

小学校教職課程を履修する大学生を対象としたマイクロスケール実験の授業実践
— 水とエタノールの密度測定 —

内 田 祐 貴^{*1} 中 川 徹 夫^{*2}

Practical Lessons on Microscale Experiments in Primary Teacher Education
— Density Measurements of Water and Ethanol —

UCHIDA Yuki^{*1} NAKAGAWA Tetsuo^{*2}

*1 神戸松蔭女子学院大学 人間科学部 子ども発達学科 講師

*2 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

連絡先：中川徹夫 〒662-8505 西宮市岡田山4-1 神戸女学院大学人間科学部環境・バイオサイエンス学科
nakagawa@mail.kobe-c.ac.jp

要 旨

わが国の小学校教員に対する意識調査において、6割以上の教員が、自身の観察実験に対する知識・技術に不安を抱えていることが判明した。特に、採用5年未満の若手教員に限ると、その割合は9割近くになる。一方、小中学生の実験観察に対する知識・技術に対する調査では、メスシリンダーを用いた体積測定などに対して、技能に関する知識はあっても、実際に技能を使えない場合があることも判明した。そこで、本研究では、小中学生の実験観察に対する知識・技術の課題に対して指導できる教員の養成を目指し、小学校教員養成課程の学生を対象に、学生の実験技術の向上を目的に、水とエタノールの密度を測定するマイクロスケール実験の授業実践を行い、その有効性を検証した。結果は、多くの学生が、密度測定の実験の体験がないにもかかわらず、すべての学生が、授業内で密度測定を手早く行えるようになり、自身の実験指導力向上に効果があると感じたことが明らかとなった。これより、本研究は、小学校教員を志望する学生の実験に対する知識・技術の向上に資すると判断できる。

キーワード：マイクロスケール実験、小学校教員養成、密度、授業実践、理科教育

Summary

In Japan, over 60% of primary school teachers are not confident in the knowledge and skills of science experiments. In particular, this tendency is remarkable amongst young teachers. Meanwhile, it is revealed that elementary and junior high school students have some knowledge about the experiments but they cannot use several experimental apparatuses e.g. graduated cylinders. In order to resolve these problems, we performed practical lessons on microscale experiments on density measurement of water and ethanol for university students in a primary education course to improve their experimental skills. Many students had not made density measurement experiments, however all students finished smoothly. Moreover, they felt that this lesson was useful for their experimental skills. Therefore, it has been found that our lessons on microscale density measurement experiments are effective for improving the knowledge and skills of the experiments.

Keywords: Microscale experiment, Primary teacher education, Density, Practical lesson, Science education

1 はじめに

1-1 理科の授業における実験や観察の重要性

理科の授業において、実験や観察の果たす役割の重要性は言うまでもない。しかしわが国では、児童・生徒の「理科離れ」が深刻な問題となっている。例えば、国立教育政策研究所による調査結果¹⁾によれば、「実験や観察をすることが好き」と回答した割合は、小学生では約90%、中学生では約82%であった。これは、「理科の勉強が好き」という回答が、小学生から中学生になるにつれ大幅に低下することと対照的な結果である。これより、小学校や中学校の理科の授業において実験や観察を重視することが、理科教育の重要課題、ひいては「理科離れ」の解決につながることを端的に示していると考えられる。

小学校から中学校、高等学校、大学、さらには大学院と、児童・生徒・学生の受ける理科（科学）教育を通して考えたとき、小学校理科の果たすべき役割は、児童の理科に対する興味関心を高めるという点で重要である。簡潔に言えば、小学校の段階で理科につまずき、嫌いになってしまうと、その児童が将来理科を好きになる可能性は、皆無に近い。その意味で、小学校教員には、一人でも多くの児童が理科を楽しみ、面白いと思えるような実験や観察を取り入れた授業が求められる。

これに対し、科学技術振興機構と国立教育政策研究所による合同調査によって、小学校教員の理科指導に関する問題が明らかになった²⁾。特に、小学校教員の自身の「理科の観察・実験に対する知識・技術」の意識調査では、「低い」、「やや低い」という回答が約66%であり、さらに、これを、採用5年未満のいわゆる若手教員だけで見ると、約87%の教員が「低い」、「やや低い」と回答した。これらのことから、小学校理科の実験観察授業において、教員の実験観察に対する知識・技術の向上が重要課題であることがわかる。

一方、小中学生の実験観察に対する知識・技術に関しては、国立教育政策研究所による調査分析が行われている³⁾。小学校においては、「虫眼鏡、方位磁針、アルコールランプ、直列つなぎ、並列つなぎ、検流計、顕微鏡、電子てんびん、上皿てんびん」について調査分析を行い、「観察・実験器具において、多くの児童が一連の操作についてできているものがある一方、課題がみられるものがある」としている。また中学校においては、「技能に関する知識はあっても、実際に技能を使えない場合がある」、「普段の授業においては観察・実験を班として行うことはできているが、一人一人の技能の習得は不十分なものがある」としている。例えば、「メスシリンダーの読み取り」の調査においては、「メスシリンダーを使った水の体積の測定において、最小目盛りの1/10まで正しく読み取ることに課題が見られる」と分析している。

調査項目は、小学校と中学校で異なっており、単純に両者の項目を比較できない。しかし、小学生の段階で習得した事項を、中学生になって活用できなくなるとは考え難い。そこで、小学校の段階から、観察・実験の技能を一人一人が習得できるように指導する必要がある。そのために、小学校教員の観察や実験に対する知識・技術が重要であることは明らかである。

1-2 マイクロスケール実験の有用性

理科の授業時に実験をする際、教員が障害に感じる主要因として、「時間の不足」、「物の不足」が挙げられる。具体的には、実験準備、授業中に実験に要する時間、後片付けの時間、実験設備・器具、消耗品の不足などが考えられる。

これらの問題の解決の一手法として、マイクロスケール実験の手法の導入が考えられる。マイクロスケール実験とは、通常の実験の規模を1/5から1/10程度に縮小したもので、実験時に使用する試薬の節減、実験廃棄物の縮小、実験時間の短縮、容易かつ迅速に実行可能など、さまざまな長所がある^{4,6)}。それゆえ、実験経費が不十分で、日々校務に追われる多忙な学校現場にとって、マイクロスケール実験はたいへん有用な手法である。文部科学省は、現行の中学校学習指導要領解説理科編⁷⁾や高等学校学習指導要領解説理科編理数編⁸⁾で、マイクロスケール実験について触れている。

著者の一人である中川は、これまでに中学校理科や高等学校化学に加え、小学校理科におけるマイクロスケール実験についても検討を行ってきた。そして、小学校理科におけるマイクロスケール実験に関する教材開発・改良や授業実践を行い、その有用性を明らかにした⁹⁻¹²⁾。

前報で中川は、水とエタノールの密度測定を、電子天秤と容積10 mLの小型メスシリンダーを用いたマイクロスケール実験で実行すれば、大学生でも容易に行うことができ、かつ高精度で密度の値が得られると報告した¹³⁾。ここでは、先述の国立教育政策研究所が、小・中学生の実験や観察に対する知識・技術の課題としてあげた「メスシリンダーを使った体積測定」を取り扱っているため、この問題解決にも繋がるかと予想される。

本研究は、小学生に、適切な実験や観察の指導ができる小学校教員の養成を目指し、中川が先行研究で用いた実験教材の、小学校教員養成課程学生の実験技術向上に対する有効性について検証した。

2 密度測定実験に関する授業実践

2-1 試薬と器具

使用した試薬と器具は次の通りである。試薬として、エタノール（甘糟化学製、試薬1級）、高純度精製水（古河薬品製）を使用した。質量の測定には、小型電子天秤 DIGITAL SCALE DS-81442（最小測定値0.01 g、通常の電子天秤よりも小型でかつ廉価なため、マイクロスケール実験を行う際に有用）を用いた。体積の測定には、容積10 mLのガラス製メスシリンダー（JIS R 3505 クラスA規格、通常、学校現場の理科の授業で使用される容積100 mLや50 mLのメスシリンダーの1/10、1/5で、少量の体積を測定するのに有用）を用いた。

2-2 学生の背景と予備的な指導

著者の一人である内田が勤務する神戸松蔭女子学院大学には、人間科学部子ども発達学科が設置されている。当学科では、教職課程の履修により、小学校教諭一種免許状が取得できる。ここでは、内田が担当する教科に関する科目である「理科研究」が開設されている。今回、この「理科研究」において、上述の中川の方法を参考にして、下記の通り、内田が授業実践を実

施した。

- (1) 実施時期：2016年度
- (2) 対象者：神戸松蔭女子学院大学2年生18名
- (3) 実施方法：理科研究の教材研究

「理科研究」は、神戸松蔭女子学院大学の初等教育課程の必修科目となっており、受講者は全員小学校教員免許取得希望者である。該当学生は、高等学校のいわゆる新課程履修者であり、「物理基礎（2単位）」、「化学基礎（2単位）」、「生物基礎（2単位）」、「地学基礎（2単位）」のうち、少なくとも3科目を履修している。その一方、高等学校ではいわゆる文系クラスに所属し、今回の履修者のうち、高等学校在学時に、いわゆる理系クラスの生徒が履修する「物理（4単位）」を履修した者は皆無、「化学（4単位）」を履修した者もわずか5名であった。

学生が行う実験に関しては、次の順序で指導した。高等学校で「物理」、「化学」を未履修の学生が多いことを考慮して、最初に復習として密度の定義と、メスシリンダーの取り扱い方法について説明をした。

2-3 学生に対する実験指導と学生の取り組み

以上の予備的な指導を終えてから、具体的な実験手順の説明を行い、個々の学生で実験に取り組ませた。学生が行った実験手順は、基本的には前報¹³⁾と同様である。概要を以下に記す。

最初に十分に乾燥させ、空の状態のメスシリンダーの質量 m_c を、0.01 g の位まで測定可能な小型電子天秤で測定した。次に、水を約1.5 mL から6.0 mL の範囲でメスシリンダーに取り、その全質量（メスシリンダーの質量 m_c と水の質量 m_w の和）を測定した。これにより、 m_w は、通常有効数字3桁で得られる。これからメスシリンダーの質量 m_c を引くことで、水の質量 m_w を算出した。

続いて、先述の国立教育政策研究所による調査による指摘事項である「メスシリンダーを使った水の体積の測定において、最小目盛りの1/10まで正しく読み取ることに課題が見られる」を意識して、水の体積 V_w を、メスシリンダーの最小目盛りの1/10である0.01 mL の位まで目視により測定した。これにより、 V_w は、有効数字3桁で得られる。

得られた m_w と V_w より、水の密度 $d_w (= m_w / V_w)$ を算出した。この操作を、10回繰り返した。なお、 d_w を算出する際、 m_w 、 V_w はともに有効数字3桁であり、しかも d_w を求めるのに用いる計算は除法であるので、 d_w についても有効数字3桁で算出するよう指導した。

エタノールに関しても水の場合と同様の操作を行い、得られた質量 m_E と体積 V_E より、その密度 d_E を算出した。

最後に、個々の学生が d_w や d_E の平均値を算出し、文献値¹⁴⁾と比較した。

3 結果と考察

3-1 学生の取り組みの様子と得られた密度データ

最初は、1回の測定にかなり時間を要する学生も多かった。しかし、測定回数が増えていくごとに、1回の測定を約2から3分程度と、比較的短時間で手早く測定を行えるようになった。そして、授業時間の90分以内に、全学生が実験を終了できた。また、実験方法自体が簡易であるため、学生はすぐに実験手順を理解し、取り掛かることができた。実験に不慣れな学生がほとんどであったが、全体的にスムーズに授業を進めることができた。

水およびエタノールの密度の測定を、18名がそれぞれ10回ずつ実施した。体積の上限約6.0 mLを超えていたデータを除き、学生の得た全データ数は173であった。まず、水およびエタノールの密度の全データについて、それらの平均値及び標準誤差を求めた。その結果は、表1の通りである。

表1 水とエタノールの平均密度と密度の標準誤差

	平均密度 [g/mL]	標準誤差 [g/mL]
水	0.971	0.003
エタノール	0.764	0.002

密度の標準誤差は、水、エタノールのいずれの場合も比較的小さく、密度のデータが精度よく得られたことが分かる。

次に、質量 m [g] と体積 V [mL] の測定値に対して線形最小二乗法を用いて、 m を V で線形回帰し、原点を通る回帰直線を求めた。計算には、ソフトウェアとして、Microsoft Excel 2010を用いた。質量 m [g] と体積 V [mL] の関係並びに回帰分析により得られた回帰直線を、図1に示す。

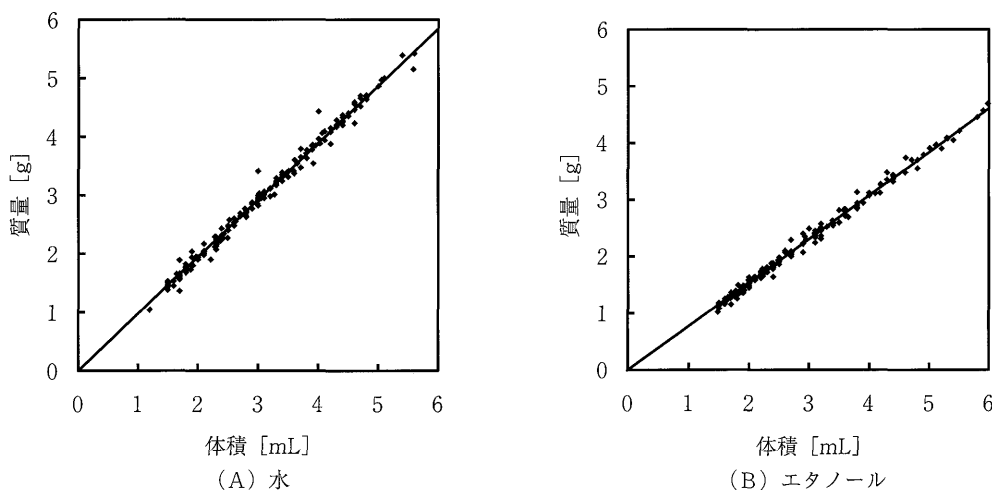


図1 水およびエタノールの質量と体積の関係

回帰直線の回帰式は、水の場合は、

$$m = 0.973V \quad (1)$$

であり、エタノールの場合は、

$$m = 0.768V \quad (2)$$

であった。式(1)と(2)の係数は、それぞれ水とエタノールの密度 d_w [g/mL]、 d_E [g/mL] を表している。 d_w は、 (0.973 ± 0.002) g/mL であり、相関係数は0.999であった。一方、 d_E は、 (0.768 ± 0.002) g/mL であり、相関係数は0.999となった。どちらも相関係数は1に近く、回帰直線は有意である。密度の測定実験の経験が無い学生でも、マイクロスケール実験の導入により、容易に密度の値を測定することができた。

以前に中川が、勤務校である神戸女学院大学で指導した大学生の体積 V_w と質量 m_w のデータから算出した水の密度 d_w は、0.972 g/mL (平均値) および0.973 g/mL (回帰直線の傾き) であり、エタノールの密度 d_E は0.769 g/mL (平均値) および0.770 g/mL (回帰直線の傾き) であった¹³⁾。いずれも今回得られた値と極めて近く、測定者が異なるにもかかわらず、類似した測定値が得られたことは、極めて興味深い。

水とエタノールの25℃における密度の文献値は、それぞれ、0.99705 g/mL と0.78496 g/mL である¹⁴⁾。今回の実践で得られた密度の実測値と文献値とのずれは、前回の中川の実践の場合と同様¹³⁾、水やエタノールの体積を測定する際の目の位置がやや不適切であり、測定誤差が生じたためと推察される。加えて、温度コントロールをせずに測定したことも、原因のひとつと考えられる。

3-2 学生の意識調査

本実践を行うにあたり、学生に対して以下の項目でアンケート調査を行った。アンケートの内容は、以下の通りである。なお、回答数は18である。

質問内容は

- Q 1. 密度の測定実験方法を知っていましたか？
- Q 2. 密度の測定実験をしたことがありますか？
- Q 3. 高校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？
- Q 4. 高校までにマイクロスケール実験をしたことがありますか？
- Q 5. 今回の教材研究が教員としての実験の指導力向上に役立つと思いますか？

である。Q 1～Q 4の回答は、(Yes , No) から選択式で、Q 5に対しては(思う、やや思う、やや思わない、思わない) からの選択式とした。Q 1～Q 4の結果は表2の通りである。

密度の測定方法は中学校理科で履修する(現在の小学校学習指導要領理科では、密度の概念

表2 学生に対する事前調査

	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4
Yes	16.7%	22.2%	0%	5.6%
No	83.3%	77.8%	100%	94.4%

自体は小学校3年生で履修する)ため、ほとんどの学生にとって既知事項のはずである。しかし、現実には実験方法として知っていると言った学生は約16.7%しかいなかった。実際に、大学入学前までに、何らかの密度測定実験を経験したことがある学生は、約22.2%であり、8割近い学生が、密度を実際に測定した経験を持っていない。一方、密度の計算方法自体は、全学生が知っていたため、知識だけで理解している傾向があることがうかがえる。

次に、マイクロスケール実験について質問した。大学入学前までに、マイクロスケール実験を実際に体験したことのある学生はいなかった。マイクロスケール実験という言葉自体も、知っている学生は1名しかいなかった。文部科学省の中学校学習指導要領解説理科編⁷⁾や高等学校学習指導要領解説理科編理数編⁸⁾に、マイクロスケール実験について記されているにもかかわらず、マイクロスケール実験は、小学校、中学校や高等学校の教育現場で、ほとんど普及していないのが現状である。今後、学校現場に対するマイクロスケール実験の普及活動が急務であると考えられる。

最後にQ5の回答結果は、表3の通りである。実験後の学生の意識調査からは、約72.2%の学生が、実験指導力向上に役立つと答えており、学生の実験に対する意識の向上にも資すると判断できる。なお、無回答の学生が約27.8%いたが、これは、理科研究全15回のうちの3回目に「教材研究」として行ったため、まだ、小学校理科の学習内容を勉強しておらず、具体的に、どこで使えるか判断ができなかったためだと考えられる。

表3 実験後の学生の意識

	思う	やや思う	やや思わない	思わない	無回答
Q 5	27.8%	44.4%	0%	0%	27.8%

4 結語

小学校教職課程を履修する大学生の多くは、高等学校で文系クラスに所属しており、実験や観察に自信のない者が多い。このことが、そのまま小学校教員の実験や観察に対する知識や技術の低い自己評価につながっている可能性がある。

そこで本実践研究では、将来小学校の教員をめざす教員養成課程の学生を対象に、様々な利点を持つマイクロスケール実験の手法を用いて、水とエタノールの密度測定の指導を実施した。その結果、学生の約77.8%が密度の測定実験の経験が無いにもかかわらず、授業時間内に手早く密度の測定を行えるようになった。そして、簡便かつ簡易な実験でありながら、信頼できる結果が得られ、さらに学生自身も本実験教材が自身の実験指導力向上に資すると感じたこ

とが明らかとなった。

以上のことより、本教材は、小学校教職課程を履修する大学生の実験にとって有用であり、かつ大学生の知識・技術の向上に資するものと判断できた。

今後も、教職課程を履修する大学生自身の実験および観察の指導力が向上すると予想される実験教材の研究開発と実践を行う予定である。これより、今後小学校理科に関する実験や観察に対する知識面の問題点、並びに技術面での課題を改善できる力量を備えた教員の育成につながる事が期待できる。

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP24501072の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 国立教育政策研究所：「平成24年度 全国学力・学習状況調査【小学校】報告書」
http://www.nier.go.jp/12chousakekkahoukoku/03shou_houkokusho.htm (2016年8月アクセス)
- 2) 科学技術振興機構理科教育支援センター，国立教育政策研究所教育課程研究センター：「平成20年度小学校理科教育実態調査（速報）」http://www.jst.go.jp/cpse/risushien/elementary/cpse_report_004.pdf (2016年8月アクセス)
- 3) 国立教育政策研究所教育課程研究センター：「理科の学習指導の改善・充実に向けた調査分析について」<http://www.nier.go.jp/science-rpt/> (2016年8月アクセス)
- 4) 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).
- 5) J. Skinner, "Microscale Chemistry," Royal Society of Chemistry, London (1997).
- 6) 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）。
- 7) 文部科学省，「中学校学習指導要領解説理科編」，大日本図書，110（2008）。
- 8) 文部科学省，「高等学校学習指導要領解説理科編 理数編」，実教出版，127，174（2009）。
- 9) 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（2006）。
- 10) 須藤紫野，中川徹夫，「マイクロスケール実験を用いた小学校理科「ホウ酸・ミョウバン・食塩の水に対する溶解性」に関する授業実践」，群馬大学教科教育研究，(6)，21-26（2007）。
- 11) 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（2009）。
- 12) T. Nakagawa, "Microscale experiment for elementary school science using grape peel as natural acid-base indicator," Sixth NICE Conference 2015, Abstract, O-12, 52, Tokyo (2015).
- 13) 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，58(1)，113-122（2011）。
- 14) G. C. Benson and O. Kiyohara, "Thermodynamics of aqueous mixtures of nonelectrolytes. I. Excess volumes of water-n-alcohol mixtures at several temperatures," *J. Solution Chem.*, 9(10), 791-804 (1980).

(原稿受理日 2016年9月12日)