

# 深い理解のための一人一実験によるマイクロスケール実験 ～「気体の発生と性質」の学習で～

Microscale Experiments for the Deep Understanding

～ The Study of the Nature of the Gases ～

藺部 幸枝

## 要 旨

中学校理科の実験は班毎のグループ活動が多い。特に気体の単元では、気体発生・捕集と性質確認の実験において人手が必要となり、班毎のグループ実験がふさわしいと考えてきた。しかし、そのような実験では、中心となる生徒が役割を割り振り、指示を出しながら進めることが多くあり、必ずしも全員が理解して進められているとは限らない。

一方で、マイクロスケール実験は、一人一実験を可能とし、生徒が内容を理解し、思考して目的意識をもって取り組まねばならないという環境を設定できる（佐藤、2012）。気体発生の実験でも、マイクロスケール実験が可能であり、生徒1～2名での実験で使いやすい教材が開発されている（佐藤ら、2014）。そのため、今回、「気体の発生と性質」の学習でマイクロスケール実験を取り入れ、生徒の内容に対する理解度や主体的な取り組みへの効果を調べた。

その結果、マイクロスケール実験は、生徒一人ひとりが理解し取り組み、反応を間近に観察しつつ体験し、楽しく感じられる実験となったことが確かめられた。また、他の実験でも取り組みたいとの要求もあり、今後他の分野や単元で試み、理解をより深める工夫をしていくことが課題となった。

キーワード：マイクロスケール実験 一人一実験 気体の発生と性質 深い理解

## I はじめに

### 1. 問題と研究の目的

中学校理科の授業では実験や観察などの体験を通して学ぶことが中心となっている。実験は主に理科室の実験台を共有する向かい合う4人でグループ実験を行うことが多い。グループ実験は、話し合ったりして互いの理解を深め合い、役割分担と協力により複雑な実験を実現させる等のメリットが多くある。一方で、グループ内に十分に理解していない生徒がいても、中心となる生徒の指示に従うことで、実験は成し遂げられる。つまり、理解しないまま実験に取り組む生徒の存在を許してしまうデメリットもある。

もし、一人一実験を実現できれば、前述したグループ実験の問題点を解決できると考えた。そこで、一人一実験を可能とするマイクロスケール実験に注目することにした。

マイクロスケール実験に関する研究は、荻野和子氏らによる日本への導入と先駆的な研究（荻野、1997–1998）に始まり、高校や中学校での教材開発と実践的研究（井上、2009、中川、2006、芝原、2006）、さらに汎用性のある教材開発（芝原、2007）と書籍出版（佐藤ら、2011）等による普及活動など、その歴史は長い。そのため、マイクロスケール実験の意義や効果は広く知られているところとなっている。ところが、実施するには特別な実験道具を準備する必要があるため、理科教育の現場では一般的に普及しているとは言えない。本校でもこれまでマイクロスケール実験を実施したことはほ

とんどなかった。

しかし、本学の理系女性教育開発共同機構と附属小中高理科連携研究の合同会合の中でマイクロスケール実験の効果が話題となり、各附属でマイクロスケール実験を取り入れる試みをする事となった。そこで、中学校では「気体の発生と性質」の単元でマイクロスケール実験による一人一実験を実現させ、生徒の取り組みや理解への効果を調べることにした。

## 2. 仮説と方法

### (1) 仮説

生徒一人ひとりが主体的に取り組める実験環境を整備し、実際に生徒一人一実験を実現することで、生徒一人ひとりが目的意識をもって主体的に実験に取り組み、学習内容の理解も深まる。

### (2) 仮説の検証方法

- ① これまで実施してきた3～4人のグループ(班)の形態で実験を行う。
- ② マイクロスケール実験による一人一実験を実施する。
- ③ 両者を体験した後に、生徒の実験に関する意識を調査する。

## II 研究の内容

### 1. 授業の実際

#### (1) 対象生徒

平成28年度入学生 第1学年 男子32名、女子87名、計119名

#### (2) 指導計画(平成29年に実施)

- 1月10日(火) 水素の発生(通常のグループ実験)
- 1月12日(木) 元素の紹介(冬休みの課題レポートの発表)
- 1月16日(月) 元素の紹介(冬休みの課題レポートの発表)
- 1月17日(火) 酸素の発生(マイクロスケール実験)
- 1月19日(木) 二酸化炭素(マイクロスケール実験)
- 1月23日(月) アンモニアの発生(マイクロスケール実験)
- 1月24日(火) アンモニアの噴水(グループ実験と演示実験)、アンケート調査

#### (3) 授業の概要

##### ① 「気体の発生と性質」の学習における目標と留意点

中学校第1学年の単元「身の回りの物質」の目標は「身の回りの物質についての観察、実験を通して、固体や液体、気体の性質、物質の状態変化について理解させるとともに、物質の性質や変化の調べ方の基礎を身に付けさせる」とあり、「気体の発生と性質」では「気体を発生させてその性質を調べる実験を行い、気体の種類による特性を見出すとともに、気体を発生させる方法や捕集法などの技能を身に付けること。」とある(文部科学省、2008)。つまり、実験の体験を通して各気体の特性を理解することと同時に、発生方法や捕集方法を身に付けることも重視しているのである。

本単元を扱うにあたり、筆者は次のような目標と留意点を設定した。

**【目標】**

- ▷ 色々な気体について、その発生方法を化学変化として理解する。
- ▷ 捕集方法について、気体の性質をもとに適切な方法を考えられる。
- ▷ 気体の特性について、科学的に調べる方法を学ぶ。
- ▷ 実験の目的と内容を理解した上で、実験に主体的に取り組む。

**【留意点】**

- ▷ 元素周期表について学習し、原子には種類がありその質量にも違いがあることを学ぶ。
- ▷ 気体の分子を、原子の種類とその数で示し、空気の密度と比較できるようにする。
- ▷ 小学校での学習や経験と結びつけて理解を深める。
- ▷ 生徒が主体的に実験に取り組めるように、一人一実験を実現する。
- ▷ 一人一実験を実現するために、マイクロスケール実験を取り入れる。

**② 元素の学習**

冬休み前に「一家に一枚元素周期表」をカラー印刷し全員に配布した。授業の中で周期表の配列の規則性を簡単に説明した。課題「私の紹介する元素」を提示し、自分が紹介したい元素を選択させ、その元素名、記号、性質や特徴などを調べさせレポートにまとめさせた。希望者には資料をコピーして配布した。冬休み明けにレポートを提出させ、縮小コピーをしてクラスごとに印刷して、授業の資料とした。1月12日、16日の授業で、周期表の順番に並べた資料を基に、「私の紹介する元素」の発表会を行った。

**③ マイクロスケール実験実施のための準備**

書籍『マイクロスケール実験』の「酸素の発生と性質」「二酸化炭素の発生と性質」「アンモニアの発生と性質」を参考にして道具を選定し、一人一実験が可能な数を準備した。

酸素や二酸化炭素の発生では、気体を水上置換法で集めるため、生徒35名分の水槽が必要となる。そこで100円ショップにてプラスチック容器（ボール）を35個購入した。また、シリコンチューブを15cm程度に切り、マイクロピペット用のチップを一方の端に、折れ曲がるストローを切り取り、もう一方の端に付けたものを35本準備した。また、チップやスポイトを差し込むプッシュバイアルびんの蓋35個に、穴を2つずつ開ける作業を施した。

**④ 具体的な授業実践（詳細は本稿末の【資料】に掲載）**

各授業ではプリントを使用し、下に示す共通した流れで実施した。

- (ア) 気体の発生方法（経験を活かして）
- (イ) 気体の分子と化学式
- (ウ) 気体の性質（空気の密度との比較、水への溶けやすさ、色、におい、その他（水に溶けたときの性質、毒性）
- (エ) 気体の発生方法と捕集方法（理由と共に）
- (オ) 実験での発生方法と性質の確認方法
- (カ) 結果、考察
- (キ) 感想

**2. アンケート調査**

理系女性教育開発共同機構と連携し、アンケート項目を大きく二つに分けて考案した。

- ◇ 生徒の興味関心等に関する項目

性別、得意な教科（複数選択可）、理科が好きか（選択肢4つから1つ選択）、  
どのような点が好きか嫌い（自由記述）

◇ マイクロスケール実験に関する項目

マイクロスケール実験で印象に残っていること（自由記述）、  
マイクロスケール実験を普段のグループ実験と比べて（複数選択可）  
今後取り組んでみたいマイクロスケール実験（複数選択可）

3. 調査の結果

(1) 生徒の興味関心等に関する項目

① 男女について

男子29名、女子85名、合計114名から結果が得られた。

② 得意な教科について

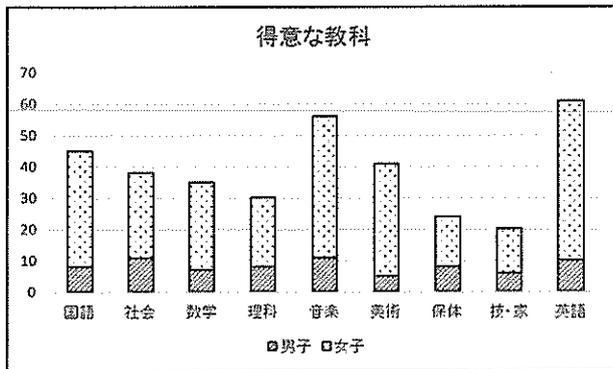


図1：得意な教科

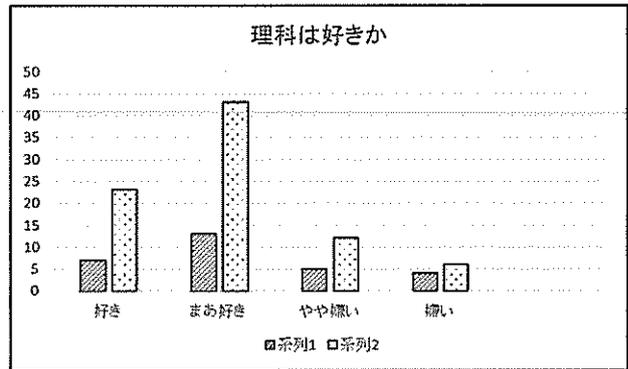


図2：理科は好きか

図1に示すように、男子は教科の種類で大きな違いはほとんど見られないが、女子は英語、国語といった言語関係、音楽や美術といった表現関係の教科で多くの生徒が得意と感じていたが、社会、数学、理科は前出の教科と比べると得意と感じる生徒が少なかった。得意な科目を「理科」と答えた生徒は、男子が8人（28%）、女子が22人（26%）、合計で30人（26%）であった。

③ 理科は好きか

図2に示すように、「理科が好きか」という質問に対して、男子は「好き」7人（24%）、「まあ好き」13人（45%）、「やや嫌い」5人（17%）、「嫌い」4人（14%）と、肯定的な人数は20人（69%）であった。一方、女子は、「好き」23人（27%）、「まあ好き」43人（51%）、「やや嫌い」12人（14%）、「嫌い」6人（7%）と、肯定的な人数は66人（78%）であった。男女を合計すると、肯定的な回答者数は86人（75%）と、4人に3人は理科に対して「好き」か「まあ好き」といった気持ちで取り組んでいることが分かった。

「好き」「まあ好き」と答えた生徒（86人）に対して「どのような点が好きか」という質問をした。その自由記述の内容を分類整理した結果を表1に示した。好きな点として「実験」に関するものが多く、男子は20人中15人（75%）、女子は66人中58人（88%）となった。また自然の仕組みを理解したり、納得できたり、因果関係を理解できる点を挙げた生徒は、男子では2人（10%）、女子は8人（9%）と次に多かった。

「やや嫌い」「嫌い」と答えた生徒（27人）に対して「どのような点が嫌いか」という質問をした。その自由記述についても同様に分類整理し表2にまとめた。嫌いな点として「内容の難しさ」を挙

げた生徒は、男子9人中2人(22%)、女子18人中12人(67%)、「計算」に関することを挙げた生徒は男子3人(33%)、女子10人(56%)、覚えることが多いなど「記憶」に関することを挙げた生徒は男子3人(33%)、女子6人(33%)であった。

表1 理科を好きな点

好きな点	男子	女子	合計
実験が多い、実験が楽しい、実験が面白い、実験が好き等	15	58	73
自然の仕組みが分かる、理由があって納得できる、理由や原因が明確等	2	8	10
内容(生物、地球や宇宙、化学)に興味がある、好き、面白い	1	3	4
自分で確かめられる、主体的に取り組める、結果が確かめられる	0	3	3
解明されていないことがある、不思議なことがある	1	1	2
教える先生が面白い、説明が面白い	0	2	2
将来の職業、生活役立、答えが決まっている、答えが一つでない(各1)	0	4	4

表2 理科を嫌いな点

嫌いな点	男子	女子	合計
実験が面倒、実験が大変、実験がつかれる、実験が分からない等	3	2	5
内容が難しい、理解するのが大変、理解できない、複雑、理系が苦手等	2	12	14
内容(物理)が嫌い	0	1	1
計算が嫌い、計算が多い、計算が面倒、計算が難しい、計算が苦手等	3	10	13
覚えることが多い、暗記が苦手、用語が多くて覚えられない等	3	6	9
役立たない、楽しくない、知っている、全て、テスト問題等	3	3	7

## (2) マイクロスケール実験に関する項目

### ① マイクロスケール実験で印象的だったこと

各気体の実験について印象に残ったことを自由記述させたものを、「マイクロスケール実験」そのものに関するもの、「気体発生」に関するもの、「気体捕集」に関するもの「気体性質確認」に関するものに分類・整理し、表3にまとめた。

初めてのマイクロスケール実験である酸素の実験では、「マイクロスケール実験」に関して9人(8%)の記述があり、「一人で大変」「難しい」とあった。一方で、「一人一実験で理解できた」「楽しかった」といった記述もあった。「気体発生」に関するものは「熱くなった」「ブクブク黒くなった」などが11人(10%)、「気体捕集」に関するものが5人(4%)であった。「気体性質の確認」では酸素の助燃性を確認する「火のついた線香を入れると明るく激しく燃える」現象を観察したことを挙げた生徒が58人(51%)と大変多かった。

マイクロスケール実験2回目の二酸化炭素の実験では、「マイクロスケール実験」に関する記述は7人(6%)で、内容は「達成感」「楽しめた」「よく観察できた」「理解できた」などであった。「気

体発生」に関しては「酸素の時より反応が穏やか」「意外と反応が遅い」というような酸素と比べての記述や、「シュワシュワと反応が面白い」といった間近で反応を観察するから気づくものが8人(7%)であり、「気体捕集」では二酸化炭素捕集そのものに関するだけでなく、一人で集めたことや大変だったことなど、マイクロスケール実験で自分が実験したことによるものの記述もあった。「性質確認」では、水へ少し溶けることを「集めた気体と水が入った試験管を指で押さえて振ることで、指が吸い込まれる」体験をさせた。その時の痛みや面白さを挙げた生徒が33人(29%)と多かった。また、「石灰水が白くなり、自分が集めた気体が本当に二酸化炭素だった」と記述している生徒、「BTB溶液の色が緑から黄色に変化したこと」を挙げている生徒が21人(18%)であった。

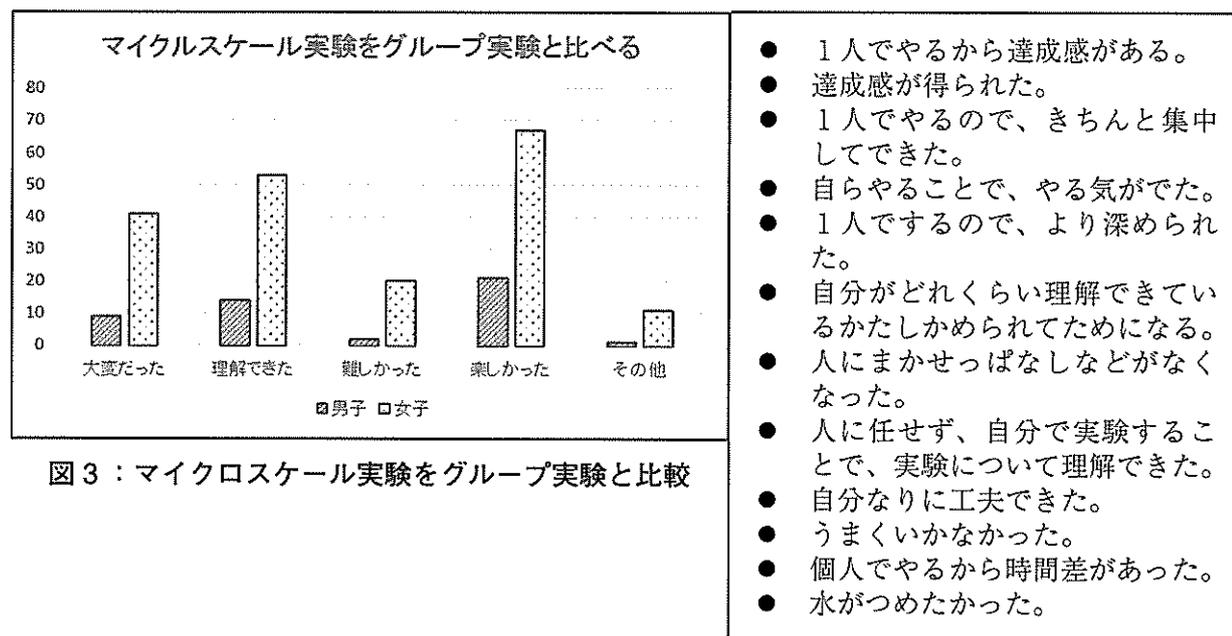
3回目のマイクロスケール実験はアンモニアであった。もう「マイクロスケール実験」に関する記述はなかった。また、「気体発生」「気体捕集」に関する具体的記述も見られなかった。一方で、臭いに関する記述が多く64人(56%)であった。「性質確認」に関するものでは、水へ非常によく溶ける性質を「集めたアンモニアが入ったミニ試験管の口をシャーレの水面につけて振ると、水がどんどんと吸い上げられる様子」を観察させ、水に非常に溶ける性質を使った噴水実験も行った(グループ実験や演示実験)。これらに関する記述をした生徒が30人(26%)であった。さらに、「アンモニアが水に溶けるとアルカリ性を示し、フェノールフタレイン溶液が赤くなること」を挙げた生徒が20人(18%)だった。

表3 マイクロスケール実験で印象に残ったこと(コメント例とコメント数)

	酸素		二酸化炭素		アンモニア	
マイクロスケール実験	一人で大変だった。実験が難しかった。一人一実験でいつもよりよく理解できた。一人は初めてだったけど楽しかった。	9	一人で全てでき達成感。2回目だったので楽しくできた。初めてで混乱しながらだが楽しかった。	7		0
気体発生	熱くなった。ブクブク黒くなった。反応でシュワシュワした。	11	酸素の時より反応が穏やか。反応が遅い。シュワシュワと反応が面白い。	8	くさかった。すごい臭いがしてむせた。強烈な臭い。すごく臭いがきつい。刺激臭。とてつもなく臭かった。	64
気体捕集	水上置換法で集めるのが楽しい。ブクブク酸素が集まる様子。	5	試験管に二酸化炭素が入っていくところ。水上置換法で集めたこと(一人で)。集めるのが大変だった。	6		
性質確認	線香が激しく燃えた。線香がポツと強くなるのが面白い。水素ほどじゃないけどボンッと鳴ったこと。線香がパツと明るくなったこと。	58	(気体と水が入った)試験管を振った時、指が吸われて痛かった。面白かった。	33	水面上昇。噴水実験。注射器を少し押しただけで水が吸い上げられた。	30
			石灰水が白くなった。BTB溶液が緑から黄色になった。	21	フェノールフタレイン溶液がきれいなピンク色になった。	20

### ② マイクロスケール実験をグループ実験と比較

図3に示すように、男女とも「楽しかった」が最も多く、男子21人（72%）、女子67人（79%）、計89人（78%）であった。次いで「理解できた」が多く、男子14人（48%）、女子53人（62%）、計67人（59%）であった。「大変だった」は男子9人（31%）、女子41人（48%）、計50人（44%）、「難しかった」は男子2人（7%）、女子20人（24%）、計22人（19%）、「その他」は男子1人（3%）、女子11人（13%）、計12人（11%）であった。その他の記述は次の枠内に示した。



- 1人でやるから達成感がある。
- 達成感が得られた。
- 1人でやるので、きちんと集中してできた。
- 自らやることで、やる気がでた。
- 1人でするので、より深められた。
- 自分がどれくらい理解できているかたしかめられてためになる。
- 人にまかせっぱなしなどがなくなった。
- 人に任せず、自分で実験することで、実験について理解できた。
- 自分なりに工夫できた。
- うまくいかなかった。
- 個人でやるから時間差があった。
- 水がつめたかった。

図3：マイクロスケール実験をグループ実験と比較

### ③ 今後どのような実験をマイクロスケール実験でやってみたいか

書籍『マイクロスケール実験』に紹介されている実験の中から中学校2、3年生で実施可能な実験を10個選び、選択肢として示し、やってみたいと思う実験を複数選択可として答えさせた。生徒が選択した数とその人数を表4にまとめた。平均数は男子が3.6、女子が4.2、全体が3.8であった。

また、選択肢に挙げた実験ごとの人数を図4にまとめた。「果物電池」を選択した人数が、男子21人、女子64人、計85人と最多であった。一方で単なる「化学電池」は、男子13人、女子28人、計41人であった。次いで多い実験が「水素と酸素の反応（爆発）」であった。「電気分解」は男子16人、女子43人、計59人、「水の電気分解」は男子15人、女子36人、計51人と両者とも多くの希望があったが、「中和反応」は男子9人、女子25人、計34人、「水溶液の性質」は男子7人、女子19人、計26人、「水溶液に電流が流れるか」は男子9人、女子19人、計28人と多くはなかった。「だ液のはたらき」は男子6人、女子15人、計21人で10個の実験の中で希望者数が最低であった。

表4 今後どのようなマイクロスケール実験を行いたい（選択肢10個）の選択数

選択数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8	10	平均
男子	0	4	2	11	4	1	0	2	0	4	1	3.6
女子	0	12	11	18	18	11	5	3	3	2	0	4.2
全体	0	16	13	29	22	12	5	5	3	6	1	3.8

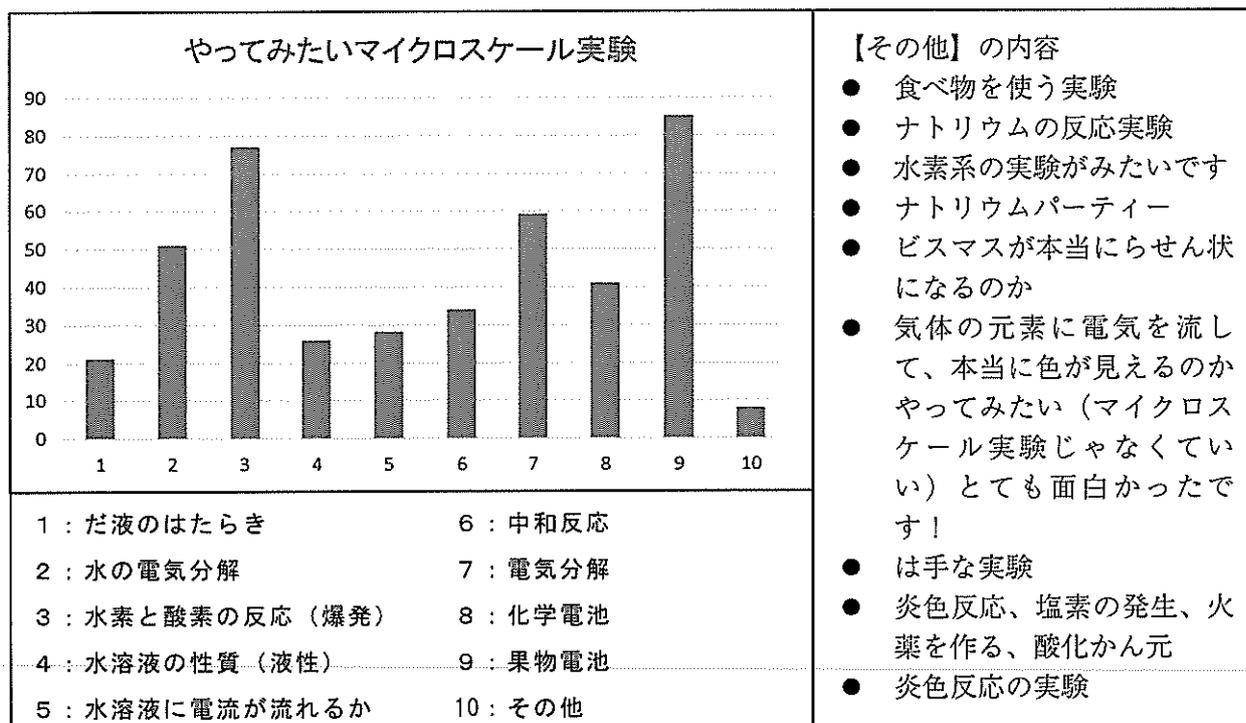


図4：今後取り組みたいマイクロスケール実験

#### 4. 考察

##### (1) 生徒の興味関心等に関する項目

理科を「得意」と答えた生徒は30人（26%）とおよそ全体の4分の1であったのに対して、理科が「好き」か「まあ好き」と答えた生徒は86人（75%）とおよそ4分の3であった。つまり、好きだけでも得意でない生徒が多くいることが分かった。

好きな点として71人（83%）が実験を挙げていた。また、自然の仕組みを理解したり、納得できたり、因果関係を理解できる点が次いで多く挙げられていた。「なぜ」という疑問を持ち、実験等で解決したり理解できたりする点が理科の魅力であると推測した。一方で、嫌いな点として内容の難しさを挙げた生徒は14人（52%）、計算を挙げた生徒は13人（48%）、覚えることが多いなど記憶に関することを挙げた生徒は9人（33%）であった。このことから、内容の理解が不十分であるために難しく感じ、記憶に頼らざるを得なくなったり、内容の理解が不十分であるために計算の意味が分からずに計算を難しく感じてしまったりすると推測した。

そこで、生徒の理解を促し深めることを目指すマイクロスケール実験は、生徒の実態にも合っていると考えた。

##### (2) マイクロスケール実験に関する項目

###### ① マイクロスケール実験で印象的だったこと

マイクロスケール実験を取り入れた「酸素」「二酸化炭素」「アンモニア」の授業に関する印象に残った記述の結果を見ると、「マイクロスケール実験」そのものに関して、1、2回目までは記述があったが3回目には記述がないことから、慣れてきたことが推測された。

「気体発生」「気体捕集」については、擬態語が多く見られ、特に酸素発生時に「熱い」の記述があったことから、マイクロスケール実験による一人一実験で、反応の様子を詳細に観察しているからこそ

感じ取った結果と考えた。また、二酸化炭素の発生では、その前に行った酸素の発生と比較した記述が複数あったことから、生徒は一つ一つの実験を細かく観察し記憶していると推測した。

「性質確認」に関する記述は、「酸素」で58人（51%）、「二酸化炭素」で54人（47%）、「アンモニア」で50人（44%）と多くあった。特に酸素の助燃性を確認する実験では「火のついた線香が明るく燃える」現象はグループでも観察できるが、その瞬間「ポッ」と音を立てていることは、自分の手許で起こっているからこそ聞き逃さずに印象に残ったと考えた。

二酸化炭素では「試験管に吸い込まれた指の感覚」を挙げている生徒が多くいた。これは、筆者がマイクロスケール実験で一人一実験を可能とした授業実践を行うにあたり考案したものである。これまで二酸化炭素と水を入れたペットボトルを振り、それがへこむ現象をグループやクラスなどで確かめていた実験を、一人一実験で、視覚だけでなく触覚でも確かめられる実験にしたため印象に残ったと考えた。

「石灰水が白く濁った」現象は小学校でも中学校でもグループ実験で経験しているのに、それでも印象に残ったこととして記述していたのは、「本当に白く濁った」「ちゃんと集められた」などの言葉から、自分の手で集めた気体が確かに二酸化炭素であったことを確かめられたことへの喜びによるものと考えた。

「二酸化炭素が水に溶けると BTB 溶液が緑色から黄色に変化したこと」「アンモニアが水に溶けるとフェノールフタレイン溶液が赤くなる」といった色の変化も印象に残ったことがわかった。これらは「きれいだった」という記述と一緒に見られることから、美しさを伴う色の変化が印象に残る要因となったと考えた。

一方で、アンモニアの実験では「臭かった」が半数以上を占めた。マイクロスケールで少量の発生ではあったが、一人一実験で間近での実験であったため気体を吸ってしまい、その刺激臭が強く印象に残ったと考えた。

印象に残ったことの記述から、マイクロスケール実験で一人一実験を実現したことで、五感を通してその経過や反応を間近に観察でき、印象に残りやすいことが分かった。

## ② マイクロスケール実験をグループ実験と比較

「楽しかった」を全体の78%が、「理解できた」を62%が、「大変だった」を44%が選択し、「難しかった」は19%であったことから、マイクロスケール実験はグループ実験と比べると、大変だが理解できる楽しい実験であったことが分かった。「その他」にあった12個の記述のうち9個の記述が「達成感があった」や「理解が深まった」など肯定的であったことから、気体の単元でマイクロスケール実験を取り入れたことは、生徒にとって好感がもてるものであった。ただし、時間のばらつきが出にくくする工夫や分からない生徒への細かい対応が必要であることも明らかになった。

## ③ 今後どのような実験をマイクロスケール実験でやってみたいか

マイクロスケール実験として紹介されている10個の実験で、やってみたいと思う実験を答えさせたところ、全員が一つ以上を選び、平均数3.8個であったことから、マイクロスケール実験に対して興味を持ち、今後も期待していることが分かった。

具体的な実験を見てみると、「果物電池」が「化学電池」の2倍になっていたことから、単なる電池より食べ物を使う実験に興味を持っていると考えた。次に多くあったのが「水素と酸素の反応（爆発）」で、これは気体の学習時にすでにグループ実験で経験はしているが、その激しい反応を間近で観察したいという欲求があると考えた。また、水と限定していない「電気分解」の方が「水の電気分解」より多いことから、色々な物質を電気分解したいという気持ちがはたらいたと推測した。

「中和反応」は34人、「水溶液の性質」は26人、「水溶液に電流が流れるか」は28人と多くはなかったが、これらは「水溶液」について既に小学校でも中学校でも学習しているため、生徒にとって新規性があまり感じられないからと推測した。第3学年でのイオン学習の場面で必要な実験であり、イオン学習での一人一実験で理解促進を図るために取り入れたい実験である。

「だ液のはたらき」は21人と希望者数が最も少なかった。これは、小学校でも経験した実験であるため、必要性をあまり感じなかったと推測した。中学校での「だ液のはたらき」は、消化酵素のはたらきを学習する際に取り組む実験である。しかし、グループ実験で扱うことは年々難しくなっている。自分のだ液を用いて自分一人で実験を完結できるマイクロスケール実験は、現場で待ち望まれている実験と考えられる。筆者は是非取り入れたいと考えている。

### Ⅲ まとめ

「気体の発生と性質」学習でマイクロスケール実験と取り入れ、一人一実験を行った本試みは、生徒一人ひとりが理解しなければ取り組めないという状況を作り出すことができた。生徒は間近に化学変化を観察し、その反応を五感を通して確認したため印象深く学ぶこともできた。また、マイクロスケール実験を一人一実験で行ったため、大変だったという感想もあったが、達成感が得られ、理解を深められ、楽しいと感じられる実験になった。

今後もマイクロスケール実験を取り入れることを生徒たちは期待しているし、授業者としても生徒の理解を深めるために出来るだけ取り入れていこうと考えている。マイクロスケール実験を一人一実験として実現させるために、また、全員に成功体験をさせるために、さらに、大きな時間差が生じないようにするために、様々な工夫点を明らかにし実践していくことが今後の課題である。

### 謝辞

本研究は、本学理系女性教育開発共同機構の支援を受けました。ここに感謝の意を表します。

### 参考文献

- 井上正之 教育現場におけるマイクロスケール実験 化学と教育 57巻 376 (2009)  
文部科学省 学習指導要領解説 理科編 (2008)  
中川徹夫 中学校理科におけるマイクロスケールの実践－水溶液の中性（酸性、中性、アルカリ性）の識別－ 理科の教育 55 (2006)  
荻野和子 マイクロスケール化学実験についての研究 科学研究費 研究課題/領域番号 09680184 基盤研究 (C) (1997-1998)  
佐藤美子 マイクロスケール実験による「考える力の育成」を目指す教材の開発と実践 科学研究費 研究課題/領域番号 24909028 (2012)  
佐藤美子、芝原寛泰 マイクロスケール実験による実感を高める「気体の発生と性質」の教材開発－個別実験と時間短縮を目指して－ 科学教育研究 Vol.38 No.3 168-175 (2014)  
佐藤美子、芝原寛泰 『マイクロスケール実験』オーム社 (2011)  
芝原寛泰 中学校理科におけるマイクロスケール実験の活用 中学校理科通信 2006年秋号 教育出版  
芝原寛泰 マイクロスケール実験の学校現場における普及をめざして－実践例の紹介と展望－ 日本理科教育学会 第57回全国大会 課題8 (2007)

資料

気体発生実験

① 水素 (通常の3～4人でのグループ実験)

【準備】 (以下に示すものは1班分である。9班分を教卓に準備する。)

直径18mmの試験管 (4)、ゴム栓 (3)、丸水槽、ガラス管付きゴム栓、塩酸、マグネシウムリボン片、ろうそく、ろうそく立て、マッチ、燃え差し入れ

【授業の流れ】 プリント (下) を使用

	学習内容	備考
導入	水素の発生方法について小学校での学習内容を思い出す。 水素が水素原子2個結合している粒子であることや化学式を知る。	アルミニウムなどの金属を塩酸に入れると泡を出してとけていく実験を経験している。 化学式は紹介程度にとどめておく。
展開	水素の性質について、密度、水への溶けやすさ、色、においを確認する。 気体発生方法と、発生に必要な物質と捕集方法を理由と共に確認する。 気体が燃える性質を確認する方法について、その方法と注意事項を知る。 班毎に当番が道具を取りに来る。 班毎に準備、実験を行い、その結果を記録する。 実験が終わったら片付ける。	元素周期表の位置から最も軽い気体であることに気づかせる。 出席番号をふった安全メガネを授業が始まる前に生徒一人ひとりが自席に持っていくよう指導。 白衣と安全メガネの着用、起立して班で協力して実験するよう呼びかける。 気体燃焼時、各班を回り、試験管内が曇っている様子を確認させる。
まとめ	発生した気体を集めた試験管1本目～3本目で反応の違いがあることを確認し、その理由を考える。 気体が燃えた後、試験管内が曇ったことの原因を考える。 水素が酸素と結びついて水になることを知る。	指名して考えを発表させる。 発生させる試験管内にあった気体が1本目には集まることに気づかせる。 なぜ、水素が燃えると水ができるかを原子・分子で説明する。

**気体 1 水素の発生と性質**

1. 水素 (気体) はどうして発生するのだろうか?  
塩酸に鉄・アルミニウム 豆粒・マグネシウムを入れる

2. 水素 (気体) はどのような分子 (粒子) か? それを化学式で表すとどうなるか?  
水素原子2個が結合している →  $H_2$  (化学式)

3. 水素の性質はどのような性質があるのだろうか?  
密度……… 空気より 小さい 気体の中で 最も軽い気体  
水への溶けやすさ……… 溶けにくい  
色……… 無色 におい……… 無臭  
その他……… 水素は酸素と結びついて水になる  
 $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

4. 気体の発生方法と捕集方法を考えよう  
発生させるために必要な物質……… 塩酸とマグネシウム  
理由 マグネシウムは塩酸の中へ溶けやすいため  
水素を発生させるから  
発生した気体の捕集方法……… 水上置換法  
理由 水に溶けにくいから

5. 試験管に水素を発生させ、性質を確認しよう

発生方法

性質の確認方法と結果

1本目… ホンッ……… 気体集まった。  
2本目… 間をおいてホンッ  
3本目… 間をおいてホンッ  
試験管が曇った。

6. 気体の捕集方法

水上置換法      下方置換法      上方置換法

② 酸素（マイクロスケール実験、一人一実験）

【準備】（以下に示すものは1班分である（写真1）。9班分を教卓に準備する（写真2）。

プッシュバイアルびん（4）、2穴のふた（4）、セルプレート（4）、マイクロピペット用チップを一方に、折り曲げたストローの一部をもう一方に付けたシリコンチューブ（4）、ミニ試験管（12）、過酸化水素水を入れたビーカー、二酸化マンガンを入れたミニシャーレ、ボール（4）、線香（4）、ろうそく、ろうそく立て、マッチ、燃え差し入れ



写真1：班ごと4人分の道具をまとめておく



写真2：9班分を教卓に準備

【授業の流れ】プリント（次ページ）使用

	学習内容	備考
導入	酸素の発生方法について小学校での学習内容を思い出す。 酸素が酸素原子2個結合している粒子であることや化学式を知る。	うすい過酸化水素水を用いたことを思い出させる。オキシドールで記憶していることもある。 化学式は紹介程度にとどめる。
展開	酸素の性質について、密度（空気との比較）、水への溶けやすさ、色、におい、助燃性を確認する。 過酸化水素水から酸素を発生させる反応を促す触媒として、二酸化マンガンを用いることを知る。 気体発生方法を、化学反応式を用いて確認する。 マイクロスケール実験であること、一人一実験であることを知る。 酸素発生方法と捕集方法、助燃性の確かめ方について注意事項を知る。 班毎に当番が道具を取りに来る。 一人一実験を行い、その結果を記録する。 実験が終わったら片付ける。	空気の主な気体・窒素と酸素の密度を元素周期表の位置をもとに思考し、酸素がやや重いほとんど変わらないことに気づかせる。 初めてのマイクロスケール実験なので、具体的な道具を示しながら丁寧に説明する。 白衣と安全メガネの着用。 助燃性を確かめる際には、班内の最初の生徒がろうそくに火をつけ、その火で線香に火をつけさせる。
まとめ	発生した気体を集めた試験管1本目～3本目で反応の違いがあることを確認し、その理由を考える。 感想を記述させる。	指名して考えを発表させる。 水素の実験と関連付けさせる。 これまでの実験と比較させる。



③ 二酸化炭素（マイクロスケール実験、一人一実験）

【準備】以下に示すものは1班分である。9班分を教卓に準備する。

プッシュバイアルびん（4）、2穴のふた（4）、セルプレート（4）、マイクロピペット用チップを一方に、折り曲げたストローの一部をもう一方付けたシリコンチューブ（4）、ミニ試験管（8）、うすい塩酸を入れたビーカー、大理石を入れたミニシャーレ、石灰水を入れたビーカー、BTB 溶液、ボール（4）、

【授業の流れ】プリント（次ページ）使用

	学習内容	備考
導入	二酸化炭素の発生方法について小学校での学習内容を思い出す。石灰石と大理石の関係を知る。二酸化炭素が酸素原子2個と炭素原子1個が結合している粒子であることや化学式を知る。	貝殻、チョーク、卵殻など身近なものでの経験を思い出させる。炭酸カルシウムと塩酸で発生することを伝える。化学式は紹介程度にとどめる。
展開	二酸化炭素について、密度（空気との比較）、水への溶けやすさ、色、におい、石灰水をにごらせる性質や水にとけると酸性を示すことを確認する。 気体発生方法を、炭酸カルシウムと塩酸との化学変化で発生していることを確認する。 捕集方法が下方置換法と水上置換法の両方が可能であることを理由とともに理解する。 2回目のマイクロスケール実験であり、一人一実験であることを知る。 二酸化炭素発生方法と捕集方法、石灰水を白くする性質、水にとけると酸性を示すこと、水にとけることを実感する方法を知る。 班毎に当番が道具を取りに来る。 一人一実験を行い、その結果を記録する。 実験が終わったら片付ける。	小学校での下方置換法で集めた経験を思い出させる。窪地にたまった二酸化炭素で亡くなる事故例を紹介する。炭酸飲料を例に二酸化炭素が水にとける性質があることと関連付ける。 2回目のマイクロスケール実験なので、1回目の実験を引用しながら説明する。 白衣と安全メガネの着用。 石灰水は授業直前の休み時間にろ過したものを使用させる。 水への溶けやすさを実感させるために、水上置換法で集めたミニ試験管に水を少し残した状態で取り出し、指で試験管の口を押えて振ることで、吸い込まれる体験をさせる。
まとめ	石灰水が白濁したこと、BTB 溶液が緑から黄色に変化したこと、指が気体の入った試験管に吸い込まれたことなどの結果をクラス全体で確認する。 実験の結果から考察を書く。 感想を記述させる。	発生させた気体が二酸化炭素かどうかを確認させるには気体を石灰水に通すことを優先するべきだが、ストローに残る石灰水の BTB 溶液への影響を考え、順番を逆にした。

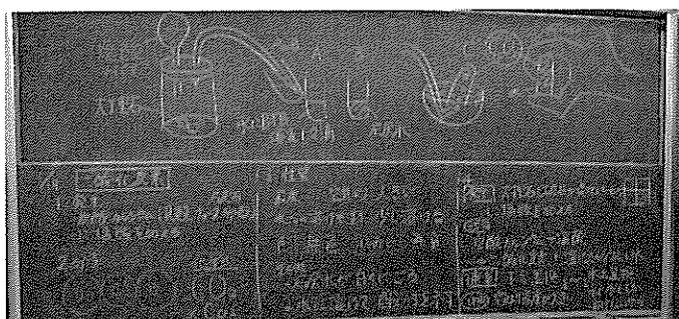


写真7：板書の様子

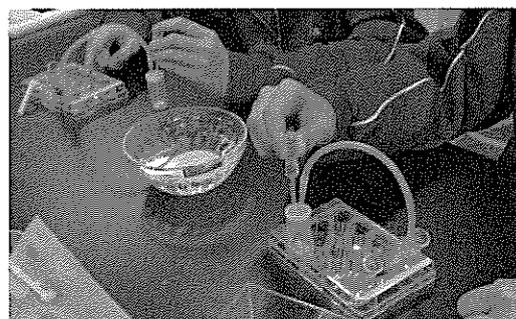


写真8：気体を発生させる



写真9：BTB 溶液の色の变化を確認しているようす



写真10：3本目に少量の水を残して二酸化炭素を集めているようす



写真11：3本目の試験管の口を指で押さえ振っている

/23

気体 3	マイクロスケール実験 二酸化炭素の発生と性質	
---------	---------------------------	--

1. 二酸化炭素はどうすると発生するだろうか？

[ 貝殻, 卵殻, 石灰石(大理石)など  
炭酸カルシウムを含むものに塩酸を加える ]

2. 二酸化炭素はどのような分子(粒子)か？それを化学式で表すとどうなるか？

[  $\text{O} \text{C} \text{O}$  ] → [  $\text{CO}_2$  ]

3. 二酸化炭素の性質はどのような性質があるだろうか？

密度……………空気より 大きい

水への溶けやすさ… 少し溶ける

色…………… 無色 におい…………… 無臭

その他…………… 石灰水が白くにごる。水に溶け酸性を示す

4. 気体の発生方法と捕集方法

発生させるために必要な物質…………… 大理石に塩酸を加える

理由  
炭酸カルシウム + 塩酸 → 二酸化炭素 + 塩化カルシウム + 水

発生した気体の捕集方法…………… ① 下方置換 ② 水上置換

理由  
① 空気より密度が大きいから ② 水に少ししか溶けないから

5. マイクロスケール実験で二酸化炭素を発生させ性質を確認しよう

発生方法

- ① ミニ試験管Aに水を3分の1ほど入れ、BTB 溶液を1, 2滴加え、セルプレートに入れる。
- ② ミニ試験管Bに石灰水を3分の1ほど入れ、セルプレートに入れる。
- ③ プッシュピアルビンに2, 3粒の(大理石)を入れる。
- ④ セルプレートにプッシュピアルビンを立て、ふたをする。
- ⑤ ふたにチューブをつなぐ。
- ⑥ スポイト内に半分ほど(塩酸)を吸入し、ふたに差し込む。
- ⑦ うすい塩酸を少しずつ滴下する。
- ⑧ チューブの先を BTB 溶液に入れる。
- ⑨ 色の变化を確認したら、チューブの先を石灰水に入れる。
- ⑩ 変化を確認したらミニ試験管Cに(水上置換)法で気体を集める。
- ⑪ 気体が3分の2ほど集まったら指でしっかりと押さえ試験管Cを振り、押さえ指のようすを観る。

結果

BTB溶液	結果
BTB溶液	オレンジ → 緑 → 黄 になった。
石灰水	石灰水に $\text{CO}_2$ をまぜると白くにごった。
指のようす	ふると指が吸いこまれた。

考察  
水とBTB溶液をまぜたものに二酸化炭素をまぜると黄色になったことから性質(水に溶け酸性を示す)は成り立つ。  
また、石灰石に二酸化炭素をまぜると白くにごるという性質も確認できた。水にも少し溶けた。(水に二酸化炭素をふると指が吸いこまれた)

感想  
今回も一人ずつの実験でとても忙しかたが、できはめと実験をこなせて、片付けまで早く終わらせられたので良かったです。  
色々な種類の実験があったけれど、きりりと、用途を命に17カ

④ アンモニア (マイクロスケール実験、一人一実験)

【準備】以下に示すものは1班分である。9班分を教卓に準備する。

切れ込みを入れたスポイト (4)、シャーレ (4)、ミニ試験管 (4)、1.0ml用注射器 (4)、プラスチック製ピンセット (4)、水酸化ナトリウムを入れたミニシャーレ、アンモニア水を入れたビーカー、フェノールフタレイン溶液、(BTB 溶液)

【授業の流れ】プリント (次ページ) 使用

	学習内容	備考
導入	アンモニアが発生する方法について、アンモニア水を加熱する方法、塩化アンモニウムと水酸化カルシウムを混合して加熱する方法に加え、体内でも発生していることを知る。 アンモニアが窒素原子1個と水素原子3個が結合している粒子であることや化学式を知る。	体内でもタンパク質が分解させてできるアミノ酸がさらに分解されるとアンモニアが発生し、それが尿素に変えられていることを紹介する。  化学式は紹介程度にとどめる。
展開	アンモニアについて、密度 (空気との比較)、水への溶けやすさ、色、におい、有毒であることや水にとけるとアルカリ性を示すことを確認する。 気体発生方法として、水酸化ナトリウムとアンモニア水を混合させる方法を紹介する。 強塩基が弱塩基を水中から追い出すことでアンモニアが生じることを知る。 捕集方法が上方置換法に限られることを理由とともに理解する。 3回目のマイクロスケール実験で一人一実験であることを知る。 アンモニアが水に溶けやすく、溶けるとアルカリ性を示すことを確かめる方法、アンモニア発生方法、捕集方法とその手順を知る。 班毎に当番が道具を取りに来る。 一人一実験を行い、その結果を記録する。 実験が終わったら片付ける。	小学校でアンモニアを嗅いだ経験があること、尿尿からアンモニア臭がする経験などと関連付ける。 アンモニア (NH <sub>3</sub> ) と空気の主となる気体窒素 (N <sub>2</sub> ) とで密度を比較させる。 高校で学習する内容なので、紹介程度にとどめる。 気体捕集容器は乾いていることが必須であることを伝える。 目・鼻・喉への刺激が強いため、室内の換気と生徒への注意を喚起し、初めて注射器を使う実験なので、詳しく説明する。 白衣と安全メガネの着用。 水酸化ナトリウムを注射器でスポイトの中に入れると気体発生が始まるので、スポイトの先に乾いた試験管をかぶせる形で準備させる。手のひらで温めると反応を促進できることを伝える。
まとめ	フェノールフタレイン溶液を加えた水が赤くなり、シャーレの水の中で気体が入った試験管を振ると水面が上まで上昇したことをクラスで確認する。 実験の結果から考察を書く。 感想を記述させる。	発生させた気体の独特な刺激臭から明らかにアンモニアであること、発生途中からシャーレ内の水が赤くなるほど水へ溶けやすいことを確認した。

1. アンモニアはどうすると発生するだろうか？

アミノ酸 → アミノ酸 → アンモニア → 尿素

○ アンモニア水の加熱 ○ 塩化アンモニウムと水酸化カルシウムを混ぜて加熱する

2. アンモニアはどのような分子(粒子)か？それを化学式で表すとどうなるか？

窒素が4個と水素が10個 →  $\text{NH}_3$

3. アンモニアの性質はどのような性質があるだろうか？

密度………空気より小さい

水への溶けやすさ………非常によく溶ける

色………無色 におい………刺激臭

その他………有毒 ・水に溶けてアルカリ性を示す

4. 気体の発生方法と捕集方法

発生させるために必要な物質………水酸化ナトリウムにアンモニア水を加える

理由 弱いアルカリが強いアルカリに弱いから

発生した気体の捕集方法………上方置換法

理由 密度が空気よりも小さい

・水に非常にとけやすい ← かわいた試験管を使用しない方がいい

5. マイクロスケール実験での素を発生させ性質を確認しよう

発生方法

- シャーレに水を入れ、フェノールフタレイン溶液を数滴加える。
- 切れ込みの入ったスポイトの切れ込みから水酸化ナトリウムを2粒ピンセットで入れる。
- スポイトをセルプレートに立てる。
- スポイトにミニ試験管を逆さまにして立てる。
- スポイトの切れ込みから、アンモニア水 0.5ml を注射器で入れる。
- 刺激臭がしたら逆さまにしたミニ試験管をそのままの状態にフェノールフタレイン溶液の入ったシャーレに立て、少し振る。
- 試験管の中の水の色を観察する。

結果

フェノールフタレイン溶液が入った水	ピンク色に色が変化した。水中の臭気も強くなった。
試験管のようす	水面が位置が上昇した。自分のフェノールフタレインの色をピンク色にしていた。

感想

とにかくアンモニアのにおいがかすんでびっくりです。でも、フェノールフタレインなどの今まで自分が使ったことのないような液を扱いアンモニアの性質と知ることができて、とても良い経験となりました。



写真12: アンモニア水をスポイトの切れ目から注射器で注入しているようす

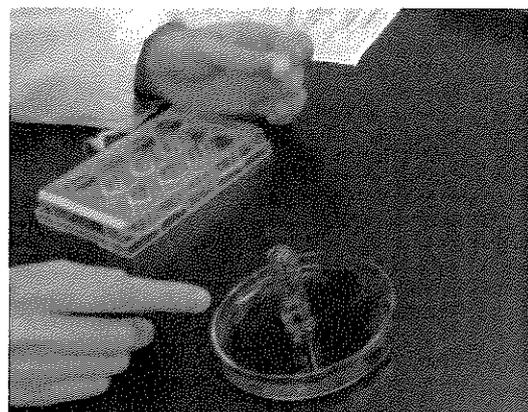


写真13: 集めたアンモニアが入った試験管の口をフェノールフタレイン溶液の入った水に触れさせ振った後、水面が自然と上昇しているようす

⑤ アンモニアの噴水実験 (班でのグループ実験と教師による演示実験)

【準備】 以下に示すものは1班分である。9班分を教卓に準備する。

乳鉢と乳棒、乾いた試験管、ガラス管付きゴム栓、25mL用注射器、25mL用フラスコ、細いチューブ付きフラスコ用ゴム栓、水酸化カルシウム、塩化アンモニウム、薬包紙、薬さじ、スタンド、ガスバーナー、マッチ、燃えさし入れ

【授業の流れ】プリント(下)使用

	学習内容	備考
導入	アンモニアが発生する方法について、前回の実験をふり返る。	水酸化ナトリウムとアンモニア水を混合することで発生することを確認。
展開1	気体発生方法を、前回行わなかった塩化アンモニウムと水酸化カルシウムを混合・加熱する方法で行うことを知る。 マイクロスケール実験用の道具を用いて班毎に実験することを知る。 班毎に当番が道具を取りに来る。 班で一つの実験を協力して行い、赤い色の噴水となる様子を観察する。 実験が終わったら片付ける。	使用する道具は乾いていることが必須であることを伝える。 乳鉢内での混合を十分に行うこと、混合物の加熱場面では、試験管の口を少し下げること、注射器はピストンをもたず、本体部分を持つなど注意事項を伝える。 白衣と安全メガネの着用。
展開2	教師による演示実験(アンモニア水を加熱し1Lフラスコにアンモニアを集め、2本のガラス管がついたゴム栓をする。スポイトを押して少量の水をフラスコ内に入れることで赤色の噴水を引き起こす。)を観察する。 噴水となる理由を考える。	気体の量が多いことで噴水の規模の違いを実感させる。 なぜ噴水になるのかを考えさせ、図で説明させる。
まとめ	噴水実験からアンモニアの性質を再確認する。 アンケート調査実施。マイクロスケール実験による一人一実験について、グループでの実験と比較してどうだったか感想を書く。	アンケートは無記名式で行った。

**気体 5 アンモニアの性質**

1. アンモニアの別の発生方法を体験し、噴水実験(マイクロスケール)をしよう

図解 アンモニアは、気体のため、目には見えないが、刺激臭があるので、集まりがわかりやすい。存在しないか、べんじん上か、こい、たのこ、面白が、た。

2. 一般的なアンモニアの噴水実験

(水を少しいれれば、ガラス管を通して水が(試験管)の中の水が11センチ上がる。フェーシクレン溶液が反応して赤い色になる)

3. アンモニアの噴水実験の原理を説明しよう

①

②

③

④

(アンモニアが水に溶け込む)

(アンモニアの体積が少なくなり、たのこ水が吸い込む)

(吸い込んだ水はアンモニアが溶け込むフェーシクレン溶液が赤くなる)