

高等学校における理科教育(地学)の今後を考える(2)

川 勝 和 哉*

The future of earth science in high school education (2)

Kazuya Kawakatsu*

Abstract

Many high school students seem to think that the natural science programmed in high school are not closely related with their daily lives. This leads to the depression in function of science education in schools, which requires enhancement of students' skill such as rational thinking and comprehensive judgment. In the new course of study adopted in April 2002, much scientific content was cut from the previous course for the purpose of relaxed study, so called "yutori kyoiku" in Japanese. It seems that these cuts have lowered of students' knowledge levels and scientific insight.

What is required for fruitful education in high schools includes (1) stimulation of scientific interests on students, and (2) training for acquiring skill to formulize natural phenomena and to create applicable scientific hypotheses by the students themselves. To achieve these goals, science education requires (a) repeated exercise of basics, (b) learning the relationship between science and ethics, (c) learning the history of science, (d) comprehensive studies among several disciplines and (e) experiments which model the scientific phenomena familiar to students' live. We should understand that relaxed education in high schools is fruitful only when students' basic knowledge is reached an adequate level.

Key words: new course of study, investigation of contents, formulation ability, capacity, drilling of basics, ethics, science history, synthetic study, model experiments, relaxed study ("yutori kyoiku")

はじめに

科学技術が生活に果たす役割を考えれば、「市民的教養」という言葉のとおり、広く基礎知識を身につけておく必要がある。自然災害に対する備えと災害時の対応問題などの「生命の安全の確保」や、脳死と臓器移植の問題をはじめとする「自己選択責任」のための基礎知識は、従前よりもはるかに必要とされている。選択の自由が大きくなるということは、それに対する責任も大きくなるということである。

ところが日本人は欧米人と比較して、伝統や価値観とまったく異なる次元の話として科学技術をとらえているように思える。科学的思考と自分の生き方を結びつけようとしないうえ、科学的知識を修得しても「科学をする力」が身に付かず、かえって断片的で浅い知識によって誤解や偏見を生むことすらある。科学教育が人格形成に与える影響は大きく、合理的思考の低下や主体的判断力の欠如に少なからず影響している。

2002 年度から、「生きる力の育成」を目的として学校週 5 日制や総合的学習が導入され、学校教育が大きく変わった。その一方で、教科内容が大幅に削減され(川勝, 1994)、「余暇」の過ごし方や学力低下の問題が国民的議論を呼び起こし

ている。「学習内容の精選」の名の下に内容が細切れにされてしまい、自然を相互関連という視点で幅広く理解する能力が育ちにくくなっている。「ゆとり」は「ゆるみ」から「たるみ」を生み、「個性」は「わがまま」を意味するかのようになってしまった。好きなことをやりたい放題させることが「個性」なのでは決してない。癖や特徴を「個性」などといってしまう。何でも「個性」重視とされてしまい、忍耐を持って何かに取り組むことなどあり得ないことになってしまう。さらに大学生の学力低下が、新たに教員になる新卒者の力量不足の問題を引き起こしているという深刻な指摘もある。

「理科離れ」という言葉が用いられはじめて久しく、その間にさまざまな対策がとられてきた。兵庫県地学会でも、地学教育に関するセミナーなどでこの問題が取り上げられ、その理由として、①理系には、きつい、危険、汚い、といった意識があること、②科学技術が尊重されない時代を反映していること、③理系は難しい、あるいは科学不信の感覚があること、があげられ、これに対して、①本来のおもしろさを出す授業の工夫をすること、②理科離れというよりも勉強離れをくい止める必要がある(実のところ、後述するように筆者には「理科離れ」の実感がほとんどないのだが)、③教師自身に、実験を煩わしいものとして避ける気持ちがあるようでは困る、④受験に於いて理科の損得を言い過ぎているのではないか、⑤実体験のない生徒に自然を教えること自体が困難だ、などが指摘されている。

このような現状の中で、理科教育・地学教育がどのような

*兵庫県立加古川東高等学校, 〒675-0039 加古川市加古川町粟津 232 の 2

Kakogawa higashi senior high school 232-2 Awazu, Kakogawa-cho, Kakogawa City, 675-0039 Japan

表1 第3回 IEA 調査(1999年)による理科に対する態度の国際比較(ベネッセ教育総研, 2002を改編)

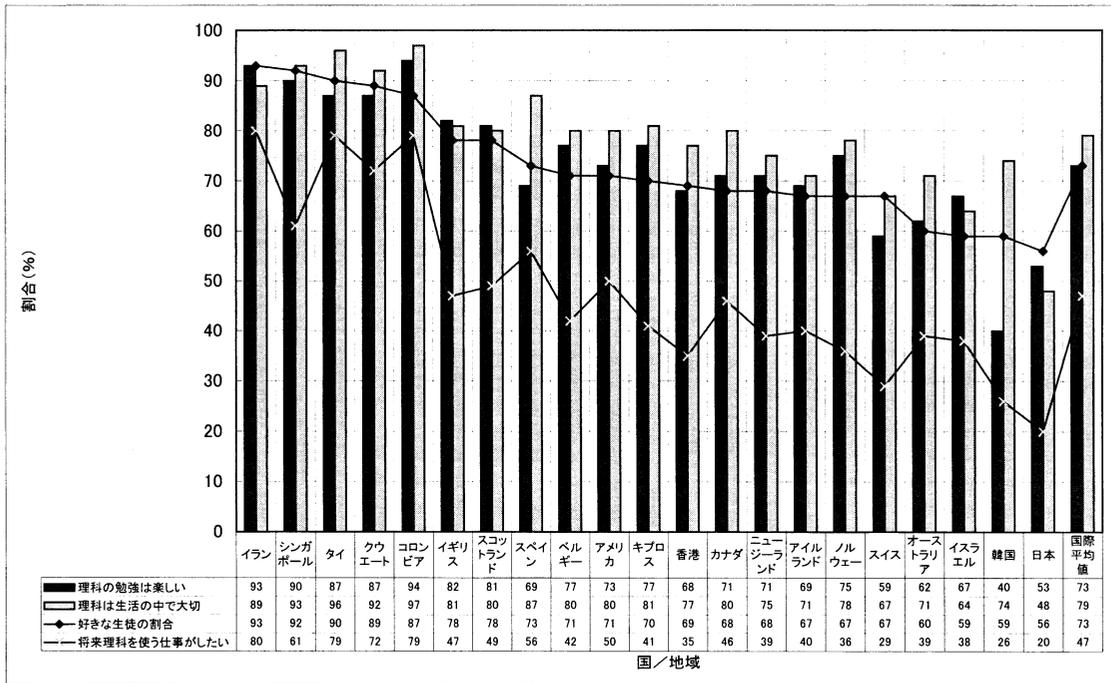


表2 学習指導要領改訂による小・中学校の理科授業時間数の変化(ベネッセ教育総研, 2002)

年度	小学校6年間合計		中学校3年間合計	
	時間数	相対比較	時間数	相対比較
1958~69	628校時	100	420校時	100
1992	420校時	67	315~350校時	75~83
2002	350校時	56	290校時	69

姿勢で臨むべきなのかを考えてみたい。なお、本論では地学教育の枠を大きく超えている部分がある。理科科目は、それらの科目の学習を通じて理科的な思考の訓練をおこなうことを目標にしているの、テスト前に岩石や鉱物の名前を丸暗記して、それで勉強を終わりにしているのでは、理科を勉強している意味が失われてしまう。具体的にいえば、自然現象を数学的にモデル化するために、具体的な事象を実験・観察することによってそれを抽象化(数式化)し、そのことによって未来についても予測(類推)できるような能力を身につけることが重要である。このような視点で地学教育のあり方を考えるとき、地学の枠内に限定して論じるのは不可能である。本論では、筆者が日常の授業で考える理科教育全般の問題に関して、幅広くまとめてみたい。

理科教育の現状と問題点～「理科離れ」はあるのか

日本の学生の理科や数学の学力は、長年にわたって国際的にトップクラスである。2000年のOECDによる32カ国対象の学力調査によると、数学は1位、理科は韓国に次いで2位である。ところが、国立教育研究所(現国立教育政策研究所)による1989年以降の追跡調査によると、理科に興味を持つ生徒の割合は、学年が上がるにつれて減少しているし(図

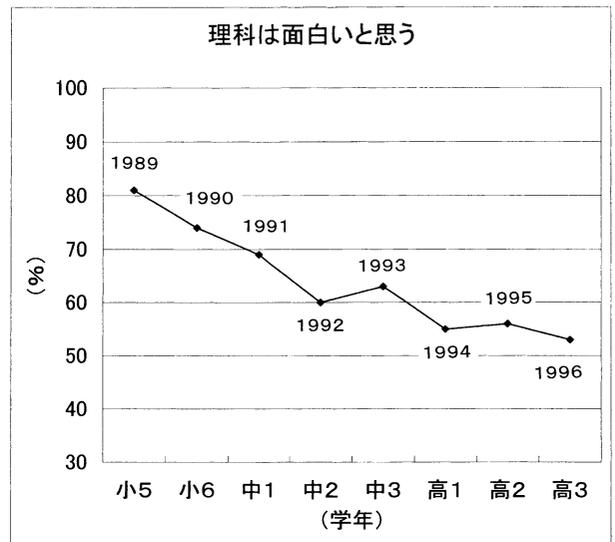


図1 小・中・高校生の科学技術に対する関心(ベネッセ教育総研, 2002)

1), 国際教育到達度評価学会(IEA)による中学2年生対象の国際比較調査では、「理科が楽しい」は21カ国中で韓国に次いで低く、理科が生活の役に立つとか将来理科の職業に就きたい、などと思っている生徒にいたっては最下位である(表1)。その原因は、理科の授業時間が削減されていく教育課程の影響や(表2)、自然に親しむ実体験の不足、さらには社会の科学技術に対する不当な評価の低さにあると考えられている。たしかに知識に対して思考力や応用力が低下した実感はあるのだが、教育現場から見ると、これらの原因はどれもしっくりこない。

すばらしい音楽や絵画などの芸術作品に触れると感銘を受ける。同様の感動を自然科学の分野においても得ることができるはずである。また、自然科学の力は生活の隅々にまで浸透していて、もはや自然科学の成果の利用なくして日常生活を送ることは不可能である。ところがその一方で、近年「理科離れ」が問題として取り上げられ、理科教育のあり方がいろいろと議論される現状にある。筆者はこのような風潮を教育現場で見ていて、違和感を覚えることが多い。というのも、筆者が勤務した高等学校（全日制普通科高校、定時制普通科高校、工業高校、単位制普通科高校）において、いずれも生徒の「理科離れ」を感じたことが全くないからである（川勝，1997a）。最先端の科学技術には目を輝かせて興味を示すし、面白いと思った事項については積極的に質問する。むしろ生徒たちは社会が必要としているもの、社会を変えていくであろう新しいものを目にしたとき、非常に敏感に反応する。社会の中で活かされている科学技術に対する興味・関心は非常に深いと思われる。だからこそ、教科書に載っている内容をいかに実生活に結びつけるかが問われるのである。

しばしば、理科離れの原因として、①コンピューターゲームに興じる子どもたちも、その中身を知りたいと思う好奇心までたどりつかない（興味や関心の不足）、②研究者がその面白さを伝える余裕がなく、その情報も不足している、③理系で苦労してもあまり報われないという動機の弱さ、が取り上げられる。しかし、だからといって、ただやみくもに多くの実験や観察をおこなったり、情報を増やすためにコンピューターを用いてみたりしても、これらの問題を解決できるとは思われない。

あえて「理科離れ」があるとして、その理由を考えてみれば、①科学技術の急激な高度化によって、内容が抽象化・記号化したために、日常生活でここまで浸透している内容であるにもかかわらず実感がなく、生徒の手から遠く離れたもののように感じられてしまう、ということであろうか。あるいは、②大学受験の対策として、問題を解く方法論に理科教育の重心がかかりすぎていて、科学の体系を系統的に学ぶという本来の目的が軽視されたためであろうか。また、③体系を効率的に学ぶために、物理・化学・生物・地学と分離して、個別知識をつめこむ教育をした弊害なのだろうか。もしそうだとすると、理科総合などの統合的方向は歓迎されるべきものということになるが、はたして現場の教師は理科総合の授業を歓迎しているのだろうか。

理科教育の目的は「科学的論理思考」、「帰納法的思考」を身につけることにある（川勝，2000）。かつて地学の定期考查において、生徒がどのようなテスト調べをしているのかについて聞き取り調査をおこなったことがある。その結果、生徒の多くが、鉱物の分類表を丸暗記することから始め、そして一覧表を覚えたらそれでテスト調べは終わる、というものであった。自然科学のテスト調べが、演繹法的思考に終始していることに愕然としたことを覚えている。我々ヒトがあれこれと考えなくても地球は存在しているのだから、ヒトは自然の様々な現象を観察し、あるいは実験してそこから自然の諸法則を知ろうとする。それは「なぜ」という好奇心のなせ

る技であり、ヒトが作りだした法律や文学とはまったく異なる思考方向である。「自然から学ぶ」という方向性の授業はきわめてやりにくいが、覚えて終わりで良いのだという意識を持たせるようではだめである。そしてそれは、実験や観察を多くおこなうことや、コンピューター情報教育を充実させることで解消できるものではない。

今後の理科教育のあり方

理科離れがあろうとなかろうと、理科教育を現代的要請に基いてよりよくしていく必要がある。現在の理科教育では、極力数式を避けて「わかりやすいように」現象をイメージ化して教育する方向にある。難しい内容を避け、諸現象を網羅するのではなく、いくつかの領域に区分し、重要事項を絞り込んで、それぞれをわかりやすくすることで「親しみやすく」しようというわけである。自然界の諸現象を客観的に捉え、議論するためには、数学の力を借りる必要がある。そもそも数学の構造そのものが、自然科学に備わっているものであるから、客観性の武器としてこれほど有効なものはない。その結果として、自然科学の法則や公式は美しい数式によって示されるのである。ところが、生徒は数学のための数学教育は受けてきているが、物理や化学・地学のための数学の勉強をしていないため、数式から現象がイメージできないという問題がもたらがる。理科教育ではもっと科学数学に力を入れるべきである。

かつて「生活の知恵」とよばれていた、経験に基づいて獲得される知識は、それぞれの現象間を相関づけることがなかった。それぞれの分野ではかなり高い知的レベルに到達していても、他の分野と構造的につながることはなかった。実学的な知識に、記号を用いて一般化した規則性が結びついたとき、それらの知識は構造化し、より高みに到達する飛躍の力となる。物理・化学・生物・地学ばかりではなく、数学や社会学などとの相互乗り入れも重要な方向性であろう。ちなみに、それは「浅く広く」の学びではなく、生徒に考えさせる教育の必要性について述べている。

さらに現在、とりあえず興味関心をもたせようとして、実験や観察を重視し、情報教育を充実させるためにコンピューターの導入を推進している。生徒に向かって「知りたいことは何か」と質問しても、生徒からは何も返ってこない。基礎知識がないから疑問点が思いつかない、ということもあろうが、答えのない問いというものに慣れていないという問題が一番大きいのではないかと思う。要するに理科を学習しているにもかかわらず、帰納的な考え方の訓練ができていないのである。情報を共有し、「わかったつもり」ではなくて自分の言葉で討論し考察するには、コンピューターの導入によるインターネットの利用ではなくて、プレゼンテーション能力の育成こそが重要である。

科学と社会教育

井尻（1976）は、理科の中で一番苦手な科目は地学だと答

える生徒が多いことの原因を「地学の対象は、火山といい、断層といい、地層といっても、それらはいずれも教室に持つてくることができず、ために実物に即して学ぶことができない、ということもその原因になっているであろう。それにもまして、地学が敬遠される理由は、地学と実践(生活と産業)のむすびつきが、十分に理解されず、かつ教えられていないところにあるものと思われる」と指摘しているが、現在でもこの問題点を解消させようとする方向に進んでいるとは思えない現状がある。

科学の進歩がもたらした日常生活の豊かさの影で、環境破壊などの負の側面も見逃せない。吉川(2002)は「知識間を埋め、あるいは脈絡づける知識が欠落しているという事実によって、その害がある時顕在化するようになると思われる」と指摘する。ここでは、科学者の社会教育の必要性とともに、教科横断的な学習が重要であるという示唆が与えられている。そのような教育の必要性は、もはや現代における社会的課題である。原子爆弾を作った科学者が、爆弾投下後におこなった激しい議論の様子はよく知られているところである。また、科学・技術を専門的に学んだ者が、無神経に神経ガスを製造したり、環境破壊を引き起こしたりする。社会から切り離された「象牙の塔」としての知識偏重の科学教育の結果、矛盾点に気付く視点をもたない研究がいかに危険なものであるかを認識すべきである。科学と社会の関係、すなわち科学の社会的価値や社会的機能、社会的役割について積極的に学習する機会を持ち、科学者は専門的知識の深さがあるがゆえに、的確な洞察力で研究の成果が社会に与える影響について思いを巡らせる必要があることを示している(川勝, 2001, 2002)。

一方で、この種の議論をおこなうときに必ず出てくる反論は、「科学者の知識そのものに倫理性は問えず、それを利用した為政者の行動の倫理性を問うべきだ」という論点である。しかし、為政者に原子爆弾を使わせるに至った科学者に、本当に責任はないのであろうか。これはすなわち、学問は人が作ったものである以上、学問の中立性を保証することはできない、という問題である。研究対象や研究目標は、それぞれの時代の社会的背景(それは政治的でもある)に基いて研究者が定めるものであるから、それ自身社会の影響を受けている。その一方で、研究成果については社会的影響に責任はない、といいきることはできないのではないか。特に自然科学の領域では、多くの事例を集め、それらの分析に基く推論によって法則性を導き出す。それらの基礎になる多くの事例は、もちろん社会を反映しているのである。

そもそも学術の領域として取り上げられるのは、体系可能なものだけであるという、人為的選択がはたらいっている。体系不可能な事象は置き去りにされ、体系可能なものだけが選択的に前進することで、我々はいつの間にかこの世の中が体系可能なもののみからできており、体系が構築されればそれで世の中がわかったかのような錯覚に陥ってしまう。しかも科学者が箇々の専門領域に深く関われば関わるほど、その不均質性に気づく機会が失われていくのである。現代科学の素晴らしさが大きく示される一方で、われわれは無意識のうち

に「わかる領域が自然のすべてである」という錯覚にとらわれ、わかっていない領域が多くあること、何がわかっていないのかさえわかっていない領域があることに気づいていないのかもしれない。つまり知識の増大が無知をも増大させているという「いびつな知」がもたらす危険性について、鈍感になっているということである。蔵本(2003)は「現代科学ではこんなこともわかる、あんなこともわかる、というような情報にどっぷり浸っていると、人は自然の従順な一面しか見ない。しかし、不可解で容易に人間の制御を受け付けられない気難しい半面が自然にはある。自然は従順なものとして決めてかかって、さんざんそれを操作し利用したあげく、手痛いしっぺ返しを受けているのが現代の状況ではないだろうか。それで人々はとまどい、科学に対する姿勢がさだまらない」と、科学のいびつな進歩の弊害を指摘する。

もう一つの重要な点は、特に科学の新しい成果のうち、健康や医療に関する実際的应用に関連する社会的倫理性である。脳死、臓器移植、遺伝子治療、クローン技術などの問題では、科学技術が可能性を広げていき、人間生活に大きな恩恵を与えつつ発展しているのだから、それを止める理由はどこにもないと考えられている。しかし、「社会的要請があればそれに無制限に応えるために技術を開発して良いのか」、「技術があつて使用が可能であれば、使用しても良いのか」という2つの点をよく考える必要がある。人間の心理として、目前に技術があれば、その使用を倫理性によって止めることはほとんど不可能に近い。またそのような技術は、科学者の予期せぬ方向に、予想を超えた勢いで拡大していくことは、歴史がよく語っているところである。とすれば、技術の開発段階でその是非が論じられる必要があるのであり、科学者が社会的倫理性をふまえた上で研究をしなければならぬ根拠もここにある。そして、そのような社会性は研究者になってからでは修得することは出来ないため、学校における理科教育が非常に重要になる。科学は基本的に好奇心がその原動力となるものである。そこに社会性や倫理性の網をかぶせる必要があると主張することは、科学の根本をゆるがす提案であるかのように思えるかもしれない。しかし、現在の科学を考えると、科学者が自らの言動を律するという姿勢は失われるべきではない。科学者にはそのようなバランス感覚が求められている。

科学と科学史教育

科学史教育をより活発におこなう必要がある。これは、研究者の人となりを知るばかりではなく、社会や経済と科学との関わりや、英文での科学論文読解までを含んでいる。筆者の勤務する兵庫県立加古川東高等学校は全日制普通科高校で、兵庫県下でも有数の進学校だが、全学年に「総合」の時間を、理数系にはさらに「自然科学」という名称の授業を週1時間ずつ設定し、グループで自然科学についての「社説」を書いたり、英文で重要な科学論文を読む取り組みをおこなっている。この時間は、教科にかかわらず全職員が各教室に複数入り、生徒を集団で指導することによって、学習内容

に広がりをもたせている。これ以外にも、科学史の学習は、生物・化学・物理・地学それぞれの授業の中で意識的に取り上げることができるし、「理科基礎」の教科書で時間をはじめから確保してしまうこともできよう。このような科学史教育のための「理科基礎」のねらいとして「科学は完成されたものではなく、未解決の課題があることを認識させるとともに、それが人間生活とどのように関わっているかを考察させ、判断力や問題解決能力を育成する」とある。

化学史学会 (<http://members.jcom.home.ne.jp/kagakushi/>) のアンケート (2003 年 6 月実施/「理科基礎」の教科書を採用している全国の高校 628 校に郵送で依頼し、136 校から回答を得る) によると、科学史を教える「理科基礎」を教育課程に取り込み、「理科基礎」の時間に「理科基礎」をおこなっている学校は 79% であった。「理科基礎」の名で別の科目 (生物 I・物理 I・化学 I) をおこなっている学校が 12% ある一方で、別の科目の指導過程で科学史をおこなうと答えた学校は 2% しかなかった。生物 I・化学 I・物理 I・地学 I の授業で、科学史がまったく取り上げられていない実態には落胆させられる。そもそも科学史教育と理科教育は分けて捉えるべきものではないからである。講話中心に陥りやすい科学史教育に、新鮮な感動を持ち込むためには、実験や実習が必要だろうと感じることも一因である。「理科基礎」にどのように取り組んでいるかについては、「教科書の記述順に全分野実施する」が 40%、「一部の分野を選択実施」が 41% であった。また、一人の教員が通年で担当するという答えが 94% である。科学史教育では、科学のバックグラウンドについての豊かな知識が求められるだけに、科学史教育に意欲的な実施教員の苦勞が読みとれる。実際にこのアンケートでは、①評価の方法が困難、②範囲が広く時数不足、③専門分野以外の指導が不安、④1 年で取り上げるため、学力不足で論理的な展開が困難、⑤社会的要素が濃い、⑥センター試験に取り上げられなかった、などの問題点が指摘されている。

「I」の教科書では、科学の成功ばかりが取り上げられ、科学者がいかにして成功を得たかという、まさに科学者の科学的思考の経緯を理解する視点がおろそかにされている。科学者が失敗や挫折をしながら、大きな成果を得たという話はほとんど知られることがない。しかし実際には、彼らが失敗をどのように考え、どのように処理し、何を学んだのか、という科学史教育が科学的思考の訓練にとって重要である。要するに、失敗やマイナスの結果こそが、科学の歴史的財産であるといえるのである。さらにいえば、先人たちがどのような思いで研究に取り組んだのか、という「研究者の横顔」が見えるような学習は、教科書にあるような原理や仕組みの説明よりもずっと、後の時代のために活躍できる若者を育てることが出来るであろう。研究者の目標達成への苦難と喜びを学ぶことは、生きる力を学ぶことでもあり、総合的な学習につながるテーマである。生きる力は教科書からでは学べないし、教師がこういうものであると指導して身に付くものでもない。研究者の苦難を学ぶことによって生徒一人一人が自身で身につけていくものである。井尻 (1976) は「科学にしても、芸術にしても、はたまたどんな職業にしても、その道の先輩

たちが築いてきた成果を伝承することなしには、何事も成立しないし、発展しない。そして、このような先人がもつ知識・技術・蓄積などを体得するためには、やはりそれ相当の訓練が必要である。これに反して、自由の口実のもとに、訓練をさげ、しごきを逃げるような根性では、独創など思いもよらないことである」と指摘する。

「I」の教科書では、導入部やトピックとして科学史が紹介されている。その内容も、天才のひらめきや注意深い洞察力、粘り強くこつこつと努力した成果など、精神主義的な訓話として扱われ、法則性の獲得に至る認識論的な観点はほとんどみられない。本来科学史を学ぶということは、帰納法的思考を学ぶ絶好の機会になるはずである。18 歳で数理哲学の博士号を取得した天才、N. ウィーナー (1957) は次のように述べている。「科学は、しだいに狭くなってゆく諸分科の専門家たちのものとなっていった。今日の学者は、その専門分野の難しい術語をたくさん知っており、文献も知りつくし、その専門の枝葉末節にいたるまでよく知っているが、たいていの場合、ちょっと離れた分野の話になると、それは三部屋先の同僚のやっていることで、そういうことに興味をもつのは、他人の縄張りを不当に荒らすことのように思っているのである。科学のこういう境界領域こそ、有能な研究者に最もみり豊かな好機をあたえるものである。同時に、こういう領域は、集団攻撃と分業という、一般に使われている研究方法だけではどうにもならない分野でもある」。科学史を学ぶということは、彼らの教訓を自らの学習に活かすチャンスを得るといふことにほかならない。

科学教育の分野横断的視点

近年よく語られるカオス現象は、どこにでもあるありふれた現象である。にもかかわらず、1970 年代までの科学者たちはニュートン力学の世界から外に目を向けようとはしなかった。それ以前にカオス現象に触れているのは、マクスウェルとポアンカレである。マクスウェルは、気体分子が様々なスピードで不規則に飛び交い、衝突するからこそ、分子速度の統計的性質が一定するのだといい、ポアンカレは、万有引力で相互作用する 2 つの天体間の運動は完全に予言できても、3 つ以上になると予言不可能になる「3 体問題」に触れ、「最初の状態に於ける小さな差違が、最後の現象に於いて非常に大きな差違を生じるために、予言は不可能になる」と述べている。

近年の全体論の観点は、天体における 3 体問題や天気予報などに代表されるように、全体は単なる要素の集積ではなく、要素相互の複雑な絡み合いによって複雑系を構成しているという考え方である。全体論的観点は、DNA の構造を明らかにしたワトソンやクリックの研究に代表される要素還元論 (全体を理解したければ、それを構成する部分に細分化し、その部分を詳しく調べればよいとする考え方) 一辺倒に偏った科学の現状に対する警鐘と受け取られる (川勝, 1997b)。有機体のようにシステム全体として機能する対象物は、要素に分解してその要素について詳しく調べても、全体を記述する

ことはできない。全体として要素がどのように関連を持って機能しているのかという視点が欠落しているからである。いつからか、地球の諸現象の複雑さを取り扱うことをやめ、現象を単純化して「基本法則」を発見し、それをもって諸現象にはけりが付いたものとするようになった。しかし、複雑系を全体としてとらえることによって、そこに新たな基本原理が見つかる可能性もある。注意すべきことは、複雑な全体を説明するためには、単純化した現象によって発見された「基本法則」を用いる必要があるという点である。つまりは、要素還元論による基本法則の発見で終わりとするのではなく(そうであれば要素還元論は全体論者によって全否定されてしまう)、それを用いて日常の複雑系を見る、ということである。ありのままの姿の自然を記述しようとすれば、従来の自然科学の領域概念を大きく逸脱して、近代科学の概念から自然史までの幅広い領域を横断的に理解する必要が生じ、それを明晰に述べるためには要素還元論によって導き出された「基本法則」が必要とされる。このように、要素還元論一辺倒で考えることには問題があるが、ありのままの複雑な自然の対象物を観察したり記述したりすることが不可能である以上、局所的な記述を用いざるを得ない。重要なのは、そのバランス感覚である。バランス感覚を逸した科学は、それが社会に与える影響もバランス感覚が不均衡になっているといわざるを得ず、人の知のあり方が社会問題になり得る。蔵本(2003)も「変わらないものを通じてこそ変わるものが理解できる、あるいは多様なものを理解するためにこそ同一不変のものを見出さなければならない、という逆説的な自然観がここにはっきり見てとれるであろう。これが科学の基本的な姿ではないだろうか」と指摘している。

これに気づくためには、科学者が独自の専門領域にのみ没頭するのではなく、複数領域の科学者との協調的研究が不可欠となるであろう。科学の領域が細分化され、それぞれに高度な進化をとげている現在では、領域の横断的研究や議論がきわめて難しくなっている。そのために、科学者が自分の研究が社会においてどのような位置付けがおこなわれるのかを判断する能力を失ってしまっており、専門的内容は「各科学者自身の責任で」となりやすい。吉川(2002)のいう「開いた学術」を目指すためには、科学者の社会性、すなわち科学と科学史や社会との関係に関する学習や、教科横断的な学習を高等学校段階や大学段階でおこなっておく必要がある。吉川(2002)はこう締めくくっている。「学習という過程においても、自ら科目を選択し学習し、その結果として各自が固有の、個人的知識体系(ディシプリン)を自らのうちに構成するなら、そこには公的な学問領域ではないが、私的な領域の生成があり、したがってそこに、同質の倫理性的な課題が随伴していることも忘れてはならないことと思う」。

科学の方法と科学実験のあり方

科学の方法として考えられるのは、以下のようなものである。①自然のあるがままの姿を観察すること、すなわち違いを区別分類し整理することによってまとめられた現象論的

法則を設定する。分類するためには基準が必要で、その基準によって分類はまったく異なったものになり、したがってそこから提起される問題も異なる。②観察した事象のうち疑問や不思議に思う事象を取り上げる(説明理論の段階)。③目的に応じて条件を複数変え(意図の介入)、多数のデータを集めるための実験の方法を確立させる。とりわけ対照実験のありかたと変数ファクターの選択の問題が生じるが、これには要素還元論による原子論的自然観と、要素還元論に偏りすぎた反省から近年揺り戻されている全体論がある。科学研究では、要素と全体の双方を行き来する必要がある。④結果の客観的分析、すなわち多数のデータから類似性や異質性を見つけて半帰納的に(すべての条件で実験できるわけではない)規則性や法則性を発見する。要するに特殊な条件による実験結果から普遍的な法則性を発見するという段階である。はじめは、単純に結果を矛盾なく説明できる法則(経験法則)に始まり、経験法則をさらに進めて理論化する段階に進む。理論化の段階では、意識的な操作が介入する。もしも実験がさほどの数できないような事象においては、③'少数の典型的なデータ(意図の介入)から仮説を立て、その仮説をすでに確立された理論と論理的演繹と合わせて結論を導き、さらにそれを実験で検証することになる。実験で仮説が矛盾することがわかれば、代わりの仮説が試されることになる。多くの科学上の成果は、むしろこのような過程をたどることが多い。仮説に反する結果が得られたときには、⑤新たな仮説を設定し、あるいは新しい法則性の発見への止揚のチャンスと考える。科学理論はひとつの体系をなしており、それを構成する原理や法則は互いに矛盾なく整合的で、全体として演繹の体系となっている(川勝, 2000)。

理科離れをくい止めるためには、実験・観察を充実させることが重要であるという指摘がある。生徒が獲得する知識のほとんど全ては、経験によって体得したのではなく、頭で「理解」し「記憶」したものである。よくいわれるように、現実には「知っている」が「理解はしていない」。このため、実験や観察が重要な意味をもつ。しかし一方で、筆者は実験をたくさんおこなっても、それがそのまま理科離れを食い止めることに結びつくとは思わない。実験を「教科書の追認あるいは確認」という位置付けでおこなったり、条件の純粋化によって非現実的感覚を生徒に与えるようであれば、いくら実験をしても、やはりそれは生徒とは縁のない「作業」に陥ってしまう。高等学校の授業では、既に結果が分かっている事象について追認をするという側面が強い。生徒は、既に解っている結果と異なる実験結果が出たとき、「結果がおかしい」として、思い通りの結果が出るまでくり返し実験したり、勝手に改ざんするか、放りだしてしまうことが珍しくない。また、結果からグラフを書く場合にも、授業で習ったとおりになるように、無理矢理折り曲げてみたりする。結果がわかった上で実験をすると、まじめな生徒であればあるほど異なった結果に不安を抱く。高等学校では、本来の自然科学の実験の方向性である帰納法的実験方法が取り得ないので、仕方がないといえば仕方がないのだが、それでも可能な限り帰納的な方向で実施すべきである。

実験による興味関心の高まりを求めるには、まず生徒の中に「どうしてだろう」とか「あれ?」といった疑問を生むような事前操作が必要であろう(50 ccのアルコールと50 ccの水をいっしょにすると97 ccになる、など)。その操作は、日常生活で生徒がもっている「思いこみ」を逆に利用して、それをくつがえすような話をするとか、人為的に作ったデータを提示するなど、何でもよいと思う。あるいは、誤って有している「思いこみ」を、それが正しいものとして押し進めることで、どこかで破綻をきたすのを待つ方法もある。もちろん、このためには生徒の「思いこみ」を事前に情報として入手しておく必要がある。この手の方法は、たとえば「三角形の内角の和は必ずしも 180° にはならない」などがある(地球上=球面上に書いた三角形の内角の和は 180° よりも大きくなる)。これを転向力の導入として用いると効果的かもしれない。そうすると、生徒は直線の定義をよく知らないということに気づくだろう。

理科という教科は、結果がわからないから面白いのだ、答えがないかもしれないから面白いのだ、ということを生徒に知ってもらうことは重要である。わからないからこそ研究するのだから、答えを覚えるよりも考える過程が重要であるという視点は、もっと理科教育に求められるべきではないか。また、既に学習した内容の検証実験であっても、察知力や創造力があれば、異なった結果が出た理由を考え、そこから新たな発見や思考の方向性が導き出せるはずである。生徒の実験において、教科書に書かれている法則が実はまちがっているのではないか、などと考える生徒はいないであろうし、教師も教科書通りの結果が上手く出るように実験を設定する。教科書通りの結果からずれた場合でも、その原因を追及しようとせずに、「実験には誤差がつきもの」として処理してしまう。高等学校の理科実験のあり方については議論が必要であろうが、少なくとも「自らの認識の妥当性の検証」という意味合いが含まれなければならないのではないか。

実験では、わからないことや真偽の決着がついていない事象を確かめるために、自然界の事象を目的に応じてどのように単純化・理想化するかが問題になる。自然界の現象は純粹状態で現れることがないので、仮説を立てるにしても、実験をおこなうにしても、科学者の探求目的に応じた「理想化」が必要になる。その仕方によって実験結果やその認識に違いが出るため、単純化・理想化の作業においては、基礎的な知識や洞察力、それに少なからず偶然が作用することになる。岡本(1999)は「中国が古くから天文観測を行い、その精度はむしろヨーロッパ以上であったことは有名であるが、その中国において地球概念が登場しなかったことは、たとえ詳しく観測を行っても、それだけで科学的な認識を獲得できるわけではないことを如実に示す例といえるだろう。ここには科学教育における実験や観察の役割についての重要な示唆がある」と述べている。また、数学による定量化によって数学理論による四則演算法の活用が可能になるので、数学的思考方法の育成は重要な課題である。

とりわけ、地学におけるモデル化や実験には難しい問題がつきまとう。それは地学が扱う分野が、①非常に広範囲であ

ること(地球から宇宙まで)、②タイム・スケールが非常に長いこと(先カンブリア時代から現在まで)、③目に見えないものを扱う場合が多いこと(地球の内部構造)、④検証が困難な過去の歴史を扱うこと(地球の誕生や氷河時代など)、などの理由による。しかも、古生物を扱うには生物学的、地磁気や地震などでは物理学的、絶対年代では化学的知識と思考力が必要とされるため、生徒に理解させることが難しい。自然現象は多くの要素が絡み合ったカオス現象を含んだ科目であるだけに、自然現象を実感できる実験に置き換えることは容易ではない。時に、予測に反する結果が生じるような実験や観察をおこなうことが、興味や関心を深めるよいきっかけになる。新聞紙に印刷された文字を顕微鏡で見たらどう見えるかを予測してから観察する、皮膚の表面の様子を予測してから観察してみると、毛が多く生えていて驚いた、などの例がある。そのような感動が得られたときに、それに対する意義付けをおこなうことが重要である。実験や観察にもうひとつ重要な前提条件がある。それは、「鋭い観察力は、その対象物に興味を持って観察することに始まる」ということである。いくら観察していても、興味のない実験であれば重要な事項が「見えて」いても「見て」いないために、見過ごしてしまうのである。従って、実験や観察の前には、予測と興味付け・意義付けが重要になる。この興味付けは、実験や観察の直前におこなわれるのではなく、平時の授業中におこなわれる。今日的な課題が一度しっかりと頭にインプットされていると、日頃は潜在意識下に押し込まれていても、何かそのことに関連した事象が目の前に現れると、ひらめきとなって浮上する。このときに、従来は別物であると認識していた複数の事象が、あるひとつの共通点によって結びつき、多様で新しい発想への飛躍をなしとげてくれる。だからこそ、平常の授業における科学史や今日の問題点について授業でふれること、社会的問題にも目を開いておくことが重要になるのであって、実験や観察を楽しそうな雰囲気でおこなったり、生徒に迎合した安易な方向で実施したりすることが、興味関心をもたせることにはならないのである。

自然科学の研究者を育てる必要性

研究者を育てる教育、などというと、特別なことがらのように思われがちだが、学校教育には「個を伸ばす教育活動」と「全体に科学を広める教育活動」の二つの側面があり、「優れた個を育てる教育」は「全体の向上」にも有効である。理科や数学に重点を置いたカリキュラムを研究開発し、生徒の知的好奇心を育むことを目的として文部科学省が推進している、「スーパー・サイエンス・ハイスクール(SSH)」なども、この考え方に基いたものであろう。

個を伸ばすためには、「個性」と「社会性」の両面から考える必要がある。つまり、特殊な「個」を育てることが目的ではなく、その能力を大人になってから「社会」に還元できるように、生徒一人一人の「個」の能力を伸ばす教育をする、という考え方である。この目的のためには、①必要最小限の基礎的知識の修得(理科の科目が選択制になったために、必要

最低限の基礎知識も修得が困難である), ②「個」の好奇心と能力を伸ばすためのより高度な学習(教科書のような通り一辺倒な内容では不足)の過程を経る必要がある。②においては, 自分の能力は社会で役立つためにある, という視点が求められる。要するに均一化ではない, 多様化である。

偶然を活かし, これは重要であると察知するためには, もちろんそれが重要であると気付く判断力とそのための基礎知識が必要である。よく「大学に入って研究をすれば, きっとおもしろい発想によって大きな成果を上げるに違いない」といわれる高校生がいるが, 大学で成果を上げるには, そのための基礎知識をどれくらい高校生の時期に修得していたかが問われる。理科教育における目標は, このように自ら考える力と, 気付きのための感性, そのための基礎知識や判断材料の修得にあるものとする。常識では考えられない結果が出たときに, それを失敗として引き返してしまったり抹殺してしまったりすることがほとんどだが, それを明晰な察知力で乗り越えて新しい発見に至ることができるかどうか, 研究の場では重要な分かれ目になるだろう。海外旅行で外国の土地にいくと, その土地の人たちにはあたりまえでも, 不思議に思う光景に出くわすことがよくある。それは, その土地の人々のもたない常識や判断基準で物事をみるからだろう。ところがしばらくその土地で暮らすうちに, それが別段に不思議なことだと思わなくなる。

子どものうちは身の回りに「どうして」が多いのに, そのうちいつの間にか感じなくなるのも同じであろう。好奇心や探求心は素朴な疑問に始まり, それが創造性に繋がっていくことを考えれば, 子どもの新鮮な目を大切に, そこから知識欲を育むことがいかに重要であるかが理解できる。研究者として成功した人々に共通しているものとして, 澤泉(2002)は, 次の6点を上げている。①意図して進めた目的とは異なるところがある, ②学識, 見識, 集中力, 経験などのレベルが高い, ③途中で見捨てられても不思議でない状況を通している, ④異なった分野の人のアドバイスを有効に活かしている, ⑤偶然の機会をうまくつかんでいる, ⑥成果は従来の常識を打ち破る意外性を有している。理系の生徒全員を研究者にすべく教育する, というのではなく, 技術立国日本として, そのような才能の芽生えを見逃さずに育てる意識が必要であるように感じる。

さいごに

最高の科学研究者によってひきおこされた高速増殖炉もんじゅの事故, 自然科学系大学院を出た人々によって引き起こされたオウム事件の数々, これらが示しているのは, 科学について深い知識を持っていることと, 科学の社会的役割と価値を正しく理解しているということとは異なる問題であるということである。

以前は文科系の生徒でも理科は2科目学んでいたし, 1979年に始まった共通一次試験でも理科2科目が必要であった。大学の個別試験でも, 理科が必修であった。履修する科目を減らし, それによって密度の濃い授業をおこない, 学力を向

上させる, という目的は, 現在の実情を見る限り, 達成度はかえって落ちているように思える。内容を厳選するあまり, 互いに関連し合っていた教科内容が細かく分断され, 教科間の乗り入れや重複が削除され, 理解がより困難になっている。時間数をそのままにして内容を減らしたのならゆとりも生まれるだろうが, 時間そのものが減ってしまったのではゆとりが生まれるはずがない(理科と数学の授業時間数の合計は, アメリカの半分程度しかない)。「ゆとり教育」と「個性重視」のかけ声のために, 計算練習は軽視され, しかも「詰め込み教育」だという非難を受けるために宿題はないに等しい。「ゆとり」は, 基礎訓練の結果生まれるのであり, 「個性」は基礎の上に内容豊かなものになるのではないか。アメリカの教育政策が, 読み書きと数学や理科の基礎学力の向上を重点に置いているのとは対照的である。教員免許も, 求められる科目が削減され, 中学生程度の知識しかもたない教員が, 高校で天体を教えるということもあり得る。教員養成系学部の学生の基礎学力がここまで落ち込むと, 日本の教育は, 学力のデフレ・スパイラルに落ち込むことになる。アメリカ国立科学財団の調査結果をみると, 日本人の科学知識は先進国で最低にまで落ち込んでしまっている(戸瀬・西村, 2001)。

近年のさまざまな事件や事故の報道を見聞きするにつけ, 科学をもっと社会へ, そして想いの教育へと広げていくことが必要であると痛感する。教師自身も, 教科書の内容を教えるだけではなく, 他の分野へ, あるいは次代に向かっていつも目を開いておく必要がある。マニュアルに沿って授業を実施するだけでは, 今日の理科教育の価値は低いものになってしまうだろう。「なぜ」について意識をもち, 「どうすれば」というテクニックとともに「うれしい」, 「楽しい」気分を大切に授業を展開したい。現在の教育課程を見ると, 大変ばたばたとしている印象を受ける。学校の授業が落ち着いたものになることには, 危険性を感じざるを得ない。このようなことでは, かえって「理科離れ」を招くことになるのではないか。

岡本(1999)は教育について実に示唆に富む指摘をした。「教育には, 二つの大きな目的があるとされる。ひとつは人間性の育成であり, ふたつ目には, 文化の継承発展である。前者には, 個としての人間の基本的な条件が語られており, 後者には, 人類社会がこれまでの歴史的営みの集積の上に立って存在し, 人間自身の存在にそれが不可欠の要素となっていることが含意されている。両者のいずれが欠けても, 教育の本来の機能を十分に発揮したことにならない。人間は社会的生物であり, それは同時に文化的存在であるということも意味しているからである」。生徒に対する姿勢を再確認したいと思う。さいごに, 筆者の科学の社会教育や科学史教育を終えた生徒たちの感想文を, 資料として添えておく。

引用文献

- ベネッセ教育総研, 2002, 進む「理科離れ」と理科教育の展望～進研ニュース VIEW 21, 46-15.
井尻正二, 1976, 独創の方法。玉川選書, 東京, 157 p.

《資料》科学と社会教育・科学史教育を終えての生徒の感想から

- ・毎日発展する技術を知ると、自分も何かしたいという意欲がわいてきた。知識をもったからこそ、これからの科学についていろいろな面から考えることが出来た。
- ・研究者と聞くと、部屋に引きこもって研究している暗いイメージをもっていたが、実際には強い信念をもって自分のテーマに取り組んでいたり、他の研究者との意思の疎通を大切にしていることがわかった。日常生活からかけ離れた存在ではないことがわかって、何かほっとした。
- ・自分の進路を考えるのにとっても役に立った。毎日の努力やこれまでの研究者の挫折と栄光の話を聞いて、自分のしたいことを見つけて、それができる進路を選択したいと思った。そしてそのための基礎知識をもっと勉強しなければならないとも思った。
- ・これまで興味がなかった分野の話でも、聞いてみると面白く思った。多くの分野の話を聞かなければ、自分の進路はととても限られた中で考えなければならなかっただろうと思う。
- ・研究者の話では、専門の話よりも、どうしてその分野の研究に取り組もうと思ったのか、とか、現在までの苦労話などが面白く、役に立った。
- ・こんなに科学が進歩しているのに、まだまだ世の中にはわかっていないことがたくさんあるんだなあと思った。科学者が「まだわからない」と率直に答えたことにも驚いた。分からないと言うことが、恥ずかしいことではなく、とても自然なことに聞こえた。自分は将来、それらのことを解明する研究者になりたいと思った。
- ・発見にいたるこぼれ話や失敗に話が面白く、興味がわいた。
- ・科学者同士の葛藤や抗争などの話が興味深かった。科学は純粹に独立したもののようか考えていたが、社会の情勢にも大きく影響を受けているのだということがわかって、少し残念にも思った。
- ・西洋人の話ばかりで、それはそれで面白いが、日本人の話も聞きたかった。

川勝和哉, 1994, 高等学校における地学教育の今後～新学習指導要領施行にあたって教育現場からの提言. 島根大学地球資源環境学研究報告第13号, 69-83.

———, 1997a, 生物の授業からみた自然科学離れ. 兵庫県高等学校教育研究会生物部会誌, vol.21, 2-4.

———, 1997b, カオス理論の自然科学への応用を考える. 兵庫県立姫路東高等学校研究紀要第11号, 51-72.

———, 2000, 高等学校理科教育の在り方を考える. 島根大学地球資源環境学研究報告第19号, 187-194.

———, 2001, 自然科学は社会とどう関わるか～理科教育を考える(3). 兵庫県生物学会創立55周年記念誌「兵庫の自然一環境と生き物の現状」, 275-276.

———, 2002, 科学と社会・倫理・教育～生命倫理から科学倫理を考える. 兵庫県立姫路東高等学校研究紀要第15号, 1-28.

蔵本由紀, 2003, 新しい自然観～非線形科学の可能性. 岩波書店, 東京, 19 p.

ノーバート・ウイーナー/池原止戈夫・彌永昌吉・室賀三郎, 1957, サイバネティックス. 岩波書店, 東京, 46 p.

岡本正志, 1999, よみがえれ理科教育. 東京書籍, 東京, 22 p, 300 p.

澤泉重一, 2002, 偶然からモノを見つけだす能力～「セレンディピティ」の活かし方. 角川書店, 東京, 85 p.

戸瀬信之・西村和雄, 2001, 大学生の学力を診断する. 岩波新書, 東京, 64 p.

吉川弘之, 2002, 学問の作り方とその責任～科学者の新しい役割. 岩波書店, 東京, 25 p, 69 p.

(受付: 2004年9月12日, 受理: 2004年12月8日)