

質量保存の法則を検証するための実験方法を考える授業の実践

* 猿渡 英之, ** 菊地 充, ** 小山 慧, ** 池田 薫, ** 高橋 光太,
** 堀越 優一, * 福田 善之, * 中山 慎也, *** 渡辺 尚

Practice of Class to Consider Experimental Methods to Verify the Law of Conservation of Mass

SAWATARI Hideyuki, KIKUCHI Mitsuru, OYAMA Kei, IKEDA Kaoru, TAKAHASHI Kota,
HORIKOSHI Yuichi, FUKUDA Yoshiyuki, NAKAYAMA Shinya, and WATANABE Naoshi

要 旨

中学校2年生および3年生を対象として「仮説を確かめるための観察・実験の計画を立案する力」を涵養する授業実践を行った。授業では、ヨウ化カリウムを触媒として過酸化水素から酸素が発生する反応について、洗剤を加えることにより気体の発生を可視化した実験動画を使い、気体が発生する化学反応の前後で質量保存の法則が成り立つことを検証するための具体的な実験方法を生徒に立案させた。実験後の質量が明らかに減少する開放系での実験を二種類視聴させた上で、どのような実験を行うべきかについて生徒に考えさせて討論、発表させた。その後密閉した条件下での実験を二種類視聴させるというスモールステップの授業としたことにより、生徒は法則の確認に必要な条件を段階的に理解した上、一人一人が考えて実験条件の改善提案をすることができ、自身で実験を行わない動画による授業であっても適切な実験を計画する力をつけることができたと考えられる。

Key words : 質量保存の法則, 過酸化水素, ヨウ化カリウム, 洗剤, ペットボトル, スモールステップ

I はじめに

平成29年告示の中学校学習指導要領理科編によれば、「仮説を確かめるための観察・実験の計画を立案する力」と「観察・実験の計画を評価・選択・決定する力」を理科における資質・能力としている(2017)。理科実験の計画を児童生徒に考えさせる授業の例として、岸田・小倉(2018)による実験計画シートや栗原ら(2020)による指導方法についての検討などが挙げられるが、未だ例は少ない。

本報告では宮城教育大学大学院の授業科目「臨床教育研究」を受講する学生が中学校で実践した、質量保存の法則を示す実験方法を考えさせる授業について述

べる。質量保存の法則を示すためには、反応に応じて適切な実験器具を使用する必要がある。本報告の授業では気体が発生する反応を扱った。気体が発生する場合は密閉された中で反応を行わせる必要があり、具体的には炭酸飲料用のペットボトルなどが用いられてきたが(莊司, 2019)、今回の授業ではどのような条件下で反応を行う必要があり、それをどのようにして実現するかを生徒自身に考えさせることとした。

加えて、昨今の感染症等への対応として、オンライン授業としても成立するよう、実験の動画を作成して、それを利用した授業実践を計画した。実際に実験を行わない場合でも思考力・表現力等を養うことができる授業を目指し、生徒が質量保存の法則についての実験

* 宮城教育大学教育学部
** 宮城教育大学教育学研究科理科教育専修
*** 宮城教育大学教職大学院

計画を立案するという点に重きを置いた。そのために、視覚的な分かりやすさを重視して化学反応、実験条件を考え、実験動画を作成した。

II 授業の概要

授業の構想を始めた時点では感染症対策で仙台市内の中学校が休校となっている状況であったため、実際に生徒に実験をさせる代わりに実験動画を作成して、それを提示しながらオンラインでも実施できる授業を計画した。質量保存の法則を示せる実験方法を考える題材として、過酸化水素の分解反応をヨウ化カリウムを触媒として行い、その際に洗剤を加えておくことで多量の泡が生じて気体の発生を可視化された実験を扱った。この実験をいくつかの条件下で行って実験前後の質量がどうなったかを示す動画を作成し、それを視聴させて生徒に考えさせ、討論、発表を行う授業とした。

その後、中学校での対面授業が可能となったため、仙台市内のMF中学校において2年生2クラス、SN中学校において3年生1クラスを対象に、動画をスクリーンに投影して生徒に視聴させながら対面での授業を行った。授業に関わった大学院生は5名で、1名が授業者となり、他の4名は補助者として机間巡視などをした。いずれのクラスでも基本的に同じ内容の授業を行った。

III 授業構成

1 導入

授業の導入において、過酸化水素が反応して酸素が発生し実験後に明らかに質量が減少している二つの実験動画を見せ、本時の課題「質量保存の法則の検証方法を考えよう」を提起した。最初に30%過酸化水素水300 mL、ヨウ化カリウム22.5 g、液体洗剤を直径約40 cmの蓋のない水槽で混ぜることで、大量の酸素及び水蒸気が発生し、洗剤によって泡が発生し、このときの反応容器や試薬一式の合計の質量を、電子天秤で測定する動画を見せた。この実験では大量の泡が発生して周囲にあふれ、反応後には明らかに質量が減少する(図1, ①)。授業で用いた実験動画では、反応前に

同じ水槽を用いて試薬の量を30%過酸化水素水25 mL、ヨウ化カリウム2.0 gとし、泡は反応容器からあふれることなく回収されるが、開放的な条件下で行っているために気体が発散し、質量が減少する実験動画を見せた(図1, ②)。動画の実験では、反応前624 g、反応後614 gであった。この動画では、発生した泡の中に火のついた線香をくぐらせると線香の火が激しく燃えるという映像も見せ(図1, ③)、酸素が発生していることを推測させた。最後には実際にどのような反応が起こっていたのかを示し(図1, ④)、展開に移った。以上のように学習到達内容を多段階に小さな単位に区切り目標達成に至るスキナー(1969)のステップの原理を取り入れ、順を追って学習していき、一人一人が授業の本題に取り組めるようにした。

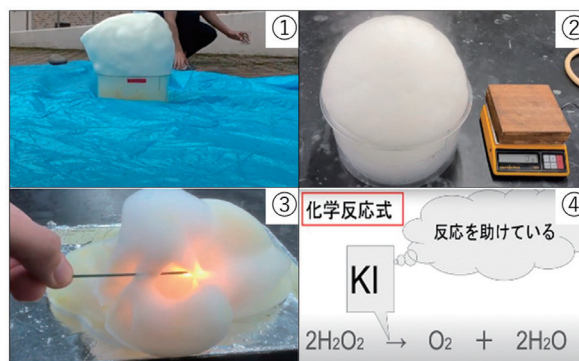
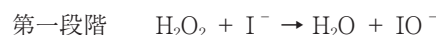


図1 過酸化水素の生成反応の制作動画切り抜き

この反応の反応式は、図1③にも示したように、中学校の教科書にもある



である。この反応は発熱反応で、ヨウ化物イオンを触媒として次のような二段階で起こると考えられている(嶋崎ら、2003)。



上式を辺々加えると、※式に戻る。

実験動画では反応物が黄色～褐色へと変化していた。これは水溶液中にわずかに存在する水素イオンとヨウ化物イオンの間で酸化還元反応が副反応として起こり、下記の式で示されるようにヨウ素が遊離したものと考えられる。



2 展開

生徒に見せた動画における実験系には問題があることを理解させ、質量保存が成り立つような計画を一人一人に立てさせた。その際、具体的な実験器具や方法についてまで詳細に考えさせるよう注意した。まず個人で考えることを重視し、実験計画の立案を指示した後、1名の授業者と4名の補助者で机間巡視し、計画を立てられずワークシート等への記述が進まない生徒には、具体的に薬品や容器をイメージをさせたり、気体の発生量が想像以上に多いことを説明したりすることで、答を誘導することが無いよう留意しながら支援をした。各自が計画を立案した上で、4人1班の班活動で質量保存の法則がなり立つような実験計画を決定させた。各班で考えた実験器具や方法はB4判サイズのマグネット付ホワイトボードに書かせ、黒板に貼って発表させた(図2)。



図2 ホワイトボードを使った班ごとの発表の様子

3 終結

生徒発表を終えてから、チャック付きポリ袋の中で反応させる実験とキャップを閉めた炭酸飲料用1.5 Lペットボトルの中で反応させた実験の動画を視聴させた。これらの実験では5 mLの30%過酸化水素水と1.5 gのヨウ化カリウムを使用した。ポリ袋を使った実験では、ヨウ化カリウムと洗剤が入ったビーカーと過酸化水素水が入ったメスシリンダーをあらかじめポリ袋に入れて密封し、袋の外から器具を持って過酸化水素水をビーカーに注ぎ反応させた。ペットボトルを使った実験では、ヨウ化カリウムと洗剤を入れたペットボトルに、過酸化水素水が入った試験管を静かに入れてキャップを締め、ペットボトルを転倒して反応させた。

袋を用いた実験ではほぼ完全に密閉できるものの、酸素の発生と、反応熱による温度の上昇にともなう水

蒸気の発生と気体の膨張のために袋の体積が大きくなるので、浮力の影響で電子天秤は反応前よりも小さな値を示す。その後、30分程度にわたって電子天秤の値は徐々に大きくなり、反応前よりもやや小さな値で安定する。これは、温度が下がるにつれて袋の体積が小さくなり、最終的には発生した酸素の分だけ反応前より大きな体積となるためと考えられる。これらの様子も、一部を早送りとした動画で視聴させた。動画では、反応前144.42 g、反応直後143.57 g、約30分後143.79 gであった。ただし、中学校では1年生で水中での浮力について学習するが、空気中での浮力については必ずしも学ばないため、この実験での値の変化について今回の授業実践では現象の確認にとどめた。

一方、ペットボトルで行う実験では袋の場合と比べて体積変化が小さく、質量が不安定な時間も3分程度で済み、質量の保存が確認できる。動画の実験では、反応前、反応終了3分後ともに79.63 gであった。動画ではそのあとペットボトルのキャップを開けると気体が逃げ、質量が減少することも見せた。これらの動画を見て気づいた点について記述させ、どのような実験器具を使って実験すればよいかを考えて実験計画の立案についてまとめさせた。本授業で使用したワークシートを図3に示す。ワークシート中の「動画①」は導入部で視聴した開放系での二つの実験、「動画②」「動画③」はそれぞれポリ袋、ペットボトルを用いた実験の動画である。

1. 課題		2. 動画③の実験結果	
～1回目の表示実験～		～2回目の表示実験～	
反応前の質量	g	反応前の質量	g
反応後の質量	g	反応後の質量	g
3. 実験方法			
①薬品物 洗剤を混ぜたヨウ化カリウム (2.0 g) ・ 過酸化水素水 (5 mL) ・ 電子てんびん			
○方法		ホワイトボードの書き方	
		準備物 ・○○○ ・△△△ ・××× 方法 ・~~~~~ ・~~~~~ ・~~~~~ (図中略)	
○気づいたことや他の人の意見などを書こう!			
4. 動画①の実験結果		動画②の実験結果	
を使った実験 <気づいたこと>		を使った実験 <気づいたこと>	
反応前の質量	g	反応前の質量	g
反応後の質量	g	反応後の質量	g
		ふたを開けた後の質量	g

図3 授業で使用したワークシート

4 実験における酸素発生量

動画で使用した各実験における酸素発生量を表1に示す。この値は、密度1.10 g/Lの30%過酸化水素水が完全に分解するものとして求めた。表1では標準状態

における酸素の体積も示している、実際の反応では発熱によって温度が上昇するため、気体の膨張や水の気化も起こる。ペットボトルに密閉して反応をさせる実験では、安全を考慮しペットボトルロケットの実験などで行われてきた圧力を超えないように過酸化水素水の量を決めた。

表1 各実験で用いた過酸化水素水の量と酸素発生量

	30%過酸化水素水		発生する酸素	
	/mL	物質量/mol	標準状態における体積/L	
実験1	300	1.5	33	
実験2	25	0.12	2.7	
実験3	5	0.024	0.54	
実験4	5	0.024	0.54	

IV 授業実践

1 仙台市内 MF 中学校

2020年10月5日にMF中学校2年次の2クラスを対象に授業実践を行った。仙台市内では比較的学力が高いとされている学校で、今回の授業でも授業補助者からの支援はほとんどなく一人一人がワークシートへの記入を進めていた。図4に、実験に用いる器具として生徒が挙げたものを示す。ペットボトルや袋といった事前に予想していた回答が60%以上であった。一方「水槽」という答が23%あり、これは導入で見せた動画で容器として円形の水槽を用いていたために、それを何らかの方法で密閉するという考えになったものと思われる。その他には単に「容器」や、「密閉容器」「くびれのある容器」といった抽象的な記述をした生徒が見られた。

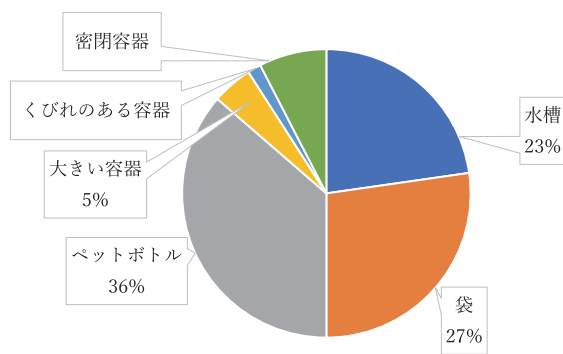


図4 MF 中学校の生徒が考えた容器の名称とその割合 (回答総数66)

密閉する方法としては、単に「蓋」という記述や、食品ラップフィルム、たらいを被せるといった密閉性が高くないと思われる方法の記述も見られた。また、薬品を容器内で混合させた後にすぐに密閉するといった実験方法の記述があった。試薬を混合すると直ちに気体の発生が始まりこの方法では散逸を防ぎきれないことが想像しにくかったものと思われる。

ポリ袋やペットボトル内で密閉して行った実験動画を見て「気づいた点」について自由記述をさせたところ、記述があった生徒は約半数で、その中のさらに半数が「ポリ袋を使った実験では密閉はできていても天秤の値が安定するまでに長い時間がかかる」ことを、また約3分の1がペットボトルでは短時間で値が安定しより適切な実験器具であることを指摘していた。袋とペットボトルでは様子が異なり単に密閉されているだけでは十分ではないことを生徒に伝えることができたと考えられる。

2 仙台市内 SN 中学校

2020年11月11日にSN中学校3年次の1クラスを対象に授業を行った。授業者の発問に対しては生徒から様々な意見が述べられ、自由な発想で関連な討論が行われる集団であるように感じられた。実験を行う容器として提案された物の種類も、MF中学校の生徒に比べ多かった(図5)。事前に予想していた袋やペットボトルの意見のほかに、ドラム缶や鍋、水筒などの身近に見られる容器を提案する生徒が多数見られ、クラス全体が一丸となって様々な方法を提案する積極的な姿勢が感じられた。

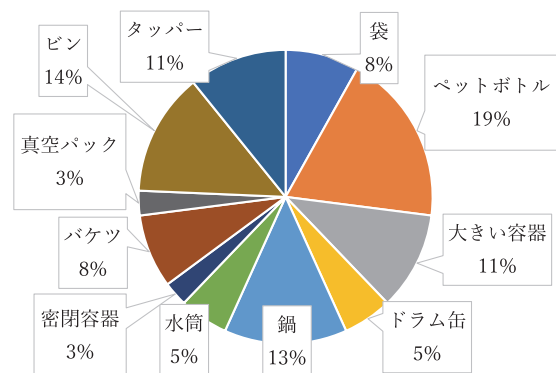


図5 SN 中学校の生徒が考えた容器の名称とその割合 (回答総数37)

方法に関してはMF中学校の生徒と同様に食品用ラップフィルムなどの完全な密閉が難しい方法や、2種の物質を混合させてから速やかに密閉しようとする意見（反応が速く気体が逃げてしまう）など、十分とは言えない意見もあったが、多くの生徒は科学的に正しい方向性を授業の中で協働して探る姿勢が見られた。ポリ袋およびペットボトルを用いた実験を見て「気づいた点」についての自由記述は、記述をした生徒がクラスの約4分の1と多くなかったが、ポリ袋を使った実験では天秤の示す値が反応前よりよりも値が小さく、ペットボトルでは一致していたことが適切に指摘されていた。「浮力が働いた」「水蒸気が水に戻るので安定しない」といった現象の本質を理解していると思われる意見も2, 3名の生徒から述べられていた。

V ディスカッション

実験を行う容器について、「容器」「密閉容器」といった具体性に欠けるものを挙げる生徒が両校で見られたことから、生徒は実験計画を立てることに慣れておらず具体的な計画を立てるのは難しかったものと思われる。文部科学省の第3期教育振興計画は、確かな学力の育成の指標として、PISAなどの学力調査における思考力・表現力などのレベルを維持することを挙げている。本授業ではスモールステップの原理に基づいて授業を進行したことにより、①実験計画を立てる力ー思考力、②方法を班やクラスの前で発表する力ー表現力、の向上に寄与したと思われる。このようなスモールステップの原理を用いた授業の回数を重ねることで、次第に「仮説を確かめるための観察・実験の計画を立案する力」と「観察・実験の計画を評価・選択・決定する力」を涵養することができると考える。今回は1時間みの授業であったために行えなかったが、生徒が考えた様々な実験方法を実際に行わせるか動画を撮影して視聴させることができれば、計画を立案し評価する力の向上にはさらに有効だったと思われる。

さらに「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について」(2016)においては、「知的好奇心や探究心をもって、自然に親しみ、見通しを持って観察・実験を行い、その結果を整理し考察するなどの探究的な学習の充実を図る。」とあり、観察実験などにおける計

画性についても触れられている。本報告で述べた実験動画を用いながら実験計画に踏み込んだ授業は、このような目標に合致する授業の例であると考えている。

引用・参考文献

- 嶋崎悌司・後藤健・長谷部清(2003) 自動圧力追跡法によるヨウ化物イオン触媒を用いた過酸化水素分解反応の速度定数決定実験. 化学と教育, 51: 265-268.
- 岸田拓郎・小倉康(2018) 実験計画力を育成する「実験計画シート」の開発とその有効性の検討. 理科教育学研究, 59: 39-48.
- 栗原淳一・青木利憲・栗原頌太・益田裕充(2020) 小学校理科において実験計画を立案させる指導方法——実験前後の測定に必要性を考えさせる効果——. 群馬大学教育学部紀要 自然科学編, 68: 7-43.
- 荘司隆一(2019) 質量保存の法則(定番の実験&発展の実験). 化学と教育, 67: 174-175.
- スキナー, B. F. (1969) 教授工学. 東洋館出版社.