

実践報告

教職課程における学生の科学的概念の獲得と それに基づく授業の試み

岩 崎 敬 道

立正大学非常勤講師

The Curriculum-making Based on the Innovative Scientific Conceptual Understanding through the Teaching Course Student's Own Initiatives

Takamichi IWASAKI

Part-time Lecturer, Risscho University

要旨

自立した教員は、自身が専門とする教科・学問領域の知識を基に、自ら教育内容とその体系を構成し、授業をつくることができる。そのためには、理科教員の場合自然科学の概念・法則を、少なくとも基礎的レベルで自身のものにすることが求められる。しかしながら、教員志望の学生たちの多くは、それを果たしていない。というのも、彼らの小・中・高等学校での学習体験をふり返ると、暗記中心のもので、概念・法則を自身の言葉にすることがほとんど果たせていない。そこで教職課程科目「理科教育論Ⅰ・Ⅱ」において、学生たちに教育内容になる自然科学の概念・法則は、暗記の対象ではなく、それら概念等を使うと、目が啓かれたように自然を科学的に視ることができるようになること、そのためには概念として形成・獲得する必要があることを教えてきている。本論はその指導・学習過程と、その後行う授業づくりのために、獲得した概念等を基に教育内容をつくることへの経過を報告する。

1 問題の所在

教職課程の学生を対象に、理科の教員になるために必要なこととして、当該教科に対応する学問である自然科学の基礎的概念・法則を自分自身のものとするを挙げている。しかしながら、彼らの多くは、彼ら自身が受けてきた授業の枠を超えられない。その授業は、小学校以来テストをクリアするための暗記中心の学習であり、中学校以上になると受験のための暗記である。それらは最終的に中学校、高等学校の卒業証明を得るためや大学へ入学するためだけのものになっている。教職を希望し、教員免許を取った学生が、いざ教職に就こうとするときに、教育内容⁽¹⁾となる概念・法則が身につけていないことに気づく。このことに気づけば、まだ回復の可能性はある。しかし多くの場合、与えられた教科書を教えるか、受験のための、あたかも受験予備校の授業にとどまってしまう。

そこで、「理科教育論Ⅰ・Ⅱ」の授業では、次のことを重視してきた。それは、教育内容は自然科学の基礎的概念・法則であり、それらを授業者自身が自分の言葉として身につけ、さらにはこの概念・法則をつかって自然を視ると、それまで見えなかった自然を、広がりをもってとらえることができるようになることである。ここ数年、このような意図で授業に臨み、彼らに実感を伴わせながら、それらを獲得させるような実践をしてきた。

前期の「理科教育論Ⅰ」では主に理論的、原則的なこと、主に理科の授業は知識の暗記ではなく、自然を科学的に視るための概念を形成するものであることを学習させた。後期「同Ⅱ」では、前期で学んだ原則を使うことを、主に模擬授業をつくらせることで求めてきた。

しかしながら、彼らが後期の授業でつくった模擬授業からは、授業をつくるための原則が必ずしも彼らのものになっておらず、（文科省検定）教科書に頼るようなものであること、さらには、学生たちが前期の授業で印象的に記憶として残していることは、概念・法則というよりは、それらの外延である個々の教材をトピック的に「暗記」していることである。それを、昨年の授業で彼らに教えられ、一つの報告とした。⁽²⁾

学生たちが「暗記」から脱却できるようになるには、何をどのようにすればよいのか。「理科教育論」の課題としてこれまで以上に取り組む必要を感じ、今年度の実践に臨んだ。本論では、先ず前期科目「理科教育論Ⅰ」の内容と実践を紹介し、彼らが獲得したと思われる結果を示す。その上で、後期科目「理科教育論Ⅱ」は、現在開講中であるが、その内容と授業の一部を紹介する。そこには、学生たちが自分の言葉として自然科学の概念・法則をとらえようとしている姿を見ることができる。

2 暗記ではなく、概念・法則を意識させる

(1) 前期科目を履修後の学生が獲得したこと

前期科目「理科教育論Ⅰ」を履修した学生たちが獲得したもの、それを15回の授業終了時に書かせたものから探してみる。もちろん言語化したものが、必ずしも彼らの生活に根づくほどの認識になっているかは定かではないが、少なくとも彼らが学習内容を意識したという点で、一つの資料となると考える。履修学生は5名であった。

I Y：理科教育論を半期受講して、最も印象に残ったことは、相手に自分の考えを伝えることの難しさ、重要性である。前半の授業で学んだ内包と外延は、それまで聞いたことのない言葉であったが、概念には内包があり、内包をもっと具体的にするために外延があることを知った。この言葉を学んでから、日常でも相手に理解してもらうためには、外延である具体例を挙げて内包を説明するように意識した。また、同じ言葉でも、漢字で何通りも書けるように、自分が考えている内包と相手が考えている内包が一致しているかを考えるようになった。

今後の課題としては、授業で生徒に伝えることをさらに意識して、どのように伝えれば生徒が理解できるか、生徒自身が生活概念から自然科学概念へと移して考えられるような授業づくりを行いたい。そのために、まずは自分が日常の中で自然科学の法則が成り立っていることに気づき（例えば、光の直進性）、自ら視野を広げて考えることが大切であると考えている。

無意識的に日常で使っている言語が、それぞれ概念をもち、その内包と外延から成り立って

いることは、学生たちにとって初めて聞くことであった。日常会話にとどまらず、授業等で話し、聞く言葉が、抽象性を孕んでいたり、具体的事象であったりとの区別をしないまま、何となくの理解であることに彼らは気づく。さらに、「教える」という場面では、一見同じ言葉を使いながらも、人それぞれがもつ概念が異なっていたり、理科の授業では生活で使っている言葉（生活概念）と自然科学のそれとが異なっていることを知る。こういうことを彼らは自身が受けて来た教育からは、これまで意識することはほとんどなかった。それを学生は感じ取っている。

また、自然科学を教育内容とする場合、自然科学は体系的であり、そのうちの基礎的内容を反映させ、組織した教育内容の体系を教員自身、築く必要がある。このことを前期の授業で取り上げたが、学生は次のように書いている。（アルファベットは学生の氏名）

Y J：非常に基礎的な話だが、「生物」とは簡単に表すと、「生きているもの」である。この「生きている」とはどういったことなのか。話し合った結論は、①栄養を取る。②呼吸をする。③成長（生長）する。④子孫を残す。これらの4つの条件を満たすものが生物であり、1つでも欠けると生物ではない。これらの4つの要素は、個々が独立しているのではなく、それぞれと関係性を持っている。また、上記の要素は小学校段階で学ぶことである。それが中学・高校と学校段階が上がるにつれ、化学反応式などの分子・原子の話や物質の移動・循環の話等が加わり、より複雑になってくる。小学校で習ったことは単純で簡単なことだが、全ての大元はここで学んだ基礎的なことであり、ここから分岐していくのである。教える際には、複雑化した中で忘れがちな基礎的部分に触れながら話すことが大切である。

暗記ではなく、こういった学生たち自身による言葉で学習した内容をまとめられているのも、前期科目での学習体験を重ねてきている結果ではないかと考える。そこで、次に彼らが履修してきた授業内容と経過とをふり返ってみたい。

（2）追体験による概念・法則の意識化

理科という教科を、自然科学を教える教科とし、そこでは自然科学の基礎的概念・法則を教えることになる。このことを前提に、前期「理科教育論Ⅰ」では、次のことをねらいとしてきた。学生たちに、彼ら自身が学んできたと考えている自然科学の知識が、暗記に終始してきたことを自覚させることと、新たにそれら知識が包含する概念・法則を認識として形成すること、自分の言葉として獲得し、これを駆使できるようになることに気づかせることである。これらのことを、自然科学の授業づくりの大事な原則のひとつとしてきた。この学習過程は、いわゆる一方的講義では果たせないことはもちろんのこと、論理だった話として組み立てるだけでは彼らに伝わらない。学生自身生身で自分の言葉を使って考える場面に遭遇させないと、果たすことが難しい。

そこで中学校「光の学習」を取り上げ、学生を学習者として、その授業を体験させた。いわ

ば中学校の授業の追体験である。因みに、自然科学の具体的概念・法則を取り上げて学生たちに考えさせたのは、この「光」と「自然界の構造」であり、後者は主に「生物」についてである。それぞれ数時間程度の授業である。

既に中学・高等学校で学習済みの内容であるにもかかわらず、授業では、彼らは中学生にもどったような認識を示す。それは次のような理由による。彼らの「知識」の多くは暗記なので、いわゆる教科書やテストで出てくるような問題に対しては、オウム返しのように答えることはできる。多くの教科書や授業などでは、自然科学の概念・法則の本質を明確にしておらず、テストも教科書に記載してある「言葉」を丸暗記して吐き出せばよいようになっているからである。

今回取り上げ、学生たちに獲得させる内容として、「物が見えるのは、物体からの光が目⁽³⁾に届くからである」を「到達目標」とした。物理学的には幾何光学になる。この到達目標へ学習者の接近を保証するには、この到達目標を、より具体化した下位の物理法則の獲得が必要になる。この下位の法則を、到達目標の下に位置づく「具体的内容」と呼ぶ。今回の具体的内容は、①光は直進する（直進性）②物体は光源からの光を反射する（反射）③光の通過する媒質が変わる境界面では、光はその進路を変える（屈折）としている。いずれも彼らは中学校で学習済みのものである。

これらの内容に対して、学生たちはどのような認識の下に反応するだろうか。例えば①の直進性については、彼らはその外延（具体例）としてレーザー光線を挙げる。その他は、なかなか思いつかない。彼らが自分たちの記憶から直進性を引き出すとしたら、かつて読んだ教科書の例か、せいぜい最近生活体験としてもつレーザー光線くらいである。木洩れ日などを紹介すると、「あ、そうか」という同意の声は出る。その他には物体の影を意識できる学生は、影の形が物体の形を反映していることを指摘するが、これとても全員のものにはなりにくい。そこで光源と物体の淵を結ぶ直線を描き、床上にできた影を示すと、これもまた光の直進を見るひとつの現象として位置づくことに気づく。

このように身近にも光の直進性を示す具体的現象があるにもかかわらず、「直進性」を、「自然を視るための法則」としてとらえることは、放っておくと学生たちには難しい。というよりも、彼らの学習体験がその程度のもので、光の直進性といえばレーザー光線という対応関係として暗記の対象のひとつになっているにすぎない。

たかだか光が直進するという単純な法則であるにもかかわらず、法則という意識も持ってこなかったし、しかもこの法則で、それまで気づかなかった自然が見えるようになる、いわば自然を視る装置（自然科学の概念装置⁽⁴⁾）としての法則というとらえ方ができる。この装置を駆使して自分で新たな自然を発見できることが、法則を身につける、ということになる。このときの授業を体験した学生は、次のように書いている。

I Y：ただ「直進性」などの法則や性質を暗記するのではなく、その外延を知ることにより、法則や性質も自然に理解できると感じた。教科書に書いてあることは正しいという視点

（教科書の内容を鵜呑み）から、教科書の内容が本当に正しいのか、他にわかりやすい方法はないのかなど、批判的視点で見てみようと思った。

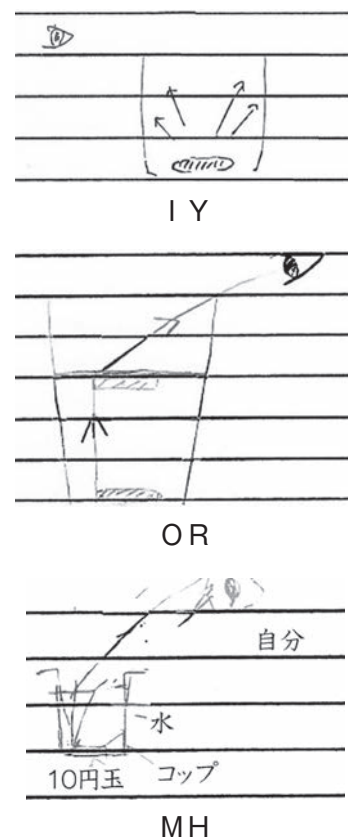
もちろん、この段階では必ずしも彼自身が「装置」としての法則で自然を視ていないので、その有効性などに実感としては気づいていない。しかし、ひとつのきっかけとしては意識できたのではないだろうか。同様のことは、物体による光の反射や屈折でもこれらのことを確認することができる。

（3）追体験としての「光の屈折」

言葉は知っていても、既習の法則を「法則として」とらえていなかったことの典型として、光の屈折の授業を紹介する。

光の屈折は、均質な媒質中では光は直進するが、異なる媒質に入る際、その進路を変える、というものである。現象としては水中に差し込んだ箸が曲がって見えたり、風呂の底が浮き上がって見えたりするものがある。レンズなどにも使われている。このとらえ方は定性的ではある。学生たちは、この屈折について、定量化された「屈折の法則」として水中への入射角と屈折角とが異なることは知っている。当然のことながら屈折現象は目にしているわけで、その原理もある程度理解を示しているだろうと授業前には予想していた。しかしながら、次に授業の記録として示すように、単に「量化された屈折の法則」は知りえても、その本質をなす定性的理解へは至っていなかった。

授業では、空の紙コップの底に置いた10円玉を見させ、目線を下げていって10円玉が見えなくなったところで止める。この状態から紙コップに水を注ぐと、やがて10円玉は再び見えるようになる。見えたときに、10円玉から目までに届く光の道筋をノートに描かせた。彼らの描いた図を右図に示す。3通りである。これらの図について、学生たちは次のように説明する。



（記録中のTは授業者）

I Y	まず光が上から入ってきて、あらゆる方向に反射する。水がないときは光が壁に阻まれて見えないけど、水が入ることによって、境界面で反射するので、見えるようになる。
O R	僕は単純に水が入ったことによって、水の表面に映った像が目に見えてるみたいな。

MH	ほぼほぼI Y君のと一緒なんですけど、単純に自分の見えたとこが10円玉の端っこのところがちらっと見えただけくらいしか上手いこと見えなかったの、ということは他の光がどういったのかなっていうことを、自分なりに書いてみたっていう感じで。正しいのかどうかは知りませんって感じだけど、あくまでも見えた部分の光はなんらかの形で目に入ってきたんだらうなっていう感じの作図をしようと思って。
----	---

これらの図と説明を聞いてみると、彼ら自身の眼による見え方で、必ずしも幾何光学でいうところの「屈折」にはなっていない。そこで、これらの図と説明について、彼らに発言を求めてみた。

KK	俺はORの聞いたらORのが正しいんじゃないかって。俺のより理にかなってる。
T	どう理にかなってる？
KK	光の反射っていうよりは、水がプラスしてあるわけじゃないですか。だから、光が反射して、水が見えてるんじゃないかっていう。水の上にある像が見えているっていうのが正しいんじゃないかっていう。
T	他はどうですか？
I Y	一部だけしか見えていないっていうのが、真ん中のMH君の説明であつたので、真ん中（MHの図）に（意見が）変わりそうです。
T	面白いね。他の2人は？
MH	単純に自分なりに限りなく近いような気がしなくもないんですけど、光の反射とかもやったから、その説明としてよろしいのかなって。どちらにせよ、水の中で俺の図は直進で書いてあるけど、実質自分の中では色々と阻むものがあるって（光は）まっすぐじゃないんじゃないのって思い始めてて、自分のが違うような気がしてならない。


MHの意見に集まるかには見えたとこ、当のMHが意見を変えるような発言である。

KK	俺はまあ右（OR）かな。
MH	右かあ。
KK	だって像ってさ、光の反射でできるじゃん。だから、光の反射はどうにせよ、像が水に見えなかったわけだから、光単体だったら光の光線ていうか、そんな感じに捉えちゃう。なんていうんだらうな、難しい。
MH	要するに、紙での反射じゃ見えないけど、水を入れたことによって、空気と水の違いについて触れろっていうのが、大まかな言いたいことなのかなって、薄々俺の中では思ってる。
T	今まで学習してきたのはこの2つ（直進と反射）だよな。じゃあこれをどういう風に

	<p>使ってるかってことでしょ。共通してるのはみんな直進してるんだよ。「反射」っていうときに、反射もしてるんでしょ？ 今、MH君が言うには、ここ（境界面）でどうなっているかって、反射してないでしょっていう話だよ。見えるっていう話を使ってるわけだ。それで今、光が反射している内のここ（水面）で反射して目に届くっていうことでしょ。</p> <p>こっちの場合（MH）は見えてるんだけど（像から）光が届いてるってことだよ。決定的に違うのは、10円玉そのものを見ているのか、像を見ているのかってそこだよ。あとは反射の仕方です。ここ（境界面）で反射しているのかっていう話もある。</p>
O R	光の反射だけで見えているとなると、ただ目に入ってる光が強くなっているっていうか、10円玉自体は多分見えなくて、その光が強くなって目に入ってきてると思う。
K K	光単体でしょ？ 蛍光灯みたいな。光しか見えないんじゃないかって。
T	10円玉そのものが見えるんじゃないかって、当たった光がってこと？
O R	光だけが見えるっていうか、目に入ってくるんじゃないかっていう。
K K	強いかわいいは別として。
T	極端に言うともやした鏡みたいな？
K K	2週間前に画用紙で実験したじゃないですか。紙コップに反射してるやつだと光がその色になって見えるし。だから、紙コップに反射して見えるんだったら、白が見えるんじゃないかって。
T	紙コップは白いから、白い光が見えると。
K K	そう。
MH	俺がこれでやりたかったのは、要するに10円玉を白い壁に当てて10円玉の色が見えるわけだから、その色も入ってきてるんじゃないのかなって。要するにこの紙コップを白い壁だとすればこの10円玉を当てれば色が反射するわけだから、それも目に入ってるんじゃないって思った。それもアリなんじゃないかなって思って書いた。
K K	そうすると、10円玉の色しか見えませんか？
O R	10円玉は見えてない。
K K	そう。10円玉は見えないじゃん。
MH	でも10円玉の色が見えるってことは、10円玉があるじゃん。
K K	あるよ。それはある。
MH	でもさ、確かに直進するだけなら10円玉は見えるけどさ、実際色んな所で反射が起こってるわけだから、総合的にこの10円玉を確かに像は見えたのかもしれないけど、それ以外にも微妙にぼやけた影みたいな、ぼやーとしたような像であるから、単純に像は直進して見えてるんじゃないかって、反射も含めてぼんやりとした像とそれ以外のプラスαが見えて、改めてここに10円玉っぽい像が見えたなって認知しているんじゃないかっていうのが自分の意見です。

OR	ってことは、像は見えてるってこと？
MH	まあ、一応直進してる光も書いてあるから。それで説明上手くいったのかなって思ったけど、誰も触れてくれなかった。説明不足だったかな。
T	OR君が言ったのは、ここに10円玉が見えてるよってみたいな話？
OR	いや、単純に僕はMH君の説明が、光が反射して見えてるよってという説明かと思って、でもさっき言ってることだと像が見えてて、それプラス α でその光の反射で10円玉の色とかが見えてるって言っていると受けとったんですけど。
MH	ぐちゃぐちゃに書きちゃったんだけど、シンプルにした方がいいですね。

～図を書き直す（右図）～

MH	<p>俺が見えたのは端っこだけってことだから。確かに10円玉は端っこの所が見えたんだから、像っていうか10円玉っぽい何かがあるところに見えてるってことは、光が直進してれば間違いなく像として見えるだろうけど、それ以外にも、色んな方向に出てる中の、前回の授業で光を1箇所を集めて、サイコロが浮き出てくる実験をやったけど、要するに色んな方向に光が出ているわけだから、OR君みたいに直進しただけの光が見えているんじゃないくて、本来色んな方向に出てる中で色んな場所で反射したものが総合的に見えてなきゃこの物から反射される光っていうのが説明できないって思ったから、この紙コップからの反射もあるんじゃないかって説を出したのが1つです。</p>	
OR	要は、像プラス α で反射して光が見えてるってことでしょ？	
MH	そう。それが言いたい。	
IY	像はあるみたいな？	
MH	像は多分あるんだろうみたいな。像っていうのは、俺は全然思い浮かんでなくて、単純に（10円玉の）角から直進した光が目に入ってるっていうふうにした。要するにOR君の言い方を借りると、像は見えてるけどプラス α で見えてるってことを説明したかった。	
OR	僕とKKが言いたいのは、光が端っこに当たったやつがあるじゃないですか。それだと、10円玉から出た光は紙コップに当たって、紙コップの白い光が見えてるんじゃないかってのを言いたい。あくまで像を見ているだけ。	
MH	10円玉以外にもほんやり見えたので、それを表すためにこういう図を書いたんですけど。そうすると俺の見間違いになってくるのかな？	
T	共通するのは物そのものを見ているんじゃないくて、像なんじゃないのっていう話だよね。二人は浮き上がった像を見ているってことだよね。	

MH	プールで水中から上を見た時に自分の像が水面に映ってたので、だったら水面にもそういうふうに見えてるんじゃないかっていうように一瞬思った。
T	水入れたらだんだん見えてきたんでしょ？ だんだん見えてきたってことは少しずつ像が浮いてくる。浮いてきたときに像を見れる。それで見れるってことはそこから光が来てるってこと。だとしたら像から光が来てるってこと。光が来てるんだけど、水があったら直進してるのかってことなの。つまり直進してるはずなんだよ。目としては。頭の中ではね。でも実際触ってみるとないんでしょ？ どこにあるの？ って言ったらここにあるんでしょ？ だとすれば、この光線を見ているんだよね。この光線はここ（浮き上がって見える虚像の位置）から来ているんだよね。でも目はそんなこと知らないよ。ということは実際の光は直進しながら水面で進路を変えているんだよね？ そういう現象を「屈折」っていう。そういう現象は今の10円玉の例以外にもたくさんある。絶対見てるよ。
MH	ガラスのコップにストロー刺したら曲がって見える。
T	それもそうだね。お風呂なんてどう？ 水入れたら深さは？ 直進と反射をやってきたけど、もう1つ加わったのが屈折。みんな聞いたことあるよね？ でもその実態がなんなのかっていうのは教科書に図が書いてあるだけで、今ここで議論して自分のものになったよね。
KK	やったわ。中学校の頃。

授業は、ほとんど学生たちのやりとりで進んでいる。途中途中でこちらからの解説、というより、出されている意見の整理を行う。これもどのタイミングで、どのような言葉にするかが難しい。というのも、こちらからの声は、あくまで学生たちの言葉の整理に終始することに努めているが、学生たちの意見の意図をこちらが汲み取れず、彼らの声を反映しきれなくなるときがあるからである。

この記録からわかるように、光の直進を学習し、その直進性も一様な媒質中であることが基本になる。この課題の場合、空気と水という2種類の媒質を考えざるを得ない。もし光の透過する媒質が2種類であっても、それらの境界をも直進するということで考えると、課題を解決できない、というところに気づき、境界面で曲がらざるを得ない、というところにたどり着かせたい。彼らは既に屈折を学んでいるとしても、そのような理解をしてきていないことはこの議論からわかるが、それでも彼らの力で何とか終着地点に近づこうとしている。しかし最終的結論は導けないので、こちらからの解説になってしまうが、彼ら自身がこの思考過程をたどることで、これまで以上に「屈折」を定性的「概念」を含んで意識できるようになっているのではないかと考える。

この過程を踏んだ学生たちは、次のように書いている。

I Y：紙コップに10円玉を入れて、ギリギリ10円玉が見えない位置で、紙コップに水を入れ

ると、10円玉が見えるようになる。10円玉からの光が直進、水面で反射していると考えたが、見えていたのは虚像であった。像からの光を見ているように錯覚するが、10円玉からの光が水面で「屈折」し、目に届くことがわかった。…（中略）…直進、反射、屈折という言葉だけを覚えるのではなく、それが日常で見られる例はあるか、など具体的に自分の中でイメージできることが重要だと考えた。（内包を自分の言葉で説明することができ、それをわかりやすくするために、外延を知る。）

OR：前回までは均一な媒質の中を進む光について考えていき、光の直進性や光の反射という法則を学んだ。今回は、水と空気という違う媒質の中を進む光について考えた。紙コップに入った10円玉を見る場所を変えると見えなくなる。その場所で視点を固定したまま、紙コップに水を入れると、それまで見えなかった10円玉が見えるようになった。この場合、光は10円玉から出ているのだが、水から空気に光が出たら屈折して目に入ってくる。

私たちの生活の中で、違う媒質を通して光が目に入ってくるものとしてメガネがある。メガネは空気→レンズ→空気の順に光が進んでくる。メガネの場合は凹レンズだが、レンズには凸レンズもある。凸レンズを通った光は虚像を作り、私たちの目には実際の逆に見える。

MH：どんなに「光の直進」や「光の反射」、「光の屈折」と言うことを伝えても、日常などの具体例を考えつかなければ、自分の身にならないと感じる。やはり、自然科学は至るところに具体例はころがっており、法則の元で、成り立っている。そして、法則はさまざまな具体例によって分かる。それをセットで教えなければならないと感じた。

ここでもう少し演習的に屈折現象を身の回りに求めさせることで、彼ら自身の力で「屈折」だけでも獲得へ一歩近づく可能性が高くなる。しかしながら、ここまででもかなりの時間をかけているので、これ以上時間をかけることは断念した。

3 自分の言葉で考える・基礎的概念の構造

自分たちの言葉で現象をとらえ、考えていく、ということを「光の学習」として体験させることで、彼ら自身自然科学の概念・法則は暗記の対象ではなく、それらを使って自然を視ていくことができるという意識が芽生えてきている。そして「光で物が見える」ということを、言葉だけでなく認識としておさえるには、一つ概念や法則だけでできるものではないこと、すなわち概念や法則は構造をもっているということを、うすうすながらとらえてきている。しかしながら、こういった体験を一度だけでは、どの概念・法則でも自然を視ることができ、構造を持っているという一般化には至りづらい。

そこで、生物学の、より基礎的な概念として自然界を大きく2つ、生物と無生物とに分けさせ、このとき生物とは「生きている」ということを根拠にして考えさせることにした。この自

自然界の二分とその根拠に、学生たちは同意する。その一方で、「生きている」という言葉だけでは、生活概念（用語）と自然科学概念との区別はない。自然科学的に、この「生きている」ことの内実、前記のことでいえば、具体的内容を学生たちに問い、次の4つを抽出した。それは、

- ① 栄養を摂る。
- ② 呼吸をする。
- ③ 成長する。
- ④ 子孫を残す。

①から③までは、生物が個体維持をする、ということであり、④は種族維持ということである。これらについて彼らは納得するものの、実際個々の生物種についてイメージできてはいないので、個別に問われると思考が止まってしまう。すなわち観念的にとらえているに過ぎないのである。

この栄養摂取だけについても、動物と植物にどんな違いがあるか、という意識が彼らには薄い。植物は光合成で栄養をつくることを学生たちは知っている。動物は他者に栄養を依存している。これもまた知らないではない。その一方で、植物と動物との違いを問うたときに、足が出てくるものの、なぜ足なのか、ということは考えたこともないようである。

KK	動物は移動できる。植物は移動できない。 だから移動できないから栄養を作らなきゃいけない。動くから、他から栄養を取る。
T	だから「植物」、「動物」って言うんでしょ。 だから動物の体のつくりはどうなってんの？
MH	関節とかでどうやって動かすかってなってる。
KK	植物は倒れないように維管束とか細胞壁とか支える仕組みがある。
T	肢ってすごい器官でしょ。それだけで植物と動物の違いになる。つまり、体のつくりを考えることが、生物では大切になってくる。実はそれは生きることの定義に一旦戻って考えることが必要になる。 (ここから肢についての話になって行く) 定義のところから話が発展していける。これをいかに小学校段階で学習できているかが重要になっていく。 じゃあもうちょっと、植物について話そうか。植物ってどうやって栄養を作っている？

このように、学生たちの「知識」は断片的であって、それらを結びつけるという機会が彼らの学習経験の中ではなかったようである。言い方を換えると、概念・法則がまったくない訳ではないが、関連付け、構造化されていない。このことは、光合成を考えると、葉で行われるわけだが、「葉が緑色」をしているというところに着目される。その緑色は葉緑体の色、ということとを彼らは知っている。だとすると、「光合成をするのは葉だけか？」といえは植物の体は一般に緑色なので、どこでも光合成をする、ということになるが、そのようなとらえ方はしていな

い。さらに、「タマネギなどの葉はどこにあるか？」という問を立てても、いわゆる食用にしている部分であることにも気がつかない。植物のからだは大きく4つに分類すると、根・茎・葉・花（実）と分けられ、茎は根・葉をつける部分になる。この視点でタマネギを見ていくと、タマネギのいわゆる芯が茎で、それにつく食用の部分が葉になる。これもまた光に当たると緑色になる。このようなことは主に教科書レベルでは学習対象になっていないだけでなく、植物のからだのつくりとはたらきについてもこのようなとらえ方はほとんどされていないので、彼らの学習機会にはなっていない。⁽⁶⁾

これらを学習した学生たちは、次のように書いている。

I Y：動物は他から栄養を摂る必要があり、そのために移動をする。だから動物。移動をするために足がある。魚には足はないが、移動するための足と同じような器官がある。一方植物は、自分で栄養をつくることができる。その場で固定するために、根や細胞壁などの体のつくりがある。

O R：生物をおおまかに分けた時に、動物と植物に分ける事ができた。分ける事ができるということは、動物と植物の中で違いがあるということになる。今回は栄養を摂る、という事に注目して違いを見ていった。動物は他者から栄養を、植物は自分で栄養を得る。そのような違いがあるのは、動物は移動することができ、植物は動けないのだから、「動物」、「植物」といわれている。

また、光合成を考えた時に、生物学的な事から化学的な事に広がったりしていく。

K K：「生きている」という定義は、①呼吸する、②生長（成長）する、③栄養を摂る、④子孫をのこすというのものがあ、生物を大きく2つに分けたときには、動物と植物があることを全員が一致した。動物は、他から栄養をとり、植物は自ら栄養をつくり出すことができる。それは、従属栄養と独立栄養という言葉で定義されている。

葉緑体には、根にもあるということを学んだ。例として、ダイコンの上部は緑になっていて、光合成ができるということも知った。

少ない授業時間内でありながら、このようにして学生たちの自然科学的認識が広がっていく。

4 「教科書」を脱皮し、授業づくりへ向けて

以上のような授業を展開してきて、後期「理科教育論Ⅱ」では、演習的に授業づくりをさせることを意図してきた。「意図してきた」というのも、昨年度もほぼ同様な内容展開（もちろん今年度はさらにきめ細かく授業を行ってきているが）で取り組んできた。そして後期には前期に学んだことを使って、授業づくりに取り組ませた。このとき、授業のテーマは学生たちに任せていた。形式的には、教育内容を到達目標・具体的内容という形で整理させ、具体的内容を

具現化するための教材選択をさせ、授業の形にするために選択した教材から学習課題（1時間1時間の授業の主発問にあたるもの）を作成させてきた。

しかし実際につくらせてみると、何からどのように手をつけたらよいか、迷う学生が多く出てきた。多くの学生たちは、自分たちで教育内容をつくり、授業構成をするのではなく、自分たちが使ってきた教科書にもどってしまうことになってしまった。

その原因を探ってみると、基本となる教育内容をつくるには何をどうしたらよいのかが、具体的に見えていなかったと考えられる。前期の授業で授業づくりの原理的なことを学習させてきたつもりであったが、いざ自分たちで授業づくりに臨んでみると、彼らにとっての手がかりは、慣れ親しんできた教科書でしかないのである。

そこで今年度は、履修学生数が少ないこともあり、つくる授業のテーマをこちらから与え、全員で授業づくりに一から取り組ませることにした。その手順は、次のようにしている。テーマは「三態変化」。最初に三態変化とは何か、自然科学的理解を確認すること（①）。その上で確認したものを教育内容として、到達目標・具体的内容という形に落とし込み（②）、各具体的内容に教材を選択・配列させる（③）。主な教材を学習課題に仕立て（④）、1時間ごとの授業を構成していく（⑤）。現在、ようやく②にかかり始めたところである。

第一段階にあって、授業の進め方は次のようにしている。進行役の学生が中心になり、この学生も含め、一人ひとりが事前に調べて来たことを発表し、それを材料に議論をする、という形式を取っている。このことでファシリテーター的なことも含め、主体的参加を促している。

「三態変化」の概念規定をする授業の一部を紹介する。

〈各々の意見〉	
Y J	固体、液体、気体の3つの状態が温度によって変化すること。
I Y	温度や圧力によって、固体、液体、気体に変化すること。
O R	物体が温度によって、とる状態の変化。
MH	固体、液体、気体が温度の変化によって、状態が変化すること。
〈議論〉	
MH	全員に共通なのは「状態が変化する。」、I Y君は「温度+圧力」。圧力がなかった組の意見ある？
I R	でも、日常だと圧力はある関係ないかな？
MH	「三態変化」についてのことだから、入れてもいいと思う。
Y J	1気圧で考えていたから、忘れてた。
MH	そもそも、圧力ってなんぞや？ どれだけ、周りから押されてるかだよな？ で、O R氏は物体ってワードが入ってるけど理由ある？
O R	実際に変化しているものは、「物体」であってその時の状態を固体、液体、気体って言ってるんじゃないかと。

MH	水と違って、状態によって性質が変わるから「物体」ではなくて「物質」じゃないかと思う。
OR	自分もどっちかで迷ったんだけど、自分の中では性質が変わってるのではなくて、「ものが変わっている」という感じがする。
MH	「物体」は物自体を言っていて、「物質」はものの性質のことってことだね。 とりあえず、「温度、圧力によって変化する」はみんな同じでいい？ で、主語なんだけど自分は「物質」にしようと思うんだけど、OR氏は「物体」派だっけ？
OR	でも、「物質」でもいい気がして、性質によって呼び方が変わってくるから、「物質が変化する」でもいいと思う。性質が大元にあって、それから派生してって思う。
MH	要するに、性質があるから分けられると。YJ氏はどう？
YJ	それぞれの状態で性質を持ってるから、物質が温度、圧力によって、液体、気体、固体に変化するんだと思う。
MH	「液体、気体、固体」ってワードを入れたい感じ？
YJ	三態っていつてるからね。
IY	本来、状態って3つだけじゃないしね。間とかあるしね。三態って入ってるから入れたい気がする。
MH	それとも、「様々な状態に」という風にする？ この3つの状態だけがあるわけではないし。大元は状態の変化にしない？
IY	大まかにいうならそれでもいいと思う。

（ここで、MHの発言が多いのは、この学生が司会役を果たしているため。）

「三態変化」ということよりも、この概念を構成する要素についての理解もままならない。上記の記録では、「物体」と「物質」の区別ができていない。記録には出て来ていないが、物質の存在状態を変化させる条件である「温度」や「圧力」、これらが物質の存在状態を表現する状態量であること、そもそも状態量という概念も育っていない。さらにはこの後の授業で明らかになるのであるが、存在状態を「気体・液体・固体」とするのか、相として、すなわち「気相・液相・固相」とするのか、それらの違いも意識がない。それは、本論冒頭にも記したように、学生たちの学習体験の反映、暗記に終始してきた結果に過ぎない。

このような議論は、学生たちの本音による言葉で行われるので、彼らに自然科学の概念を獲得させる上で大きな意味がある。と同時に、この議論の中に授業者がどう介入し、指導していくかが大きな課題の一つになる。

現在、授業づくりをさせる過程にあり、今回は経過の一部を紹介し、一つの問題提起に留まるが、その後についても報告を重ねたい。

理科の教員にとって自然科学の概念と体系の理解は、自立した教員として、自らつくる教育内容の体系・質、さらには具体的授業づくりを左右する。しかしながら、こういったことを、一部にしる学生たちに獲得させるには、「理科教育論」だけで果たすことは、時間的制約も含め

て極めて困難である。むしろ教職課程のカリキュラムを考えたとき、自然科学の各学問領域の学習がこれを担うことになる。改めて教職課程の科目構成と各科目の内容の検討が求められる。その一方で、教職課程を設置している学科において、学生たちの自然科学に対する理解は、たとえ基礎的であっても、学科での専門教育・研究にも大きくかかわっている。この点から考えても、学生たちの自然科学に関する理解について検討していくことが、今後大きな課題として必要になるだろう。本論は、あくまで「理科教育論」の授業報告なので、その域を出るものではないため、課題の指摘だけに留めたい。

注

- (1) 拙著「『教育内容にする』こと」『授業と科学』No.19, pp4-10 2017年
- (2) 拙著「理科教育法の授業から～学生の実態とそれを変える試み～」埼玉工業大学紀要 Contexture 2018 pp59-68
- (3) 到達目標という言葉は昨今あちこちで目にするが、ここでは玉田泰太郎の「到達目標・教材構成論」（玉田泰太郎著『理科の到達目標と教材構成』1990年 あずみの書房）による。
- (4) 概念装置については、内田義彦著『読書と社会科学』1985年 岩波新書に詳しい。
- (5) 実像：この学生はこの段階では実像と虚像との区別ができていない。
- (6) 2019年度科学教育研究協議会全国研究大会報告「教員になるために必要なこと」