

知識の体系化を図る理科指導

——大学生の自然認識の現状から考察する——

井出 忠臣（信州大学 全学教育機構 教職教育部 特任教授）

1 はじめに

平成20年9月に発刊された中学校学習指導要領解説理科編は、「教科の目標」の項⁽¹⁾で、自然の事物現象への理解を深めて「知識を体系化する」ことの重要性を述べている。また、翌21年7月に発刊された高等学校学習指導要領解説理科編⁽²⁾でも、同じく「理科の目標」の項で、「知識を体系的に身に付ける」「体系化された知識に基づいて分析的・総合的に考察する」ことができるように指導することを述べている。中学生にとっても高校生にとっても理解を深めることは、単に新たな知識を増やしていくことではない。生徒一人一人の学びの中に見方や考え方の体系化を図るプロセスがつけられ、その結果として知識が更新され、活用可能なものとなることを意味している。中学生の「科学的な見方や考え方」や高校生の「科学的な自然観」はこうした生徒一人一人の知識の体系化を通して育成される。

知識の体系化については、その言葉が理科教育に登場してから二十数年の歴史がある。ただ、小学校・中学校・高等学校での12年もの学びを経て大学に入学してくる学生に接すると、獲得した知識がはたして体系化されたものになっているのか疑問を感じる事が頻繁にある。そうした状況に接する度に、生徒が知識の体系化を図ることのできる指導は学校現場でどの程度理解され、進展したのか疑問を感じる。

今日、社会の変化に伴って「社会を生き抜く力の養成」「未来への飛躍を実現する人材の育成」⁽³⁾をねらい、一人一人の子どもに知識・技能の修得とそれらを活用して課題の解決に必要な思考力・判断力・表現力を育成することが求められるようになった。また、これからの教員に求められる資質能力の一つにも「新たな学びを展開できる実践的指導力」⁽⁴⁾が加わった。こうした教育の変化の中で「知識を体系化する」ことは、その言葉が登場して以来、意味も位置づけも少しずつ変わってきている。ここでは、はじめに、学習指導要領の変遷の中で示された知識の体系化の意味をとらえるとともに、理科の教員免許を取得しようとする学生の知識の体系化の現状を探る。次に、そこから見えてくる指導の課題を明らかにし、最後に、知識の体系化を図る指導のあり方について考察することとする。

2 指導書及び学習指導要領解説で示された「体系化」

(1) 平成元年の学習指導要領改訂で登場する「体系化」

最初に知識を「体系化」という言葉が示されたのは、平成元年3月の中学校学習指導要領の改訂にともなって同年7月に当時の文部省から発刊された中学校指導書理科編である。「第2章 第1節 教科の目標」⁽⁵⁾で「理解を深める」ことについて次のような解説をしている。

理科の学習のねらいは、自然の事物・現象についての知識や理解を深めることにもある。しかし、これらの学習においても、生徒が獲得した情報から帰納の所産としての知識や理解ができるだけ形成されることが望まれている。・・・略・・・学習の喜びは、既存の知識を授けられるよりは、自らの力で発見し、体系化していくことにある。

なお、同年6月に発刊された小学校指導書理科編「第2章 第1節 理科の目標」⁽⁶⁾では、「理解を図ること」について「体系化」という言葉は用いていないが、以下のように解説している。

断片的に伝達されただけの知識であったり、言葉として覚えさせられたりしたものであっては、生きて働く知識にはなり得ない。・・・略・・・問題解決の過程を通して、既存の概念を集約したり、修正、拡大したりするなど、児童自らが自然を認識する過程を大切にすることである。

この内容は、それまでの「理解を図る」ことについての解説（昭和52年7月の学習指導要領改訂にともなって発刊された小学校指導書理科編⁽⁷⁾）と比較するとその違いが分かる。ここでは『「理解を図り」とは、・・・つまり自然の事物・現象を対象として観察、実験などの自然を調べる諸活動を展開することによって、自然についての認識を得ていくことを意味する。』と述べている。

平成元年はワープロの普及が始まり、高額ではあるがパソコンも登場し、情報化への対応が叫ばれるようになった時代である。学習指導要領改訂の趣旨では「社会の変化に自ら対応できる心豊かな人間の育成」を目指すとしている。その中で理科教育における「理解を図る」活動は、それまでの「観察・実験などの自然を調べる」ことだけでなく「既存の概念を集約したり、修正、拡大したりするなど、自らが・・・」という一人一人の思考活動に重きを置くものとなった。中学校指導書に示された「体系化していく」という言葉は「情報から帰納の所産としての知識や理解が・・・形成されていくこと」という言葉を受

けている。「帰納」という思考活動により形成される理解は、小学校指導書に記された「既
有の概念を集約したり、修正、拡大したりするなど、自らが自然を認識する」思考活動を
生み出すことでもある。なお、この改訂におけるキーワードは「自ら」という言葉である。
社会の変化に対応できる力は、子どもが自分で考え判断する「自ら」を育てることにある
ことを表している。「体系化する」という言葉の主語は「生徒が獲得した情報から・・・」
という記述にもあるように「生徒」である。その生徒の「自ら」を前提として行われる一
人一人の認識の過程として「体系化」がある。ここに「新しい学力観」という言葉も生ま
れた。ただここでの解説の表現は「できるだけ形成されていくことが望まれている。」と、
希望を述べる程度の控えめなものとなっている。

なお、この理念は学校現場にはあまり浸透せず、学校現場の理科指導に大きな変化が現
れることはなかった。次の改訂前には「指導要領の理念は教室のドアから内には入ってい
かなかった」という反省が語られるようになる。

(2) 平成 10 年の学習指導要領改訂における「体系化」

平成 10 年 12 月に小学校学習指導要領が改訂され、翌 11 年 5 月に文部省より学習指導
要領解説理科編が発刊された。この解説本で初めて小学校理科にも「体系」という言葉が
登場⁽⁸⁾した。「第 2 章 第 1 節 理科の目標」の項で「理解を図ること」について以下のよ
うな解説をしている。

・・・理解とは、児童の既有的イメージや概念などと深いかかわりがあり、児童の既
有するそれらの体系と、問題解決によって得られた情報とを結び付けて意味付け・関連
付けし、自然に関する新しい体系を構築していく過程とその結果であるといえよう。

また、同年 11 月に発刊された中学校学習指導要領解説—理科編—⁽⁹⁾でも「知識や理解
を深める」「科学的な見方や考え方を養う」ことについて以下のような解説をしている。

知識や理解を深めることは、理科の学習のねらいとして重要なことである。しかし、
今後は、多くの知識を教え込むことになりがちであった教育の基調を転換し、生徒が自
らの力で知識を獲得し、理解し体系化していくようにすることが重要である。
・・・自然についての理解が深まり、生徒の中に知的な体系が形成されていくと、
いろいろな事象に対しての科学的な見方や考え方ができるようになると考えられる。

「体系を構築する」「体系化する」ということは、観察・実験によって得られた情報をも
とに、自分の見方や考え方をくり変えくり変えていくことであり、また、獲得した知
識を一定の原理で組織し、統一的に結びつけ、つながりのある全体像をくり変え、つく

り出すことであると受け止めることができる。

この平成11年の解説本で示された「体系化」という語句は平成元年の場合と比べて、かなりはっきりとした意味付けがなされている。それは構成主義に基づく指導理念が理科教育の前面に押し出されたことによるものである。

平成5年(1993年)「The Psychology of Learning Science」という論文集の翻訳が「理科学習の心理学」という題名で日本に紹介された。その「第一章 理科学習における構成主義の見解」はジョージア大学 S.M.Glyn R.H.Yeany B.K.Britton⁽¹⁰⁾ の共著で、以下のような言葉が記されている。

生徒の個人的な理論やモデルには外部世界のあり方について多くのミスコンセプションを内包している。・・・彼らは理科の授業で学んだ事実を覚えたり、テスト場面でそれを反復再生したりすることはとても簡単に行うが、学校の外では彼らの個人的理論やモデルは適用し続けることになる。ミスコンセプションを容易に捨て去ろうとしない。・・・ミスコンセプションが放置されるならば、子どもは青年になっても、大人になっても持ち続けてしまう。・・・個人的な理論やモデルの構成や再構成の過程として理科学習を論述した。

子どもの心の中に形成された個人的な理論やモデルは、授業でどんなに新たな知識を獲得しても容易には変わらない。どんなにテストの点はよくても、活用可能なものとなっていけない。その学習以外の場では個人的な理論やモデルを使い続ける。しかも大人になってもである。だから、その個人的な理論やモデルをつくり変えつくり出して科学的なものにしていく学習過程、すなわち「構成や再構成の過程」としての理科学習を進めていくことが必要であるというものである。

上述の内容と小学校学習指導要領理科編の言葉を対比すると「体系」の意味は明確になる。「理科学習の心理学」で示された「個人的な理論やモデル及びミスコンセプション」に対応する言葉が学習指導要領解説では「児童の既存するそれらの体系」であり、同様に「構成や再構成の過程」に対応する言葉が「新しい体系を構築していく過程」となる。「既存する体系」とは子どもの中にある「思い込み」あるいは「ミスコンセプション」を含んだ素朴な見方や考え方であり、「新しい体系」とは観察実験によって得た情報から子ども自らがつくり変えつくり出した科学的な見方や考え方となる。「体系化」はその過程を意味する。

知識は教師から与えられるものではない。子どもはもともと何らかの素朴な見方や考え方に基づく意味体系を持っている。その意味体系を観察・実験をして得た情報をもとに吟味し、つくり変え、体系化することである。なお、ここでは、追究する対象となるものは昭和52年の解説にあるような「自然の事物・現象」ではない。「既存するそれらの体系」すなわち「自分のもつ見方や考え方」であることに大きく転換している。したがって、子

どもには常に「自分」を意識、自分に問いかける心の働きが学習の中で求められる。

こうした改訂の背景について、「第1章 総説」の冒頭⁽¹¹⁾では、受験競争の過熱化、いじめや不登校の問題、社会体験不足などの様々な教育課題と、国際化、情報化、環境問題、高齢化・少子化などの社会の抱える課題を挙げ、子どもが自ら学び自ら考える力など21世紀を「生きる力」の育成が必要となったことを述べている。そこには、受験競争の過熱化等の中で生徒が獲得した知識が本当にその生徒の心を育てるものになっているのか、今後の社会の変化に対応して自ら心を働かせる「生きる力」を開発するものになっているのか、という教育の現状への問いかけと教育の変革への願いがある。そうしたこともあってか、解説の表現は、平成元年の「できるだけ・・・」「・・・望まれる」いった消極的な表現でなく「・・・体系化していくようにすることが重要である。」と、取り組みを強く促すものとなっている。

問題解決学習を実践する教師にとっては、子ども一人一人の見方や考え方を学習の中心に据えることはこれまでも大切に考えていたことであり、構成主義の理念は特に違和感なく受け止めることができた。ただ、この時の改訂では「ゆとり」という言葉が一人歩きを始め、平成12年(2000年)から3年ごとに実施されるようになったPISA調査で、周知のように日本の生徒の学力順位が低下を続けると、その「ゆとり」問題がクローズアップされ批判にさらされた。そんな学力低下論争の中で、先に示された学習理念は学校現場で語られることが少なくなってしまう。

(3) 平成20年の学習指導要領改訂における「体系化」

平成20年3月の指導要領改訂にともなって、同年8月には小学校学習指導要領解説理科編が、9月には中学校学習指導要領解説理科編が発刊された。

小学校学習指導要領解説理科編では「理解」⁽¹²⁾について次のように記されている。

自然の事物・現象についてのイメージや素朴な概念などは、問題解決の過程を経ることにより、意味付け・関連付けが行われる。そして、学習後、児童は自然の事物・現象についての新しいイメージや概念などを、より妥当性の高いものに更新していく。それは・・・自然の事物・現象についての一つの理解である。

直接に「体系」という言葉を使うことは消えたが、「イメージや素朴な概念」「新しいイメージや概念」という言葉に見られるように、構成主義で示された理解についての考え方は踏襲されている。ただ、「一つの理解である」として平成10年改定のような示し方は控えている。

中学校学習指導要領解説理科編では「理解」⁽¹³⁾について次のように表されている。

「自然の事物・現象についての理解を深めること」は、自然の事物・現象についての知識を体系化する・・・ために重要である。・・・生徒が自らの力で知識を獲得し、理解を深めて体系化していくようにする。・・・知識を体系化し・・・それらを総合的に活用できるようにする

ここでは「知識を体系化する」「理解を深め体系化する」としている。これも、平成10年改訂の「知識を獲得し、理解し体系化していくようにする」を踏襲している。ここでのキーワードは初めて登場した「活用」という言葉である。体系化は「総合的に活用できるようにする」ための思考活動であるという意味づけがなされた。

こうした変化は OECD の提唱した学力観と、その学力観に基づいて実施された学力調査(PISA 調査)によることが大きい。学習指導要領解説の総説には次のような一文がある。

OECD (経済協力開発機構) の PISA 調査など各種の調査からは、我が国の児童生徒については、例えば、思考力・判断力・表現力等を問う読解力や記述式問題、知識・技能の活用する問題に課題・・・

OECD は、社会経済の持続可能な発展と生活水準向上のため、開発する個人の能力としてキー・コンピテンシーを定義付け⁽¹⁴⁾した。そのカテゴリーの一つに「活用する能力」(社会・文化、技術的ツールを相互作用的に活用する能力)を掲げたのは周知の通りである。その能力を測定するために世界規模で実施した調査が PISA 調査であり、調査項目の一つとなったのが Reading Literacy (読解力と訳される)⁽¹⁵⁾である。Reading Literacy は学習指導要領解説の総説で「思考力・判断力・表現力等を問う読解力・・・」と記されている。これ以後は「思考力・判断力・表現力」と表現された。子どもが自ら読み取り、思考し、判断し、表現するという心を働かせる能力である。そうした学力観を受けて中学校学習指導要領理科編では「科学的に探究する能力」について以下のように記している。

観察・実験など・・・を行うことで、結果として様々な情報が得られる。・・・それらを分析して解釈し表現することが必要である。このような取り組みにより・・・科学的な思考力や判断力、表現力が養われる。

理科学習の中で行われる分析し、解釈し、表現するという行為はこれまでも大事にされてきたが、その行為が思考力、判断力、表現力を養うものとして強調されている。これまでと違うことは、そうした心を働かせ思考を推し進めることができることを「能力」として捉えたことである。その能力を理科における Reading Literacy と位置づけ、「科学的な思

考力や判断力、表現力」と規定して養うべき学力とした。確かに、それまでもこうした能力を「見えない学力」と呼ぶこともあった。ただ、PISA 調査では、この能力を測定可能なものに「見える学力」にしたところに大きな意味がある。この流れを受けて全国学力学習状況調査も行われた。グローバル化、新たな価値の創造、国際競争の激化と協働、解決困難な問題の続発という「正解のない時代」を生きる子どもたちである。「体系化し活用する」ことのできる力を育むことは単なる教育理念ではなく、これからの時代に生きて働く能力として、一人一人の子どもの達成する目標へと変わった。

3 学生の「知識の体系化」の状況

前述した教育の動きの中で現在の学生は小学校・中学校・高等学校と学んできている。特に、現在の大学2年生、3年生は全国学力学習状況調査が始まった頃に中学生になった生徒である。この学生達は一人一人の学びの結果として、どの程度、自然の事物・現象について体系化した見方や考え方ができるようになっているのだろうか。その状況を調べることは、これまでの学校現場の理科指導を振り返り、今後の指導を考える上で重要なことであると考えられる。また、調査の過程で、対象となる学生（教員免許を取得しようとする学生）に自分の知識や理解の状況を振り返らせることは、自身の「学び」についての経験と考え方を問い直させ、学習指導の基本理念を再構築させる出発点にもなる。そこで、以下のような調査を行った。

(1) ナズナの花のつくりを観察した学生

中学校や高等学校の理科教員免許を取得しようとする2年生の学生に、ナズナの花のつくりを観察させ、種子はどこにできるのか調べさせた。学生たちはそれまで「葉」と呼んでいた（茎に連なって付いている緑色のハート型をしたもの）部分にたくさんの種子が入っていることを見つけ、それぞれに驚きをもった。その観察結果からある学生は以下のように考察⁽¹⁶⁾した。

ナズナは葉の中にたくさんの種子を残す珍しい植物であることがわかった。植物はそれぞれに特色をもっているようだ。

もちろんナズナは葉の中に種子を残すわけではない。「葉」と認識しているものは果実である。この学生はもちろん中学1年の最初に学習する生物単元「花のつくりと働き」で「子房は成長して果実になる」「子房の中にある胚珠は成長して種子になる」という知識を得ている。全国、どの生徒も学び「当たり前」のこととして理解している基本的な事項である。もしも、花のつくりと関係付けてハート型の部分が茎の下にいくほど成長していることを

とらえ、学んだ知識を活用して思考し判断すれば、あるいは、分析して解釈すれば「葉だとばかり思っていたものは果実であった。」と記述できるであろう。でも、「葉の中にたくさんの種子を残す珍しい植物」という判断になってしまった。学んだ知識は具体的な植物を手にした場面では活用されなかった。

この学生の考察を読むと、先に紹介した論文集の翻訳本「理科学習の心理学」に書かれていた「ミスコンセプションを容易に捨て去ろうとしない。……ミスコンセプションが放置されるならば、子どもは青年になっても、大人になっても持ち続けてしまう。」という一文が頭に浮かんでくる。始めに「葉」と思ってしまったミスコンセプションは青年になっても適用し続けているのである。「花のつくりと働き」で得たはずの知識はこの学生の心の中では体系化されていなかったと判断できる。

(2) ナズナの花を観察した学生の考察を読んだ他の学生の反応

前述した学生の事例は特別なものだろうか。それとも学生によく見られる傾向なのであるだろうか。それを調べるため、ナズナの花を観察した学生の考察を以下のような設定で、別の集団3年生15名の学生⁽¹⁷⁾に読ませ、思うことを記述させた。

<問題の設定>

ナズナの花を茎ごと採取したものを学生に配布し、さらに、次の質問紙を配布して読み上げ、回答を記述で求める。

ある学生がナズナの種子はどこにできるのか調べた。その学生は、観察の結果、茎に連なってついている緑のハート型をした葉と思われる部分にたくさんの種子が入っていることを見つけた。そしてその結果から以下のように考察した。

「ナズナは葉の中にたくさんの種子を残す珍しい植物であることがわかった。植物はそれぞれに特色をもっているようだ。」

<質問> この学生の考察についてあなたの思うことを述べよ。

この質問に以下のような回答が寄せられた。

「葉の中にたくさんの種子を残す」という解釈の不備を指摘する記述

A学生：ナズナのそれぞれの部位についてこの人は正確に分かっていない。種子のできる場所はめしべである。葉の構造、種子のできる場所などについてもう一度学んだほうがよい。

B学生：知らない人から見ればナズナの葉に見える。花が咲いている部分とすでに実がで

きている部分の変わり方に注目させる必要がある。

C学生：葉に見えても、その中に種子ができるのであればそれは葉ではなく果実であると考えべきである。ナズナは葉の中に種子を残す珍しい植物ではなく、葉のような果実をもつ珍しい植物である。

D学生：植物は共通の特徴から幾つもの種類に分けられる。しかしながら種子のつくり方などは植物にも共通してめしべからつくられる。また葉なのに葉脈がなく、葉ではない。

「葉の中にたくさんの種子を残す」という解釈に疑問をもつ記述

E学生：ナズナを見ると確かにハートの部分が葉に見える。本当に葉なのか？

F学生：茎についているハート型をした部分を葉という名前と呼んでいいのか疑問に思う。

G学生：ナズナのハートの部分はそもそも葉だった？ ナズナは珍しい植物といえるのかこれだけでは分からない。

H学生：たくさんの種子を残す植物はめずらしい。「植物はそれぞれ特色を持っている」と書いてあるがその根拠は？ハート型の部分は葉なの？

「葉の中にたくさんの種子を残す」という解釈を肯定し、受け止める記述

I学生：ナズナという植物は種子を葉の中に残すため、めしべが葉である。葉の中に子房があり、花が葉になる植物である。

J学生：普通、植物は開花し、実ができ、成熟してしばらくたつと種子を残すものだが、ナズナはそうではない特色を持っている。子孫の残し方は植物で異なる。

K学生：葉の中にたくさんの種子を残す植物がめずらしい。他の植物と比較してその特色を考察しているのがよい。

L学生：そう言われてみると、ナズナが被子植物なのか裸子植物なのか、もしくは他の種類なのかが分からなくなる。

M学生：ナズナの特徴や形をきちんと見ている。私も、実際の授業のときは他の植物を出したりして、他とは違うという驚きをもたせるようにすべきであると思う。

N学生：葉の中に種子をもつ植物があることを初めて聞いた。他にもどんな特色をもつ植物があるのか知りたい。

O学生：ナズナの種子がどの部分でできるのか、大学生になってから発見するということは小・中学校で観察・実験をした記憶がないということである。葉の中に種子を残すのは本当に珍しい植物といえるのか。

A、B、C、Dの4名の学生に共通する判断基準は「種子のできる場所はめしべ（子房）である」という分かりやすい知識である。その知識を新たな事象に適応させ、判断のよりどころとして活用し、考察の不備を指摘することができた。多くの学生がこうした回答を記述すると予測したが、その学生は、15名中わずかに4名である。A学生は「もう一

度学んだほうがよい」と手厳しい。B学生は、「花の部分と実できる部分の変わり方を対比して調べてみれば分かる」と、観察の仕方や思考・判断の仕方を具体的に示している。D学生はさらに付け加えて、「葉には葉脈がある」という知識も活用している。こうした論述をみると、この4名は学んだ知識が活用可能なものとして体系化されているといえる。

E、F、G、Hの学生も「ナズナは葉の中にたくさんの種子を残す珍しい植物」という言葉に「本当に葉なのか」という意味の疑問の言葉を記している。考察した内容には同意しかねるが、反論できない。不備を指摘したC学生の「種子ができるのであればそれは葉ではなく果実であると考えべき」という言葉に代表されるように、学んだ知識を活用して同意しかねる理由を論述することはなされていない。その意味で自分のもっている知識が活用可能なものとして体系化されるまでには至っていないとみることができる。

「ナズナは葉の中にたくさんの種子を残す珍しい植物」という考察を肯定的に受け止めた学生は15名中7名いた。ほぼ半数とみることができる。I学生は「種子のできるところはめしべ（子房）である」という知識とつなげてはいるが「めしべが葉である」と判断してしまった。そして「花が葉になる」という飛躍した解釈をつくり出している。L学生も自分のもつ知識とつなげようとしているが解釈ができない。「他の種類なのかが分からなくなる」と思考に混乱を生じさせている。J、K、M、N、Oの学生はまったく疑う姿は見られず、もっている知識とつなげようとする心の働きすら読み取ることはできない。こうした7名の論述の状況をみると、「花のつくりと働き」についての知識はナズナの花には活用されず、判断が飛躍や思い込みを含む不適切なものになっていることが分かる。それは知識や理解の仕方そのものにも不十分さがあり、体系化までに至る状況にはなっていなかったと解釈することができる。

もてる知識を活用して適切に判断し論じることができない学生が15名中11名であるという状況があり、その内7名は疑うことすらしない姿が見られるということは、始めにナズナの考察を示した学生はけっして例外的な事例ではなく、幾人もの学生に見られるものであることが考えられる。知識は持っていてもその知識が十分に体系化されていない状況にある学生はよく見られるということである。

(3) アブラナの花のつくりと実のでき方の観察から

さて論述した15名の学生は実際に植物に出合うとどのように判断するのだろうか。この後、学生に植物をアブラナに変えて、花のつくりと実のでき方を観察させた。アブラナもナズナ同じ十字花科の植物で、花が咲き終わると次々に子房が成長し、茎の下の方には成長した緑色の棒状の果実が並んでいる。この観察の最後に学習を振り返って感想を記述させたところ、次のようなことが書かれていた⁽¹⁸⁾。

○ C学生：「葉の下についているやつが果実だというのは言われて初めて気がついた。前

までは変な葉だなと思っていた。割ってみたら本当に種子がでてきた。」

「ナズナは葉の中にたくさんの種子を残す珍しい植物」という考察の問題点を筋道を立てて指摘できた学生である。その学生が本物の植物に出会うと、おしべ、めしべは見つけ出すが、そのめしべの変容にまでは目が向かず、果実だと人から言われるまで気がつかないのである。「実際に活用できる」ということはそう簡単なことではないということがわかる。ただこの学生は、自分で割ってみて種子があることを確認している。この確認の行為は「種子ができていれば果実」という知識を活用したものとなっている。

- O学生：「花は雌花と雄花だけかと思っていたら、アブラナは一つの花の中におしべもめしべもあってびっくりした。」

「大学生になってから発見するということは小・中学校で観察・実験をした記憶がないということである。」と批判しながらも「ナズナは葉の中にたくさんの種子を残す珍しい植物」という考察は認めていた学生である。このO学生も、本物の植物に出会うと、やっぱり自分も大学生になってから「アブラナは一つの花の中におしべもめしべもあってびっくり」と発見しているのである。この学生の知識は、大学でアブラナを観察するまでは小学生で学んだときの認識のまま放置されていたことになる。中学校、高等学校での学びはこの学生の認識を体系化するには至っていなかったことが推測できる。

- L学生：「花が散った後に、子房が3~4倍は成長していることが驚きである。」

「ナズナが被子植物なのか裸子植物なのか、もしくは他の種類なのかが分からなくなる。」と思考が混乱してしまい、もっている知識を活用して判断をすることができなかった学生である。子房が成長し変化することは小学校のヘチマの観察以来、幾つかの植物で学んできている。「驚きである」という表現からは、子房が成長するというものについても、ヘチマの実のでき方等での学びと結びつけることができていない状況であると推測できる。

- K学生：「アブラナのおしべの花粉がめしべの柱頭に実際についているのを見て、教科書で知識としてしか知らなかった光景が自分の目で見ることができて感動した。」

「葉の中にたくさんの種子を残す植物がめずらしい。他の植物と比較してその特色を考察しているのがよい。」と考察の内容を疑うことなく認めた学生である。花粉が柱頭につく様子は小学校の授業でも中学校の授業でも観察する。特に小学校では、花粉をめしべの柱頭に受粉をさせ、子房の成長を受粉をさせなかったものと比較して調べるようになっている。「教科書で知識としてしか知らなかった光景」と記述しているということは、そうした観察や実験を通した学びそのものがなされていなかったことになる。この学生が考察の妥当性について知識を活用して判断できなかった原因の一端が見えた。「教科書で知識としてしか」学ぶことができない授業では、子どもに知識の体系化を望むことは難しいということである。

確かに大学に入学してくるだけの知識は蓄えている学生である。しかし、これまで示してきた事例をみるならば、その知識は実際の問題に出合ったときに活用して論述できるほど体系化されたものにはなっていない学生が多く見られることが分かる。O学生のように小学生のままの認識であったり、K学生のように教科書の知識のままであったりしたのは子ども一人一人に生きて働く能力を育てたことにはならない。ただ、C学生の感想からも分かるように、どの生徒にとっても知識を本当に活用できるよう体系化するという事は容易いことではないことも分かる。自分のもっている素朴概念は簡単にはつくり変え再構成できるものではないということである。

4 高等学校における「物理基礎」「等加速度直線運動」の学びの状況

「花のつくりと働き」に見られるような知識の体系化がされにくい傾向は生物領域や中学校の学習だけに見られる特別な例であるのだろうか、それとも他の領域や高等学校の学習でも見られるだろうか。そこで、次に高等学校における物理基礎「等加速度直線運動」の学習に焦点を当てて、学生の学びの状況を調べてみることにした。

(1) 問題の設定

高等学校 物理基礎「等加速度直線運動」の学習は中学校「運動とエネルギー」における単元「力と運動」の学習を基盤としており、運動を式化して表す学習内容となっている。この等加速度直線運動の指導案作成に向け教材研究をする場を、理科指導法の講義で設定した。最初に以下のような課題を出して、学生が高等学校の授業でどのような学びをしてきたのか、学びの振り返りをさせた。この学習における指導の課題を見付け出すためである。ここでは前述の「アブラナの観察」をしたグループとは違う3年生13名のグループ⁽¹⁹⁾で調査した。

<問題の設定>

- 「斜面を下る台車の運動」を、記録タイマーを使い記録する。
- 記録テープを任意の打点の箇所から 0.1 秒毎の長さを 0.5 秒分切り取る。(長野県は 6 打点が 0.1 秒)
- 切り取った 0.1 秒毎のテープを順にグラフ用紙に貼る。
- 0.1 秒毎の平均の速さを表す位置に印をして、直線で結びグラフにする。
- 出来上がったグラフから加速度と初速度を求める。
- 時間の経過と速度の変化を表すグラフ ($v-t$ 図) を作る。
- 初速度 v_0 、加速度 a 、時間 t 、速度 v と置き換えて、作成したグラフから関係式を求める。

質問：高校生の時に受けた「等加速度直線運動」の授業では、自分にとってどこに学習の困難があったのか、あったら書き出してみてください。また、指導のどこにその原因があったと考えるか、分かったことがあったら書いてください。

(2) 学生の回答

多少なりとも困難を記述した学生は 13 名中 10 名であった。その記述を以下に示す。

P 学生： $v-t$ 図と $x-t$ 図の違いがよく分かっていなかった。等加速度直線運動と等速直線運動の違いもよく分かっておらず、等速直線運動でも加速度が一定の運動だと考えていた。

Q 学生：式だけ覚えていればよいと思っていた。加速度の値を読み取るところがどこか分からなかった。グラフの意味を正しく理解していない。

R 学生：等加速度直線運動という名前から加速度が一定ということは分かっているが、自作した $v-t$ 図とリンクしておらず、感覚的に分からなかった。今回の実験結果をグラフにして加速度 a は $v-t$ 図のどこにあたり、それは時刻を経ても変わらないことを確認できた。平均の速度がテープの幅の真ん中に現れる理由も分かった。

S 学生：記録テープの 0.1 秒間の移動距離をグラフに貼っているのに、速度 v として使われるため、速度変化など複雑になっていくと正しく理解することが難しかった。

T 学生：高校の授業では中学校の分野との関連をつなげる部分がなかったので、始めから別のこととして取り掛からなければならなかった。また、グラフの読み取りを行わなかったため等加速度直線運動のイメージをもつのが難しかった。

U 学生：加速度 a を求める時にグラフのどこをとって線を引いたりして求めるのかが分からなくなってしまうことがある。感覚的には加速度 a は一定であることはつかめるが、 $v-t$ 図において考えると難しい。

V 学生：具体的な実験をあまり行わず、教科書の図をもとにして、数式を並べて問題演習

を行うという授業であったので、具体的なイメージができなかった点に問題があるように思う。

W学生：公式を理解しないまま暗記をして覚えた。変位という言葉も理解できていなかった。

X学生：グラフを使って $v=v_0+at$ などの式を導き出していなかった。記録テープを使って $v-t$ 図をつくる授業もしていない。具体的なイメージがもてていなかった。

Y学生：速度と 0.1 秒間の平均の速度がごっちゃになった。分かっているようで分かっていない。グラフを書くことでイメージすることが多くなった。

(3) 記述された困難点

質問は高校生の時の授業について学習上の困難点を問うものであったが、記述された内容を読むと、その困難点は現在もお困難点であったり、改めて困難点に気付かされるものであったりしている。幾人もの学生にとって、高等学校で理解不十分に終わってしまった部分はそのまま放置された状況になっていることが分かる。その困難点には共通している部分が多く、以下のように幾つかの内容に分類することができる。

<困難点>

○グラフの意味をよく理解できていない。

特に $v-t$ 図の読みとりに関するものが多い。P学生「 $v-t$ 図と $x-t$ 図の違いがよく分かっていなかった。」Q学生「グラフの意味を正しく理解していない。」U学生「グラフのどこをとって線を引いたりして求めるのかが分からなくなってしまう」S学生「記録テープの 0.1 秒間の移動距離をグラフに貼っているのに、・・・理解することが難しかった。」R学生「加速度が一定ということは分かっているけど、・・・ $v-t$ 図とリンクしておらず」等である。

$v-t$ 図のグラフは中学校で学ぶ1次関数の直線グラフである。式で表すならば $y = ax + b$ とうい分かりやすいものである。X軸が時間変化 t 、Y軸が速さ変化 v を表すものになっている。しかし、幾人もの学生がグラフの作図や読みとりに困難を表している。

○語句の意味、定義がよく理解できないままになっている。

グラフの作図や読みとりに困難をしている原因を記述から探ると、始めに何よりも語句の意味、定義がよく理解できなかったことがうかがえる。特にP学生「等加速度直線運動と等速直線運動の違い」、R、S、Y学生「速度と、平均の速度」、W学生「変位」という $v-t$ 図を表すときの基本的な定義や語句について曖昧な理解のままとなっていることが分かる。体系化する前の段階で一つ一つの内容や関係性についての学びが十分でなく、理解が不確かになってしまった生徒の姿が見えてくる。

○式を覚えておくことが「学び」

グラフの読みとりを困難にしている原因の2つ目は、速度・時間・加速度・変位の間に成り立つ式を覚えることが優先されてしまっていることである。Q学生「式だけ覚えていればよいと思った」、V学生「数式を並べて問題演習を行うという授業であった」、W学生「公式を理解しないままで暗記をして覚えた」という記述がある。等加速度直線運動の立式の意味について、自分なりに理解するプロセスを経ないまま、結論である数式を覚え、問題を解けるようにしてきた経緯がその記述から分かる。

○イメージがもてなかった。

グラフの読みとりを困難にしている原因の3つ目は速度・時間・加速度・変位についての具体的なイメージをつかむことができなかつたことである。T学生「等加速度直線運動のイメージをもつのが難しかった」V学生「具体的なイメージができなかつた点が問題」、X学生「具体的なイメージがもてていなかった」という記述がある。イメージとしてとらえることができにくかつたことでグラフの意味がよくつかめず、時間の変化による速度変化や変位を式に表すことに抵抗があつたと訴えている。授業展開の中に一人一人が自分でイメージをつくり出すプロセスが設定されることを望んでいる生徒の姿をみることができる。

<学習指導の課題>

○ 実験をすること、グラフを書くこと、読み取ること

そのイメージをつくり出すプロセスについてである。R学生「今回の実験結果をグラフにして加速度 a は・・・確認できた。・・・理由も分かつた。」 T学生「高校の授業では・・・グラフの読み取りを行わなかつたので・・・」 X学生「記録テープを使って $v-t$ 図をつくる授業もしてない。」 Y学生「グラフを書くことでイメージすることが多くなつた。」という記述がある。いずれも実験をしてグラフをつくることの大切さを伝えている。グラフをつくる過程そのものが、台車の具体的な速度変化の実感と結びつけて速度・時間・加速度・変位についての関係をつかんでいく過程になっていることが伺える。

生徒に実験をさせ、グラフをつくらせ、式を導き出させることは時間のかかることである。その時間を確保しなければならないことを思えば、教師が等加速度直線運動の関係式を教えることは、はるかに短時間で行える効率的な指導である。ただ、そうした指導は、生徒の胸に落ちる理解とはなりにくく、得られた知識は、幾人もの生徒にとって曖昧なままとなっている。等加速度直線運動の立式の学習は、その後に学ぶ自由落下、鉛直投射、水平投射、斜方投射の運動を「体系化された知識に基づいて分析的・総合的に考察する」学習にするための「知識を体系的に身に付ける」学習である。たとえ非効率であっても、時間がかかっても、速度・時間・加速度・変位の関係について、生徒一人一人が見方や考え方を自分でつくり出だしていくプロセスを設けなければ、高等学校で掲げる目標を授業の中で実現していくことは難しいと言える。

○中学校の学びとの関連付け

T学生は「高校の授業では中学校の分野との関連をつなげる部分がなかったので、始めから別のこととして取り掛からなければならなかった。」と中学校との関連付けの必要性を指摘した。中学校でも高等学校と同様に斜面を下る台車の速さの変化を、記録タイマーを使って調べる。そして、その結果の処理から「斜面を下る速さは『一定の割合』でだんだん速くなる」ことを導き出している。これが高等学校に入学した生徒のもっている見方や考え方となっている。この「一定の割合」という見方や考え方こそ「等加速度直線運動」の学習で追究の対象とするものである。この「一定の割合」は数値で導き出すことができることがここでの学びである。それが加速度 a である。知識の更新ということになる。そして、その「一定の割合」 a が求められれば、時間とともに刻々と変化する速度をグラフに表現できる。グラフに表現できれば、さらに、速度変化も変位さえも一般的な式で表現できる。この学習の体系化の部分となる。「一定の割合」こそがこの学習のイメージの原型である。それはすでに中学校の学びでつくられているのである。T学生が指摘するように中学校での学びとの関連付けがあれば、生徒は式で表現するイメージをつくり出すことも容易になる。大切な指導課題の指摘である。

5 知識の体系化を図る指導

(1) 「自ら」「自分のもつ見方や考え方」「心を働かせる力」

それでは生徒が知識の体系化を図ることができる授業はどのように進めたらよいのだろうか。前述の等加速度直線運動の事例で学生が指摘していることは、生徒が自分で実験結果を処理し、グラフに表し、そのグラフから読み取るプロセスをつくるということであった。中学校指導要領解説でも、教科目標の項に「数値を処理したり、グラフ化したり・・・分析して解釈し表現することが必要」という言葉が記載されている。学生が自身の学習体験から指摘している言葉と重なる内容である。ここではそうした学習活動を生徒が自ら行い、体系化を図ることができるようにする指導のあり方を考える。

「体系化」はどの生徒も「自ら」行う思考活動である。このことは平成元年の指導要領改訂から一貫して流れている理念である。生成10年の改訂では「自ら」進める探究の対象が「自分のもつ見方や考え方」であること、探究はその見方や考え方をつくり変えつくり出していく活動であることを示した。平成20年の改訂ではその「自ら」つくり変えつくり出していこうと「心を働かせる力」を能力とした。そしてどの生徒にも育むことを求めている。この「自ら」「自分のもつ見方や考え方」「心を働かせる能力」を視点にして、授業の設定と指導のあり方について、「学生の体系化の状況」で例として取り上げた中学校「花のつくりと働き」の学習と、もう一つ、高等学校化学基礎「酸化・還元反応」の学習を例に述べる。

(2) 中学校 1年「花のつくりと働き」

① 自分のもつ見方や考え方

はじめに「探究の対象となるのは生徒がもっている『自分の見方や考え方』である」ということから考える。「自分の見方や考え方」を探究の対象とするためには、生徒自身が、今、自分がどのような見方や考え方をしているのかを掘り起こし、認識させておかななくてはならない。それには、まず教師が、生徒はこれまでどのような学びをしてどのような見方や考え方に至っているのか、また、新たに出会う事象についてどのような見方や考え方をする可能性があるのかを調べておくことが必要である。これは、教材研究の中では生徒観を決め出すための研究に当たる。こうした生徒のもつ見方や考え方を探る研究はこれまで以上に大切な要素となる。

<「花のつくりと働き」の学習に入る前の生徒の見方や考え方の掘り起こし>

小学校では、雄花と雌花がある植物（多くの場合はヘチマ）を教材として、雌花のめしべに花粉が付くと子房（めしべのもとという言葉を使っている）が成長して大きな実ができることを学んでいく。発展としてアサガオのように一つの花の中におしべとめしべがある植物があることも学んでいる。ただ、受粉の実験とその後の子房の成長の観察は、雄花、雌花のある植物だけに限られるため、O学生のように「花は雌花と雄花だけかと思っていた・・・」とミスコンセプションをもってしまう場合が見られる。これはよく見られる傾向である。さらに、L学生の「花が散った後に、子房が3～4倍は成長していることが驚き・・・」という記述や、C学生の「葉の下についているやつが果実だというのは言われて初めて気がついた。」という記述にもあるように、ヘチマなどの成長と他の植物の子房の成長を同じ果実の成長過程として認識（体系化）できずにいる子どもも極めて多い。これは、ヘチマ等では雌花にある子房が、がくの下にあって、つぼみの段階からはっきり見える状態にあるのに対して、アブラナ、ナズナなどの両性花では子房は花びらの内側にあり花が散るまでは見えないことにも原因がある。小学校を終えた段階では、花のつくりや実のでき方についての見方や考え方は、雄花、雌花のある植物での学びが基盤となっている。

教師にとっては、アブラナにもナズナにもおしべとめしべがあることは当たり前のことだと思われがちであるが、中学生になったばかりの生徒には新たに出会う事象であり、その実のでき方は未知の問題である。したがって、雄花や雌花のある植物で学んで得た自分の見方や考え方をもう一度ここで確認し、問い直すことが学びの出発点となる。

② 自ら

「自ら」は生徒の主体性であり、「知識を獲得しよう」「理解を深めて体系化しよう」とする心の働きである。ただ、どの生徒もはじめから「自ら」を発揮するわけではない。生徒が事象に出会い、究明したくなる目的を見つけたとき、探究は自ら行うものとなる。そ

の目的意識とは「自分の考えたことや見方や考え方は本当にそれでよいのか」確かめてみたくなる意識である。探究の対象が「自分の見方や考え方」になったということである。

＜子どもの見方や考え方を問う授業の導入の展開を考える～アブラナの花の観察～＞

例えば、初めにヘチマの雄花、雌花の写真を提示する。その写真から小学校の学びを想起する。花のつくりや実のできを方について、どんな知識を持っていて、どんな見方や考え方を身につけてきたのか生徒に自分の言葉で表現させる。記憶が不確かであれば確認する。ここで生徒は自分の見方や考え方を掘り起こすことになる。

次に新たな事象との出会いである。アブラナの花と採取した種子を生徒に提示する。そして、教師がつぶやく。「不思議なことです。探してみたのだがアブラナには雄花と雌花が見あたらない。みんな同じ花のようなのです。雄花も雌花もないのにこんな実ができる。不思議です。」生徒のもっている見方や考え方を問う場の設定である。

そうした場面設定がなされるならば、生徒は「同じに見えても実ができるのだから雄花と雌花あるかもしれない。」「一つの花におしべとめしべがあるかもしれない。アサガオがそうだった。」「実があるのなら、もとの部分が膨らんだめしべがあるはず。」「花粉のあるおしべもあるはず。」「膨らんだ部分があるなら、そこはだんだん成長していくはず。」と予想を立てたり考えを出したりするだろう。それぞれの生徒の見方や考え方はこうした言葉として現れ自覚される。このあと行われるアブラナの観察は、それぞれの生徒が自分の表した言葉にある見方や考え方を確かめたくて「自ら」行う探究活動となる。ここに「アブラナの花のつくりや実のでき方はどうなっているのだろう。」という学習問題を一人一人が取り組む場が生まれる。生徒がもっている『自分の見方や考え方』が探究の対象となるということである。

③ 心を働かせる能力

実際に前述した導入の場を設けて、学生に、中学生になったつもりでアブラナの観察をさせた。そして、学習の最後にどのような取り組みで何が分かったのか、振り返りを書かせた。目的意識を持つことで、どのように心を働かせる能力を発揮したかを見るためである。次の文章はその時のある学生の記述⁽²⁰⁾である。

＜生徒の立場で学びを体験した学生の言葉＞

最初アブラナを見たとき、まず、先端の黄色い花の部分に目がいき、次にその下にある緑色に目がいった。緑のものは葉っぱだと思った。しかし、種を探し始めてみると、緑色のもは種の入っている子房であることが分かった。それまで、まったく気にしていなかった茎の下の方に葉っぱがあったということも気付くことができた。種を見つけてからは、なぜ、花の所ではなく下の方に子房があるのかということが気になり、茎の上の方へ目を向けていくと、花びらの散ったところに子房が見えた。さらに、花を分解すると、おしべの花粉がめしべについていることや、めしべの下に小さな子房があることを見つめることができた。今は花の形をしているものも成長していくとやがて大きな実が変わっていくことが分かった。

＜学生の記述から、心を働かせている状況を推測する＞

始めに、子房を探すことから探究が開始された。これは、学生が予想した「雌花と同じようにどこかに子房がある」ということを確かめるための行為である。そして葉っぱだと思っていた所に種が入っていることを見つけ「緑色のもは子房だ」と判断する。すると目は改めて葉っぱを探して見つけ出す。この判断は「種子は子房の中にできる」という知識に基づいて「葉っぱ」という認識を修正したものである。一つ目の「読みとり、思考し、知識を活用して判断した」心の働きである。

この判断ができたので「なぜ、花の所ではなく下の方に子房があるのか」と疑問が湧き、思考が働く。目は茎の上の方に向かい、散りかけた花の中に子房を見つける。おそらくこのとき「そうか、花の中に子房があるのか」というつぶやきが心の中にあっただけである。ここに2つ目の「読みとり、思考し、知識を活用して判断した」心の働きがある。

そこで花のつくりを調べたくなる。花を分解する活動が生まれ、手と目と心が働く。ルーペでおしべやめしべを観察する。（この部分の記述がないのが残念である。）その観察の結果として花粉の付いた柱頭と下部に小さな子房を見つける。ここにも「花粉のついためしべと子房はあった。証拠はみつかった」という心つぶやきがあったはずである。これが3つ目の「読みとり、思考し、知識を活用して判断した」心の働きである。

そうして得た情報の集積から「今は花の形をしているものも成長していくとやがて大きな実が変わっていく」という考察が生まれる。この考察はこの学生が実感を伴って理解を深め、花の働きについての体系化を図った言葉となっている。4つ目の心の働きである。

ここから心を働かせる能力について次のことが分かる。

○目的意識をもつことで、観察すること、思考すること、判断することは連続する。

学生は、予想したことを確かめようと手や目を働かせて思考する。そして、何か見つ

けたり結果を得たりすると、同時に、自分の考えたことの吟味が始まり、修正し、再構成を行う。観察することと思考・判断することは連続し働いているのである。この連続を推し進めることができる力が一つの能力である。

とかく教師は、観察や実験をする場面と思考、判断する場を切り離して指導することがある。切り離してしまうと、心を働かせる連続が断ち切れ、自ら思考し判断する能力を向上させることは難しくなる。目的意識をもって見ることは考えることつながっており、決して切り離して指導してはならないということである。

○一つの思考・判断は新たな探究活動を生み出す。

この学生は「読みとり、思考し、判断する」活動を果実から子房へ、子房から花のつくりへと視点を変えながら3回連続して行っている。心を働かせる能力には次々と探究活動を連続させる能力もあることが分かる。そして、この活動の連続こそが、生徒が自分の見方や考え方の体系をつくり出しつくり変えていくプロセスとなっている。

次々と探究活動を連続させる能力は記述した人物が大学生だから持っているということではない。小学生の探究活動を観察しても見つけることができる。本来はどの子どもも持っている能力である。ただ、見出され、認められ、開発されなければ子どもの能力とはなりにくい。残念なことに、教育現場ではこうした能力が着目され話題にのぼることは少ない。また評価されることも少ない。

○幾つもの得たれた情報と知識をつなげる。

「今は花の形をしているものも成長していくとやがて大きな実が変わっていく」という記述は、この学生が幾つもの得たれた情報とこれまでの知識をつなげて理解を深め体系化した言葉である。花のつくりと働きについて実感をもって自分の知識に変えていることが分かる。もし「葉のようなところから種子が採取できた」というわずかの情報だけから考察したのなら「葉の中に種子を残す珍しい植物」といった一面的なものになってしまうだろう。幾つもの情報と知識をつなげていく心の働きで体系化はなされた。こうした幾つもの情報と知識をつなげる心の働かせ方が体系化の能力となる。

目的意識をもった観察・実験は、心の中で次々と言葉を生み出しながら進行していく。この学生の記述には具体的な言葉こそ記されていないが、そうした「心のつぶやき」を読み取ることはできる。その生み出された言葉こそ生徒の学びであり、心を働かせる能力の現れである。ただ、追究が終わると結論は残るが、読み取り、思考し、判断した心のつぶやきは記録されることなく消えてしまう。この学生は自分の経過を振り返り、順を追って詳細に言葉として残すことができたことで、探究の経緯が分かった。しかし、どの学生にもできたわけではない。言語表現にコンプレックスをもつ学生もいる。また、この学生であっても記述が抜けている部分もある。まして中学生や高校生はどの生徒も始めから詳細な学びの記録ができるわけではない。ただ、言葉を残さなければ心を働かせる能力は育た

ない。自分の心の働きの着目ができないからである。

中学生は、始めはあまり記述できなくてもよい。少しずつ、できるようになっていくように指導をしたい。少しでも記述できたところを評価し励ますならば、自分の心の働きの自覚し、さらにその能力を自ら向上させようとするからである。心を働かせる能力は言語とともに育つといえる。したがって、指導に際しては、観察・実験をしている最中もノートやワークシートをそばに置かせ、目や手を働かせたことやそこから浮かんできた言葉に着目させ、記述させることに力点を置きたい。

④ 高等学校 化学基礎「酸化と還元」

次に高等学校 化学基礎「酸化と還元」を例に考える。

「探究の対象となるのは生徒がもっている『自分の見方や考え方』である」ということは化学基礎「酸化と還元」の学習でも変わるものではない。ここでは特に「生徒が知識を体系的に身に付ける」「体系化された知識に基づいて分析的・総合的に考察する能力を養う」ことに着目する。

<酸化についての学生の体系化の現状>

まず、中学校と高等学校での酸化についての考え方の深まりについてである。中学校では酸化は「物質が酸素と化合すること」として学ぶ。高等学校では「原子が電子を失うこと」として学ぶ。したがって、中学校、高等学校の学びを経ている学生は、酸素と結びつく見方や考え方から電子を失うことへの見方や考え方へ、知識の再構成と体系化がなされていないなければならない。

まず、学生がどの程度体系化を図ることができているのか調べてみよう、大学2年生と3年生24名（理科の教職免許を取得しようとする学生）に「酸化とはどのようなことか端的に説明しなさい」と質問を出し、記述させた。その結果以下のような回答を得た⁽²¹⁾。

- ア「酸素とつく反応」「酸素をもらうこと」「酸素と結びついて化合すること」など物質が酸素と化合することを記述した学生が15名
- イ「鉄がさびる」「金属がさびること」と記述した学生2名
- ウ「酸素と結びつく。または水素もしくは電子を失う。」「電子を失う反応」「電子を放出する」など電子を失うことについて記述した学生4名。
- エ「酸化数が増加する」3名。

ア、イの回答が24名中17名（71%）となっている。大変多い数値である。こうした傾向は他の学習グループでも見られた。酸化については中学校の意味体系のままで更新できないでいる学生が多いことが分かる。このことについて、幾人もの学生が同じようなこと

を述べているので紹介する。

- 「私の知識は中学校のイメージで一端ストップして、また別の所から高等学校で教わる酸化の知識がスタートしていて、二つがつながっているようでつながっていなかったのではないかと思います。中学校のイメージは強く覚えていたけれど、高等学校の知識は試験にでるからと知識だけ覚えて、その後忘れてたりまた思い出したりを繰り返していました。」
- 「大学2年生の今になってハッとした。私の頭の中では酸化は酸素と結びつくこということでとまっていたのかもしれない。」
- 「中学校と高等学校で同じ酸化というテーマを取り扱っていたとしてもつながっていないと思った。酸素との結びつきから考えるという原理は同じなのに不思議に感じられる。」
- 「高校の授業では酸化は電子のやりとりだと教えられ、中学の酸化とあまり結びつけて考えることはなかった。すぐ、酸化数に入ってしまう、酸化数の増減だけ酸化を考えていた。」

多くの学生にとって中学校の酸化の知識と高等学校の知識は別な知識になっていることが分かる。高等学校では電子を失うこととしては学んだが、酸素との結びつきを電子の授受という視点から作り直しを図ることができていない状況にあることを示している。高等学校で新たな学びをしても酸化についての見方や考え方は中学校のままなのである。これは、生徒が中学校で得た酸化についての知識の更新を図る授業、すなわち「探究の対象となるのは生徒が中学生でもった『自分の見方や考え方』である」という前提にたつ授業がなされることが少なかったことが原因であると考えられる。

＜中学校の見方や考え方から出発し、生徒が知識を体系的に身に付ける授業を考える＞

中学校では、始めにスチールウールの燃焼を通して鉄の酸化を扱う。これは、鉄は燃えないと思い込んでいる生徒にとって印象深く残る学習である。90%を超える学生が「確かにその実験をした」と回答している。ただ、結合の仕方が中学生には複雑で原子や分子モデルで表すことができない。そこで原子が互いに一つずつ結びつくマグネシウムや銅の酸化を取り上げて、その化合を原子や分子モデルを使って説明し、さらに、化学反応式で表すことができるようにしている。生徒にとって酸化についての見方や考え方はマグネシウムや銅と酸素との結びつきをモデルとしてつくられ体系化されている。この生徒のもっているモデルに問いかけることが学習の出発点となる。

例えば、初めにマグネシウムを生徒の前で燃焼させる演示を行う。ここで、中学校の酸化の学びを想起させ、原子や分子モデルで説明させる。酸化の見方や考え方の掘り起しで

ある。2 個のマグネシウム原子が酸素分子と結合するモデル図で表現されたことを確認する。この結合したマグネシウムと酸素の粒のモデル図が、見方や考え方の作り変えの対象なるものである。そこで、「このモデル図で示されたマグネシウムと酸素の結合は、皆さんが高等学校で学んだイオン結合です。そこでこのイオン結合の知識を活用して、マグネシウムの酸化のわけを説明してみましょう」と問う。

実際に、高校徒になったつもりで説明をさせた。その一例⁽²²⁾を示す。

マグネシウムは最外殻電子を 2 個もっている。その 2 個を放出することで希ガス構造になって陽イオンになる。酸素は最外殻電子を 6 個もっている。電子を 2 個受け取ることで希ガス構造になり陰イオンになる。こうしてイオン結合する。マグネシウムの酸化はマグネシウムが 2 個の電子を放出することでなされる。



おそらく高校生も同様の説明をすることができるだろう。教師が説明をしてしまうのではなく、イオン結合の知識を活用して生徒が自分で考察する場をつくるならば、それは生徒にとって「酸化」の見方や考え方を再構成し「マグネシウムの酸化とは 2 個の電子を放出、失うことである。」という新たな見方や考え方を作り出すプロセスとなる。銅の酸化も同様に説明できることで「酸化とは電子を失うこと」という体系化がなされる。

こうして、生徒が知識を体系的に身に付けることができれば、さらに教師は次の問いを発することができる。「ここに塩化マグネシウムの粉末があります。これはマグネシウムが塩素と反応してできたものです。この化学反応には酸素はかかわっていません。この場合、マグネシウムは酸化されたと言えるのでしょうか、言えないのでしょうか。その訳もノートに記して説明してみてください。」 生徒は「酸化とは電子を失うこと」という新たな考え方に基づいて説明を試みるだろう。この学びは「体系化された知識に基づいて分析的・総合的に考察する能力を養う」学習の場となる。

この学習を体験した学生の感想を紹介する。

- 「面白い授業」とそうでない授業の差はまさにここにあるのではないかと思った。すなわち、「知識の体系化」や「体系化した知識の活用」はよりはっきりと授業での中でおこなわれるほど、生徒は自分で納得して分かった喜びや楽しさを感じられるのではないかと思った。
- 自分は化学が苦手だったし嫌いだったので理解するにも時間がかかったし、自分のものになっていないところが多かった。今日は酸化ってそうだったんだと胸に落ちた。高校生のときに今日のような授業を受けていたなら少しは違ったのではないかと思う。

○生徒がこれまでに学んだことを活用できれば生徒は自分自身で学びを体系化できることを実感した。ただ、生徒によっては体系化までたどり着けなかったり違った方向に考えを進めてしまったりすることもあると思う。だから、学級全体で協働して学びあったり検討したりして科学的な自然観を身に付けるようにしないといけないと思った。

三番目の学生の指摘は重要である。どの生徒も学んだ知識を活用できるわけではない。うまく活用できたりできなかったりする生徒がいることが授業の現場である。だからこそ、互いに学び合い検討し合う集団としての取り組みは必要であり、個の学びはその中にできる。教師がそうした学習過程を組織し、一人一人の学びの変化を評価し育むならば、生徒の知識を体系化し活用する能力は向上するだろう。

6 互いに学び合う

「生徒によっては体系化までたどり着けなかったり違った方向に考えを進めてしまったりすることもあると思う。だから、学級全体で協働して学びあったり検討したりして科学的な自然観を身に付けるようにしないといけない」という内容の指摘は、ほかにも幾人かの学生が指摘している。

一番始めに紹介するのは「ナズナは葉の中にたくさんの種子を残す珍しい植物」と考察した学生である。その時間の最後に次のような文書を記した⁽²³⁾。

私の考察のように間違ったとらえ方をしている場合、仲間と考え合う場面で友人の考え方を取り入れて少し違った視点から物事を考え直すことができる。それは、始めから正しい答えが見付かるよりももっと理解が深まる。また、考え直し、やり直してみることで記憶に残っていく。だから、科学は一人で追究するのではなく、学級集団として協働して追究することが大切だと改めて思った。

この学生は前に述べたように違った方向に考察した。しかし、そのことで自分の見方や考え方を問い直し、だれよりも自分の見方や考え方をしっかりと対象化し、仲間との検討のテーブルに載せることができた。そこでの学びを通して、学習は一人で進めるものではないことを実感し、記述している。同じグループで追究した別の学生も次のように記述している。

最初の予想が当たっていても、大きくはずれたとしても、自分自身で考えて予想し、実験の中で花を分解してみる。そうすると自分が見落としていた視点が見付かる。もう一つは、友達の見解も取り入れてみる。そうするとまったく違う視点から物事を考え直すことができることを実感した。

生徒に「自ら」の意識が生まれ、自分の考えたことを確かめてみようとするならば、おのずと他者の取り組みや意見に触れて検討し、考え直そうとする心の働きが生まれることを二人の記述は語っている。

知識・技能の習得は一人でも可能である。しかし、心を働かせて考え、判断し、自分の内に意味体系をつくっていく能力は一人では育ちにくい。他者の考え方、知識の活用の仕方、意味付け方に触れて、自分の思考の不足を補ったり、思考をさらに発展させたり、思考し直したりすることで学びをつくり、自分の心を働かせる能力を向上させていく。知識を体系化し活用する能力の向上はこうした取り組みの中で育まれていくということを語っているように思われる。

これは、学習を「自分」と「他者」との関係で考えようとする社会的構成主義の考え方に相当するものであるが、「自ら」学ぶ生徒には自然と生まれてくることを表している。今日、教師の実践課題として求められるようになったアクティブ・ラーニングと呼ばれる主体的・協働的な学習もこの流れのなかにある。主体的・協働的な学習は「自ら」学び自分の内に新たな意味体系をつくっていかうとする生徒の中に設定されなければならない。

7 まとめ

学びは一人一人に存在する。そうした一人の学びを大切にすることが何よりも大切であることを、初めて教壇に立った時から先輩に指導されてきた。指導要領の方針がどのように変わろうと、そうした教師の姿勢は不易なものである。構成主義の登場から今日のアクティブ・ラーニングまでの変遷は、示された教育理念や方針が一人一人の学びを大切に教育現場の実践論に近づいてきていることを感じる。

平成 26 年 11 月には「初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について」の諮問が文部科学大臣の名前で中央教育審議会⁽²⁴⁾になされた。その諮問理由には以下のような言葉がある。

・・・必要な力を子供たちに育むためには、「何を教えるか」という知識の質や量の改善はもちろんのこと、「どのように学ぶか」という、学びの質や深まりを重視する必要があります。またこうした学習・指導方法の改革と併せて、学びの成果として「どのような力が身に付いたのか」に関する学習評価の在り方についても、同様の視点から改善を図る必要があると思います。

教育の流れは、さらに、一人一人の子どもの学びの成立やその変容に目を向けた指導と評価の方向に向かっている。教育の理念や方針がストレートに教室の中に入り、一人一人の教師に問われるようになることを意味する。教育現場の取り組みと成果はいろいろな形で注目されることとなるだろう。であるならば、教師自身も学びの現場で起こっている生徒の状況を報告し、その意味を考察し、理念や方針、取り組みについての現場の理論を発信していくような取り組みが大切になると考える。

これまで述べてきた内容の中核をなすものは、講義や演習の中で学生が表現した一つ一つの文章である。それは、その言葉一つ一つが知的な生産活動の成果であり、そこに学生の学びの真実がある。始めに紹介した「ナズナは・・・珍しい植物」という記述も、「大学生にもなって何を考えているのか」と思われる内容であるが、その学生にとっては真実の表現である。教育の流れが一人一人の学びと変容に視点を向けようとするものならば、同じ視点で学生をとらえたい。どの学生が表現した内容の一つ一つにも学びと変容の具体があり、指導と評価を考える上で貴重なものになるはずである。ここでは、その一人の学生の表現したものを問題提起として取り上げた。そしてその表現内容を多くの学生に提示し、一人一人学びを表現させた。その学びの記述も紹介した。そこにもそれぞれの学生の真実がある。そして、最後には再び始めの学生の学習後の感想を載せた。この文章には、自分の学習を振り返り「学び」とは何かを本人なりに体系化した姿がある。それは、この学生の変容でもある。こうした学びの営みの中で、一人一人の学生が自分の理科指導についての理念を形成していったほしいと願うところである。

【註】

- (1) 平成20年3月28日学校教育法施行規則の一部改正とともに中学校学習指導要領の改訂。同年9月25日中学校学習指導要領解説理科編が発行。
- (2) 平成21年3月9日学校教育法施行規則の一部改正とともに高等学校学習指導要領の改訂。同年12月15日高等学校学習指導要領解説理科編が発行。
- (3) 平成25年6月14日第2期教育振興基本計画が閣議決定された。その中に、4つの

基本的方向として「社会を生き抜く力の養成」「未来への飛躍を実現する人材の育成」「学びのセーフティーネットの構築」「絆づくりと活力あるコミュニティの形成」が位置づけられた。

- (4) 平成 24 年 8 月 28 日中央教育審議会から「教職生活の全体を通じた教員の資質能力の総合的な向上方策について」の答申がなされる。その現状と課題の項で「21 世紀を生き抜く力を育成するため、これからの学校では、一人一人の子どもに知識・技能の修得とそれらを活用して課題の解決に必要な思考力・判断力・表現力等の育成や学力向上、」と記されている。また、これからの教員に求められる資質能力の項で「新たな学びを展開できる実践的指導力」が記されている。
- (5) 平成元年 3 月 15 日学校教育法施行規則の一部改正とともに中学校学習指導要領の改訂。同年 7 月 15 日中学校指導書理科編が発行。
- (6) 平成元年 3 月 15 日学校教育法施行規則の一部改正とともに小学校学習指導要領の改訂。同年 6 月 15 日小学校指導書理科編が発行。
- (7) 昭和 52 年 7 月 23 日学校教育法施行規則の一部改正とともに小学校学習指導要領の改訂。昭和 53 年 5 月 10 日小学校指導書理科編が発行。
- (8) 平成 10 年 12 月 14 日学校教育法施行規則の一部改正とともに小学校学習指導要領の改訂。平成 11 年 5 月 31 日小学校学習指導要領解説理科編が発行。
- (9) 平成 10 年 12 月 14 日学校教育法施行規則の一部改正とともに中学校学習指導要領の改訂。平成 11 年 9 月 10 日中学校学習指導要領解説理科編が発行。
- (10) 「理科学習の心理学」東洋館出版社 1993 年 7 月 30 日発行 監訳者 武村重和 訳者 稲垣成哲 中山迅 世波敏嗣 松原道男 吉田敦 中山玄三。
第 1 章理科学習における構成主義的見解はジョージア大学 S.M.Glyn R.H.Yeany B.K.Britton の共著となっている。武村重和氏は、監訳者はしがきで「本書はアメリカ理科学習心理学において最先端にあるグリーン (S.M.Glyn)、イエーニイ (R.H.Yeany B.K.Britton)、ブリットン (B.K.Britton) がアメリカにおける指導的な立場にある研究者から、現場教師向けに、また、大学の学生たちに、理解しやすい内容で解説した論文を集め、体系的に編集した書物である。」と記されている。
- (11) 平成 11 年 9 月 10 日発行学習指導要領解説第 1 章「総説 1 改訂の経緯」では「今日の生徒をめぐる状況を見ると、受験競争の過熱化、いじめや不登校の問題、学校外での社会体験の不足など、豊かな人間性をはぐくむべき時期の教育に様々な課題が生じている。・・・21 世紀に向けて我が国の社会は、国際化、情報化、科学技術の発展、環境問題への関心の高まり、高齢化・少子化等・・・教育の在り方が問われている。」と記されている。
- (12) 平成 20 年 3 月 28 日学校教育法施行規則の一部改正とともに小学校学習指導要領の改訂。平成 20 年 8 月 31 日小学校学習指導要領解説理科編が発行。

- (13) 平成20年3月28日学校教育法施行規則の一部改正とともに中学校学習指導要領の改訂。平成20年9月25日中学校学習指導要領解説理科編が発行。
- (14) 平成19年11月7日付「教育課程部会におけるこれまでの審議のまとめ」中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会
- 「2 現行学習指導要領の理念」の項で「1997年から2003年にかけて多くの国々の認知科学や評価の専門家、教育関係者などとの協力を得て、「知識基盤社会」の時代を担う子どもたちに必要な能力を「主要能力（キー・コンピテンシー）」として定義付け、国際的に比較する調査を開始している。」と記されている。
- (15) 中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会に文部科学省より提出された資料4-1 「OECDにおける『キー・コンピテンシー』について
- 「3つのキー・コンピテンシー」①「社会的・文化的、技術的ツールを相互作用的に活用する能力」「言語、シンボル、テキストを活用する能力」の項で「PISA調査・読解力、数学的リテラシー」と記されている。
- (16) 平成27年5月 信州大学工学部で行った理科指導法の井出忠臣の指導記録より
- (17) 平成27年5月 信州大学繊維学部において理科指導法を受講する学生に対して井出忠臣が実施した調査より
- (18) 平成27年5月 信州大学繊維学部で行った理科指導法の井出忠臣の指導記録より
- (19) 平成26年11月 信州大学工学部で行った理科指法導特論の井出忠臣の指導記録より
- (20) 平成27年5月 信州大学工学部で行った理科指導法の井出忠臣の指導記録より
- (21) 平成26年6月信州大学工学部理科指導法を受講する学生4名、27年度6月理科指導法を受講する学生11名、平成27年10月信州大学理学部化学科で中高理科教員免許を取得使用とする学生9名 計24名に井出忠臣が実施した調査より
- (22) 平成27年6月 信州大学工学部で行った理科指導法の井出忠臣の指導記録より
- (23) 平成27年5月 信州大学工学部で行った理科指導法の井出忠臣の指導記録より
- (24) 平成26年11月20日付け諮問 下村博文文部科学大臣の名前で中央教育審議会に対し「初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について（諮問）」の文章が提出された。