

高等学校における生徒主体型学習による
「化学反応の量的関係」のマイクロスケール実験の
開発 II

A Development of a Microscale Experiment of Stoichiometry
by Active Learning in High School, Part 2

平井俊男^{a)}, 青田鏡広^{b)}, 豊島瑠菜^{c)}, 西川輝^{c)}, 中山頼子^{c)}, 中川徹夫^{d)}
HIRAI Toshio^{a)}, AOTA Akihiro^{b)}, TOYOSHIMA Runa^{c)},
NISHIKAWA Hikaru^{c)}, NAKAYAMA Yoriko^{c)}, NAKAGAWA Tetsuo^{d)}

a) 大阪府立長尾高等学校 教諭

Osaka Prefectural Nagao High School

hirai@nagao.osaka-c.ed.jp

b) 大阪府立長尾高等学校2年生

Osaka Prefectural Nagao High School, Sophomore

c) 大阪府立長尾高等学校3年生

Osaka Prefectural Nagao High School, Senior

d) 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

要旨

この研究の目的は、高等学校新学習指導要領で謳われている主体的・対話的で深い学びを生徒に保障するための、一連のマイクロスケール実験の開発である。大阪府立長尾高等学校では、市販の安価な小型電子天秤を用い、化学基礎の教科書の「化学反応の量的関係（炭酸カルシウムと塩酸の反応により、二酸化炭素が生成する）」のマイクロスケール実験を開発してきた。2020年2月末の新型コロナウイルス感染拡大防止の

ための全国の学校休校直前に、前述実験の今後の課題である誤差を減らすために、塩酸の計量を検定証印付きメスシリンダーから検定証印付きホールピペットへ変更することが有効かどうかについて検証した。その結果、教科書の実験のマイクロスケール化において、1/8 から 1/2 スケールまでの実験では、0.15%の相対誤差をもつホールピペットを用いて塩酸を測り取る必要がない。つまり、相対誤差が 2.0 %のメスシリンダーで十分であると判明した。より一層誤差を減らすなら、質量測定の精度を上げる必要がある。しかし、精度が 0.01 g である市販の安価な小型電子天秤の使用を前提とした場合、本実験のマイクロスケール化では、メスシリンダーを用いた 1/4 スケールが最適であると判断した。

キーワード: 高等学校、生徒主体型学習、マイクロスケール実験、化学反応の量的関係、学習過程

Abstract

The objective of this study is to improve the microscale experiment of stoichiometry in high school, which was developed in a previous work. We tried to reduce the experimental errors of it by active learning. Active learning is a new and key concept of the revised Course of Study defined by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology-Japan in 2018. The improved microscale experiment, which uses small quantities of chemicals, includes the reaction of calcium carbonate with hydrochloric acid to form carbon dioxide. It is a scale-down [1/8 or 1/4] model of the normal scale experiment described in a textbook of “Basic Chemistry” in the Course of Study mentioned above. According to the previous work, it is a research task in the future to reduce the error. Just before closing all the schools of Japan in February 2020, the practice for the science club members, who were one freshman and three juniors, consisted of six lessons as follows: 1) preparatory guidance, 2) previous work and errors of measuring instruments, 3) hypotheses and plans of microscale experiment to reduce the error, 4) preliminary microscale experiment, 5) and 6) the microscale experiment and discussion. Our hypothesis is that we may minimize the experimental errors by using a volumetric pipette to measure dilute hydrochloric acid instead of a graduated cylinder. We verified the hypothesis by experiment. As a result of the experiments, the following are our new findings. 1) Even if we use a volumetric pipette instead of a graduated cylinder to measure

hydrochloric acid, we cannot minimize the errors in the case of 1/8, 1/4 and 1/2 scale experiments. That is why the electronic balance used has the smallest relative error of 4.5 % in the case of 1/2 scale experiment, which is larger than both a relative error of 0.15 % of the pipette and a relative error of 2.0 % of the cylinder. 2) The error in the case of 1/4 scale experiment using a volumetric pipette to measure hydrochloric acid is about the same as using a graduated cylinder. In conclusion, we have found that the best scale-down size is 1/4 for the microscale experiment of stoichiometry using a graduated cylinder, which is good enough for this scale. We are convinced that the microscale experiment works well for active learning in high school chemistry.

Key words: high school, active learning, microscale experiment, stoichiometry, learning process

1 はじめに

これまでに大阪府立長尾高等学校では、市販の安価な小型電子天秤を用いた、従来よりも少量かつ安価で実施可能なマイクロスケール実験を開発してきた^{1) - 3)}。そのうちの文献2) 3) は、高等学校新学習指導要領の主体的・対話的で深い学び⁴⁾ (当初はアクティブ・ラーニングと言われていたが、ここでは生徒主体型学習を用いる) を射程に入れて、化学基礎の教科書の「化学反応の量的関係」の実験⁵⁾ のマイクロスケール化に取り組んだものである。

2020年2月末の新型コロナウイルス感染拡大防止のための全国の学校休校直前に、前述実験の今後の課題である誤差を減らすために、塩酸の計量を検定証印付きメスシリンダーから検定証印付きホールピペットへ変更することが有効かを、4名の理科研究部員が実験で検証した。その結果、教科書の実験のマイクロスケール化において、1/8から1/2スケールまでの実験では、0.15%の相対誤差をもつホールピペットを用いて塩酸を測り取る必要がない。つまり、相対誤差が2.0%のメスシリンダーで十分であると判明した。

また、それ以上に誤差を減らすためには、質量測定の精度を上げる必要がある。しかし、測定精度を0.01gしかもたない市販の安価な小型電子天秤を用いるという点から考えると、本マイクロスケール実験では、メスシリンダーを用いた1/4スケールが最適であると考えた。あわせて、その検討過程が生徒主体型学習そのものであった。

本稿では、今回取り組んだマイクロスケール実験の概要について報告する。

2 実験

炭酸カルシウムと塩酸の反応により、二酸化炭素が生成する。これは次の化学反応式で表される。



この反応式の係数をみると、反応する炭酸カルシウムと生成する二酸化炭素のそれぞれの物質量は等しい。また、係数関係から、用いた塩酸の正確なモル濃度を算出できる。さらに、炭酸カルシウムと塩酸中の塩化水素のいずれかが不足すれば、それ以降の二酸化炭素の生成量は一定となる。

以上を確認することが本実験の目的である。

前述の教科書⁵⁾記載の試薬量を用いた通常スケールでは、約 6.0 mol/L 塩酸を 20 mL、炭酸カルシウムを 2.00 g (0.020 mol)、4.00 g、6.00 g、8.00 g 用いる。

通常スケールにおける実験の準備と方法については、前報⁶⁾と同様である。

その結果、二酸化炭素が生成しない原点[炭酸カルシウム 0 g(0 mol)]、そして、二酸化炭素が生成する 4 測定点、計 5 点をもとにグラフを作成することになる。そこで生成する二酸化炭素の最小量は、0.88 g (0.020 mol)となる。

実験結果のグラフがどのスケールでも図 1 (通常スケール仮想モデル)のような形(炭酸カルシウムと反応する塩化水素が不足しだす点が 4 つの測定点の内の第二と第三の間)になるように、用いる塩酸の濃度と体積を計算して事前に調製した。

今回、その値は、通常スケールでは約 5.4 mol/L で 20 mL、1/2 スケールでは約 5.4 mol/L

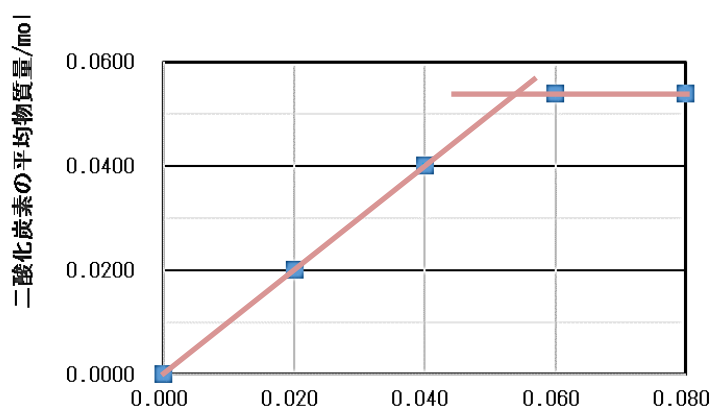


図 1 発生した二酸化炭素の平均物質量 (通常スケール仮想モデル)

で 10 mL、1/4 スケールでは約 2.8 mol/L で 10 mL、1/8 スケールでは約 1.4 mol/L で 10 mL であった。

本実践は、著者のうち理科研究部員 4 名（1 年生 1 人、2 年生 3 人）により課外で実施された。所要時間は、50 分 × 6 コマ（ピペットポンプとホールピペットの使い方などを含む事前打合せ、先輩らによる先行研究の内容確認と計量器の精度（誤差）、仮説と実験計画の策定、予備実験と仮説の絞り込み、実験とデータ処理・考察など）で、質疑応答と協議時間も含む。

最初に、著者の一人である平井が、共著者の部員に生徒主体型学習で取組むことと教科書の実験の目的を説明後、マイクロスケール化した経緯に関して以下のように伝え、相互に意見交換した。

- ・小型電子天秤の精度が ± 0.01 g なので、生成する二酸化炭素の質量を引き算で求めるときの誤差は最大 0.02 g 生じること。

- ・図 1 をもとに、二酸化炭素が生成しない原点から二酸化炭素の生成量が約 0.040 mol(約 1.76 g)の第二の測定点までは原点を通る直線に、第三の測定点から第四の測定点では二酸化炭素の生成量が一定になること。

- ・最初の比例部分では、第一の測定点の大きな誤差が小さく修正される可能性があること。

- ・今後の課題は大きくスケールダウンした 1/4 や 1/8 スケールのときの塩酸の計量を、メスシリンダーからホールピペットに替える（精度が一桁上がる）ことで誤差を減らせる可能性があること。

そして、そのことを検証することが今回の研究目的であることを確認した。

まず、より精度の高いホールピペットを用いることで、目的とする誤差を減らすことが可能かどうかを検証するため、部員は 2 人ずつ、1/4 スケールと 1/8 スケール担当の実験班に分かれた。ホールピペットを用いた実験（前述の予備実験）を各班 2 回実施した。データを検討した結果、メスシリンダーからホールピペットに替えたにもかかわらず、1/8 スケールでは誤差を減らすことは不可能であった。このことが意味することを討論し、1/8 スケールでは、誤差を減らすために塩酸の計量精度を上げても無意味であるとの結論に至った。両班が協議した結果、片一方の班が、1/4 スケールでメスシリンダーとホールピペットを用いて、各 4 回の実験を行い、別の班が同時進行でデータ処理にあたった。

3 結果と考察

発生した二酸化炭素の平均物質質量と炭酸カルシウムの量的関係を、図 2a と図 2b に示す。

両図とも、グラフが図 1 と同じ形であるから、炭酸カルシウムと塩酸中の塩化水素のいずれかが不足すれば、それ以降の二酸化炭素の生成量は一定となるという実験本来の目的は達成している。

図 2b の第一と第二の両測定点の二酸化炭素の物質質量は、理論値よりも約 10 % 大きい。この部分は塩酸が過剰にあるため、炭酸カルシウムの秤量を含む小型電子天秤による質量測定の影響と思われる。

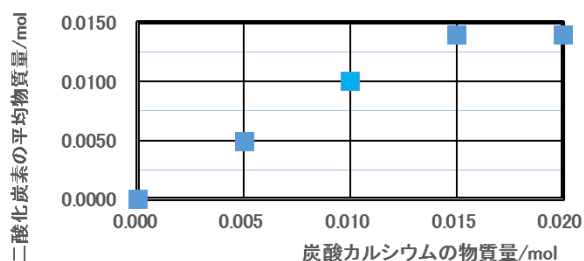


図 2a 発生した二酸化炭素の平均物質質量
(メスシリンダー 1/4 スケール)

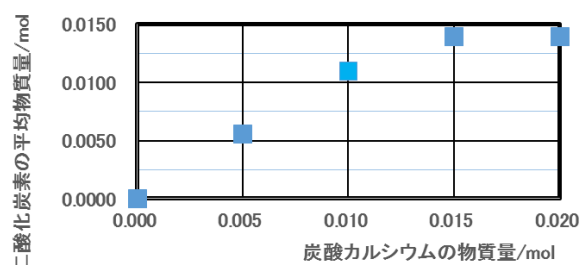


図 2b 発生した二酸化炭素の平均物質質量
(ホールピペット 1/4 スケール)

次に、使用した検定証印付き 10 mL のメスシリンダー⁷⁾ とホールピペットで 10 mL を測るときのそれぞれの誤差⁸⁾ と、1/8 から 1/2 スケールにおいて生じる二酸化炭素の最小質量と相対誤差を、それぞれ表 1 と表 2 に示す。

表 1 から、10 mL のメスシリンダーとホールピペットのそれぞれの相対誤差は 2.0 % と 0.15 % である。一方で、1/8 から 1/2 スケールで生成する二酸化炭素の最小質量の相対誤差は表 2 から、一番小さいもので 4.5 % もある。

メスシリンダーとは、本来そこに入れられた体積を測る計量器で、外部へ注ぎだした量を必ずしも正確に反映しない。実験操作をていねいにしていても、わずかな注ぎ

表 1 検定証印付き 10 mL メスシリンダーとホールピペットの誤差

計量器	最小目盛 / mL	許容差 / mL	相対誤差 / %
メスシリンダー	0.1	0.20	2.0
ホールピペット	—	0.015	0.15

残しなどが考えられるが、最小目盛の5倍である5% (0.5 mL) にまで達することはない。それゆえ、メスシリンダーの相対誤差は、1/2 スケールで生じる二酸化炭素の最小質量の相対誤差の4.5%より小さい。

1/8 から 1/2 スケールまでの実験では、0.15%の相対誤差をもつホールピペットを用いて塩酸を測り取る必要がない。つまり、相対誤差が2.0%のメスシリンダーで十分である。

また、それ以上に誤差を減らしたいなら、高価な精密天秤を用いて質量測定の精度を上げる方が有効である。しかし、測定精度を0.01 g しかもたない市販の安価な小型電子天秤を用いる前提で、メスシリンダーの相対誤差が4.5%より小さいことと、最初の比例部分では、質量測定で生じる第一の測定点の大きな誤差9.1%がより小さく修正される可能性があることから、本マイクロスケール実験では1/4 スケールが最適である。

表2 各スケールにおける炭酸カルシウムと二酸化炭素の最小質量と相対誤差

スケール	1/8	1/4	1/2
炭酸カルシウムの質量/g	0.25	0.50	1.00
炭酸カルシウムの相対誤差/%	4.0	2.0	1.0
理論的に生成する二酸化炭素の質量/g	0.11	0.22	0.44
二酸化炭素の質量を求める際の誤差/g	0.02	0.02	0.02
二酸化炭素の相対誤差/%	18.1	9.1	4.5

4 おわりに

高等学校新学習指導要領の主体的・対話的で深い学びを保障するための、一連のマイクロスケール実験と探究過程について述べた。

教科書の実験のマイクロスケール化において、1/8から1/2スケールまでの実験では、ホールピペットを用いて塩酸を測り取る必要がなく、メスシリンダーで十分である。市販の安価な小型電子天秤を用いる本実験のマイクロスケール化では、メスシリンダーを用いた1/4スケールが最適であるとの結論に至った。

謝 辞

英文抄録にご助言をいただいた A. Kirkham 氏に感謝します。本研究は、JSPS 科研費 17K00991 の助成を受けたものである。

文 献

- 1) 笹部純史、平井俊男、伊藤悠太、中原広晴、原陽宏、大槻奏空、岡島拓未、河合陽菜乃、河内脩作、山口嵩斗、中川徹夫、第18回近畿地区化学教育研究発表会(2016)
- 2) 平井俊男、鶴田修平、石本結花子、大國結希、田澤拓斗、田中翔太、前川泰貴、中川徹夫、第20回近畿地区化学教育研究発表会(2018)
- 3) 平井俊男、中川徹夫、第21回近畿地区化学教育研究発表会(2019)
- 4) http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2018/07/11/1384661_1_2_1_1.pdf (2020年2月25日現在)
- 5) 山内薫ほか、高等学校 改訂 新化学基礎、pp.114-115、第一学習社(2016)
- 6) 平井俊男、中川徹夫、神戸女学院大学教職センター研究紀要、投稿中。
- 7) <http://www.miyahara-keiryooki.com/1110.html> (2020年3月10日現在)
- 8) http://www.aook.cn/category-505-b262-min0-max0-attr0-2-goods_id-DESC.html (2020年3月10日現在)