

環境物質科学の講義の在り方と学習効果の確認

理科教育専修・大橋淳史

1. 授業の概観

環境物質科学は生活環境コース，および学校教員養成課程の選択科目である。化学の領域の内，物質の三態，気体の状態方程式，熱化学方程式などを扱っており，無機化学と合わせて有機化学を除く化学領域をカバーする科目であり，教員を目指す学生には必須科目である。しかしながら，理科教員を目指していても，高校で化学を履修していない学生もいることから，高校化学との連携も視野に入れ，高校での学習形態にも言及することを心掛けた。

化学の学習における問題点として，学校教育での化学は，現象論に終始していることが挙げられる。科学の本質は，現象を暗記することではなく「何故そうなるのか」という疑問を持つことである。この点に関しては新学習指導要領の施行でも特に強調されている点であるが，現場の教員は教科内容を教えること，受験対策に重きを置くため，十分な教育がなされているとは言い難い。特に高校になると受験対策として現象を暗記することに終始しがちであり，教科書で紹介されている実験すら満足に行っていないのが現状である。ノーベル物理学賞受賞者のピエール＝ジュール・ド・ジェンヌは，著書の中で，こういった点について次のように述べている。

学校の勉強では，私たちは物理や化学の現象を原理や法則を使って表すように教わります。このやり方の利点は，コンパクトな枠組みの中にたくさんの知識を集約することができることです。しかし，ときには自由な視点，一步距離をおいたものの見方もできるようにしておかなければなりません。例えば，私がたった今合成した物質，あるいは私がちょうど観察したこの現象は，これまで学んだことと一致しないように見える。これは単に誤った実験結果ということで無視して良いものか，あるいはこれまでとは根本的に違う何か新しいことを理解するための視点からそれを調べるべきなのかと考えることです。

現在理科離れが叫ばれているが，その一端は理科というのが暗記科目であるように誤解されていることがあると考えられる。ジュール・ド・ジェンヌが述べているように，公式や法則とはあくまで簡単に説明するためのものであり，また現象はその表層的な現象ではなく，原子・分子

の振るまいとして捉えなければならない。学生が，そういった理解のないまま，教員となり，「何故そうなるのか」に疑問を持たないまま教科書に載っている現象を紹介して，化学の本質に辿り着かないというのが現状の学校教育の問題点となっている。

原子や電子が発見され「化学の本質」がはっきりしたのは，ここ 100 年程度の短期間であるが，日本の理科教育ではここ 100 年間，化学領域での学習内容の改善が図られていない。つまり「現代の化学」の時代まで学習が到達しないため，化学の本質的な部分について多くの言及ができない。よって，教員養成課程の学生にとっても，化学の本質を知らなくても表面的な事象，現象論を暗記しさえすれば，それで事足りると思われがちである。確かに，学生が実際に教員になったときには，高校の化学教員であっても教える事柄は現象論に限られる。化学の本質を理解していなくても教員として教えることはできる。しかし，「理科のおもしろさ」，「化学のおもしろさ」，そして，なぜ科学が発展してきたかを教えるためには，教員自身が現象論の奥にはそれを統一的に説明できる法則があり，その本質こそが「科学のおもしろさ」であること，まだまだその本質は我々には未知の部分が多く，科学者はそれを解き明かすことを使命としていることを知っておく必要があると考える。また，文部科学省が推進している考察できる力やレポートにおける文章力の養成には，「何故そうなるのか」を考えさせる必要がある。そのためにも教員養成課程の学生は化学を本質的な形で理解する必要がある。

もうひとつ重要な要素として，化学とはイメージの学問である。ある教員養成課程の学生が実験の際に「化学というのは目に見えないものを扱っているからおもしろくない」と言ったことがある。確かに，化学が扱う原子や分子，電子は目に見えない。しかし，人間には想像力があり，目に見えないものであろうとも「まるで目に見えているかのように」想像することができる。原子の実像が目に見えるようになったのは，ここ 30 年程度の話である。しかし，化学者は 19 世紀には「目に見えない」原子を，「見ることができた」。これは現在でも同じである。ほとんどの化学者は実際に原子や分子を目にす

る機会はない。しかし、化学者は、そこに原子や分子がいて、化学反応式の通りに反応していく様子を「見ることができる」のである。想像力は、人間の技術の進歩の歴史でもある。この想像力、つまりイメージの構築能力と、その重要性、そして、それをわかりやすく他者に伝え、イメージを他者と共有するコミュニケーション能力を磨くことが、理科教員には必須の技能である。この点を改善するために講義ではモルタロウという分子模型を使い、炭素の同素体、ダイヤモンドとフラーレンを組み立て、分子の構造についてのイメージを持たせるように心掛けた。また、分子模型のダイヤモンドとフラーレンは、模型ではあるが、本来の物質の性質(ダイヤモンドは硬く、フラーレンは弾力性がある)を良く再現しており、これらのことから、「目に見えない」分子の性質を「目に見える」形で実感することができる。モルタロウは分子模型としては学校現場でも入手しやすい値段であるため、学生が教員になったときに実際に現場で利用することができる。また、それ以外にも学校現場で用いることのできる安価で学習効果の高い教材の紹介も行った。

環境物質科学を受講する学生は、小中高いずれかの教員を目指す学生か公務員希望者が大半であるため、講義では教員試験や公務員試験の過去問題の紹介も積極的に取り入れた。教員試験は、単純な暗記をよしとせず、知識の豊富さと同時に思考力を問う問題が多い。また、公務員試験は、知識の豊富さと判断力を養う問題が多い。これらの思考力を問う問題は、講義だけでは補えない知識を統合した思考力の部分について学生に考える機会を与えている。

2. 授業評価法

評価法としては、復習を重視した。なぜなら受講者の中には高校で化学を受講していない学生を含む(法文夜学からの受講生もいた)こと、高校までの化学と大学で教える化学には大きな隔絶があることから、予習を重視しても理解を深める効果が薄いと判断したからである。予習は適宜とし、復習に重点を置いて、2 単位分 90 時間の学習時間をとれるように、講義内容を復習重視に組んだ。

講義は講義内容すべてを理解したときに初めて全体像が見えてくるので、毎回出席が前提であり、それが公欠であったとしても欠席は学生自身にとって「教育の機会を失う大きな損失」であるが、学生自身はあまり深刻に受け止めていない傾向が認められる。学生によっては、朝起きられないなどの些細な理由で講義を欠席しがちである。そこで学生が講義に出席するイン

センティブを高めるために、毎回講義前後にテストを行うこととした。毎回のテストにより成績が左右されるため、遅刻は即ち損失になり、出席のインセンティブが生まれる。また講義の内容に集中していないと、これも成績に直結するようにし、普段の講義の聴講と理解の重要性を増すことで、学生の講義への参加のインセンティブも高めた。また講義内で復習的な内容を扱う場合は、無作為に学生を指名し、学生に解答させるようにして、学生の講義への集中を高めるように努力した。

テストについては、講義開始直後に前回の内容を復習する小テストを 10 分行い、講義後に今回の内容の復習、もしくは今回の内容に関係する教員試験の過去問題のテストを行った。小テストは記述式、テストは正誤問題、教員試験の過去問題は、主に愛媛県を対象に小中高から、できるだけ満遍なく出題されるように選択した。

講義開始後に行う小テストでは、前回の講義後に行うテスト内で学生から問題を募集し、学生が考えた問題を抽出して出題した。これによって、教員はテストの正誤と併せて、学生が講義においてどのような点が重要と考えているかを把握でき、学生は自身で考えた問題が重要度によって加点されるため、重要度を確認できる、成績に加点される、問題を提案するために講義中に「何が重要なのか」を考える習慣がつくななどのメリットを享受できるため、双方にとってメリットがある方法である。また、小テストで重要部分を復習することで、学生に前回の講義で何が重要だったのかを改めて考える機会を与えることができる。小テストは学生には返却せず、解答に関しては講義開始後に口頭で復習の重要性を強調するのみに留めた。これは学生自身の復習に対するモチベーションを高めること、後述する定期試験での学力向上の成果を確認することの2つの意味があった。

講義後のテストは正誤式で、記述された内容が間違っている場合は学生に正しい内容を記述させる問題を出題した。正誤式にしたのは、記述式は解答に時間がかかるため、講義内容の全範囲を出題することが困難であるためである。教員試験で講義内容に関係した問題が出題されている場合は、教員試験の過去問題から抽出して出題した。その場合は、解答に時間が必要であるため、講義の時間調整が重要になる。本講義では、中学校理科教員志望者数をもっとも多く、次いで高校理科、小学校全科が同数であったので、中学校理科を中心に高校化学、小学校全科から問題を選択した。テストは次回講義終了後に返却し、復習のために学生に自分がどの部分の理解が足りないかを再確認させた。また、問題の正解者が少ない場合には、問題について

の解説を講義中に行って理解を深めるように促した。時間的都合で解説ができない場合は、希望者に解説資料を配付すること、オフィスアワーに質問を受け付けることを実施し、理解できないままにしないように配慮した。ただし、オフィスアワーを利用した学生は数名であった。

また、講義終了後のテストでの得点率が低い学生に対するインセンティブとして、学生自身に問題を提案させた。学生は講義内容を時間内に理解することが望ましいが、高校で化学を履修していない学生の中には、講義内容についてくるのが難しい学生がいる。しかし、テストでは全範囲で問題が出させるため、こういった学生はどうしても得点率が低くなる。そこで、学生自身に問題を提案させて、内容に応じて加点を行った。この方法によって、理解度の低い学生も、わからない内容をただメモして暗記するのではなく、講義に積極的に参加すれば得点を得ることができるというインセンティブが働く。

以上のように、毎回の講義で小テスト 5 問、テスト 11 問の 16 問を総計 227 問解答させて、全体の知識向上に努めた。しかし、高校で化学を受講していない学生には、それでも理解が追いつかない学生もいるようであり、これら学生の学力向上が今後の課題である。

定期試験は、小テスト、テスト、課題から抽出して、そのまま問題を出題することとし、学生にも事前にその旨を通知した。また、試験に臨んで A4 用紙 1 枚分の資料の持ち込みを許可した。資料の持ち込みは、前職の慶應義塾大学や他大学でも何人かの教員が行って、学習効果が確認された方法である。この方法の利点は、A4 用紙 1 枚という限られた範囲に、これまでの講義内容を整理するという、些か面倒な作業のインセンティブを作ることで学生の学習への意欲を向上させる効果が期待でき、一夜漬けなどの長期記憶に残らない学習法を改めさせることができることである。また学生が作った資料は試験後に提出させることとした。これによって学生がどのような学習を行っているのかを教員が把握することもできる。

また本講義を受講する学生は教員採用試験を受けることが前提であり、また本年度は公務員試験を目指す学生も受講していたので、講義内容に関連した教員採用試験や公務員試験の問題を多く紹介した。実際にどのような問題が出ていて、それが今学んでいる内容とどのように関連しているかを知ることによって学生の勉学に関するインセンティブを与えるように留意した。

3. 授業評価結果

本講義は学校教員養成課程 2 回生 4 名、4 回生 4 名、大学院生 1 名、生活環境コース 2 回生 2 名、法文学部夜学生 1 名の計 12 名が受講した。

講義前後に行った小テストとテストの結果を見ると、学校教員養成課程の 2 回生の平均取得点数 66 点(100 点満点)、4 回生 76 点、生活環境コース 2 回生 75 点、その他 62 点という結果になった。4 回生は教員採用試験を控えているため、高得点となったが、一方で学校教員養成課程 2 回生の平均点の低さが問題である。しかし、内訳を見ると、学力は平均点 70 点の群と 50 点の群に分けられ、得点の低い群の学生には欠席が多いことが共通している。本教員が担当する無機化学でも同様であるが、欠席はどのような理由であれ、欠席回の内容を自己学習によって修得する必要があるが、そういった当たり前のことを学生が行っていないことが懸念される。

最終的な成績として、定期試験などすべての結果を加味したところ、学校教員養成課程の 2 回生の平均取得点数 64 点(100 点満点として)、4 回生 75 点、生活環境コースの 2 回生 71 点、その他 60 点であった(試験放棄者および欠席による落第者を除く)。日常的に行っている小テストとテストによる結果と同じ傾向になっている。このことから講義に参加していない学生の自己学習による理解度の向上は望めないことが見て取れる。

4. まとめ

本講義の結果として、講義にただ出席しているだけで、講義に対する取り組みの少ない学生が多いことが浮き彫りになった。これらの学生に、どのように講義に主体的に参加させるかが、今後の課題である。しかし、これは教員や講義の進め方では解決できない問題でもある。学校教員養成を主任務とする目的養成系学部に入學したにも関わらず、自分がどのような学校教員になるのかという目的に意識が希薄な学生が多いことが問題の根幹にあると考えられる。学生はよく「努力したので加点してください」といった主旨の発言をする。これは「努力」そのものを評価する学校教育の大きな弊害である。

「努力」そのものを評価する制度は、結局のところ、努力によってもたらされる「成果」への評価をないがしろにし、「努力さえすればいい」という風潮を作り出す。そして、その風潮は「努力した振りをすればいい」という、悪い風潮の源ともなるのである。厳しさだけが重要ではないが、学生自身に勉学に対するモチベーションを与えるためには、努力ではなく、努力の結果が評価されるという点を、より強調すべきだと改めて痛感した。

本講義では講義開始前に前回の内容の復習小テストを行っている。この小テストでは、前回講義内で重要だから覚えるようにと指摘した内容か、前回のテストで問うた内容、もしくは学生自身が考えた問題を出題するので、本当に努力しているかどうかは点数に如実に現れる。無形の「努力」は評価しないが、有形の「努力による結果」が見えるシステムを作り、厳格に運用することが、長期的に見て学生の利益になると筆者は考える。

何故なら、高等教育機関である大学や社会では、人は努力していることが前提である。つまり、努力した上で結果を出した人間が評価されるのである。教員になる学生は今後教員採用試験による「努力の結果」が求められ、採用試験に合格した後も、さまざまな「努力の結果」を求められていくこととなる。しかし、それを理解していない学生に対して「努力」そのものを評価して、「結果」を問わない評価方法は、結局のところ、学生が社会に適合できないという問題を作り出す。学生に自律を促すためにも厳格な運用が重要なのである。

毎回の講義で2回のテストを行うことは、教員にとっては、問題作成、採点など多くの負担を伴うが、学生自身に「勉強する必要性」「努力は結果にどのように結びつくのか」を理解させるために、今後も続ける予定である。