

日産科学振興財団 理科／環境教育助成 成果報告書

回次：第 **5** 回 助成期間：平成 20 年 11 月 1 日～平成 21 年 10 月 31 日（期間 **1** 年間）
 テーマ：マイクロスケール実験を導入した高校化学教材の開発
 氏名：中川 徹夫 所属：神戸女学院大学人間科学部 登録番号：08077
 環境・バイオサイエンス学科

1. 課題の主旨

現行の学習指導要領では、高等学校理科で探究活動や課題研究が必須項目として設置されている。これらの項目は、生徒が課題に対して自主的に取り組む生徒主導型の内容であり、大学生が 4 年時で取り組む卒業研究の縮小版と見なすこともできる。しかし、学校現場では、実験経費の不足、実験装置・器具の不備、実験時間の制約、指導者の力量不足などのさまざまな事情から、探究活動や課題研究の指導が困難であると想像される。驚くべきことに、大学生の中には、高等学校の理科の授業で一度も実験の経験をしていない者も存在する。

そこで、我々は通常の実験の規模を縮小させたマイクロスケール実験に着目した。通常の生徒実験と比較した場合、マイクロスケール実験には、迅速かつ平易に行うことができ、試薬の使用量や廃液量の生成量を縮小できるという特徴がある。このように、マイクロスケール実験は、まさに学校現場におけるグリーンケミストリーであり、環境教育の視点からも大変興味深い。そして、マイクロスケール実験の手法を用いれば、学校現場で指導が困難とされる探究活動や課題研究にも有効であると予想される。我々は、高等学校化学の探究活動や課題研究に、生徒が自主的に取り組めるように、いくつかのマイクロスケール実験（ルシャトリエの法則、種々の電池、爆鳴気、液体の混合、モル質量測定）を導入した化学教材の開発および改良に取り組んだ。

本研究の研究体制は、つぎの通りである。

研究代表者：中川徹夫（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）

共同実施者：吉國忠亜（群馬大学教育学部理科教育講座化学教室教授）

2. 準備

本研究の構成は、以下の通りである。

- 1) 先行研究調査：マイクロスケール実験に関する研究成果は、さまざまな学術雑誌に発表されている。そこで、それらの先行研究に関して、化学と教育、理科の教育、理科教室、Journal of Chemical Education, Education in Chemistry, Chemical Education Research and Practice などの学術雑誌や抄録誌である Chemical Abstracts を遡及調査し、研究の動向を把握する。その際、必要な文献を入手する。
- 2) マイクロスケール実験を取り入れた教材の検討：マイクロスケール実験の手法（ルシャトリエの法則、種々の電池、爆鳴気、液体の混合、モル質量測定等）を、探究活動や課題研究の教材として利用する方法について検討した。
- 3) 実験授業の実施：マイクロスケール実験を取り入れた探究活動や課題研究実践のための実験授業を実施した。
- 4) 学会発表：研究成果を日本理科教育学会や日本化学会で口頭発表し、高等学校教員への情報提供に努めた。
- 5) 学術論文公刊：研究成果の一部を大学紀要に発表し、高等学校教員への情報提供に努めた。

3. 指導方法

1) 調査研究

「マイクロスケール実験」に関する先行研究に関して、化学と教育、理科の教育、理科教室、Journal of Chemical Education, Education in Chemistry, Chemical Education Research and Practice などの学術雑誌や抄録誌である Chemical Abstracts を遡及調査し、研究の動向を把握し、必要な文献を入手した。

2) 教材開発研究

高等学校化学の「探究活動」や「課題研究」で、生徒が自主的に取り組むことが可能なマイクロスケール実験教材の開発と改良に取り組んだ。具体的な項目はつぎの通りである。

- ・アルコール（メタノール，エタノール，1-プロパノール，2-プロパノール）と水の混合に関する体積の非加成性
- ・デュマ法による分子性液体（酢酸エチル，エタノール，2-プロパノール）のモル質量の測定
- ・ルシャトリエの法則（酢酸水溶液・アンモニア水の電離平衡，塩化ナトリウム水溶液の溶解平衡）
- ・種々の電池（ボルタ電池，ダニエル電池，鉛蓄電池，燃料電池）
- ・爆鳴気（水素と酸素が体積比 2:1 の割合で混合した気体の爆発）

3) 実践研究

2)の中で、「ルシャトリエの法則」，「種々の電池」に関するマイクロスケール実験教材を用いて，高校生を対象に実践授業を実施した。そして，生徒が実験に取り組む様子や，アンケート結果から，教材の利便性・有効性について検証した。

4. 実践内容

1) 日時・場所

2009年8月31日，神戸女学院大学理学館 S-28 実験室。

2) 対象者

神戸女学院中学部・高等学校部の生徒（高校1・2年）11名。

3) 日程

- ・ 9:40-10:00 理学館 S-28 実験室へ集合
- ・ 10:00-12:00 講義・実験「マイクロスケール実験とルシャトリエの法則」
- ・ 12:00-13:00 昼食・休憩
- ・ 13:00-15:00 講義・実験「いろいろな電池」
- ・ 15:00-15:10 休憩
- ・ 15:10-15:40 まとめ，アンケート記入
- ・ 15:40-16:00 後片付け

4) 内容

- ・ 電離平衡（酢酸水溶液・アンモニア水）に関するルシャトリエの法則。
- ・ 溶解平衡（飽和塩化ナトリウム水溶液）に関するルシャトリエの法則。
- ・ 錯体生成平衡（塩化コバルト水溶液）に関するルシャトリエの法則。
- ・ 種々の電池（ボルタ電池・ダニエル電池・鉛蓄電池・燃料電池）。
- ・ 爆鳴気。

5) 授業形態

- ・ 今回の授業テキストを作成し，生徒に配布した。
- ・ テキストの内容にそって，パワーポイントを用いて実験テーマごとに原理および操作方法の概要を説明した。
- ・ 2名あるいは3名一組で実験に取り組ませた。

5. 成果・効果

どの生徒も真剣に実験に取り組み，得られた実験結果を，配布したテキスト（実験シート）に綿密に記入していた。ルシャトリエの法則や電池に関しては，高校の化学担当教員が事前指導を行ったので，今回の実験授業をスムーズに行うことができた。

用いた実験教材を生徒が取り扱う様子からは，特に実験操作が困難であるような様子は伺えなかった。どの実験に関しても予想通りの結果が得られ，教材としては適切であると判断した。

実験の最後にアンケートを実施した。

「これまでにマイクロスケール実験という言葉を知っていましたか」という質問に対して，「はい」が 0%，「いいえ」が 100%であり，参加者全員がマイクロスケール実験という言葉が今回の実践授業で初めて知ったという事実が判明した。

「今回のマイクロスケール実験はどうでしたか」という質問に対して，「とても楽しかった」が 72.7%，「楽しかった」が 27.3%（計 100%）であり，否定的な回答をした者は皆無であった。これより，参加

者が楽しんで実験に取り組めたものと推察される。

「別の内容でも、機会があればマイクロスケール実験を行いたいですか」という質問に対して、「是非行いたい」が 72.7%、「行いたい」が 27.3%であった。さらに、「マイクロスケール実験を、高校化学の授業に取り入れることに対して、どう思いますか」に対して、「是非取り入れてほしい」が 81.8%、「取り入れてほしい」が 18.2%であった。これより、マイクロスケール実験を一度経験すると、再度行いたいと考え、積極的に高校の化学に取り入れてほしいと思うようになることが判明した。

つぎに、マイクロスケール実験に対する生徒の感想のうち、代表的なものをあげる。

- ・マイクロスケール実験をしたことがなかったので、面白かったです。自分で体験することで、よく分ったと思います。
- ・小さいスペースでも、とてもわかりやすい実験でした。色の変化や音など、目で見たり耳で聞いたりと、実際に体験することで実験の結果が明確で楽しかったです。
- ・簡単に、短時間で実験ができて楽しかったです。マイクロスケール実験と聞き、難しそうに思いましたが、全く違いました。
- ・セルプレートを使った実験なので、スペースが小さくて済み、机の上がごちゃごちゃしなくて、実験しやすかったです。
- ・試薬をビーカーで何 mL と測るよりも何滴と測るほうがわかりやすいし、簡単でした。マイクロスケール実験を今まででやったことがなかったので、新鮮でした。

このように、生徒のアンケート結果や感想からも、今回実践した教材の有効性が十分に認められた。

6. 所 感

本研究助成により、高校化学の探究活動や課題研究で活用できる種々のマイクロスケール実験教材を開発・改良した。そして、その一部を、高校生を対象に実践した。これらの経験を通して、現在の高校現場の生徒の様子や化学の指導内容を把握できた。さらには、我々の開発・改良したマイクロスケール実験教材の有効性・利便性が認められ、たいそう有意義であった。

なお、実践授業を行うにあたり、試薬の調製や実験器具の準備に尽力いただいた、神戸女学院大学嘱託教学職員椎葉昌美氏に深謝する。

7. 今後の課題や発展性について

ルシヤトリエの法則のマイクロスケール実験については、成果を学会で口頭発表する予定である。

アルコールと水の混合に関するマイクロスケール実験については、すでに成果の一部を学会で口頭発表した。さらに改良を加えて、誌上発表する予定である。

デュマ法によるマイクロスケールモル質量測定実験については、実験を迅速化させる諸条件や、得られたモル質量の測定値に対する浮力の影響に関して理論的に検討し、学会での口頭発表ならびに大学紀要に誌上発表した。実践までには至っていないので、今後、オープンキャンパスや高大連携授業等で、高校生に実践を行う予定である。

今回の研究助成を契機に、マイクロスケール実験教材の開発・改良並びに普及活動を、今後も継続させる所存である。

8. 発表論文、投稿記事、メディアなどの掲載記事

論文（太字著者は本研究助成の研究代表者および共同実施者）

1. 中川徹夫：デュマ法によるモル質量測定実験の迅速化，電気通信大学紀要，21 卷 1・2 合併号，pp. 67-71, 2009 年。
2. 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，第 26 号，pp. 215-219, 2009 年。
3. 中川徹夫・大橋一隆・若月洋次・吉國忠亜：デュマ法によるマイクロスケールモル質量実験における浮力の影響，神戸女学院大学論集，第 56 卷第 2 号，印刷中。
4. 吉國忠亜・中川徹夫：出張授業および更新講習における化学授業の取り組み，群馬大学教育実践研究，投稿中。

口頭発表（太字著者は本研究助成の研究代表者および共同実施者）

1. 中川徹夫：液体混合に伴う体積変化の推算方法—メタノールおよびエタノール水溶液—，日本理科教育学会関東支部大会，C13，千葉大学けやき会館，2008 年 11 月 15 日。

2. 中川徹夫：液体混合に伴う体積変化の推算方法—1 および 2-プロパノール水溶液—，日本理科教育学会近畿支部大会，A2-3，神戸大学百年記念館，2008年11月29日。
3. 中川徹夫：アルコールと水の混合に伴う体積の非加性，日本化学会第89春季年会，2B8-33，日本大学理工学部，2009年3月28日。
4. 中川徹夫：モル質量測定実験を迅速化させる諸条件，日本理科教育学会第59回全国大会，2H-03，宮城教育大学，2009年8月19日。
5. 中川徹夫：高校化学におけるマイクロスケール実験，平成21年度京都教育大学公開講座「環境問題を配慮した新しい理科実験—マイクロスケールによる化学実験の体験講座—第3回」，京都教育大学，2009年11月28日。
6. 中川徹夫：神戸女学院大学における高校生を対象としたマイクロスケール実験の実践授業，日本化学会第90春季年会，近畿大学，2009年3月発表予定。

【教材制作方法】

紙面の関係で、「ルシャトリエの法則」に限定して紹介する。これは，東海林・荻野の方法¹⁾を改良したものである。「種々の電池」に関しては，別途郵便で提出した資料を参照されたい。

電離平衡や溶解平衡に関するルシャトリエの法則を理解する。

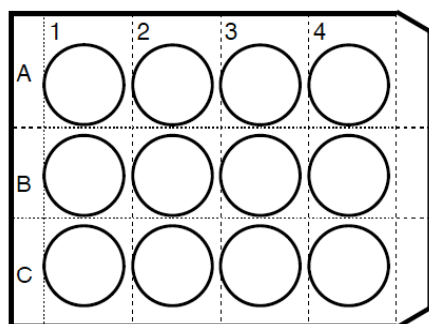
1. 準備

1) 実験器具

12 ウェルセルプレート（下図），安全メガネ，小さじ（コーヒー用マドラー）。

2) 試薬

0.1 mol/L CH_3COOH （水溶液），0.1 mol/L NH_3 （水溶液）， CH_3COONa （固体）， CH_3COOK （固体）， NaCl （固体）， NH_4Cl （固体）， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ （固体），フェノールフタレイン溶液，メチルオレンジ溶液，ユニバーサル pH 試験紙（万能試験紙）， NaCl （飽和水溶液）， CuCl_2 （飽和水溶液）， CoCl_2 （飽和水溶液）， NiCl_2 （飽和水溶液）。



A 行：0.1 mol/L CH_3COOH

B 行：0.1 mol/L NH_3

C 行：飽和 NaCl 水溶液

2. 方法

2-1 弱酸（酢酸）の電離平衡

- 1) A-1～A-4 に，0.1 mol/L CH_3COOH （水溶液）を約 10 滴入れる。
- 2) A-2 に CH_3COONa ，A-3 に CH_3COOK ，A-4 に NaCl を小さじ半杯入れてよくかき混ぜる。
- 3) A-1～A-4 の液をガラス棒に取り，ユニバーサル pH 試験紙につけて，色調の変化を観察する。
- 4) A-1～A-4 に，メチルオレンジ溶液を 1 滴加え，色調の変化を観察する。

2-2 弱塩基（アンモニア）の電離平衡

- 1) B-1～B-4 に，0.1 mol/L NH_3 （水溶液）を約 10 滴入れる。
- 2) B-2 に NH_4Cl ，B-3 に $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ，B-4 に NaCl を小さじ半杯入れてよくかき混ぜる。
- 3) B-1～B-4 の液をガラス棒に取り，ユニバーサル pH 試験紙につけて，色調の変化を観察する。

4) B-1～B-4 に、フェノールフタレイン溶液を 1 滴加え、色調の変化を観察する。

2-3 電解質（塩化ナトリウム）の溶解平衡

- 1) C-1～C-4 に、NaCl（飽和水溶液）を約 10 滴入れる。
- 2) C-2 に CuCl₂（飽和水溶液）、C-3 に CoCl₂（飽和水溶液）、C-4 に NiCl₂（飽和水溶液）を 2～3 滴入れてよくかき混ぜ、変化の様子を観察する。

3. 結果と考察

3-1 弱酸（酢酸）の電離平衡

電離平衡式： _____

	1 CH ₃ COOH	2 CH ₃ COOH + CH ₃ COONa	3 CH ₃ COOH + CH ₃ COOK	4 CH ₃ COOH + NaCl
pH 試験紙				
メチルオレンジ溶液				
考察 電離平衡の移動 に関して	電離平衡の 状態			

3-2 弱塩基（酢酸）の電離平衡

電離平衡式： _____

	1 NH ₃	2 NH ₃ + NH ₄ Cl	3 NH ₃ + (NH ₄) ₂ SO ₄	4 NH ₃ + NaCl
pH 試験紙				
フェノールフタレイン溶液				
考察 電離平衡の移動 に関して	電離平衡の 状態			

3-3 電解質（塩化ナトリウム）の溶解平衡

溶解平衡式： _____

	1 NaCl	2 NaCl + CuCl ₂	3 NaCl + CoCl ₂	4 NaCl + NiCl ₂
変化の様子				
考察 溶解平衡の移動 に関して	溶解平衡の 状態			

文献

- 1) 東海林恵子, 荻野和子, 化学と教育, **49**(10), 634-636 (2001).