

中学校理科における雲生成過程の実験と教材の提案

奥 勇一郎, 崎村 真優*
社会環境部門, *株式会社多田スミス

Proposal for an Experiment on Cloud Formation Process for Meteorological Education in Junior High School

Yuichiro OKU, Mayu SAKIMURA

School of Human Science and Environment,
University of Hyogo
1-1-12 Shinzaike-honcho, Himeji, 670-0092 Japan

Abstract: Clouds are familiar to us, and the saturated vapor content and dew point, which are related to the cloud formation mechanism, are taught in first and second grade science classes. On the other hand, an appropriate understanding of the cloud formation process requires an understanding of the adiabatic change process and the function of cloud condensation nuclei. However, since these are advanced topics that are outside the scope of the Courses of Study for junior high school students, it is essential to provide effective teaching materials for students to learn these topics. In this report, we propose a lesson timeline, slides, and worksheets for learning the cloud formation process, and a lesson with individual experiments by students with a few simple materials.

Keywords: meteorology, cloud, science experiment for education

1 はじめに

中国湖北省武漢市で 2019 年 12 月に発生が報告された新型コロナウイルス感染症は世界各地に拡大し、コロナ禍をもたらした。咳や飛沫を介しての飛沫感染により拡大することから、発生当初から人が密集・密接・密閉するいわゆる三密の空間を避けることが感染拡大防止策として推奨され、教育現場において対面授業が再開されてからも学校生活の中で三密を避ける等の対策が継続された。文部科学省(2021)によると「感染症対策を講じてもおお感染のリスクが高い学習活動」には、例えば各教科に共通する活動として「児童生徒が長時間、近距離で対面形式となるグループワーク等」及び「近距離で一斉に大きな声で話す活動」のほか、理科における「児童生徒同士が近距離で活動する実験や観察」が対象とされており、コロナ禍における理科教育コンテンツの開発にはこのような対策がなされている必要がある。

一方、地球温暖化による影響を受けて頻発する傾向にある大雨であるが、その雨のもととなるのが雲であることから、雨や雲の成り立ちすなわちそれら生成過程を理解する

ことは、単に自然科学を学ぶだけでなく、今まさに進行している地球温暖化とその諸問題に対して関心を持つ、あるいは適応策を考える素地を醸成する上で極めて重要である。その雲の生成過程に関連する内容は初等教育で学ぶ。小学校学習指導要領(文部科学省, 2017a)を参照すると小学校理科における第 4 学年「(2)金属、水、空気と温度」で水の状態変化について、中学校学習指導要領(文部科学省, 2017b)によると中学校理科における第 1 学年の第 1 分野「(2)身の回りの物質」で物質の状態変化について、第 2 学年の第 2 分野「(4)気象とその変化」で雲の発生について、それぞれ学習する。また、雲の生成過程を学ぶための実験としてフラスコと大型注射器や空のペットボトルとペットボトル内の炭酸を抜けていくキャップを用いて雲の発生を可視化する方法を授業で行う取り組みが普及しつつあり(たとえば、戸倉, 2002)、インターネットで実験方法の紹介や実験の動画を閲覧することが可能である。花田と中田(2015)における仙台市内の中学校理科教諭を対象とした中学校理科気象分野における学習指導に関するアンケート調査では、露点を求める生徒実験を実施した教

論は 56 校 117 名中 90 名、簡易真空装置を用いた雲のでき方を調べる生徒実験を実施した教諭は同 89 名だった。このように雲のでき方に関する実験は多くの教諭が実施している一方で、その科学的本質である「霧や雲の発生について、そのでき方を気圧、気温及び湿度の変化と関連づけてとらえている」という項目について生徒が「できている」または「どちらかというできている」と考えている教諭が 58%しかいないことが示された。これは、雲の生成過程を学ぶことが、それぞれの学年に対応した教育内容で構成されており、雲の生成過程として一部学習指導要領の範囲外となる内容を含めて一貫した学習機会や教育コンテンツが提供されているとは言いがたいことに一因があると考えられる。この問題点に着目し、小池ら(2022)では、これまでの学習指導要領や教科書における雲生成過程の学習の変遷を詳細に調べ、教員による演示実験の教材を開発している。

理科授業における実験には、個別実験やグループ実験、クラスの代表者による実験がある。学校の限られた時間内で所定の内容を教授するためには、個々に支援する時間や個別の実験器具を用意する費用がかかる個人実験よりもグループ実験や教員による演示実験により授業を展開せざるを得ない背景がある一方で、学校において実験は児童・生徒中心に行うべきであり、個人が取り組むことこそ主体的な学習となり、実験の技能も身につくと考え、理想としては個別実験が望ましいとする意見がある。藤本ら(1996)では、個別実験・観察は主体的に関わっているという意識、自分が獲得した結果であるという満足感、操作に起因する責任感、獲得した結果が予想と一致したり、新たな発見を生んだりしたときの達成感等独自の効果を有するとしている。一方で、清水ら(2008)は個別実験と比べてグループ実験の方が、実験を早く終了することができ互いの関わりが強く生まれることといった点で有用であると報告している。個別実験とグループ実験、それぞれにおいて優れている点があるものの、コロナ禍における感染症対策の観点からは、1人1セットの実験器具を用いて実験することが望ましいと言える。しかしながら、1人1セットの実験器具を生徒数分用意すると、それなりの費用がかかることから、安全かつ安価な物品を実験器具として用いる必要がある。

本報告では、中学生を対象として雲の生成過程について学習するための個別実験の教育コンテンツを開発する。個別実験とすることで、実験器具の共用機会がなく感染症対策になる。一方、実験器具を安価かつ容易に入手可能な物品で構成することでコスト面での問題解決を図る。同時に、戸倉(2002)やインターネットで公開されているコンテン

ツには含まれていない教員が用いる授業スライドと授業案(授業進行のタイムライン)についても併せて提案する。授業スライドと授業案を示すことで、限られた授業時間で内容を構成、展開するための支援となることが期待される。

2 実験デザイン

2.1 雲の生成過程と実験概要

雲の生成過程について簡単に説明する。上昇気流により水蒸気を含む空気が持ち上げられると、上空ほど気圧が低いいため空気は断熱膨張する。断熱膨張により気温が下がり、持ち上げられた空気が露点に達するとその空気中の水蒸気が凝結し水、つまり雲の粒となるが、その際、空気中に浮遊している微小な粒子であるエアロゾルが雲の粒の核として必要である。なお、精密機器を扱うクリーンルーム等の特殊な環境を除いて、大気中には雲の粒を生成するために必要となる十分な数のエアロゾルは存在する。

開発する教育コンテンツは中学生を対象とするので、中学校学習指導要領における「(4)気象とその変化」での学習内容に基づくことが前提となるが、雲の生成過程を説明するために必要な、断熱圧縮と断熱膨張、凝結核、飽和水蒸気量、露点の各項目のうち、学習指導要領に記載されているのは飽和水蒸気量と露点のみであり、範囲外となる断熱圧縮と断熱膨張、凝結核についての学びをいかにわかりやすく取り入れるかが重要となる。

この指針に基づき教育コンテンツは、まず圧力と温度の関係性を調べる実験を、次に雲の発生を可視化する実験を行う2つの実験で構成することとした。実験で必要となる準備物は500ml程度の空のペットボトルとペットボトル内の炭酸を抜けにくくするキャップ(Fig. 1)である。小池ら(2022)で指摘されているようにペットボトルは炭酸飲料水用のものが望ましい。一方で、キャップはいわゆる100円均一ショップで入手できる一般的なものでよい。加えて、圧力と温度の関係性を調べる実験では



Fig. 1: A cap to the plastic bottle that has been left from a carbonated beverage, press the pump portion to pressurize the air to prevent soda and carbonated water from escaping.

Table 1: Temperature in the plastic bottle as a function of number of times pressing pump, n.

n	0	20	50	100	150	200
t= 30 (°C)	29	29	29	30	30	31
t=120 (°C)	29	29	29	30	30	31

Table 2: Temperature in the plastic bottle as a function of progress seconds after release pump, T.

T	30	60	90	120	150	180
t= 30 (°C)	31	31	30	29	29	29

ペットボトルに入る長さの棒状温度計（たとえばシワ測定株式会社製 H-4）が必要となる。ペットボトル、炭酸を抜けにくくするキャップ、棒状温度計の 3 点を 1 セットとして人数分用意することになるが、1 セットあたり数 100 円であり、個別実験を行う上で必要となる安価で簡単に手に入れることが可能である条件を満たす。一方、雲の発生を可視化する実験では線香とライターを使用するが、これらは人数分用意する必要はなく、教員が準備すればよい。所要時間を中学校の通常授業 2 時間とする個別実験を設計、最適化するために次節でそれぞれの実験の具体的手順およびその試行結果を示す。

2.2 圧力と温度の関係を調べる実験

十分に乾燥させた空のペットボトルとペットボトル内の炭酸を抜けにくくするキャップを用いて、ペットボトル内の空気の圧力、すなわち気圧を変化させ、それに伴う温度の変化を観察する内容の実験である。まず、空のペットボトルに棒状温度計を入れ、ペットボトル内の炭酸を抜けにくくするキャップを閉めて、キャップのポンプを押す。このときペットボトル内の空気が断熱圧縮されるため、ペットボトル内の気温を棒状温度計で測って気温が上がることを調べる。次に、ペットボトル内の炭酸を抜けにくくするキャップを開ける。このときペットボトル内の空気が断熱膨張し、ペットボトル内の気温が下がることを棒状温度計で調べる。Fig. 2 に実験手順の概要を示す。

市販されている棒状温度計は本体にガラス、感温液に着色精製白灯油が用いられているものが一般的であり、比較的安価で入手可能である。この棒状温度計を用いて正しく温度を測るためには温度を測る対象と棒状温度計が熱平衡に達してから目盛りを読む必要がある。そこで、実験で使用する棒状温度計の応答時間を調べる以下の試行実験を行った。

(1) 棒状温度計を入れたペットボトルにペットボトル内

の炭酸を抜けにくくするキャップを閉め、ポンプを n 回押し、ペットボトル内の空気を圧縮し、気圧を上げる。

(2) ペットボトル内の空気が断熱圧縮され気温が上がるが、ペットボトル内の気温と棒状温度計が熱平衡に達するまでにはある程度の時間を要するため、t 秒間の待機時間を設けて棒状温度計の示度を読み取る。

(3) キャップを開放し加圧したペットボトル内の気圧を解放する。ペットボトル内の空気が断熱膨張され気温が下がるが、(2)と同様、T 秒間の待機時間を設けて棒状温度計の示度を読み取る。

(4) (1)から(3)までについて、n=0, 20, 50, 100, 150, 200、t=30, 60, 90, 120, 150, 180、T=30, 60, 90, 120, 150, 180 で設定した実験を行う。なお、n=0 はペットボトル内の気温が全く変化しないことを念のために確認するための予備実験という位置づけである。

この試行実験の結果の一部を Table 1 と Table 2 にそれぞれ示す。Table 1 より、t=30 としたときの n=20 の昇温量に比べて n=200 のそれが 1°C 以上高く、いずれの t においても同じ傾向が見られた。t が小さいほど授業時間の短縮になるため t=30 とした。次に、Table 2 より、t=30、n=200 としたときの T=120 のときに温度変化が適切に読み取れることがわかった。T と比べて t の値が小さくてすむのは、(3)ではキャップを開放した瞬間に断熱膨張が完了してしまい熱平衡に達するまでの時間を要するのに対して、(1)ではポンプを押す作業に一定の時間を要することで、断熱圧縮の進行が緩やかであるため熱平衡に達するまでの時間が短くてすむことによる。

試行実験の結果から、実験デザインとして t=30、T=120 が適切であると判断し、n=20 と n=200 の違いを調べる内容を取り入れることとした。これを実験 1 とする。



Fig. 2: Schematic overview of procedures for experiment 1.

2.3 雲の発生を可視化する実験

内部に液滴がつくくらい十分に水で湿らせたペットボトルに凝結核を模した線香の煙を封入し、前節の手順で実験 1 を行うことで、ペットボトルに雲を生成させる内容の実験である。まず、ペットボトルに水を入れてよく振った後、ペットボトルを逆さまにして水滴が落ちる間隔が 5 秒以上になるまで水をペットボトル外に流出させる。ペットボトル内の水の量を生徒間でできるだけ均一化させるための工夫である。次に、ペットボトルを逆さまにした状態で火のついた線香の先をペットボトルの口に近づけ、5 秒間静止させて煙をペットボトル内に入れる。ペットボトル内の炭酸を抜けにくくするキャップを開けて、キャップのポンプを押す。ペットボトル内には雲の生成のために必要となる水蒸気と凝結核が供給されたことになる。次に、ペットボトル内の炭酸を抜けにくくするキャップを開ける。キャップを開けた瞬間にペットボトル内の空気が断熱膨張し、ペットボトル内の気温が下がることで線香の煙を凝結核としてペットボトル内の水蒸気が凝結して雲の粒がつくれ、ペットボトルの内部全体が白く曇る、すなわち雲が生成されるので、その様子を観察する。Fig. 3 と Fig. 4 に実験手順の概要を示す。

この実験では、雲の生成過程において水蒸気だけではなく凝結核が必要であることを理解させることに主眼を置くため、線香の煙の有無による実験設定とする。試行実験では、 $n=20, 200$ に対して、線香の煙の有無によって雲の生成が観察できるか調べた。その結果、線香の煙を入れなかった場合は $n=20, 200$ とも雲が生成されず、線香の煙を入れた場合は $n=20$ に比べて $n=200$ の方がより明瞭に雲の生成を確認することができた。以上の結果から、線香の煙を入れない場合を実験 2 (Fig. 3)、入れる場合を実験 3 (Fig. 4) とする。

3 授業デザイン

3.1 授業案

授業実施者(教員)が授業案を見ることで容易に授業を進めることができるよう、授業の進行手順を記載した授業案を作成した。授業の構成は導入および実験の説明、実験 1 の実施、実験 1 の解説、実験 2 と実験 3 の実施、実験 2 と実験 3 の解説、まとめとした。

導入では「雲とは何か?」について学習対象者(生徒)に考えてもらう。雲が物質としての水でできていることを理解している生徒は多いが、水の気体(水蒸気)、液体(水)、固体(氷)であるかまで適切に理解している生徒は比較的少なく、とりわけ水蒸気が無色透明であることを気づかせる狙いがここにはある。これら 3 つの選択肢を呈示し、正しいと思うものに対して挙手を求める等で生徒がどのくらい雲そのものについて理解しているのかを把握する。

実験 1 では、前述のように圧力と温度の関係を調べる実験を行う。実験 1 の解説では、実験 1 の結果を確認しながら断熱圧縮と断熱膨張について説明する。また、実際の気中での雲の生成過程について簡単に説明する。実験 2 と実験 3 では、前述のように雲の生成を可視化する比較実験を行う。実験 2 と実験 3 の解説では、実験 2 と実験 3 の



Fig. 3: Same as Fig. 2, but experiment 2.

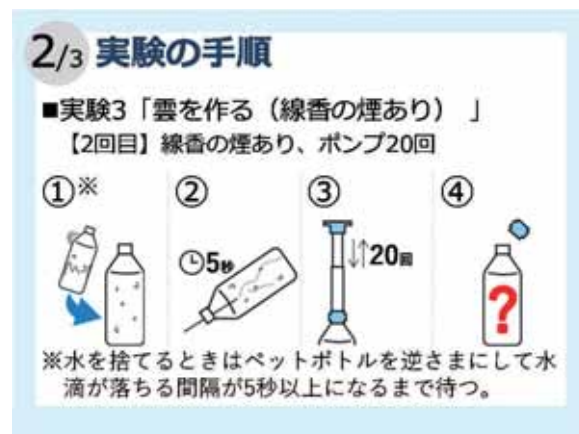


Fig. 4: Same as Fig. 2, but experiment 3.

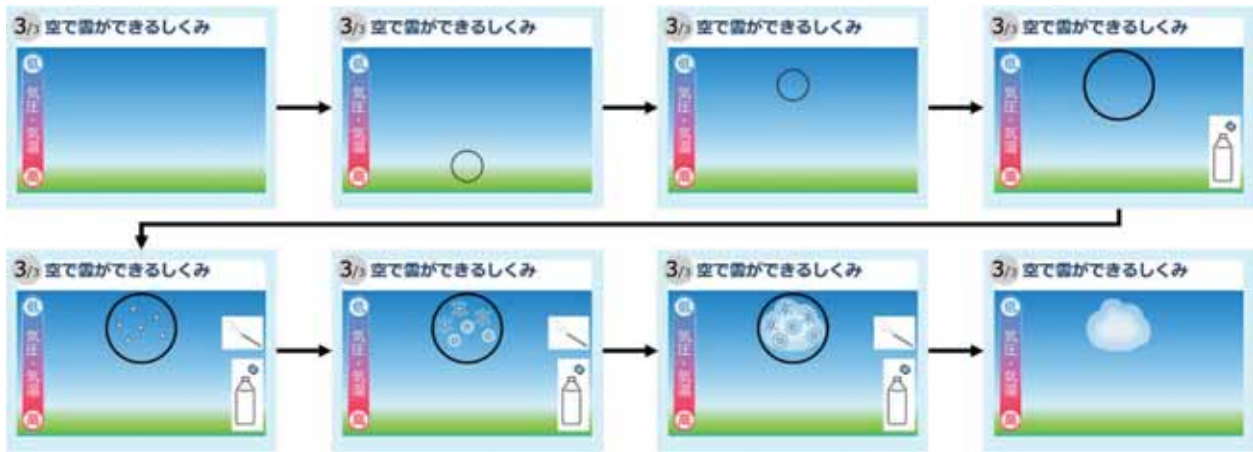


Fig. 5: An example of animation on a class presentation slide.

結果を確認しながら凝結核と飽和水蒸気量、露点について説明する。まとめでは、実験での雲の生成過程と実際の大气中の雲の生成過程について説明する。

3.2 授業用スライド

授業案に基づき、授業を展開する際に用いる授業スライドを作成した。作成するにあたり、重要語句は文字の色を変えたり、図やアニメーションを多用したりすることで視覚的にわかりやすくなるように留意した。実験結果と重要語句、空での雲の発生過程を関連付けることで雲の生成過程について実感しやすくなるように工夫した。たとえば、実施の大气中における雲の生成過程を説明するためのスライドでは、ペットボトルでの実験と対応させたアニメーションを使って雲の生成過程を表現している (Fig. 5)。断熱膨張や凝結核の説明のときに対応する実験手順のイラストを載せ、生徒が行った実験とも関連付けられるようにした。

3.3 ワークシート

授業案に基づき、生徒に配布するワークシートを作成した。ワークシートは実験の手順を示す内容や、授業の要点をまとめる内容で構成されており、必要に応じて空欄を設け、生徒自らが語句を書き込むことでまとめが完成するようになっている。とりわけ、実験 2 と実験 3 のまとめでは、図を描く仕様とした (Fig. 6)。ここでは、水蒸気が凝結して液体の水となる凝結の過程を、水蒸気を模した○印を筆記具で塗りつぶして●印とする作業を介して理解できるようにしている。また、実験 3 においてポンプの押し回数の違い、すなわち断熱圧縮における加圧の大きさの違いによって水蒸気が凝結して液体の水になる量に差が生じることを、○印や●印の数の差として表すことで可視化している。これらの作業をあらかじめワークシートに描か

れている飽和水蒸気量と気温の関係を表す曲線で行うことで、断熱圧縮および断熱膨張による温度、水蒸気量、凝結した水の量の相互関係について理解が促されることを期待している。

4 授業の実践

4.1 実施概要

開発した教育コンテンツを用いた授業を、2021 年 10 月 19 日に著者の崎村が授業実施者となり兵庫県立大学附属中学校におけるプロジェクト学習の活動の一環として、同校担当教員の同席の下で実施した。学習対象者は同校 2 年生のうち 14 回生プロジェクト学習気象班の 7 名 (男子 4 名と女子 3 名) である。この班のプロジェクト学習では、生徒自らが製作した百葉箱による気温観測を行い、学校とその周辺地域における暑熱環境の違いについて調査研究を行うことを目的とした活動を展開しており、学習対象者となる 7 名はいずれも気象学についての興味や関心が比較的高い生徒らである。なお、中学校学習指導要領における「(4) 気象とその変化」の内容については、すでに通常授業において実施日の約 1 ヶ月前に学習したところであった。そのため、今回の授業は「(4) 気象とその変化」における「(イ) 天気の変化」の「ア 霧や雲の発生」の「霧や雲の発生についての観察、実験を行い、そのでき方を気圧、気温及び湿度の変化と関連付けて理解すること。」の内容の理解度の確認がねらいとなる。

授業開始直後の導入部分である「雲とは何か？」の質問に対しては、7 名中 5 名が水または氷と答え、残りの 2 名が水蒸気と答えた。このことから、雲について理科の授業で学習した直後ではあるものの、十分に理解できていない生徒もいることがわかった。実験では生徒個人が主体的に行っており、中には「ポンプを押し回数をさらに増やせば、雲がさらにはっきりと見えるのではないかな」と考え、ポン

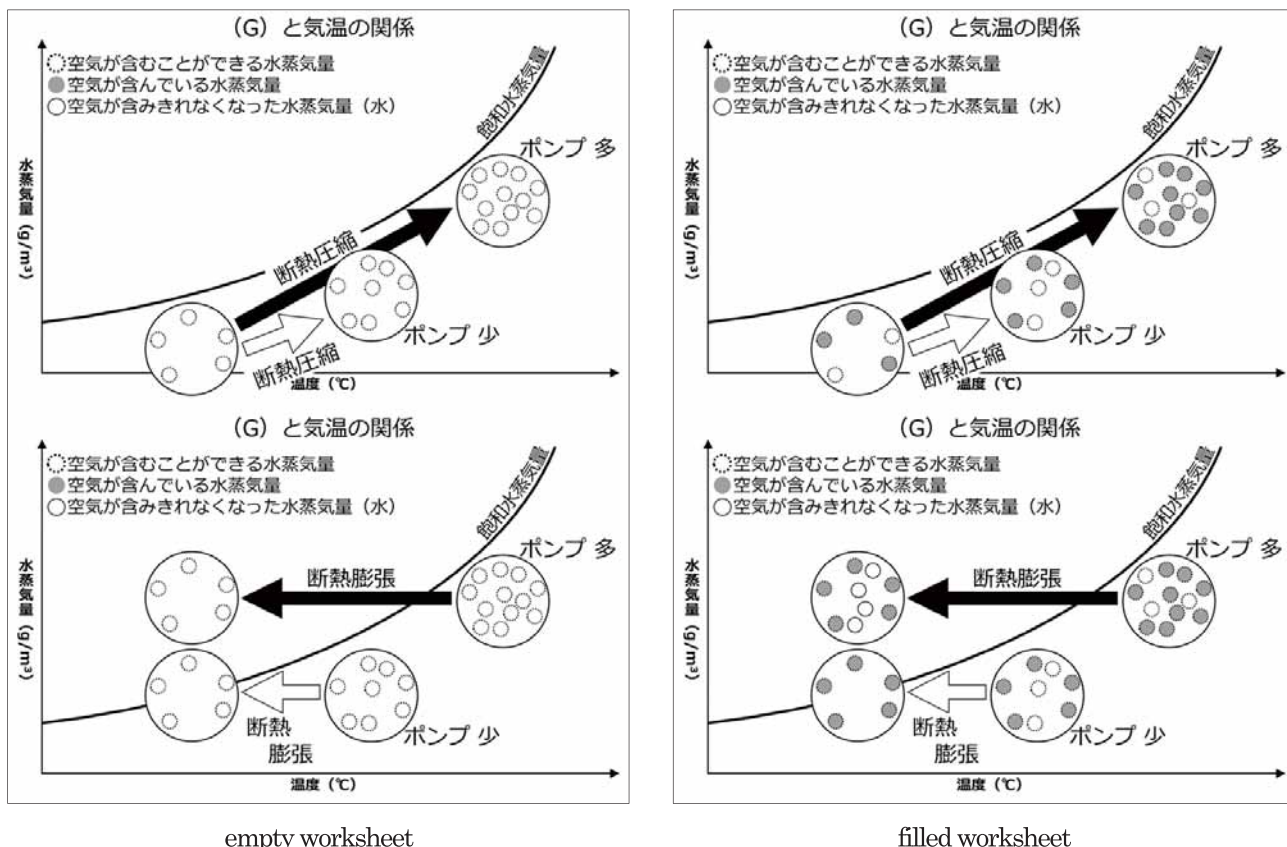


Fig. 6: An example of worksheet and fillings.

プを押す回数を 400 回にして実験をしていた生徒もいたことから、藤本ら(1996)で指摘されている高い学習意欲を示したものであると考えられる (Fig. 7)。

4.2 授業実施による学習到達度に関する考察

生徒には授業の実施前と実施後において「空で雲ができる仕組みついて、露点・断熱膨張・凝結核の語句を使ってできるだけ詳しく説明しなさい」という雲の生成過程を説明する旨の課題を与えた。ここでは提出された記述内容か

ら授業実施による雲の生成過程の理解の到達度について考察する。

ある生徒の記述では、授業前に「海上で海水が熱っされて、水蒸気が断熱膨張をして、上昇気流が出来て、雲となる。」だったのが授業後は「空気が上昇して、断熱膨張をする。そして、露点よりも空気が低くなったときに凝結核が水や氷の粒となって雲が出来る。」となった。別の生徒の記述では「海や川、湖などから蒸発した水蒸気が上昇気流に乗り上昇する。その水蒸気が上空で露点まで冷やされ、



Fig. 7: Photos of students conducting experiment suggested in this report in classroom.

小さな水滴になる。」だったのが、授業後は「水蒸気を含んだ空気が上昇し、気圧が下がる。すると、空気が断熱膨張し、飽和水蒸気量が減る。また、空気が露点まで冷やされ、水ができる。空気中のちりを凝結核とし、水や氷の粒が固まって雲が出来る。」となった。いずれの生徒も授業前は露点という単語を使っていないが、授業後は気温が露点に達すると水蒸気が凝結し始めるという内容の記述ができていた。また、授業前は断熱膨張が上昇気流を発生させる旨の記述になっていたのが、授業後は上昇気流によって空気が断熱膨張して気温が下がる等、断熱過程について適切に記述できるようになっていた。雲の生成過程とそれに関連する物理について授業スライドでアニメーションを用いて解説したことが、適切な記述につながったものと思われる。さらに、授業後は水蒸気が凝結するときに凝結核が必要であるとの記述ができていた。これらから、中学校学習指導要領の範囲内である飽和水蒸気量と露点に関する理解がより深まったこと、範囲外となるものの断熱圧縮と断熱膨張、凝結核を関連してより適切に雲の生成過程を理解できたこと、を示せたものと判断できる。

戸倉(2002)等の先行研究で指摘されている個別実験を取り入れ、個別実験のメリットである学習に主体的に関わっているという意識とその責任感、それらに対して実験結果が自分自身で獲得したものであるという満足感、得られた結果が予想と一致したり、新たな発見を生んだりしたときの達成感が、理解度を向上させる一因になったものと考えられる。加えて、実験器具を共有せずにもつこと、コロナ禍においては感染症対策がなされた教育環境を提供できた。さらに、高価で手に入りにくい実験器具を用いず、ペットボトルやペットボトル内の炭酸を抜けにくくするキャップといった身近なものを使って雲を自ら作り出すことができるという意外性によって、生徒の興味や関心を引く効果を高めたと考えられる。また、作成した授業スライドには雲の生成過程をアニメーションで示し、ワークシートではそれを描画作業で学ぶといった工夫を施したことも、適切な理解をもたらす一因になったものと思われる。

4.3 授業の感想

学習到達度とは別に授業の感想について生徒に問いかけたところ「私は最初、理科の授業を受けているというのに雲は水蒸気でできているとかんちがいしていましたが、こうして自分たちで実際に実験をして楽しく理解できることがとてもうれしかったです。また、初めから雲ができる実験をして雲をつくる条件を知るのではなく、1回目、2回目、3回目と『なぜこの条件なら雲はできなかったの

か』ということの一つ一つ考えながら実験を進めることができたので理解もしっかりとできたので良かったです。テストで雲のことについての問題があったらこの実験のことを思い出してどの条件とどの条件が必要なのかを考えて取り組みたいと思いました。」や「雲のでき方や、解説など、理科の授業ではできなかった体験もできて、雲の学習が深まったと思います。身近なもので雲ができることを知ったので、また家でも作ってみたいと思います。」等の回答を得られた。高価な実験器具を用いず、身の回りにあるものを使っての実験であることが、生徒らの関心を引き、興味を高めたものと推察できる。また、実験1においてポンプを押す回数を変えて比べる、実験2と3において線香の煙の有無で結果を比べる、といった比較の要素を取り入れた実験を行うことで、雲の生成過程だけでなくその条件についての定性的な理解がより深まったことがうかがえた。

5 まとめと課題

本報告では中学生を対象として雲の生成過程の理解度向上を支援する個別実験の教育コンテンツを開発、授業案、授業スライド、ワークシートを作成、授業を行った。授業前と授業後に雲の生成過程に関する記述を書かせたところ、中学校学習指導要領の内容の理解が深まっただけでなく、その範囲外である発展的な内容を含めて雲の生成過程を適切に理解できていると判断できる記述がみられた。

一方で、これら学習効果を評価する上での課題を最後に述べておく。本報告における授業での学習対象者は、中学校学習指導要領における「(4)気象とその変化」の内容を学習した直後であること、探求型の授業であるプロジェクト学習において気象学に関する調査研究を行っていること、から、雲の生成過程に対する興味や関心が比較的高い生徒であったため、その属性が結果に影響している可能性がある。したがって、より適切に学習効果を評価するためには、中学校学習指導要領における「(4)気象とその変化」の内容を学習する前の段階でより多くの生徒を対象とした授業を実施し、評価することが必要である。加えて、教育コンテンツを作成した著者自らが授業を実施しているので、第三者が授業を実施しての評価も必要である。

本報告のリポジトリには Supplemental Materials として、授業案、授業スライド、ワークシートをデータとして一般に公開している。まだまだ工夫できる箇所や改善すべき箇所があるが、広く活用いただければ幸いである。

Supplemental Materials

授業案.xlsx

授業スライド.pptx

ワークシート.pptx

謝 辞

授業実践に協力して下さった兵庫県立大学附属中学校の皆さまに心より感謝いたします。本稿の内容について貴重かつ丁寧なご意見をいただいた査読者の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 文部科学省, 2021: 学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル～学校の新しい生活様式～, https://www.mext.go.jp/content/20211210-mxt_kouhou01-000004520_2.pdf, 最終閲覧日 2022 年 1 月 14 日
- 文部科学省, 2017a: 小学校学習指導要領(平成 29 年告示), https://www.mext.go.jp/content/1413522_001.pdf, 最終閲覧日 2022 年 1 月 28 日
- 文部科学省, 2017b: 中学校学習指導要領(平成 29 年告示), https://www.mext.go.jp/content/1413522_002.pdf, 最終閲覧日 2022 年 1 月 28 日
- 戸倉 則正, 2002: ペットボトルでここまでできる地学実験, 地学教育と科学運動, vol.44, pp.30-36
- 小池 守, 佐藤 直也, 百瀬 莉子, 長澤 啓亮, 野口 瑛斗, 魏 徳良, 倉山 智春, 2022: 雲の発生原理を理解する実験教材の開発に関する研究, 帝京科学大学教育・教職研究, vol.7(2), pp.13-29
- 花田 義輝, 中田 晋, 2015: 中学校理科気象分野における学習指導に関するアンケート調査の結果報告, 仙台市科学館研究報告, vol.24, pp.8-13
- 清水 誠, 大山 亨, 中村 友之, 2008: 実験グループの人数が理科学習に与える影響, 理科教育学研究, vol.49(1), pp.65-72
- 藤本 勇二, 渡邊 重義, 近森 憲助, 所 康子, 山下 伸典, 1996: 個別実験・観察による理科と他教科との連係, 日本科学教育学会研究会研究報告, vol.10(3), pp.21-26

(令和 5 年 2 月 8 日受付)