

理科教員養成における実験力の育成 —熱力学へのペットボトル実験の導入—

小出 美香*

Developing the experimental skill in training science teachers — Introduction of plastic bottle experiment to lesson of thermodynamics —

by

Mika KOIDE *

要 旨

中学・高校の理科教員志望の学生が必修科目として受講する物理学の授業でペットボトルを使った簡易な実験を行い、学生が将来教員として実験を取り入れた授業を行う力—実験力—の育成を試みた。ここでの実験力とは具体的には授業で演示実験をしたり生徒に実験を指導する力、実験結果の考察を生徒とともにを行い生徒の理解を深める指導をする力、およびそれらを行おうとする意欲である。授業後には、学生へのアンケートにより今回の試みの有効性を調査した。理科実験には危険が伴い、配慮すべき事項が多く、安全対策が必要である。また行った実験をどのように授業で使い、生徒の理解につなげるかについても、教師の工夫が必要である。今回学生たちは実験、観察、結果の考察、クラスメートの発表や教師の解説によって物理法則を深く理解できた。また自分が生徒に教えるときの注意点や工夫を考えることで実験力を養った。本稿で紹介する実験は熱力学（物理）、大気圧（地学）、水の状態変化（化学／物理）などを教える際に教材として用いることができる。今回の経験は将来彼らが教育現場に立ったときに役立つものと思われる。

Key Words：理科教育、理科実験、理想気体の状態方程式、大気圧、水の状態変化

1. はじめに

文部科学省は、現行の学習指導要領「生きる力」（中学校では平成24年4月から、高等学校の理科では平成24年度入学生から実施）に代わる新（次期）学習指導要領を、中学校では平成30年度から一部を移行措置として先行して実施し、平成33年度からは全面的に実施することとしている。また高等学校では平成34年

度入学生から新学習指導要領を年次進行で実施する予定である¹⁾。それに先立ち、同省は平成29年3月31日に中学校学習指導要領の改訂を行った。その理科編の解説が平成29年7月に同省より発表された²⁾。

上記資料²⁾によると、改訂の基本方針として「子供たちが未来社会を切り拓くための資質・能力を一層確実に育成することを目指す」ことが挙げられ、また「主体的・対話的で深い学び」の実現に向けた授業改善の推進が求められている。さらに、理科の指導計画の作成と内容の取

*崇城大学非常勤講師

り扱いについては、「理科の見方・考え方を働かせ、問題を見だし、見通しをもって観察、実験などを行い、その結果を分析して解釈するなどの科学的に探求する学習活動を重視し、その方向性を強化する」としている。また、今回の改訂で新たに加えられたことのひとつに「観察、実験、野外観察などの体験的な学習活動の充実に配慮すること」がある。

以上のことをふまえると、中学・高校の理科教員を目指す学生に対して実験を必修項目として取り入れることは重要である。実験は理科という学問の基礎であるとともに、演示実験を生徒に見せる、または生徒に実験を行わせることによって、上記の指導目標（主体的・対話的で深い学び、体験的な学習活動の充実）が達せられると考えられるからである。

理科教員が実験を取り入れた授業を行う力を「実験力」と呼ぶことにすると、それには教員が行う演示実験の技術とともに、生徒に実験を指導する力が含まれる。また、実験を見せて終わり、または生徒にさせて終わりではなく、実験の結果を授業の中で有効に使うことも大切である。具体的には、実験後に生徒とともに結果を考察し、結論を導き出し、生徒の自然現象への理解が実験によってより深まるように授業を工夫しなければならない。さらにそのような授業を積極的に行おうとする意欲を教員が持つことも必要である。

今回、理科教員を目指す学生の実験力を育成する目的で、2018年度前期に担当した「基礎物理学」においてペットボトルを使った簡単な実験を含む3回の授業を行った。授業には演示実験、学生による実験、学生による実験結果の考察、学生による発表、結論の導出を取り入れた。また学生にはこの経験から、自分が教員になり生徒に実験指導する時に気をつける点や工夫すること、さらに理科教育における実験の役割について考えさせた。まず本稿ではその内容を紹介する。また授業後に学生にアンケート調査を実施し、本授業の有効性についての考察を行なったので、学生の感想と合わせてその結果も報告する。

2. 実験を導入した基礎物理学の授業

本稿で紹介する授業を行った「基礎物理学」は生物生命学部の実用生命科学科と工学部のナノサイエンス学科の1年生が受講する前期2単位の選択科目であり、理科系の専攻分野を学ぶ学生に必須な物理学の基礎を修得するための講義である。講義の内容は、熱力学、電磁気学、波動で、関連科目として後期の「物理学」、2年次に「物理実験」がある。基礎物理学及び物理実験は選択科目であるが、高等学校教諭一種免許状（理科）と中学校教諭一種免許状（理科）の取得を希望する応用生命科学科とナノサイエンス学科の学生にとっては免許取得上の教科に関する必修科目になっている。

基礎物理学の授業は、高校での物理学の既履修者向けと未履修者向けの2クラスに分けて行っている。本稿で述べる授業は筆者が担当した未履修者向けのクラスで行った。学生の履修登録後の調査によると、教員免許取得希望者（教職課程の受講者）の割合は $22/53 = 41\%$ であった。

この講義を受講している学生は高校および大学で主に理科の生物学（応用生命科学科）又は化学（ナノサイエンス学科）分野を学んでおり、物理学に対しては苦手意識を持っている者が多い。しかし理科教師を目指す者にとって物理学を理解することは必須である。また教職課程以外の者にしても選択科目として履修しているということから、受講者は自分の将来における物理学の重要性を認識していると見ることができるといえる。実際に学生に聞いてみると、「高校で学んでいないので物理学の学習に不安はあるが、物理学を大学で新たに学び直したい、できれば分かりたい、得意になりたい」という学生の意欲が感じられた。

2018年4月から5月にかけての基礎物理学で、表-1のようにペットボトルを使った簡単な実験を取り入れた授業を3回行った。このときの学習内容は、熱力学の「理想気体の状態方程式」である。実験は表-2のようなものである。

表-1 ペットボトルの実験を導入した授業

1回目	教師による演示実験。
2回目	「理想気体の状態方程式」の講義後、5~6人1組のグループで学生実験。実験結果を状態方程式を使って考察するレポートの作成(各自)。
3回目	レポートへのコメント、学生の発表、実験結果の考察の解説、アンケートの回答。

表-2 ペットボトルの実験の手順

(1)	500 mlのペットボトルに熱湯を1/3くらい入れる。今回は電気ポットで沸かした湯を使用。火傷防止のため、実験中は二重に重ねた軍手を両手にはめる。
(2)	ふたをして2~5秒よく振ってからお湯を捨て、すぐにふたを閉める。
(3)	そのまま放置するとペットボトルがつぶれる。

実験の方法は文献^{3) -5)}を参考にし、そのネーミングは文献に載っていたものを使って「たいした大気圧」または「あっという間にペットボトルつぶし」として学生に紹介した。本稿では「ペットボトルの実験」と呼ぶことにする。

1回目の授業は熱力学を学習し始めたばかりのときであったので、演示実験を行い、後日この実験結果を「理想気体の状態方程式」を使って考察することを学生に伝えた。またそれに関してレポートの提出があることも予告した。演示実験のとき学生は、ペットボトルが音をたててつぶれる現象に驚いていた。未履修者向けのクラスということもあり、「熱力学」や「理想気体の状態方程式」という言葉をこのとき初めて聞いた者もいたようで、実験を見るのは楽しいがレポートが書けるのだろうかという不安が学生の顔に表れていた。写真-1は演示実験で使った器具と演示実験後につぶれたペットボトル(実験後数分放置したもの(上))と約1ヶ月放置したもの(下))である。1ヶ月放置でさらにつぶれたのは、水蒸気の液化が進み、水蒸気の本数が減少してペットボトル内の圧力が低下したためであると思われる。

2回目の授業では、理想気体の状態方程式について講義した後、学生たちが5~6人で1グループを作ってこの実験を行った。写真-2、-3は実験をする学生たちの様子と、学生たちの実

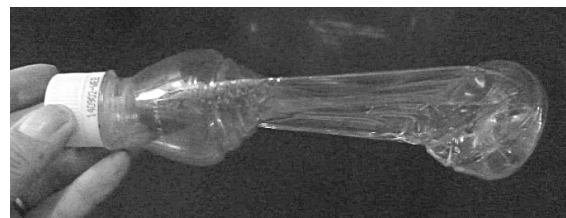
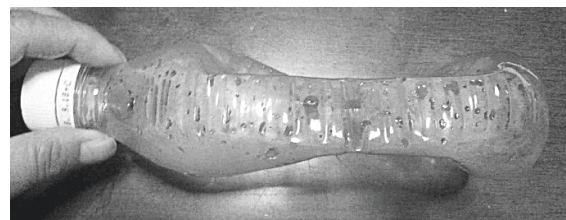


写真-1 ペットボトルつぶしの演示実験。

(上) 演示実験で使った道具：お湯捨て用のバケツ、500 mlペットボトル(実験前のもものと実験後つぶれたもの)、電気ポット、2枚重ねの軍手。(中) 実験でつぶれたペットボトル。実験後数分放置したもの。容器側面はくもり、側面に水滴がつき、内部に少量の水がたまっている。(下) 実験でつぶれたペットボトル。実験後1ヶ月ほど放置したもの。側面どうしがくっつくほどひしゃげている。内部に少量の水がたまっている。

験によってつぶれたペットボトルである。

実験では、積極的に実験に参加する学生がいる一方、席を立たずに実験を他の人に任せて何もしようとしない者も見受けられた。後者の学生には実験に参加するように注意した。この実験は一人でも行える簡単な実験なので、2~3人のグループにすれば全員が実験に参加することができた。しかし、クラスの人数が50~60人ということもあり、ペットボトルを10本以上と電気ポットを4台、お湯捨て用の容器を3つ用意しても1グループの人数は5~6名となっており、グループメンバー全員が十分に実験することができなかった。そのため実験に積極的に参加しない学生がいたことはある程度仕方なかったかもしれない。実験時には、学生が「あ



写真-3 学生たちの実験結果：つぶれたペットボトル。

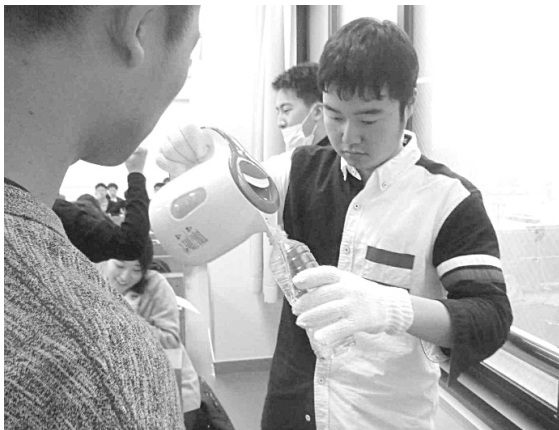
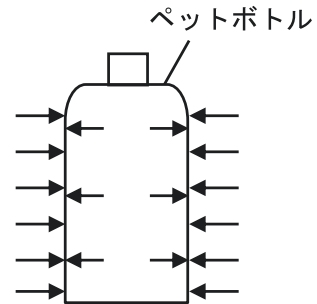


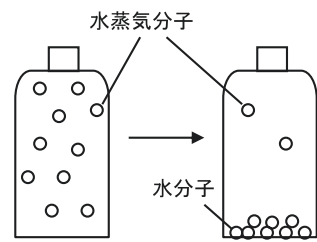
写真-2 学生たちによる実験の様子。

れ先生、ペットボトルがつぶれません」と言った矢先に学生が手に持ったペットボトルがバンという音をたててへこみグループ内で歓声があがったりして、全体的に楽しい雰囲気であった。学生も座って90分の講義を受け続けるよりも自分たちで実験をすることを喜んでいるようだった。



内部の圧力 < 外部の圧力 (大気圧)

図-1 ペットボトルがつぶれる概念図。
ペットボトル内部の圧力が低くなり、外部の圧力 (大気圧) に押されてつぶれる。



温度 高い 気体 (水蒸気) 温度 低い 液体 (水)
内部の圧力=大気圧 内部の圧力<大気圧

図-2 ペットボトル内部の圧力が下がる理由の概念図。

左：ペットボトルに入れたお湯を捨て、ふたをした瞬間の状態。ペットボトル内に水蒸気が充満し、水蒸気の圧力と大気圧が釣りあう。右：放置後、ペットボトルがつぶれる前の状態。ペットボトル内の温度が下がり、水蒸気が冷えて水 (体積が1/1000) となり、ペットボトル内部の圧力が下がる。

実験の後、実験結果を理想気体の状態方程式を使って考察するという課題を出し、レポートの作成を宿題にした。その際、考察のヒントとして図-1、-2を示した。

3回目の授業では、提出されたレポートに対してコメントをした。その際、良く書けていると思われる2名の学生のレポートを印刷してクラスに配布し紹介した。授業前に2人に確認したところ、1人が発表するとのことだったので、その学生にレポートのプレゼンテーションをしてもらった。50人以上を前に話すのは慣れないとなかなか勇気があることと思うが、堂々として落ちついて分かりやすい発表をしたので大変感心した。その後、配布した学生のレポートをもとに、この実験結果の考察を学生と共にに行った。

提出されたレポートの中には、レポートとして体をなしていないものが見られたので、基本的なレポートの書き方について実験結果を考察する前にアドバイスした。最後に出席した学生全員にアンケート調査を実施した。

3. 実験結果の考察

このペットボトルの実験結果は、理想気体の状態方程式を用いると、次のように考察することができる。

ペットボトルに約100℃のお湯を入れ、ふたをして2~5秒よく振る。次にお湯を捨て、ふたをした瞬間、ペットボトル内には水蒸気が充満し、水蒸気の圧力は大気圧（1気圧）に等しい（図-2左）。このときのペットボトル内の水蒸気の圧力を p_1 （=1気圧）、体積を V_1 、モル数を n_1 、絶対温度を T_1 （~373K）とすると、状態方程式

$$p_1 V_1 = n_1 R T_1 \quad \cdots (1)$$

が成り立つ。ここでまだペットボトルはへこんでいないので、 V_1 はつぶれる前のペットボトルの体積（500 ml）である。

お湯を捨ててふたをして気体の温度が室温付近に戻ったが、まだペットボトルがつぶれていないときの気体について考える（図-2右）。体

積は V_1 である。圧力を p_2 、モル数を n_2 、絶対温度を T_2 （~293K）とすると、

$$p_2 V_1 = n_2 R T_2 \quad \cdots (2)$$

となる。ペットボトル内の温度が下がり（ $T_1 > T_2$ ）、水蒸気が凝縮して水となったことで水蒸気のモル数は減る（ $n_1 > n_2$ ）。したがって（1）、（2）式より $p_1 > p_2$ が導かれる。ペットボトルの外側の大気圧（1気圧）よりペットボトル内部の圧力が小さくなるので、ペットボトルは大気圧によってつぶれる（図-1）。

以上が標準的な考察と思われるが、学生のレポートを読むと次のように考えた者がいた。熱湯をペットボトルに入れてそれを捨てた直後、ペットボトルから湯気が出ているのを見て、このときペットボトル内の気圧はまわりの大気圧よりも高いと考えた学生がいた。これについては3回目の授業で次のように解説をした。ペットボトルのお湯を捨てた直後、ペットボトル内は大気圧であり、ペットボトルから湯気が上がるのは温度の上昇により水蒸気が膨張して周囲の空気よりも軽くなるからで、圧力が高いからではない。これを湯を入れてこぼした後のペットボトルを逆さにすると湯気が出ないということを実験（図-3）で示して納得させた。もし圧力が高ければ逆さにしたペットボトルの口からも下向きに湯気が出るはずであるが、実験をしてみると出ないので、学生はこのときのペットボトル内の気体の圧力が大気圧と同じであることが分かったようだった。



図-3 ペットボトルに入れたお湯を捨てたとき、ペットボトル内が大気圧（1気圧）であることを示す実験の概念図。

上向きのペットボトル（左）からは湯気が出るが、ペットボトルを下向きにする（右）と出ない。

2回目の授業で考察のヒントを出した際に、水蒸気が冷えて水となり、体積が1/1000になったという表現を使ってしまったので、「ペット

ボトルがつぶれたのは水蒸気が水になったことで体積が減ったから」と考えた者がいた。水蒸気が水になることで確かに体積は小さくなるが、水蒸気としてはモル数が少なくなると考えた方が良く、つぶれた原因は圧力が小さくなったためであると解説をした。また圧力が下がるのにモル数と温度のどちらが効いているか、できればレポートで考察するようにと学生に伝えた。これは初学者には難しいかと思ったが、1名の学生が「温度が約100℃から20℃まで下がり、温度差が80℃と大きいので、温度の方が効いているのではないかとレポートに書いた。実際はペットボトルのつぶれ方（写真-1下のように、放置後1ヶ月もするとぺしゃんこになる。ここでの温度は絶対温度なので、温度の低下だけでは体積は20%程度しか減少しないと見積もられる）から、モル数の減少の方が効いていると考えられることを簡単に話した。

ところで、学生が書いたレポートを読んで以下の点が気になったので、授業でレポートへのコメントとして次のことを学生に伝えた。状態方程式を使うという課題だったので、当然レポートには状態方程式が書かれているものと思ったが、そうではないものがあった（5名）。式だけを書いて方程式やそこに使われている変数の説明をしていないもの、また式のみを書き論理的な文章の記述が全くないものが予想以上にあった。これでは読んでも何を言っているのかさっぱり分からない。「後は読み手が考えろ」ということなのだろうか。論理的に説明する文章を書いて初めてレポート（ひいては報告書や論文）になることを伝えた。学生は1年生であるが、「テストで答案を書く」ということには慣れていても、自分の考えを科学的、論理的に文章で説明することや、人に読ませて納得させる文章を書くということがまるでできていないことに驚いた。又できれば考察から得られた結論までを書いてほしかったが、それができていたのはほんの数名であった。今後の訓練が必要である。

ある学生がレポートに「今回使用したのは

500 mlのペットボトルだったが、これが1.5 Lのペットボトルだったり、2 Lのペットボトルだったりしたら、どんな変化が起こるのだろうと思った」と書いていたので、3回目の授業で実際にやってみた。500 mlのときに比べつぶれるのに時間がかかったが、へこむときの音が大きく、また予期しない時にバキ！と鳴る音が教室に響いて楽しい実験になった。大きなペットボトルは演習実験のときに使うと良いのではないかと思った。

4. 学生へのアンケート調査

3回目の授業で履修者54名に対してアンケート調査を実施した。目的はこの一連の授業が学生の実験力を高める上で有効だったかどうかを調べることである。回答内容は成績評価に関係しないことを明記して自由に書いてもらった。アンケート内容と結果の抜粋を表-3に、アンケートの記述回答の抜粋を表-4に示す。

表-3 アンケート内容と結果の一部

1. 学生実験について：	
(1) 実験でした役割。実際に実験を行った	34%
(2) 実験の感想。	
(3) 教員としてこの実験を生徒にさせる時、気をつけよう、または工夫しようと思ったこと。	
2. 実験結果の考察について：	
自分で実験結果を考察したことは有意義だったか。またその理由。	
有意義だった	87%
あまり意味がなかった	6%
意味がなかった	0%
回答なし	7%
3. 考察の解説と学生レポートへのコメントについて：	
解説によって実験の意味がわかり、物理法則（状態方程式）の理解が深まったか。またその理由。	
解説で意味がわかり、理解が深まった	76%
解説で意味がわからず、理解できなかった	7%
解説がなくても意味がわかり、理解できた	6%
4. 理科教員になったときにこの実験を授業で使おうと思ったか。またその理由。	
演習実験をしたい	17%
生徒に実験をさせたい	67%
使おうとは思わない	9%
回答なし	6%

5. 理科教員になったときにこの実験をどのような授業で使おうと思ったか（複数回答）。
- 状態方程式 26%、大気圧・気圧 48%、
状態変化 20%、その他 4%、回答なし 9%
6. 理科教育における演示実験／生徒実験への意見。

表-4 アンケートの記述回答

1 (2) 学生実験の感想

○人数に関するもの

- ・グループの人数（5～6人一組）が多く、見ているだけの人が多かった。またグループメンバー同士の連携がとれていなかった。

○驚き、発見に関するもの

- ・ペットボトルのフタを閉めてすぐではなく、しばらくしてからいきなりベコッとへこんだのでびっくりした。
- ・目の前でペットボトルがつぶれた時、大気圧の存在を目で確認して実感することができ、すごいと思った。

○楽しさに関するもの

- ・楽しかった。理想気体の状態方程式だけを知るよりも、理解が深まった。

○実験方法に関するもの

- ・簡単な道具で手軽にできる実験で、結果が分かりやすくおもしろい。

1 (3) 実験をさせる時の注意や工夫として考えたこと

○人数について

- ・みんなが実験できるように1グループ2、3人が妥当だと思う。

○危険への配慮について

- ・生徒が火傷をしないように軍手と注ぎやすいポットを用意する。お湯を捨てる際にも飛び散って火傷をしないようにする。
- ・危険から身を守るのは自分だから、まず何に気を付けるべきかを説明する際に問いかけ、自分で考えるという段階をおく。
- ・実験前にきちんと危ない点を伝える。

○実験や指導の工夫

- ・ペットボトルのフィルムは前もってはがしておく中が見えやすい。
- ・先生は水でお手本を見せて、その直後に生徒にさせる。実験結果の成功例は後で見せる。
- ・実験の前に予想をさせる。

2 実験結果を自分で考察したことについて

○考察は有意義だった

- ・考えたことを言葉で表したりまとめることで頭の中が整理された。
- ・考察によりその現象を理解することができた。
- ・自分が分からないところを確認できた。
- ・高校までは問題を解く練習ばかりをしてきたが、大学では問題の発見、そして自己解決が求められるから良い練習になる。
- ・本で見て知ったのではなく実際にやって経験したので、なぜそうなったのかを自分への問いとして考えることができた。

3 考察の解説と学生レポートへのコメントについて

○解説で意味がわかり、物理法則の理解が深まった

- ・自分が理解していると思っていた時よりも深い次元で理解ができた。
- ・どのような流れでこの公式を用いることができ、どのようなメカニズムでこの結果に至ったかが分かった。
- ・温度が下がることで気体のモル数が下がるなど、解説によって理解できた部分が多かった。
- ・他の学生のレポートを見ることで自分のレポートとの違いを知り、良いところを吸収できた。

4 理科教員になったときにこの実験を授業で使おうと思った／思わなかった理由

○演示実験をしたい

- ・材料がそろえやすく、容易に行うことができるから。

○生徒に実験をさせたい

- ・生徒には科学を教科書の中だけでなく身近に体験することで理解してほしいと思うから。
- ・理想気体の状態方程式や圧力を実際に見て学べし、本当のイメージから方程式の意味を理解できるから。
- ・生徒にさせた方が授業も充実しそう。
- ・自分も実際に実験することによって学ぶものがあったから。
- ・自分が味わった感覚や楽しさを生徒にも感じて欲しいため。
- ・材料等の準備や実験が簡単なもので、とても大気圧について分かりやすいから。
- ・あまり危険な実験ではないし、自分で実験をすると生徒たちの記憶に残りやすい。

○使おうとは思わない

- ・時間が足りないと思ったから。

6 理科教育における実験への意見

- ・実験をすることで器具の扱い方を学んだり、授業内容の理解が深まると思うので良いと思う。
- ・実際に生徒に実験をさせた方が楽しく学べて良いと思う。
- ・理科教育の根本は興味・好奇心に基づくべきであると思うので、積極的に行う方がよい。
- ・どんどんやって、生徒に「体で覚えてもらう」ことで教科書で見るとよりも記憶に残ると思う。
- ・生徒の興味を引いたり授業での楽しみとして実験を行うのはいいことだと思う。
- ・物理を好きになってくれる一つの方法と思う。
- ・生徒全員が実験に参加できるようにしたい。
- ・実験を見せるだけでなく学生にもさせることでその現象についての興味をもつことができる。
- ・理科教員になったら、実験だけでなく解説も一つ一つ丁寧に教えることを心がけたい。
- ・安全に実験をするためにも、危険行為について指導する。今回の実験のように、安全にすることを第一と考えているので、生徒の身に危険がおよぶような実験はしない。
- ・実験は楽しいことであるが、危険でもあるので、どちらも分かってもらえると良いと思う。
- ・理科の授業は、実験が一番おもしろい所だと思うのもっとしたい。
- ・実験をした方が覚えるので、実験をもっとしてほしい。

5. アンケートからの考察

アンケート結果よりこの授業の有効性について考察を行った。

5.1 学生実験について

5~6人のグループワークであったため、実際に実験を行ったのは34% (表-3-1 (1)) で、実験を行えなかった学生が66%となり、このことへの学生の不満が大きかった(表-4-1 (2))。自分が生徒にこの実験をさせるときには3名以下の少人数で行いたいとした学生が多かった(表-4-1 (3))。しかしながら60名のクラスで3人1組のグループを作ると20グループとなり、簡易なものとはいえそれだけの数の用具の準備や教室のスペースを考えると今回は現実的ではなかった。学生が生徒への実験指導を考える上で問題提起にはなったと思われる。

学生の感想(表-4-1 (2))からは、実験を楽しみ、ペットボトルがつぶれる現象から大気圧を実感して驚いた様子が伝わった。身のまわりにある道具で簡単に実験ができるのが良く、また結果が分かりやすくて面白いという意見もあった。1回目の授業で行った演示実験で一度結果を見ていたはずだが、自分で実験すると新たな驚きや発見、楽しさがあったようである。「教員になったときにはこの実験を演示実験や生徒実験として授業で使いたい」と84%の学生が評価した(表-3-4)。

この実験では、熱湯を使うので火傷の危険があるが、これについても実際に自分で実験を試みることで、教員としてどういう準備・指示・配慮をしなければならないかを考えることができていた(表-4-1 (3))。「危険から身を守るのは自分だから、まず何に気をつけるべきかを説明する際に問いかけ、自分で考えるという段階をおく」という、私には思いつかなかったような事故防止指導を考えた学生もいた。また実験の工夫として「先生は水でお手本を示し、その直後に生徒にさせる。実験結果の成功例は後で見せる。」という提案をした学生もいた(表-4-1 (3))。

5.2 実験結果の考察について (レポートの提出)

「教師から結果の解説をすぐに聞くのではなく、自分で考察したことは有意義だった」という回答が87% (表-3-2) で、学生は主体的に考察することの意義を見いだした。レポートを見ると科学的な考察としては不十分なものが多かったが、実験だけで終わらせずにその結果の意味を自ら考えて書くという作業で、頭の中が整理されること、深い理解ができること、また自分の分からないところも判明することを体験した(表-4-2)。「高校では演習問題を解く練習ばかりをしてきたが、高校までとは異なり、大学では問題の発見、そして自己解決が求められるから良い練習になる」という記述もあり、大学で受験勉強ではない物理学を教えるという私の責任を感じた。

5.3 実験結果の考察の解説、学生のレポートへのコメントについて

「教師の解説によって実験の意味がわかり、状態方程式の理解が深まった」という回答が76%だった(表-3-3)。レポート(自らの考察)までの段階では分かっていなかったことが、教師の解説を聞いたり他の学生のレポートを見たり発表を聞くことで理解が深まったと感じていた(表4-3)。それも自分で実験してその印象や記憶が強く残っていたため、とした学生がおり、学ぶ上で実験をする重要性が示された。

一方、「解説を聞いても実験の意味が理解できず、状態方程式が理解できなかった」という回答が7%あった(表-3-3)。未履修の学生が変数の多い状態方程式を扱うことはたやすすくないことを表すものであろう。今回のことで彼らが物理学への苦手意識を増長させないことを願う。同じクラスで理解度の違う学生を同時に教えることは難しいことである。

5.4 この実験を使った授業について

理科教員になったときにこの実験を授業で使おうと思ったかという設問に対しては、演示実験をしたいが17%、生徒に実験をさせたいが67%であった(表-3-4)。その理由として、実際に自分で実験をして楽しかったり、法則を理解するのに実験を体験することが有効だと分かったことが大きかったようであった(表4-4)。「自分が味わった感覚や楽しさを生徒にも感じて欲しい」という記述があり、多少準備が大変だったが学生に実験をさせて良かったと思った。

生徒に実験をさせたい理由として、「生徒には科学を教科書の中だけでなく身近に体験することで理解してほしいと思う」という高い意識の学生がいることは頼もしく、また「生徒にさせた方が授業も充実しそう」という授業作りを考えた上での回答もあった。安価なペットボトルで分かりやすく印象に残る実験が簡単にできるという実験そのものへの評価もあった(表4-4)。一方、「時間が足りないと思ったからこの実験を授業で行おうとは思わない」と回答した者が1名いた(表-4-4)。これは実験は有意義

であるが、それを有効に使う授業を行おうとすると時間がかかり、他のことを学ぶ時間が少なくなるという問題点を把握しているための意見だと思われる。

理科教員としてこの実験をどのような授業で使おうと思ったかという設問については、大気圧・気圧が48%で最も多く、次に状態方程式が26%、水蒸気から水への状態変化が20%の順であった(表-3-5)。学生はこの実験が地学、物理学、化学といろいろな理科の分野で使えることに気づいた。またこの実験を、「生徒に家でもできる簡単な実験があるということをお教えるときに使いたい」という記述(1名)があった。実はこの実験を私が初めて知ったのは、通信課程の高校で生徒が自宅で行う科学実験としてレポート課題³⁾に出されていたものを見た時であった。将来、学生は色々な形態で中高生に理科を教えることになる。学校に登校しない生徒に教えることや、夏休みの自由研究例を設定すること、設備の整わない教室で実験することも考えられる。この実験は家でも、設備のない教室でもできる科学実験の良い一例である。

5.5 理科教育における実験の役割について

授業の最後に学生に理科教育における演示実験や生徒実験の意義を考えさせた(表3-6、4-6)。実験を取り入れた授業については非常に肯定的な意見が多数であり、否定的な意見は一つもなかった。この授業を受けた学生は、教師になった時、積極的に生徒に実験をさせて楽しく学ばせ、興味を持たせ、理解を深めさせ、記憶に残るようにさせようと考えていた。「生徒の興味を引いたり授業での楽しみとして実験を行いたい」「実験を物理が好きになってくれる一つのきっかけにしたい」という意見も、実際に日頃物理の授業で演示実験を多く行って授業を盛り上げようと苦心している私としては同感するものであった。「理科教員になったら、実験だけでなく解説も一つ一つ丁寧に教えることを私は心がけたい」と書いた学生もおり、実験を取り入れた授業の全体像についても良く理解し、考えていることが分かった。

教師としてではなく、自分自身も実験を通し

て学びたいという訴えもここには綴られていた。アンケートには「実験をした方が覚えるので、実験をもっとしてほしい」や「実験をたくさんしたい」という記述があった。これらは私に向けられたものであり、自分の授業を考え直さなければならない。

まとめると、学生が自ら行う実験を取り入れた授業を経験したことは、自らの理解においても、また今後教員となり生徒に教えるときの実験力をつける意味でも大変有効であったと考えられる。受講者数の関係で全員が実験をできなかったことが反省点であるが、多くの学生が実験結果に驚いてそれを楽しんでいた。また自分の手を動かして実験を行い、考え、その上で理解したことは式だけを知るよりも深い理解につながったと答えていた。実験を取り入れると授業が楽しくなり、自然現象をより深く、主体的・対話的に体験・理解することになり、その結果としてより良い学習になるということを実感していた。また教師として実験を指導する上で、危険回避のためにどのような準備・指示・配慮をしなければならないかを考えることもできていた。さらにこの授業を履修した学生は、将来教員になったときに実験を取り入れた授業を積極的に行いたいという意欲を示していた。今回のアンケート結果からはこの意欲が本授業を受けたことにより高まったものなのかどうかを判断することは残念ながらできないが、例えば野外観察を実践する意欲を持たせるには「野外地層観察学習」の体験が必要であるという先行研究⁶⁾がある。今回も、「主体的・対話的で深い学び」である実験を取り入れた授業により、学生の意欲が向上したものと思われる。

今後は、意識の変化の定量的な調査と、限られた時間の中で授業にどのような改善を加えていけば、より学生の実験力を高めることができるのかを検討していきたい。

6. おわりに

今回は学生の真摯な姿勢やきらめくような感

性を見ることができ、心洗われて私も良い授業をしなければと身が引き締まる思いがした。

アンケートから学生は自分自身が授業中に実験をすることも強く望んでいることが分かった。今まで受講人数や教室環境設備の問題もあり、講義では演示実験のみをしてきたが、今後は学生自身にさせる実験も考えて取り入れたいと思った。

謝辞

総合教育センターの瀬口春一講師には理科教員の養成について本稿の執筆のきっかけとなる提言をいただき、執筆に必要な資料と本稿への貴重なご意見をいただいた。感謝申し上げます。

参考文献・サイト

- 1) http://www.mext.go.jp/component/a_menu/shotou/new-cs/index.html
- 2) 文部科学省 中学校学習指導要領（平成29年告示）解説 理科編 平成29年7月
- 3) 東海大学付属望星高等学校 2012年度秋学期 物理基礎 添削指導レポート第5回
- 4) 米村でんじろう監修 すごい！うちでもこんな実験ができるんだ！ 主婦と生活社 2006
- 5) 山田暁司 実験マニア 亜紀書房 2013
- 6) 高橋典嗣 野外地層観察学習の実践的指導力を身につけるための教育実践－理科教員養成課程における野外地層観察学習の取り組み－ 武蔵野教育學論集 2017年2号