

4 2 . 雲粒子の作り方.....

実験の概略

ペットボトルやフラスコを使用し、断熱膨張させることで、雲粒子をつくる。それによって、雲粒子の生成と気圧の変化について理解する。

実験のねらいと位置づけ

この実験は指導要領の「(3) 多様な生物と自然のつりあい ア 地表の姿と大気」の中に位置づけられるものである。

雲粒子の形成のためには、水蒸気が飽和するまで空気塊の温度が降下する必要がある。自然界では、上昇気流によって下層の空気塊が上空に持ち上げられ断熱膨張することが、温度降下の原因であり、雲粒子形成の原因となる。この実験では、断熱膨張によって、雲粒子ができることと、そのときの気温の降下を理解させるのがねらいである。

指導上の留意点

1. 作業1 <ペットボトルを使った霧箱>

- (1) ペットボトルロケット用のふたがあると便利であるが、もし無かった場合、自作することも可能である。詳しくは、ペットボトルロケットに関する書籍・ホームページを参考のこと。
- (2) 色で温度をしめす温度計をペットボトルの内側に入れておくと、温度変化をより視覚的に見ることができる。

2. 作業2 <フラスコを用いた霧箱>

- (1) 何回か霧が発生を繰り返すと、霧が発生しにくくなることがある。これは、霧粒子の発生、消失を繰り返すことで、凝結核が液体エタノールや壁面に取り込まれ、凝結核数が減ることによる。この場合、あらたに線香の煙などで、凝結核を補充するとよい。

記入例

1. 作業1 <ペットボトルを使った霧箱>

- (1) 空気を抜くとき、ペットボトル内はどのような変化が起きたか。

空気を抜いた音とともに、白い霧が発生した。

- (2) 再び空気を入れてみよう。

残っていた霧も、空気を入れると同時に消えた。

- (3) 空気を抜くとき温度はどう変化したか。

空気を抜くと、ペットボトルが冷たくなった。

2. 作業2 <フラスコを用いた霧箱>

(1) ピストンを押すと、ピストン内部はどうなるか。また、引くとどうなるか。

押す時 霧が消える。 引く時 霧が発生する

考察

1. 断熱膨張すると、空気塊の温度はどうなるだろうか。

断熱膨張すると空気塊の温度はさがる

2. 水蒸気を十分含んでいる空気塊が断熱膨張すると、どういった現象が起こるだろうか。

断熱膨張すると空気塊の温度はさがって空気塊は飽和に達し、雲粒子が発生する

参 考

1. 自然界で、上昇気流の発生するケースと、それによって生ずる雲の例をあげておく

(1) 山などの地形による上昇気流・・・・・・・・山にかかるかさ雲

(2) 局地的に温められた空気塊が軽くなって生じる上昇気流・・・・積乱雲

(3) 前線などで温度の異なる空気塊の動きで生じる上昇気流・・・・積雲，層雲

(4) 低気圧の中心に生じる上昇気流・・・・・・・・積雲

資 料

1. 雲粒子の形成に凝結核が必要なわけ。

気象学で水蒸気の水に変化することを凝結という。凝結は、湿った空気温度が下がると、ある温度で飽和に達し、さらに冷えれば余剰水蒸気は凝結し、液体の水に変わる。空気が冷えるおもな原因は、上昇による気塊の断熱膨張、暖気と冷気の混合、冷たい地面や海面との接触、がある。自然界では、では雲ができ、では霧または雲ができ、では露または霜ができる。

しかしながら、自然界では、過飽和でも凝結が起こらないことがある。これは、小滴の表面の曲率が関係している。飽和水蒸気圧は、純粋な水の平面での水と水蒸気の平衡分圧として定義されている。この飽和水蒸気圧、すなわち平面での水と水蒸気の平衡分圧と曲面での平衡分圧を比較すると、曲面での平衡分圧が高くなる (Kelvin 効果)。そのため、過飽和になっても凝結しない現象が生まれるのである。また、この Kelvin 効果は曲率が高くなるほど、すなわち粒子半径が小さくなるほど、効果が指数関数的に大きくなる) ため、小さい粒子ほど成長するためには過飽和が大きくなる必要がある。

凝結核のない状態でおこる凝結を均一核形成という。この状態では、凝結の中心となる粒子の大きさが、水蒸気の分子もしくは分子数個の集団 (クラスタ) であるから、粒子半径が非常に小さいので、そのため Kelvin 効果も大きくなる。計算によれば、均一核形成では過飽和度 340% (相対湿度 440%) 以上じゃないと、粒子は成長しない。

自然界では、大気に含まれるエアロゾル粒子を凝結核とし、その表面に凝結する不均一核形成がおこなわれる。凝結核がある場合、粒子半径が大きくなるので、Kelvin 効果が小さくなる。計算によると、半径が 0.001, 0.01, 0.1 μm の粒子表面では、過飽和度 233, 12.5, 1.2% で粒子が成長する。より大きな粒子が凝結核となると、成長に必要な過飽和度は小さくなる。この実験で、線香の煙などを凝結核に使用したのは、大きな凝結核を入れて、成長に必要な過飽和度を下げたためである。

(参考文献：和達清夫監修 気象の事典 東京堂出版，ウィリアム C・ハインズ著 エアロゾルテクノロジー 井上書院)

2. 断熱膨張に伴う温度の減少

気体を断熱的に体積を変化させた時の温度の変化は、熱力学第一法則と状態方程式より、以下の関係を導くことができる。

$$T \cdot V^{-1} = \text{一定} \quad \text{ただし } T: \text{気温 [K]}, V: \text{体積}, \gamma: \text{比熱比}$$

比熱比は気体の定圧比熱と定積比熱の比で、気体分子によって固有である。空気では $\gamma = 1.38$ の値を示す。最初の状態を T_0 および V_0 とし、断熱変化後の状態を T_1, V_1 とすると、上の関係は、以下のように書き直すことができる。

$$\frac{T_1}{T_0} = \left(\frac{V_0}{V_1} \right)^{\gamma-1}$$

この式から、断熱膨張 ($V_0 < V_1$) のとき、 $T_0 > T_1$ となり気温が減少することがわかる。

評価

評価規準の例

| 関心・意欲・態度 | 思考・判断 | 観察・実験の技能・表現 | 知識・理解 |
|---|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・実験に対し、意欲的に参加していたか。断熱膨張による雲粒子の形成に対し関心を持てたか。断熱膨張による雲粒子の形成に対し科学的に考察する態度を見せたか。 | <ul style="list-style-type: none"> ・断熱膨張による温度変化と雲粒子の形成の関係を考察できたか。実験の現象と自然界の現象を結びつけることができたか。 | <ul style="list-style-type: none"> ・実験装置内の変化の様子を読み取ることができたか。 | <ul style="list-style-type: none"> ・断熱膨張に伴う温度変化が理解できたか。温度変化に伴う雲粒子の形成が理解できたか。 |

メモ
