

小さな雲をつくろう！！

チーム名：^{あまごい} 雫 チャレンジャー

代表者 河野拓人 (山梨大学工学部応用化学科 2 年生)
谷川 諒 (山梨大学工学部応用化学科 2 年生)
森越洋行 (山梨大学工学部応用化学科 2 年生)
坂本康直 (山梨大学工学部応用化学科 1 年生)
丸山恵李佳 (山梨大学工学部応用化学科 1 年生)
米長克昌 (山梨大学工学部応用化学科 1 年生)

〒400-8511 山梨県甲府市宮前町 7-32

山梨大学大学院附属クリスタル科学研究センター 田中研究室

1 はじめに

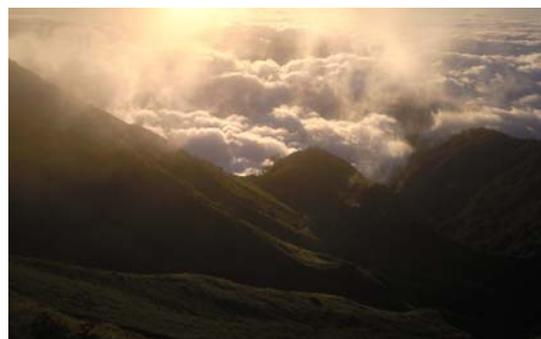
普段私たちが何気なく大空を見上げると、雲が優雅に浮かんでいる。また、山の上から見下ろすとすばらしい雲海があり感銘を受ける。その雲は雨や雪を降らせ生物に潤いを与えており、生物にとって雲は生きるために欠かせないものとなっている。

そんな重要な役割を果たす雲を人工的に作り出せないかと思った。



2 実験目的

雲を作る実験は、フラスコなどの容器を使って簡単にできることが知られているが、雲が容器全体に広がってしまう。本研究では、上空に浮かぶ雲のように容器上部のみに雲を作ることを目指している。



3 雲発生条件

空気の温度が下がり、水蒸気が水滴となって空気中を漂っているのが雲である。さらに温度が下がると水滴は氷の粒になる。このことから、雲が発生する上で欠かせないのが空気の温度の低下だと言える。空気の温度が下がるには主として2つの原因がある。まず、直接的な気温の変化によるものがある。朝方の気温は日中に比べ低いので、空気中に水蒸気を多く含むとき、地上では霧が発生し、空では雲ができる。二つ目は、気圧の変化によるものであり、空気の上昇により気圧が下がり、それにより空気の体積が大きくなることにより温度が下がる。それにより、空気中の水蒸気は次第に水滴となっていく。

空気の温度の低下の他に重要な要素が、ほこりや花粉などの空気中の細かな塵である。塵が、水蒸気水滴として現れる際に核になることで、スムーズに雲が発生するこ

とを助けてくれる。

これらより、以下3つが必要な条件だと言える。

- i. 十分多くの水蒸気を含んだ空気を作ること
- ii. 水蒸気の核となる塵を空気を与えること
- iii. 空気の温度を下げる（又は空気にかかる気圧を下げる）こと

気温の変化により雲ができることから、高温の水蒸気を含む空気を冷やすことによっても同様に雲が発生すると思われる。そのために、水を蒸発させて、同時に空気を熱し、水蒸気を多く含む空気を作る。その空気に、水滴の核となる物質を含ませて、その空気を冷やし、雲を発生させる。

以上のことから、本研究では、まず初めにペットボトルやフラスコなどの小型容器を使って雲を発生させる。小型容器に水を入れ、水蒸気を発生させる。線香に火をつけ、煙を小型容器の中に入れる。小型容器内を加圧後、急激に減圧させることで雲を発生させる。次に、より大きいアクリル製容器の中で雲を発生させるために、

- ① 水蒸気が存在すること
- ② 塵が存在すること
- ③ 温度を低くすること

といった3つの条件を満たす方法をこの実験でみつける。そして最終段階として今までの実験結果を用いてダイナミックな雲を発生させるために、発生させる水蒸気の種類、容器内の上部と下部の温度、気圧、核となる物質の種類などを変化させながら大きな容器で雲を上部に発生させることを目指していく。

3 予備実験

3-1 ペットボトルで雲を作る実験（圧力、温度測定）

実験1

・実験目的

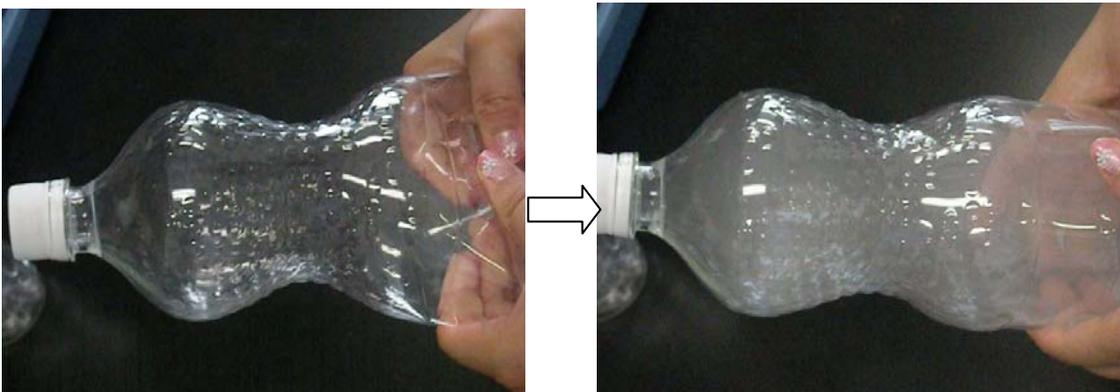
ペットボトルの中に入れる水の量によって雲のでき方が変化するかどうかについて調べる

・実験内容

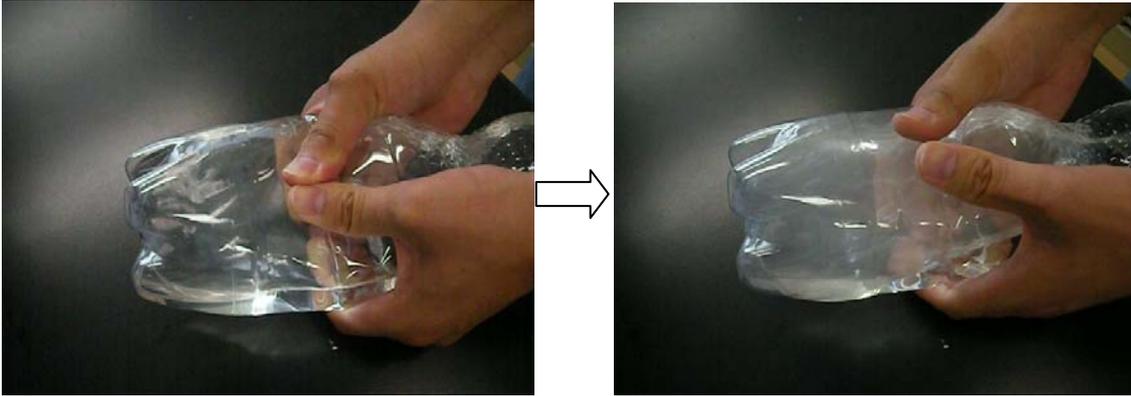
ペットボトルに入れる水の量をさまざまに変化させて、雲を発生させ、状況を調べた。

・実験結果

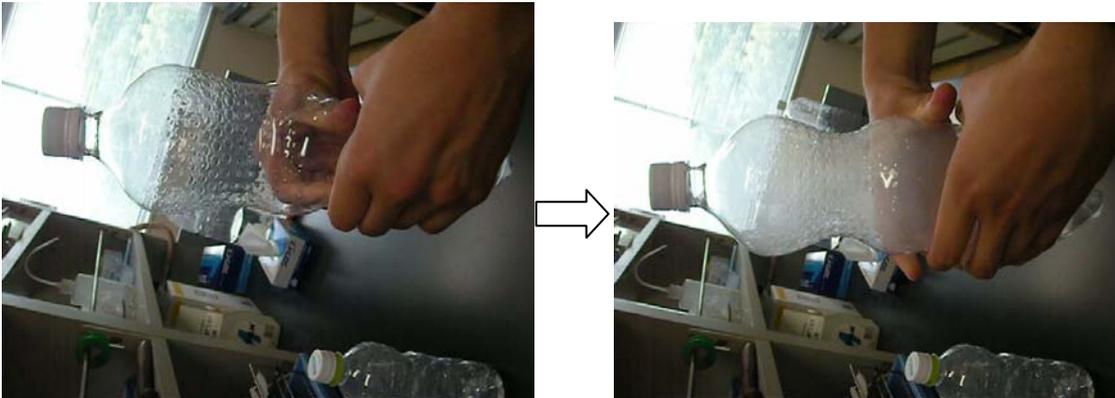
(1)水が容器の半分くらいの場合



(2)水が多い場合



(3)水がほとんど入ってない場合



手で押さえて加圧すると、無色透明になった。手をいっきに離して、減圧すると、白く曇って、全体に雲ができた。水の量が、多くても少なくても雲はできた。ただ、水の量が多いとより濃い雲ができた。線香の煙を入れない場合は、かすかに雲を観察できる程度であった。

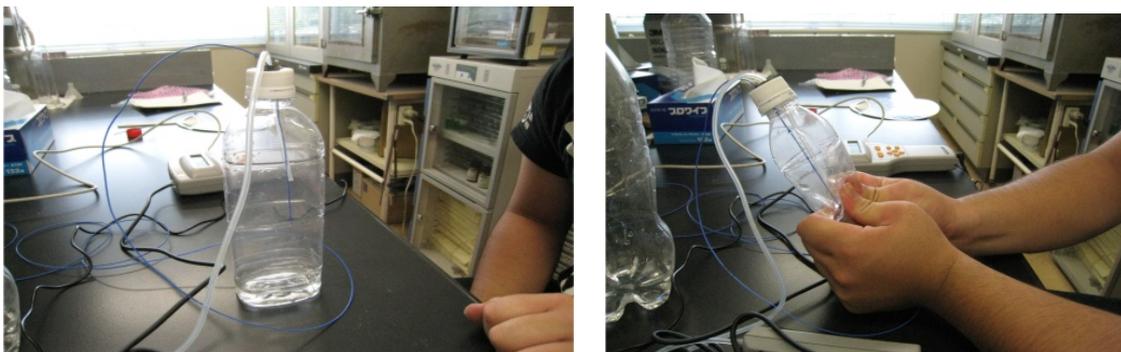
実験 2

・実験目的

ペットボトルで雲を作る際に容器内部での温度、圧力変化を調べ、温度、圧力差で雲ができることを確認する。

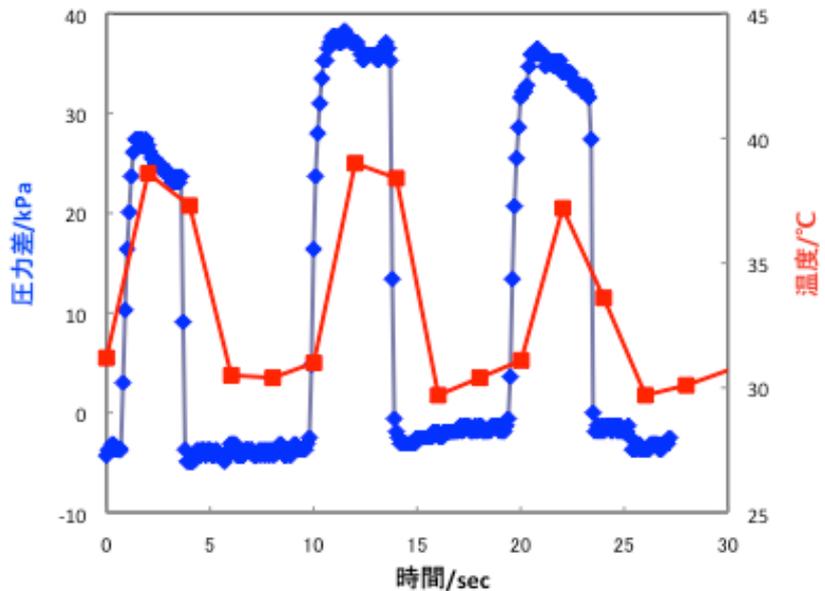
・実験内容

ペットボトルのキャップ部分に温度計、圧力計を取り付け、空気が漏れないようにしっかりと固定するこの状態で雲を作り、その際の計測値を確認する。



・実験結果及び考察

熱力学的には断熱圧縮すると温度は上昇する。しかし、右図に示したように温度の時間変化は圧力差の時間変化に比べて、“遅れ”を生じている。これは、断熱圧縮による容器内の温度上昇の効果が容器内に挿入した熱電対に伝わるのにある程度の時間を要するためと考えられる。いずれにしても



容器内の圧力、温度が急激に低下した際に雲が生じることがわかった。そのとき圧力変化は約 40kPa、温度変化は約 7°Cであった。この実験を元に次の実験では、大きな容器での雲の発生を試みることにした。

3 - 2 フラスコ内で雲を作る実験 (圧力、温度測定)

実験 1

・実験目的

ペットボトルとは異なり、形状変化させにくいフラスコ内でも 3 つの条件 (①水蒸気を含んだ空気を作る、②水蒸気の核となる塵を作る、③空気にかかる圧力を急激に変化させること) を実現すれば、雲を作り出せると考え、これを確認することを目的とした。

・実験手順

フラスコに適量の水を入れ、さらに線香の煙を少量入れる。そしてピストンが接続されているガラス管を通したゴム栓で、蓋をする。右の写真は、以上の準備が完了した段階のものである。その後、ポンプで十分加圧 (今実験では二回ポンプを押し込んだ。) し、ゴム栓を引き抜くことにより 3 つの条件を整えた。これによりフラスコ内に起こる変化を観察した。



・実験結果



(ゴム栓を引き抜く前)

(後)

ゴム栓を引き抜くとポンという音とともに、上の写真のようにフラスコ内が一瞬で曇り、曇っている部分にレーザー光をあてるとレーザー光の散乱を観察できた。よって、確かに雲が発生したことを確認できた。

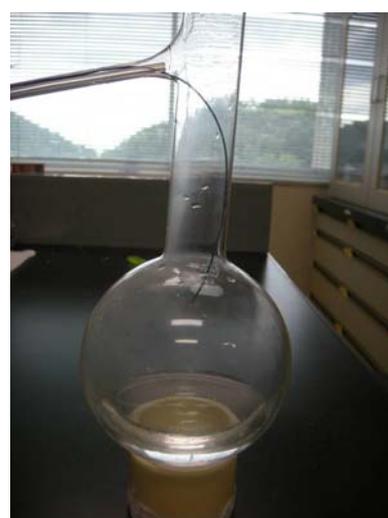
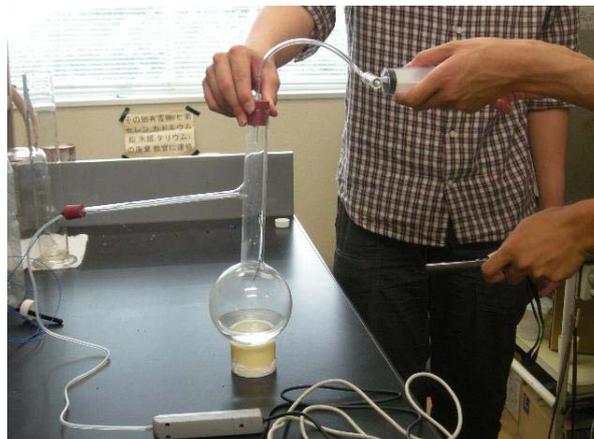
実験 2

・実験目的

実験 1 では、整えた条件によって雲が発生することを確認した。そこで今回の実験では圧力・温度の変化を機器により測定し、数値データを得ることとした。

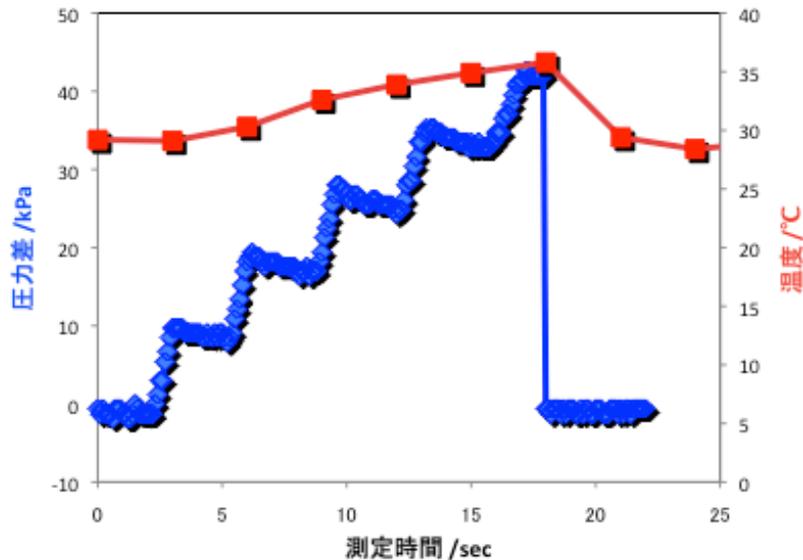
・実験方法

今回は圧力を測定する機器と共に、温度を測定する機器を、枝つきフラスコの枝より挿入した。右上の写真は、実験の様子全体像である。また、右下の写真は、測定の様子である。これからわかるように、圧力計は枝の入り口、温度計は中まで通した。



・実験結果及び考察

温度と圧力の計測結果は次ページのグラフのとおりとなった。グラフから 18 秒付近で約 40 k Pa の圧力差、36°C から 28.5°C までの約 7.5°C の温度差により雲の発生をフラスコ内全体に確認できた。この結果から雲を発生させるための条件が得られたが、次の本実験において容器内部の局部的に 40 k Pa の圧力差を作ることは困難なので、この結果に基づいて本実験では、7.5°C 程度以上容器の一部を局所的に冷却することで雲を発生させる方針で装置製作に取り組むこととした。



4 本実験

4-1 雲発生装置の製作

本実験として雲発生装置の製作を始めるにあたり、容器内に雲を発生させる場所として容器全体ではなく、容器の上部に限定できるように工夫した。容器内部を局所的に減圧することが難しい。局所的な冷却であれば、実現できると考え、ペルチェ素子を使って容器の上部のみを冷やすこととした。ペルチェ素子は電圧をかけると一方の面は冷却され、反対の面は加熱される。加熱される面を冷却しないと加熱面の熱が冷却面に伝わり、素子全体が加熱されてしまう。そのため、容器として可能な限り加熱される面を容器外側になるように配置し、過熱される面を別途水冷することとした。こうして容器上部を局所的に冷却した。雲発生には温度差も重要と考えられたため、縦長のものを用意した。

・ペルチェ素子（雲発生部分）設計のポイント

右上の写真は、冷却部分の写真である。白い板状のものがペルチェ素子で真鍮製の金属部分がペルチェ素子を冷却するために用いたCPU用の水冷器である。雲発生容器の上部のほぼ中心に円状の穴を開け、水冷器をそこにはめ込んだ。はめ込むだけでは落ちてしまう危険性があるため、蓋の裏側から4ヶ所をネジで留めCPU用の水冷器を支えるようにした。さらに、そのCPU用水冷器の裏側に接着剤でペルチェ素子を付けた。このとき冷却する面が容器内部側にくるように接着した。



冷却部分の写真

・（冷却水循環装置）の設計

雲を発生させるためには容器内に水が必須である。そのため、ペルチェ素子の冷却にはこの水を用いることとした。そのために、右下の写真に示した送水ポンプを使い、水をくみ上げ、ペルチェ素子の加熱される面を冷やし、そ



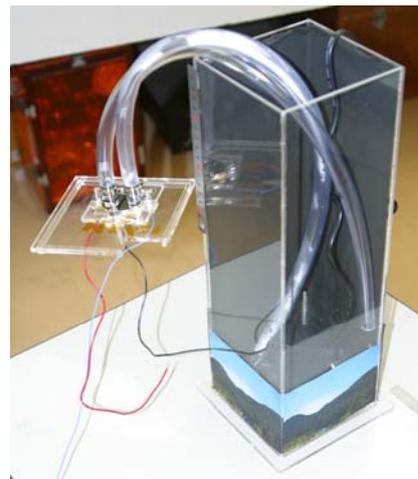
送水ポンプ部分の写真

の水を再び容器に戻すこととした。

- ・ 雲発生装置のデザイン上の工夫

容器内の 2 本のホースの配管を如何に目立たなくすると同時に発生した雲を如何にして見やすくするかを考慮してデザインを工夫した。雲を発生させる容器上部については、背景には空の色をイメージする青を採用する案もあったが、テーマである雲の発生がより見やすくなるよう背景にはシンプルな黒を選び、容器の 2 面を黒の用紙で覆うこととした。ホースについては、背景と同じ色の黒いテープを巻き、さらに黒の画用紙を容器の内側に貼り付けることで光の反射を抑え、より目立たなくさせた。

装置下部については、送水ポンプが目立たぬよう写真を装置前面に貼ることとした。四方を山に囲まれている山梨では雲はいつも山の上を優雅に漂っている。貼る写真として普段山梨から見える山の風景を用い、上の写真のようにあたかも自然環境を再現させたかのような雰囲気を出した。



雲発生装置の全景

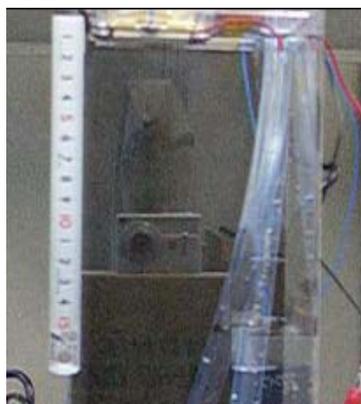
4-2 実験方法

ペルチェ素子の冷却面と容器内の水の温度は K 型熱電対を用いてデジタルマルチメーターで測定した。右の写真に示すように、デジタルマルチメーターは GP-IB を介してパソコンに接続し、測定した温度データは HP 社の VEE 計測ソフトを用いて取り込んだ。ペルチェ素子の両端子に直流電源装置を接続し、印加する電圧を制御した。まず、容器内に適量の水を入れて、ポンプを動作させペルチェ素子の加熱面を水冷した。雲発生の核を作るために容器内に線香の煙を入れた。その後、ペルチェ素子の冷却面の温度を測定しながら直流電源の電圧を調整し、雲発生状況を観察した。

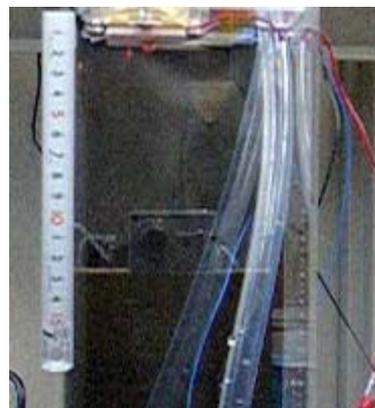


4-3 実験結果

右の 2 枚の写真は雲の発生前後の写真である。ペルチェ素子を使って冷却することで、雲を発生させることができた。ペルチェ素子冷却面の温度と雲が発生する位置との関係を調べた結果、次ページのグラフのような結果が得られた。グラフの縦軸は、ペルチェ素子の冷却面から下向きに測った雲発生位置であ



雲発生前

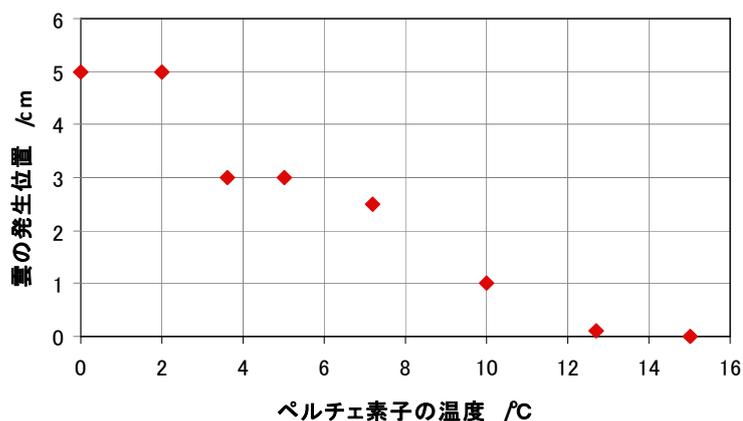


雲発生時

る。ペルチェ素子の冷却面の温度が 7.2~12.7℃の間ではペルチェ素子の冷却面直下から 1~3cm 下の位置の範囲に雲がとどまっていた。12.7℃より高い場合、雲はできなかった。

7.2℃より低くなると、雲が発生する範囲は 3~5cm 程度まで広がるだけでなく、容器の淵に沿って水面に向かって雲が流れ落ち

ちるようになって、実験の目的である局所的な雲を得られなくなった。ペルチェ素子の温度が低くなるに従って、流れ落ちる雲も多くなった。なお、実験中に水温は 21℃で変化しなかった。従って、雲をつくるために適した水とペルチェ素子冷却面との温度差は、8.3~13.8℃であると結論できた。この結果は、予備実験の結果から得られた温度差 (7.5℃以上) と整合していた。



5 まとめ

我々は本研究を通して、雲の発生する条件、雲を局所的に発生させるための条件を調べた。はじめの予備実験では、ペットボトルとフラスコを使用し、急激に圧力を変化させて雲を作った。断熱膨張によって容器内の圧力が 40kPa 下がると同時に温度が 7.5℃下がると雲ができることがわかった。しかし、この実験では、雲が全体的に発生してしまい、局所的に雲はできなかった。

局所的に圧力を変化させることは難しいので、局所的に温度を下げることで局所的に雲ができるのではないかと考え、ペルチェ素子を使った局所冷却ができる装置の製作を試みた。製作した装置を用いて、局所冷却を試みた結果、冷却温度を適切にすることで雲を局所的に発生させることができた。冷却温度が低すぎる場合には、上部で発生した雲が下まで流れていく現象が見受けられた。これは、気温の急激な差により、容器内部で気温を一定に保とうとする力が働き、上部と下部の空気が混ざり合おうとしたためと考えられる。

本研究から、今回目的とした局所的に雲を発生させる試みは成功した。適切な温度差でないと一定の位置に雲をつくることはできないとわかった。しかし、課題も残った。今回の実験では、雲発生に対する水温の影響を調べることができなかった。そのため、いくつかの水温を設定して同様の実験を行ってより最適な条件を求める必要もあると考えられる。これにより、制御可能な雲を生み出すことができるだろう。