。この種の書物をすでにお読みになった方も少なくないだろう。

しかし、かつての科学者が書いた書物や論文その

もの、いわゆる「原典」をお読みになった方は、そう多くないと思われる。でも、「原典」こそ、科学史を研究する者にとってはもちろん、理科教育にとっても新しい「知恵」の宝庫である。

有名な科学者の主要な著作は日本語で読むことができる。たとえば、ラマルクの『動物哲学』(朝日出版社)を手にとってみよう。ラマルクといえば、獲得形質の遺伝による進化を提唱した人物として、キリンの首の話とともに、高校の教科書に必ず出てくる人物である。

キリンの首の話がどこに出てくるかぐらいは、『動物哲学』を全部読まなくても、目次を見るだけで見当がつく。第7章である。「動物の活動と習性におよぼす環境の影響と、これらの生物の体制と諸部位を変化させる要因としての活動と習性の影響について」という、長々とした、しかし内容がすぐわかる章題がついている。

そこをざっと読めばわかるのだが、「キリンの首」の話は、「獲得形質の遺伝」を示す多くの例のなかの一例でしかない。ほかに、興味深い例がいっぱい出ているのだ。たとえば、こんな具合に。

「ヒラメやカレイが体躯の片面に眼をもっているのは、習性上、海岸沿いなど傾斜の小さい所に近づくからである。いっそう岸に近づこうとして、体躯を水平にして泳ぐことが多くなる。すると下面より上面に多く光を受け、自分の上にあるものに絶えず注意を払うことになり、一方の眼が移動していったのだ。」

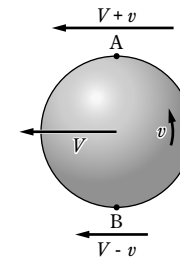
「ヘビは、もともと四肢をもっていたのだが、地上を這い、草の下に隠れる習性をもったので、消失した。狭い場所を通るために体躯を伸ばす努力を繰り返しているうちに、太さに不釣り合いな長さを獲得し、4つの足では体躯を動かすことができず、もっぱら這って移動するようになり、その結果、足が消失したのだ。」

生徒に、キリンの首の話だけでなく、ラマルクの挙げているこれら豊かな例の中からいくつか示してやれば、彼のいう「獲得形質の遺伝」の意味がいつそうよく、印象深く伝わるに違いない(「理科基礎」の教科書では、これらの例のいくつかをイラスト入りで示した)。

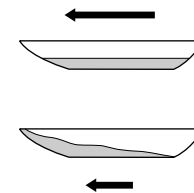
6. 昔の科学者の間違いを利用する

昔の科学者の書いたものは、まわりくどい言い方をしていたり、間違っていたりして、読むのに苦勞することもある。が、それさえ我慢すれば、彼らの「間違い」だって役に立つ。

たとえば、「地動説の決定的な証拠」とガリレオが考えたものを取りあげてみよう(次図参照)。



地動説を擁護するガリレオにとって、地球は太陽の周りに公転軌道上を動く(速さ V)とともに、自転もしている(自転の地表での速さ v)。したがって、地球の外から地球の動きを見ると、Aの位置にある地表は速さ $V+v$ で左に動いており、Bの位置にある地表は速さ $V-v$ で左に動いている。したがって、Aの位置にあった海水は、地球の自転とともにAの位置からBの位置まで12時間かけて移動する間に、速さが $V+v$ から $V-v$ に減速する。そのため海水は、進行方向前方、すなわちBのほうに押し寄せられる。その結果、Bの位置では満潮、Aの位置では干潮が観測される。



減速すると進行方向前方に海水が押し寄せられることを、ガリレオは小舟の中に溜まった水の動きで例示している。内部に水を溜めたままある速さで動いていた船が、減速したとしよう。すると水は触先のほうに集まる。

このように、海水の満ち干きは、地球が公転と自転の二つの運動をしているからこそ起きるのであり、現実に海水の満ち干きがあるという事実は、「地球が動いている」ことを決定的に裏づけるものだ。ガリレオはこう考えたのである。

この奇妙な「説明」が誤っていることは言うまでもない。しかし、誤りだとして一笑に付してしまうのはもったいない。むしろ、運動学についての学習を一通り終えた生徒に、「ガリレオの説明の、いったいどこが、どのように間違っているのか、友人にも

わかるように説明しなさい」という課題を与えてはどうであろう。きっと四苦八苦するはずであり、学習した内容についての理解が深まるに違いない。

このように、過去の科学者が犯した誤りは、概念や理論についての理解を深めさせる上で、効果的に使うことができるのである。

7. 社会との関係も視野に入れて

科学は、そして技術も、社会と密接な関係を持ちながら発展してきた。

たとえば、畜力が重要なエネルギー源であった時代から、水力を主たるエネルギー源とする時代へと移行するには、水力機関についての科学的理解や技術が発展するだけではだめで、水力のほうがコスト(費用)的にも有利になる必要があった。

このように、科学技術の発展を考える上では、コストも重要な概念なのである。しかもそのコストは、水力機関(水車)の費用だけでなく、水路の建設など付帯的な費用、水力の利用によって可能となる新たな産業の経済効果など、社会全体にわたるコストである。

同じことは今日の科学技術についても言え、たとえばアルミ缶のリサイクル一つとっても、社会全体を視野に入れたコスト評価が不可欠である。

「理科基礎」では、科学技術と社会との関係についても学ぶことになっているが、この面でも、科学史(人類のこれまでの経験)が多いに役立つと言える。