

基盤教育における化学実験：授業の開発と実践

飯島隆広

(山形大学 学術研究院)

1. はじめに

化学に限らず、実験の授業は理系の学生にとって非常に重要である。学生は将来取り組む研究に備え、実験器具や試薬・サンプルの扱い方、実験結果の解析の仕方、そしてそのまとめ方等を学ぶ必要があるからである。実際に、多くの大学で初年次に基礎的な化学実験の授業が開講されている。一方で大学初年次の実験授業を行わないようにしている大学も出てきているようである。実験を行うには設備はもちろんのこと、運営する上で予算及び労力が必要になり、その意味で講義型授業に比べて実施が大変だからであろう。

本学においては、これまで理学部の学生に対してのみ初年次の化学実験の授業が開講されてきた。これは本学が分散キャンパスをとっていることが主な理由と考えられる。即ち、すべての初年次学生は小白川キャンパスで学ぶが、2年次以降、人文社会科学部・地域教育文化学部・理学部は小白川がそのままメインキャンパスである一方、医学部は飯田、工学部は米沢、そして農学部は鶴岡へとキャンパスが移る。各学部を主担当とする教員は各キャンパスが主たる勤務地であり、初年次学生が学ぶ小白川キャンパスで授業を行うには移動が伴う。実験授業の場合、授業時間だけでなく、授業前の実験準備及び実験後の片づけにも時間が割かれる。また、実験中に急遽物品が必要になった時等の対応も考えなければならない。このように、小白川勤務以外の教員が小白川キャンパスで実験授業を開講する場合、そのハードルが高いことは容易に想像できる。

小白川キャンパスでは2017年度に基盤教育3号館の改修が行われ、その建物に実験室が新設さ

れた。この実験室を使って化学実験の授業を行うべく、基盤教育を主担当とする筆者は実験室及び実験準備室の立ち上げに携わり、また授業の開発を行い、2018年度に全学向けの「化学実験入門」という授業をスタートさせた。この授業はまだ2年しか行っておらず完成までの道半ばではあるが、今後実験授業を開講する際の何らかの参考になればと思い、本稿ではこの授業の開発と実践（オーバーラップしており明確に区分できないが）について以下で述べたい。

2. 授業の開発

2-1. 開発の方針

授業は(1)週1コマで行い、(2)その受講者数はなるべく多くする、また、(3)できるだけ個人での実験とするが、(4)費用は常識的な金額で収まる、ように構想した。もちろん、(5)授業は学びがあるものでなくてはならない。尚、授業の位置づけは、高等学校から大学の専門科目への橋渡しのものとする。

(1)の授業時間について、化学実験は手足を使って作業したり実験そのものに時間を要したりするため、一般的に2コマ連続で行うが、本学では基盤教育ですでに数多くの他の授業が入っているため、開講しやすい1コマの授業とした。大学初年次の化学実験に対しては、これまで様々な実験が開発されており書籍化もされている。しかし、それらは基本的に2コマ用の実験であるためそのまま用いることはできず、1コマで実施できるように改良が必要になった。

(2)については、授業が(理学部を除く)全学向けであり、例えば工学部の化学系だけでも280

名の学生が在籍すること、また化学実験に限らず実習系の授業は学生からの人気が高いことから受講者数は多い方が望ましい。実際、開講初年度、授業を試験的には始めるため定員は少人数の 32 名としたが、150 名を超える学生が受講を希望し、抽選となった。一方で受講者が増えれば当然教員の負担は大きくなるし、(4) の費用の問題も出てくる。そもそも実験室のキャパシティもあるため、受け入れ人数に上限はある。実験室には 4 人掛けの実験台が 16 台あり、うち 2 台を実験器具・試薬の置き場所とすると 56 人が 1 クラスあたりの定員となる。そこで 2019 年度は 1 日に 2 クラス行うとして計 112 名を受け入れ人数とした。

学生実験は 2 人 1 組で行うことが多いが、その場合、役割分担が行われるため実験操作を経験できないこともあり得る。そのため各実験は (3) のように 1 人で完結できるようにしたい。一方で、個人実験にすればその分 (4) の費用が問題になる。ピペット等の実験器具や試薬を人数分揃える必要があるし、外部委託により処分する廃液の量も増えるためである。もちろん、実験テーマをローテーションさせる方法を取り、一つの実験を同時に行う人数を減らせば、用意する実験器具の数は少なく済む。しかし、本授業は化学実験の未経験者を念頭においており、各実験の直前に操作方法や注意事項を述べるのが良いであろう。そのため本授業では同一実験を一斉に行う方法をとることにした。これらの問題を解決するのはマイクロスケール実験である。通常よりも小さな容量の実験器具を用いるため、少量の試薬で済み、廃液の量も減る。少量用器具としてはディスポのプラスチック製品があるため費用も抑えられる。

本授業では、全体の 2/3 程度を化学実験室での化学実験とし、残りは場所を情報処理室に移しての計算機化学実験とした。計算機実験では (1) のコマ数や (2) の受講者数に何ら問題はない。むしろ実験器具や試薬の準備・片付けをする必要がないので教員負担が軽い。さらに (3) 個人実験であ

り、(4) 実験に関わる費用も発生しない。これらの意味で、実験室で行う化学実験でない点を除きさえすれば、計算機実験は理想の学生実験とも言える。

いずれの実験においてもテーマ終了後に実験レポートの提出を求める。レポートでは、実験テーマによるが、グラフを描いたり、理論式に基づき計算を行い実測値と比較・検討したりする。実験とその後のレポート作成を通じ、学生は (5) 化学に関する学びを得られると考えられる。

2-2. 実験テーマ

実験テーマの選び方は色々あるが、筆者は本学で初年次化学の講義型授業「化学の基礎」と「化学変化を考える」を担当しているの、それに沿った内容にすると学生は理解が深まるであろう。特に後者の授業では反応速度や活性化エネルギー、酸・塩基、溶解平衡、酸化還元平衡等を扱っており、化学実験との相性が良い。そこで、本授業では「中和滴定」、「反応速度」、「電極電位」を主たる実験テーマとした。また、「ペーパークロマトグラフィー」を導入の実験として授業に組み込んだ。これらの実験の多くは既報の実験をベースに、手順の簡略化等を行い 1 コマの授業で完結するように修正した。尚、実験室の排水設備の都合から硝酸イオンやアンモニアは取り扱い不可であるため、学生からの人気が高いと思われる「陽イオンの系統分析」はテーマに入れられなかった。

もう一つの講義型授業である「化学の基礎」については以前の年報(飯島(2016))で紹介したが、原子の構造、分子の構造、そして物質の三態を扱う。これらの特に原子や分子の構造の単位については実験室での化学実験にはあまり適さないが、計算機化学実験としては活用できる。本学では SCIGRESS という計算化学ソフトウェアを利用可能であり、「分子のモデリング」、「分子軌道の計算」、「分子振動の計算」を計算機実験のテーマとした。分子振動については上記の講義型授業で扱

っていないため、事前に講義を行う授業回を設けることにした。

3. 授業の実践

3-1. 化学実験：授業前

授業の前までに実験に関わる各種の文書や物品を準備しておく必要がある。実験の原理・理論や手順および課題を記した実験手順書は、前週の授業後なるべく早くに大学の e-learning システムにアップしておく。学生はそれを読み、簡略化した手順を各自の実験ノートに記さなければならない。授業開始前までに手順の書き出しができていない学生は当日の実験に参加することができない。実験当日に実験室ではじめて実験書を読んで実験に取り掛かるのは失敗や事故につながりやすいためである。実験手順書以外の文書資料として、授業で用いるスライドやレポートフォーマット等は授業の数日前～前日までにアップする。

通常化学の学生実験では試薬を学生自らが調製することが多い。しかし、本授業は1コマで実験の準備から片付けまでを終える必要があるためそれは現実的ではなく、教員側で試薬を調製することにしている。本授業では実験補助員として1名の administrative assistant (AA) を雇用している。試薬の調整は、授業時間中に翌週の実験で必要となる分と当日の実験の不足分を AA に依頼している。一週間前に調整すると試薬によっては多少変質してしまうものもあるが、学生実験では高い精度が求められるわけではないため、教員負担の軽減を優先し、この点は割り切っている。実験器具についても一週間前に準備を終えておく。

3-2. 化学実験：授業中

授業の凡その流れとしては、はじめに簡単な説明や諸注意を行った後、実験に移り、実験が終わった実験テーブルの学生から退出という標準的なものである。実験前の作業としては、レポートの提出・返却や、返却後の解説・講評も行う。ま

た、実験を行わない講義だけの授業回もある。その内容としては、実験の心得やレポートの書き方、有効数字の考え方等である。実験テーマは講義型授業とリンクしているが、取り扱う順序が逆になっていることもあるので、未学習となっている単元について簡単な講義も行う。

学生は基本的に実験書や教員の指示に従って実験作業を行う。独自のアイデアに基づく実験をするわけではないが、学生にとって実験作業はそれ自体が新鮮であり、「楽しい」という感想をよく目にする。新しい実験アイデアはレポートの考察欄に記載させるようにしている。

Tips 的なことではあるが、作業の効率化等のため、実験室で学生が着席する実験テーブルは指定している。実験レポートは指定日にテーブルごとに紙媒体で提出するようにしているが、テーブル指定により採点時の教員側でのレポート並べ替え作業が不要になる。また、実験中に生じる廃液は実験テーブルごとに配布した 1 L の廃液ボトルに入れるが、このボトルに実験テーブルの番号を記すようにしたところ、1 人あたりの廃液の量が大幅に減少した。開講初年次、廃液はできるだけ減らすように指導したが、32 名の受講者数に対し、例えば中和滴定の廃液は約 5 L 出た。2 年目にテーブル番号を付したところ、心理的な影響であろうか、受講者数 112 名に対し同廃液は約 10 L で済んだ。その他、実験前に準備する物品リスト、及び実験後に行う片付けのリストを作成し、各テーブルに配布した。特に片付けリストにはチェックボックスを設け、代表者の名前を記入したうえで、退室前に提出するシステムにした。これにより実験後の実験室は毎回きれいに片付いた状態になる。

3-3. 化学実験：授業後

授業後に教員が行うのは採点作業であり、ここでも効率化がポイントになる。学生は実験中に実験ノートに記したデータやメモを各自のスマー

トフォンのカメラで撮影し e-learning システムにアップする。その内容をもって平常点としている。E-learning システムを用いたこの方法は、本学では初年次の前期に全学生が必修科目として受講するスタートアップセミナーで採用している方法であり、トラブルなく運用できる。画像データは一括ダウンロードでき、ほぼ全ての学生がきちんとノートをつけているため採点に手間取ることはない。実験を行わない授業回では他の講義型授業と同様の演習課題を出している（飯島(2016)）。

レポートにはフォーマットを設け、PDF 及び Word のファイル形式で e-learning システムにアップしている。実験、結果、及び考察の各部分で質問・課題を出し、学生はそれに答える形でレポートを作成する。この他に反応速度や中和滴定の実験ではグラフも作成し、提出する。採点の効率化の観点から自由な書式でのレポートではなく、また、実験手順を細かく記すこともない。しかし実験結果を図表にまとめたり、理論式を用いた計算を行うし、さらに、考察として理論値と実験値のずれの原因を考えたり、それを減らすための新たな実験アイデアを考えたりする。従って、本実験レポートは大学初年次のレポートとしては十分な教育効果があると考えている。

3-4. 計算機実験

SCIGRESS を用いた計算機化学実験では、ごく簡単な分子についてモデリング・構造最適化し、分子軌道計算や分子振動計算を行う。当該ソフトウェアは半経験的分子軌道法の計算であるので精度はないが、学生実験であり全く問題ないであ

ろう。分子軌道計算としては例えば、「化学の基礎」の授業で学んだ H_2 分子を対象とし、結合性軌道・反結合性軌道を可視化する。また σ 結合・ π 結合を有する分子として N_2 分子を計算する。机の上だけで考えてきた内容についてコンピュータを使い、時に分子を回転させながら眺めると理解が深まるであろう。とは言え、大学に入学後にはじめて学ぶ軌道は学生にとってやはり手強いようだ。手足を動かして作業しながら、軌道の考え方に慣れていって欲しいと思っている。

4. おわりに

本稿では、山形大学の初年次基盤教育における化学実験の授業の開発と実践について述べた。特に、週 1 コマの授業であることから既存の実験を修正しなければならないこと、また、多くの受講者に対応するため効率化が必要なことが開発・実践のポイントとなった。現在、開講から 2 年を経ており、2 年目の今期は教員 1 名と AA 1 名で 2 クラス計 112 名の受講者に対し授業を行った。授業アンケートによると学生からは概ね高い評価を得られている。一方で改善の余地もある。実験授業であるため、効率化を図ったとは言えやはり教員負荷は高い。さらなる効率化を目指し、レポートの課題やフォーマット、また採点システムを改良する予定でいる。計算機実験における軌道の取り扱いについても検討を行っている。

参考文献

飯島隆広 2016 「大学初年次の化学」『山形大学高等教育研究年報』第 10 号, 16-19 頁。