

理科教育におけるマイクロスケール実験の教材開発と実践 —混合物の分離実験を中心に—

Development of Teaching Materials and Report of Science Class for School
on the Microscale Experiments
— Focused on the Separation and Purification of Mixtures —

佐藤美子
Yoshiko SATOH

理科の学習において、実験や観察の重要性が指摘されている。中学校および高校理科の基本事項である「物質の種類」に続く実験テーマ「混合物の分離」を取り上げ、教材開発とそれを用いた授業、実験教室等での実践を行った。教材開発は、個別実験の実現、試薬量の削減、安全性の向上、操作の簡便化、実験時間の短縮、受講生の意欲向上、学習内容の定着化などを目指して、マイクロスケール実験を考案した。実施した実験は、混合物の分離実験を対象に、昇華、蒸留、再結晶およびペーパークロマトグラフィーの4種類である。それぞれの教材実験の特徴と学習の位置づけ、さらに教材開発と実践の様子、受講生からのアンケート結果をまとめた。受講生のワークシート、感想文およびアンケートの分析結果より、開発した教材実験の有効性を判断し、器具の安全性や利便性などについて、当初の目的を達成できた。

キーワード：混合物の分離、マイクロスケール実験、理科教育、個別実験、授業実践

はじめに

「混合物の分離」は、中学校理科の単元「身のまわりの物質」の中で、2種類の混合物の分離・精製実験として「蒸留」と「再結晶」が掲載されている（例えば竹内敬人ほか、2006）。この単元のねらいについて、中学校学習指導要領解説理科編（文部科学省、2008a）では、「再結晶は純粋な物質を取り出す方法の一つであること」「沸点の違いを利用して混合物から物質を分離できること」などを理解させる、と記されている。また、「混合物の分離」は粒子の存在について初めて考える小学校5年の学習内容「物のとけ方」の延長線上にある学習でもある。一方、高等学校では「混合物の分離」は、化学基礎における「物質の成り立ち」「物質の探究」の中の「物質の性質と分離」の単元で扱われ、「物質の分離に関する種々の化学的方法と操作を身につける」ことをねらいとしている。すなわち、中学校および高等学校の理科に共通して、「物質の概念」を獲得するために、化学を学ぶ導入部分にあたり、実験をとおして物質のもつ物理的・化学的性質を習得する内容となっている。平成20年及び21年に改訂された小学校・中学校・高等学校学習指導要領（文部科学省、2008b、2008c、2009）では、学習内容が「エネルギー、粒子、生命、地球」という4つの柱に整理され、内容の系統化および構造化が図られるだけでなく、学校の校種間での内容や指導の連続性・系統性が重視されるようになった。このような

観点から、「混合物の分離」は基礎的な科学概念のうち「粒子」に関連する位置づけであり、小学校から中学校、高等学校と連続的に学習内容の深まる単元として、実験操作の習得だけでなく概念形成の上でも非常に重要な内容を含んでいると考えられる。

本稿では、理科の中で化学分野に属し、また粒子概念の形成にとって非常に重要な「混合物の分離」をとりあげ、マイクロスケール実験による教材開発とそれらを使った実践的活動をとおして、より効果的な理科学習の在り方を探究し、具体的に検討した結果を報告する。

マイクロスケール実験について

マイクロスケール実験は、試薬の少量化と廃液量の削減だけでなく、実験時間の短縮と実験の個別化により「考える力の育成」に有効な方法として実践報告を行ってきた（芝原・佐藤 2011、佐藤ら 2012、2014）。歴史的背景および主な特徴については文献（芝原・佐藤 2011）に、またマイクロスケール実験による科学リテラシーの涵養についてはすでに本学紀要（佐藤、2015）で紹介している。ここでは、マイクロスケール実験の学校現場への導入に注目して、マイクロスケール実験の特徴について述べる。

マイクロスケール実験を導入した授業実践やその指導による最も大きな変革は、実験形態と時間の使い方にある。これまでグループ実験あるいは教卓での演示実験に固定されていた実験形態が、マイクロスケール実験により1～2人の個別実験からグループ実験まで、いろいろな形態での実験として選択できるようになった。さらに短時間で実験を終えられることから、グループでの考察時間やクラス全体での検証、発表などの時間を確保するゆとりができる。その結果、一連の活動をとおして、「課題を見つけ、解決する力」が培われ、またコミュニケーション力や文章表現力を含む「言語活動の充実」を図ることがより容易になった。このような授業実践の繰り返しの中で「考える力の育成」が可能であり、マイクロスケール実験の果たす役割が非常に大きいという実感を得ている（佐藤ら、2012、2014）。

本稿では、以上のような実践的経験を活かし、中学校理科および高校化学基礎における「混合物の分離」における主な4つの方法、①昇華 ②蒸留 ③再結晶 ④ペーパークロマトグラフィーの実験を取り上げ、教材開発と授業実践について報告を行う。授業では「考えさせる授業」の展開を目指して、一部「協同学習」（杉江、2011、大黒ら、2006）の手法も取り入れ、マイクロスケール実験の特徴である個別実験の形態で実施している。また、小学生を対象とした科学実験教室においても、粒子の概念を形成する上で可能な範囲での実験を行った。小学校教員志望である本学の学生による授業での実践についても併せて報告する。

2. マイクロスケール実験による「混合物の分離」の教材開発の例

混合物を構成する純物質に分離する実験は、物質のもつ性質と実験の技能を学ぶだけでなく、物質概念の基礎を形成する実験として重要である。そこで詳細な観察を可能にするために従来の学習方法を分析し、安全な方法での個別実験を検討した。以下、各実験テーマについて教材実験の意義、課題、実践の経緯を述べ、学校現場等での活用を念頭に、安全性を優先に最終的に確立した、「準備物」「実験方法」を記した。

2.1 昇華実験

物質の三態変化のひとつである「昇華」を取り扱う実験は、昇華性をもつ物質を対象とするため、実施上の様々な制約がある。中学校や高等学校理科では、主にヨウ素の固体粉末が実験に用いられる。教科書（齋藤ら、2011 啓林館「化学基礎」）に紹介されている実験では図1に示すように、ビーカーに入れたヨウ素の粉末をガスバーナーで加熱し、昇華したヨウ素の気体を、水を入れたビーカーの底に付着させ、再び昇華した針状の結晶を観察する。前述の実験を学校現場で実施する場合、かなり慎重な準備と操作を必要とする。すなわち、有毒なヨウ素の気体を吸い込まないようにする。また、加熱しすぎるとビーカーの底に結晶が針状にはつかないため、純度の高いヨウ素の結晶を観察することは非常に難しい。さらに通常のビーカー（200～300 mL）と丸底フラスコを用いる実験スケールでは、大量のヨウ素が必要であり、そのため実験後の廃棄物処理も難しい。従って、一般に昇華の学習は、教師による教卓での演示実験か、あるいは教科書に掲載された写真を参考とするにとどまる場合が多い。以上より、今までの通常スケールの昇華実験では、生徒実験の実施は難しく、実感を伴った学習に結びつかないことが多い。そこで、マイクロスケール実験の導入により、これらの問題を解決し、かつ安全に短時間で実施が可能な教材実験の開発を試みた。

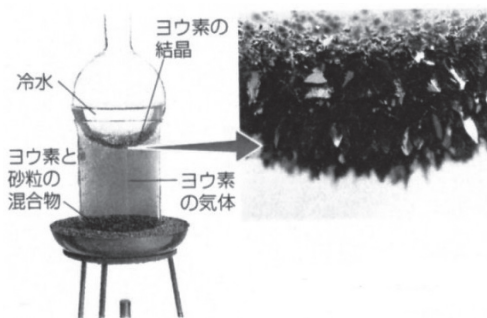


図1 教科書に記載のヨウ素の昇華実験
（齋藤ら、2011 啓林館「化学基礎」より）

すでにマイクロスケール実験として、吉田ら（2011）により開発されている方法がある。極少量のヨウ素粉末をミニ試験管にスパチュラを使って入れ、さらに冷却のため水の入ったサンプリングチューブを、ミニ試験管の上に乗せる操作を含んでいた。この方法は、個別実験を可能とした点で画期的である。しかし、サンプリングチューブをミニ試験管にのせているために密閉性が乏しく、実験の操作が難しい。そこで、本研究では、さらに改良して、有毒な気体や臭いが漏れない工夫や操作の簡略化を図ることを教材開発上の大きなねらいとした。まず昇華性のある有毒なヨウ素粉末の扱いをさらに安全に簡便にするための改良を行った。ミニ試験管（全長7.5 cm、容量6 mL）に「6」の字に曲げたアルミニウム線（ ϕ 3 mm）を蓋に挿し入れ密閉することにより、実験の前後および実験中に、ヨウ素の蒸気を直接に吸い込むことのないように工夫した。使用するアルミニウム線は加工が容易で熱伝導性も高く、蓋から上にでている長い部分が空冷され、ミニ試験管中の金属部分に昇華したヨウ素が付着しやすい。またアルミニウム線の先端においては、外から昇華の様子も観察が可能で、さらに実験後の廃棄処理も容易になった。図2左は、昇華性のある試料粉末とともに密閉して、ミニ試験管の外からライターを使って加熱している様子である。この時、ミニ試験管を耐熱性タイルに立て、観察しながら緩やかに加熱することが重要である。比較のため吉田らによる方法も図2右に示した。尚、昇華性の高い物質としてより安全な白いショウノウ粉末を用いる場合、茶色にメッキされ

たアルミニウム線を用いて観察を容易にした。試料はミニ試験管内に密閉されているため、有毒なヨウ素が拡散することもなく、またショウノウの特有の臭いもわずかである。少量(0.02 g)の試薬で、数分間で昇華の様子を目の前で観察できる、安全な個別実験が可能となった。

準備物

器具：Z型試験管立て、タイル、ガスライター、ミニ試験管、アルミニウム線（ ϕ 3 mm）

試薬：ヨウ素（約0.02 g、事前にミニ試験管に入れておく）

実験方法

- ①ヨウ素を入れたミニ試験管を右手前の穴に立てる。
- ②先端を曲げた金属線が蓋とともに、ミニ試験管に差し込まれていることを確認する。
- ③ガスライターで断続的に約1分間加熱を行い、ヨウ素粉末の様子を観察する。（注）
- ④加熱後、ミニ試験管内に紫色の蒸気を確認できなくなったら加熱をやめ、ミニ試験管を手で持ち上げ、金属線の先端に付着したヨウ素を確認する。

注：ガスライターを試験管から約3 cm離し、左右に炎をゆっくりと揺らしながら、1か所ではなく、全体を加熱する。

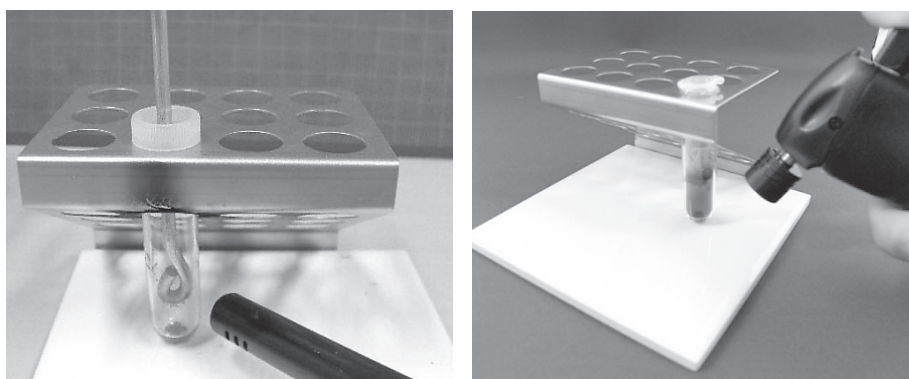


図2 昇華の実験器具と加熱の様子（左：本実験方法、右：吉田ら（2011）による方法）



図3 ヨウ素（左）とショウノウ（右）の昇華実験

図3は、ヨウ素（左）およびショウノウ（右）が、加熱後にアルミニウム線の先端に昇華した様子を示している。アルミニウム線の先端には、針状の結晶が付着しているのが観察できる。アルミニウム線の他方は外気に触れているので、ミニ試験管内の先端は冷やされ、物質が再び昇華しやすくなっている。通常の実験では、200～300 mLのビーカーに、2～3 gのヨウ素粉末をいれ、冷やされた丸底フラスコの底に付着した昇華物質を観察することになる。マイクロスケール実験では、通常スケールの約100分の1まで試薬量を削減することができ、かつ実験だけの時間は5分から10分程度と非常に短時間で終わらせる。

また、混合物の分離実験であることを特に意識させる方法として、ヨウ素粉末に少量の砂を、またショウノウには少量の食塩を混ぜて加熱すると、昇華により分離後には純物質になっていることを確かめることもできる。

2.2 蒸留実験

教科書の記載では、ワインの蒸留実験が取りあげられているが、沸点が高いため短時間で加熱して蒸留することが難しい。図4は中学校理科の「ワインの蒸留」の実験器具（吉川ら、2015）を示している。いずれも実験機を大きく占有する複雑な装置の組み立てが必要で、費用、実験時間の関係で個別の生徒実験が難しいと判断される。本研究では、簡便で安全を第一に、個別の生徒実験が可能なマイクロスケール実験の教材開発を行った。

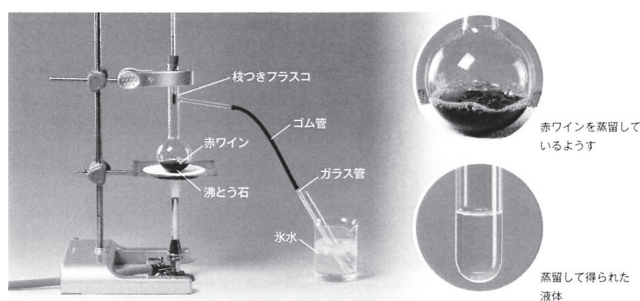


図4 教科書記載の蒸留実験（赤ワインの蒸留、吉川弘之ら 2015 啓林館「未来へひろがるサイエンス」より）

ミニ試験管に、沸点が比較的低い約95%のエタノール（沸点約78℃）と少量の食用色素液を入れ、セラミックヒーターにより加熱しながら熱湯中で蒸留を行った（図5）。先行研究である吉田らによる方法では、ライターを用いてミニ試験管を外から直接加熱しているが、ライターによる加熱では、試験管内部を高温に保つことが難しく、操作に慣れるまでに時間を要するため、即座の実験では難しいと思われる。そこで、中学生を対象にした教材実験であることを考慮して、約90℃の

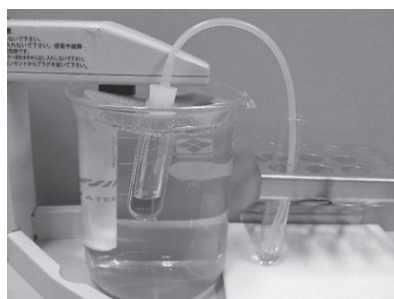


図5 エタノールと食用色素を含む混合溶液の蒸留

熱湯が安全に準備でき、十分に溶液の沸騰が可能で、観察も容易になる方法を検討した。図5に示すように加熱による蒸気は、ミニ試験管のキャップに取り付けられたシリコンチューブに導かれ、空冷により液体状態となって、別のミニ試験管に回収することができる。加熱を始めて約3分後には、無色透明の液体がミニ試験管に溜まってくる。色（無色透明）と臭い、さらに時計皿上での燃焼実験により、原液の混合物と比較して、より高純度のエタノールが取り出したことが確認できる。この方法での蒸留実験により、極めて少量（約1 mL）の試薬溶液を用いて、短時間でかつ安全に蒸留実験の原理を個別に体験できる実験が可能となった。

以下に実験に必要な準備物と実験方法について記す。

準備物

器具：セラミックヒーター、Z型試験管立て、タイル、ミニ試験管、キャップ、ビーカー、シリコンチューブ、フローター

試薬：エタノール（95%）、食用色素（赤）

実験方法

- ①ミニ試験管に、食用色素で色をつけたエタノールを深さ1 cm程入れる。
- ②水を入れたビーカーにセラミックヒーターを入れて加熱する。
- ③加熱しながら、シリコンチューブを装着したミニ試験管を加熱し、蒸留を開始する。
- ④ミニ試験管に溜まった無色透明の液体のにおいも確認する。
- ⑤無色透明の液体を時計皿に取り、燃焼を確認する。

2.3 再結晶法

混合物の分離操作の一つである再結晶法は、日常的にはよく知られた現象と関係している。すなわち色々な溶質を含む水溶液などの温度を下げるか、あるいは溶媒の水を蒸発させると、溶けきれなくなった物質（溶質）から順に結晶として析出する現象（再結晶）である。再結晶の際には純度の高い物質が明確な形の結晶となって析出する場合もあるため、混合物の分離を学ぶ教材実験としても興味・関心を喚起することができる。一般に、教材実験では、安全性を考慮して、小学校では食塩やミョウバンなどが使われるが、中学校や高校理科では、さらに溶解度についての学習のため、溶解度が温度により大きく変化し、かつ再結晶の観察が容易で、特徴的な結晶の外形を示す塩化アンモニウムや硝酸カリウムなどが用いられる。

この実験はすでに演示実験あるいはグループ実験として実施されているが、少量の試薬により、各自が実験を体験できることをねらいとして、安全性を伴う小型化させた実験として紹介する。以下に、実験1.硝酸カリウム、および実験2.塩化アンモニウムの再結晶法の準備物と実験方法を示す。いずれも生徒による個別実験による分量である。

準備物

【実験1】硝酸カリウム KNO_3 、水、シャーレ

【実験2】塩化アンモニウム NH_4Cl 、水、試験管、100 mLビーカー

実験方法

【実験1】試験管に、粉末硝酸カリウム 4.8 g、水12 mLを加えて加熱する。溶解後、溶液をシャーレに静かに注ぎ、放置して冷却する。

【実験2】ビーカーに、粉末塩化アンモニウム21 g、水45 mLを入れ、加熱溶解後、溶液を試験管に入れて冷却する。試験管は静置して放冷する。



図6 硝酸カリウムの結晶

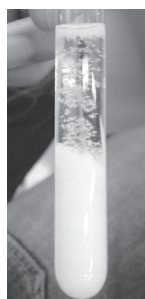


図7 塩化アンモニウムの結晶

図6はシャーレ上に析出した硝酸カリウム、図7は同じく試験管の中の塩化アンモニウムの結晶である。再結晶により純度が高まると、硝酸カリウムでは針状、塩化アンモニウムでは雪のような白色の結晶の形が観察される。特に塩化アンモニウムの結晶が、試験管内の溶液中を、水面方向から落下しながら成長する様子は、生徒の興味や関心を喚起させることができる。

2.4 ペーパークロマトグラフィー

「ペーパークロマトグラフィー」は水溶液などに含まれる混合物を、展開液とクロマトグラフィー用ろ紙との親和性の差を利用して、各成分に分離する方法である。その原理と手順を簡略化した教材実験を紹介する。ここでは身近にある水性ペン（6色）を使い、各色に含まれる複数の色素をペーパークロマトグラフィーにより分離した。6色の分離の様子を比較しやすくするため、直径約5 cmのろ紙を用いて、その径方向に展開できるようにした。また、個別実験で短時間に行える方法も検討した。ろ紙を用いたペーパークロマトグラフィーの教材実験としては、先行研究（吉田ら、2011）による方法がすでに報告されているが、12セルプレート中で6枚のろ紙を用いるため、小学生・中学生には、煩雑な操作を含んでいる。そこで、本方法では、さらに簡略化して1枚の円形ろ紙とプラスチック製シャーレだけで可能となった。なお、開発したペーパークロマトグラフィーの教材実験を用いた実験教室での活用例についてはすでに報告（佐藤、2015）している。以下に実験準備物、実験方法を示す。

準備物

シャーレ、円形ろ紙（直径5 cm）、六角ナット、ポリスポイト、はさみ、鉛筆、ストップウォッチ、80 %エタノール、水性サインペン6本（6色）

実験方法

- ① 円形ろ紙の中央に六角ナットをおき、六角ナットの周囲を鉛筆で型をとる（図8左）。
- ② 六角形の対角線を3本ひき（図8右）、線に沿って、はさみで切れ目をいれる（図8右）
- ③ 切った部分を折り曲げて、三角形の頂点（6ヶ所）で立つようにする。
- ④ エタノールを小さいポリプロピレン容器にいれ、シャーレの中央に置く（図9）。
- ⑤ 折り曲げた円形ろ紙の中心部に、水性インク（6色）をスポット状（直径1mm程度）につけ（図10a）、すばやくシャーレにうつす（図10b）。
- ⑥ フタをして、水性インクの展開の様子を観察する（図10c）。

図10dに展開後約10分経過したときの様子を示す。密封したシャーレの中でろ紙を浸け、展開すると短時間で色素の分離が可能となる。水性ペンの色が黄色を除いて、複数の色素の混合液であることがわかる。生徒にとっては身近にある水性ペンの色が、単色ではなく混合色であることや、どのような色の混合物からできているのかなど、簡単な実験で安全に確かめることができる。このような実験から身の回りの不思議なことに気づき、なぜかと考えることも多く、理科の学習と日常生活との関連性を見出す機会ともなる。

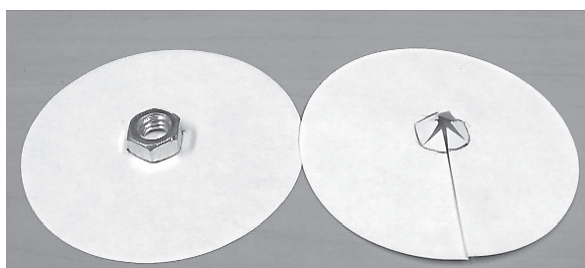


図8 ペーパークロマトグラフィーに用いる円形ろ紙と穴のあけ方

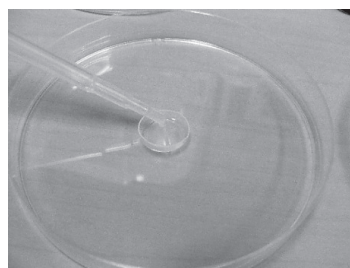


図9 小さい容器にエタノールを入れる

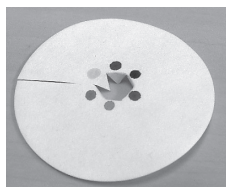


図10a 水性インクをつける

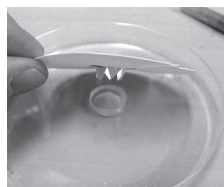


図10b ろ紙を展開液につける

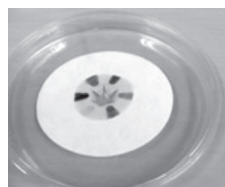


図10c 展開直後の様子

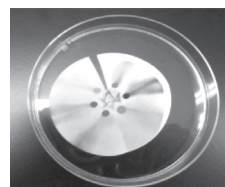


図10d ペーパークロマトグラフィーで6色水性インクの色素を分離

3. 授業実践の例 受講生のアンケート調査による分析と評価

以上のように開発した「混合物の分離」の教材実験を用いて、様々な機会を利用して実践を行った。実験時間の短縮により、実験後の考察に力を入れ、話し合う、発表する、あるいは授

業時間内に複数の実験を行うことも可能となった。

実施した教材実験の有効性を確かめると同時に、今後の課題についても検討する。

3.1 昇華実験

図11は、個別実験の形式で生徒が行ったヨウ素の昇華実験の様子である。ミニ試験管内で紫色の蒸気がでたところで加熱をやめると、その後、金属線の先端に昇華した結晶が観察できる。図12はさらに観察しやすくするために、生徒が自主的にルーペで観察して記録した様子である。この間、有毒なヨウ素の気体は漏れることなく、実験は約10分で終了する。ミニ試験管に入れた試薬も0.02 gにとどまり大幅な削減ができた。実験後の生徒の感想には、「昇華の実験を目の前でみるのができて良かった。教科書（の図）と同じように付いていた。」（括弧内は筆者による補注）など、机上の学習とは異なり、実感を伴う理解につながっていることがわかる。

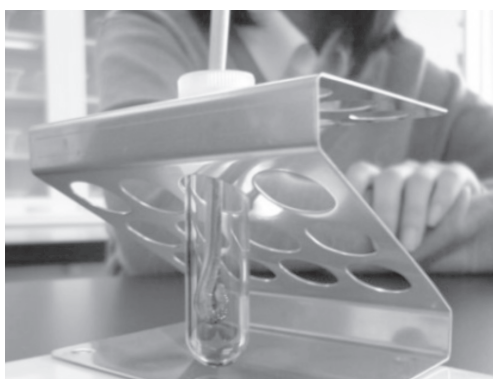


図11 生徒によるヨウ素の昇華実験



図12 ルーペを使った昇華実験の観察

3.2 蒸留実験

図13は兵庫県内の高校生が実施した、蒸留実験の様子である。ミニ試験管にいれた食用色素（赤色）を含むエタノール混合溶液から、蒸留により無色透明の純度の高いエタノールを分離できたことが、色や臭いからわかり、さらに図13のように取り出した液体に火をつけ、アルコールが抽出したことも確かめた。授業後の生徒の感想には「蒸留では、出てきた透明な液が燃えておどろいた。」とあり、「燃える」ということに「おどろいた」という実感を伴った確認をしたことで、自分で行った蒸留による分離操作に大きな関心を示している。

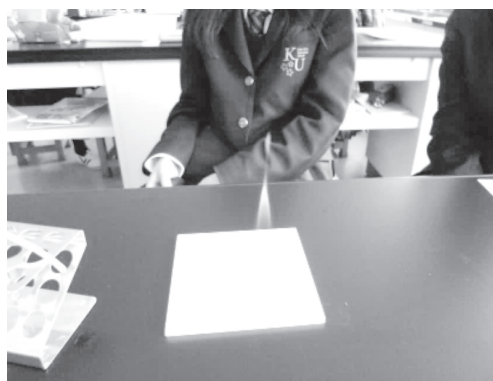


図13 高校生による蒸留実験

3.3 再結晶法

兵庫県内の中学校における授業実践の例を以下に紹介する。1クラス40人の3クラス、計120人を対象に行った。2.3の図6および図7に、その際の実験結果をすでに示した。授業中には、結晶の形だけでなく析出する過程についても観察および記録するように指導した。さらにどのようにすれば結晶がうまく析出するかについても考察の機会を与えた。授業後の感想も含め以下に示す。図14および図15は、それぞれ硝酸カリウム及び塩化アンモニウム結晶の場合について、観察結果をスケッチした例である。詳細に観察していることがわかるが、これは個別実験を可能にしたマイクロスケール実験の導入の効果であり、学習指導要領で謳われる、観察・実験の大切さおよび実験の技能の修得、表現力の育成につながるものである。



図14 硝酸カリウム結晶の観察

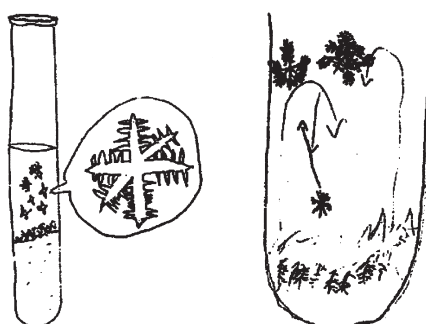


図15 塩化アンモニウム結晶の観察



図16 生徒による観察結果とスケッチ

再結晶により結晶が析出する様子については、次のような観察にもとづく生徒の記述があった。硝酸カリウムの場合については、「細長い棒のようなものがたくさんできることで、結晶になるときに細くなることが分かった」、「針のような結晶が多数みられた。針の長さが伸びるとともに数もふえていった」、「動かしすぎたので、結晶がこなごなになってしまった」「細くて、まるで綿の一つひとつが繊維のような形。色は透明だった」「長細く棒状になっている。透明。また結晶の中には何本もの線がある。形や長さもバラバラ」(図16左参照)。さらに塩化アンモニウムの結晶については、「(析出までに)時間がかかった。星形。雪のような結晶。下にたまっていく様子がわかった。上から降ってきたので、小さい泡のようなものが変化したと思う」、「雪みたいに白かった。上からゆっくりとふってきた。雪の結晶のような形で立体的だった」、「五角形になっている。透明。また各頂点から中心に集まるように、線がはいっている」(図16右参照)「雪の結晶のような形で全体的にみると、ひし形のような形で立体のようにも見えた。色は白で、下につもっても形はそのままだった」などの記述があった。再結晶で結晶をうまく

析出させる方法についても、「溶解度が温度によってあまり変化しないとき、結晶にするときにあまり出てこない。たとえば食塩などがあげられる」などの記述があり、実験条件の工夫から、再結晶の特徴を的確に捉えていることがわかる。

今回の再結晶の実験では、3～4人で班（これを小集団とよぶ）を構成して、さらに役割分担を明確にして行う「協同学習」（杉江、2011、大黒ら、2006）の形を取り入れた。実験後には各生徒が自己評価（A、B、Cの3段階）を行い、今後に向けての課題を見つける作業もとりに入れた。実験後に小集団の取組みについて自己評価と改善すべき点についてアンケート調査をした。生徒3人①～③の記述例を紹介する。

- ・生徒①：自己評価B、「実験では、ガスバーナーを点火するときなどに、小集団で協力し、てきぱきと進めることができたが、私語も途中からでてきてしまったので、これからはもっと集中していきたいと思う」
- ・生徒②：自己評価A、「新しい小集団になり、自分の役割をきちんとやりぬけたと思います。改善すべき点は、準備ができて、気がぬけて、観察をおろそかにしてしまったので、以後、気を付けたい」
- ・生徒③：自己評価B、「一人ひとりが自分の役割を考えて行動することができており、実験がスムーズに動いた。でも、机の上がかたづいておらず、全員が観察できるスペースをなかなかつくれなかった。だから次はもっとまわりをみて、使わなくなったものなどを横によけるなどしていきたい」

以上のようにマイクロスケール化した実験器具で、個別実験を可能にするだけでなく、実験操作の簡略化による時間短縮の結果、余剰の時間を詳細な観察、実験・観察の記録、さらには小集団による協同作業を意識した授業展開にも着目することが、授業時間内に可能となった。

3.4 ペーパークロマトグラフィー

開発した教材実験は、身近な水溶性インクを使って簡単にかつ安全に混合物の分離ができるため、授業の中だけでなく、様々な実験教室においても実施が可能である。

図20は、大阪キッズプラザ及び大阪市内公立小学校で開催された実験教室において、本学の学生が主に小学生を対象に、ペーパークロマトグラフィーの実験を指導している様子である。

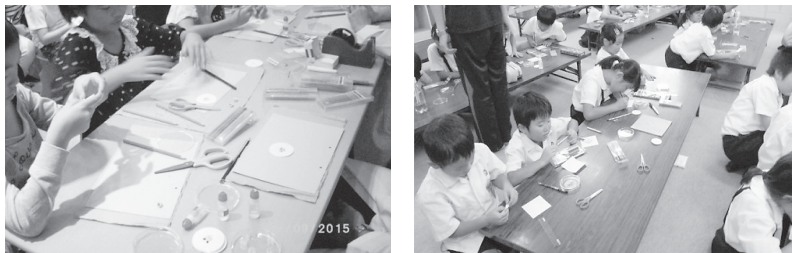


図17 実践の様子 左：大阪キッズプラザ 右：いきいき教室

まとめ

中学校理科および高校化学において「混合物の分離」の学習は、次の①～④の点で別な意味をもつ。①化学分野で最初に登場する学習テーマ「純物質、化合物、混合物の違いについて」で取りあげられ、化学を学ぶ者にとって最初に出会う専門用語のひとつであること、②学校現場においては、用語の学習にとどまり、実験を伴わない場合が多いこと、③混合物の分離の技術的な発達の過程は、化学の歴史的な流れに対応していること、④「混合物の分離」は、4つの柱のうち「粒子」に分類され、粒子概念の獲得の観点からも、小学校理科の学習と深いつながりをもつこと。特に④であげた小学校理科との関連は重要で、例えば再結晶は小学校5年の「ものの溶け方」に、蒸留は小学校4年の「もののあたたまり方」「水のすがた」の学習内容とリンクしている。いずれも児童が実験観察をとおして粒子概念を獲得する上で学習の連続性は重要である。このような背景の下、「混合物の分離」実験を個別実験の形で生徒の一人ひとりが体験することは、大きな意義がある。すなわち学習指導要領で謳われる「実感を伴った理解」「生活に役立つ理科の学習」を実現し、それ以降の理科の学習に対しても大きな動機付けとなるからである。小学校の教員を養成する立場からも、中学校理科の学習事項、実験内容である「混合物の分離」を指導することは、学習内容の連続性、学習の理解を深めるという点からも、学生にとって貴重な体験となっている。マイクロスケール実験は、試薬量の削減と簡便な実験操作により、高い安全性と短時間での実験を追求した結果、一人ひとりが体験できる実験として、学校現場での実施だけでなく、学校外の実験教室などの様々なイベントにおいても、個別に体験できる実験として有効な実験方法であると考えられる。

本報告では、混合物の分離のうち、昇華実験、蒸留実験、再結晶法およびペーパークロマトグラフィーの4種類を取り上げ、実験準備、操作方法、実践の様子をまとめた。今までの様々な場面での実践において見えてきた課題もいくつかある。理科の実験により驚き、知る喜びを得ること、実験を楽しんでいることが次の「なぜ？」という疑問につながるということを、様々な実験活動を通して確信してきた。特に実験教室などにおける体験は、理科の面白さや実験の楽しさを伝えるには、一定の効果があつた。しかし、眼前の現象の観察に集中するあまり、本来の「混合物の分離」の基礎となる、物質のもつ色々な物理的・化学的性質に気づくところまでには達していない。さらに各分離の実験操作には、合理的な意味があり、物質の性質に依存していることにも気づかせたいと考える。今後は、実験の体験が、子ども達の発達段階に応じた、理科学習のサポートにつながるようなプログラムの構築を検討することが課題である。

本研究において教材開発の共同研究者である芝原寛泰先生に様々なご助言を頂きましたことをお礼申し上げます。また、図1および図4の教科書からの転載について、K.K.啓林館から許可をいただいた事、謝意を表します。なお、本研究は平成27～29年度科学研究費（基盤研究C 課題番号15K00997 代表 佐藤美子）により実施した。

【参考文献】

- 齋藤 烈ら、2011「化学基礎」啓林館 p.25
- 佐藤美子・芝原寛泰、2012「パックテスト容器を用いたマイクロスケール実験による電池・電気分解の教材開発と授業実践：考える力の育成を図る実験活動を目指して」、理科教育学研究、日本理科教育学会、第53巻、第1号、pp.61-67
- 佐藤美子、芝原寛泰 2014「マイクロスケール実験による実感を高める「気体発生と性質」の教材開発－個別実験と時間短縮を目指して－」、科学教育研究、Vol.38、No.3、pp.168-175
- 佐藤美子、2015「理科教育法の改善を図るマイクロスケール実験の導入－新たな授業展開と「考える力の育成」を目指して－」四天王寺大学紀要 第59号 pp.263-274
- 芝原寛泰・佐藤美子、2011「マイクロスケール実験－環境にやさしい理科実験－」、オーム社、p.2
- 杉江修治、2011「協同学習入門」、ナカニシヤ出版 pp.144-145
- 大黒孝文、稲垣成哲、2006「中学校の理科授業における協同学習の導入とその学習効果の検討：ジョンソンらの協同学習論を手がかりとして」理科教育学研究、日本理科教育学会、Vol.47、No.2、pp.1-12
- 竹内敬人ら、2006「未来へひろがるサイエンス 第1分野上」啓林館、pp.64-73
- 文部科学省、2009「高等学校学習指導要領」
- 文部科学省、2008a「中学校学習指導要領解説理科編」
- 文部科学省、2008b「中学校学習指導要領」
- 文部科学省、2008c「小学校学習指導要領」
- 吉川弘之ら、2015「未来へひろがるサイエンス 1」啓林館 p.170
- 吉田拓郎・芝原寛泰・川本公二、2011. 高等学校化学のマイクロスケール実験による混合物の分離・精製実験の教材開発と授業実践－物質の持つ化学的性質に着目して－. 理科教育学研究、51、3、pp.159-167

