

工学系学部の大学1年生教養基礎科学実験授業における各種教材開発と工夫

大橋 一隆 電気通信大学・非常勤講師

概要

工学系の大学1年生を対象とする教養基礎科学実験授業において、考える力の養成、視野の拡大を目的として教材開発を行った実践報告である。内容としては、教科書全体の理解のための独自教材の開発、先端科学などのトピックスをアトラクションとして紹介するための教材、推薦図書の紹介、化学実験で身につけて欲しいこと等である。授業効果を測定するためのアンケート調査も行った。さらに、工夫の一例として、グリーンケミストリーの観点から、実験のマイクロスケール化も行った。

目的と動機

上記で述べたような教材開発を行った目的と動機は、①もし、自分が学生であったならば、是非受講してみたい授業にしたかった、②「なぜ、化学実験を学ぶのか？」という筆者の学生時代からの疑問に対する回答への試み、③「化学」という学問を内面的に位置づけたための手掛かりの示唆、④実験の内容を超えて、各自の世界をひろげる契機としてほしい、⑤授業を通じて、実験の内容ばかりではなく、安全第一などや学生生活に役に立つノウハウを身につけて欲しい、⑥高校までの教育ならびに受験教育を今後活用する方法の教授、⑦就職活動の支援の7点である。(参考文献1、2、3)

背景 教養基礎科学実験授業の方式

工学系の大学1年生を対象とする教養基礎科学実験授業は、筆者が担当する電気通信大学・基礎科学実験B(化学実験)に対応する。ちなみに、物理学実験は、基礎科学実験Aが該当し、これらの2つの実験、すなわち基礎科学実験A,B共に、学部一年生を対象にした全学共通の教養の必修科目である。各実験は、それぞれ前期または後期の半期完結で、全14回の授業となる。基礎科学実験Bの授業構成としては、第1回目がガイダンス、第2回目～第7回目、第9回～第14回が12テーマの実験実習授業、第8回目が専任教員による特別講義となる。再実験等の予備日として、第15回目の授業が割り当てられており、該当する受講学生は数人程度である。成績評価は、全12通のレポートの評点を中心に出席点などを加味して算出する。

実験実習授業のテーマ(括弧内略号)は、中和滴定(pH)、エステルの加水分解反応速度(反応速度)、定性分析(定性)、計算化学による温室効果ガスの評価(計算化学)、アスピリンの合成(アスピリン)、赤外吸収スペクトル(赤外)、デュマ法による分子量測定(分子量)、ダニエル電池の起電力測定(電池)、コロイド(コロイド)、吸光度法による鉄の定量(比色)、紫外可視吸収スペクトルと分子軌道(MO)、カフェインの抽出と紫外吸収スペクトル(カフェイン)の12テーマである。(参考文献4)

これら全て12テーマを学生全員で、同時に実施するのは、効率が良くないので、各曜日ごとのクラス約120名を、約25名程度の班に分け、テーマ別にローテーションを組んで実施する。第2回目～第7回目の前半、第9回～第14回の後半それぞれのテーマ6に限定して実施し、前半の第7回目終了後ただちに、後半用のテーマの実験器具に入れ替え、最適化した。クラスは、5班あるので、1回の授業では同時に5つのテーマを実施するかたちとなる。テーマ毎に担当教員が決まっており、実験授業の実施指導、各テーマのレポート採点を行う。なお、実施されないテーマの担当教員は抜け番となり、採点もしくは休みとなる。

実際の授業の流れとしては、最初の10分間に欠席を兼ねた小テストを行う。ついで担当教員による実験の説明講義が約30分、その後、実験実習となる。実験実習終了後、実験ノートおよび後片付け状況をチェックし、ノートに検印を押し、レポートの表紙を渡して、授業終了となる。

開発した教材は、I. 化学の三本柱、II. アトラクション(先端科学の紹介などのトピックス)、III. 推薦図書の紹介、IV. 化学実験の原則、の4つであり、実験の説明講義約30分に10分程度追加して行ったものである。最初の1巡目の授業では、ミニガイダンスとして、I、III、IVについて実施した。なお、実験テーマMOの場合、時間的余裕があるので、20分程の追加とし、IIを中心として放射光に関するトピックスで実施した。

開発した教材と工夫

I. 化学の三本柱

教科書(実験書)の直感的で全体的な理解の助けとなるべく実施した。化学の3本柱(参考文献5)である

①合成、②分離、③分析を通じて、教科書の全体的なイメージをつかむということである。化学という学問の本質「分子や原子の離合集散、およびこれに伴うエネルギー変化や電子状態の変化」の認識もセットにしており、容易に理解できるように工夫した。

背景としては、使用している教科書のレベルが高く、日本の大学の教養レベルの化学実験では、最難易度に属するものかと思われる。化学を専門とする学部、例えば理学部・化学科といったような学部で行うような実験の全てを圧縮して、まとめたような内容である。おそらく、電通大の事情が関係しているものかと推測される。電通大の場合、2年生以上になると一部の学科を除けば、化学関係の科目の履修はない。そのため、編纂された先生方の親心からか、化学系学部で学ぶ化学実験の全てを詰め込んだような内容になったものかと思われる。

学生の現状としては、ほとんどの学生が全体的な理解が出来ていない。この点は、講義時に、「教科書の全体的なイメージをつかんでいるかどうか」といった内容の質問をし、挙手して回答させる形式で確認をした。

このような教科書と学生の現状、すなわち、難易度レベルのギャップを埋めるために、化学とは何かを含む化学の3本柱という教材を開発した。「化学とは何か?」という問いかけに対して、ほとんどの学生は回答できないのが現実で、原因としては、高校教科書にはほとんど書いていないし、そのようなことを考えたことも無いというのがその理由であろう。

「分子や原子の離合集散、およびこれに伴うエネルギー変化や電子状態の変化」を取り扱うのが、化学という学問の本質である。伝説と言われた大西憲昇の化学の授業(参考文献6)をもとに再構成したものである。これだけでは、教科書のレベルのギャップを埋めるための情報はまだ不足しているため、化学の把握の仕方として、化学の3本柱をキーワードとして導入した。これは、工業化学的見地から化学をとらえたもので、①合成:目的物を作る、②分離:目的物を取り出す、濃縮、③分析:目的物の確認、検査の3つからなる。教科書の全12テーマは、必ずこれらの①~③に当てはまる。ただし、計算機によるシミュレーションのテーマ(計算化学、MO)は例外なので、どのように考えれば良いか?という点を自由課題(回答は皆無に等しかったが)として提示した。

II. アトラクション(先端科学の紹介などのトピックス)

実験内容の理解の深化と視野の拡大を目的として、各実験テーマと関連ある先端科学などのトピックスを紹介した。当初は、「先端科学などのトピックス」という題名であったが、「アトラクション」という名称に変更した。楽しいイメージにより、授業効果を高めることが狙いである。(参考文献1、2、3)

これまでの先端科学などのトピックス(アトラクション)の例としては、「定性」では、マリー・キュリーの実験(東大入試問題より引用)、「全テーマ」では、 $2+2=5$ (オーウェルの小説「1984」より)、オイラーの公式、「MO」では、放射光、加速器科学などをあつかった。

本発表では、「MO」で実施した放射光についてのアトラクションの詳細を報告したが、昨年の本シンポジウムの発表(参考文献3)でふれているので、最新版のアンケート結果を述べるにとどめる。

アトラクションの授業効果を評価するために、アンケートを実施した。2015年度分の回答数は、受講生全員の760名分(前期380、後期380)である。まず、設問「アトラクションが必要かどうか?」については、必要303(前期150、後期153)、わからない409(前期208、後期201)、不必要48(前期22、後期26)、無回答2となった。問題点としては、回答「わからない」がほぼ半数になったことであり、自分で物事を判断するのが苦手な証拠かと思われる。設問「アトラクションの感想について」は、興味深い106(前期47、後期59)、やや興味深い277(前期140、後期137)、ふつう325(前期167、後期158)、あまり面白くない44(前期24、後期20)、全く面白くない8(前期2、後期6)となった。内容的には、概ね成功だったかと思われる。なお、過去の4年分(2012年度~2015年度)を総括して見てみると、大体毎年同様な傾向であった。

III. 推薦図書を紹介

講義では、学習に役立つ本として、化学、物理数学、機器分析の推薦図書を紹介している。書目を挙げると、「はじめの構造化学、細矢治夫、オーム社 2013」、「化学の基礎、中川徹夫 化学同人 2010」、「物理数学の直観的方法、長沼伸一郎、講談社 2011」、「これなら分かる応用数学教室、金谷健一、共立出版 2003」、「独習独解 物理で使う数学、Snieder 著、共立出版 2012」、「ベーシック機器分析化学、化学同人 2008」、などである。

就職支援の目的で、機器分析に関するものを導入した。機器分析に使われる科学機器は、実験授業でも使用されており、多くが日本の中小企業で製造されている。これらの企業は世界的に有名であるばかりでなく、離職率の低い優良企業であることを説明し、電通大の卒業生全員に門戸が開かれている旨紹介した。推薦図書が、機器分析関係の企業を志望する際の情報源のみならず、実験授業の予習や報告書作成などで役立つことも盛り込んだ。

IV. 化学実験の原則

化学実験の原則として、授業を通じて身につけて欲しいこととして、下記で述べる5点を中心に紹介した。(参考文献1, 2) これは、「なぜ、化学実験を学ぶのか?」という筆者の学生時代からの疑問に対する回答として、実践したものである。化学実験を学ぶ意味として、「将来の職業訓練」、「理論(概念?)と実験(自然の姿、観察)の違いを学ぶ」、「先人の科学者の追体験をする」、「研究室での研究実験と授業での実験の比較について学ぶ」などが考えられるが、心から納得できず、長い間考え続けてきた。化学実験を通じて身につくものは多いが、意識的に行うことにより、その効果は増加するものと思われる。①みずから考えること、②安全第一、③センスの養成、④楽しみながら学ぶ、⑤聞き上手(情報処理)の5点を紹介し、特に、①、②、⑤について強調した。

「みずから考えること」は、ドイツの哲学者ショーペンハウエルの邦訳書「みずから考えること」(石井正訳、角川文庫1966年刊)にちなんだものである。この世の中が、考える材料で満ち溢れており、その例として、みずから考えるための手掛かりとして、受験勉強の位置づけならびに受験勉強の活用方法についてふれた。「入試の合格発表以後、受験勉強は、君たちの人生にとって、どんな意味を持っていたのか、考えてみた人は?」という質問に対しては、ほとんど回答なしの状態であった。受験勉強の活用方法の具体例として、受験参考書、図録、便覧の活用法を紹介した。これらを百科事典や情報源として活用できることを例をあげて説明した、例えば著名な受験参考書である化学の新研究(ト部吉庸著)には、授業実験テーマに対応した内容が詳細に掲載されている点など。多くの受験参考書などの情報源については、どの科目でも、公務員試験、入社試験、大学院入試、読書、映画の鑑賞、テレビの理解などに活用でき、一生使える点にも言及した。

「安全第一」は、一番強調した点であり、実験授業時でのバーナー、薬品や器具の取扱、廃液の処理方法などはもちろん、登下校時をはじめ生活全般どこでも役立つことを具体的に説明した。

「センスの養成、直感、勘」は、教科書には書かれていないが、科学や技術でも重要であることを簡単にふれた。教科書に書かれていない理由としては、教えることが出来ないからだと思われる。

「楽しみながら学ぶ」は、実験書にある高校化学関連のテーマへの注意点である。単なる復習ではなく、実際の現象の観察を通じて、教科書の内容との差異や実験の困難さなどを考えながら学んでほしい点を強調した。

「聞き上手(情報処理)」は、人の話を聞くことが、就職活動ばかりでなく、人間関係全般に役立ち、人生を変えられる力を持つことにもふれた。

V. マイクロスケール化

グリーンケミストリーの観点から、いくつかの実験テーマについて、マイクロスケール化を行った。アスピリンの合成、コロイド、デュマ法による分子量測定などである。本発表では、デュマ法による分子量測定すなわちモル質量測定実験の場合についてふれた。デュマ法(気体密度測定)による方法は、理想気体の状態方程式の変形式; $M = (RT/PV)w$, M :モル質量、 R :気体定数、 T :絶対温度、 P :圧力、 V :容積、を用いて、一定容積の気体の質量を測定してモル質量を求めるものである。測定容積の低容量化による試料の節減、従来100 mLから50 mLへ半減しても、支障なく実験授業が実施できることを実証した。(参考文献2, 7)

今後に向けて

人類がこれまで蓄積してきた叡智をどのようにして、次世代へ伝達することが出来るのか?人間の交流の限界について思索しながら、本質的なもの、目先にとわれず一生役立つような思考方法、知識の獲得方法等を中心にした実践を通じて、教育の可能性を追求していく予定である。

参考文献

- 1) 教育現場における最高の実りを求めて(全4回) 大橋一隆
智のシンポジウム 論文集, 第2回 p.63, 2009, 第3回, p.23, 2010, 第4回, p.53, 2011,
第5回, p.45, 2012 全て、東大で開催
- 2) 日本化学会、日本理科教育会、放射光学会等の発表 大橋一隆
- 3) 大学一年次化学実験授業における教養教育について 大橋一隆 日本国際教養学会・全国大会 2015.3 岡山
- 4) 基礎科学実験B(化学実験)最新版 電通大 2015 共立出版
- 5) 大橋一隆 博士論文書籍化 ISBN:978-4-903732-01-05(PDF), ISBN:978-4-903732-02-2(冊子体)
- 6) 大西憲昇 有機化学特講 1982 玄文社
- 7) 大学1年次化学実験におけるデュマ法を用いたモル質量測定実験の改良 大橋一隆、若月洋次、中川 徹
日本理科教育会・全国大会 2012.8 滋賀