

総合的理科教育と科学史

—ケースヒストリーを活用した「理科基礎」の展開プラン—

北海道札幌開成高等学校教諭 山田大隆

1. はじめに

本年3月に発表された平成15年度より実施の高等学校学習指導要領「理科」に、新設科目として「理科基礎」(2単位)が置かれることになった。科学と人間生活の関わりを科学史を中心に実験を通して科学への関心を高め、科学的な思考を高める、とされる。

この方向は、科学史教材による「自然科学概論」の展開であり、日本における科学史研究の学術団体—日本科学史学会—はこの文部省の方針に共鳴し、特別に、平成10、11年度の年次大会で「科学史と理科教育」のシンポジウムを設け、専門家としての教育検討を加えた。筆者もこの学会の古い会員であり、教育学と歴史学の関連研究に関心を持ち、かつての「基礎理科」科目でも重視された科学史利用に即して「北海道科学史ノート」(第1～5号、1973～79)を主宰して、「理科教育と科学史」の連続特集を組み、道内外の多くの論文を集め提供した。本稿は、かつてこの論文集に発表したものに、今回の新要領提出に合わせ、近年のこの方面の研究実践の発展内容への考察を加筆したものである。

現代は「教育改革」、「教育爆発の時代」と呼ばれる変化の大きい時代で、理科教育でも現代の科学・技術の急速な発展に伴ってこれまでの伝統的な知識重点主義の理科教育方法が批判され、探究の過程、科学の方法を重視する「理科教育の現代化」が1960年代から盛んになっている。「探究の科学」では、自然科学諸科目(物化生地)の各分野にわたって、探究の過程(その代表的パターンとして、実験、観察→推論→仮説→検証)を生徒自らの実践により理解させることを主目的とし、その上に更に近年明らかにされた科学上の新事実や各種の概念・法則を盛り込む方法を取り、また、「科学の方法」では、前者と関連しつつ、科学概念形成の歴史を通じて科学についての理解を与える(概念・法則の真の意味、科学の性格内容を把握させる)という科学史の方法

が重視される。後者のこの意義を述べてみる。

現代化が進められた理科教育で科学史の方法(歴史的方法)が重視される意味は次のものである。人間にとって知的創造物であり知的活動であり、人間の生存にとり必要不可欠の自然科学は、それ自体が一つの理論体系を持ち、その体系の中に過去の姿を投影する余地がない代わりに、不断に発展し続けるという歴史性を持つ。それと同時に、一つの社会的制度(技術)として人類の生産と維持、発展の重要な一因をなす社会的機能性を持つ。したがって自然科学は、その形成の歴史(科学思想史・概念形成史)と人間社会との関わり合いの歴史(科学社会史・文化史)を通して初めて真に理解することが可能である、という性格を重視する必要がある。また、制度としての科学技術の真の発展方向性や、人間の知的好奇心の発現、歴史的精神と科学的精神とを高度に結合した真のヒューマンイズムの具現(人間が人間らしく生きるための本来の機能)の面—自然科学を学ぶ目的と自然科学を正しく発展させる見通し—を成功裡に推進する上でも、歴史の見地は必要不可欠のことと思われる。特にこの見地は、曲がり角にある現代科学へ問いかけ、環境科学、エネルギー資源問題教育が重視される現代で、自然科学と他科学をバランスさせ、理科教育の改革を考える人々にとり、基本的見地であると考えられる。科学史利用教育方法としては「ケースヒストリー」の有効性を提案したい。

2. 科学史の有効性

科学史は、かつて広重徹氏も指摘したように、これまでは啓蒙的・道徳訓話の利用や研究方法論としての利用など、利用主義的立場で教育上研究されるに過ぎなかったが、科学史が自立性を持つ正統的歴史学であるという認識が深まり、人間の自然認識展開の歴史(人間の実践活動としての科学)を研究することが最近の行き詰まった最先端科学の打破に有

効であることが見直され、近年特に重視されてきている。科学史はこのように歴史学として一つの方法と領域を確保しつつ、今述べた「研究のための科学史」と理科教育の現代化の中で見直されてきた自然認識を深め学習意欲を喚起させる「教育のための科学史」の2面をもって今日考えられるものである。

理科教育において科学史を用いることの有効性は、(1)自然科学上の基本概念を理解させたり、科学の方法を教える上で歴史的方法が有効であること、(2)科学の歴史的發展過程と児童生徒の認識の發展過程との間に多くの共通性が見られ、科学史が授業の指導過程を作成するための手がかりをつかむのに有効であることが従来指摘されている(高村泰雄, 1973, 竹内清, 1968)。筆者は更に次の3点を指摘する(新課程「理科基礎」でも基本視点)。

第1には、科学史が質的にも量的にも高度に発達した「現代科学理解のための歴史的方法」として有効性を持つことである。自然科学は他の諸科学に比べ累積的かつ加速度的に發展する。この科学力が文明を急速に進歩させるが、現代科学はこのような科学における実証的知識のすばらしく速い蓄積と發展のために、難解な内容・本質・現状・未来を有しており、この真の理解のためには科学の歴史性の理解＝科学史の方法によることが必要と考えられる(高度な内容の最適平易な理解方法)。

第2には、科学史の中ではその資料として重要性を持つ科学古典(原典資料)の研究を通じて、科学が本質的に持つ革新的な精神に触れさせることができることである。一般に科学の古典は知的革命の書と言われ、文明の建設や破壊力を持った科学的精神と呼ばれるものの具体的表現を意味し、最も人間的な活動の所産と言えらる。これら古典や大科学者らは、歴史的に累積的・漸進的な科学知識の量的変化の後に続く質的大飛躍として生まれ、今日に伝えられると考えると、古典とその知的革新の精神の重要性はおのずから明らかになってくる。

第3には、自然科学上の基本概念や科学哲学の内容を理解させたり、科学の方法を教える場合、その概念の形成史を通じて指導を行う方法が的確で有効であることである。これは授業において科学史そのものを教えるのではなく、科学史(概念形成史)によって「探究の過程」「科学の方法」を見いだして、科学そのものに対する理解を深めることを主眼とす

る。この方法については、現場において幾つかの試みがなされ、成果と有効性が報告されている(板倉聖宣, 玉虫文一, 竹内清, 鈴木善次ら, 1973)。特に、主として小学校を対象に科学概念の把握を目的として取り組まれた板倉氏の「仮説実験授業」の内容と成果は今日に至るまで注目に値する。また、ケースストーリーの方法は高校ではより有効であり、後述する。

3. 自然科学の基本概念

科学史的方法の指導目標である自然科学の基本概念の内容について述べる。

自然科学は近代で急速な發展をするが、それは近代科学の方法と呼ばれるものが確立し、多くの発見や理論建設をもたらした自然科学の基本概念が明らかにされ、科学者の科学研究の指導原理が確立したからに他ならない。ガリレイは、最初に理論的な考察・仮説を立て、それからの結論を推論した上で実験により確認をする、という仮説を中心とした研究方法(近代科学の方法)を確立し、その後この方法でエネルギー仮説を始めとして幾つかの基本概念・仮説が明らかにされ、多くの自然科学上の発見がなされた。例えば、ニュートンの万有引力の発見、ファラデーの電磁気に関する諸発見、ダーウィンやライエルの進化論、ラオアジェヤドルトンによる元素観の確立、原子論の展開、ジュールやヘルムホルツによるエネルギー保存則、プランク、ボーア、ハイゼンベルク、ディラックらによる量子力学、アインシュタインによる相対論の建設までがあげられる。これらはすべて、歴史的必然性と同時に、発見をなした科学者の志向性—自然を支配する幾つかの統一的原理、法則への接近を意識する態度(統一的自然観)—こそが自然科学者をして研究に向かわせ、継続的に発見を促し、理論体系を準備する。この核心が自然科学の基本概念(基本仮説)である。

筆者は自然科学の基本概念として3つの基本概念をあげ、また6つの具体的内容をあげる。3大基本概念は次のものである¹⁾。

- A. 物質と階層性(構造法則の階層性)
- B. エネルギー(保存と互換性)
- C. 可逆性と不可逆性(変化の方向)

図示すると、ABCは右上図のようになる。

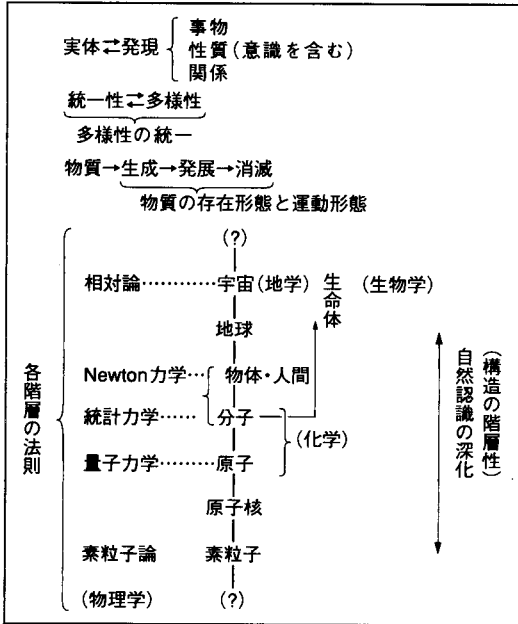


図 自然科学の3大基本概念

4. ケースヒストリー(科学史の事例研究)

2での科学史の有効性の中で、「科学の方法」『探究の過程』の理解に概念形成史を扱う方法で、ケースヒストリーが有効であることを述べた。この方法は、ハーバード大学のコナントによって提出されたものであるが、その高校版として、HOSC (History of Science Cases for High Schools Instruction Project) が出され注目を集めた。ケースヒストリーとは、歴史的年代の大体の流れに沿って幾つかの自然科学上の話題・概念をとり上げ、それらについてある程度詳しい説明を加え、この流れを通じて生徒に科学についての全体的な理解を与えていくという内容のものである。この方法は、将来自然科学を専攻しない学生に自然科学についての理解を要領良く与えるという意味でとり上げられたものであるが、ここでは内容を踏襲するものではなく、前述の基本概念を理解し、科学の方法を把握できるようなものにするという点を明確にして、その方法を用いるならば大変に有効であろうと考える。それは、自然科学自体が歴史性を持っており、歴史性で科学を理解することができるからである。ただ、新要領「理科基礎」科目では科学史自体を教える訳ではないので(特に科学史のみを高校教育の中に開設してもよいという鈴木善次氏の意見もある)、どのよう

なケースヒストリーを科目目標の実現に有効として扱うかは、今後の(教科書や指導書、教授資料集執筆者の)検討にかかっているものである。

筆者はかつて、同様の科学史重視科目「基礎理科」の構造として次の6つの内容に基づく8つのケースヒストリーを提示したが、新科目「理科基礎」でもほぼ同様に使えると考えられるので改良提案する。

1. 物質の構造(巨視的構造から微視的構造へ)
2. 物体の運動とエネルギー(巨視的運動から微視的運動へ)
3. 化学反応とエネルギー(化学結合から変化の方向へ)
4. 生命(生命の構造と機能、環境との相互作用)
5. 宇宙の進化(宇宙、地球、生命の進化)
6. 人間と科学(科学史、自然科学と社会科学)

これらの基本概念の理解、科学の方法の把握のため、新科目「理科基礎」におけるケースヒストリーの最も重要なものとして、次の8項目をあげる。

- ①「力学法則の確立」 エネルギー的見地から進められたアリストテレス自然学、運動学の前期的段階と、それらを否定していったガリレイ、ケプラーの現象論・実体的段階とニュートンの万有引力則として完成される本質論的段階までの三段階論的發展の流れを、自然の發展法則、原子論の見地、エネルギー保存則などの関連で触れていく。
- ②「元素観の確立と変遷」 シュテールに始まるフロギストン説の導入とラボアジェによるその否定、カロリックの導入、ブラック、ランフォード、デーヴィの理論や実践の推移を述べ、物理・化学の発展にとり大きな基礎となった近代的元素観・原子論確立の流れを、ドルトン、ゲイ・リュサック、アボガドロなどの業績を中心に、熱の本性を明確にする立場で触れていく。気体分子運動論との関連についても述べる。
- ③「エネルギー理論の成立」 ②の内容を更に発展させ、ラボアジェにより質量保存則成立のために

- 1) かつて、板倉氏は4大仮説をあげ、(1)「原子論の哲学」あるいは「原子仮説」、(2)自然界の活力(エネルギー)が相互に作用し、相互に転換するという自然観、哲学、(3)この自然が歴史的に形成され変化していく「進化論の哲学、自然観」、(4)今世紀に入り急発展し、重要な指導原理となった「自然の法則の階層性」を示したが、筆者はこれを改良した。即ち、「原子論」は物質の階層性に含まれAに入れ、「進化」は広義に不可逆性に含ま

導入されたカロリックがジュールの実験から否定され、マイヤー、ヘルムホルツにより広汎なエネルギー理論の成立となっていく過程を述べる。電磁気学でのエネルギーの相互転換の例として、ファラデーの実験や業績およびその基礎となる自然観についても触れる。

- ④「気体力学の建設」 トリチェリ、パスカル、ボイルらを通じて発展した気体力学・気体論（マクロの見地）、分子・原子仮説（ミクロの見地）、マクスウェル、ボルツマンの気体分子運動論と関連させて述べ、熱の本性についても分子運動との関連で触れる。
- ⑤「光の本性の探究」 光は情報伝達源—ミクロ構造（原子）とマクロ構造（宇宙）解明の手段—であるとともに、エネルギー源（光合成）として重要である。光の本性をめぐって、ニュートンの粒子説、ホイヘンスの波動説の抗争からアインシュタインの光量子説へ至る探究の歴史を述べ、更にスペクトル学の発展、原子構造論の発展や最近の相対論的宇宙論にも触れて、自然法則の階層的構造や光の二重性で代表される自然の統一性などの見地から説明していく。
- ⑥「生命論の発展」 生命現象が生気論によるものではなく、物質実在の発現によるものとして、その確立の歴史を、パスツールの発酵研究を中心に追ってゆく。併せて、遺伝子概念の発展史、生物学における実験・観察の発展史としてとらえてゆく。
- ⑦「進化論の発展」 生物や地質での進化論に関し、キュビエ、ライエル、ダーウィンらの進化論上の諸著作を中心に、生命の起源論も含め、進化論の成立・発展を述べる。
- ⑧「宇宙観の変遷」 コペルニクスの地動説を中心に、プトレマイオスの宇宙論との対比から、近代科学方法の確立と近代科学成立の歴史を追う。一部、現代宇宙論についても触れる。

5. 自然科学と人間

古代において、天文・地理・気象・生物などに関してまとまった自然科学として出発した自然科学

は、17世紀になって、力・運動・電気・熱学において系統化された知識の体系として確立した。その方法はガリレイ、デカルト、ニュートンなどの研究により実証的な新しい科学の方法として提示展開され、具体的な事例によってその法則の優位性、予言能力獲得などの積極面が示され、自然を支配する力となった。自然・物質についての探究の方法として出発した自然科学は、このように人類史の中で、特に近年社会進歩を推進する重要な部分として、単なる社会の一制度以上のものに発展し、他の諸科学にも影響を与えるところまで内容が深化し、戦争と科学、公害と科学、社会体制と科学に代表される負の側面も出てきている（現代科学の危機）。

自然の法則自体は価値判断の対象とはなりえないものであるが、科学は究極のところ科学する人間の精神の産物そのものであるので、科学発展の鍵は自然ではなく人間の側にあるというべきものである。また、科学の成果を応用して発展していく技術の進むべき方向も、同様に人間の意志にかかっている。それゆえに、人間は科学技術の発展方向決定の上で重大な責任を負わされていると言えよう。今日の高度に発達した科学技術にあっては、専門的に高度の知識が必要となるが、他面、狭い視野にとらわれず、関連分野を展望できる広い総合的視野と創造的かつ自由な研究態度、つまり、真の意味での自然科学を正しく学び発展させる立場や知恵（科学哲学や統一的自然観の確立）を涵養していくことが、今こそ特に必要とされてきていると言える。そのような意味で、科学の歴史に立ち返り、今一度自然科学の価値・内容・積極面・消極面を明らかにすることは、自然科学の進むべき方向、理科離れへの根本的対策として、重要であると思われる。科学史を全面活用した新科目「理科基礎」の健全な発展を望みたい。

参考文献

- (1) 文部省：新高等学校学習指導要領（1999.3）
- (2) 田中実：科学と歴史と人間、国土新書
- (3) 北海道科学史ノート、第1～5号
- (4) パナール（鎮目訳）：歴史における科学、みすず書房
- (5) 広重徹：科学と歴史、みすず書房
- (6) 高村ほか：近代科学の源流・物理篇1～3、北大図書刊行会
- (7) 板倉聖宣：仮説実験授業、国土社
- (8) 日本科学史学会講演予稿集（1998、1999年度）