

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 I

A Development of a Microscale Experiment of Stoichiometry by Active Learning in High School, Part 1

平井俊男^{a)}, 中川徹夫^{b)}
HIRAI Toshio^{a)}, NAKAGAWA Tetsuo^{b)}

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) 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、マイクロスケール実験の開発である。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。そのうちのひとつが、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である。2018年度、3年理系化学選択者（24名）を対象に、前述の実験をどの程度（例えば、通常スケールの1/8）までマイクロスケール化が可能かを生徒自らが検討し、実験で検証する授業を50分×5コマ（事前指導、実験、データ処理・考察などと振り返り、発表、全体討論）実施した。1/8スケール、1/4スケールおよび1/2スケールを選択した班の実験の成功率は、それぞれ

75%、100%および100%であった。全体として、実験による検証過程は生徒主体型学習そのものであり、授業に対しては肯定的な生徒評価が得られた。

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 develop a microscale experiment of stoichiometry by active learning in high school. 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 developed 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 model of the normal scale experiment described in a textbook of “Basic Chemistry” in the Course of Study mentioned above. In 2018, the practice for the senior class of the science course consisted of 5 lessons as follows: 1) preparatory lecture, 2) the microscale experiment, 3) analyzing and discussing the obtained data, making a report and filling out a questionnaire, 4) presentation, 5) final plenary discussion. All of the 24 students of the class were divided into 8 groups equally. Every group chose the best scale (1/8, 1/4, 1/2 or normal scale) for the experiment of stoichiometry to succeed from the viewpoints of their skills and motives. They verified their hypotheses chosen by experiment. Almost all of the groups succeeded in their experiments. A questionnaire about the learning process was given to them from the viewpoint of active learning. The learning process of the students was discussed. Their class evaluation was positive. In conclusion, 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の平井らは、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⁾。その一つとして、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）」の実験²⁾のマイクロスケール化に取り組んだ。生徒の学習過程をみると、その実践は高等学校新学習指導要領の主体的・対話的で深い学び³⁾（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）に有用であると報告した⁴⁾。

今回、著者の一人である平井は、2018年度、3年理系化学選択者（24名）を対象に、前述の実験をどの程度（例えば、通常スケールの1/8）までマイクロスケール化が可能かを生徒自らが班単位で検討し、実験で検証する授業を50分×5コマ（事前指導、実験、データ処理・考察などと振り返り、発表、全体討論）実施した。実験の成功率は、1/8スケール、1/4スケール、1/2スケールを選択した班が、それぞれ75%、100%、100%であった。全体として、生徒は実践した授業に対して肯定的に評価し、実験による検証過程は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 実験の説明とスケール選択

炭酸カルシウムと塩酸を反応させると、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²⁾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。

以下に、通常スケールにおける実験の準備と方法について、平井が作成した生徒配

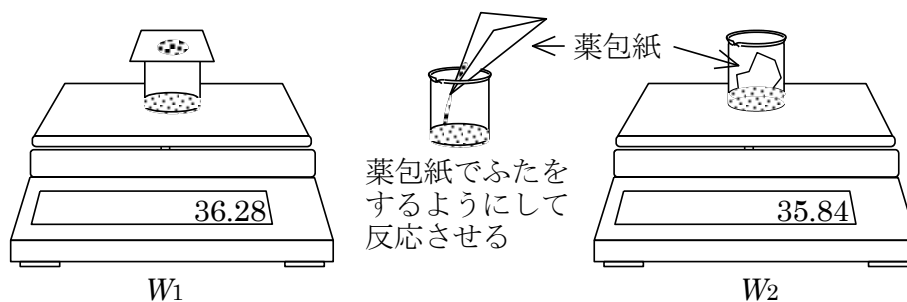
付プリントから引用する。

【準備】

炭酸カルシウム, 約 6.0 mol/L 塩酸, 大の薬包紙(4枚), 上質紙(2枚), 薬さじ, 300 mL ビーカー(4個), 電子天秤, 5 mL 駒込ピペット, 20 mL メスシリンダー, ピンセット

【方法】

- 1 電子天秤に薬包紙をのせ, 風袋引き(TARE を押す)してから, 炭酸カルシウムを次の各質量ずつ測る。
① 2.00 g ② 4.00 g ③ 6.00 g ④ 8.00 g
- 2 約 6.0 mol/L 塩酸を駒込ピペットを使い, メスシリンダーに 20 mL 測り取り, ビーカー4つにそれぞれ入れる。
- 3 図のように, 炭酸カルシウムを薬包紙ごとビーカーの上ののせて, 電子天秤で, 反応前の全質量(W_1)を測定する。
※ ③ 6.00 g と④ 8.00 g のときは, 上質紙を薬包紙の下に置いて測り, 反応時はフタとして用いること。



- 4 図のように, 炭酸カルシウムを塩酸の中に少しずつ加え, ビーカーを軽く振り, 最後まで反応させる。その時, 薬包紙も塩酸の中に入れ, 薬包紙についている炭酸カルシウムも全部反応させる。電子天秤に, 薬品や飛沫がかからないよう, 電子天秤から離れた場所で一連の実験操作を行う。

5 ビーカーを軽く振って泡が出なくなれば、反応後の全質量(W_2)を測定する。

6 反応溶液中に、未反応の炭酸カルシウムが残っているかどうかを観察する。

なお、25 °C、101.325 kPa (1 atm)における二酸化炭素の水に対する溶解度は、モル分率で 6.15×10^{-4} ⁵⁾ と極めて小さいので、水溶液中に含まれる二酸化炭素の量は無視しても差し支えない。したがって、生成した二酸化炭素の質量は近似的に $W_2 - W_1$ で算出でき、その物質量は $(W_2 - W_1)/44.0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ となる。

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。そのとき、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 (1/4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。

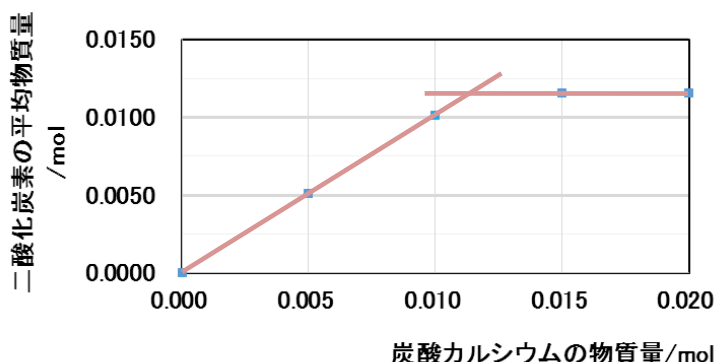


図1 発生した二酸化炭素の平均物質量
(1/4スケール仮想モデル)

その値は、通常スケールでは約 5.6 mol/L で 20 mL、1/2スケールでは約 5.6 mol/L で

10 mL、1/4スケールでは約 2.4 mol/L で 10 mL、1/8スケールでは約 2.4 mol/L で 5 mL であった。

本授業実践は、50分×5コマ(事前指導、実験、データ処理・考察などと振り返り、発表、全体討論)からなる。

まず、生徒には生徒主体型学習で取り組むことを伝え、教科書の実験の目的を説明後、この実験をマイクロスケール化するに当たり、実験の目的達成が通常スケール並みに担保されなければならないことを示した。

次に、小型電子天秤の精度が $\pm 0.01 \text{ g}$ 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 生じることを確認させた。

さらに、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 0.010 mol(0.44 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を説明した。その際、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に触れた。

最後に、実験班を 24 人の生徒を出席番号順に 3 人ずつ、8 班に分けた。上述の説明を参考にさせて生徒に班の中で討議させ、自分たちの技量ややる気などにに基づき、実験目的が達成できるであろうスケールを各班に決めさせた。

その内訳は、1/8 スケールを選択した班数が 4、1/4 スケールが 2、1/2 スケールが 1、通常スケールも 1 となった。

3 実践結果と考察

図 1 のようなグラフが得られた班数は、1/8 スケールを選択した班が 3 (75%)、1/4 スケールでは 2 (100%)、1/2 スケールでは 1 (100%)、通常スケールでは測定ミスのため 0 (0%) であった。その結果、全体として、75%が実験本来の目的を達成した。

次に、生徒主体型学習の観点から学習過程について、班単位で振り返らせた。その方法は、班で協議させつつ実施した、質問紙による生徒の授業評価である。

学習過程についての授業評価の質問文と回答の選択肢を表 1 に、授業評価の結果を表 2 に示す。

表 1 学習過程についての授業評価の質問文と回答の選択肢

質 問 文	回答の選択肢
1 教師が一方向的にスケールを決めるのではなく、自分たちで意見交換して決めることについて	よかった
2 教師に支配されず、実験作業などを自分たちで意見交換・調整し、目標達成に向けて取り組むことについて	どちらでもない
3 生徒の自主性などを重んじるこのような授業を経験して	わるかった

表2 学習過程についての生徒による授業評価の結果

質問文	回答と理由	スケール(班の数)別の班の回答数と自由記述内容				全体(8)の合計とそのパーセント
		1/8 (4)	1/4(2)	1/2(1)	1/1(1)	
1 教師が一方的にスケールを決めるのではなく、自分たちで意見交換して決めることについて	よかった理由 (自由記述)	4 ・自分たちの考えに基づき、実際に実験することによって、化学の理解を確認できた ・自分たちのやる気を上げることができた ・自らの技術や興味の具合によって決められるので、全員が苦もなく実験できた ・自分ができるかできないかが、自己の判断だけでなく、実際にやってみて実力がわかるのが良かった	2 ・自分たちでスケールを決めたので、やりたいスケールでできたことと、他の班と値が違って難しいのが良かった ・自分が成功すると思ったスケールを自由に選べたから	0	1 ・やる気が出てくるから	7 7/8=0.875 88%
	どちらでもない理由 (自由記述)	0	0	1 ・自分たちで決められてよかったが、少々偏った	0	0
2 教師に支配されず、実験作業などを自分たちで意見交換・調整し、目標達成に向けて取り組むことについて	よかった理由 (自由記述)	3 ・3人で協力し、意見交換もよくできた ・自主的に取り組むことにより、より記憶されやすく、知識の一部となりやすい ・意見を出し合い進めることで、できないことやできることがよく分かった	2 ・難しかったけれど、自分たちで話し合っってよい値が取れたとき達成感があった ・のびのびと実験に取り組むことができた	0	1 ・意欲が出て、自由にできるのが良かった	6 6/8=0.75 75%
	どちらでもない理由 (自由記述)	1 ・ある程度、教師からの指示があると、スムーズに実験が進むと思う	0	1 ・みんなでやれたけど、むずかった	0	0
3 生徒の自主性などを重んじるこのような授業を経験して	よかった理由 (自由記述)	2 ・自主性を育むことは言わずもがな、化学の理解・応用に役立つ ・次にこのような授業を受ける際の糧となりやすい	2 ・大学などで同じことをやった時に、自分で考えてやれると思った ・自身に必要な勉強ができた	0	1 ・自分らを律せらるなら、問題がない	5 5/8=0.625 63%
	どちらでもない理由 (自由記述)	2 ・分からないところがあり、そこで進まくなればもったいないので、半々くらいにしたほうが良い ・なかなか難しい授業だった	0	1 ・わかりにくい内容なので、難しかった	0	3 3/8=0.375 38%

表2によると、「わかった」という回答はなかった。すべての質問の回答でよかったは過半数を超え、生徒主体型学習である本実践に対する生徒の授業評価は肯定的であった。

質問1でどちらでもないが1あり、その班(1/2スケール)の2人は化学を苦手とし、残り1人がずっと他をリードしている様子が見られた。それが「自分たちで決められてよかったが、偏っていた」という記述になったと思われる。

質問2でどちらでもないが2あり、前述した班は苦手意識を表明し、もう一班(1/8スケール)は、スムーズな進行のために教員の指導をある程度求めている。

質問3でどちらでもないが3あり、1/2スケール班はここでも苦手意識を示し、上述の1/8スケール班はここでも半数が教員の指導を求め、別の1/8スケール班は生徒の自主性に任すには授業の難易度が高いとしている。彼らは通常スケールの実験を1年生の化学基礎で経験しておらず、生徒主体型学習も当然初めてのため、教員が支援すべきだった。

すべての班の発表後の全体討論の中で、現状のメスシリンダーによる塩酸の体積測定精度が問題になった。誤差を減らす(とりわけ1/8スケールにおいて)ために、メスシリンダーに代わりにホールピペットを用いることで、塩酸の体積測定精度を上げることが有効かもしれないと生徒は検討し、そのことは今後の課題とされた。

4 おわりに

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、高等学校化学におけるマイクロスケール実験を開発した。それは、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)」をマイクロスケール化したものである。

2018年度、3年理系化学選択者(24名)を対象に、前述の実験をどの程度(例えば、通常スケールの1/8)までマイクロスケール化が可能かを生徒自らが班単位で検討し、実験で検証する授業を実施した。ほとんどの班で実験は成功した。

全体として、実験による検証過程は生徒主体型学習そのものであり、授業に対しては肯定的な生徒評価が得られた。

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。

付 記

本研究の一部は、日本化学会近畿支部・同化学教育協議会主催の第 21 回近畿地区化学教育研究発表会（2019 年 6 月 8 日、大阪科学技術センター）にて、口頭発表した。

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) 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)
- 3) http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2018/07/11/1384661_1_2_1_1.pdf (2019 年 3 月 13 日現在)
- 4) 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)
- 5) “Solubility of Selected Gases in Water,” in *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 99th Edition, J. R. Rumble (Editor-in-Chief), CRC Press, Boca Raton, Section 5, pp. 145-146, 2018.