

ペットボトルのキャップと白板紙製容器を用いた マイクロスケール実験の提案

Proposing Microscale Experiments using Plastic Bottle Caps and White Cardboard Containers

中川 徹夫

NAKAGAWA Tetsuo

神戸女学院大学 人間科学部 環境・バイオサイエンス学科 教授
Department of Biosphere Sciences, School of Human Sciences, Kobe College
nakagawa@mail.kobe-c.ac.jp

要旨

マイクロスケール実験では、プラスチック製のウェルプレートがよく使用される。しかし、教科予算の限られた学校現場では、購入が困難な場合も考えられる。本研究では、ウェルプレートの代替としてペットボトルのキャップと白板紙製容器の使用について検討した。ペットボトルのキャップを使用する利点には、実験時に使用する試薬量や実験後の廃棄物量の減少、取り扱いが容易、入手が容易、経費がかからない、再利用が可能であるなどが挙げられる。白板紙製容器は、白板紙に展開図を印刷し、これをもとに完成させた。ペットボトルのキャップと白紙製容器は廉価で、再利用も可能である。これらの器具を用いて、酢酸とアンモニアの電離平衡の移動に関するマイクロスケール実験教材を開発した。従来の試験管やウェルプレートを使用した実験を行った場合と遜色ない結果が得られた。また、女子高校生に対する授業実践を実施した。参加者は真剣に取り組み、時間内に正確な結果を得た。実験後のアンケートも、本実践を評価する回答が多く得られた。このように、教材開発の視点に加え、教育実践の視点からも、本教材の利便性・有用性が認められた。

キーワード：マイクロスケール実験, ペットボトルのキャップ, 白板紙製容器
Key words: microscale experiment, plastic bottle cap, white cardboard container

1 はじめに

通常の実験の規模を、数分の一から数十分の一程度にまで縮小させたマイクロスケール実験¹⁾には、使用する試薬量の節減、実験廃棄物量（廃試薬、残試薬）の減少、実験時間の短縮、容易かつ迅速に実行可能などの長所がある²⁾。このようにマイクロスケール実験は学校現場にとってとても魅力的な手法であり、国内外をはじめ海外でも数多くの教材開発や教育実践が行われてきた。

マイクロスケール実験では、従来の実験器具であるビーカーや試験管の代用として、プラスチック製のウェルプレート³⁾がよく使用される。ウェルプレートは耐熱性に欠け、有機溶媒には不適という欠点を有するものの、耐酸・耐アルカリ性であるため、加熱を伴わず、有機溶媒を使用しない実験には有用である。従来の実験と比較して試薬量も激減するため、広く教育界においても使用されてきた。著者らも、これまでにウェルプレートを用いた種々のマイクロスケール実験教材の開発・改良および児童生徒を対象とした教育実践を実施した⁴⁾⁵⁾。いずれのマイクロスケール実験も、従来の実験と比較して遜色ない実験結果が得られ、教材としての有用性が認められた。

このように、ウェルプレートを使用したマイクロスケール実験教材は、マイクロスケール実験の長所を十分反映でき、利便性も高い。しかし、価格の面では必ずしも廉価とはいえず¹⁴⁾、教科予算の限られた学校現場では、実験授業を実施する当該年度内にウェルプレートを必要枚数（1学級分の児童・生徒数と理科教員数に破損等に伴う予備を加えた数）購入できない場合も考えられる。通常の教科予算に加え、小学校・中学校・高等学校・特別支援学校の教員の個人研究をサポートする科学研究費補助金（奨励研究）をはじめ、種々の外部助成金の使用も考えられるが、必ず採択されるという保証はない。したがって、学校現場でマイクロスケール実験を実践する際、経費面を考慮して、ウェルプレート以外の器具を検討する必要がある。

本研究では、ウェルプレートの代替として清涼飲料水の容器に使用されるペットボトルのキャップに着目し、これを用いたマイクロスケール実験教材について検討した。加えて、ペットボトルのキャップを入れる容器の作製についても検討したので、以下に報告する。

2 ペットボトルのキャップとその容器

2-1 日本のペットボトルのキャップの特徴

ペットボトルのキャップ（以下「キャップ」と略記）は、ウェルプレートと同様プラスチック製であり、耐酸・耐アルカリ性である。日本製のキャップは、メーカーによらず直径約2.8 cmのものが大部分であり、色は白色以外に、黒色、緑色、茶色、黄色、黄緑色、青色、水色、オレンジ色、赤色などがある。白色のキャップは、水溶液の液性変化、遷移金属イオンが関与する酸化・還元反応、有色塩の生成・析出反応など、水溶液の色調が変化する、あるいは有色沈殿を生成する場合に利用できる。一方、黒色、緑色、茶色などの

有色のキャップは、二酸化炭素の存在による炭酸カルシウムの生成やミョウバンの結晶の析出など、白色沈殿を生成する場合に利用できる。さらに、水溶液の電気伝導性の有無の確認のように、キャップの色に依存しないこともある。このように、種々の色のキャップをその実験内容により、適宜使い分ければよい。

2-2 ペットボトルのキャップを使用する利点

マイクロスケール実験にキャップを使用する利点について、以下に列挙する。

第一に、実験時に使用する試薬量や実験後の廃棄物量が減少する。キャップの容積は、6 ウェルプレートウェルのウェルよりも小さいが、12 ウェルプレートウェルのウェルよりも大きい¹⁵⁾。そのためキャップは、試薬量の調整により、従来のウェルプレートの代用となる。

第二に、取り扱いが容易である。ウェルプレートは透明なため、使用の際に、白色または黒色の紙を敷く場合が多い。これに対してキャップは、その必要がない。また、どのキャップもメーカーに依らずサイズがほぼ直径2.8cm、高さ約1.4cmとそろっており、ウェルプレート内の個々のウェル（セル）とみなすことができる。また、ウェルプレートを使用した場合は、ウェルの位置が固定しているため、実験操作を誤った場合、そのウェル内に入れた試薬をいったん除去して、内部を洗浄した後、再度やり直さなければならない。これに対して、キャップを使用した場合は、配置場所を変えるだけでよい。

第三に、入手が容易である。これは、学校現場にとって何よりも魅力的な点である。マイクロスケール実験を実施する1~2週間ほど前に、予め児童・生徒に予告し、それまでに各自でキャップを必要個数ストックして実験時に持参するように指示すればよい。

第四に、経費がかからない。通常、キャップはプラスチックゴミとして破棄される不要物である。そのため経費はかからず、環境負荷が小さい。

第五に、再利用が可能である。通常、消耗品といえども一度限りの使用で終わるが、実験後、即座に洗浄、乾燥して保管すれば反復して使用できる。ただ、使用しているうちに底面のエッジ部分に小さな亀裂が入り、液漏れするようになる。その時点で、プラスチックゴミ（資源ゴミ）として廃棄すればよい。

2-3 日本と海外のペットボトルのキャップの比較

著者は、2017~2019年に、国際会議や私事旅行でロンドン（イギリス）、シドニー（オーストラリア）、ソウル（大韓民国）、タイペイ（台湾）を訪れた。その際、ペットボトル入清涼飲料水を購入し、そのキャップの直径を測定した。

図1に、日本製のキャップとオーストラリア製のキャップとの比較を示す。シドニーで入手した白色のキャップは、直径約2.8cmで、日本製のものに比べて、やや透明度が大きく、高さが0.5cm程度小さ



図1 キャップ（白）の比較
左：西宮（日本）で、右：シドニー（オーストラリア）で、2018年7月に入手

かった点を除けば、大差は認められなかった。ロンドン、ソウル、タイペイで入手した白色キャップも、日本製やオーストラリア製とほとんど同じサイズであった。これより、海外でも、キャップを使用したマイクロスケール実験が可能である。

2-4 ペットボトルのキャップ用容器

キャップをウェルプレートとして使用する場合、単独での扱いも可能である。しかし、種々の実験操作は、専用の容器を使用した方が容易に実行できる。マイクロスケール実験にキャップを使用しはじめた当初は、適当な容器が見当たらず、市販のヨーグルト容器の蓋を利用した。



図2にヨーグルト容器の蓋を用いた実例を示す。実際に白色キャップとヨーグルト容器の蓋のセットを用いて、小学校理科で扱う水溶液の酸性・中性・アルカリ性の識別に関するマイクロスケール実験教材を提案し、小学生を対象に授業実践を行った¹⁶⁻¹⁷⁾。しかし、使用できるヨーグルト容器の蓋は、特定のメーカー製に限定され、収容数も6個であるため、種々の実験操作に必ずしも適合する訳ではない。そこで、キャップ専用の容器の作製を試みた。

図2 市販のヨーグルトの容器の蓋に配置された白色キャップ

2-5 白板紙製容器展開図の作成と印刷

キャップ用の容器の作製には、厚紙の一種である白板紙を用いた。その理由は、廉価であり、印刷された展開図が見やすく、加工しやすいためである。また、容器は、実験の内容により使い分けられるように、キャップ4個用(7.0 cm × 7.0 cm × 2.0 cm)、6個用(7.0 cm × 10.0 cm × 2.0 cm)、8個用(7.0 cm × 13.0 cm × 2.0 cm)の3種類を作製した。いずれの容器も、底面の縦横の長さは、キャップの直径3.0 cm(厳密には2.8 cm)の個数和に上下左右に0.5 cmを加えた長さとし、容器の高さは2.0 cmとした¹⁸⁾。

図3に容器の展開図(キャップ4個用、6個用、8個用)を示す。これをA4サイズの白板紙(サンカード+, 厚さ0.45 mm, 王子マテリア株式会社製)に印刷した。展開図の版下の作成および白板紙への印刷は、尼崎印刷株式会社(兵庫県尼崎市)に依頼した¹⁹⁾。

なお、実験時に試薬や廃液が容器に付着する場合がある。その場合は、即座に乾燥したチッシュペーパーなどで拭き取り、さらに水道水をつけたチッシュペーパーで汚れを除去して乾燥させれば、再利用が可能である。しかし使用しているうちに徐々に汚れが目立つようになる。そうなれば、可燃ゴミとして廃棄すればよい。

図4に、展開図より作成したキャップ4個用の白板紙製容器(以下「容器」と略記)に白色または緑色のキャップを配置した様子を示す。これらの実験器具を用いて、児童・生徒が個別にマイクロスケール実験を行う。通常の実験のようなグループ活動ではなく、すべて個別で行うため、児童・生徒の主体性を育むのに格好の教材である。

2-6 白板紙製容器の作製手順

容器は、白板紙に印刷した展開図から作製した。以下、具体的な作製手順を示す。

- (1) 用紙内の容器の外周をはさみで切り抜いた。
- (2) 実線に定規をあててボールペンでやや強めになぞった後、切り目を入れた。
- (3) 実線を内側に折り込んで4隅をホッチキスで固定し、容器を完成させた。

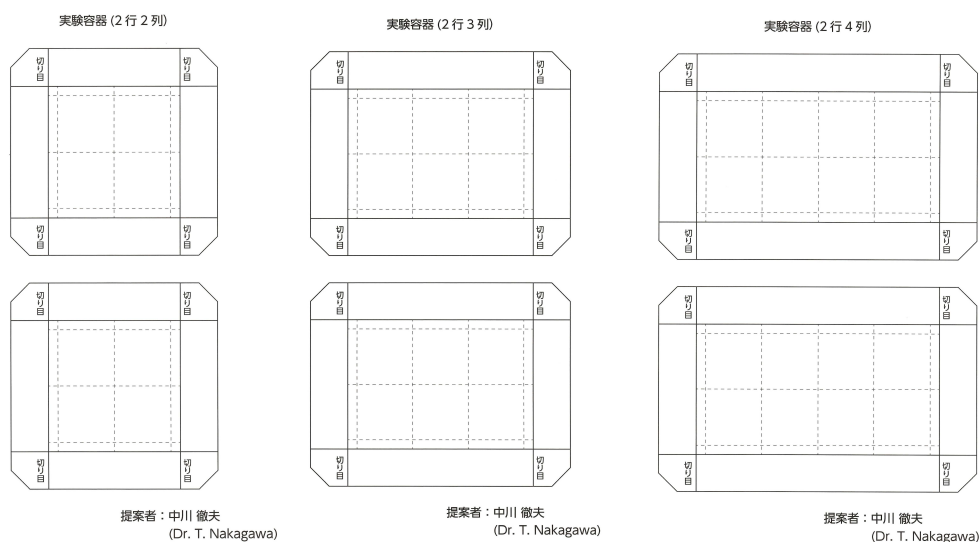


図3 白板紙製容器展開図

左から順に、キャップ4個用(2個×2個)、6個用(2個×3個)、8個用(2個×4個)の展開図



図4 白板紙製容器(4個用)にペットボトルのキャップを配置した様子
左: 白色, 右: 緑色

3 教材開発・改良と教育実践の事例—酢酸とアンモニアの電離平衡の移動—

3-1 現状

現在, キャップと容器を用いたマイクロスケール実験教材の開発・改良ならびに教育実践を, 種々の実験テーマに関して検討を進めている. そのうち, 酢酸とアンモニアの電離平衡の移動に関する内容に関して, 興味深い結果が得られた.

ウェルプレートを用いた酢酸とアンモニアの電離平衡の移動に関するマイクロスケール実験に関しては, すでに検討した¹⁰⁾¹¹⁾. 今回は, この内容を少し変更して, 新たにキャップと紙製容器を用いた教材開発・改良²⁰⁾および教育実践²¹⁾に取り組んだ. 本稿では, その概要について紹介する. 詳細については, 別途発表する予定である.

3-2 実験手順

実験手順は, 以下の通りである.

- (1) キャップ4個用の容器を, 「2-6 白板紙製容器の作製手順」に従い2個作製した.
- (2) そのうちの1つに, 白色キャップを4個配置した. キャップの番号は, 上段左, 上段右, 下段左, 下段右の順に, それぞれ1, 2, 3, 4とした.
- (3) 4個のキャップに0.1 mol/L 酢酸水溶液を入れ, 0.01 w/x %メチルオレンジ水溶液を1~2滴加えた.
- (4) キャップ1には何も加えず, 2には酢酸アンモニウム ($\text{CH}_3\text{COONH}_3$), 3には酢酸ナトリウム (CH_3COONa), 4には塩化アンモニウム (NH_4Cl) を, それぞれコーヒー用マドラーで1/3杯ほど加え, 容器を左右前後に静かに振って, 色調の変化を観察した.
- (5) もう1つの容器に, 白色キャップを4個配置した. キャップの番号は, 上段左, 上段右, 下段左, 下段右の順に, それぞれ1, 2, 3, 4とした.
- (6) 4個のキャップに0.1 mol/L アンモニア水を入れ, 0.02 w/x %フェノールフタレイン溶液を1~2滴加えた.
- (7) 上記(4)と同じ操作を行った.

3-3 実験結果

酢酸水溶液にメチルオレンジ水溶液を加えると, 色調は橙色(オレンジ色)を示した. これに, 酢酸アンモニウムや酢酸ナトリウムを加えると色調が黄色に変化した. 一方, 塩化アンモニウムを加えても色調変化は認められなかった.

アンモニア水にフェノールフタレイン溶液を加えると, 色調は赤色を示した. これに, 酢酸アンモニウムや塩化アンモニウムを加えると色調が無色(または薄桃色)に変化した. 一方, 酢酸ナトリウムを加えても色調変化は認められなかった.

上記2種類の実験はいずれも, 簡便かつ迅速に実行でき, 電離平衡の移動の有無も, 酸塩基指示薬であるメチルオレンジ水溶液やフェノールフタレイン溶液の色調変化より容易に確認できた.

本事例に関しては、従来の試験管やウェルプレートを使用した場合と遜色ない結果が得られた。これより、高校学校化学で電離平衡の移動を指導する際の教材として有意義であると思われる。

3-4 教育実践

キャップと容器を用いた酢酸とアンモニアの電離平衡の移動に関しては、操作が簡便で瞬時に実験結果が判別できることが明らかとなった。そこで、高校生を対象に教育実践を行い、教材としての利便性、有用性に関して検討した。

教育実践は、2019年8月4日（日）に、神戸女学院大学で開催された第2回サイエンス体験（女子高校生向けの実験教室）で実施した。6名の高校生（2年生1名、3年生5名）が参加した。実験操作の説明の後、個別に実験に取り組ませた。参加者はいずれも真剣に取り組み、時間内に正確な実験結果が得られ、実験シートにもきちんと結果や考察を記入できた。実験後のアンケートからも、本実践を評価する回答が多く得られた。以上より、教材開発に加え、教育実践の視点からも、本教材としての利便性、有用性が認められた。

4 おわりに

本研究では、キャップと容器を使用したマイクロスケール実験教材を提案した。従来のマイクロスケール実験で使用されるウェルプレートの代用としての機能を十分に果たすのに加え、入手しやすく、取り扱いが容易で、廉価という利点がある。したがって、小学校理科から中学校理科、高等学校理科（主に化学）、大学及び短期大学化学など、幅広い校種における授業での活用が可能である。

今後は今回紹介した事例以外に関しても、教材開発・改良と教育実践の両側面から、教材としての利便性、有用性について検討する所存である。

本研究は、JSPS 科研費 17K00991 の助成を受けたものである。容器の展開図の版下作成および印刷を担当していただいた、尼崎印刷株式会社に感謝する。

文献と註

- 1) スモールスケール実験ともいう。内容的に化学が中心であることから、マイクロスケールケミストリーともいわれる。かつて、マイクロスケール実験やセミマイクロ実験といわれたこともある。
- 2) 日本化学会編（荻野和子主査）、『マイクロスケール化学実験』、日本化学会、2003年。
- 3) 正式には、組織培養用プレートといい、本来は生物学で用いられるプラスチック製の実験器具である。6, 12, 24, 48, 96セルなどがあるが、マイクロスケール実験では、6セル（主に小学校理科）や12セル（主として中学校理科、高等学校化学）のプレートがよく用いられる。慣用的に、セルプレートやマルチウェルプレートといわれるこ

ともある。

- 4) 中川徹夫, 田野崎歩美, 須藤紫野, 吉國忠亜, 「小学校理科「ホウ酸・ミョウバン・食塩の水に対する溶解性」に関するマイクロスケール実験」, 理科の教育, **55**(9), 634-637 頁, 2006 年.
- 5) 中川徹夫, 「中学校理科におけるマイクロスケール実験の実践—水溶液の液性(酸性, 中性, アルカリ性)の識別—」, 理科の教育, **55**(10), 698-701 頁, 2006 年.
- 6) 吉國忠亜, 針谷尚志, 中川徹夫, 「小学校理科におけるマイクロスケール実験の実践—水溶液の酸性, 中性, アルカリ性の識別—」, 群馬大学教育実践研究, (26), 215-219 頁, 2009 年.
- 7) 椎葉昌美, 土師麻理奈, 久野香月, 水野暢子, 中川徹夫, 「マイクロスケール実験を用いたキウイに含まれるタンパク質分解酵素の教材開発」, 神戸女学院大学論集, **58**(2), 79-86 頁, 2011 年.
- 8) T. Nakagawa, "Microscale experiment for elementary school science using grape peel as natural acid-base indicator," *6th Network for Inter-Asian Chemistry Educators*, Tokyo, 2015.
- 9) 中川徹夫, 「マイクロスケール実験による電池教材の開発・改良と授業実践」, 教材学研究, **26**, 69-76 頁, 2015 年.
- 10) 中川徹夫, 中澤克行, 「ルシヤトリエの原理に関するマイクロスケール実験—教材改良と授業実践—」, 神戸女学院大学論集, **63**(1), 55-64 頁, 2016 年.
- 11) 中川徹夫, 「酢酸およびアンモニアの電離平衡に移動に関するマイクロスケール実験で利用できる酸塩基指示薬溶液の濃度に関する考察—メチルオレンジ水溶液およびフェノールフタレイン溶液の有効濃度—」, 神戸女学院大学論集, **64**(2), 47-55 頁, 2017 年.
- 12) 中川徹夫, 「小学校理科「水溶液の酸性, 中性, アルカリ性の識別」に関するマイクロスケール実験教材の改良と授業実践—ブドウ果皮と 6 穴ウェルプレートを使用して—」, 神戸女学院大学教職センター研究紀要, **1**(2), 79-88 頁, 2018 年.
- 13) 中川徹夫, 「高等学校化学基礎「酸と塩基」におけるマイクロスケール実験教材の改良と授業実践—巨峰の果皮とマロウブルーを使用して—」, 神戸女学院大学論集, **65**(2), 41-50 頁, 2018 年.
- 14) IWAKI 社製の 6 ウェルプレートの単価は 500 円 (10 個組で 5,000 円), 12 ウェルプレートの単価は 550 円 (10 枚組で 5,500 円), TPP 社製の 6 ウェルプレートおよび 12 ウェルプレートの単価はいずれも 500 円 (10 枚組で 5,000 円), 12 ウェルプレートの単価はいずれも 243 円 (4 枚×18 パック=72 枚組で 17,500 円) または 300 円 (1 枚×42 パック=42 枚組で 12,600 円) である (2020 年 2 月時点, 最新版のカatalogより) .
- 15) IWAKI 社製の 6 ウェルプレートのウェルの容積は 16 mL, 12 ウェルプレートの容積は 6.5 mL, TPP 社製の 6 ウェルプレートの容積は 15.7 mL, 12 ウェルプレートの容積は 6.33 mL である (2020 年 2 月時点, 最新版のカatalogより) . これに対して, 著者が測定した日本製キャップの容積は, およそ 8.3 mL (ただし, キャップ内に凸部があるので, この体積を除外した値) である.

- 16) T. Nakagawa, "Microscale Experiment using Plastic Bottle Caps: Classifying Aqueous Solutions into Acidic, Neutral, and Basic Ones," 7th *Network for Inter-Asian Chemistry Educators*, Seoul, 2017.
- 17) T. Nakagawa, "Microscale Experiment using Mallow Blue's Petals and Plastic Bottle Caps," 25th *International Conference on Chemistry Education*, Sydney, 2018.
- 18) たとえば, キャップ 6 個用 (7.0 cm × 10.0 cm × 2.0 cm) の容器の場合, 底面の縦の長さは, キャップを 2 個配列し, 上下にそれぞれ 0.5 cm ずつ加えるので, $2 \times 3.0 \text{ cm} + 2 \times 0.5 \text{ cm} = 7.0 \text{ cm}$, 横の長さは, キャップを 3 個配列し, 左右にそれぞれ 0.5 cm ずつ加えるので, $3 \times 3.0 \text{ cm} + 2 \times 0.5 \text{ cm} = 10.0 \text{ cm}$ となる.
- 19) 実験容器の図版作成および印刷費は, 600 枚 (キャップ 4 個用, 6 個用, 8 個用それぞれ 200 枚ずつ印刷) で 43,000 円である (2019 年 1 月時点の価格で, 消費税は含まず). これより, A4 サイズ用紙 1 枚につき約 72 円のコストがかかる. 用紙 1 枚につき実験容器は 2 個作成できるので, 実験容器 1 個あたりの作製費は約 36 円と廉価である. 再利用可能という点を考慮すれば, 学校現場でとても取り扱いやすい教材である.
- 20) 中川徹夫, 「ペットボトルのキャップを用いた酢酸およびアンモニア電離平衡の移動に関するマイクロスケール実験」, 日本理科教育学会第 69 回全国大会発表論文集, 2J05, 424 頁, 2019 年.
- 21) 中川徹夫, 「電離平衡の移動に関するマイクロスケール実験の授業実践: 「2019 年度サイエンス体験」における女子高校生を対象として」, 日本理科教育学会近畿支部大会 (和歌山大会) 発表論文集, A-07, 34 頁, 2019 年.