

# 中高理科教育法 (3)

関口 昌秀

## 第5章 実験の位置づけ

### 実験は仮説の検証である

学校で行う実験は、科学研究で実施される実験とは、その性格が異なる。学校で行う実験は、前もってどうなるか、わかっている。それに対して、研究の先端で行われる実験は、ある仮説を検証するために行われる。実験結果がどうなるかは、やってみなければわからない。では、学校実験は、何のために行うのか。

### 科学的概念を理解させる出発点としての学校実験

「スチールウールに火をつける」実験をやってみると、スチールウールが燃えることが確認できる。スチールウールとは鉄を極細の線状にしたもののことから、この実験は、ふつうには燃えるとはとても思えない鉄という金属が燃えることを示すわけである。金属である鉄の燃焼である。教科書ではスチールウールの前にマグネシウムリボンが激しく燃え出すことを確認させている。<sup>1</sup>

マグネシウムも金属であるが、鉄ほどの馴染みはない。スチールウールの方は日常生活で使われるものだから馴染みがある。極細とはいえ鉄である。それが火をつけると、燃え出すのである。鉄が赤く燃え出すというのは「驚き」である。「驚き」があり、しかも簡単な実験である。そういう意味で、スチールウールの燃焼実験は、面白い実験である。

この実験から、授業では、「燃焼」というのは、「酸素との結合」であること、つまり「酸化」であることを教えていく。燃焼というのは、スピードの速い酸化であり、もっとスピードの遅い酸化として、馴染みの「さび（錆）」という現象があることも、教えていく。このようにして、「酸化」という「科学的概念」を教えていく。

燃焼実験からここまでの授業の展開を見れば、実験が酸化という科学的概念を教えるための出発点に立っていることがわかる。このほかの学校実験も、これと同じように、ある「科学的概念」を生徒に理解させるための出発点となるものといっていよう。

第2章で述べたように、科学研究のプロセスは観察からはじまる。それと同じように、科学的概念を理解するための出発点として提示される事実、日常生活ではあまり見かけないが、ある制限を加えて極端化してみると見えやすく分かりやすくなる事実、それを生徒

<sup>1</sup> 『新版 理科の世界2』大日本図書、2015年検定済、43頁。

に示すこと。これが学校での実験の役目の一つである。そこを出発点として、授業では目標である「科学的概念」の理解へと、生徒を導いていくことになる。

### 科学のプロセスに関する補足

科学のプロセスは「観察」→「疑問」→「仮説」→「予測」→「実験」である、と述べてきた。ここでは「観察」は出発点で、「実験」が終点となっているように見える。だから、上で述べた、「学校実験が観察である」という点については、少し補足が必要である。

一般に、実験とは統制された形での観察である。観察しようとする目的を絞った形で行うもの、それが実験である。自然に起こる現象をそのままに観察するのではなく、自然に対して働きかけて、観察目的の現象を観察しやすいようにした形で、人間が能動的に行う観察が実験である。

したがって、先の科学のプロセスにおける出発点の「観察」と終点の「実験」は、つながっていると考えた方がよい。

実際、大きなキャンベルの教科書は、科学のプロセスは、直線的ではなく、循環していくと述べている。<sup>2</sup> 研究は続いていくのだから、このようにサイクルとなっていると考えるのが正しい。

このように科学研究のプロセスを循環ととらえると、科学研究の初発はどこにあるか、という問題が発生することになる。

それに対する答えは、既知の見方・考え方に対する疑問と考えるのがよいだろう。自然科学も、社会科学や人文科学と同様に、「驚き」からはじまると思う。簡単に言えば「不思議だな」ということである。ギリシャ哲学の言葉を使えば「タウマゼイン」（驚くこと）である。「驚き」から探求がはじまるというのは、近代科学においても真実であると思う。

### 実験が授業の出発点とならないこともある

ただ、念のために言えば、授業の展開として、つねに実験が出発点になるというのではない。すでに述べたように、多くの場合、科学的概念はたった1回の実験で理解できるようなものではない。

上に挙げた「酸化」の実験は例外である。酸化が科学的概念としては単純だといってもよい。「法則」という形に一般化されるようなレベルの科学的概念は、1回の実験で理解できるようなものではない。

中学校に入学してほどなく習う「光合成」現象<sup>3</sup>は、複雑な科学的概念の例である。光合成を1回の実験で理解させることはできない。教科書では、光合成に光が必要なことを確認するために、日光に当てた葉と当てなかった葉を対照して、ヨウ素デンプン反応をする。さらに、同じ1枚の葉を使って、その一部をアルミ箔で覆ってヨウ素デンプン反応をさせて、デンプンの形成に光が必要なことを確認させる。

また、光合成に二酸化炭素が必要なことを確認するために、タンポポの葉を入れた試験

<sup>2</sup> 『キャンベル生物学 原書11版』丸善出版、2018年、19-20頁。

<sup>3</sup> これは、2017（平成29）年改定以前の中学校学習指導要領でのことであり、改定では「光合成」は2年次配当となっている。

管とそれと対照するために何も入れない試験管を用意し、それらに息を吹き込んで30秒程度光を当てた後、石灰水を入れて、両方の試験管の濁りぐあいを見る。それで二酸化炭素の濃さがわかる。あるいは、BTB液を両方の試験管に入れ、酸性・アルカリ性を確認する。そうやって、タンポポの葉を入れた試験管の方が、二酸化炭素が減少していることを観察する。<sup>4</sup>

以上のようにして、光合成に光と二酸化炭素が必要なことを確認する。そのためには、複数の実験をすることになる。光の当たった葉と当たらなかった葉でヨウ素デンプン反応をし、同じ1枚の葉でさらに光の当たった部分とアルミ箔に覆われて光が当たらなかった部分を用意して、同じヨウ素デンプン反応で更なる確認をする。

ここにはすでに、複数個を一組みとする比較対照実験の考え方が導入されている。二酸化炭素の確認でも、石灰水とBTB液の2種類で確認させている。さらに、教科書には、オオカナダモの細胞中の葉緑体を写した顕微鏡写真を載せてある。オオカナダモの顕微鏡観察実験も、しようと思えばできなくはない。

このように、光合成を理解するには、1回の実験ではダメであり、数多くの実験をしなければならない。科学的概念と実験との関係としては、このような形になる方がふつうである。

### 仮説実験授業にふれて

「問題→予想→討論→実験」という形が、仮説実験授業の基本的な構成単位である。「予想」は対立するものとなる。予想が対立しなければ、仮説実験授業は成立しない。この対立する「予想」、これが「仮説」に相当するが、この「仮説」を証明するものとして、「実験」がある。「実験」によって、対立する「予想」(＝仮説)のどれが正しいかが確認できる。

先に、「学校における実験は結果がわかっている」と述べたが、それと仮説実験授業の手法は、対立しているように見えるだろう。そういうわけで、ここで仮説実験授業について一言しておきたい。

中学高校の授業を念頭におくと、仮説実験授業の手法の一部を取り入れることは可能だが、仮説実験授業を全面的に取り入れることは、おそらく不可能だろう。そう考える第一の理由は、仮説実験授業の手法は「授業書」に基づいて行われるものだが、そうすることができないということである。時間数の関係から考えて、中学高校の単元を「授業書」に合わせるのは、難しい。だから、授業の展開としては、ここにある手法の一部を取り入れるということになると思われる。

### 発問を選択肢で出してみる

たとえば、授業の中で「発問」するとき「選択肢」とする。ただし、ここで念頭におく「発問」は、それに対する生徒たちの答えが大きく分かれると考えられるものである。「発問」としては、授業をすすめるために、生徒の答えがほぼ一つになるようなものをすることもある。しかし、そうでなく、生徒の答えが分かれるような「発問」をすることができ

<sup>4</sup> 『新版 理科の世界1』大日本図書、2015年検定済、32－36頁。

るならば、仮説実験授業の手法の一部を取り込める。分かれた「予想」を生徒たちに「討論」させることもできる。もし、その「発問」の答えが「実験」によって決着がつくものならば、「問題→予想→討論→実験」と、仮説実験授業の手法と重なる。違いは、「授業書」がないことだけである。

しかし、中学高校でそうなる場面は、ほとんどないではなかろうか。生徒たちに「討論」させるということまでが、せいぜいのところだろう。生徒の「予想」に対する正否は、教師が与えることになる。そうなっても、うまく生徒の「討論」を組織できるならば、科学的な考え方のトレーニングとして上出来である。この手法はアクティブラーニングである。

### 発問する「問い」についてよく考えてみる

中高校生をそういう「討論」にもっていくことは、現実的には困難なことが多い。生徒の予想が分かると考えられることがあっても、それを「討論」させることに意味がない、という場合もある。「討論」させることに意味がないというのは、最初の「問題」がよくなかったのである。生徒に考えさせる問題については、十分考えなければならない。生徒に考えさせる問いとしては、どんな問いがあるか、それについては仮説実験授業の「授業書」は参考になるだろう。

ただし、「授業書」は科学教育上の基礎的概念について作られているので、すべてを覆っているわけではない。よって、君ら自身で考えなくてはいけないことの方が圧倒的に多い。たとえば、次のような「問い」については、生徒の予想が分かれるだろうが、それについて討論させることに意味はない。

「人間の細胞の個数」を「問題」として、「予想」の選択肢を作成する。この問いについて、生徒の選択はおそらく分かれる。細胞の個数が多いとは思っても、ほとんどの生徒は、それがどの程度になるか想像もつかない。選択の理由を生徒に聞いても、単なる当てずっぽうということになるしかない。細胞の個数を知っている生徒はそれを選択するだろうが、その生徒も個数がそうな理由は知らないだろう。そもそも、細胞の個数の理由を問う意味があるのか、そこが疑わしい。

このような「問題」では「討論」を組織する意味がないのである。

### 科学教育上の基礎的概念と仮説実験授業の「授業書」

板倉聖宣は、科学上の基礎的概念として、「重さ（質量）の概念、力の概念、慣性の概念、振動の概念、物質の概念、化学変化の概念、進化の概念等」<sup>5</sup>を挙げている。そして、これらの基礎的な概念に関して、仮説実験授業は構想されている。

授業書は、『ふりこ振動』、『ものとその重さ』、『ばねと力』などについて作成されている。これなどを見ると、中学校の授業でも使えそうに思えてくる。

しかし、わたしは、君たちに、この授業書を使ってやってみなさいと勧める気にはなれない。仮説実験授業の授業書は面白いし、だれが使っても授業ができる。そういう形のものとして、「授業書」はつくられている。しかし、「授業書」の通り進めると、多くの時間

<sup>5</sup> 板倉聖宣・上廻昭編著『仮説実験授業入門』明治図書、1993年、19頁。

がかかる。これが仮説実験授業の（おそらく唯一の）欠点である。

学習指導要領で縛られた内容を正規の授業時間内で教えるためには、よほど練達の士でもない、残された時間内で残りの教育内容を教えることはできないだろう。自分がそういう力を身につけたのではないかと思ひ、かつ、仮説実験授業の手法を面白いと思ったときには、そうしてほしい。

## 第6章 学習指導案について

学習指導案作成の細かい項目立てや形式等については、本学（神奈川大学）の教職課程担当教員たちで作成した『教職ハンドブック』<sup>6</sup>に記載されているので、ここでは補足的なことを述べる。

### 学習指導案を作成する目的

学習指導案を作る目的は、まず何よりも、授業のねらいをはっきりさせることにあり、とわたしは思う。

その回の授業で、いったい何を教えるのか。何を生徒に理解してほしいのか。そこを、自分の中で、明確にしておかなくては行けない。

その「ねらい」に向かって、1時間の授業を組み立てる、ということになる。

何を教えるのか分からない、という諸君には、「学習指導要領を見よ。」ということになる。原則的にはそれが正しい。でも、それは、少し抽象的で、難しいかもしれない。そういう諸君には、教科書を見るのが一番よい。何を教えるのか具体的には教科書に書いてある。

### 教科書は教材である

確かにそうなのだが、注意してほしいことがある。

「教科書を教えるのではない。教科書で教える。」ということである。

教科書をなぞっても、目標（ねらい）が明確でなければ、授業にはならないのである。検定教科書は主たる教材であるが、あくまでも「教材」のひとつである。教えるための道具である。

だから、教科書を教えるのではなく、教科書を「使って」教えるのである。

### 教える内容

では、教科書を使って何を教えるのか？

君らの場合は、当然、理科を教える。もっと、別の言葉でいえば、自然科学を教えるのだ。もちろん同じ理科でも、小学校、中学校、高等学校では、レベルが違う。どの辺りのレベルが適切かということを決めたものが学習指導要領ということになる。

学習指導要領がレベルだけを決めたものだというのは単純すぎて良くないが、当座とし

<sup>6</sup> 神奈川大学教職課程『教職ハンドブック』。現在はデジタル版である。神奈川大学のHPから入手可能なのは、対象学生のみとなっている。



ては簡単に、そうしておくのがよいだろう。ただ、先にも言ったように、学習指導要領ではやや抽象的になる。そこを補うために、教科書が有用だということである。

## 1 時間の授業内容の分量

1時間の授業で、教科書のどの程度の量をするか。大まかに言ってしまえば、2ページから3ページである。これは、教科書の総ページ数を年間授業時数で割った数字である。これを目安とするとよい。

実際には、授業をどのように進めるかによって、授業の進度は変わる。実験を多く取り入れれば、当然、教科書の説明的部分に費やす時間は減る。また、単元の最初で単元全体のイメージを与える時間を取れば、当然その分だけ時間は減る。

今、「教科書の説明的部分」と言ったが、それは、教科書の本文のことである。教科書の紙幅全体に占める「本文」の量は、以外に少ない。中学校教科書の場合は、本文は半分以下しかない。高校の教科書でも、本文は3分の2程度である。

学習指導要領で決められているのは、その本文の部分である。それ以外のコラムや「アドバンス（発展的学習）」という囲み、あるいは図などには、重要なことが書かれていることが多い。それを授業にどう生かすかを考えることも重要である。

## 授業の組み方には幅がある

どのように授業を進めるか。教科書通りに授業を進めていくとは決まっていない。

毎回2ページ程度教科書の順番通りにやっていく授業もあれば、最初に全体的なイメージを与える授業もある。さらに、同じ光合成の単元を教えるのでも、教科書のようなやり方もあれば、違う順番で教えるやり方もある。それらについては、参考書類を調べることである。

光合成なら光合成の単元での「ねらい」を明確にして、それで、自分なりに組み立てればよい。授業のやり方には、こうやらなければならないと決まっていることもあるが、一般に一定の幅がある。それは、君らの理科教育観によって異なることもあり、君らの性格によるところもあり、また教える生徒がどういう生徒かによっても変わるところがある。

そういうことを、押さえた上で、授業の一般原則のようなものを理解しておくことである。

## 復習からはじめるのは良くない

「導入」部分で、前回の復習からはじめようと計画する諸君もいるが、これは良くないと思う。

前回の復習からはじめると、どうしても、今日やる授業部分との繋がりが切れてしまう。しかも、5分の予定の「導入」が実際には15分もかかってしまう。これは、やってみないとわからない。実際にこれを体験するために模擬授業をすると、言ってもよいくらいである。

復習を入れる場合は、本時の「展開」の中に復習を位置づけることである。これは、単元がどのように進むかによっている。前回の復習がうまく位置づかない授業は、意外と多い。そこを、よく考えて学習指導案を作成することである。

「導入」では、生徒をつかむ。生徒の視線・注目を教師である自分に向けさせる。模造紙を出すとか、絵や写真を貼るとか、プロジェクターで映すとかすれば、生徒の視線は、自然と黒板の方を向く。

これが一般的なやり方である。毎回の授業でこれができるわけではない。これは、単元の初めなどにやりやすい。

## 観点別評価のつけ方

観点別評価をリアリティーあるものとするのである。ふつう、実際の1時間の授業で3観点すべてを評価することは出来ない。1時間の授業中に行える評価は1つないし2つであろう。

学習指導案に3観点をすべて記入するには、単元全体を対象とするのがよい。単元の「指導計画」と一緒に書くと、3観点すべてを記入できる。

評価する際に重要なことは、評価にエビデンス（評価の根拠となる証拠）があること、そして評価が公平なことである。そして、生徒にも親にもわかりやすい評価方法にすることである。

厳格に行うのは、観点別評価が「評定」と関係するからである。公立高校の場合、高校入学の可否は、ふつう、入学試験の点数と中学校3年間の内申点の合計で決まる。この内申点が「評定」である。それが観点別評価で決まることになるので、観点別評価を公平に行うことは重要となるのである。

観点別評価から評定をつくることは「総括」といわれている。<sup>7</sup> 問題は、それをどのように「総括」するか、その方法である。それは1つに決まっているわけではない。

すぐ思いつくことは3観点の平均をとって、それをまとめたものを評定とすることである。しかし、平均といっても、ある項目に重みをつけた加重平均という考え方もある。3つの観点に対等の重みをつけるか、それは考え次第である。なぜなら、2020年まで（中学校）行われていた4観点の「知識・理解」と「技能」が新しい（2017（平成29）年改訂）学習指導要領では「知識・技能」とまとめられた。もしそれまで単なる平均を取って評定を作成していたとすれば、まとめた「知識・技能」には倍の重みをつけないと、それまでとの整合性がつかない。そういう問題が隠れている。

もっとも4観点が3観点へ移行したのは、単に観点がまとめられたというものではない。「関心・意欲・態度」とされていたものが「主体的に学習に取り組む態度」へと変化したのだから、この観点の変更は大きな変更である。そうである以上、前の評価の仕方との整合性を問題にする必要はない。

各学校、各教科、その他によって、総括の仕方は変わるだろう。今の君たちは現場がそうなるだろうということを知っておけばよい。重要なのは、エビデンス（証拠・根拠）をもった厳密で公平な評価を心がけることである。

<sup>7</sup> 国立教育政策研究所『「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料 中学校 理科』2020年、p.7。これは他校種・他教科でも同様に作成されている。

## 第7章 科目構成論と地学の問題

### 理科の科目構成

理科の科目構成は学習指導要領で決まっているのだから、教科教育法に理科の科目構成論を入れるのは、まったく余計なことのように思えるかもしれない。科目構成についてふれる理由は、以下のように考えるからである。

たしかに、教科教育法と教科内容論は区別される。しかし、教科の内容と教科の教育法とは無関係というわけにはいかない。教科の内容については、教科教育法でも触れるべきである。実際、本稿では、理科の内容、正確には物理・化学・生物についてだが、その内容は階層ごとに理論化されると述べ、教科内容に関してすでに触れている。

一般的にいても、教育内容と無関係に教育方法が成立するわけではない。

そういうことから、科目構成について一言したいのである。ここでは科目構成の根拠ないし理由について、すこし考えてみたい。

そしてこれは、地学特に高校地学をどうするかということに関係する。すぐ後で述べるように、地学廃止論があったという事実がある。

### 「科目」「分野」「領域」という言葉

ところで、いままで物理・化学・生物・地学を指して「科目」と呼んできたが、これは法令上の用語とは異なっている。その点注意してほしい。

高校で「科目」というと、検定教科書が作成されているもののことを指す。現行の(2018年告示)高等学校学習指導要領では、理科教科は、「科学と人間生活」「物理基礎」「物理」「化学基礎」「化学」「生物基礎」「生物」「地学基礎」「地学」の9つの「科目」に区分されている。法令上は、「物理基礎」と「物理」がそれぞれ「科目」なのである。

「科学と人間生活」については、これまで触れてこなかった。「科学と人間生活」の他に、「物理基礎」などの「基礎」から1科目を選んで、計2科目を履修すれば、高校理科の必修は完成する。これが理科の必修のもう一つのあり方である。4つの「基礎」から3科目選ぶより、単位数から見ても簡単な必修のつくり方である。そのようにしている高校もある。

カリキュラム論(教育課程論)として、本格的に教科の科目構成を論ずるのであれば、「科学と人間生活」を含めて議論する必要がある。しかし、ここでは、それにはふれない。「地学」の問題についてだけ述べたい。

学問上の「分野」という言い方で、物理の分野、化学の分野という表現をする。しかし、「分野」という表現は、中学校の学習指導要領では、中学校理科の「第一分野」「第二分野」を指す言葉として使われている。

また、物理の領域という表現も考えられるが、「領域」という表現は、「教科領域」に対して「教科外領域」という表現がある。これは教育課程論での標準用語である。

このように、分野、領域、科目、どれをとっても、不都合が生じる。専門用語として使うには言葉の数が少ないのである。そこで、本稿では、物理・化学・生物・地学の4つの分野ないし領域を指して、「科目」と呼ぶことにする。学習指導要領の定義する「科目」を指すものでないことだけは覚えておいてほしい。そうでないと議論の筋が見えなくなる。



「物理基礎」と「物理」は、もともとは「物理」という1つの科目を、2つに区分したものである。歴史的事実をより正確に言えば、その前は「物理Ⅰ」と「物理Ⅱ」に分けてあった。分け方にも歴史がある。この分け方の違いは、そこに含める量の違いと思えばよい。大まかに言えば、「物理基礎」と「物理」は高校物理を1:2に分け、「物理Ⅰ」と「物理Ⅱ」は2:1に分けたものとみてよい。

このように、その時々学習指導要領で「科目」と呼ぶ名称が「物理基礎」「物理」とか、あるいは「物理Ⅰ」「物理Ⅱ」などと一時的に変更される。この分かれる前の高校物理を指す言葉として、ここでは「科目」と名付けるのである。

## 学問分野と地学問題

では、どういう理由で、科目が区分されるのか。はっきり言えることは、学問分野の区分に基づく、ということがそのひとつである。

物理学、化学、生物学は確立された学問分野である。それに対して、地学はいくつかの学問分野を集めたものとみるのがよい。

戦後1948年に地学は誕生した。天文学、地球物理学、気象学、地質学、鉱物学、海洋学などを基礎にして出来ている。天文学や地球物理学、気象学などは、「法則科学的」であり、それに対して、地質学以下は、(少なくとも当時の段階では)いまだ博物学的な自然記述的なものであった。これらは、研究対象が異なるだけでなく、研究方法も異なっている。そういう「寄せ集め」的な内容が地学である。

そういう理由から、「1960年の学習指導要領の改訂作業時には、高校長協会試案として『地学廃止論』も出されるなど、理科教育関係者間においても地学教育の目標や意義について共通理解が得られていなかった」<sup>8</sup>、という事情がある。

## 「地学基礎」の教科書だけがある

このような問題を抱えながら、60年後の今日まで、地学教育は来ている。2015年にわたしが確認したところでは、「地学基礎」の教科書は出版されていたが、「地学」の教科書の方は出版されていなかった。

大学入試の状況を考えても、本学(神奈川大学)の理科の入試科目に地学は存在しない。入試科目として存在しているのは、おそらく、大学入試センター試験(2021年度より大学入学共通テスト)くらいではなかろうか。

ここから推測されることは、高校において、「地学基礎」とは区別される「地学」はほとんど教えられていない、ということである。

## 高校理科の高い専門性

地学が「寄せ集め」であるということは、別に言えば、専門性の高い学問が集められている、ということである。高校の理科は、物理、化学、生物、どれをとっても専門性が高い。わかりやすく言えば、大学入試レベルの指導をするには、物理、化学、生物のそれぞ

<sup>8</sup> 田中実「地学教育の目標」(左巻健男 編著『授業づくりのための理科教育法』東京書籍、2004年所収)

れを専門とする教師でないが無理だということである。ここに、それぞれの科目の専門性の高さが現れている。

免許法上は理科の教員であるが、高校の現場では、物理の教師、化学の教師、生物の教師、地学の教師として通用している。物理の教師が高校の生物を教えることは、実際上無理である。頑張っても勉強したとしても、「生物基礎」をやっと教えられるというところだろう。高校の教師は、大学入試に対応しなければならない。生徒から大学入試の生物の問題について質問を受けたとき、物理の教師はその解答を生物の教師にまわすしかないだろう。そのように、高校理科では科目の専門性は高くなる。

地学は、さきほど述べたように、ふつうの学問というよりは、天文学、地球物理学、気象学、地質学、海洋学等々の各専門分野に分かれてたものとみるのが適正である。地学を専門とする教員がいても、現実には、その中の気象学を専門とする教員であったり、海洋学を専門とする教員であったりするわけであり、地学全般を専門とするという教員が存在するわけではないと思う。地学内部での各分野の専門性も、それほど高い。

天文学、地球物理学は、大学において学科を形づくるほど専門性が高い。天文学を専攻した学生が、地球物理学を学ぶことは少ない。気象学、地質学、鉱物学、海洋学などは、地球物理学を含めて、今日では「地球科学」と呼ばれるから、地球物理学を専攻した学生が気象学や海洋学の基本的な知識をもつことは考えられなくもない。しかし、気象学、地質学、鉱物学、海洋学のすべてを学ぶとは考えにくい。「地球科学」といっても、学年が進むにつれて自分の専攻を決め、専門性を高めていくのがふつうだからである。

このように考えてくると、高校地学が現場の教員にとってきわめて教えづらいものであることがわかる。

## 宇宙地球科学としての地学

今日、地学は「宇宙科学」と「地球科学」から構成される。この2つを合わせて「地学」である。実際、大学の共通教養科目「地学」のために作成されたある教科書の名称は、『宇宙地球科学』<sup>9</sup>となっている。地球科学と宇宙科学を統合したものが、「宇宙地球科学」である。

これを逆に見れば、2つの統合は、地学が地球科学と宇宙科学の2つの専門科学に分かれていることを示す。この本は、宇宙科学と地球科学をそれぞれ専門とする2名の著者が書いている。1名の著者では、この本を著せない。そこに、「宇宙科学」と「地球科学」のそれぞれの専門性が表れている。

大学において全学共通の教養科目「地学」が存在するから、それに合わせた教科書を作成する必要がある、そのために2人の専門家で「宇宙地球科学」を著したのである。内容的には宇宙と地球に区分され、それを合せたものが地学である。

そのような「総合的な内容」をもった地学という科目を、全体的に教えられる人材を養成するのは、きわめて難しい。地学を専門とする教員は、どうしてもその中の一部、宇宙科学の専門家か、地球科学の専門家であろう。少なくとも、出発点では、そこからしか地学の教員は養成できない。教員になってから、彼ないし彼女は、もう1つの分野、宇宙科

<sup>9</sup> 杉本大一郎・浜田隆士『宇宙地球科学』東京大学出版会、1975年。

学専攻の学生なら地球科学について、先の本などを参考としながら勉強していくことになるだろうし、逆に地球科学専攻の学生は宇宙科学について勉強していくことになるだろう。

この点が、物理や化学や生物を専門とする教員と、地学を専門とする教員の大きな違いである。

### 基礎学問としての物理学・化学・生物学

結論を先に言えば、物理学・化学・生物学の3つの学問が自然科学の基礎を提供する。宇宙科学と地球科学のそれぞれは、物理学・化学・生物学などの方法に基づいて、宇宙という対象や地球という対象を研究する応用的科学である。

そう考えると、カリキュラムとしての基礎となるのは、物理学・化学・生物学の3科目である。そういう意味において、物理学・化学・生物学が「基礎学問」である。

地学に含まれる1つ、天文学は、明らかに物理学の応用である。

たしかに歴史的事実としては、惑星軌道が楕円軌道を描くことをケプラーが発見したことによって、ニュートンの力学は形成された。しかし、歴史的事実として、軌道の発見が先にあったことと、ニュートン力学から軌道が計算されることとは別のことである。歴史的順番はそうになっているが、今日の学問のあり方から考えると、天文学の基礎として物理学、とくにニュートン力学がある。そういう関係になっている。

現実に行われている教育について見ても、物理学・化学・生物学が基礎となっていることは確かめられる。

高校あたりからニュートン力学を教えはじめ、惑星軌道の計算は大学の後半あたりにその分野を専攻した学生のみが勉強する。

ニュートン力学の基礎である3法則（慣性の法則、運動方程式、作用反作用の法則）を最初に教える。万有引力による運動方程式の計算は数学的に難しいので、大学入学以降に教える。高校で教えるのは、計算が簡単になる円軌道の場合だけである。

### コリオリの力

高校地学の気象分野で、地上の風向きを説明する際に「コリオリの力」についてふれる。コリオリの力がどういうものであるか、その性格を教えるのは、ニュートン力学である。

ただし、それは高校レベルではない。回転座標系から運動方程式を見たときに登場する「見かけの力」の1つを「コリオリの力」とよぶ。静止座標系における運動方程式と、回転座標系における運動方程式の違いを理解しなければならない。なぜ回転座標系かという点、地球が回転（自転・公転）しているからである。地球から観測するということは、地球に座標を固定した座標系から観測するということであり、したがって回転座標系で運動方程式を考えなければいけないということなのである。

回転座標系の運動方程式は数学的にハイレベルになる。ベクトル形式の微分方程式を座標変換する、という操作だからである。早ければ、大学1年の「力学」の最後の方でやるかもしれない。なかなか面倒な話である。

このレベルを高校で教えることは明らかに無理だから、地上でのコリオリの力の結果だけを教えることになる。だから、どうしても、「地上で風向きが偏向する理由を考えよう

とする」生徒にとっては、「雲をつかむようなところが出てくる話」になる。

### 生活に役立つ知識を教える地学

地学は、このような応用の結果だけを集めたものになってしまう。下手をすれば、公式の意味について熟知せず、ただひたすら公式を暗記するだけになってしまう。科学的に正しい式であるにしても、その正しさの理由をある程度示せなければ、科学を教えていることになるか、疑問がでる。ここは、議論が分かれるところである。

科学的思考力とは、事実の原因や理由を探求しようとすることなのだから、それを示せないのは理科の目標に照らして不適切であるとわたしは思う。

結果だけを示すのであれば、生徒にとって、これから生きていくうえで重要な、役立つ知識に限定する必要がある。たとえば、地震や噴火、台風などの気象を防災という観点で整理することなどが考えられる。すると、地学の内容の姿形は変わっていく可能性もある。これから先の話は、教科教育法の範囲を大きく超えていく話となるので、これくらいにしておく。

### 授業で教えるための高校地学の参考書

先に紹介した『宇宙地球科学』という本は、高校地学を授業で教えるときに参考となる。ただし、これをほんとに理解するのは、なかなか大変である。量的には、通年4単位に対応する量がある。前期が「宇宙科学」、後期が「地球科学」という形で。レベル的には、専門課程の「地学概論」としても通用する。著者たちの意見では、「専門の学問としての宇宙地球科学への入門書とはかなり異なったところに力点がおかれている」（同書「はじめに」）そうである。しかし、力点は異なるかもしれないが、その内容の専門性は教養科目という水準よりだいぶ高い。素人目にはそう見える。

このテキストは、理科系の学生からなるクラスの共通教養科目を念頭において作成したと思われる。したがって、文科系の学生を含む共通教養科目の授業では、どうするかという問題が生ずる。おそらく、このテキストは使えないだろう。それでもあえて使うとしたら、授業での内容を絞り、説明もより基本的な事柄のみ講義していく他ないだろう。文科系の学生向けとしては、出てくる数式の量が多すぎる。これらの数式を理解するには、高校で数学のトレーニングを積んできた理科系の学生の知識が必要である。

そういうことから、「地学概論」で通用する、と述べたのである。著者たち「宇宙地球科学」の専門家によれば、宇宙科学と地球科学への入門書としては、「内容の力点をこのテキストとは別のところにおく」のがよいのだろうが、逆に、高校地学の担当者には参考となる本であると思う。

### 高校生が読んですっきり理解するための高校地学の参考書

まったく別の形の高校地学の参考書もある。

地球史を軸に、地球科学の成果を統合しようとした高校地学のテキスト『新しい高校地学の教科書』である。<sup>10</sup> これも、形は違うが、「地学」としての一つの総合である。

<sup>10</sup> 杵島正洋・松本直記・左巻健男編著『新しい高校地学の教科書』講談社ブルーバックス、2006年。

歴史を軸にしたことで、すっきりと統一された印象を与えている。宇宙科学の分量の少なさ、および宇宙科学と地球科学の関連のさせ方の問題は残っている。しかしそこに、ごった煮的統一性のなさの代名詞であったかつての地学の印象はなく、すっきりと「読んでわかる」内容の作品に仕上がっている。新しい地学として「知の総合」を感じさせるテキストである。

レベル的にも、さきのテキスト『宇宙地球科学』とは好対照である。数式はほとんど出てこない。さきの本は「地学概論」と形容し、専門課程でも通用するといった。それは大学の専門課程への入門書にも使える。しかし、この本は、それとはちがう。ほんとに高校生が「読んでわかる」レベルである。

読む順番としては、当然、後者が先である。前者は、通読するのにもたいへんな難さがあると思う。高校教師の参考書として、辞書的に調べる本として使うのがよい。

もちろん、後者『新しい高校地学の教科書』も辞書的に使える。後者の欠点は、宇宙科学の叙述がほとんどないことである。それについては、他を参照しなければならない。

## 地球温暖化の扱い

私は、地震や噴火などの自然災害問題との関連で、中学校の理科で地学を扱う意味は大いにあると考えている。

地震や火山の噴火、台風などは、すでに中学校理科の教科書に含まれている。含まれていない自然災害というと、地球温暖化問題が考えられる。これを自然災害とってよいかは、疑問が残るところだが、広い意味では、そう捉えてよいだろう。地球温暖化現象は理科には入っていないが、中学校社会では「国際問題」という括りの中で取り上げられている。〔2021年検定の『地学基礎』（東京書籍）では地球温暖化問題が触れられている。〕

地球温暖化現象を理科の中で扱うことが現時点でできない理由は、なくはない。たしかに、温暖化現象の存在については社会的な同意が得られている。地球が温暖化しているという事実は、多くの科学者に認められている。しかし、その原因については、必ずしも一致していない。

温暖化現象については、科学的に未知なことが多いのである。おそらく、理科の内容として、地球温暖化問題が扱いにくい最大の理由はここにある、とわたしは考えている。

社会科の国際問題の中では、二酸化炭素が温暖化の原因として取り上げられ、二酸化炭素の排出量を社会政策的に減少させるということが扱われている。二酸化炭素が温室効果ガスであることは事実であり、産業革命以来増え続けている。それを押さえていくことは正しい政策である。

しかし、地球温暖化の原因として考えられることは、二酸化炭素だけではない。

理科の中で地球温暖化現象を取り上げるときには、その原因が科学的に未知の部分が多いことなど、現代科学の到達点をきちんと伝える必要がある。そこが難しいのである。

## 温室効果は二酸化炭素より水蒸気の方が大きい

二酸化炭素の排出を削減しようという国際的な政策が進むのはよい。しかし、温暖化の原因は二酸化炭素だけではない。科学的な事柄として、第一に言うべきことは、二酸化炭素より水、正しくいえば水の気体である水蒸気の方が、はるかに高い温室効果をもってい



るということである。

「地球では二酸化炭素の温室効果よりも水蒸気の効果の方がずっと大きい。おおまかにいうと、90%は水蒸気が担当していて、二酸化炭素や、ほかの人為的な温室ガスの分は10%くらい」<sup>11</sup>

と伊藤公紀『地球温暖化』にある。

水分子の形は、二酸化炭素と違って、直線ではなく折れた直線の形をしているので、回転できる。それによって、広い範囲の波長の電磁波のエネルギーを吸収できる。回転のエネルギーは連続的だからだ。大気中の成分の量で比べても、二酸化炭素より水蒸気の量の方が圧倒的に多い。ざっと見積もって、二酸化炭素の3倍から15倍の量となる。

地球の温度が、われわれ人間が住める常温（摂氏15度前後）になっているのは、地球が水の惑星だからである。その上での、二酸化炭素の温室効果である。

これだけ見ても、二酸化炭素の温室効果の影響が微妙なものであることが予想できるだろう。

### 「二酸化炭素は地球温暖化の6分の1の原因でしかない」という説

現在の地球の温暖化について、二酸化炭素の増加は「6分の1の原因でしかない」という赤祖父俊一の主張もある。<sup>12</sup>

「現在進行中の温暖化の大部分（約6分の5）は地球の自然変動であり、人類活動により放出された二酸化炭素の温室効果によるのはわずか約6分の1程度である可能性が高い。すなわち、現在進行している温暖化の6分の5は『小氷河期』という比較的寒かった期間（1400～1800年）から地球が回復中のためである。寒い期間からの回復は当然温暖化であり、『小氷河期』は地球上で人類活動に無関係に進行する現象、すなわち自然変動である。」（赤祖父、12頁）

このように主張する赤祖父は、実はIPCC（国際気候変動パネル）に対してきわめて批判的である。IPCCの見解に対して批判的なだけでなく、その組織のあり方に対しても批判的である。わたしたちがメディアを通して知る理解では、現在の温暖化問題を動かしているIPCCの報告を素朴に正しいものとしている。しかし、赤祖父によれば、IPCCはその「政治的目的」（二酸化炭素の排出の削減を目指すこと）のために、科学的研究を歪めているという。

これに関する真偽は、検討されなければならないと思うが、ともかく、そのような立場に立つ研究があるということ、またその主張が説得性を持っているということ、それらの点で、きわめて刺激的である。

自然科学を教える者としては、このような立場の主張があることを知っておく必要がある。そして、IPCCの報告書の内容に関しても、距離を取って客観的に見ることができようになる必要がある。もちろん、それは、地球科学の専門家でない私たちにとっては難し

<sup>11</sup> 伊藤公紀『地球温暖化—埋まってきたジグソーパズル』日本評論社、2003年、27頁。

<sup>12</sup> 赤祖父俊一『正しく知る地球温暖化』誠文堂新光舎、2008年。拙稿「総合学習と理科教育—STS教育をめぐる」(『神奈川大学心理・教育研究論集』第42号、2017年11月)において、同書の内容を紹介した。

いことである。しかし、そのように心がけることは必要である。

赤祖父のいうのは、1400年～1800年頃にあった「小氷河期」からの回復という自然変動の温暖化が、現在進行中の温暖化の6分の5を占めるということ、そして、人類が排出した二酸化炭素による温暖化は、現在進行中の温暖化の残り6分の1を占めるということである。

「小氷河期」からの回復は1800年頃から始まっており、「しかも気温の上昇率は当時から現在まであまり変わっていない直線的上昇であること、それに対して二酸化炭素の放出量が急速に増加し始めたのは、1946年頃である。したがって、この1800年代からの直線的気温上昇は自然変動であるという確固たる証拠の1つとなる。」(赤祖父, 71頁)

君たちも知っているように、かつて日本にも「氷河期」があった。マンモスがいた時代である。地球の年代としては、そんな昔ではない。これを「大氷河期」というのだそうである。これに対しての「小氷河期」である。中世時代、ヨーロッパや日本が寒かったことは、歴史的文献からわかっている。そういう歴史的な長期変動の中で、地球の温暖化現象を見るのである。そして、この長期変動については、ほとんど何もわかっていないといってよい状態なのである。