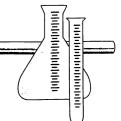
高等学校化学における金属陽イオン分析と 未知試料分析のマイクロスケール実験教材

Microscale Experiment on Properties of Metal Ions and Unknown Sample
Analysis for High School Chemistry





(2006年2月3日受理)

1 はじめに

高校化学の授業において、生徒達に自然現象への関心を呼びおこし興味をもって取り組ませるために、科学的な見方や考え方が育てられるような指導方法の工夫のひとつとして、「マイクロスケール実験」の高校化学への導入について検討している。

マイクロスケール実験導入のメリットについては、すでに荻野"により指摘されているように、①1~2人の少人数単位で実験を行い、集中力をもって取り組ませることができる②準備する材料、廃液の量を少なくできる③実験操作に要する時間を短くできることがあげられる。①は生徒達の責任感と問題解決能力の育成につながり、②では実験を通して、安全で環境にやさしい化学「グリーンケミストリー」に触れ、③では限られた授業時数の中により多くの実験の実施が可能になると考えられる。

従来の金属陽イオンの分析実験では試験管等を用いて行われることが多い。この方法では、扱う金属イオンや陰イオンを含む溶液の種類を増やすと、操作に多くの時間が必要となる。また試薬の使用量や廃液量も多くなるので、溶液の種類を限定したり、3~4人のグループ実験となる。そこで限られた授業時数の中で最大限の学習効果を得るための工夫として、マイクロスケール実験の導入を検討した。

マイクロスケール実験による金属イオンの反応については、3×4セルプレートを用いた実験、点眼瓶を用いた酸・塩基指示薬の点滴反応の実験などが報告されている^{2~4}。 筆者らは金属イオンの反応において使用する試薬を点眼瓶に入れ、セルプレートを用いることで操作の効率化をはかり、一回の実験で約50種の沈殿反応を確認できるようにした。さらに発展的教材として、この点眼瓶の試薬を用いて簡単な未知試料の分析を行うことで、沈殿反応および分離・確認実験の原理について学習の定着をねらいとした。

2 実 験

2.1 主な金属イオンの反応

約50種の沈殿反応について,8×12セルプレート上で,

点眼瓶に入れた金属イオンを含む溶液 8 種と陰イオンを含む溶液 12 種を数滴ずつ反応させ、色の変化や沈殿の有無・ 沈殿生成の条件などを確認する。

2.1.1 試薬

金属イオン:硝酸銀、硝酸鉛、硝酸銅(Π)、硝酸カドミウム、硝酸鉄(Π)、硝酸アルミニウム、硝酸亜鉛、硝酸バリウム各 $0.2~mol~L^{-1}$ 水溶液

陰イオン等: $2 \, \text{mol} \, \text{L}^{-1}$ 塩酸、 $0.5 \, \text{mol} \, \text{L}^{-1}$ クロム酸カリウム水溶液、 $1 \, \text{mol} \, \text{L}^{-1}$ アンモニア水、 $6 \, \text{mol} \, \text{L}^{-1}$ アンモニア水、 $1 \, \text{mol} \, \text{L}^{-1}$ 水酸化ナトリウム水溶液、 $6 \, \text{mol} \, \text{L}^{-1}$ 水酸化ナトリウム水溶液、 $0.1 \, \text{mol} \, \text{L}^{-1}$ 炭酸ナトリウム水溶液、 $1 \, \text{mol} \, \text{L}^{-1}$ 硫酸、 $0.1 \, \text{mol} \, \text{L}^{-1}$ 兵オシアン酸カリウム水溶液、 $0.1 \, \text{mol} \, \text{L}^{-1}$ へキサシアノ鉄(Π)酸カリウム水溶液、 $0.1 \, \text{mol} \, \text{L}^{-1}$ へキサシアノ鉄(Π)酸カリウム水溶液、硫化水素水、 $2 \, \text{mol} \, \text{L}^{-1}$ 硝酸(液性調整用)

2.1.2 器具(図1)

点眼瓶 (中村理科工業 K.K, プチボトル, 10 mL, 材質:ポリプロピレン製) 21 本, $8 \times 12 \text{ セルプレート (NUNC)}$ 社, イムノフレーム, 材質:ポリスチレン製)。器具等は一つのケースに入れ実験キットとして準備する。キットには, 試薬用点眼瓶 (金属イオンは 8 種, 陰イオンは 12 種), 攪拌棒 (約 5 cm 竹ひごの先にまち針を刺す), 台紙 (印刷

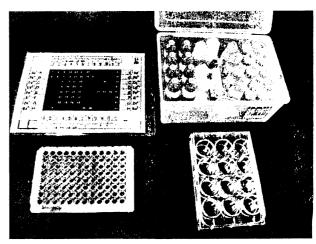


図1 実験器具(上段:台紙及び器具・試薬,点服瓶等を入れた実験キット,下段:2種類のセルプレート)。

したシートをラミネート加工), 洗浄用水入れ小瓶 2 ヶ, 木製クリップ, ろ紙を含む。

2.1.3 実験方法 (実験プリントとして授業時に配布)

- ①台紙に8×12セルプレートをのせる。
- ②点眼瓶に入れた8種の各金属イオンを含む溶液を,台紙上に示した該当するセルにそれぞれ3滴ずつ滴下する。
- ③点眼瓶に入れた12種の各陰イオンを含む溶液を,②の金属イオンの入っているセルに実験プリントの指示に従って滴下していき,必要に応じ攪拌して変化を観察する。

2.1.4 廃液の回収方法

- ①トレイに紙タオルを数枚敷く。
- ②実験後のセルプレートを紙タオルに叩きつけるようにして、セル内の沈殿物を含む溶液を出す。
- ③紙タオルに約 100 mLの水を加え沈殿物を洗い落とし、 紙タオルを絞って廃液とする。

2.2 未知試料の分離・確認

銀イオン,バリウムイオン,鉄イオン (三価),銅イオンの4種類のうち数種類が含まれている未知試料をセルプレート上で,点眼瓶に入った塩酸,硫酸,アンモニア水を用いてろ過・分離をくり返し,含まれる金属イオンを推定する。

2.2.1 試薬

硝酸銀, 硝酸バリウム, 硝酸鉄(Ⅲ), 硝酸銅(Ⅱ)各 0.2 mol L⁻¹水溶液及び 2 mol L⁻¹塩酸, 6 mol L⁻¹アンモニア水, 1 mol L⁻¹硫酸

未知試料として2種類 X. Yを準備する。

未知試料 X(2 種類の金属イオンを含む): 各 0.2 mol L^{-1} 金属イオン水溶液 1 種類につき 1 mL(銀イオンのみ 0.5 mL) に水を加え全量を 3.5 mL とする。

未知試料 Y(4 種類の金属イオンを含む):各 $0.2 \text{ mol } \text{L}^{-1}$ 金属イオン水溶液 1 種類につき 1 mL (銀イオンのみ 0.5 mL) の計 3.5 mL を含む。

2.2.2 器具

点眼瓶 (2.1 の実験と同じ) 3本, 3×4セルプレート (図 1, NUNC 社, セルの直径約 20 mm, 材質:ポリスチレン製)

2.2.3 実験方法

未知試料の分析手順を示すフローチャートを図2に, セルプレート上での操作手順を図3に示す。

- ①セルの1つに未知試料 X を全量入れる。
- ②未知試料に、点眼瓶により塩酸を10滴、滴下する。
- ③沈殿の有無で銀イオンを確認する。
- ④隣接するセルに折ったろ紙を立て、ピペットを用いて③ の溶液をろ過する。この際ロートを使用しない。
- ⑤ろ紙を隣接するセルに移動し、④のろ液に点眼瓶に入った硫酸を 10 滴、滴下する。
- ⑥沈殿の有無でバリウムイオンを確認する。
- ⑦さらに隣接するセルに折ったろ紙を立て、ピペットを用いて沈殿をろ過する。

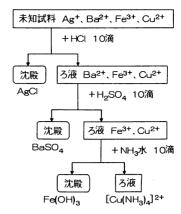


図2 未知試料の分析手順を示すフローチャート。

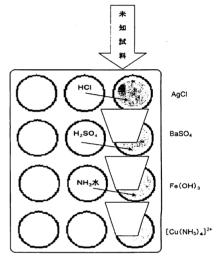


図3 セルプレート上での操作手順。

- ⑧ろ紙を隣接するセルに移動し、⑦のろ液に点眼瓶に入ったアンモニア水を10滴、滴下する。
- ⑨沈殿の有無で鉄イオン(三価)を確認する。
- ⑩さらに隣接するセルに折ったろ紙を立て、ピペットを用いてろ過する。
- ①溶液の色で、銅イオンの確認する。
- ②未知試料 Y についても,同じセルプレート中の別のセルから X と同様の操作を行う。

3 授業実践

2.1 及び2.2 で述べた教材を用いて、平成17年10月~11月にかけ、京都府立桃山高等学校、京都府立園部高等学校、京都府立洛北高等学校、京都教育大学附属高等学校において授業実践を行った。実験は1人に2枚のセルプレートを使用した。マイクロスケール実験では特に、実験操作および観察時に実験器具に顔を接近することがあるので、実験中は必ず安全メガネを装着するように指導した。以下に授業実践報告を示す。

3.1 授業の概要

2.1 及び 2.2 の「主な金属イオンの反応」「未知試料の分離・確認」実験を各 50 分で行った。対象生徒は 1 ~ 3 年生

で、普通クラスおよび理系あるいは化学選択者であった。

3.2 教材観・生徒観・指導観

教科書の単元「水溶液中のイオンの反応」では、金属イオンと陰イオンとの基本的な沈殿反応や錯イオン生成による沈殿溶解反応、金属イオンの分離と確認について学習する。羅列的な扱いを避け、系統的に学習できるように、実験を取り入れた授業を行うが、従来の試験管等を用いた実験形式では、2~4人のグループによる実験となる。限られた授業時数の中で最大限の学習効果を得るためのマイクロスケール実験の形態をとることで、内容の系統的な理解はもとより、生徒一人一人に責任感を持たせ、日常あまり意識していない廃液の処理方法から環境問題についても生徒に考えさせる機会を与えるように指導した。

ある程度化学の学習の進んでいる2年生、3年生に対しては、沈殿反応の観察後に沈殿物等の化学式を調べさせる作業を行った。しかし、まだ化学の授業経験の浅い1年生にとっては、錯イオン等を含む約50種全ての化学式を調べさせるのは難しく、事前の授業で実験プリントの一部を活用して、組成式の書き方の練習をした後に今回の実験を行った。未知試料分析の操作の様子、また一般教室で行った実験の様子を図4および図5に示す。

3.3 授業実践のまとめと今後の課題

「主な金属イオンの反応」では、ほぼすべての生徒が、計画していた実験内容を時間内に観察・確認できた。生徒一人一人が短時間に50種もの沈殿反応を一つのセルプレート上で実際に確認できる点に非常に大きなメリットがあった。生徒にとって、沈殿や溶液の色の変化・沈殿生成の条件についての学習の定着に大きな助けとなると思われる。

4 結果と考察

4.1 主な金属イオンの反応

実験操作終了後のセルプレートの様子を図6に示す。本実験では約50種の沈殿反応について操作時間約20分間で確認できた。約50種の反応結果を小さなセルプレート上で比較しながら観察することができ、デジタルカメラ等で写真として残すことで事後の学習にも有効である。過剰の試薬で沈殿が溶けるものは、備え付けの攪拌棒による攪拌が必要であった。実験で使用した試薬の合計量は約7.9mLであり、使用する試薬量、廃液量を減らすことができた。

4.2 未知試料の分離・確認

本実験はマイクロスケール化することにより、1つの未知試料につき約10分間で分離・確認の操作を完了した。一回のろ過にかかる時間は溶液により30秒~2分間であるが、ろ紙内に溶液が残っていても、以後の操作には支障がでない。攪拌はピペットでの溶液の出し入れで行った。実験で使用した試薬の量は約8mLであり、使用する試薬量、廃液量を減らすことができた。

「未知試料の分離・確認」について、最初に実施した例で

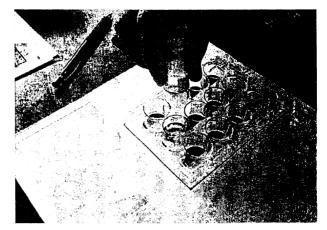


図 4 未知試料の分析 <color>。

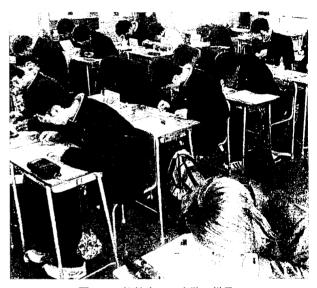


図5 一般教室での実験の様子。

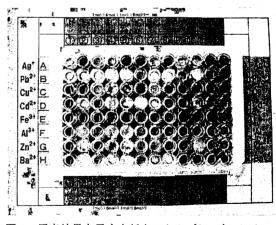


図 6 反応結果を示す台紙上のセルプレート <color>。

は、未知試料の正答率は、X、Y共に84.6%であった。約15%の誤答は主にバリウムイオンと銅イオンでの確認時によるものであった。硫酸バリウムの沈殿の生成速度が他の沈殿に比べ若干遅く、試薬の滴下直後の状態を観察して沈殿がないと判断したこと、また銅の錯イオンによる濃青色溶液を沈殿ではないことから銅イオンが含まれていないと勘違いしたことが原因と推測される。未知試料の調製方法

や操作説明を変更して実施することで、その後の授業での 正答率はほぼ100%となった。

マイクロスケール実験による時間短縮で50分間に2種類の未知試料についての操作が可能であった。各自が自分の 実験操作によって含まれていた金属イオンを見つけ出した 時に、分離実験の原理の理解だけでなく、大きな達成感が あることもわかった。

使用した液量または廃液量について、ほぼ同内容の従来の実験と比較すると、今回のマイクロスケール実験では、2.1の実験の廃液量は $1/4\sim1/5$ 、2.2の実験の試薬の使用量は約 1/2となった。

京都教育大学附属高等学校の2講座は化学実験室ではなく、一般の教室で実施した。準備物等の置き場所、実験器具や廃液の回収場所等で、実験室に比べ作業効率は悪いが、実験器具がコンパクトになっていることで各生徒が実験操作を机上で行うにはまったく支障はなかった。何かの理由で実験室が使用できない場合であっても、実験室での実施とほぼ変わらない進行で一般教室での実施も十分可能であることがわかった。

授業後に行ったアンケートによると、今回準備したマイ クロスケールでの実験器具の操作性は約80%の生徒が良 いと回答した。また、結果の分かりやすさについても約 70%の生徒が良いと回答した。操作性については、主に点 眼瓶の使用感に関するもので, 実際に日常生活で使用の経 験があるため、操作上の違和感、問題点がなかったためと 考えられる。結果の分かりやすさも、セル内の沈殿は少量 であるが、沈殿の有無や呈色については明確に判断できる こと、また多くの沈殿を比較しながら観察できるため、全 体としては分かりやすくなったと考えられる。実験に対す る集中度についても約80%の生徒が良いと回答し、これは 一人一人が実験操作を行い観察することにより、常に責任 感を伴なう持続した集中力が要求されたためと考えられ る。安全メガネについての23%の否定的な回答は、その必 要性は理解しているが、これまでの実験時に装着の習慣が ないことによる。

総合評価としては否定的な回答はほとんどなく90%の

生徒が良いと回答した。実際に実験を行う生徒の立場から 見ても、今回のマイクロスケール実験に対する参加意識は 高く、学習の定着や、環境に対し配慮するという観点から 見ても有意義な実験であったと考えられる。

5 ま と め

教室での授業ではしばしば単調になりがちな分野ではあるが、今回の実験を発展的な教材実験として取り入れることで大きな学習効果が期待できることがわかった。また1. で述べたマイクロスケール実験のメリット・実用性についても十分に確認できた。

一人にひとつずつセルプレートを用意し全ての操作を生徒一人一人に行わせることで実験に集中力と責任感を持って取り組ませ、また、廃液の回収についても回収量や回収物が意図的に見えやすい形態をとることで、環境面への配慮も意識させることができた。

参考文献

- 1) 荻野和子, 化学と教育, 46, 516 (1998).
- 金 和宏, 高橋匡之, 東海林恵子, 田島智子, 藤川卓志, 荻野和子, 化学 と教育, 49, 494 (2001).
- 3) 日本化学会 編,マイクロスケール化学実験,日本化学会,東京(2003).
- 4) 大槻 勇, 化学と教育, 49, 562 (2001).

本研究は科研費 (特定領域研究課題番号 17011005, 代表者 荻野和子) により実施されたものである。

川本 公二 Koji KAWAMOTO (京都府立桃山高等学校教諭) 坂東 舞 Mai BANDO (京都教育大学教育学部 大学院生) 芝原 寛泰* Hiroyasu SHIBAHARA (京都教育大学教育学部 教授)

[連絡先] 612-8522 京都市伏見区深草藤森町1 (勤務先)。

<color>マークのついている写真・図は化学と教育誌のホームページの "カラーギャラリー"にて、カラー写真を公開しています。ぜひご覧下さい。URL は裏表紙をご参照ください。





図1 実験器具(上段:台紙及び器具・試薬,

点眼瓶等を入れた実験キット、

下段:2種類のセルプレート)

図4 未知試料の分析

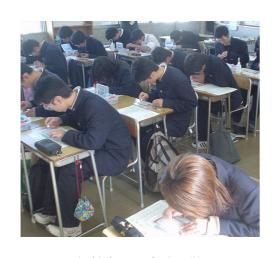


図5 一般教室での実験の様子

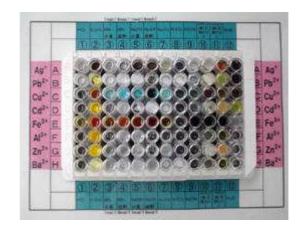


図 6 反応結果を示す台紙上のセルプレート

化学と教育 54巻10号,548-550,2006年

高等学校化学における金属陽イオン分析と未知試料分析のマイクロスケール実験教材

川本 公二、坂東 舞、芝原 寛泰