

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 20 日現在

機関番号：34510

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2011

課題番号：20500748

研究課題名（和文） 理科に対する学習意欲を向上させるマイクロスケール実験教材の開発と改良

研究課題名（英文） Development and Improvement of Teaching Materials on Microscale Experiments which Motivate Students to Learn Science

研究代表者

中川 徹夫 (NAKAGAWA TETSUO)

神戸女学院大学・人間科学部・教授

研究者番号：70312866

研究成果の概要（和文）：

近年、わが国における生徒の理科嫌い・理科離れが深刻な問題になっている。この問題の解決法のひとつに、マイクロスケール実験を理科授業に取り入れることが考えられる。マイクロスケール実験には、実験操作が容易、安価、安全、迅速、環境に優しい等、多くの利点がある。本研究では、生徒の理科に対する学習意欲を向上させるため、種々のマイクロスケール実験教材の開発と改良を行い、さらにこれらの教材を用いて高校生を対象とした授業実践も行った。

研究成果の概要（英文）：

Recently, it is pointed out that the number of high school students who are not interested in science is increasing. Introducing microscale experiments to high school science class is one of the most useful methods to solve this problem. There are many advantages in microscale experiments: they are easy, cost-effective, safe, fast, and environmentally friendly. In this study, various teaching materials on microscale experiments have been developed and improved in order to motivate high school students to learn science, and practical lessons have been performed for high school students using our teaching materials.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：化学教育，物理化学

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学，科学教育

キーワード：マイクロスケール実験，教材開発，中学校理科，高等学校理科，溶液，密度

## 1. 研究開始当初の背景

わが国では、生徒の理科離れ・理科嫌いが深刻な問題となりつつある。その原因の一つとして、本来理科の授業で行われるべき演示実験（教卓実験）や生徒実験が軽視・省略さ

れ、教師から生徒への一方的な知識注入型の授業が行われているためと考えられる。実験を通して学ぶのが理科本来の学習形態である。しかし、一方的な講義だけでは生徒の理科に対する興味・関心は深まらず、学習意欲

の向上は望めない。

中学校や高等学校の現場は多忙であり、教員が実験の準備を行う時間が保証されない。また、実験に必要な試薬や器具の購入するための予算も極めて不十分である。このような問題を解決するためには、学校現場にマイクロスケール実験を導入すればよい。

マイクロスケール実験には、試薬量の節減、実験廃棄物量の減少、実験時間の短縮、個々の生徒・学生が実験に取り組める等、さまざまな利点がある。また、授業で手軽に取り扱うことが可能であり、実験の準備や後片付けの労力も少ない。しかし残念なことに、中学校や高等学校に十分普及していないのが現状である。

## 2. 研究の目的

これまでに中学校理科や高等学校化学の多くの単元で、マイクロスケール実験に関する教材開発・改良がなされてきた。しかし、学校現場で利用するにあたり、生徒の実情等を考慮して改良の必要性が生じる場合がある。また、マイクロスケール実験が全く導入されておらず、今後検討の余地がある単元もある。

本研究の目的は、中学校理科や高等学校化学の授業にマイクロスケール実験を導入して、生徒の理科に対する学習意欲を向上させることである。そのために、マイクロスケール実験教材の開発・改良の研究を推進させたい。さらに、これらの教材を用いて授業実践を行い、マイクロスケール実験の普及活動にも努めたい。

## 3. 研究の方法

(1) 生徒の学習意欲を高めるマイクロスケール実験教材の新規開発やこれまでに発表された教材の改良、さらに教材開発・改良のための基礎となる研究を行う。

(2) 高大連携授業やオープンキャンパスの授業実践等により、これまで得られたマイクロスケール実験の研究結果の普及活動に努める。

## 4. 研究成果

(1) マイクロスケール実験関係の情報を、インターネットや国内外の化学および化学教育、理科教育関係の雑誌を利用して入手した。日本化学会の「化学の教育」に掲載されたマイクロスケール実験関係の論文を集約した「化学と教育 マイクロスケール化学実験—マイクロスケール実験の広場から—」(2003年、日本化学会)は、研究に不可欠な文献である。また、最近発行された「マイクロスケール実験」(芝原、佐藤、2011年、オーム社)も、小学校理科や中学校理科、高等学校化学に関

するマイクロスケール実験教材を取り扱い、実践授業用のワークシートもHPからダウンロードできる、大変有用な文献である。

日本化学会春季年会、日本理科教育学会全国大会、国際化学教育会議(International Conference on Chemical Education)、環太平洋国際化学会議(International Chemical Congress of Pacific Basin Societies)等に参加して、国内外の研究者とマイクロスケール実験に関する意見交換を行う等、研究の動向の把握に努めた。

(2) 中学校第1分野で取り扱われる「密度測定」のマイクロスケール実験教材を開発した。試料として、金属(亜鉛、アルミニウム等)、鉱物(石英、方解石等)、液体(水、エタノール、エタノール水溶液等)を用い、測定器具には、小型メスシリンダー(容積5 mL)を用いた。

従来の方法よりも少量、簡便かつ迅速に実行可能であることが判明し、教材として有用性が確認できた。[雑誌論文②, ④, 学会発表①, ⑤, ⑥, ⑨, ⑪]

(3) 高等学校物理や化学、大学初年次化学で取り扱われる「液体の混合に伴う体積の非加性」のマイクロスケール実験教材を開発・改良した。

アルカノール(メタノール、エタノール、1-プロパノール、2-プロパノール)と水を混合すると、混合前と比較して体積が減少する。この現象を、マイクロスケール実験の手法により、市販の小型メスシリンダー(容積5 mLまたは10 mL)の利用により、少量かつ迅速に確認できた。さらに、アルカノール水溶液の密度または過剰モル体積の実測値から混合後の体積を算出し、これが本手法で測定した値とよく一致した。[雑誌論文①, ⑤, 学会発表⑧, ⑫, ⑮, ⑯, ⑰, ⑱]

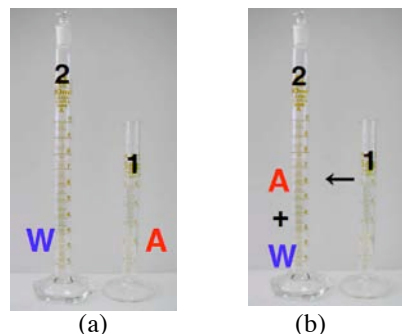


図1 実験手順

(a)混合前：メスシリンダー1にアルカノールAを、有栓メスシリンダー2に水Wを入れる。  
(b)混合後：水WにアルコールAを加え、よく振り混ぜた後静置し、体積を測定する。

(4) 高等学校化学で取り扱われる「電離平

衡・溶解平衡の移動 (ルシャトリエの原理) に関するマイクロスケール実験教材を、東海林、荻野(2001)の先行研究をもとに開発・改良した。

本手法では 1 枚のセルプレートで電離平衡・溶解平衡の移動の実験が可能で、重金属を含んだ廃液が生じないので環境に易しく、通常の授業時間の 50 分で十分に実行可能であることが判明した。[学会発表②]



図2 実験結果

0.1 mol/L 酢酸(A), 0.1 mol/L アンモニア水(B), 飽和塩化ナトリウム水溶液(C)に種々の塩や指示薬を加え、平衡の移動を観察した結果。

(1 列目はコントロール, 2, 3 列目に指示薬の色調変化や沈殿の生成より, 平衡移動が認められる)

(5) 高等学校化学や大学化学で取り扱われる「液体のモル質量測定」に関するマイクロスケール実験教材における浮力の影響について、理論的に考察した。

著者らが提唱した浮力パラメーター等を導入すれば、実験時間が短縮されることが判明した。[雑誌論文⑧, ⑩, 学会発表⑦, ⑩, ⑭]

(6) マイクロスケール実験の普及活動の一環として、高校生を対象とした授業実践を実施した (2009 年 8 月 4 日, 8 月 31 日, 10 月 24 日, 11 月 17 日, 2010 年 7 月 31 日, 2011 年 11 月 16 日)。

いずれの生徒も真剣に取り組み、アンケートの結果からも、マイクロスケール実験は楽しい、実験結果が良く理解できた等の回答が多くみられ、実践の成果が認められた [雑誌論文⑥, 学会発表③]



図3 電離平衡・溶解平衡の移動の実験に取り組む生徒

(7) マイクロスケール実験の普及活動の一環

として、高校理科教員を対象とした実験講座を実施した (2011 年 8 月 1 日)。

参加した教員からは、実験講座に参加して良かった、本実験講座の内容を授業で活用したい等の感想が得られた。

(8) 電気通信大学量子・物質工学科 1 年生配当の基礎セミナーの授業 (2008 年度前期) で、マイクロスケール実験を取り入れた。受講生は積極的に講義に参加し、マイクロスケール実験の実習にも熱心に取り組んだ。

(9) 電気通信大学量子・物質工学科の卒業研究で、マイクロスケール実験の教材開発 (酸と塩基, 単振り子) を指導した (2007-2008 年度)。

(10) 神戸女学院大学環境・バイオサイエンス学科 2 年生配当の物理学実習の授業で、マイクロスケール実験の手法を用いた液体の混合に伴う体積減少や液体・溶液の密度測定を取り入れた (2009-2011 年度前期)。受講生は積極的に講義に参加し、マイクロスケール実験の実習にも熱心に取り組んだ。

(11) マイクロスケール実験に関して研究に取り組んでおられる京都教育大学の芝原寛泰教授より、中川研究室の 3 年生が「金属陽イオンの定性分析に関するマイクロスケール実験」の講義・実習を受けた (2009 年 11 月 2 日)。

(12) 神戸女学院大学環境・バイオサイエンス学科の卒業研究で、神戸女学院大学嘱託教職員員の椎葉昌美氏の協力を得て、果実 (キウイ, パイナップル) に含まれるタンパク質加水分解酵素のマイクロスケール実験を指導した (2009-2010 年度)。[雑誌論文③, 学会発表④]

(13) マイクロスケール実験に関する情報提供を、京都マイクロスケール実験研究会 (代表: 京都教育大学 芝原教授) のメーリングリストを通して行った (日本理科教育学会近畿支部大会の概要, School Science Review に掲載されたマイクロスケール実験の文献等, 2011 年度)。

(14) 中学校・高等学校理科教員にマイクロスケール実験を普及させるため、これまでに発表したマイクロスケール実験関係の論文をまとめ、冊子「マイクロスケール実験研究論文集」を作成した。

当冊子を、一部の理科教育関係者に送付した。また、日本理科教育学会全国大会、日本理科教育学会近畿支部大会、日本化学会春季年会等でも希望者に配布した。さらに、研究

代表者が勤務する神戸女学院大学研究所主催の研究発表会や物理学実習の授業でも配布した。



図4 マイクロスケール実験研究論文集

(14) 得られた研究成果を、日本化学会春季年会、日本理科教育学会全国大会、日本理科教育学会近畿支部大会、日本物理教育学会年会、日本地学教育学会全国大会、国際化学教育会議(International Conference on Chemical Education)、環太平洋国際化学会議(International Chemical Congress of Pacific Basin Societies)等で発表した。

Thursday, December 16, 2010

Time	Session Info
8:00 AM-11:30 AM, Tapa III (Hilton), Green Chemistry and Micro/Small Scale Chemistry in the Curriculum (#28) [3A]	
8:00-8:30 AM	22. Promoting small scale chemistry teaching at secondary school level nationwide in Thailand S. Tantayanon
8:00-11:30 AM	Abstract Withdrawn
8:30-9:00 AM	53. Microscale experiment on decrease in volumes with forming aqueous solutions T. Nakagawa
9:00-9:30 AM	24. Microscale chemistry in Kuwait A.A. Alnajjar

図5 環太平洋国際化学会議のプログラム (中川発表分)

さらに、神戸女学院大学論集、電気通信大学紀要、群馬大学教育実践研究、Chemical Education and Sustainability in the Global Age (Proceedings of 21<sup>st</sup> ICCE; 国際化学教育会議の論文集)に誌上発表した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計10件)

① Tetsuo Nakagawa, Microscale Experiment on Decreases in Volume when Forming Binary Liquid Mixtures: Four Alkanol Aqueous Solution, Chemical Education and Sustainability in the Global Age, Springer, 査読有, 2012年, 印刷中。

② 中川徹夫, エタノール水溶液の密度測定に関するマイクロスケール実験, 神戸女学院大学論集, 査読有, 59巻1号, 2012年, 印刷中。

③ 椎葉昌美, 土師麻里奈, 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, 査読有, 58巻2号, 2011年, pp. 79-86。

④ 中川徹夫, マイクロスケール実験によるエタノールと水の密度測定, 神戸女学院大学論集, 査読有, 58巻1号, 2011年, pp. 113-122。

⑤ 中川徹夫, アルカノール-水混合物の体積: 密度または過剰体積から算出した計算値とマイクロスケール実験による実測値との比較, 神戸女学院大学論集, 査読有, 57巻2号, 2010年, pp. 99-107。

⑥ 中川徹夫, 2009年度神戸女学院大学で高校生を対象に実践したマイクロスケール実験の授業実践, 神戸女学院大学論集, 査読有, 57巻1号, 2010年, pp. 133-145。

⑦ 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, 査読有, 27号, 2010年, pp. 71-77。

⑧ 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測定実験における浮力の影響, 神戸女学院大学論集, 査読有, 56巻2号, 2010年, pp. 109-117。

⑨ 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, 査読有, 26号, 2009年, pp. 215-219。

⑩ 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, 査読有, 21巻1-2号, 2009年, pp. 67-71。

[学会発表] (計18件)

① 中川徹夫, マイクロスケール実験によるエタノール水溶液の密度測定, 日本化学会第92春季年会, 2012年3月25日口頭発表, 慶応義塾大学日吉キャンパス, 神奈川県横浜市。

② 中川徹夫, 電離・溶解平衡の移動に関するマイクロスケール実験, 日本理科教育学会近畿支部大会, 2011年11月26日口頭発表, 滋賀大学教育学部附属中学校, 滋賀県大津市。

③ 中川徹夫, 神戸女学院大学における高校生・大学生を対象にしたマイクロスケール実験の実践, 日本理科教育学会第61回全国大

会, 2011年8月20日口頭発表, 島根大学教育学部, 島根県松江市.

④ 椎葉昌美, 土師麻里奈, 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, 日本理科教育学会第61回全国大会, 2011年8月20日口頭発表, 島根大学教育学部, 島根県松江市.

⑤ 中川徹夫, マイクロスケール実験による液体の密度測定, 日本物理教育学会2011年度年会, 2011年8月10日口頭発表, 広島県情報プラザ, 広島県広島市.

⑥ 中川徹夫, マイクロスケール実験によるエタノールと水の密度測定, 日本化学会第91春季年会, 2011年3月26日口頭発表, 神奈川大学横浜キャンパス, 神奈川県横浜市.

⑦ 大橋一隆, 若月洋次, 中川徹夫, 大学生実験におけるデュマ法の改良, 日本化学会第91春季年会, 2011年3月26日ポスター発表, 神奈川大学横浜キャンパス, 神奈川県横浜市.

⑧ Tetsuo Nakagawa, Microscale experiment on decrease in volumes with forming aqueous solutions, 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Society, 2010年12月16日口頭発表, Honolulu, Hawaii, USA.

⑨ 中川徹夫, マイクロスケール実験による金属の密度測定, 日本理科教育学会近畿支部大会, 2010年11月27日口頭発表, 京都教育大学, 京都府京都市.

⑩ 大橋一隆, 若月洋次, 中川徹夫, グリーンケミストリーの発想による学生化学実験の改良と実践, 第3回智のシンポジウム, 2010年11月14日口頭発表, 東京大学本郷キャンパス, 東京都文京区.

⑪ 中川徹夫, マイクロスケール実験による鉱物の密度測定, 日本地学教育学会第64回全国大会, 2010年8月22日口頭発表, 鹿児島大学教育学部, 鹿児島県鹿児島市.

⑫ Tetsuo Nakagawa, Microscale Experiment on Decrease in Volumes with Forming Binary Liquid Mixtures: Four Alkanol Aqueous Solutions, 21st International Conference on Chemical Education, 2010年8月9日ポスター発表, Taipei International Convention Center (台北国際会議中心), Taipei, Taiwan.

⑬ 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—種々の電池と爆鳴気—, 日本化学会第90春季年会, 2010年3月27日口頭発表, 近畿大学本部キャンパス, 大阪府東大阪市.

⑭ 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, 2009年8月19日口頭発表, 宮城教育大学, 宮城県仙台市.

⑮ 中川徹夫, アルカノールと水の混合に伴う体積の非加成性, 日本化学会第89春季年会, 2009年3月28日口頭発表, 日本大学理工学部船橋キャンパス, 千葉県船橋市.

⑯ 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, 2008年11月29日口頭発表, 神戸大学百年記念館, 兵庫県神戸市.

⑰ 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—, 日本理科教育学会第47回関東支部大会, 2008年12月15日口頭発表, 千葉大学けやき会館, 千葉県千葉市.

⑱ 中川徹夫, アルカノールと水の混合に関するマイクロスケール実験, 日本理科教育学会第58回全国大会, 2008年9月14日口頭発表, 福井大学文京キャンパス, 福井県福井市.

〔図書〕(計1件)

① 中川徹夫, 化学同人, 化学の基礎, 元素記号からおさらいする化学の基本, 2010年, 116ページ.

〔その他〕

神戸女学院大学環境・バイオサイエンス学科ホームページ(中川)

<http://www.kobe-c.ac.jp/courses/human/bio/lab/lab.php?id=127>

神戸女学院学報

中川徹夫, マイクロスケール実験教材の開発と改良, 学報, No. 162, 2011年, p. 39.

普及活動(教育実践, 実験講座)

① 中川徹夫, 環境に優しいマイクロスケール実験—ルシャトリエの原理をマイクロスケール実験で学ぼう—, 高大連携授業(兵庫県立西宮高等学校), 2011年11月17日, 神戸女学院大学理学館, 兵庫県西宮市.

② 中川徹夫, 高等学校化学に関する種々のマイクロスケール実験, 第6回環境・バイオサイエンス実験講座(高等学校理科教員対象), 2011年8月1日, 神戸女学院大学理学

館，兵庫県西宮市。

③ 中川徹夫，環境に優しいマイクロスケール実験とは？－マイクロスケール実験への招待 その2－，神戸女学院大学アドバンストコース講義，2011年4月25日，神戸女学院大学理学館，兵庫県西宮市。

④ 中川徹夫，環境に優しいマイクロスケール実験－ボルタ電池と鉛蓄電池を作ろう－，オープンキャンパス模擬講義，2010年7月31日，神戸女学院大学理学館，兵庫県西宮市。

⑤ 中川徹夫（招待講演），マイクロスケール実験とルシャトリエの法則，環境問題を配慮した新しい理科実験－マイクロスケール実験による化学実験の体験講座－，京都教育大学公開講座，2009年11月28日，京都教育大学，京都府京都市。

⑥ 中川徹夫，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－，高大連携授業（兵庫県立西宮高等学校），2009年11月17日，神戸女学院大学理学館，兵庫県西宮市。

⑦ 中川徹夫，グリーンケミストリー 環境に配慮した科学をめざして，ひらめき・ときめきサイエンス（神戸女学院大学人間科学部環境・バイオサイエンス学科サイエンス体験同時開催），2009年10月24日，神戸女学院大学理学館，兵庫県西宮市。

⑧ 中川徹夫，マイクロスケール実験を導入した高校化学教材の開発，第5回日産科学振興財団理科／環境教育助成実践授業，2009年8月31日，神戸女学院大学理学館，兵庫県西宮市。

⑨ 中川徹夫，グリーンケミストリー 環境に配慮した科学をめざして，ひらめき・ときめきサイエンス（神戸女学院大学人間科学部環境・バイオサイエンス学科サイエンス体験同時開催），2009年8月4日，神戸女学院大学理学館，兵庫県西宮市。

⑩ 中川徹夫，環境に優しい科学実験とは？－マイクロスケール実験への招待－，神戸女学院大学アドバンストコース講義，2009年6月30日，神戸女学院大学理学館，兵庫県西宮市。

⑪ 中川徹夫，マイクロスケール実験いろいろ，電気通信大学オープンキャンパス，2008年11月22日，電気通信大学東1号館，東京都調布市。

⑫ 中川徹夫（招待講演），アルコールと水の混合に関するマイクロスケール実験，SPP マイクロスケール実験による教育法の研修および実践例の紹介，2008年8月8日，国際基督教大学理学館，東京都三鷹市。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中川 徹夫 (NAKAGAWA TETSUO)  
神戸女学院大学・人間科学部・教授  
研究者番号：70312866

### (2) 連携研究者

吉國 忠亜 (YOSHIKUNI TADATSUGU)  
群馬大学・教育学部・教授  
研究者番号：70220613 (H20→H21)

### (3) 研究協力者

① 椎葉 昌美 (SHIIBA MASAMI)  
神戸女学院大学・人間科学部・嘱託教学職員 (H21→H23)

② 大橋 一隆 (OHASHI KAZUTAKA)  
電気通信大学・情報理工学部・非常勤講師 (H20→H23)

## 参考

これまでに研究代表者は，マイクロスケール実験の研究に関して，下記の研究助成金（外部資金）を受けている。

中川徹夫（研究代表），「理科を専門としない教員のための水溶液に関する指導資料の開発」，2004-2005年度，科学研究費補助金C(2)（一般），課題番号16500539。

中川徹夫（研究代表），「小学校・中学校理科におけるマイクロスケール実験教材の開発」，2006-2007年度，科学研究費補助金C（一般），課題番号18500650。

中川徹夫（研究代表），「マイクロスケール実験を導入した高校化学教材の開発」，2008年11月1日-2009年10月31日，日産科学振興財団理科／環境教育助成，登録番号08077。