

マイティーパックを用いたアンモニア発生実験の方法に関する研究

澤田 千晶* 青柳 まゆみ** 児玉 康一***

*愛知県立春日台特別支援学校

**特別支援教育講座

***理科教育講座

Methodology of Experiment in Making and Testing Ammonia with “Mighty Pack”

Chiaki SAWADA*, Mayumi AOYAGI** and Koichi KODAMA***

*Haruhidai Special School for Children with Intellectual Disabilities, Kasugai 480-0392, Japan

**Department of Special Needs Education, Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

***Department of Science Education, Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

I 問題と目的

1. 盲学校における理科教育について

視覚障害のある生徒に対する教育を行う特別支援学校（以下「盲学校」）では、通常の学校に準じた各教科の指導が行われている（特別支援学校小学部・中学部学習指導要領第2章第1節第1款他）。理科の授業においても、通常の学校と同様に、実験や観察を通して自然科学の様々な現象を理解する学習が期待されており、保有する感覚を用いて児童生徒自らが実験や観察を行いながら学びを深めるための指導法や教材・教具が数多く考案されてきた。

鳥山（2007）は、実験が不可能とされていた戦前の盲学校理科教育は、1950年代以降、文部省や盲学校教員、理科教育研究者などによる意欲的な実践研究と体制整備を経て、実験・観察を当然とする今日の教育方法に至ったと指摘している。そして今日、盲学校における理科授業では、児童生徒自らの手で実験や観察を行うことが、通常の学校以上に重視されている。なぜなら、視覚に障害のない児童生徒は実験を見ているだけでもある程度理解できるが、盲児童生徒は実験の様子を横で聞いているだけではごくわずかの情報しか得られないからである（文部省、1986）。

化学の授業における生徒実験について、浜田（2007）は、方法を吟味し器具を工夫することによって、視覚に障害のある生徒も安全に一人で実験を行えること、また、生徒が一人で実験することによって興味が広がり、同時に自分に自信を持てるようになることを指摘している。

2. マイティーパックを用いた気体の発生実験について

視覚障害理科教育の分野で、マイティーパックを使った気体発生実験が最近注目されている。医療の現場で点滴用の袋として使われているマイティーパックの中に薬品を入れ、気体を発生させてマイティーパックを膨らませるという方法である。

浜田（2016）は、気体の発生実験でマイティーパックを用いることの利点として、①平らな袋が次第に膨らんでくるので、気体が発生したことを実感しやすい、②気体の発生と捕集を分けて行えるため、それぞれのプロセスを丁寧に観察できる、③空気がほとんど入っていないマイティーパックの中に気体を発生させるので純度の高い気体を集めることができ、気体の性質がわかりやすい、などを挙げている。従来視覚に障害のある生徒は、試験管の中で気体が発生している様子を、泡がはじける音や、口を押さえている指が内側から押されてくることなどで観察していたが、マイティーパックの中で気体を発生させることで、生徒たちは気体が発生する様子を手全体で直接観察できるようになった（浜田2016）。

3. アンモニアの性質を調べる実験について

中学校理科において、アンモニアの性質を調べる実験では、鼻を刺すような刺激臭があり、水に非常によくとけること、その水溶液はアルカリ性を示すこと、またアンモニアは空気よりも密度の小さい気体であるため、上方置換法で捕集できることなどを学習する。

通常の学校で使われている教科書の実験では、試験管にアンモニアを集めて水の中に入れ、水面が上がる

様子を見てアンモニアが水によく溶けることを確認する。この方法では、視覚に障害のある生徒は水面が上がり気体の体積が減る様子を観察できないため、点字教科書では別の確認方法が採用されている（文部科学省2016）。すなわち、上方置換法でアンモニアを試験管に捕集し、親指でふたをしたところにすし水を入れると親指が試験管に吸い込まれ、試験管の中の気圧が下がったことを指で確認できるという方法である。しかしこの方法では、親指が試験管に吸いこまれるという現象からアンモニアが水に溶けやすいという事実を理解するために「親指が試験管に吸いこまれた→試験管の中の気圧が下がった→試験管の中の気体が減っている→試験管の中にあるアンモニアが水に溶けた→アンモニアは水によく溶ける」という複雑な思考過程が必要となる。

4. 本研究の目的

マイティーパックを使った気体発生実験についてはこれまで、酸素、二酸化炭素、水素を発生させる方法が検証され、酸素と二酸化炭素については特別支援学校（視覚障害）中学部点字教科書〈理科〉でもマイティーパックを用いた実験方法が採用されている。しかし、アンモニアを閉じ込めて性質を調べる実験についてはまだ報告されていない。もしマイティーパックを使った気体発生実験をアンモニアに応用できれば、アンモニアが発生する様子を手で触って観察できるだけでなく、アンモニアが水に溶けやすい性質などをより直感的かつ確実に理解できるのではないかと考えた。そこで本研究では、アンモニアをマイティーパックに捕集し、その性質を調べる実験を計画し、実現の可能性を検討する。加えて、その実験方法を他者に試してもらい、視覚障害生徒にとってわかりやすいか、安全に実験を行えるか等を確認するための基礎資料を得ることを目的とする。

Ⅱ マイティーパックを用いたアンモニア発生実験の可能性の検討

1. 目的

点字教科書に掲載されている実験方法を参考に、マイティーパックを用いたアンモニアの捕集、およびアンモニアの性質の確認方法について検討する。また、確認のしやすさ、実験操作のしやすさ、安全性の確保などを考慮した実験器具や実験手順を検討する。

2. 方法

(1) 手続き

期間：2016年10月～2016年11月

場所：愛知教育大学内 理科実験室

マイティーパックを使ってアンモニアを発生・捕集

し、性質を調べる実験を、薬品の種類、薬品の量、アンモニアの発生場所、アンモニアの捕集方法、実験操作の手順などの条件を変えて、計34回行った。

実験の手順書を作成して、実験結果および実験中に気づいたことを書きこみ、毎回の実験終了後に整理した。

(2) 主な実験器具

- ①マイティーパック（写真1）：医療用器具。内側がポリエチレン、外側がナイロンの二層構造で口が付いた袋。
 - ②三方活栓（写真2）：医療用器具。T字型の管が交差しているところにあるレバーを操作することで、気体や液体の通る方向を変えることができる。今回使用した三方活栓はレバーの向いている方が「閉じる」タイプで、気体や液体はレバーの向いていない二方向に流れる。
 - ③感光器：視覚障害児童生徒の理科教育用に開発された器具。光を感じるセンサーが付いていて、明るさに応じて音の高さがかわる。明るいと音は高くなり、暗いと音は低くなる。
- ①と②は、市販の「気体発生装置 MY-P 2セット組（株式会社ナリカ）」を使用した。なおこのセットには、シリコンゴム栓（三方活栓につける）、シリコン管、60mL注射器も同梱されている。



写真1 マイティーパック



写真2 三方活栓
(シリコンゴム栓装着済み)

3. 結果及び考察

(1) 実験方法の検討

①アンモニアの発生・捕集方法

以下の4通りを試した結果、最終案として実験Dを採用した。

実験A：火を使わず、マイティーパック内でアンモニアを発生させる方法（図1）

1つのマイティーパックに粉末の薬品と水を入れてすぐに口をふさぎ、アンモニアを発生させる。酸素と

二酸化炭素の発生と捕集にマイティーパックを使う場合と同様の方法である。

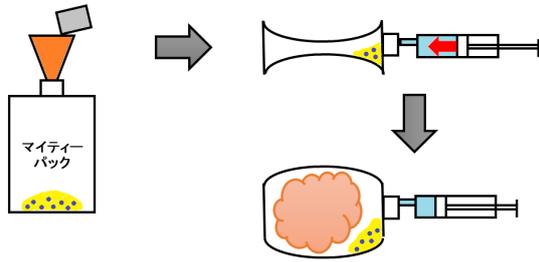


図1 実験Aの手順

〈手順の概要〉

- 1) 塩化アンモニウムと水酸化ナトリウムをマイティーパックに入れ、三方活栓付きゴム栓を装着する。
- 2) 薬品をマイティーパックの口側の角に集め、注射器でマイティーパック内の空気を抜く。
- 3) 注射器を使ってマイティーパックに少量の水を入れ、アンモニアを発生させる。

〈結果〉

マイティーパックが膨らんだり膨らまなかったりした。アンモニアを発生させるために入れた水にアンモニアが溶けたことが原因と考えられる。また、マイティーパックの中に薬品を入れて角に集め、少量の水をその薬品にうまく触れさせるためには、マイティーパックに入れた水の流れを目で確認しなければならないという欠点がある。

実験B：火を使わず、マイティーパック内でアンモニアを発生させ、別のマイティーパックに誘導する方法(図2)

実験Aと同様にマイティーパックに直接薬品を入れてアンモニアを発生させた後、別のマイティーパックにアンモニアを移動させる。アンモニアを発生させるために入れた水と、発生したアンモニアが触れるのを防ぐことができると考えた。

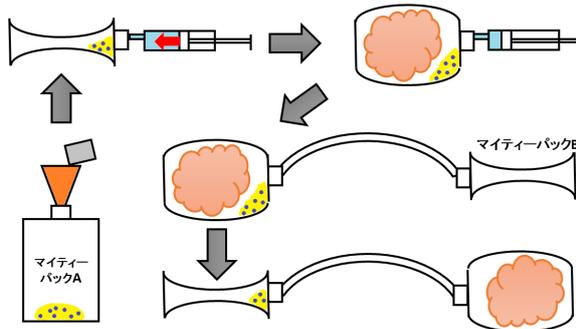


図2 実験Bの手順

〈手順の概要〉

- 1) マイティーパックBに三方活栓付きゴム栓Bを装着し、注射器でマイティーパック内の空気を抜く。空気を抜いたら三方活栓のレバーをマイティーパック側に回し、マイティーパックを密閉する。
- 2) 塩化アンモニウムと水酸化ナトリウムをマイティーパックAに入れ、三方活栓付きゴム栓Aを装着する。
- 3) 薬品をマイティーパックの口側の角に集め、注射器を使ってマイティーパック内の空気を抜く。空気を抜いたら三方活栓Aのレバーをマイティーパック側に回し、マイティーパックAを密閉する。
- 4) 注射器を使ってマイティーパックAに少量の水を入れ、すぐに三方活栓Aのレバーをマイティーパック側に向けてマイティーパックを密閉する。
- 5) 三方活栓Aと三方活栓Bをシリコンチューブでつなぎ、マイティーパックAの中に発生したアンモニアをマイティーパックBに移動させる。アンモニアを移動させ終わったら三方活栓A・Bのレバーを両方マイティーパック側に回し、マイティーパックを密閉する。

〈結果〉

マイティーパックが膨らんだり膨らまなかったりする問題は解決されなかった。また、三方活栓を2つ使うため操作が煩雑になり、操作を誤ってアンモニアが漏れてしまうことが何度もあった。また、実験Aと同様、マイティーパックの中に薬品を入れて角に集め、少量の水をその薬品にうまく触れさせるためには、マイティーパックに入れた水の流れを目で確認しなければならないという欠点がある。

実験C：火を使い、試験管で発生させたアンモニアをマイティーパックに誘導する方法(図3)

マイティーパックをアンモニアの捕集のみに使用する。点字教科書と同じように薬品を試験管に入れて加熱する。気体の発生に水を使わないため、マイティーパックが十分に膨らむと考えた。

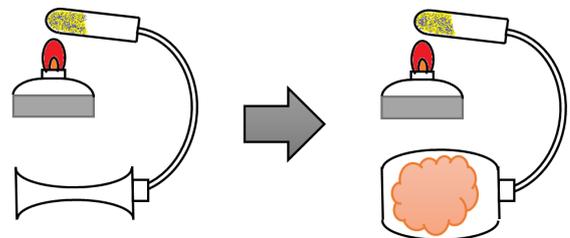


図3 実験Cの手順

〈手順の概要〉

- 1) 塩化アンモニウムと水酸化カルシウムを一つのフィルムケースに入れて振り混ぜ、試験管に入れる。

- 2) 試験管にゴム栓付きガラス管でふたをし、水平に寝かせてスタンドに固定する。
- 3) マイティーパックに三方活栓付きゴム栓を装着し、三方活栓と試験管につけたガラス管をシリコンチューブでつなぐ。
- 4) 三方活栓のレバーが注射器側を向いていることを確認し、試験管をアルコールランプで熱する。マイティーパックがアンモニアで満たされたら加熱を止める。
- 5) 三方活栓のレバーをマイティーパック側に回し、シリコンチューブを外す。

〈結果〉

薬品は最大で塩化アンモニウム 2g、水酸化カルシウム 3g（点字教科書に掲載されている分量の2倍）まで試したが、マイティーパックは十分に膨らまなかった。加熱時間が増えると試験管の破損の危険性が高まるため、これ以上の薬品の増加および過熱時間の増加は断念した。

実験D：火を使わず、試験管で発生させたアンモニアをマイティーパックに誘導する方法（図4）

マイティーパックをアンモニアの捕集のみに使う。試験管の中に粉末の薬品と水を入れてアンモニアを発生させる。

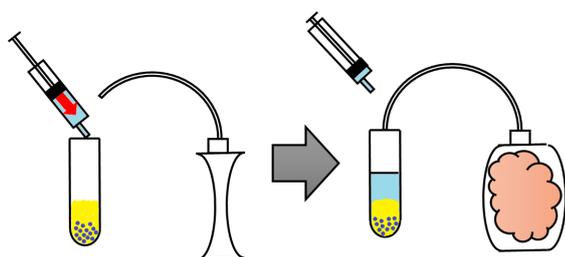


図4 実験Dの手順

〈手順の概要〉

- 1) マイティーパックに三方活栓付きゴム栓を装着し、注射器を使ってマイティーパック内の空気を抜く。空気が抜けたら三方活栓のレバーをマイティーパック側に回し、マイティーパックを密閉する。
- 2) シリコンチューブの一端に三方活栓を付けたマイティーパックを装着し、もう一端にゴム栓付きガラス管を装着する。
- 3) 水酸化ナトリウムを試験管に入れ、続けて塩化アンモニウムを入れる。
- 4) 試験管に少量の水を入れ、ゴム栓つきガラス管でふたをする。すぐに三方活栓のレバーを注射器側に回す。
- 5) アンモニアの発生が終わったら、三方活栓のレバーをマイティーパック側に回してマイティーパックを閉じ、シリコンチューブを三方活栓から外す。

〈結果〉

実験AやBと比較して、マイティーパックは確実に膨らんだ。これは、水酸化ナトリウムが水に溶けるときの発熱によって水があたためられ、発生したアンモニアが水に溶けにくくなったからだと推測される。

試験管の場合、薬品に水をかけるときに水の流れを見る必要がないため、視覚障害生徒による操作が容易である。

この方法では、試験管の中に空気が入ったままアンモニアを発生させるため、マイティーパックに集めたアンモニアには空気が混入してしまう。しかし、マイティーパックに水を入れたとき、完全にはないものの十分パックがしぼむことを確認できたため、実験に支障はないと判断した。

②アンモニアが空気より軽い性質を理解する方法

点字教科書ではアンモニアが空気より軽いことを、アンモニアが上方置換法で集められることで理解させている。しかし、筆者はマイティーパックを使ってより直接的に理解できる方法を検討した。

マイティーパックの最大容量は850mLである。空気の密度は1.20g/L、アンモニアの密度は0.73g/Lであるので、マイティーパックの中に空気は1.02g、アンモニアは0.62g入る計算になる。マイティーパックいっぱいにアンモニアを詰めた場合、この差0.4gが電子天秤の数字の違いとして表れるかどうかを確認した。

空気の入ったマイティーパックは、マイティーパックにドライヤーの冷風で空気を入れ、三方活栓付きゴム栓でふたをして作った。2つのマイティーパックを使って重さを比べると、個々のマイティーパックと三方活栓付きゴム栓の重さの差だととらえられる可能性があると考えたため、まず一つのマイティーパックに空気を入れて重さを記録し、そこから空気を抜いてアンモニアを捕集して重さをはかることにした。

空気の入ったマイティーパックは21.6g～21.7g、アンモニアの入ったマイティーパックは21.2g～21.3gを示したので、0.3g～0.4gの重さの差を確認できた。

ただし、この方法ではアンモニアが空気より軽いことは分かるが、「空気より軽い気体を上方置換法で集められる」ことを確認できないという課題が残る。

③アンモニアが水によく溶ける性質を理解する方法

アンモニアがいっぱいに詰まったマイティーパックに水を入れると、マイティーパック内のアンモニアが水に溶けてマイティーパックがしぼむ。アンモニアは気温20℃のとき、1mLの水に702mL溶ける。このことから、水を2mL入れればマイティーパック内の全てのアンモニアが水に溶ける計算になる。実際にアンモニアがいっぱいに詰まったマイティーパックに2mLの水を静かに入れて放置したところ、マイティーパッ

ク内のアンモニアがほぼ全て水にとけるには10分程度必要だった。そこで、少し多めに5mLの水を入れ、三方活栓のレバーをマイティーパック側に回して振ることでマイティーパックがすぐにしぼむようになった。

④アンモニアの臭いを確認する方法

アンモニアの捕集にマイティーパックを使うと、アンモニアが一切外に漏れることなくマイティーパックに集まる。しかし、それは裏を返せば生徒がアンモニアの臭いを確認できないということである。そこで、以下実験Aから実験Cの方法を試し、実験Cの方法を採用した。

実験A：アンモニアの集まったマイティーパックをほんの少しだけつぶす方法

アンモニア臭が鼻を直撃し、鼻がいたくなってしまった。

実験B：三方活栓から外したシリコンチューブの先から臭いをかぐ方法

全くにおいがしなかった。

実験C：アンモニアが発生しきった後の試験管のゴム栓を外し、臭いをかぐ方法

微かに臭いがする程度だったので、この方法を採用した。

⑤アンモニアが水に溶けるとアルカリ性になる性質を理解する方法

アンモニアが溶けた水をマイティーパックから試験管に移し、たれピン（ひとつまみ1.2mL）でフェノールフタレイン溶液を入れる。アンモニアがとけた水はアルカリ性なので、フェノールフタレイン溶液は赤くなる。色が変わることを視覚を使わずに確認するために、感光器を使用した。フェノールフタレイン溶液の濃度が薄いと感光器の音あまり変わらないので、フェノールフタレイン溶液が薄まり過ぎないように工夫した(フェノールフタレイン0.1gをエタノール10mLで溶かし、さらに水で100倍に薄めたものを使用した)。

(2) 最終案

上記①～⑤の結果を踏まえて、以下の方法を最終案とした。

〈準備物〉

マイティーパック、三方活栓付きゴム栓

ドライヤー、電子天秤

60mLの注射器、6mLの注射器

シリコンチューブ、ゴム栓付きガラス管

試験管4本、試験管立て、バット

水酸化ナトリウム、塩化アンモニウム、フィルムケー

ス2個

紙で作ったろうと、クリアファイルで作ったろうと
フェノールフタレイン溶液、たれピン、感光器

〈準備〉

- 1) フィルムケースに水酸化ナトリウム3.5gと塩化アンモニウム3.5gをはかりとる。
- 2) 実験に使用する器具をバットに入れてまとめる。

〈手順〉

- 1) ドライヤーを使ってマイティーパックに空気を入れ、三方活栓付きゴム栓を装着して電子天秤で重さをはかる。この時の重さはメモしておく。(21.7g程度)
- 2) 注射器を使って1)のマイティーパック内の空気を抜き、三方活栓のレバーをマイティーパック側に回す。
- 3) シリコンチューブの一端をマイティーパックに装着した三方活栓付きゴム栓に、もう一端をゴム栓付きガラス管につなぐ。
- 4) ろうとを使ってフィルムケースに入った水酸化ナトリウムを試験管に入れ、続けて塩化アンモニウムを入れる。
- 5) 注射器で水3mLを試験管に入れ、すぐにゴム栓つきガラス管でふたをする。同時に三方活栓のレバーを注射器側に回す。
- 6) マイティーパックが十分膨らみ、アンモニアの発生が終わったら、三方活栓のレバーを回してマイティーパックを閉じ、シリコンチューブをマイティーパックから外す。
- 7) アンモニアの入ったマイティーパックの重さを電子天秤ではかる。(21.3g程度)
- 8) 注射器でマイティーパックに5mLの水を入れる。→アンモニアが水に溶けてマイティーパックがしぼむ。
- 9) ろうとを使ってマイティーパックの中の水を試験管に移す。別の試験管に水をいれ、両方にフェノールフタレイン溶液を入れる。感光器で音の違いを調べる。→アンモニア水はアルカリ性なので、フェノールフタレイン溶液を入れると赤くなり、感光器の音は低くなる。

(3) マイティーパックを用いた実験の課題

①1つのマイティーパック内で気体の発生と捕集を行えないこと

酸素や二酸化炭素の気体発生実験では、マイティーパックに粉末の薬品を入れ、三方活栓付きゴム栓を装着してから空気を抜き、マイティーパックに液体の薬品を入れるという方法を取っている。この方法では、気体が発生してマイティーパックが膨らんでいく様子

を一人で確実に観察することができる。しかし、アンモニアの場合は薬品を直接マイティーパックに入れて発生させることが難しい。今回の方法では薬品を入れる場所(試験管)と気体が集まる場所(マイティーパック)が違うため、この作業を全部一人でやろうとすると、気体が発生してマイティーパックが膨らんでいく様子を確実に観察できない可能性がある。

②三方活栓が破損すること

一連の実験で、合わせて6個の三方活栓にひびが入り、使えなくなった。実験記録と照らし合わせると、三方活栓は1個あたり5~7回程度しか使えないことがわかった。原因として、三方活栓がポリカーボネートで出来ていることが考えられる。ポリカーボネートは硬くて丈夫なプラスチックであるが、アルカリにふれると加水分解してもろくなる性質を持つからである。本実験で使ったものと同じ形状でポリプロピレン製の三方活栓が市販されており、それに換えれば破損せずに使い続けられる可能性がある。

③マイティーパックが乾きにくいこと

アンモニアは水によく溶ける。その性質ゆえに、マイティーパックの中に一滴でも水滴が残っていたり、水分を多く含む空気(呼気など)を入れてしまうと、その水分にアンモニアが溶けてしまい、マイティーパックの膨らみ方に影響する。それを避けるためには、毎回マイティーパックの中の水分を完全に取り去る必要がある。しかし、マイティーパックは口が狭いので逆さにして放置しても乾かない。また、ドライヤーを使って乾かしても時間がかかる。さらに、マイティーパックの口の部分に水がたまりやすく、完全に乾いたようにみえてもパックの口を持って振ると残った水滴が出てくることもある。

Ⅲ マイティーパックを用いたアンモニア発生実験の評価

1. 目的

Ⅱで確定した実験を他者に試してもらい、視覚障害生徒にとってのわかりやすさ、実験操作のしやすさ、安全性等について検討する。

2. 方法

- (1) 調査参加者：特別支援学校教員養成課程の大学生 9名(4年生7名、3年生2名)
- (2) 調査期間：2016年12月
- (3) 調査場所：愛知教育大学内 理科実験室
- (4) 手続き

調査参加者9名を4グループに分け、グループ毎に実験室に集まってもらった。グループ毎に点字教科書

に掲載されている実験方法(以下「教科書実験」と、マイティーパックを使ってアンモニアの性質を調べる実験(以下「パック実験」)の両方を行ってもらった。(ただし、教科書実験ではガスバーナーの代わりにアルコールランプを使用した。)

実験終了直後にグループ内で話し合い形式のインタビュー調査を行い、実験方法を評価してもらった。

(5) 分析方法

以下の①~⑤のそれぞれについてA~Cの観点で話し合った。

- ①アンモニアの発生・捕集について
- ②アンモニアの空気より軽い性質について
- ③アンモニアの水に溶けやすい性質について
- ④アンモニアの刺激臭について
- ⑤アンモニアの水に溶けるとアルカリ性になる性質について

A教科書実験とパック実験のどちらがわかりやすいと感じたか、及びその理由

B「よりわかりやすい」と回答した実験のデメリット、及び「よりわかりにくい」と回答した実験のメリット

Cその他改善すべき点

話し合いの内容を録音し、その内容を逐語録にした上で、質的に分析した。

3. 結果及び考察

(1) アンモニアの発生・捕集について

調査参加者全員が、パック実験の方がわかりやすいと答えた。パック実験のメリットとして「マイティーパックが膨らむのでアンモニアが集まったことがわかりやすい」という回答が8件あった。また、教科書実験のデメリットとして1名が「アンモニアが集まっている実感がない」と述べた。マイティーパックを使った実験の特徴のひとつである「平らな袋が次第に膨らんでくるので、気体が発生したことを実感しやすい(浜田2016)」というメリットを、調査参加者の多くが感じたと考えられる。

一方、教科書実験のメリットとして「上方置換法を実際に経験でき、気体が集まったことが確認できる」という回答が5件あった。上方置換法は教科書に出てくる重要な語句であるため、上方置換法を実際に経験できないことはパック実験の大きな課題点であるといえる。

パック実験の改善点として、三方活栓のレバーの操作に関するものが2件あった。調査参加者は実験当日に初めて三方活栓に触り、操作の練習も1度しか行わなかったため、レバーを回す方向が途中でわからなくなった人もいたようである。また、マイティーパックにアンモニアを捕集するとき、気体の発生が落ち着く前に三方活栓を回してしまい、アンモニアが外に漏れ

だしてしまうことがあった。そのような理由で、三方活栓の操作に対して難しさを感じた調査参加者がいたようである。

三方活栓の操作自体は慣れれば難しいものではないが、操作を間違えれば有毒な気体が外に漏れだしてしまうことになる。盲学校の理科授業では器具の基本操作の習得を確実に行うことが重視されているが、パック実験を行うときには特にそれが重要となる。「レバーの先端が向いている方向には気体が流れない」という仕組みをしっかりと頭で理解し、三方活栓の操作を間違えなくなるまで何度も練習してから実験に臨むことと、気体が発生する音がしなくなるまで三方活栓のレバーを回さないように指導することが必須であるといえる。

その他の改善点として、シリコンチューブの扱いに関するものが2件あった。シリコンチューブがつぶれてアンモニアが通らなくなったり、シリコンチューブに手をひっかけて試験管が倒れたりしないように注意を促す必要がある。特に視覚障害のある生徒は、シリコンチューブがつぶれていたり手をひっかけそうな位置にあたりしても気づきにくいと考えられるため、教師が生徒の机の上の様子に気を配る必要があるといえる。

(2) アンモニアの空気より軽い性質について

パック実験と教科書実験のどちらがわかりやすいかについて、9名中5名がパック実験を選んだ。

パック実験のメリットとして「アンモニアが空気より軽いことが数字でわかる」という回答が6件あった。また、教科書実験のデメリットとして「アンモニアが軽いことがその場ではわからない」等の回答が3件あった。このことから、パック実験では、アンモニアが空気より軽いことが直感的にわかるというメリットがあるといえる。

一方で、「重さの差が小さいので誤差に感じてしまう」という回答が3件あった。また、「マイティーパックは2つ用意したほうがよい」「マイティーパックの膨らみ具合を同じにしてほしい」などの要望も多くあった。

筆者は、空気とアンモニアの重さの差である0.4gを個々のマイティーパックと三方活栓の重さの差と勘違いされることを避けるために、1つのマイティーパックを使いまわして気体の重さをはかることにした。しかし、そのことで逆にわかりにくい印象を与えてしまったようである。空気をはかったマイティーパックから空気を抜いてそこにアンモニアを捕集すると、アンモニアの発生量が多かったり少なかったりするため、もともと空気が入っていた時の膨らみ具合と空気がアンモニアに置き換わった時の膨らみ具合に差が出来てしまった。本来、空気に関しては体積の違いを考

慮する必要はない。すなわちマイティーパックに空気を入れても入れなくても電子天秤の示す値は同じである(ただし、空気を入れ過ぎて内部の圧力が上がると若干重くなる)。よって、マイティーパックの膨らみ具合が多少異なってもアンモニアが入っているマイティーパックの方が軽くなる。しかし、調査参加者は体積の大きいほうが重くなるはずだと考えており、アンモニアの入ったマイティーパックのほうが膨らみ具合が小さかった場合、アンモニアの密度による差ではなく気体の体積による差だと勘違いしてしまい、アンモニアのほうが軽いという理解にはつながらなかった。そうであれば、たとえ結果が同じだとしても、膨らみ具合が同じマイティーパックを2つ用意して比較したほうがわかりやすい可能性がある。

(3) アンモニアの水に溶けやすい性質について

パック実験と教科書実験のどちらがわかりやすいかについて、調査参加者9名中6名がパック実験を選んだ。

パック実験のメリットとして、「少ない水にたくさん溶けることがわかる」という回答が4件あった。教科書実験ではアンモニアを大量の水に溶かすが、パック実験では「5mLの水」に「850mLのアンモニア」を溶かすので、アンモニアがどれだけ溶けやすいかが数字としてもわかる。

その他に、「注射器で水を入れるだけだから失敗がない」「温度の変化を感じられる」などのメリットも挙げられた。温度の変化はアンモニアが水に溶けたときの溶解熱だと推測される。

教科書実験のメリットとして、試験管に親指が吸いこまれるのが楽しい、おもしろい、体で覚えらるなどの回答が5件あった。親指が吸いこまれるという現象はふだんあまり経験しないので、印象にのこるという面は教科書実験のメリットだといえる。

教科書実験のデメリットとして、「アンモニアが水に溶けるとなぜ親指が吸いこまれるのかわからない」という回答が2件あった。パック実験ではマイティーパックそのものの体積が変化するので、気体が水に溶けることをより直感的に理解できる。一方教科書実験では、試験管そのものの大きさは変わらないため、試験管内の気圧が下がって親指が吸いこまれるという間接的な現象で理解することになる。そのため、直感的な理解につながらなかったものと考えられる。

また、教科書実験のデメリットとして「失敗が多い」「指が吸い込まれる度合いに個人差がある」という回答もあった。実験では親指がいたくなるほど吸い込まれた人もいれば、あまり吸い込まれなかった人もいた。教科書実験はアンモニアがどれだけ集まったかわかりにくいので、しっかり集めないで親指があまり吸い込まれない。パック実験はアンモニアを確実に集めるこ

とが出来、そこに水を入れるだけなので失敗が起これにくいといえる。

(4) アンモニアの刺激臭について

刺激臭を確認する場面での臭いの感じ方、及びその他に臭いを感じた場面があったかどうかについて質問した。

最初のグループではマイティーパックにアンモニアを集め終わった後で、薬品の入った試験管の中の臭いを直接かいでもらった。ゴム栓を開けるとしっかり臭いがするため、確実に臭いがかげるというメリットがある。しかし、それではマイティーパックの中の臭いをかいていることにはならないという意見が出たため、以後三方活栓のレバーを回した時に注射器側からあふれてくる臭いをかぐことでアンモニア臭を確認してもらった。実際には、三方活栓のレバーを回した時に強烈な臭いを感じたグループと全く感じなかったグループがあった。いずれにしても、三方活栓の注射器側から漏れてくる臭いの強さを制御することは難しいため、アンモニアの刺激臭を確認する手段としてはあまり良くないと考えられる。

三方活栓のレバーを回した時以外に、筆者が想定していないところでアンモニアの臭いがしたタイミングがあった。それは、マイティーパックに入ったアンモニア水を試験管に移し替えるときである。とくに、試験管にアンモニア水に移し替える操作を担当した人は強く臭いを感じたようである。

教科書実験では、臭いの感じ方にグループや個人間で差があった。臭いの感じ方には個人差があり、風邪をひいていて鼻が詰まっていたりすると臭いを感じ取れないことがある。また、薬品を加熱し続けると反応が終わってしまい、それ以上臭いがしなくなってしまうため、しかるべきタイミングで臭いを感じ取れなければ加熱し過ぎてしまうという危険性もある。したがって、臭いは気体が集まったかどうかの判断基準としては不確かであるといえる。

パック実験の改善すべき点として、「臭いがする前に一言言ってほしい」や、「空調の向きに気を付けたほうがよい」「弱視の生徒が目近づけて見ようとするとならない」などの回答があった。有毒な気体を扱う実験であり、不快な臭いも伴うので、刺激臭の管理には厳重に注意する必要がある。

(5) アンモニアの水に溶けるとアルカリ性になる性質について

教科書実験とパック実験では、赤くなったフェノールフタレイン溶液色を感光器で確認するというまったく同じ方法を取っている。しかし、教科書実験とパック実験ではフェノールフタレイン溶液の色の濃さに違いがあるという意見が出た。教科書実験では50mLの

アンモニアを多量の水に溶かすのに対し、パック実験では850mLのアンモニアを少量の水(5mL)に溶かしているため、アンモニア水の濃度がかなり異なる。このため、パック実験ではフェノールフタレイン溶液の色がより濃くなったと考えられる。そして、感光器の音の違いもわかりやすくなった。

IV まとめと今後の課題

1. アンモニアの気体発生実験におけるマイティーパックの有効性について

本研究では、マイティーパックに一定量のアンモニアを捕集することに成功した。気体の発生から捕集までを一つの袋の中で行えるという、マイティーパックの最大の利点を生かすことはできなかったが、薬品の反応によってアンモニアの気体が発生する様子を、臭いではなく触察で容易かつ確実に確認することは可能となった。

また、アンモニアを閉じ込めたマイティーパックに水を入れることで、アンモニアが水に非常に溶けやすいことを直感的に確認できた。調査参加者の回答にも、集めたアンモニアの量と水の量が決まっているのでアンモニアが少量の水にたくさん溶けることがわかりやすい、という内容が多数あった。教科書実験にも「親指が吸いこまれることが面白くて印象に残りやすい」というメリットがあるものの、成功率の高さという点では、やはりマイティーパックの利点は大きいと言える。

教科書実験では「アンモニアは空気より密度が低い」ことを前提に進めていくのに対して、パック実験ではそれを実際に数値で確認できるということがわかった。比較の仕方に課題は残るものの、重さの違いが具体的な数値として表れること自体は評価している調査参加者が多かった。

さらに、アンモニアのとけた水がアルカリ性であることを確認する際にも、パック実験ではアンモニアの濃度が濃くなるため、結果、試薬の色がよりはっきり現れるというメリットがあることもわかった。

2. マイティーパックを用いたアンモニア実験の課題

本研究で提案したパック実験の最大のデメリットは、上方置換法を実際に経験できないことであろう。中学校学習指導要領における気体の発生と性質の単元では、気体を発生させる方法や捕集法などの技術を身に付けることが求められている。また、中学校で使用されている検定教科書には「アンモニアのように水に溶けやすい気体は水上置換法で集めることができず、水に溶けやすい気体は、空気より密度が小さければ上方置換法で、空気より密度が大きければ下方置換法で集める。」(東京書籍)とある。つまり、「上方置換

法」は用語として覚えるだけでなく、実験の技術として習得しなければならない。パック実験では、アンモニアの性質と上方置換法を直接結び付けて学習することができないため、この点は何らかの工夫が不可欠である。

2点目の課題は、空気とアンモニアの重さの比べ方である。1つのマイティーパックを使いまわすと気体の重さの差を同時に比べることが出来ず、気体の体積を同じにすることもできない。しかし、マイティーパックを2つ用意すると、0.4gの差が個々のマイティーパックと三方活栓の重さの差だととらえられてしまう恐れがある。より説得力を持って伝えられる方法を改めて工夫する必要がある。

3点目は、アンモニアの刺激臭をかぐ方法である。捕集した気体の臭いを嗅ぐのであるから、マイティーパックの中から少し気体を出して臭いをかぐことが出来ればそれが一番良い。しかし、マイティーパックの中に入っているのは純粋なアンモニアであるため、生徒の安全を考えるとその方法は適切ではない。また、臭いの強さを制御しにくいというデメリットもある。三方活栓のレバーを回した時に漏れてくる臭いにも同様のことが言える。現実的な方法は、薬品の入った試験管の中の臭いをかぐことかもしれない。安全に気をつけつつ、しかしアンモニア特有の刺激臭は確実に実感できるような方法を工夫する必要がある。

このほか、マイティーパックを乾かすのに時間がかかりすぎる、三方活栓が壊れやすいなど、器具の設計上の課題も挙げられた。

以上の課題を解決できれば、アンモニアの気体発生実験にマイティーパックを利用することは十分に可能であり、有効的であると考えられる。

引用文献

- 浜田志津子 (2007) 一人で行う化学実験. 鳥山由子 (編著) 『視覚障害指導法の理論と実際』, 57-62. ジアース教育新社.
- 浜田志津子 (2016) マイティーパックを使った気体の発生. 筑波大学附属視覚特別支援学校研究紀要, 48, 45-48.
- 文部科学省 (2016) 特別支援学校 (視覚障害) 中学部点字教科書の編集資料 (平成28年4月) (理科).
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/tokubetu/material/1370868.htm
- 文部省 (1986) 『観察と実験の指導』. 慶応通信.
- 岡村定矩ほか (2016) 『新編 新しい科学 1』. 東京書籍.
- 鳥山由子 (2007) 戦後盲学校理科教育における実験・観察学習の展開過程に関する文献的研究. 障害科学研究, 31, 137-152.

(2017年9月25日受理)