

## 2009年度神戸女学院大学で高校生を対象に実施した マイクロスケール実験の授業実践

中 川 徹 夫

**The Practical Lessons on Microscale Experiments for Senior High School Students  
at Kobe College in the Academic Year 2009**

**NAKAGAWA Tetsuo**

### **Abstract**

Microscale experiment is one of the most useful tools for school science. There are many advantages in microscale experiments: easy, safe, fast and environmentally friendly. In order to promote the investigation on microscale experiments, we must not only develop the microscale teaching materials or revise them, but also perform the practical lessons using microscale equipments. The practical lessons on microscale experiments of various cells (i. e. Volta, Daniel, and hydrogen-oxygen fuel cells, and storage battery), detonating gas, volume decreases with mixing ethanol and water, and Le Chatelier's law) were given to senior high school students at Kobe College four times in the academic year 2009. All students that took these lessons performed experiments steadily, finished them completely, and understood them sufficiently. The questionnaires on these practical lessons suggested that many students admired microscale experiments. Therefore, it has been found that our lessons on microscale experiments are exceedingly useful for high school chemical education.

**キーワード:** マイクロスケール実験、授業実践、高校生、化学教育、2009年度

**Key words:** microscale experiment, practical lesson, senior high school student, chemical education, academic year 2009

## 1 はじめに

マイクロスケール実験には、通常実験と比較して、容易かつ迅速に実行可能で、実験時に使用する試薬量が減少し、結果的に実験廃棄物の生成量も減少するという利点がある<sup>1)</sup>。これまでに幅広い校種において、マイクロスケール実験に関する数多くの研究が行われ、その成果は実験書<sup>1-3)</sup>やホームページ<sup>4-6)</sup>、各種学術雑誌<sup>7)</sup>に発表されている。著者自身も日本学術振興会の科学研究費補助金（科研費）の交付を受け、小学校・中学校理科や高等学校化学に関するマイクロスケール実験に関する研究に従事した<sup>8-9)</sup>。現在も科研費により、小学校・中学校理科、高等学校化学に加え、大学初年次の化学に関するマイクロスケール実験に関する研究を継続している<sup>10)</sup>。

マイクロスケール実験に関して研究すべき内容は、学校現場で有用な新規教材の開発および既存教材の改良と、これらの教材を用いた児童・生徒に対する教育実践に大別できる。両者は相補的な関係にあり、いずれもマイクロスケール実験の研究を進展させるのに不可欠である。したがって、両者に関してバランス良く取り組むのが理想である。

著者は1988年から1999年まで、高等学校に理科教諭として勤務した。しかし、マイクロスケール実験に関する知見を得たのは大学へ転出した後であり、正規の高等学校の授業で実践した経験はない。これまで取り組んできたマイクロスケール実験に関する研究内容は、主として教材開発と改良が中心である<sup>11-17)</sup>。学校現場で直接児童・生徒に指導したのは、数回の訪問授業（内訳：小学校2回<sup>18)</sup>、中学校1回<sup>19)</sup>、高等学校1回<sup>20)</sup>）にすぎず、これら以外の実践は小学校や高等学校教諭との共同研究である<sup>21-23)</sup>。このように、これまで著者自身による学校現場による授業実践の経験が乏しく、教材開発・改良に加えて教育実践にも力点をおくことが課題であった。

著者は2009年4月より神戸女学院大学に奉職している。幸いにも、科研費以外に日産科学振興財団の理科／環境教育助成と、日本学術振興会の「ひらめき・ときめきサイエンス」（科研費の成果還元事業）にも採択された。これらの助成では、生徒を相手に教育実践を行うことが義務づけられている。さらに、著者が所属する環境・バイオサイエンス学科主宰の「高大連携連続講座」（高校生が本学へ出向き本学専任教員から授業を受講）<sup>24-25)</sup> 講師も担当することになり、2009年度は著者の勤務先である神戸女学院大学の理学館で高校生にマイクロスケール実験の授業実践を4回行う機会が得られた。なお、2009年度の「ひらめき・ときめきサイエンス」は、本学環境・バイオサイエンス学科主催の第1～2回「サイエンス体験」<sup>24-25)</sup> と同時に開催された。

本稿では、以下に著者自身が行った実践内容の詳細を紹介する。なお、本研究の成果の概要の一部に関しては、すでに報告書<sup>26-27)</sup>で紹介している。

## 2 授業実践

### 2-1 実践日時と対象

2009年度、マイクロスケール実験の授業を4回実施した。実施日時、参加者、授業内容は表1の通りである。

表1 2009年度マイクロスケール実験の授業実践

回数	第1回	第2回	第3回	第4回
日時	2009年8月4日	2009年8月31日	2009年10月24日	2009年11月17日
場所	神戸女学院大学理学館			
授業名	グリーンケミストリーとマイクロスケール実験  種々のマイクロスケール実験	マイクロスケール実験とルシャトリエの法則  いろいろな電池	グリーンケミストリーとマイクロスケール実験  種々のマイクロスケール実験	環境に優しいマイクロスケール実験—さまざまな電池を作ろう—
対象	高校生、高校卒業生	西宮市内K高校（私立）生徒	高校生、高校卒業生	西宮市内N高校（公立）生徒
参加者	22名 1年1名、2年5名、3年14名、中学生1名、高校教諭1名	11名 1年5名、2年6名	3名 3年3名	7名 1年5名、2年2名
事業名（主催者）	ひらめき・ときめきサイエンス（日本学術振興会）  サイエンス体験（神戸女学院大学人間科学部環境・バイオサイエンス学科）	理科／環境教育助成（日産科学振興財団）	ひらめき・ときめきサイエンス（日本学術振興会）  サイエンス体験（神戸女学院大学人間科学部環境・バイオサイエンス学科）	高大連携連続講座（神戸女学院大学人間科学部環境・バイオサイエンス学科）
内容	A、B、C、E	B、C、D	B、C、E	B、C

A：金属のイオン化傾向、B：電池、C：爆鳴気、D：ルシャトリエの法則、E：液体の混合

### 2-2 授業の形式

今回の授業実践は、いずれも講義と実習の形式を併用した。まずマイクロスケール実験の概要について講義し、続いて各実習項目を指導した。

実習の最初に、安全眼鏡と白衣の着用を義務づけ、安全指導を徹底した。塩酸や硫酸、水酸化ナトリウム水溶液など、実習時に扱う危険性の高い試薬や生じた廃液の取扱いについても注意を促した。

実習においては、内容の説明をすべて行ってから実習作業に入るのではなく、適度に説明を分割して行い、その都度作業を行わせた。参加者全員が結果をワークシートに記録した段階で、つぎの説明を行うという形式を反復した。

## 2-3 実習の種類と指導手順

### 2-3-1 金属のイオン化傾向

金属のイオン化傾向は、高等学校化学 I の酸化・還元で扱われる内容である。

本実習の目的は、金属と金属塩水溶液の反応より、金属のイオン化傾向の大小であるイオン化列を理解することである。

手順は、Skinner<sup>28)</sup>の方法に準拠した。OHP シート上に置かれた単体の金属に、点眼瓶に入った金属塩の水溶液を 2 滴加えるという極めて単純な方法である。実験後の処理も、OHP シート上の廃液（未反応の金属を含む）を水槽に回収し、OHP シートを水道水で濯ぐだけで、たいへん手軽である。OHP シートは何度も再利用できるので、経済的である。

反応の有無により、単体の金属と金属塩中の金属との間のイオン化傾向の大小を調べることができる。本実習を通して、イオン化列が  $Mg > Zn > Fe > Cu$  であることを理解させた。

実習時には、パワーポイントを用いて説明し、結果をワークシート（図 1）に記録させた。

#### マイクロスケール実験シート（イオン化傾向）

実験日時 年 月 日 神戸女学院大学 中川徹夫 作成

高校名 年 氏名

金属と金属塩水溶液の反応より、金属のイオン化傾向を理解する。

#### 1. 準備

##### 1) 実験器具

OHP 用 TP シート、ワークシート、サンドペーパー、安全メガネ

##### 2) 試薬

0.2 mol/L  $CuSO_4$ （水溶液）、0.2 mol/L  $MgSO_4$ （水溶液）、0.2 mol/L  $ZnSO_4$ （水溶液）、0.2 mol/L  $Fe(NO_3)_3$ （水溶液）、Mg（リボン）、亜鉛（粒）、鉄（釘）

#### 2. 方法

- 1) ワークシートの上に、TP シートを置く。
- 2) A 行にマグネシウムリボンを入れる（斜線部分は除く、以下同じ）。
- 3) B 行にサンドペーパーで磨いた亜鉛粒を入れる。
- 4) C 行にサンドペーパーで磨いた鉄釘を入れる。
- 5) 1 列に  $CuSO_4$  水溶液 ( $Cu^{2+}$ ) 2 滴加える。
- 6) 2 列に  $MgSO_4$  水溶液 ( $Mg^{2+}$ ) 2 滴加える。
- 7) 3 列に  $ZnSO_4$  水溶液 ( $Zn^{2+}$ ) 2 滴加える。
- 8) 4 列に  $Fe(NO_3)_3$  水溶液 ( $Fe^{3+}$ ) 2 滴加える。

#### 3. 結果と考察

- 1) 変化の様子を、下記の表に記録しなさい。

	$Cu^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Zn^{2+}$	$Fe^{3+}$
Mg				
Zn				
Fe				

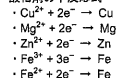
- 2) 表の結果を参考に、Cu, Mg, Zn, Fe を、イオン化傾向の大きい順に並び替えなさい。

\_\_\_\_\_ > \_\_\_\_\_ > \_\_\_\_\_ > \_\_\_\_\_

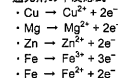
- 3) 変化の生じた組み合わせについて、それらの化学反応式を書きなさい。

（ヒント：酸化剤、還元剤の半反応式より電子  $e^-$  を消去し、さらに陰イオンを両辺に加えて完成させる。）

#### 酸化剤の半反応式



#### 還元剤の半反応式



文献：J. Skinner, "Microscale Chemistry," The Royal Society of Chemistry, London, 1977, pp. 24-25, 105.

図 1 実験シート：金属のイオン化傾向

### 2-3-2 電池

電池は、高等学校化学 I の酸化・還元で扱われる内容である。

本実習の目的は、ボルタ電池、ダニエル電池、鉛蓄電池、水素-酸素燃料電池を作製し、電池の原理を理解することである。

手順は、東海林<sup>29)</sup>や芝原<sup>30)</sup>の方法に準拠した。ただし、それぞれの実習ことに組織培養ブ

## マイクロスケール実験シート（電池 1）

実験日時 年 月 日 神戸女学院大学 中川徹夫 作成  
 高校名 年 氏名

ボルタ電池、ダニエル電池を作製し、電池の原理を理解する。

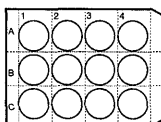
### 1. 準備

#### 1) 実験器具

12 ウェルセルプレート（下図）、安全メガネ、みの虫クリップ付き導線 4 本（赤 2 本、黒 2 本）、IC メロディー、電圧計（デジタルマルチメーター）

#### 2) 試薬

0.5 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$ （水溶液）、1 mol/L  $\text{CuSO}_4$ （水溶液）、0.1 mol/L  $\text{ZnSO}_4$ （水溶液）、Cu 板、Zn 板、Mg リボン



A-1, A-2 : ボルタ電池  
 B-1, B-2 : ダニエル電池

### 2. 方法

#### 2-1 ボルタ電池

- 1) A-1, A-2 に 0.5 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  を約 3 mL（セルの深さの約半分）入れる。
- 2) A-1 に Cu 板と Zn 板を互いに接触しないように入れ、IC メロディーに接続し、同時に電圧を（直流電圧 20 V レンジで）測定する。
- 3) A-2 に Cu 板と Mg リボンを互いに接触しないように入れ、同様の操作を行なう（ボルタ電池の応用編）。

#### 2-2 ダニエル電池

- 1) B-1 に 1 mol/L  $\text{CuSO}_4$  を約 3 mL（セルの深さの約半分）入れる。
- 2) B-2 に 0.1 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  を約 3 mL 入れる。
- 3) B-1 と B-2 の間にろ紙片を入れ、上から 0.5 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  を 1 滴加えて湿らせる。
- 4) B-1 に Cu 板を、B-2 に Zn 板を入れ、IC メロディーに接続し、同時に電圧を（直流電圧 20 V レンジで）測定する。

### 3. 結果と考察

#### 3-1 ボルタ電池

電極に Cu と Zn を用いた場合  
 IC メロディーの様子

直流電圧 \_\_\_\_\_ V

正極の反応

負極の反応

全体の反応

電極に Cu と Mg を用いた場合  
 IC メロディーの様子

直流電圧 \_\_\_\_\_ V

正極の反応

負極の反応

全体の反応

#### 考察

ボルタ電池の放電反応における酸化剤、還元剤は何か。

酸化剤 : \_\_\_\_\_

還元剤 : \_\_\_\_\_

#### 考察

電極を Zn から Mg に変えた場合、どのような変化が観察されたか。また、その理由は何か。

\_\_\_\_\_

#### 3-2 ダニエル電池

IC メロディーの様子

直流電圧 \_\_\_\_\_ V

正極の反応

負極の反応

全体の反応

#### 考察

ダニエル電池の放電反応における酸化剤、還元剤は何か。

酸化剤 : \_\_\_\_\_

還元剤 : \_\_\_\_\_

文献：東海林恵子、萩野和子、化学と教育、49(11)、712-713 (2001)。

図2 実験シート：ボルタ電池とダニエル電池

レート（通称、セルプレート）を取り替えているので、今回はこれらをまとめ一つのセルプレートですべての電池が作成できるように工夫した。

ボルタ電池については、通常の Cu 板と Zn 板の組み合わせ以外に、Cu 板と Mg リボンの組み合わせについても作成し、負極の金属板のイオン化傾向の相違と生じる起電力の値の関係についても検討させた。

電池の電極を固定するのに、セルプレートの蓋に電極用の穴を空け、生徒が実習しやすいように配慮した。これは、本学人間科学部環境・バイオサイエンス学科に所属する椎葉囑託教学職員のアイデアであり、作業もすべて依頼した。マイクロスケール実験で用いるセルプレートは通常蓋をせずに利用するが、今回の電池の実習では、蓋をして行った。なお、蓋は透明であるため、内部の反応の様子が観察でき、しかも溶液の飛沫が手や衣類にかかる心配が無いので、安全である。

実習時にはパワーポイント用いて説明し、結果をワークシート（図2、3）に記録させた。

### 2-3-3 爆鳴気

爆鳴気に関しては、直接高等学校化学では扱われない。内容的には、高等学校化学 I の酸化・還元単元に相当し、水素の燃焼反応を理解するのに有用である。

本実習の目的は、水素と酸素を混合して爆鳴気をつくり、爆発の化学反応を理解することである。

## マイクロスケール実験シート（電池 2）

実験日時 年 月 日 神戸女学院大学 中川徹夫 作成  
 高校名 年 氏名

鉛蓄電池、燃料電池を作製し、電池の原理を理解する。

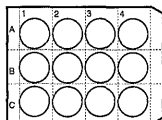
### 1. 準備

#### 1) 実験器具

12 ウェルセルプレート（下図）、安全メガネ、みの虫クリップ付き導線 4 本（赤 2 本、黒 2 本）、豆電球、IC メロディー、プロペラ付き小型モーター、電圧計（デジタルマルチメーター）、9V 平角電池、電池ホルダー

#### 2) 試薬

0.5 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$ （水溶液）、1 mol/L NaOH（水溶液）、Pb 板、炭素棒



C-1：鉛蓄電池

C-3, C-4：燃料電池

### 2. 方法

#### 2-1 鉛蓄電池

- 1) C-1 に 3 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  を約 3 mL（セルの深さの約半分）入れる。
- 2) C-1 に 2 枚の Pb 板を互いに接触しないように入れ、9V 平角電池（外部電源）につないで約 2 分間電流を流す。
- 3) 平角電池を外して、プロペラ付き小型モーターに接続し、同時に電圧を（直流電圧 20 V レンジで）測定する。
- 4) モーターが停止したら外し、再び平角電池につないで充電する。
- 5) 続いて、豆電球を接続する。
- 6) 豆電球が消えたら外し、再び平角電池につないで充電する。
- 7) 続いて、IC メロディーに接続する。

#### 2-2 燃料電池

- 1) C-3 に 0.5 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  を約 3 mL（セルの深さの約半分）入れる。
- 2) C-3 に 2 本の炭素棒を互いに接触しないように入れ、9V 平角電池（外部電源）につないで約 2 分間電流を流す。
- 3) 平角電池を外して、IC メロディーに接続し、同時に電圧を（直流電圧 20 V レンジで）測定する。
- 4) C-4 に 1 mol/L NaOH を約 3 mL 入れ、同様の操作を行う。

### 3. 結果と考察

#### 3-1 鉛蓄電池

プロペラ付小型モーターの様子

豆電球の様子

IC メロディーの様子

直流電圧 \_\_\_\_\_ V

正極の反応（放電）

負極の反応（放電）

全体の反応（放電）

考察

鉛蓄電池の放電反応における、酸化剤、還元剤は何か。

酸化剤： \_\_\_\_\_

還元剤： \_\_\_\_\_

#### 3-2 燃料電池

0.5 mol/L  $\text{H}_2\text{SO}_4$  を用いた場合

IC メロディーの様子

直流電圧 \_\_\_\_\_ V

正極の反応（放電）

負極の反応（放電）

全体の反応（放電）

1 mol/L NaOH を用いた場合

IC メロディーの様子

直流電圧 \_\_\_\_\_ V

正極の反応（放電）

負極の反応（放電）

全体の反応（放電）

考察

燃料電池の放電反応における、酸化剤、還元剤は何か。

酸化剤： \_\_\_\_\_

還元剤： \_\_\_\_\_

文献：東海林恵子、萩野和子、化学と教育、49(11)、712-713 (2001)。

芝原寛泰、「科研費萌芽研究（18650232）研究成果報告書」、pp. 19-27, 2008 年。

図3 実験シート：鉛蓄電池と燃料電池

手順は、坂東ら<sup>31)</sup>の方法に準拠した。ただし、電解液としては、0.5 mol/L 硫酸または 1.0 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を用いた。ともに危険な試薬であるので、取り扱わせる際に充分注意を促した。

実習時にはパワーポイントを用いて説明した。ワークシートは作成せず、結果を電池のワークシート裏面に記録させた。

### 2-3-4 ルシャトリエの法則

ルシャトリエの法則は、高等学校化学Ⅱの化学平衡の単元で扱われる内容である。

本実習の目的は、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ことである。具体的には、電離平衡の移動の例として、酢酸水溶液（酢酸ナトリウム、酢酸カリウム、塩化ナトリウムを加え、平衡が移動するかを確認）とアンモニア水（塩化アンモニウム、硫酸アンモニウム、塩化ナトリウムを加え、平衡が移動するかを確認）を、溶解平衡の移動の例として、飽和塩化ナトリウム水溶液（濃塩酸、塩化銅(Ⅱ)二水和物、塩化コバルト(Ⅱ)六水和物、塩化ニッケル(Ⅱ)六水和物を加え、平衡が移動するかどうか確認）を扱った。

手順は、東海林ら<sup>32)</sup>の方法に準拠した。ただし、それぞれの実験ことにセルプレートを取り替えているので、今回はこれらをまとめ、一つのセルプレートですべての実習が行えるように工夫した。

実習時にはパワーポイントを用いて説明し、結果をワークシート（図 4）に記録させた。

## マイクロスケール実験シート（ルシャトリエの法則）

実験日時 年 月 日 神戸女学院大学 中川徹夫 作成

高校名 年 氏名

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。

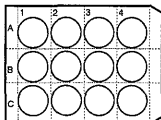
### 1. 準備

#### 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  $\text{CH}_3\text{COOH}$ （水溶液）、0.1 mol/L  $\text{NH}_3$ （水溶液）、 $\text{CH}_3\text{COONa}$ （固体）、 $\text{CH}_3\text{COOK}$ （固体）、 $\text{NaCl}$ （固体）、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ （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）、 $\text{NaCl}$ （飽和水溶液）、 $\text{CuCl}_2$ （飽和水溶液）、 $\text{CoCl}_2$ （飽和水溶液）、 $\text{NiCl}_2$ （飽和水溶液）。



A 行：0.1 mol/L  $\text{CH}_3\text{COOH}$

B 行：0.1 mol/L  $\text{NH}_3$

C 行：飽和  $\text{NaCl}$  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  $\text{CH}_3\text{COOH}$ （水溶液）を約 10 滴入れる。
- 2) A-2 に  $\text{CH}_3\text{COONa}$ 、A-3 に  $\text{CH}_3\text{COOK}$ 、A-4 に  $\text{NaCl}$  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 の液を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  $\text{NH}_3$ （水溶液）を約 10 滴入れる。
- 2) B-2 に  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、B-3 に  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、B-4 に  $\text{NaCl}$  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、 $\text{NaCl}$ （飽和水溶液）を約 10 滴入れる。

- 2) C-2 に  $\text{CuCl}_2$ （飽和水溶液）、C-3 に  $\text{CoCl}_2$ （飽和水溶液）、C-4 に  $\text{NiCl}_2$ （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 $\text{CH}_3\text{COOH}$	2 $\text{CH}_3\text{COOH}$ + $\text{CH}_3\text{COONa}$	3 $\text{CH}_3\text{COOH}$ + $\text{CH}_3\text{COOK}$	4 $\text{CH}_3\text{COOH}$ + $\text{NaCl}$
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				

#### 3-2 弱塩基（アンモニア）の電離平衡

電離平衡式：

	1 $\text{NH}_3$	2 $\text{NH}_3$ + $\text{NH}_4\text{Cl}$	3 $\text{NH}_3$ + $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	4 $\text{NH}_3$ + $\text{NaCl}$
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				

#### 3-3 電解質（塩化ナトリウム）の溶解平衡

溶解平衡式：

	1 $\text{NaCl}$	2 $\text{NaCl}$ + $\text{CuCl}_2$	3 $\text{NaCl}$ + $\text{CoCl}_2$	4 $\text{NaCl}$ + $\text{NiCl}_2$
変化の様子				
考察 溶解平衡の移動に関して				

文献：東海林恵子、荻野和子、化学と教育、49(10)、634-636 (2001)。

図4 実験シート：ルシャトリエの法則

## 2-3-5 液体の混合

液体の混合に伴う体積の非加成性（多くの場合、減少）に関しては、直接高等学校化学では扱われない。内容的には、高等学校化学Ⅱの溶液の単元に相当し、溶解に伴う体積変化を理解するのに有用である。

本実習の目的は、液体の混合に伴う体積の非加成性（加法の破綻）を理解することである。具体的には、エタノールと水の混合を取り上げ、混合後の体積が混合前の体積の和よりも減少する事例を扱った。メタノールや2-プロパノールの場合にもこれらを水と混合すると体積減少が認められるが、今回は時間的な問題と安全性を考慮して、エタノールと水の混合に限定した。

手順は、著者<sup>15)</sup>が提案した方法に準拠した。

実習時にはパワーポイントを用いて説明し、結果をワークシート（図5）に記録させた。

## 2-4 アンケート調査

すべての実習内容終了時に、実践授業への参加者の様子を把握するため、アンケート（図6）を実施した。

## 3 結果と考察

### 3-1 実習の様子

表1に記すように4回の授業実践を実施した。いずれの参加者も真剣に実習に取り組み（図

## マイクロスケール実験シート（液体の混合）

実験日時 年 月 日 神戸女学院大学 中川徹夫 作成

高校名	年	氏名
-----	---	----

液体の混合に関する体積の非加成性（加法の破綻）を理解する。

### 1. 準備

#### 1) 実験器具

有栓つきメスシリンダー2本（5 mL, 10 mL）、ビーカー2個（30 mL）、安全メガネ。

#### 2) 試薬

$C_2H_5OH$ （1級）、 $H_2O$ （蒸留水）、点眼瓶2本（ $C_2H_5OH$  および  $H_2O$  入）。

### 2. 方法

#### 2-1 エタノールと水の混合 その1

- 5 mL メスシリンダーに、エタノールを 5.00 mL 測り取る。微調整は点眼瓶で行う。
- 10 mL メスシリンダーに、水を 5.00 mL 測り取る。微調整は点眼瓶で行う。
- 水にエタノールを加えて、十分に振り混ぜる。
- 2~3 分静置した後、体積  $V$  を測定する。
- 同様の操作を 2 回行い、平均値  $V_{mean}$  を算出する。

#### 2-2 エタノールと水の混合 その2（混合前の全体積をさらに減少させる）

- 5 mL メスシリンダーに、エタノールを 3.00 mL 測り取る。
- 10 mL メスシリンダーに、水を 3.00 mL 測り取る。
- 2-1 の 3)以降と同様の操作を行う。

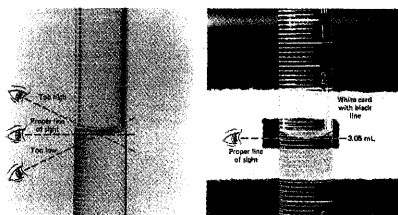
#### 2-3 エタノールと水の混合 その3（混合比を変化させる）

- 5 mL メスシリンダーに、エタノールを正確に 1.00 mL 測り取る。
- 10 mL メスシリンダーに、水を正確に 5.00 mL 測り取る。
- 2-1 の 3)以降と同様の操作を行う。

### 3. 結果と考察

実験結果を、下記の表に整理しよう。

$V_{ethanol}$ / mL	$V_{water}$ / mL	① $V$ / mL	② $V$ / mL	③ $V$ / mL	平均 $V$ / mL
5.00	5.00				
3.00	3.00				
1.00	5.00				



**Figure T.16a** Read the volume of a liquid with the eye horizontal to the bottom of the meniscus.

**Figure T.16b** Use a black line drawn on a white card to assist in pinpointing the location of the bottom of the meniscus.

参考：メスシリンダーの使いかた

- ・目の位置を、液面に水平に置く。
  - ・液面の最低部分を、最小目盛の 1/10 まで読む。
- 5 mL, 10 mL のメスシリンダーでは、最小目盛は、0.1 mL だから、0.01 mL の位まで目分量で読む。

図の出自：J. A. Beran, "Laboratory Manual for Principles of General Chemistry," Sixth edition, Wiley, New York, 2000, p. 29.

実験結果から、混合前のエタノールの体積  $V_{ethanol}$  と水の体積  $V_{water}$  の和と、両者を混合した後の体積  $V$  の間には、どのような関係があるといえるか。さらに、この原因について考えてみよう（ヒント：配布資料を参考にしなさい）。

文献：中川徹夫、理科の教育、51(10)、696-697 (2002)。  
中川徹夫、「キラキラわくわく化学」、上毛新聞社、2003 年、pp. 167-168。  
中川徹夫、理科の教育、56(8)、568-569 (2007)。

図5 実験シート：液体の混合

## マイクロスケール実験アンケート

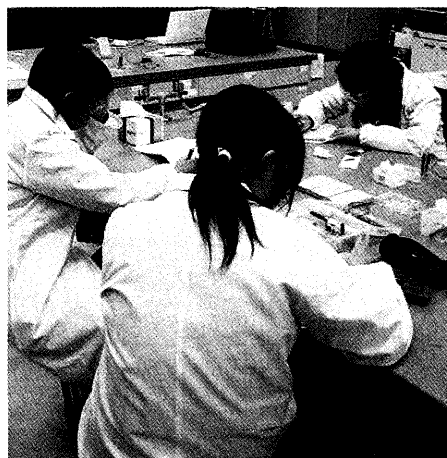
- 高等学校の現在の学年はどれですか（○印）。  
ア. 1 年、イ. 2 年、ウ. 3 年、エ. 4 年（定時制・通信制の場合）
- これまでに（今回の講義・実習を受ける前に）、マイクロスケール実験という言葉を知っていましたか。また、「ア. はい」と答えた人は、どのようにして知りましたか。（○印）。  
ア. はい（どのようにして）  
イ. いいえ
- 今回のマイクロスケール実験は、どうでしたか（○印）。  
ア. とても楽しかった、イ. 楽しかった、ウ. 普通、エ. あまり楽しなかった、オ. 全く楽しくなかった
- 今回のマイクロスケール実験の内容は、理解できましたか（○印）。  
ア. よく理解できた、イ. 大体理解できた、ウ. 半分程度理解できた、エ. あまり理解できなかった、オ. ほとんど理解できなかった
- 今回のマイクロスケール実験の操作は、どうでしたか（○印）。  
ア. たいへん簡単だった、イ. 簡単だった、ウ. 普通、エ. やや難しかった、オ. 大変難しかった
- マイクロスケール実験の長所は、どこにあると思いますか（○印、複数回答可）。  
ア. 実験時間の短縮、イ. 試薬量の減少、ウ. 廃液の減少、エ. 操作が単純で簡単、オ. その他（ ）
- 今回は別の内容でも、機会があればマイクロスケール実験を行いたいですか（○印）。  
ア. 是非行いたい、イ. 行いたい、ウ. 何ともいえない、エ. あまり行いたくない、オ. 絶対に行いたくない
- 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、どのように思いますか（○印）。  
ア. 是非取り入れてほしい、イ. 取り入れてほしい、ウ. 何ともいえない、エ. あまり取り入れてほしくない、オ. 絶対に取り入れてほしくない
- マイクロスケール実験に対する意見や感想を書いてください。

図6 アンケート用紙





(A) 第1回授業実践



(B) 第4回授業実践

図7 実験時の様子

7)、時間内に実習内容を終えることができた。

第1回および3回の参加者の大部分が3年生ということもあり、実習の中味についても、高等学校の授業で既習の部分が多く、参加者のほとんどが内容的にも十分に理解できたようである。反面、第2回および第4回の参加者は1年生が多く、未履修部分も多かった。対策として、第2回に関しては、K高校の化学担当教諭が本実践に備えて事前指導を行った。第4回に関しては、著者が実習前に講義時間を設定して概要を説明した。

机間巡視をして実習シートの記入の様子などを確認したところ、いずれの参加者も、実験結果をきちんと記録できていた。ただ、定められた時間内の実習であったので、詳細な考察を行うまでの時間的な余裕がなかった部分は否めない。参加者には、時間内に十分考察できなかった部分は教科書等で調べるか、あるいは、担当教諭に訊ねるよう指示したが、本来ならこの部分も含めて実践を完結すべきであった。

今後は、授業実践の内容の改良・精選などを行い、一層の検討を加えたい。

### 3-2 アンケート結果

表2から5に、第1回から第4回の参加者の結果を示す。加えて、質問8に関する代表的な回答を示す。

第1回：

- ・ 簡単に短時間でできるので、実験がたくさんできて楽しかったし、良い経験ができました。
- ・ 実験時間も短縮でき廃液の減少にもなるので、是非高校の化学で取り入れてほしいと思った。
- ・ 高校の実験は50分いっぱい使って次の授業ギリギリになるけれど、マイクロスケールのような短い時間での実験なら1回にたくさんできるし、是非高校の授業で取り入れてほしいです。
- ・ 廃液を減らし、試薬量を減らし、時間までも短縮できるマイクロスケール実験は、すばらし

表2 第1回授業実践参加者のアンケート結果（参加者22名、回答数22枚）

質問	ア	イ	ウ	エ	オ
1	1 (4.5%)	5 (22.7%)	14 (63.6%)	0 (0.0%)	2* (9.1%)
2	1 (4.5%)	21 (95.5%)	—	—	—
3	17 (77.3%)	5 (22.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
4	7 (31.8%)	12 (54.5%)	2 (9.1%)	1 (4.5%)	0 (0.0%)
5	5 (22.7%)	6 (27.3%)	9 (40.9%)	2 (9.1%)	0 (0.0%)
6	16 (72.7%)	11 (50.0%)	12 (54.5%)	9 (40.9%)	0 (0.0%)
7	11 (50.0%)	10 (45.5%)	1 (4.5%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
8	18 (81.8%)	4 (18.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)

\*：中学生1名、高校教諭1名。

表3 第2回授業実践参加者のアンケート結果（参加者11名、回答数11枚）

質問	ア	イ	ウ	エ	オ
1	5 (45.5%)	6 (54.5%)	0 (0.0%)	—	—
2	0 (0.0%)	11 (100.0%)	—	—	—
3	8 (72.7%)	3 (27.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
4	1 (9.1%)	9 (81.8%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
5	0 (0.0%)	7 (63.6%)	4 (36.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
6	5 (45.5%)	9 (81.8%)	8 (72.7%)	7 (63.6%)	2 (18.2%)
7	8 (72.7%)	3 (27.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
8	9 (81.8%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)

いと思いました。これからはもっと多くの人々に広め、広く活用されれば良いと思います。

#### 第2回：

- ・実際に目の前で実験できたので、とても楽しかったです。爆鳴気は音が思ったよりも大きくて驚きました。もっとマイクロスケール実験が普及すればいいなと思いました。
- ・簡単に短時間で実験ができ、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。1日、ありがとうございました。
- ・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体験することで実験の結果が明確で楽しかったです。爆鳴気は普段高校では危険ということでやらせてもらえないので、この機会にできてよかったです。

#### 第3回：時間の関係で割愛

表4 第3回授業実践参加者のアンケート結果（参加者3名、回答数3枚）

質問	ア	イ	ウ	エ	オ
1	0 (0.0%)	0 (0.0%)	3(100.0%)	0 (0.0%)	—
2	0 (0.0%)	3(100.0%)	—	—	—
3	3(100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
4	2 (66.7%)	1 (33.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
5	0 (0.0%)	3(100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
6	1 (33.3%)	3(100.0%)	2 (66.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
7	3(100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
8	3(100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)

表5 第4回授業実践参加者のアンケート結果（参加者7名、回答数7枚）

質問	ア	イ	ウ	エ	オ
1	5 (71.4%)	2 (28.6%)	0 (0.0%)	—	—
2	0 (0.0%)	7(100.0%)	—	—	—
3	5 (71.4%)	2 (28.6%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
4	1 (14.3%)	6 (85.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
5	1 (14.3%)	4 (57.1%)	2 (28.6%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
6	2 (28.6%)	2 (28.6%)	4 (57.1%)	4 (57.1%)	0 (0.0%)
7	4 (57.1%)	2 (28.6%)	1 (14.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
8	3 (42.9%)	3 (42.9%)	1 (14.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)

第4回：

- ・マイクロスケール実験は初めてだったのですが、そんなに難しくなく、とても楽しむことができました。今日はありがとうございました。
- ・ものすごく楽しかったです。最初は難しいだろうなと思ったけどとても簡単で分かりやすかったです。最後の爆鳴気の声はとてもびっくりしました。高校でも是非マイクロスケール実験を取り入れてほしいなと思いました。

4回の実践のアンケートより、つぎのことが明らかにされた。

質問2の結果より、参加者の大部分がマイクロスケール実験という言葉そのものを知らないという事実が判明した（第1回で「ア. はい」と回答したのは生徒ではなく教員）。日本化学会では、東北大学医療技術短期大学部教授の荻野和子氏を中心として、1990年代からマイクロスケール実験の普及活動に積極的に関わり、2003年には化学と教育に掲載されたマイクロスケール実験関係の論文をまとめた冊子体も発行している<sup>1)</sup>。それゆえ、マイクロスケール実験は高校化学教員には周知徹底していると推察されるが、遺憾ながら生徒までは伝達していないのが現状である。

質問3、4、7、8に関しては、いずれの回もア、イに相当する肯定的な回答が大部分を占めた。すなわち、本講座の受講者の多くが、マイクロスケール実験は楽しく、理解しやすく、機会があれば別の内容でもマイクロスケール実験を行いたいし、高校の化学の授業でも取り入れてほしいと考えていることが明らかとなった。

質問5に関しては、ア、イに加えて、ウに相当する回答が目立った。マイクロスケール実験に関しては初めての経験なので、操作に慣れていないことも一因であると推察される。

質問6は、複数回答可能であるが、中でもイ、ウの回答数が顕著であった。参加者は、実際にマイクロスケール実験を行うことにより、試薬量の減少や廃液の減少を痛感したものと推察される。質問8に関しても、マイクロスケール実験を評価する意見や感想が数多く得られた。

以上のアンケート調査の結果より、2009年度の著者による授業実践は参加者にとって大変有意義な内容であったことが伺える。

## 4 おわりに

2009年度神戸女学院大学理学館にて、高校生を対象としたマイクロスケール実験の授業実践を4回実施した。いずれの参加者も真剣に実習に取り組み、実習結果をきちんと各自のワークシートに記入し、限られた時間内にすべての作業を終えることができた。加えて、アンケートの結果からも、今回の授業実践の成果が認められた。

今後、マイクロスケール実験の教材開発・改良の研究と並行して、学内の「サイエンス体験」・「高大連携連続講座」や、学外の「出前授業」など、授業実践にも積極的に取り組む所存である。

2010年度より本学環境・バイオサイエンス学科に、中学校・高等学校理科教職課程が設置される。マイクロスケール実験は少量の試薬で短時間に手軽に行えるので、多忙な中学校・高等学校では大変有用な手法である。2012年度より著者が担当する「理科教育法」の講義でも、マイクロスケール実験について紹介する予定であり、将来、中学校や高等学校で理科を指導する際の一助となれば幸甚である。

## 謝辞

本実践を行うにあたり、有益な指導助言を賜った群馬大学教育学部理科教育講座 吉國忠亜教授、試薬・器具の準備および当日の指導補助で御尽力いただいた本学人間科学部環境・バイオサイエンス学科 椎葉昌美嘱託教学職員に深謝する。

本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究(C)20500748）、ひらめき・ときめきサイエンス（整理番号 HT21162）、および日産科学振興財団理科／環境教育助成（登録番号08077）により行なわれた。謝意を表する。

## 文献と註

- 1) 日本化学会編（荻野和子代表）：マイクロスケール化学実験，日本化学会，2003.
- 2) M. M. Singh, R. M. Pike, and Z. Szafran: "Microscale and Selected Macroscale Experiments for General

- and Advanced General Chemistry," John Wiley & Sons Inc., New York, 1995.
- 3) J. Skinner: "Microscale Chemistry," The Royal Society of Chemistry, London, 1997.
  - 4) National Small-Scale Chemistry Center: <http://www.smallscalechemistry.colostate.edu/> (2010年2月アクセス).
  - 5) マイクロスケール化学実験フォーラム: <http://science.icu.ac.jp/MCE/> (2010年2月アクセス).
  - 6) 京都マイクロスケール実験研究会(芝原寛泰代表): <http://natsci.kyokyo-u.ac.jp/~shiba/html-KMSchem/> (2010年2月アクセス).
  - 7) *Journal of Chemical Education, Chemical Educator, Education in Chemistry*, 化学と教育, 理科の教育, 各種研究機関が発行する紀要(例: 京都教育大学教育実践研究紀要, 群馬大学教育学部紀要, 群馬大学教育実践研究, 電気通信大学紀要, 神戸女学院大学論集)などがある.
  - 8) 中川徹夫(研究代表者), 吉國忠亜(研究分担者): 平成16-17年度科学研究費補助金(基盤研究(C2) 16500539) 成果報告書, 2006.
  - 9) 中川徹夫(研究代表者), 吉國忠亜(研究分担者): 平成18-19年度科学研究費補助金(基盤研究(C) 18500650) 研究成果報告書, 2008.
  - 10) 中川徹夫(研究代表者), 吉國忠亜(連携研究者): 平成20-23年度科学研究費補助金(基盤研究(C) 20500748).
  - 11) T. Nakagawa, A. Tanosaki, S. Sutou, and T. Yoshikuni: *2005 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies*, Area 4, 116, Honolulu, Hawaii, USA, Dec. 17, 2005.
  - 12) 中川徹夫, 田野崎歩美, 須藤紫野, 吉國忠亜: 理科の教育, 55(9), 634-637 (2006).
  - 13) 中川徹夫, 土岐史子, 吉國忠亜: 群馬大学教育実践研究, (24), 131-137 (2007).
  - 14) 中川徹夫, 吉國忠亜: 群馬大学教科教育学研究, (6), 89-96 (2007).
  - 15) 中川徹夫: 理科の教育, 56(8), 566-569 (2007).
  - 16) 中川徹夫: 電気通信大学紀要, 21(1-2), 67-71 (2009).
  - 17) 中川徹夫, 大橋一隆, 若月洋次, 吉國忠亜: 神戸女学院大学論集, 56(2), 109-117 (2010).
  - 18) 吉國忠亜, 針谷尚志, 中川徹夫: 群馬大学教育実践研究, (26), 215-219 (2009).
  - 19) 中川徹夫: 理科の教育, 55(10), 698-701 (2006).
  - 20) 中川徹夫: 未発表 (2006).
  - 21) 萩原克明, 中川徹夫: 化学と教育, 53(12), 688-689 (2005).
  - 22) 片山豪, 中川徹夫: 群馬大学教科教育学研究, (5), 47-56 (2006).
  - 23) 須藤紫野, 中川徹夫: 群馬大学教科教育学研究, (6), 89-96 (2007).
  - 24) 西田昌司: 神戸女学院大学論集, 56(1), 115-126 (2009).
  - 25) 西田昌司, 寺嶋正明: 神戸女学院大学論集, 53(3), 83-92 (2007).
  - 26) 中川徹夫(実施代表者): 平成21年度ひらめき・ときめきサイエンス 業務完了報告書, [http://www.jsps.go.jp/hirameki/ht21000\\_jisshi/ht21162.pdf](http://www.jsps.go.jp/hirameki/ht21000_jisshi/ht21162.pdf) (2010年2月アクセス).
  - 27) 中川徹夫(研究代表者), 吉國忠亜(共同実施者): 日産科学振興財団 理科/環境教育助成成果報告書, [http://www.nissan-zaidan.or.jp/membership/2008/05\\_seika/08077.pdf](http://www.nissan-zaidan.or.jp/membership/2008/05_seika/08077.pdf) (2010年2月アクセス).
  - 28) 文献3, pp. 24-25.
  - 29) 東海林恵子, 荻野和子: 化学と教育, 49(11), 712-713 (2001).
  - 30) 芝原寛泰(研究代表者): 平成18-19年度 科学研究費補助金(萌芽研究18650232) 研究成果報告書, 64-65 (2008).
  - 31) 坂東舞, 川本公二, 土田弘幸, 芝原寛泰: 京都教育大学教育実践研究紀要, (6), 25-34 (2006).
  - 32) 東海林恵子, 荻野和子: 化学と教育, 49(10), 634-636 (2001).

(原稿受理 2010年3月9日)