

## 高等学校理科教育の在り方を考える

川 勝 和 哉

### Science education in high school as it ought to be for its future

Kazuya Kawakatsu

#### Abstract

The newly revised Japanese Curriculum will be introduced along with the proposed 5-day school week in 2002. The new course guide for study from 2003 was published on March, 1999. The contents of this educational system were carefully selected, and individuality of students has been emphasized. In addition, a number of significant new recommendations are outlined in the Science Curriculum. These include:

- (1) Avoiding areas which at present remain scientifically contentious.
- (2) Qualitative problems are no longer addressed.
- (3) Fostering an inquiring mind in the field of science.

The fundamental problems within science education, however, must be viewed from another important aspect. Science education has traditionally been divided into four subjects; Chemistry, Biology, Physics, and Earth Science. The problem is that those concerned with each individual subject may not fully appreciate the distinct differences between the sciences. Education in pursuit of nature truth has been frowned upon, because it is achieved by synthetically grasping nature. "Science" as taught at school differs from that studied by scientists. Traditional science education has focused only on how to solve questions likely to be asked for examinations to higher education. Education in pursuit of nature truth can further enhance students' ability to understand all nature and is thus on holistic approach. It is important that we exchange ideas with each other regarding each scientific subject; otherwise prejudices may well develop. We must be open-minded in an attempt to prevent this from happening in the future. Students' interest in natural science, however, will never wane.

Society today, dependent on science, prospers from many positive outcomes of scientific advances. Yet, there is an ongoing distrust of scientific development. Therefore, I strongly believe that teachers and scientists must turn their attention to the social influence on science from now on, and have a firmly universal sense of ethics toward the benefits of modern science, which we will enjoy in the coming 21st century.

**Key words:** new course guide in study, inquiring scientific mind, "science" taught at school, education in pursuit of nature truth, social influence on science

#### はじめに

2002年から、学校は完全週5日制になる。これを受けて2003年度(平成15年度)から実施される高等学校の新学習指導要領が1999年3月に発表された(文部省, 1999)。そこでは、内容が大幅に入れ替えられ、「総合理科」や「理科基礎」など、新しい科目が設定されることになっている。また、「総合的な学習の時間」が新設され、「学校設定科目」を設けることができる。

近年、大学生の学力低下が問題とされることが多い。1999年11月~12月に実施された大学入試センターの調査でも、国立大学95大学のすべてに最低1人(全362学部長のうち181学部)は「学力低下が問題」と答えた学部長がおり(大学入試センター, 1999)、このうち3割が「補習授業」を開講している。私立大学などでは、補習授業を正規授業として取り込んでしまっている所も少なくない。一方、もはや大学に進

学することが珍しくない時代で、かつて「詰め込み教育」であると批判された日本の高等学校教育は、個性が重視されるようになり、カリキュラムが複雑化し、教育内容の精選と大学入試科目の減少によって、高校生あるいは学校の教師自体に「受験の損得」感情が芽生え、たとえば、生物を学ぶことなく医学部に入学するような場合も珍しくなくなっている。こうした中、「問題の解き方は知っているが、概念の理解ができていない」といった批判もきかれる。近年、世間でよくいわれる「ゆとり」と「生きる力」に対する現場の教師の印象は、実は世間のそれと相当異なっている。「個性の尊重」は「生徒への迎合」である場合が多く、「理科の魅力」は「受験での損得」で評価され、「総合理科」を教える教師の中には、一度も物理や地学を学んだことがない者が少なくない。

化学・生物・物理・地学と、各学年にまたがって授業にいくと、様々な問題点が見えてくる。それは、生徒を通してみる教師の問題点であることが多い。根本には、化学・生物・物理・地学といった各領域の固定化、あるいは既得権の主張の問題がある。実際に自然はそのような分類ごとに動いてはいないものを、狭い領域ごとに分類し、隣接する領域どうし

がしのぎを削るかのように分離されているのである(川勝, 1994, 1999)。しかしこのような主張には、「地学の教師ならば地学教育を優先して考えるべきだ」という反論が返ってくる。そこには、自然を総合的にとらえるべき本来の理科教育から遠く離れた「理科」教育があり、そのような教師の姿勢が、本来自然に興味・関心をもつ生徒に「理科離れ」をもたらすのではないか。自然を総合的にとらえるための「自然の学び方」教育の遅れや、領域間の押しつけあいがおこり、結果として、学びたいという欲求をもちながら、学ぶ機会を奪われることになるのは生徒である。

### 学習指導要領改訂について

2003年4月から学年進行で実施される新学習指導要領は、「ゆとりの中で自ら学び考え生きる力を伸ばす」ことがねらいとされている。卒業に必要な総単位数が80単位以上から74単位以上に減る一方で、「総合的な学習の時間」が新設され、課題解決的な学習の充実がはかられている。各学校では、基本的な教育方針の検討がおこなわれ、それに基づいて学校独自のカリキュラムが編成される。2000年度から、移行措置として先取りできるものは、各学校現場で積極的に前倒しして取り組むことにもなっている。

高等学校学習指導要領「理科」の要点では、「理科離れ」に対応するために「探求心」という表現が取り入れられている。「基礎理科」「総合理科A」「総合理科B」が新設され、ここから少なくとも1科目の履修が義務付けられる。「基礎理科」は「科学と人間生活とのかかわりや自然の探求・解明、科学の発展の過程などを学び、科学的な見方や考え方を身につける」ことを目標としたいいわゆる科学史教育、「総合理科A・B」は現行の「IA」と「総合理科」の一部を統合したもので、「人間と自然とのかかわりについて考察しつつ、自然に対する総合的な見方や考え方を身につける」ことを目的とする。「A」は物理・化学中心で、科学技術と人間の関係を、また「B」では生物・地学を中心として、生物とそれを取り巻く環境を扱う。「I」「II」科目については、いずれも3を標準単位とする。「理科総合B」の「遺伝の規則性」「生物と環境とのかかわり」が「生物I」の、また「地球の移り変わり」「多様な景観」「大気と水の循環」が「地学I」の、それぞれ導入として位置付けられている。「総合理科A・B」は必修科目ではあるが、従来の「理科I」と異なり、「I」と並列に位置付けられている。

「物理I」では、モーターや発電機の原理も扱い、また放電現象・水圧・浮力・弾性力・比熱等についても触れる一方、2次元の運動についての記述が削除されている。「物理II」では熱膨張にも触れるようになった。「化学I」では、化合物の羅列的な扱いを避け、酸と塩基および酸化と還元についても定性的な扱いにとどめることとされた。「化学II」でも、定量的で羅列的な扱いは避けることが記されている。「生物I」は、「生命の連続性」と「環境と生物の反応」の2項目に集約され、代謝や生物の集団は「生物II」に移された。「生物II」では、バイオテクノロジーなどの新しい内容にも触れ

るが、「代表的なものを平易に扱う」という表現が目立ち、羅列的な扱いを避けるよう指示されている。「地学I」では、「地球の構成」と「大気・海洋と宇宙の構成」の2項目に集約され、従来の「地学II」から「銀河系と宇宙」の項目が移動してきており、やはり定性的な扱いであることとされている。「地学II」においても、プレートの未解決問題や地球科学の歴史、地下資源、宇宙論に言及せず、羅列的な扱いを避けるよう指示されている。また、従来の「地学I」から、重力と地磁気の大部分と天体の放射、それに天体の距離と質量に関する多くの部分が移され、新しい観測法についても扱う。また、「地球の探求」「地球表層の探求」「宇宙の探求」の3つの大項目から2つを選択して取り扱うこととされている。「I」でも「II」でも同じものを扱うが、「II」は「I」の発展的内容を扱うというように、それらがスパイラル式に設定されている。全体には、日常生活とのリンクを狙うことと、定性的理解を深めさせること、それに羅列的な扱いを控えることがポイントのようである。

なお、中学校の指導内容を見てみると、物理分野から、力の合成と分解、水圧と浮力、質量と重さの違い、熱量と比熱、交流と直流、真空放電、電力量、自由落下運動、仕事と仕事率が削除されている。同様に、化学分野では、イオンと電解質、乾電池、中和反応の量的関係が削除された。生物分野では、シダ植物、コケ植物、ソウ類、無脊椎動物の詳細、メンデルの法則と進化が、また地学分野からは、整合と不整合、褶曲と断層、天気図の作成と日本の天気の特徴、月や惑星の表面のようすと地球の大気圏、水圏、岩石圏が、それぞれ削除され、これらの多くは高等学校に移行されることになっている。これらは「総合理科A・B」と「I」に取り込まれている。ただし中学校と同レベルの扱いでなければならないというわけではない。天気図の作成のように、中学校でも高等学校でも完全に削除されたものもある。

全体的にみると、理科教育の最も重要な部分である「自然の探求法」を具体的に教える機会是与えられておらず、教科書はやはり知識の百科事典のようで、未解決な現代の問題に触れないように指示されている。また、「理科離れ」に対応する具体的な方策もみあたらず、理科の授業と日常生活とを結びつける考え方も示されていない。いずれの教科でも「コンピューターの活用」一色で、まるで自然の具体的な体験のかわりになるもののように扱われている。また、定性的扱いにとどめることが強く指示されていて、自然を客観的に数値表現することを避けており、現在深刻化している基礎計算力の低下の問題は、さらに深刻化するであろう。教授内容を精選することが求められているが、これが1時間1項目完結型の断片的教育につながり、自然を編み目のような広がりのあるものとしてとらえることがますます困難になる状況にある。

### 「理科離れ」について

近年、呪文のようにいわれるのが、高校生の「理科離れ」である。しかし、特に近年の生徒が「理科離れ」しているとは思えず、むしろ自然に対する興味・関心は依然として強い

(川勝, 1997). にもかかわらず「理科離れ」が叫ばれるのには、それなりの理由がある。教師による「考査のための学習」といった自然提示の方法による問題（この方が教師も授業しやすい）や、数学を含めた全般的な学力低下の問題などである。生徒の多様化・個性の尊重をはかりながら、それでも生徒に迎合してばかりであってはならず、必要なレベルは維持すべきである。

学校は、すばらしい先生と出会う機会である。そこでは、科学的なものの見方ばかりではなく、人からの良い影響の受け方を学び取る。ものごとを観念的にとらえ、具体的に物事を見、具体的に処理していく力をつけることをせず、理論がとおっていればそれでよいと考え、何でも社会のせいだといって、無責任に批判ばかりしているような学生を育ててはならない。大学の理学系を卒業した「優秀」な人たちが、大きな社会的事件を引き起こすのは、このことと無関係ではないだろう。理科教育が社会から遊離してしまえば、単に知識のための知識となってしまう。これらの観点から、授業の際に留意すべき点について以下にまとめる。

### 1 高等学校の理科教育

授業で学習した内容と、日常生活とが結びつかず、生活とはかけはなれたものとして科学をとらえる生徒が多い。逆にいえば、わからない問題が出題されたときに、「これは習っていないから知らない、鉛筆でも転がして決めようか」などと考えてしまって、「習っていないが、自分の生活体験からなんとか答えを推測しよう」というふうにはいかない。科学が生活から遊離してしまっていて、受験のための学習にとどまり、想像力や応用力、感性が活かされていない。

生徒は、できる限り「無駄」な努力をしないで効率よくすませようとしたがる。しかし、ここには単に時間的な節約という意味にとどまらない、より本質的な問題が潜んでいる。自然科学では、これを実験したら結論が導き出せる、などと「約束された」実験などあり得ない。何度様々な実験をしても失敗し、結論が出ない場合も、否定的な結論が出て途方に暮れる場合もある。むしろ、ほとんどがそのようなもののだといっても過言ではない。一見この「無駄」のように思える経験が、後で全体像をまとめて結論を引き出す際の大きな材料になる。一方、「教科書で習ったことを実験で検証する」というのが大多数の高等学校の実験である。生徒もそのことはよくわかっているから、実験で教科書と異なる結果が出たりすると、テストにまちがった答えを書くかのように抵抗感を示し、結果自体を知識通りになるように作り替えたりする。教師の側も、生徒実験で期待された結果が得られなかったときには、「どうして」と理由を探す。教師は、「教科書と違った結果が出ても、その原因を考察することこそ重要なことである」と指導する。これは、教師も生徒も結論が既にわかっているからいえることである。

高等学校の実験は教科書内容の追試という意味合いでおこなわれるため、純粋に独創的な科学真理の発見のためにおこなわれる実験とは、相当色合いが異なる。つまり、そもそも、学校教育でとりあげられる「科学」は、科学者のいう「科学」とは異なっているということである。生徒は科学的思考のた

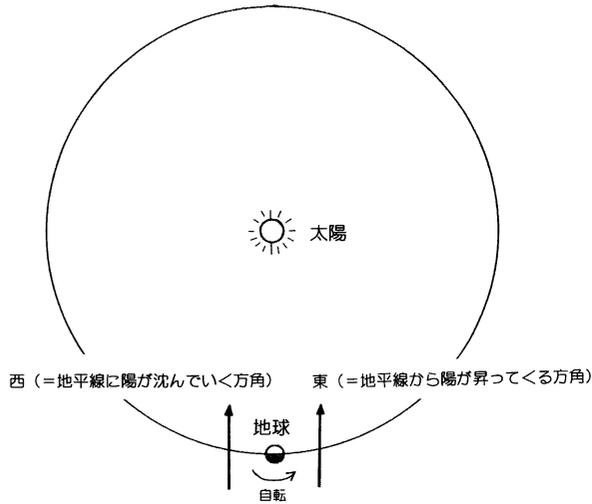
めの基礎的「知識」をもってはいるが、学校教育ではその知識を用いて科学的思考を学び、日常生活のさまざまな事象を科学的思考に基いてとらえる訓練ができない、ということである。テストのための知識であり、結果がわかっている実験であり、そこには日常生活と別の次元の学校教育の「科学」がある。生徒は、学校では「学習して得た知識」を、日常生活では「子どもの頃からの経験的知識」を用いる、というように使い分けをしている。学校の科学的知識は、体系的な流れの中でのものであり、「この問題を解け」と出題されたら、「こう解く」というように、用いる公式や知識が明らかであるし、教師は「そのように解く」ことを期待している。ところが日常生活では、解くために用いる公式が示されていない。そこで、何をどのように用いて解けばよいのか思いもよらず、経験をたよりに考えるしかないのである。だからこそ、どのような公式を使えばよいのかを「自分で判断する力」を培うために、自然の探求法（後述）を生徒に教える必要があるのだし、学校で学ぶ科学的知識を日常生活に移行させるためには、単元や章に分かれている従来型の教授方法ではだめである。漠然としたテーマを与え、生徒が自ら（多くの場合には班を形成して）問題点を整理し、再構成していく手法が必要なのであって、そのために基礎知識を学ぶのである。科学を学び、日常の課題に活かす、という2つのステージに分けて考える必要がある。

### 2 地学教育のむつかしさ

地学に関していえば、研究材料を豊富に手に入れることが困難であり、また過去のできごとは断片的にしかわかっていない。実験をしようにも、そもそも実験すること自体が不可能である場合が多く、また何とか実験できるとしても、どのような条件でおこなえばよいのかが問題になる。たとえば、過去の環境は現在と異なっており、現代の常識的な条件をそのままあてはめてよいのかどうかを検証される必要がある。現代成り立つことが過去にも成り立っていたという保証は何もないにもかかわらず、断片的な情報から、長大な過去の出来事や状態をひもといていかなければならない。従ってそこには、他の科目よりも研究者自身の主観や観念が入り込みやすい。

地学では、われわれが日常何の気なしに使っている方位や向きの言い回しができない。われわれは、太陽の光が射してくる方角を東、太陽が沈む方角を西、と呼んでいるが、これは地平座標で考えたもので、同じ太陽の向きが朝には東であり、夕方には西になることを実感として把握できない（第1図）。彼は自分が動いていると経験的に認識することがないため、自分を中心にして物事を考えるからである。宇宙空間という座標経がはっきりしない場所における相対的な位置関係も同じである。宇宙空間に漂っている宇宙飛行士にとっては上も下もない。このような宇宙空間を、科学者が主観的で概念的にとらえようとしているだけである。視点はどこにあり、どちらを向いているのが重要であることに気付かない。

四季についての思いこみもよく見られる。地球は、太陽を1つの焦点とする楕円を描きながら、太陽の回りを1年に1回転している（ケプラーの第1法則）。つまり、地球は太陽に近付いたり遠ざかったりしている。太陽に近付いたとき、



第1図 ある地点からみた東と西

熱源に接近すると熱くなる印象があるため、近日点付近を「夏」と思いこんでいる生徒が多い(実際には冬である)。日本に四季があるのは、地球の公転面に対して地軸が垂直ではなく、そこから23.4度だけ傾いていることによっておこる(第2図)。このことは、写真1のような単純な模型を用いることで、驚くほどよく理解させることができる。同様の「思いこみ」は、鏡に映った「わたし」でも見られる。大人は鏡に左右逆に映るのが「あたりまえ」のことだと思っている。あたり前だと考えて、鏡の性質を正しく理解しようとしなくて、たとえば、鏡に映った像の左右は逆転するのに、どうして上下は逆転しないのか。きれいに磨かれた鉄板を平らにして自分を映すと左右が逆になるが、左右から圧力を加えて内側に湾曲させてやると、左右の逆転はおこらない。こんどは上下から圧力をかけて内側に湾曲させると、上下の逆転がおこらない像が映る。

また、視点を変えて頭の中で立体的に組み立てる想像力が必要とされることも、地学を難しいものになっている。たとえば、天球図は天球を外側から眺めているが、実際の観測者は天球の内側(中心点)に位置しているため、経験を活かすことが難しい。これに関する実際の問題例を資料1に示した。また、地質図は上空から眺めたように描かれた図であるが、実際の観測者はもちろん地上にいるわけで、資料2のような

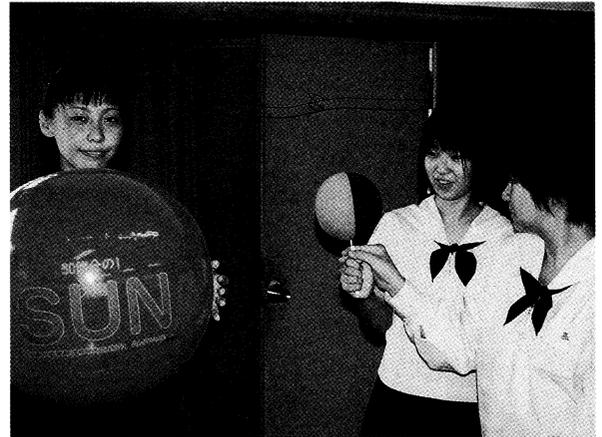
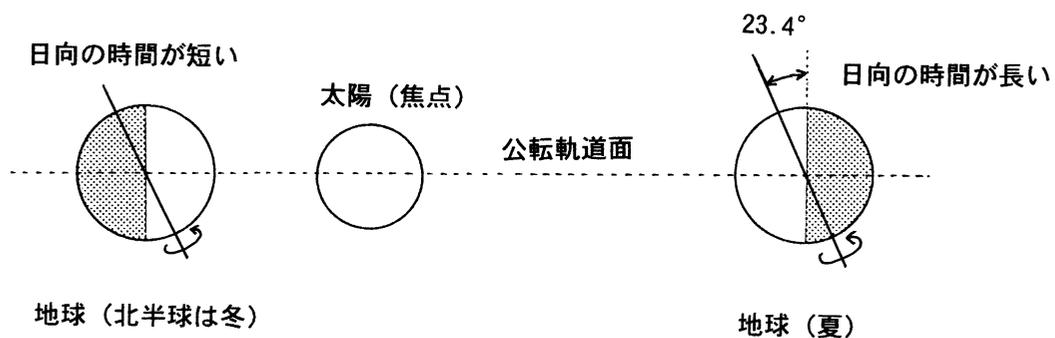


写真1 四季の確認

問いは生徒が非常に手こずる問題である。これには、単純な模型を生徒に指し示すことによって解決の糸口をさぐらせることができる。たとえば、天球の問題では、帽子のようにかぶることのできる模型(写真2)を紙で作り、頭にかぶせて見せながら説明するとか、地形と地層の傾斜の関係を地質図から読みとる場合には、単純な山の模型(写真3)を用いて説明する、などである。

もっとも難しいのが、目で見えない、手に取ってみることができないものを、実感として理解させることである。転向力などはもともと存在しない架空の力であるが、それによって風が吹いたり、移動する物体が進行方向を曲げるように見えたりする。大きなターンテーブルのような回転円盤に生徒を乗せて、ゆっくりと回転させながらボールを転がす実験をしても、「それは理解できたが、だからどうした」となり、実際の自然現象と結びつかない。見えないからモデル化するのだが、実感がわかない以上、何をどうしてもやはりそれは、「知識」としての理解でしかない。その上に数値計算が加われば、とたんに「難しい」となる。しかし、基本的な計算能力の習得は不可欠であろうし、日本における地球の自転の速さなど、数値計算があつて初めて実感できることもある。

一方で、生活に密接に関係した内容もある。たとえば河口付近の川で見られる水の色の変化(海水が川を逆流して上ってくる様子)や、朝と夕方での風の吹く方向が変わる現象(陸と海とでは太陽の熱によって暖められやすさに違いがあるた



第2図 北半球における夏と冬

1 図1は、ある日のある時刻に、北緯35°に位置するX市から北天を見たようすである。Oは北極星、Pはある恒星を示している。

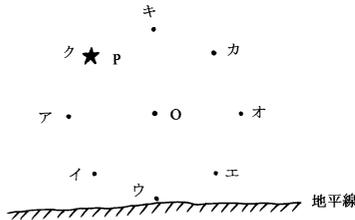


図1

- (1) 恒星Pの3時間後の位置はア～クのどこか。
- (2) 恒星Pの3ヶ月後の位置はア～クのどこか。
- (3) この同じ場所から、一定の時間だけシャッターを開いて東の空を撮影すると、どのような写真が撮れるか、模式的に図示せよ。
- (4) 4方位の星の動きの見え方を立体的に組み立てて、図2のような天球をつくる。天球の中心HはX市である。ここには、同一赤経上にある恒星PとQのある時刻の位置が示されている。A～Dは4方位、∠OHG = 90°である。6時間後の恒星PとQの位置を図に書き込め。

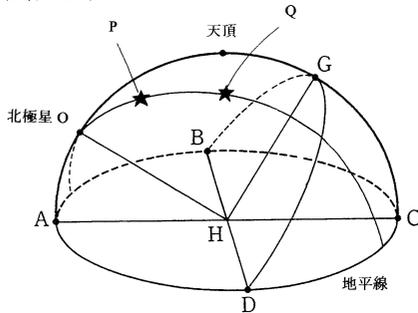
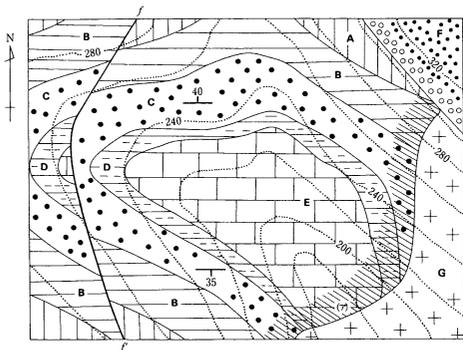


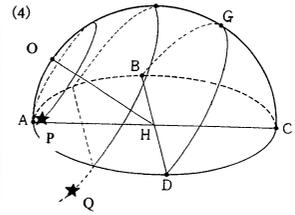
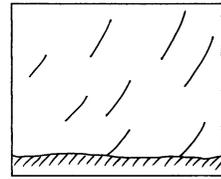
図2

VI 図はある地域の地質図である。Aはチャート、B・Dは泥岩、Cは砂岩、Eは石灰岩で苺すい虫(フズリナ)を含んでいる。A～E層はしゅう曲しており、また断層f-f'によって切られている。Fは砂岩で下位には礫層がある。Gは花こう岩で、Gに接する斜線は接触変成作用を受けた部分である。この地域では地層の逆転はないものとして、問いに答えよ。(20点)



- 問1 F層の走向・傾斜はどれか。 [43]
- |    |     |     |     |     |       |       |       |       |
|----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|
| ①  | ②   | ③   | ④   | ⑤   | ⑥     | ⑦     | ⑧     | ⑨     |
| 走向 | N-S | N-S | E-W | E-W | N45°E | N45°E | N45°W | N45°W |
| 傾斜 | 東   | 西   | 北   | 南   | 北西    | 南東    | 北東    | 南西    |
- 問2 A～Gのうち最も古いのはどれか。 [44]
- 問3 断層f-f'の種類とずれについて正しいものを選び。 [45]
- 「(a)断層で、断層の西側が相対的に(b)がっている。」
- |     |   |   |   |   |    |
|-----|---|---|---|---|----|
| ①   | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥  |
| (a) | 正 | 正 | 逆 | 逆 | 垂直 |
| (b) | 上 | 下 | 上 | 下 | 上  |
- 問4 E層の(ア)の部分では有用な金属鉱床が形成されている。このような鉱床を何とよぶか。 [46]

解答 (1) ア (2) イ (3)



資料1 天球に関する問題例

- 問5 F層の下部にある礫岩を何とよぶか。 [47] また、この礫が形成された過程を40字以内で記せ。 [48]
- 問6 この地質図の中で、新旧関係が判断できないのはどれか、1つ選べ。 [49]
- ① A層の堆積とE層の堆積
  - ② F層の堆積とA～E層の堆積
  - ③ E層の堆積とGの貫入
  - ④ 断層f-f'の形成とGの貫入
  - ⑤ A～E層のしゅう曲とF層の堆積
- 問7 断層f-f'およびA～E層に働いた力について、①～⑥から正しいものを選び。 [50]
- 「断層f-f'は(a)方向の(b)力で、A～E層のしゅう曲は(c)方向の(d)力によって形成された」

	(a)	(b)	(c)	(d)
①	東西	圧	南北	圧
②	南北	圧	東西	圧
③	東西	張	南北	圧
④	南北	張	東西	張
⑤	東西	圧	東西	圧
⑥	南北	張	南北	張

設問	[43]	[44]	[45]	[46]	[47]	
解答	9	E	3	接触交代鉱床(スカルン鉱床)	基底礫岩	
配点	2	2	2	3	2	
設問	[48]				[49]	[50]
解答	下の地層が陸化し侵食された。その後再び沈降して侵食面に最初に堆積したものである。				4	1
配点	3				3	3

合計20点

資料2 地質図に関する問題例 (兵庫県下高等学校一斉試験 理科 平成元年度第40回問題)



写真2 天球をイメージする

め)、さらには暦や星座、時差などである。これらは、理科の他の科目にはない親近感をもって生徒に受け止められる。

### 3 自然科学と社会

高等学校で理科を教えているいつも思うのは、教科書の記述が「必要なことだけが書いてある窮屈なもの」ということである。純粋な自然科学は、確かに自然の探求にその目的があるが、社会との関係を抜きにして科学を考えることはできない。ところが教科書には、科学が人間にとってどのようなものなのか、科学はどのように人間社会に関わっているのか、あるいは関わっていくのか、についての記述が実に乏しい。これはたとえば、とりたてて地学に関心があるわけでもない生徒に地学を教える際に、最も重要な位置付けであるはずである。最初から興味の薄い生徒に向かって「自然の究明の喜び」を純粋に説いても効果は薄い。その意味で、現在の教科書は「既に興味・関心がある生徒にとって」有効な百科事典のようなものである。授業においても、社会との関係について、さらに深く取り扱って興味付けをおこなうことが重要であり、教科書内容の古典化から脱却する必要がある。正しいとわかっていることが自己充足的で客観的に、理路整然と教科書に説明されていて、最先端とはいわなくても、「よくわかっていない」問題にはこのようなものがあって、このような議論がなされ、このように調べられている、といったような直接社会とつながる内容がもっと教育内容に含まれていても良いのではないか(実はこれが最もおもしろい)。このような発想は、教科書を「知識の情報源」とするのではなく、より社会に開いた窓として扱う方向に広がっていく。丸暗記ではなく、自分で考える力を身につけるのである。

自然科学は、人の心を排除して自然の対象物と向き合い、できる限り客観的の数値に基いて探求する活動である。そこには本来、社会的意味合いをもたせてはならない。一方、研究者はその時代の社会の中で生きるものであるから、研究テーマあるいは個人的興味・関心は、日常生活や彼自身の日常的経験(観念)からもたらされる。その意味では、社会的な意味

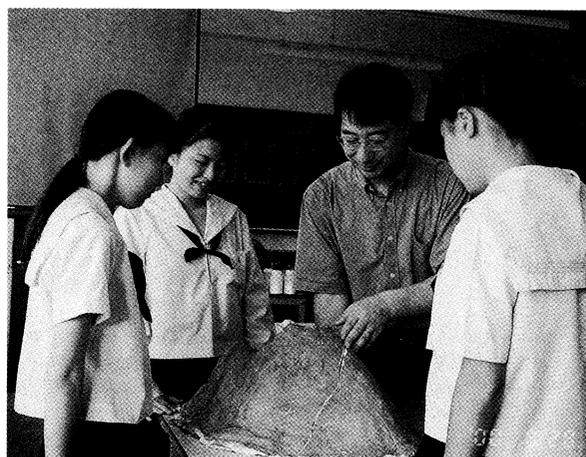


写真3 地形と地層の関係を説明する

合いをもたない研究はあり得ない。逆にいえば、そうであるからこそ、自然科学は日常生活から遊離した特別のものにならずにすんでいる。

筆者が日頃感じるのは、科学によってもたらされる恩恵に対する哲学(倫理)の不足である。近年だけでも、阪神淡路大震災、オウム事件、高速増殖炉もんじゅの事故、オゾン層の破壊など、科学と社会との関係を考えさせられる出来事が多く起こっている。科学者の、「われわれは自然を相手にしているのであって、人間を相手にしているのではない」という確固たる位置付けの意識が、彼らの基礎研究によって生み出された社会問題に対して、「どうして社会に対して責任を負う必要があるのか」という発想に自然と結びつく。現代は、科学技術なしの生活など考えられない時代である。また近年は、科学が技術化されるまでの時間が極めて短く、社会的合意を得るのに十分な時間がとれないまま既成事実がどんどんと作られていく。そして、いったん技術化されると、もはや後戻りできない。これは近年の脳死と臓器移植の議論で、さ

んざん指摘されたことである。科学者自身も、オウム事件にかかわったり、エイズ被害事件にかかわる場合があるくらいである。このような科学への「依存」と「不信」の同居が、カルト宗教のようなものへの傾倒をもたらしているのかもしれない。専門家は、自分の領域について誇りをもっているのだから、知らず知らずのうちに独善的になりやすい。科学については、専門家ばかりではなく、市民全員で考えなければならない。専門家は科学の力を生み出す方法について、一方、市民は科学の力を社会にどのように活かしていくのかについて意見をもつ必要がある。

現在我々が抱えている問題として環境問題があるが、それ1つをとってみても、化学、地学、動物学、植物学、生態学、地形学、気象学、物理学、等々、ある特定の領域に収まるような問題はない。さらに、このような問題は自然科学だけではなく、社会科学との対話も必要である。地球温暖化の問題に、自動車の出す排気ガスは重要な要素であるからである。いつまでも既得権に閉鎖的にしがみついて、自分の領域に固執していたのでは埒があかない。化学・生物・物理・地学、理系と文系、あるいは自然科学と社会科学のように対比的に扱われてきた領域間での対話が必要であり、教育現場でも、それに即した改革が必要とされているのではないか。理系の学生には社会について、文系の学生には科学についての知識と理解が必要である。学校教育で文系と理系に分けられていることは、この点から見ても好ましいものではないし、文系の生徒が「どうして理科を勉強しなければならないのか」と質問してくる時には、帰納法と演繹法の思考の訓練をするためだということとともに、前述のような意味付けを説明してやらねばならないだろう。

### 自然探究の過程と手法

自然の探求方法を学び、その楽しさを生徒が体験することが、理科教育の根本である。従来、化学・生物・物理・地学といった各領域ごとのしぼりがきつく、十分な理科教育ができなかった。また、科学者のいう「科学」と、学校教育で教える「科学」とは異なるものであるから、自然探求の方法については、特に項目を設けて取り上げる必要がある。そこで次に、筆者が現在おこなっている授業をレジュメの形でまとめる。

#### 1 自然の実体験

最初の第一歩は、やはり自然とのふれあいの実体験である。本来、自然科学の学習は、既成事実の暗記にあるのではなく、とにかく自然に触れて感動し、それらの中から自然界の規則性を探求することにある。たとえば、地学の第一歩は、暗記ではなく、野外に出て地学現象に触れることであろう。そうでなければ、新しい発見などなされることはないし、学問自体が無味乾燥したものになってしまう。授業をしていると「理科離れ」どころか、むしろ生徒の自然に対する興味・関心は強いことを実感する。教師の提供方法が「演繹的」であって、生徒に潜んでいる自然科学への興味・関心を眠らせて封じ込めてしまっているだけである。これを呼び起こすのは実体験である。

#### 2 具体的事象の観察

次に、興味・関心をもった事象を細かく観察し、比較したり分析したりする。たとえば地層や化石、顕微鏡下での鉱物などをスケッチする。その個体がたまたま受けた傷や模様などをそのまま写すのではなく、必要なものと不必要なものを意識的に取捨選択し、ある意味では直感的に必要なものとそうでないものを認識して描く。ある鉱物にたまたまできた傷を一生懸命丁寧に描く一方で、重要な劈開を書き漏らすなどしていたのでは、スケッチする意味がない。そのために、対象物を真摯に、しかもたくさん観察することが必要である。このように観察された対象物は、類似点をもとにして分類する。地質学や生物学のような比較的新しい分野においては、記載的方法や分類的方法が大きな価値を持ち続けている。

#### 3 体系化・法則化

フランスの偉大な科学者ルイス・パスツールは、「下準備のできている意識に対してのみ、偶然是手助けする」と述べているが、次によく、演繹的(論理的)あるいは帰納的(理論的)な方法によって、普遍的に体系化する段階に入る。この段階ではじめて、過去の研究者たちの業績や仮説・理論が、現在扱っている対象物にもあてはまるかどうかを検討する、といった演繹的(論理的)な作業をおこなう。ここでは、無神経に、既に知られている事象から目の前の自然の問題を「単純明快に」説明してしまってはならない。ともかく対象物を何度も何度も謙虚な態度でよく観察し、また近接する領域についての知識を十分に蓄える。古生物学を学ぶ者が、現生の生物の知識や地質学、地理学、統計学などといった領域を「専門外」と割り切ってしまう態度は、あまりに偏狭な見方であろう。直感力や感受性を養い、観念論であきらめてしまう態度から身を守るのである。これはつまり、一般常識といわれていることがらを疑ってみる、という姿勢である。従来理論に当てはまりきらない仮説(パラドックス)が生じていれば、帰納的に普遍的で本質的な自然の法則を作り上げるチャンスである。

帰納法の段階ではまず、対象物のある属性に注目し、他の属性を無視することから始まる。どの属性に注目するのがポイントであり、それはこの段階に至るまでの、観察や実験・分析などの作業量とその内容によって決まる。さらに条件を一定に固定し、できるだけ簡潔な状態で仮説を作り上げる。これは主観的な直感に大きく左右されることになる。取捨選択の段階で切り捨てられてしまった属性や条件にこそ重要な問題が含まれているのかもしれないからである。しかし、豊富な経験があれば、それは科学的な直感でもあるはずである。

科学では客観性が重要とされる。実験データをグラフにプロットしたとき、前もってある相関関係を期待して見ると、まったく客観的には散らばっているようにしか見えないプロットに、ある直線関係が浮き上がって見えることがある。これを作為的とみるかどうかは、大変デリケートな問題である。あるいは、彼だからこそ成功する実験というものもあるのだから、実際には客観性を確保するのは簡単ではない。これらの問題を少しでも押さえるためには、まず定性的な実験・分析をおこない、全体像を把握した後に簡単なモデルを作る。

これには、問題点をより小さな部分に分ける方法（要素還元論：複雑にみえる現象も基本的な部分では単純な要素によっておこっているという考え方で、フランスのルネ・デカルトによって提唱された）と、全体の合理性を大きい視野で考える方法がある。近年は要素還元論が行き着くところまで到達した感があるので、むしろ全体を見通す方法にも光が当てられるようになっていく。このようにしてモデルができれば、それから定量的に数学を利用して分析していく。数学を用いることによって、誰もが共通に議論することができ、数値によって何がわかったのかが客観的に示される。近年では、研究が非常に限られた領域で専門的におこなわれるため、数値で表す場合でも非常に複雑になる。これが、学生が科学を敬遠する1つの要因になっているのかもしれない。しかし、科学について議論するためには数学的知識が不可欠であるから、高等学校で定性的知識を教える授業ばかりを展開していると、これからの科学界はたいへんなことになる。

従来は帰納法が要素還元論と結びついて、原子説やDNAの研究など、自然界の出来事を細かい基本部分に分け、それを詳しく研究することによって、その構成物である全体像が把握できるとされ、科学は進歩してきた。従来のニュートン力学では、初期条件を与えさえすれば、その後の状態は完全に予測することができるが（決定論）、現実には初期条件のわずかな違いが時間と共に拡大していき、全く違った結果が出るのが少なくない。また、フラクタル現象では、どこをとっても、どこを拡大してもさまざまなスケールの現象がまじっているのだから、何が問題なのかがわかりにくく、全体を要素に還元しても意味がない。要素還元論では、脳死のような問題を完全に解決できないし、地震や乱流、天気予報などのような非線形現象を説明できないという反省から、こんどは自然全体を1つの系としてみるという姿勢が主流になりつつある。すなわち、従来は要素還元論で説明のつく事象のみを扱い、しかも現象を簡単な指標によって単純化・理想化していたが、実は科学がまだ扱っていない現象の方が圧倒的に多い。個々の事象を別々に説明するのではなく、それらの事象全体を総合的にとらえて、矛盾のない法則性を導き出すということである。この意味では、理系とか文系とかいう分類ももはや古いものになりつつある。

#### 4 試行錯誤と議論の重要性

科学研究の最終目標は、客観的事実に基く真理の発見にあるのだから、その結果については研究者の個性はまったく表れてこない。しかし、その過程では、研究者の個性によって方法論が異なると当然である。最初は見通しの立つ小さな問題について、自分独自の手法を確立することが重要である。研究とは、失敗を重ね、1つの問題に様々な角度から切り込んでみることによって、結果的に成果がもたらされるものであるが、教科書には結論が示されるのみであり、重要で最も楽しい「試行錯誤」について教えられていないことは問題である。

また、自分と異なる意見や対立する立場の研究者との議論の重要性も指摘しておきたい。そこから、ものごとの本質的な問題点が見えてくるからである。そしてそれが基礎となって、発表後すぐに次の新しい発見がなされ、自分の発見が古いも

のになってしまうことにも喜びを感じるものである。岩石学者の都城秋穂氏は「自分の唱えた説が否定されることは、何か恥ずかしいことだと思われがちであるが、否定されるような説は内容の豊かな説であって、それを唱えたことはすこしも恥ずかしいことではないのだ」と指摘する。地学はまだまだ新しい学問領域であるため、多くの学説が現れ、多くの学説が否定されていく。科学者がおこなっているこのような思惟の過程を生徒に伝えていくことは、重要な「理科教育」ではないか。

#### おわりに

週5日制に向けて学習指導要領の改訂にともない教育内容が変化し、授業内容や授業方法の検討を通して理科教育を見ると、現代は真の理科教育が困難な時代である。しかし、生徒の自然に対する興味・関心が依然として萎えていないということは、理科教育に携わる者として、心強さとともに責任の重さを痛感する。化学・生物・物理・地学といった小さな枠組みにとらわれていないで、より幅広く隣接する多くの領域に視点が向くような授業を展開していこうという勇気もわいてくる。守るべきものは守りながら、時代の流れに対応していかなければならない。なお、本論における科学全般についての考えは、井尻(1977)をはじめ、多くの先人たちが残した教訓をもとに培ったものである。

#### 謝 辞

筆者が高等学校の教諭として教壇に立ったときに強烈に感じたのは、理科の授業で展開する「科学」と、大学で学び身に染みついている「科学」とのギャップであった。高等学校では、自然科学を自ら学ぶための基礎力をつけることを目的としているが、あまりに画一化された内容にとまどいを覚えた。筆者が島根大学および同大学院に在学中より、徳岡隆夫先生は、高等学校における理科教育に対する危機感を常々口にされており、それに触発されて、教諭となってからもあれこれと試行錯誤を重ねることになった。「このようなもの」と割り切って身をまかせてしまうことがなかったのは、徳岡先生のご教示のおかげである。ここにあらためて謝意を表したいと思う。

#### 文 献

- 大学入試センター, 1999, 学生の学力低下に関する調査結果。
- 井尻正二, 1977, 科学論。大月書店。
- 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～。島根大学地質学研究报告, 13, 69-83。
- 川勝和哉, 1997, 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, 2, 2-4。
- 川勝和哉, 1999, いま理科教育について考える。兵庫地学, 44, 40-45。
- 文部省, 1999, 高等学校学習指導要領「理科」

(受付: 2000年9月18日, 受理: 2000年11月20日)