

自然科学とその授業に対する学生のとらえ方と これを変える試み ～「理科教育法Ⅱ」の授業から～

岩崎 敬道

授業内容と学生にとっての「雑学」

学生たちと「理科教育法」の授業を一緒に行っている中、そのうちの一人から「雑学」という言葉が出てきた。この学生は、ある学生たちが行った模擬授業に、図や実験が用いられていたことを見て、その感想を次のように書いている。

板書や説明だけでは、生徒の興味がそれてしまうため、実験、図（写真など）、授業内容に沿った雑学などを含めて、授業に興味を向けるように努力していかなければならないと思った。（Y.S.）

また、これは別の大学でのことであるが、法則へたどり着かせるための重要な事実、教材に対して「豆知識」*¹という言葉も聞かれた。学生たちにとって初等・中等教育で受けてきた理科の授業は、凡そ自然を科学的に視ることができるようになる、というものではなく、テストや受験のための暗記であったり、授業そのものがおもしろいとは感じていなかったりしている。そのため、自然科学において実験がどんな役割をするのかを意識するのではなく、本筋から離れた雑学になってしまっている。すなわち自分が、そしてそれを学ぶ子どもたちが自然科学へ接近するという学習をしているという意識はほとんど見られない。

その一方で彼らは、理科という教科が自然科学を教える教科であり、そのために基礎的概念・法則を獲得させることが理科の授業であること、そういうとらえ方ができるようにするための原則を前期科目「理科教育法Ⅰ」で学習してきている。この科目を受講したある学生は、その授業を終えるにあたって次のように書いている。

小・中・高・大と色々な授業を受けてきて、先生によって授業は全然マ_マちがかったし、わかりやすさ、理解度もちがったけど、先生が挙げていた外延がわかりにくかったからなのかと、この授業を受けて思うようになりました。学校での教科書用語と生活用語の間の壁の話を書いたときに、「たしかに今までの授業は進学のため、テストのためではないな。全然おもしろみを感じられなかったな」と感じたからです。理科の教科の醍醐味は、理科と日常が結びついた時だと思ひ、他の教科と比べても工夫しだいではそのようにできると思ひます。だから自分が授業をつくる時には、「あーなるほど」と思ってもらえるような外延を選んで構成したいと思ひます。(A.K)

前期科目の評価ということこの感想をとらえてみると、それまで自分が受けてきた授業というものをとらえ直し、新たな授業観で授業づくりに向かうということとしてはある程度達成できてはいる。しかし、上記Y.S.の感想は前期科目を履修した上での後期10回を数えた授業時のものであるから、後期科目の受講の成果は残念ながら表われていない。さらに言えば、大学で受講している理系科目でも、彼らのこのような執拗な暗記中心的なとらえ方、さらにはその変容ぶりに関し、一考してみる必要があるのではないだろうか。

このことを上記したY.S.という学生に関しても見てみよう。前期の授業を受けた彼は、彼なりの感想を以下のように書いている。

授業が成立する3つの条件は、教育者、学習者、教育内容であり、どれかがかけてしまつたら授業は成り立たない。そして、授業成立には、授業の内容を生徒全員が理解する事が大切である。理解していない子がいれば、言葉を変えながら相手に伝わるまで、なんどもチャレンジすることで、生徒の理解にもつながるし、教師としてのレベルもあがる。教科書に書かれている内容は、……断片的であり、……それぞれ人が思っている事、考えていることはバラバラである。……ただここで大事なのは、自分の考えを持つことである。自分の考えを持つことで、他の意見を取り込むと、考えをレベルアップすることができ、理解が深まる。概念から学術用語になるような感じである。……教える内容の構造を理解し、仮説→実験をくり返す事で、理解

の精度があがる。……（Y.S.）

すなわち、教育内容を生徒の理解とするためには単なる断片的な説明ではなく、授業を受ける生徒たちが「自分の考えを持ち、他人の考えを取り込める」ようにすることが大切であると指摘している。これを読む限りでは、彼自身が確かめているようだが、彼が高校までに受けてきた授業で用いられている教科書に書かれている内容が断片的であることに気づき、裏を返せば内容につながりが必要なことにも触れている。これらのことから彼が以前に体験し、抱いていた授業のイメージを彼なりに転換しているようにも見える。それでも、実験やそれに代わる資料などを「雑談」ととらえてしまうことは、授業における実験などの役割を生徒たちが内容の理解を深めるための授業構成要素として中核をなすものであるというとらえ方からは隔たっていることを示している。前期「理科教育法Ⅰ」の授業は、まだまだ彼の授業観を転換するほどではなかった、ともいえるかもしれない。

学生を従来のとらえ方から抜け出させること

それにしても彼も先の学生と同様、一度は授業というもののとらえ方、少なくとも自分がとらえてきたものとは違うものがある、ということ意識したわけである。しかし当時、彼らにとって仮説を検証するための実験や事実に基づいて法則へ一般化をはかるというような、そして学んだ事実を自分自身で意識的に適用する場、環境をもたなかったために、これを自分の課題として牽きつけることもなく、まして発展させるだけの授業にはなりえていなかったのだろう。だから上記の発言ということになったと考えられる。ここにも見られるように、ある種の刺激を受けたとしてもそれが認識として定着し、他の場面へ適用できるようになるには相応の過程が必要になることが見て取れる。それは概念化、一般化をはかるために踏むことが求められる過程である。

主に前期の授業では、学習者に法則を獲得させるためにはその法則の外延である複数の事実、教材を提示すること、しかもそれら教材のくり返しは発展的になされることで、法則への一般化が促されることを扱ってきた。例えば、「物体は光源からの光を反射する」という法則を獲得させるためには、光源からの光を白い紙にあて、この紙がその光を反射すること、次に白い紙を赤い紙に代え、これも光を反射すること、さらに青い紙でも同

様に光を反射するというくり返しの上に、おもちゃの車から反射したあらゆる方向の光を一ヶ所に集めると、そこに元の車の像ができるという教材を使った。その授業を受けた先の学生は、この授業の感想を次のように書いている。

今回の講義で、白い紙は光源にあてられると反射するということがわかった。白い紙では実験をしてみても反射しているか分かりづらかったが、赤い紙でみると反射しているのがよく分かった。実験は、一つの事から（だけ）ではなく、様々な面から行うことで、分からなかったものが理解につながるというのが分かった。(Y.S.)

この「分かった」という表現に、一つの事実への関心から法則へという意識が生まれつつあるように読むことができる。が、これも「そのとき」の関心にとどまってしまっただけに、彼の中で発展性のあるものにするにはもう一工夫する必要があるかと思われる。

これが加藤周一の言う「今=ここ」*²という日本人の発想と同一視できるかは何ともいえないところだが、仮にこれと彼らの発想とが重なるとすれば、彼らをそこから脱出させることこそが大切と考える。

法則を教育内容としてとらえ直す試みの一つとして

そういう自分から抜け出ようとする一つの試みとして模擬授業をつくらせることを位置づけている。学生一人ひとりに自分で興味をもつ内容を取り上げさせ、それを授業化させる。したがって、彼らから出されてくる授業内容に、彼らは何らかの関心はもっているはずである。それが自然科学の概念や法則であることもあれば、現象レベルであることもある。学生たちの提案が模擬授業作成・実践という形をとることで、彼らの中で自然科学の概念・法則を自覚的にすること、さらには理科の授業が自然科学の概念・法則を教えるもの、ということを考えさせたい。

模擬授業作成にあたって、ある二人の学生が次のように提案していた。一人は天体関係で「太陽系と惑星」、もう一人は生体内の酵素について取り上げていた。

理科で授業にするということは、自然科学の概念・法則を教育内容とする*³ことが前提となる。少なくとも彼らの使ってきた多くの教科書や、体

験してきた授業には、それがほとんど見られない。あるとしても、授業者の内であり、多くの生徒たちのものにはなりえていない。だから彼らにとって授業は暗記を強要される場となっている。これに対し、現職教員にとっても必要な教育内容としてとらえるための参考資料はほとんど見当たらない。そこで教員自らが、学問、この場合自然科学の概念・法則を教育内容とする過程を踏まなければならない。

今回の「太陽系と惑星」でこのこと、すなわち教育内容とすることの一つを考えてみよう。

学習単元全体の見通しはともかく、教科書などには各惑星の特長、例えば太陽を基点として地球までの距離を1としたときの水星、金星、火星等々までの距離を相対的に数値化したり、あるいは各惑星の表面をとりまく大気の主成分などを示した表が示される。これを模擬授業で取り上げた学生は、単にそれらの数値を読み上げるだけであった。当の本人は、読み上げることで比較をしているつもりのようなのである。しかしこういった数値も互いに比較しながらそれらの間の関係性を導き出すことで、個々の惑星の特長が単なる数値に終わらず、その数値間の関係を法則的にとらえることができる。

例えば、太陽からの距離が近ければ、距離と同時に太陽からのエネルギーは四方八方に照射されるため、同じ照射角度に対して太陽に近い惑星ほどその受ける照射面積が大きくなるので表面温度が高く、遠ければその面積は小さくなり温度は低くなるなど。こういったことによって、何が基礎的な法則なのか、あるいはどんな法則が基礎となるかを理解できるからこそ、個々の惑星の特長を比較の中でとらえることができるようになるのである。あるいは、各惑星の大気の組成を見たときに、地球は酸素・二酸化炭素・窒素などであるが、木星や土星などいわゆる木星型惑星は水素・ヘリウムだったりする。酸素・窒素と水素・ヘリウムの密度を比べると、前者より後者的の方がはるかに小さい。それらを個々の惑星がそれぞれの重力によって大気として引き付けるわけであるから、このことによって惑星間の重力の大きさを比較することができる。これは物質の密度であり、重力の理解があって惑星間での比較が可能になる、ということである。このようなことを学生たちに示すことで、彼らが法則的にとらえるとはどういうことかを具体的に理解することを促すことになる。^{*4}

もう一つの「酵素」について。当該学生は酵素の触媒性を実験で示そう

とした*⁵が、手軽にできる実験でもあり、レバーを用いるなど身近な材料も使えることで学習者である生徒たちにも関心を惹きつけるはずであった。しかしこの学生にとって、そもそも酵素が生体にとって必要欠くべからざるものであることを、具体的事実をもってどれほど認識されているのか、心もとない。というのは、指導案をつくる際にこのことを質問したが、ほとんど答えられない状況であった。

酵素は生体内で使われるわけだが、もちろん、酵素がないと生体内の反応は進まない。このときの生体内の反応というのは、主に化学変化である。どんな化学変化があるかといえば、例えばヒトを考えたとき、からだをつくるためにタンパク質を摂る。このとき多くの場合、それは牛肉や豚肉、鶏肉であったりする。しかし豚肉、つまり豚の肉をつくるタンパク質を摂ったからといって、ヒトはその豚のタンパク質をそのまま取り込むわけではない。まずは豚肉をアミノ酸まで分解してヒトのからだに適したタンパク質に再合成する。その際の反応はすべて化学変化である。一方で多くの化学変化は常温ではほとんど起こりにくい。しかし、生体内の温度は常温に近い。とすると、果たしてその温度で化学変化が起こるだろうか。なかなか起こり得ないことが多い。そこで活性化エネルギーが必要ということになる。単に物質だけあっても化学変化は起こらないので、化学変化を促すものが必要になる。生体内では他からエネルギーが得られるわけではないので、それが酵素の果たす役割となる。さらに酵素は体内で使われるので、酵素がはたらく条件が必要になる。それが温度だったり、pHだったりするわけである。この程度の理解は少なくとも必要だろうし、それは酵素を考えるとときに基礎的に教える内容としてとらえておかなければならないものである。

部分と「総合する」こと

もちろん教科書執筆者たち、あるいは高校で授業を担当した教員がこれらのことを知らないというわけではない。しかし当該学生はこれらの事実を知らなかったわけであり、またこの模擬授業を受けた少なからずの学生たちは理解をしていなかったことから考えると、そのような教育がなされていないことを予測することはむずかしくはない*⁶。

このような教育がなされていないことの原因として考えられることは、高等学校だけではなく中学校を含めて、タンパク質はタンパク質、化学変

化は化学変化、酵素は酵素と個々バラバラに考えてきた、あるいは考えさせられてきた結果ではないだろうか。それは試験のための暗記というところに象徴される。本来科学は複雑な現象を細かく分け、できるだけ単純化し、明確な概念によって分析していくものである。その分析の下、それらを総合することによって全体を把握していくのである。すなわち、酵素が生体にとってどのような意味があるのか、全体性の中で理解する必要がある。つまり、酵素というのは生体内の部分だけをなすものであるが、その部分だけを見ても生体はわからない。それはタンパク質然り、化学変化然りである。言い方を換えれば、部分だけを追っても自然が見えてくるとは限らない。かといって、部分だけをつなげても全体は見えないのである。この場合は、単なるつなぎ合わせにすぎず、全体を構造的に構成する部分とは言わないのかもしれないが。ここにも加藤の指摘するムラ的なとらえ方を指摘することができると同時に、そこに陥らないことの大切さを見ることができるといえる。

「総合」とはいうものの、これは単に寄せ集めるということではないことは言うまでもない。常に全体を意識することが欠かせない。これも具体的なものを取り上げてみないと、そのイメージがわからないし、方法としても成り立たない。例えば「酵素」を取り上げた過程をふり返ってみる。酵素は生体が生きていく、各器官が機能するために欠かせない、という生きることの具体性がある。その上で各器官が機能するとは、生きることにもどると自己保存、身体の維持ということに対応し、その一つとして身体をつくる、代謝がある。その過程は物質の変化であり、これは物理的变化とともに化学変化が伴う。この化学変化の一つとして、例えばタンパク質の再合成、あるいは呼吸でもよいのだが、それら化学変化が起こるためには条件が必要になる。その条件とは化学変化の学習の折に取り上げるわけである。このようなことからさきの結論へとたどり着く。

こういった過程を個々の概念・法則についてたどってみることが、この場合の「総合」の一つ、ということになる。さらに、こういった取り組みによって、取り上げた概念・法則がどんな構造をもっているのかが明らかになるので、何が基礎的な概念・法則になるのかをも検討する機会になる。

このようなとらえ方をした上で、個々の概念・法則の定式化へと移ることになる。

「理科教育法」を担当する教員として、自然科学の概念・法則を教育内

容としてとらえることを意識的に行い、学生たちに教育内容としての理解を促すことが、彼らの「今=ここ」を、それ以上に担当教員としての自分の「今=ここ」を打破することにつながるのではないだろうか。



以上一部の学生たちからの声を分析してのことではあるが、これが教職課程に登録し、学習し、やがては教員になる可能性をもつ彼らに、法則をとらえさせることの難しさを感じさせる現実である。さらにこのような実態を探ってみると、法則的認識以前に、上記のような個別的、事実認識すら彼らの中に成立していないのではないかと考えてしまう。教育法の課題として学生たちの認識を明らかにし、それへの対応を考えてきているが、実は教員養成以前の学校教育、初等、中等、さらには高等教育の課題、個別教科の課題としてとらえていく必要があることに気づく。

学生たちが本質的なことを「豆知識」としていることは、彼らの発想として単なる*how to*を求めているように感ずる。それは教える側に、発達の課題として、そして自身の認識の課題として、何を、いかにとらえなければならぬかを、彼らに突きつけられているものとして引き受けねばならないのだろう。

最後に、この「理科教育法Ⅱ」を受講した上記A.K.が履修後に書いた感想の一部を紹介しておく。

今回私は理科教育法Ⅱを受講して「授業」への考え方が大きく変わりました。

まず、自分で模擬授業を実施してみて、自分がわかりやすく単元の内容を解説するために試行錯誤しても、実際は実験器具を用意した意図、この器具を使う意味、この考えを用いる理由などはちゃんと伝えようとしなければ届かないことが実感できました。昨今は受験のための授業をやる教員がいたり、塾の先生と何が違うのかと思うことがこの授業を受講するまでは明確にわかっていなかったように思います。教員はその分野を通して物事の考え方を教えなければいけない。自分が当たり前と思っていることを生徒の気持ちを考えずにちゃんと説明できないことがあってはいけないことがよくわかりました。(A.K.)

注)*¹ 他大学で学生に模擬授業をさせたところ、その学生は光合成を取り上げた授業をした。光合成は小・中学校で扱われているので、「植物は葉で、二酸化炭素と水とから光を受けることによってデンプンと酸素をつくる」ことが彼らに染みついている。光合成は葉緑体をもつ植物にとってどの細胞でも行われる可能性がある。したがってたとえ根であっても光合成をする可能性はある。実際に青首ダイコンなど、光にあたった根でも光合成をする。光合成が植物にとって死活問題であるから、根でさえも光合成をする、ということは、植物教育にとって、植物をとらえるときの一見例外的に見えながら光合成を一般化するための大切な教材になる。

*² ……時間の「全体」は、現在＝今が無限に連なる直線、または無限に循環する円周である。それぞれの現在＝今は、その全体の「部分」であり、相互に等価的であるとすれば、日本文化の伝統が強調する現在集中主義は、全体に対する部分重視傾向の一つの表現と解することもできる。そこでは全体を分割すると部分が成り立つのではなく、部分が集まると全体が結果する。

「空間」の全体は無限の広がりである。部分は「ここ」、すなわち「私の居る場所」である。その場所は、典型的にはムラ共同体であり、境界は明瞭で、境界の内と外の二つの空間がムラ人にとっての世界の全体をつくる。ムラの領域は世界空間全体を分割した結果ではなく、ムラの集まりクニを作り、……私の住む場所＝「ここ」がまず存在し、その周辺に外側空間が広がる。(加藤周一『日本文化における時間と空間』p.235 岩波書店 2007年)

*³ 拙著『「教育内容にする」こと』『授業と科学』No.19, 2017年

*⁴ 本来なら、こういうことを学生たちが受けてきたこれまでの教育でされる必要があるわけだが、それができていないことに現在の教育の問題性の一つをここに見出すことができる。

*⁵ これを模擬授業のテーマに挙げた学生は、上記「雑学」「豆知識」と同じような関心でしかないからこそ、酵素概念の生体の中で意味づけができていない。

*⁶ 暗記レベルを脱しきれない学生たちは、こういうことを聞くと、自分の知識のなさに落胆し、自分を責め、自信を失うことが少なくない。彼ら自身が抱えるこのような問題も、教員養成にかかわ

る教育として無視できない問題でもあるし、時として専門分野も含めた現在の大学教育の課題の一つと考えられる。