

大学教員と高専校長の立場からみた分析化学教育

岡田 哲 男

1 大学での分析化学教育

2022年3月までの26年半、東京工業大学理学院化学系で分析化学の教育を担当した。大学院ではややマニアックな授業をしていたので、ここでは学部の講義に話を絞ることにする。分析化学の授業を行う上で、私が重視してきたのは以下の2点である。一つは、化学の理解には分析化学の視点や考え方が必須であることを示すことである。その上で、化学者として知っているべき分析化学関連の概念や知識を学んでもらうことにしていた。「知っているべき」の定義や範囲が悩ましいが、少なくとも「東工大で化学を学んだ学生がこんなことも知らないのか」、と言われまいようにしようと思っていた。もう一つ重視していたのは学生に分析化学を好きになってもらうことである。学生を研究室に勧誘するには、分析化学に興味を持ってもらうのが早道である。教えるべきことと学生が興味を持つ、あるいは面白いと思うことが一致するわけではないので、学生の反応、宿題や試験の出来、授業アンケートの結果をにらみながら毎年苦しんでいた。分析化学は学術分野として流動的であり、物理化学や有機化学に比べると堅固な体系化が難しい。ディシプリンとしてのあいまいさは、時として利点になるが、弱点にもなる。授業の中で学生に興味を持たせ、さらに理解を深めさせるには、ある程度体系化できているふりをする必要もある。これらの矛盾に悩みながら、修正や試行錯誤を繰り返してきた。20年以上かけても最適解に到達した自信はない。

東工大の分析化学の講義は、多くの大学同様、溶液平衡（基礎分析化学）と機器分析的なもの（化学計測学）の二本立てである。前者は物理化学の一分野であるが、なぜ分析化学の授業で扱うのか、これを私はつぎのように説明していた。溶液で行う化学の実験は少なくない。また、分析化学が重要な役割を果たす生命科学や環境科学などでは溶液が主な試料媒体である。したがって、分析化学では溶液特に水溶液の理解は避けて通れない。溶液では種々の平衡が成り立つため、計測や分離のために系を乱すと状態が変わってしまう。また、系に存在する化学種すべてを実験的に定量することは不可能である。しかし、溶液の熱力学を理解していれば計測しなくても化学種間の量関係を把握できる。また、生体や環境に特定の負荷や摂動を与えたときの予測も可能である。つま

り、溶液平衡は、溶液の現在の把握と未来の予測を可能にし、それに基づいて何を計測すべきなのかを教えてくれる。これらの理由により分析化学で溶液平衡を扱う。

一般に、溶液平衡の授業では、濃度に基づく計算に多くの時間が割かれる。この計算ができないと困るのだが、私の授業では、濃度計算の前に溶液の熱力学を一通り学ぶことで、活量についてある程度の洞察を得ることを目指していた。熱力学の授業では溶液系をあまり詳しく扱わないことが多い。だが、化学の学生は溶液熱力学を知っているべきだと思うし、その理解なしに実際の溶液の平衡を扱うことはできない。授業アンケートや聞き取りからは、難しいとの意見が多かった。とは言え、知っているべきことと平衡論の面白いところをバランスさせるという点で、一定の最適化はできていたと思う。

一方、「化学計測学」の方はなかなか最適解に至らなかった。多くの教科書では、多様な計測、分離法が羅列されており、著者の「知っているべき」という観点を中心に構成されているように思える。私は、羅列するのではなく、首尾一貫した特定の分析化学思想に基づいて語るべきだと思っている。この分析化学思想は人それぞれで良いと思うが、一定のシナリオに沿って計測法を位置付けて語らないと、カタログを見ながら計測、分離法を紹介するような授業になりかねない。私が分析化学思想の中心にしていたのは、「感度と選択性」である。

分析化学が他の化学分野と決定的に異なるのは、量に対するこだわりであろう。たとえば、分光スペクトルを読み解くことは、多くの化学分野で必要である。物理化学では、縦軸（吸光度、シグナル強度など）、横軸（波長やエネルギー）が何に由来し、なぜ条件により変化するのか、その分子論的原理を理解することが重視される。有機化学では主に横軸情報から分子構造を読み解き、分離や合成が思い通りに進んでいるのか否かを見極める。これらの分野では、どちらかという横軸情報の方が重視され、縦軸の値を厳密に解析することはそれほど多くない。一方、分析化学では、横軸情報だけでなく、縦軸から物質の量や濃度に関する情報を得て、それに基づいて考察を行うことが多い。また、夾雑物きょうざつを含む実試料への適用を視野に入れることも求められる。目的的分析を行うには感度と選択性が共に十分なのか、どちらか一方でも不十分ならどうするのか、複数の方法を集積して課題解決を図り、それにより生じる新たな課題を

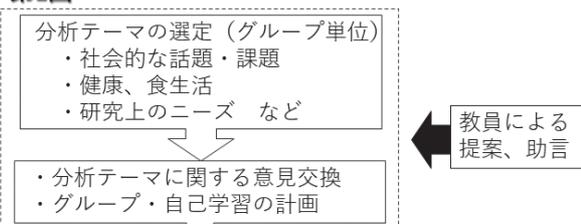
洗い出すのが分析化学であるという流れで講義を展開していた。私は質量分析 (MS) のど素人であるが、種々のイオン源を用いる GC-MS や LC-MS は分析化学的な思考を深めるための好材料であると考え、積極的に取り上げていた。

2 高専教育の特徴

さて、縁あって2022年の4月から沼津高専の校長に就任した。大学と高専は共に高等教育機関である(高専生は15歳の入学時から学生と呼ばれる)が、両者の間にはいろいろな違いがあり、高専初心者には一年以上たった今も驚きの連続である。高専本科は5年制であり、高校の3年間と大学の2年間が一体になっている。さらに追加で2年間の専攻科があり、修了時に大学改革支援・学位授与機構を通じて学士(工学)の学位が授与される。高専本科の教育は高校の3年間を含んでいるが、中等教育とは異なり学習指導要領に縛られないし、大学受験に対応する必要もない。そのため、高専では、高校から大学までの教育内容を適宜飛ばしたり圧縮したりして独自の教育システムが確立されている。高専の物質、材料系の学科でも分析化学の授業が行われているが、その内容に言及する立場ではないので、ここでは、高専で行われている他の授業から分析化学教育へのヒントがないか探ってみることにする。

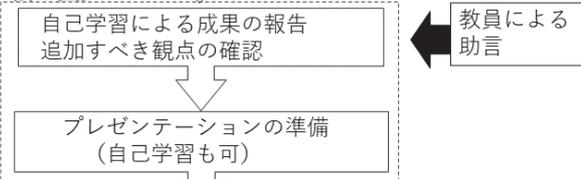
高専教育の特徴の一つは、プロジェクト型の授業(PBL, project-based learning)が多いことである。ご存じの方もいると思うが(正直私はほとんど知らなかった)、PBLはアクティブラーニングの一種で、高校では探求学習などの名で行われていることが多い。学生の実践力やものづくりの能力が極めて高いので、実際に動作するプロトタイプを授業の中で作製してしまうところが高専PBLの特徴である。自治体や企業などの課題、自ら発掘した社会課題などに基づき、グループごとにアイデアを出し、プレゼンテーションなどを通じてブラッシュアップし、解決のための具体的方法を考える。授業によっては、ソフトウェアやロボットなどを作って期待通りに動かすを検証する。実習を伴うものは時間がかかるので、1年かけて行う授業も少なくない。学生たちは授業時間外にも製作に勤しんでいるようである。化学系では安全の問題もあり実験を伴うPBL型の授業は容易ではない。しかし、実験なしでも、PBLは分析化学教育には有効と思われる。私が思いつく位なので、既に実施しているところもあるかもしれないと思い、ネットで検索してみた。詳細は不明であるが薬学系で実施例があるようである。また、中国語のものがいくつか検索に引っかかったので、中国ではもう少し広く行われているのかもしれない。目的が明確な企業の現場ではもっと盛んに行われていそうである。

第1回



グループ、個人による自己学習

(第2回)



第3回



図 分析化学 PBL の一例

3 分析化学 PBL

つぎのような分析化学 PBL はいかがだろうか(図参照)。分析、計測、分離などの困難さが社会や生活、生産現場などの課題になっていたり、ラボでの現象の理解の障害になっていたりするものを学生に探索させる。分析化学会などの発表を聞かせて、そこから課題を抽出させるのも良いかもしれない。グループ単位で議論とプレゼンテーションを行って、課題を確定し、その後それを解決するための分析方法を考えさせる。授業で得た知識とネット検索などからアイデアを具体化し、それを発表する。ChatGPTなどにアイデアを出させて、それに対するダメ出しをするというやり方もありそうである。多くの場合、分析法を俯瞰して、そのいくつかを組み合わせることで全体を構築していくことになる。つまり、個々の計測、分離法を知ることが分析化学ではなく、その限界や特徴を理解した上で目的と結び付けて分析システムを設計する、そのための考え方が分析化学であることが実感できると思われる。また、授業で得た知識が、実社会や生産現場あるいはラボで使えることがわかると、分析化学への興味が深まると期待できる。このPBLを行うには少なくとも授業を3回程度削るか、演習などの時間を利用しなければならない。実現は容易ではないかもしれないが、他の化学系科目にはない分析化学の特徴を出すことには繋がるのではないだろうか。

4 さいごに

この原稿の依頼をいただいたときに何を書けばよいのかよくわからず、とりあえず「大学と高専の視点で分析

化学教育を考えてみます」と回答した。その結果思い至ったのが分析化学 PBL である。これとて私がこれまで考えつかなかっただけで、こんなの当たり前でしょうとのご指摘もありそうである。私が分析化学の授業を継続的に行うことはもうないと思われるので、実践を伴わず言い放しになるのはいささか気が引けるが、今後も分析化学の教育に携わる方に少しでも参考になれば幸いである。



岡田 哲男 (Tetsuo OKADA)

沼津工業高等専門学校 (〒 410-8501 沼津市大岡 3600)、京都大学大学院理学研究科博士課程修了。理学博士。《現在の研究テーマ》氷と凍結の化学、凍結による計測の高機能化。《主な著書》“分析化学の基礎—定量的アプローチ”、(化学同人)。《趣味》昆虫写真、旅行。

E-mail : tokada@numazu.ct.ac.jp

『ぶんせき』再録集 vol. 1 出版のお知らせ

ぶんせき誌の過去記事の有効利用の一環として、『ぶんせき』再録集 vol. 1 が出版されました。2011 年から 2020 年まで、10 年間分の〈ミニファイル〉の記事が詰まっています。

下記 10 章からなり、それぞれ 12 から 14 の話題が集められています。

1. 実験器具に用いられる素材の特徴、2. 分析がかかわる資格、3. 顕微鏡と画像データ処理、4. 最新の web 文献検索データベース、5. ポータブル型分析装置、6. 分析化学と材料物性、7. 分析化学者のための多変量解析入門、8. 土壌分析、9. サンプルング、10. 前処理に必要な器具や装置の正しい使用法。

本書はアマゾンオンデマンド出版サービスを利用して出版した書籍ですので、書店には並びません。アマゾンサイトからのネット注文のみとなりますので、ご注意ください。詳しくは「ぶんせき」誌ホームページをご確認ください。