

都立多摩科学技術高校における分析化学教育

田中 義 靖

1 多摩科学技術高等学校の特徴

1-1 科学技術科

本校は科学技術科の学校であり、生徒たちは科学技術科の3年間の授業で探究活動を体験する。

科学技術科は四つの領域（インフォメーション、エコ、バイオ、ナノ）に分かれていて、生徒たちは2年生になったときに、どの分野で探究活動を行うかを決めることになる（領域選択）。

生徒たちは、1年生の授業では、四つの領域の基礎を学習し、自分が研究したい内容に関係が深い領域を選ぶ準備をする。その後、2年生になったときに、所属する領域での「課題研究」という授業で探究活動を行う。その後、3年生の「卒業研究」で探究活動の総まとめを行う。

1-2 SSH 事業

本校は、前述の「課題研究」や「卒業研究」などの特色ある教育課程に加えて、文部科学省からはSSH（スーパーサイエンスハイスクール）の指定を受け、大学や研究機関の研究者の協力によるアドバイザー制度やグローバルな科学技術人材育成のための海外研修を活用し、未来の科学技術者の基礎を作り、世界で活躍する科学者や技術者を志す生徒たちを育てている。

さらに、2023年度からは、科学技術人材育成重点枠の指定も受けて、最先端のシミュレーションソフトを活用して生徒たちが地球規模の課題解決に取り組むことで、イノベーションを生み出す人材が育成される仕組み（カリキュラム）の開発に尽力している。

2 通常授業での分析化学実験

2-1 化学科

本校の化学科の実験授業では、特に発展的な実践は行っていない。実践している分析化学的な実験は中和滴定や酸化還元滴定である。これらを1年生の化学基礎の授業で体験させることにより、領域選択の際の参考になるように工夫している。

2-2 科学技術科

1年生の「工業技術基礎」のエコテクノロジー領域（以下、ET領域）では、以下の実験実習を行っている。

（表記はオリジナルテキストの目次の掲載に従っている。）

- I. ガラス細工
- II. 液体の比重測定
- III. 植物色素（ペーパークロマトグラフィー）
- IV. 酸・塩基の性質及び物質質量
- V. 第1属陽イオンの定性分析
- VI. 第3属陽イオンの定性分析
- VII. 溶球反応

このように基本的には分析化学の内容を生徒たちが体験できるようになっている。

この授業の各項目で生徒たちに体験してもらっている実験の特徴を次に示す。

「液体の比重測定」では、塩化ナトリウム水溶液の比重測定を体験させるが、同時に濃度-比重曲線を作成させて、未知試料の濃度を検量線から求める体験もさせている。

「植物色素（ペーパークロマトグラフィー）」では、Rf値だけでなく、可視・紫外吸収スペクトル法での分析やランバート-ベールの法則の確認なども体験させている。

「酸・塩基の性質及び物質質量」では、指示薬を利用して酸や塩基の水溶液の性質について理解を深める授業を展開している。

「第1属陽イオンの定性分析」では、当然、第1属の陽イオン（ Ag^+ 、 Hg_2^{2+} 、 Pb^{2+} ）の定性分析を体験させている。水銀イオンは普通科の化学の授業では扱わないので特徴のある授業であると言える。また、この実験ではフローチャートを使って操作の確認を行わせている。

「第3属陽イオンの定性分析」では、第1属の実験に引き続き、第3属の実験を行うが、普通科の高校で扱わない確認実験を体験させている。

例えば、 Al^{3+} と Cr^{3+} の確認は普通科の授業では行わない、作業としては以下ようになる。

ろ過したろ液を蒸発皿に移し、蒸発させ濃縮し、10 mL程度にする。フェノールフタレインを1滴加えておき、6 mol/L 酢酸を滴加し、赤味が消えるまで加え続ける。赤味がなくなったら加えるのをやめ、試料を二つに分ける。一方に、0.2% アルミニウム溶液を数滴加え、お湯につけて1、2分間放置する。湯浴後、1 mol/L 硫酸アンモニウムを滴下し、観察する。ここで、Alがあれば赤色沈殿が生じる。もう片方に0.5 mol/L 酢酸鉛(II)

を滴下し、観察をする。黄色沈殿が生じれば Cr が存在する。

「溶球反応」では、電子の励起状態の原理の話からホウ砂球の色と金属元素の関係の説明までを行っている。

2年生の「科学技術実習」では、以下の実験実習を行っている。(表記はオリジナルテキストの項目などの記載に従っている。)

1. 環境化学

- ET-01 バイオエタノールの製造
- ET-02 単蒸留
- ET-03 固形燃料の製造と燃焼試験
- ET-04 PET のケミカルリサイクル
- ET-05 廃油を利用したセッケンの製造

2. 無機化学

- ET-06 蒸留と再結晶
- ET-07 成分元素の検出
- ET-08 塩素・塩化水素の性質
- ET-09 硫黄の化合物
- ET-10 窒素の化合物
- ET-11 金属イオンの反応

3. 有機化学

- ET-12 脂肪族炭化水素の性質
- ET-13 アルコールとアルデヒド
- ET-14 カルボン酸とエステル
- ET-15 ベンゼンのニトロ化
- ET-16 ジアゾ化とカップリング
- ET-17 6, 6- ナイロン

4. 合成化学

- ET-18 結晶硫酸銅の合成
- ET-19 アルミ缶から明礬の合成
- ET-20 サッカリンの合成

5. 物理化学

- ET-21 物理化学の実験
- ET-22 液体の密度測定
- ET-23 液体の粘度測定
- ET-24 液体の表面張力
- ET-25 液体の屈折率
- ET-26 ファラデー定数の測定
- ET-27 固体の密度
- ET-28 滴定曲線の作成

6. 機器分析

- ET-29 酒類中に含まれるエタノールの定量
- ET-30 酒類中の還元糖の定量
- ET-31 酒類中の Ca, Mg の定量
- ET-32 酒類中の香気成分の定性

各項目の操作の中での分析化学的な内容の詳細は次のようになっている。

「バイオエタノールの製造」では、屈折率と濃度の検

量線を使って、製造したエタノールの濃度を決定させている。

「固形燃料の製造と燃焼試験」では、製造した固形燃料で水を温め、その水の得た熱量を温度変化から求めさせている。

「PET のケミカルリサイクル」では、ペットボトルの小片を分解して得られた物質を赤外分光分析装置で測定させ、純正品との比較を行わせている。

「廃油を利用したセッケンの製造」では、ヨウ素価やけん化についての説明をしている。

「金属イオンの反応」では、鉄イオンを中心に溶液の呈色や有色の沈殿の生成を確認し、それらの反応でイオンの種類を判断できることを体感させている。

「物理化学の実験」では、溶液の調製やデータ処理やグラフの書き方などを指導している。

「液体の密度測定」では、比重ビンを用い、濃度-密度曲線(検量線)を作成して、エタノールの濃度を求めさせている。

「液体の粘度測定」では、液体の粘性について理解を深めた上で、粘度計を用いての粘度測定と、粘度-濃度曲線(検量線)を使っての濃度決定を体験させている。

「液体の表面張力」では、デュヌイ表面張力計を用いて表面張力を測定し、濃度-表面張力曲線(検量線)を使ってのエタノールの濃度決定をさせている。

「液体の屈折率」では、アッペの屈折計で屈折率を測定し、濃度-屈折率曲線(検量線)を作成し、濃度を測定させている。

「ファラデー定数の測定」では、銅電量計を使ってファラデー定数を確認させている。

「固体の密度」では、アルキメデスの原理を使って密度の測定を行わせている。

「滴定曲線の作成」では、pH メーターを使って、滴定量と pH の曲線の他に、滴下量の変化量に対する pH の変化量のグラフも作成させている。

「機器分析」では、次の機器を体験させている。

- ・ガスクロマトグラフ装置
- ・紫外可視赤外分光光度計
- ・偏光ゼーマン原子吸光光度計
- ・ガスクロマトグラフ質量分析装置

3 探究活動での分析化学実験

3・1 化学科

2013 年度の化学グランプリ二次試験の実験を体験できるワークショップを自校と他校の生徒を対象に実施している。

内容は、水道水と硬度の異なる飲料水の残留塩素や塩化物イオンや全硬度をバックテストで測定してどの試料がどの飲料水かを当てる実験である。最終的には金属指示薬を使って EDTA で硬度をより正確に測定させている。

3・2 科学技術科

分析が関係している探究活動に、次のようなものがある。

「硫黄細菌による金属ごみの処理」：硫黄酸化細菌などの影響で硫酸が生み出されることによる下水道管の腐食が問題になっている。この現象からヒントを得て、硫黄酸化細菌を活用した金属ごみの処理を研究している。自然環境中の硫黄酸化細菌を培養し、生産された硫酸の量をイオンクロマトグラフィーで測定している。

「キットサンプラスチックの合成」：プラスチックのごみの問題は深刻であり、ラップなどのフィルム類は回収やリサイクルが難しい。そのため、生分解性のプラスチックを使用することが解決の一助となると考えた。キットサンをホルムアルデヒドで架橋させたものと、キットサン溶液に塩化マグネシウムを加えたものを準備させ、乾燥させた。できた製品をフーリエ変換赤外分光光度計による評価を行った。

「セイダカアワダチソウの除草効果の検証」：セイダカアワダチソウの抽出液には発芽抑制があることがわかっている。発芽抑制効果を確認するため、小松菜、トマト、オクラの種を抽出液が染み込んだ脱脂綿にまいて発芽率を計測したところ、小松菜とオクラで発芽が抑制されることが確認できた。そこで、セイダカアワダチソウの発芽抑制の効果を持つ化合物を精製すること考えた。該当の化合物の検出と定量に HPLC 蛍光分析計を用いた。

「ミカンポリフェノールを用いた金属吸着」：皮はそのほとんどが利用されず廃棄されていたミカン。しかし、ミカンの皮に含まれているポリフェノールには金属を吸着する特性が確認されている。そこで、ミカンの皮による金属吸着について評価した。金属の濃度については誘導プラズマ発光分析装置 (ICP-OES) によって評価する。

「リン資源のリサイクル」：リンは農業用肥料や P 型半導体の原料となる重要な枯渇性の資源である。リンを廃棄される食用動物の骨より強酸での処理で取り出す。取り出したリンの定量はモリブデン青法で呈色したサンプルを紫外可視分光光度計に供することで行った。

4 本校にある分析機器

本校の主な分析機器を次に挙げる。

- ・高速液体クロマトグラフ装置及び高速液体クロマトグラフ質量分析計
- ・イオンクロマトグラフ装置
- ・フーリエ変換赤外分光光度計
- ・紫外可視分光光度計及び遠赤外線可視分光光度計

- ・ガスクロマトグラフ装置及びガスクロマトグラフ質量分析計
- ・X線解析装置
- ・原子吸光分析装置
- ・蛍光 X 線分析装置
- ・誘導結合プラズマ発光分光分析装置
- ・全有機炭素計
- ・走査型電子顕微鏡

5 SSH 指定校での分析化学教育

SSH 指定校では、高校生たちによる高度な探究活動が行われているが、本校のように機器が揃っている学校ばかりではない。その場合、大学などの研究機関の機器を借りることになる。

本校でも、コーヒーの抽出後の残渣^{こぼれ}を使って有機フッ素化合物を除去する研究を部活動で行っていた生徒たちが、京都大学の研究室を訪問して自分たちの実験の成果物（残渣を通過させたあとの水溶液）の分析をしていた。その際には、研究室の教授から分析の原理の説明を受けていた。

本校では、1 学年と 2 学年が、実習の時間で分析の原理と機器の取り扱い方の説明を受ける。他校では、人数は制限されてしまうが、大学の学部で行われている実験を体験する機会を設けている場合があり、そこで、様々な分析機器の原理を知り、操作の体験ができる。

また、他校では、高校の化学の教科書に記載されている化学反応を利用した定量分析を使って研究している生徒もいる。例えば、ヨウ化物イオンとの反応でオゾンの量を測定していた。このような工夫は指導教諭との対話での分析化学的な教育が行われたものと思われる。

さらに、最近では、生徒たちが研究成果を発表する場において大学などの研究者からコメントをもらう機会が増えた。その結果として分析化学をきちんと理解すべきであるという認識が広がりつつある。

SSH 校のこのような実践が SSH 校でない通常校に普及すれば、高校の教育現場でも分析化学の内容を踏まえた指導が行われるようになり、化学の本質に迫る授業が広がるものと期待される。



田中 義靖 (Yoshiyasu TANAKA)

東京都立多摩科学技術高等学校 (〒184-8581 東京都小金井市本町 6-8-9)。東京理科大学理学部。理学士。《現在の研究テーマ》理数教育や探究活動での指導方法の改善。《主な著書》「[575 化学実験] 実践ガイド」, (丸善出版)。

E-mail : aaatnk@nifty.com (自宅)