

無機化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

無機化学は生活環境コースの選択科目，および学校教員養成課程の必修科目である。生活環境コースでは選択であるが，実際には教員を目指す学生には必須科目であるため，受講する学生の大半は教員を目指していると考えられる。しかしながら，理科教員を目指しているが，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。

まず学習の基本事項として，高校までの化学は現象論に終始しているが，実際には化学にはルールがあり，すべての出来事はそのルールに従って起こっていることに留意を促した。高校までは，その化学的なルールを学ばないために，化学は暗記科目だと勘違いされやすいが，実際には暗記よりも「どうしてそうなるのか」を考える力が化学においては極めて重要である。

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。大学に入って学ぶ化学の本質は，高校までの化学とは同じ事象を扱っていてもその解釈の仕方は全く異なっている。この高校までの化学と大学からの化学との「学問としての隔絶」は，現在の学習指導要領の問題点である。小学校から高校までの化学は，これまでの化学の歴史を，黎明期から近代に至るまで発見の歴史に沿って丁寧になぞるように教えることが求められている。しかしながら，実際には化学の発達はそのような一意なものではないため，現在の指導要領は，「現在わかっている化学の姿」から過去に向かって直線を引いて，その上に浮かび上がる事象のみを説明する方法をとっている。このため現在の化学では必要ない知識が含まれており，ときにはその知識のために化学の本質的な理解が妨げられることもある。

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。化学の「歴史」に沿って教えている現状で，高校の化学が到達するのは「中世～近代の化学」まで，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るがちである。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出来るかもしれない。

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，「なぜそうなるのか」，言い換えると「理科のおもしろさ」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，化学者は原子の実像が明らかになる数百年も前から「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。表面解析や結晶解析以外の場面で，化学者にとって実際に原子や分子を目にする機会はない(それすらも機械越しに「こうだ」と思っているだけで，本来の姿をそのまま観察できるわけではない)。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。

これらの理由から本講義では、高校まで教える化学は、本当はどのような方法で理解できるのかを繰り返し説明し、章立てのひとつひとつが無関係に存在するわけではなく、すべての章を学んだときに、初めて化学の本来の姿、「化学の本質」がわかるような講義を目指した。

また、化学という学問は、「実験の学問」である。化学者は実験を行い、実際に「なにがおこっているのか」を目で見ることで「どうしてそうなるのか」を考えてきた。つまり、化学という学問を学ぶときに実験を切り離しては学ぶことができない。化学者ルイ・パスツール- 微生物の自然発生説を否定し、発酵について化学的な提案を行った- が始めた実験による化学の説明、通称ビック・レクチャーは、現在の欧州の大学でも大学教育の定番となっている。そこで、講義ではできるだけ演示実験を組み入れ、「どうしてそうなるのか」を考える端緒とした。こうした演示実験は学問に対する興味をかき立て、文部科学省が推奨している「考察する力」を養うこともできると考える。演示実験では、視覚的にわかりやすい色の変化を伴った反応を選んだ。色の変化を伴う実験は、「目に見えない」原子や分子が、わかりやすい形で「目に見える」ために、興味や関心を引き立てやすい。講義で行った演示実験は、学生が教員になったときに自分で行えるような簡便かつ安全な実験を選択してあるので、学生自身の意欲によって後に生かせるものである。

無機化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が大半であるため、講義では、教員として行う実験や教員試験への対応も視野に入れ、関連する小中高の教科内容に含まれる実験の解説や実験内容を問う教員試験の過去問題を課した。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。こ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。また、講義を受講する学生には3年生も多いため、教員試験への心構えをさせるためにもよい機会であると考えた。

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こと、前述のように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。予習は適宜とする反面、復習に90分を使う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、ふたつの意味があった。

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復習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。

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222問解答させたが、高校で化学を履修していない学生の中には、理解度が追いつかない学生もいた。そこで、教員試験の過去問題から理科教員として重要な知識や重要であるが無機化学の範疇外の問題、また化合物の命名法について、3回に渡って課題として配布した。課題を解くことでの知識の向上を促し、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る。課題は採点后返却し、希望する学生には解説資料を配布した。

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によって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。

3. 授業評価結果

本講義は公開講座の対象になっており、複数の教員による評価が行われた。公開講座後の評議で、無機化学は、化学の基礎であるだけでなく、理科

全領域、物化生地いずれの領域でも基礎的な知識を扱っているため、現状の2回生後期の開講では、遅すぎるという意見が出た。原子や分子といった概念は各分野で必要な知識であるため、現状では別の講義で同じ内容を扱うことになり、極めて非効率であり、より早い時期での教育が必要であるという結論に達した。

特に化学では、生活環境コースの2回生前期に開講している環境物質科学と内容が大きく重複しており、半期の講義の約1/3の内容が重複してしまう。この講義は生活環境コースで開講されているが、学校教員養成課程の学生も受講が推奨されており、化学の基本部分である「物質の三態」や「化学反応理論」を扱っている。特に高校で化学を履修していない学生の知識の補足を目的としているため、講義内容の重複により学習範囲が限定されることは大きな問題となっていた。そこで、次年度からは対象学生を2回生から1回生に下げ、開講を1回生後期に行うこととした。これにより、理科専修に配属された学生は、早い時点で理科の基礎である原子や分子についての知識を得ることができるようになり、教育の効率が上がる。

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70点(100点満点として)、3&4回生58点、生活環境コースの2回生60点、3&4回生34点と高学年になるに従って点数が低くなる傾向が認められた。特に高学年生は欠席が多くなる傾向があり、欠席による理解不足からの低得点、落第が多いことが特徴である。また講義内容による得点率の増減が激しく、学生が苦手な計算分野や量子力学、錯体では得点率が顕著に下がる傾向が認められた。現状では、それぞれの範囲を2回の講義でフォローしているが、酸と塩基や酸化還元など重要度が高く、理解度が低い講義内容に関しては、理解度の向上が課題である。

これについては復習を学生の自習に頼るのではなく、課題学習によって学生の学習傾向に指標を出すことで解決できるが、課題学習を終えることで満足して、それ以外の範囲への関心が薄れ、「試験には強いが考察ができない」という今の学生の問題点を助長する可能性が高い。また、教員の側にも課題から学習結果を読み取るための時間確保が必要となる。受講者数によってはかなりの時間が取られるため、前述の学習傾向の問題と併せて実現には慎重を要する。

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 85 点(100 点満点として), 3&4 回生 73 点, 生活環境コースの 2 回生 79 点であった(試験放棄者および欠席による落第者を除く). 途中で諦めることなく学習を続けた学生は, ほぼ「良」以上の成績を納めることができた.

全体の傾向としては, 欠席の少ない学生ほど高得点になっており, また途中で学習を放棄した学生は一部を除いて放棄する以前より欠席が多いまたは復習を行っていないという傾向がある.

4. まとめ

本年度の「無機化学」は開講 1 年目ということもあり手探り状態の中始めることになったが, 学校教員養成課程の高学年と生活環境コースの高校で化学を履修していない学生で特に学習効果が高い結果となった.

学習効果を計る指標としては, 定期試験での, 記述問題が指標になるだろう. この問題はこれまでに出题した記述問題全 70 問から 15 問を抽出した問題で, 学生には問題を返却しておらず, また正確な解答についても教えていない. 学生自身が記憶を頼りに講義内容から解答を酌み取る必要があること, 暗記の難しい記述問題であることから, 学生の復習の度合いを測りやすいと考えられる. この記述問題 15 問(配点 3 点/問)の正答率を見ると, 学校教員養成課程の 2 回生は 76%(34 点), 3 & 4 回生 69%(31 点), 生活環境コース 2 回生 73%(33 点), 3 & 4 回生 73%(33 点)という結果になった. 講義前後のテストの結果では専修, 学年ごとの差が認められたが, 定期試験の記述問題では専修, 学年の差はほとんど現れていない. つまり, 学習初期にあった- 特に高校で化学を履修しているかどうかという- 学力差を学生自身の努力によってかなりの程度埋めることができたかと判断できる. 試験後に提出された学生の資料を読むと, 学生は資料を作るために何度も復習を行い, 場合によっては学生同士で知恵を出し合い, 重要と思われる部分を抜き出す作業を行うことで, 記憶の補強を行い, また覚えることが難しい部分を資料に記載することで, 苦手分野を補うことができたのではないかと推測される. この点数の向上が即ち理解度の向上として捉えられるかどうかは議論の余地があるが, 前述の理由により学生の理解度は向上したと判断できる. 特に過去に落第し, 化学に対して自信を喪失して「化学って難しい」「わからない」と思いがちな高学年生の成績が向上していたのは, 期待以上の学習効果であった.

しかし, 問題点もある. 記述問題について全体の平均 33 点より 5 点以上低い学生が 5 人(全体 21 人)いることである. この中には高校で化学を履修

している学生も含まれている. 約 25%の学生は学習効果が少ないという結果になる. 総合的に判断して, これは学生自身の努力の欠如というよりも, 学習の方向性の誘導の失敗であろう. 理解が追いつかないため「化学の本質」に近づくことなく, とりあえず「覚える」ことのみ集中した結果だと思われる. 学習の方向性が定まっていない学生は早い段階で課題学習などにより, 学習の方向付けを行うことが今後の課題である.

もうひとつ本年度の講義を行ってわかった問題として, 学生がシラバスをまったく見ていないという問題がある. これは無機化学でも理科教育法実験実習 I でも同様であった. 如何にシラバスで, 事前に授業計画を周知し, オフィスアワーを設定し, 予習や復習の重要性を説いたところで学生が見ていないのではまったくの無意味である. シラバス内にチェック項目を設けるなどして, 学生が講義を登録する際にシラバス内容に目を通しているかどうかのチェックが必要である. 最低でも教員の側に「どの学生がシラバスに目を通しているかどうか」わかるような仕組みが必要である.

またシラバスに付随した問題として, 学校教員養成課程の学生は, 生活環境コースで開講されている関連科目の講義を受講しないという問題もある. カリキュラムの関係上, 生活環境コースで開講されていても, 実際には理科教員として- 特に高校で化学を受講していない学生には- 必要な講義もあるが, 学校教員養成課程の学生は, その情報を知らないか, 知っていても受講しない. つまり, 「物質の三態」や「化学反応論」などの小学校教員にも必要な化学の基本的な知識が欠如している学生を「理科教員」として学校現場に送り込んでいることになる. これは大きな問題であり, また学生に必要な知識が欠如している以上, 中学校理科や高校理科教員として採用される可能性はかなり低いと言わざるを得ない. 副免許の関係もあり, 講義を受講できない学生もいるが, 「理科教員」を目指すのであれば, どの講義を最低限受講する必要があるのかについて周知が必要だと考える.

次年度以降は, 対象学年が 1 回生になるので, 講義の難易度など本年度のままというわけにはいかない. 学習効果が高く, 化学への苦手意識を払拭できる講義を目指す予定である. 希望としては, どの分野を専門に選ぶとしても理科教員を目指すすべての学生に現象論ではない「理科のおもしろさ」を生徒に語れるようになってほしいところである.