

実験で学ぶ自然現象一水⇄水蒸気の相変化

Educational Materials for Meteorological Phenomena – phase Change between Liquid Water and Water Vapor

秋田谷 英次

Eiji Akitaya

Corresponding author: akitaya@coral.ocn.ne.jp

近年、地震や豪雨による大規模な自然災害が発生している。これらの災害の発生要因を知るには、自然現象の科学的な知識が必要である。これらの知識は防災にも役立つはずである。ここで述べる一連の実験は子供たちを対象としたものであり、これらの実験から子供たちの科学への関心が高まり、気象現象の理解が深まることを期待している。

1. 地球上の水の循環^{1),2)}

地球上のあらゆる生き物は水が無くては生存できない。宇宙の中には無数の星があるが、これほど豊富に水がある星はまだ見つからない。この水は地表と大気の間を循環し、常に新鮮な水が地上に供給されている。地表の水は蒸発して大気中を上昇し、やがて雲になり、その雲から雨や雪として地上に降ってくる。水が蒸発して水蒸気になるにはエネルギーが必要で、そのエネルギーは太陽エネルギーである。蒸発によって水面から熱が奪われている（蒸発熱/気化熱）。図1には水→水蒸気→水（雲）の相変化を表している。

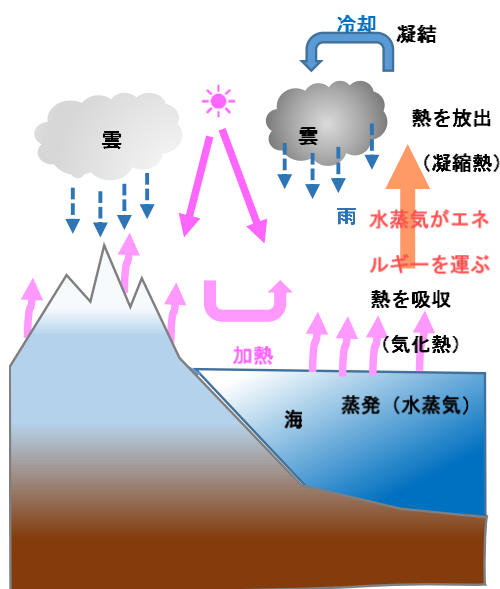


図1 水の循環

水蒸気は蒸発熱の分だけ高いエネルギーを持っている。蒸発した水蒸気は上昇気流によって高所へ移動し、冷やされ、雲になる。雲は微水滴の集合で、これ等がたくさん集まって雨となって地上に落下する。水蒸気が凝結して雲になる際、熱エネルギーを放出する（凝縮熱）。蒸発熱と凝縮熱は同じ値である。この水面と上空での潜熱の出入り、すなわちエネルギーの出入りがすべての気象現象の原動力である。台風も暴風雪も集中豪雨などのあらゆる気象現象は水の相変化の産物である。

2. 常温で雲を作る実験³⁾

低気圧下での雲の発生は、天気予報でも報じられ、日ごろ実感できる。その仕組みは：「低気圧→上昇気流→空気の断熱膨張→温度低下→相对湿度上昇→凝結核に水蒸気が凝結→微水滴（雲粒・水）形成→雲発生」となる。この過程は次の実験で再現できる。

- 1: 透明なガラス瓶に水を少し入れておく（瓶の中は相对湿度が100%近くになっている）。
- 2: 効率よく雲を作るために線香の煙を入れる（煙粒子が凝結核となる）。
- 3: 注射器で瓶の空気を一気に抜く（瓶内の気圧低下）。
- 4: 空気は断熱膨張。
- 5: 瓶内の気温が下がり湿度が飽和に達する。
- 6: 雲が発生し瓶内が曇る。

図2にこの実験の時間経過を示した。

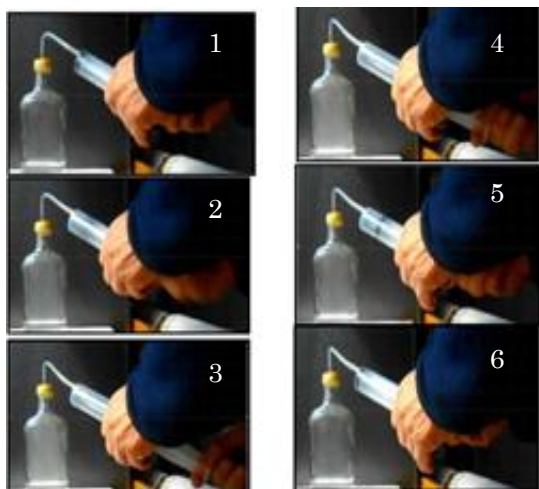


図2 常温で瓶内に雲を作る (1→6)
3: 雲発生 6: 雲消失

3. 高温水蒸気から雲を作る

同じ体積なら、空気の温度が高いほど沢山の水蒸気を含むことができる。したがって、沢山の雲を作るには温度の高い水蒸気を室温で冷やすのが効果的である。熱い水蒸気を放置するだけで、自然に室温まで下がるので冷却装置を必要としない(やけど注意)。

500ml の透明で簡単に蓋ができるペットボトルを用いた。容器に 80℃前後の熱湯を 1/5 程度入れ、容器全体が熱くなったら中の湯を全て捨てる。容器の口から線香の煙をいれる。容器の中には高温の水蒸気と沢山の凝結核が入っている。すぐにボトルの蓋を閉める。図3にこの経過を示した。図3から次のことが分かる。高温の水蒸気が室温



図3 高温水蒸気から雲を作る
1: 湯を捨てた直後, 2: 蓋をした直後,
3: 蓋をした約3分後

で冷やされ、水蒸気が雲になった。雲ができると容器がつぶれた。容器に蓋をする前は、大気圧と等しい高温水蒸気が満たされていたが、蓋をして時間が経つと内部に雲が形成され、内部の圧力が下がり、外側の大気圧によって潰されたのである。

図2では断熱膨張で、図3では高温水蒸気の冷却で大量の雲ができた。雲の形成が容器内に人工低気圧を発生させたことになる。

4. 人工低気圧の威力

ペットボトル内に雲を作ると、ボトルが潰れた。その威力は空き缶潰し実験で知ることができる。4). 空き缶は 350ml~500ml 程度のアルミ缶が適している。アルミ缶は潰れる過程で何度か高い金属音を発生し、最後にさらに大きな音を発して“ぺちゃんこ”になり倒れたり、吹き飛んだりする。図4に空き缶潰しの写真を示した。空き缶は 350ml のねじ蓋付炭酸飲料のアルミ缶である。プルタブ式のアルミ缶では缶の口を粘土の塊で密閉する。容器に熱湯を入れ、およそ 1,2 分後に湯を捨て、ねじ蓋をする。間もなくカーンという金属音を発し、側面が少し凹む。これを数回繰り返すと缶の凹みが顕著になる。



図4 空き缶潰し
1,2,3の順に進行, 4: 缶の潰れ具合

さらに時間が経過すると突然大きな音を発して倒れ込む。缶は吹き飛ぶこともあるので、この写真では浅い透明容器内に入れて、吹き飛ぶのを防いだ(図4)。図4-4に缶の潰れ具合を示した。折れ曲がると同時に、穴が開いていた。同じ原理でドラム缶をつぶすこともできる⁵⁾。

5. 透明容器による他の実験

次に透明容器を使った3つの実験を示す。図5は水を入れたゴム風船が容器内に吸い込まれる実験である。前と同様に容器を熱い水蒸気で満たす。容器が冷えてくると風船は容器内に吸い込まれる。図5に水風船が吸い込まれる様子を示した。



図5 水風船が吸い込まれる様子

図6には容器の口に取り付けた「すぼんでいるゴム風」が容器内に吸い込まれ、さらに風船内に外気が吸い込まれて容器内で膨らむ様子を示した⁶⁾。



図6 吸い込まれた風船が膨らむ様子

図7には低気圧下で起こる高潮を再現した実験を示す⁷⁾。

図7には色水の中に、熱い水蒸気が入った容器の口を下にして入れると色水が吸い込まれる様子を示した。海上で発達した低気圧が接近すると、海水面が盛り上がる現象で、高潮と言われ、時には大きな災害となる。



図7 高潮再現実験

6. 雲の生成が水車を回す実験

容器内の熱い水蒸気が冷やされて雲ができると、容器内の圧力が大気圧よりも低下する(負圧の発生)。

この負圧を利用して水を吸上げ、水車を回した(図8)。容器Aは水の入った蓋無しのガラス容器で、この水の表面には大気圧が作用している。Bは密閉容器で最初は空、Cは硬い耐熱容器で最初は熱い水蒸気で満たされている。各容器は細いパイプで繋がっている。C内の水蒸気が外気で冷やされると負圧になり、パイプで連結されたBも負圧となる。すると水はAからBに吸い上げられ、Bに落下する際に水車を回す。Aの水は高所のBへと吸い上げられた。青矢印は実験後の水位である。しかし、この程度の水車の回転速度では発電には使えない。

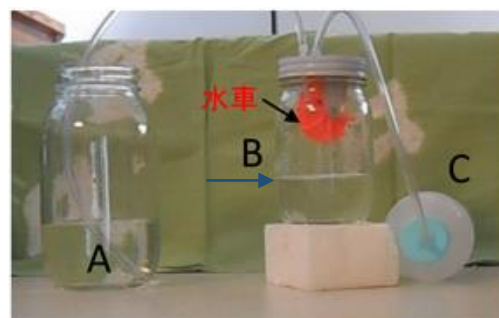


図8 雲の生成と水車の回転

7. 水を高所に上げて発電する

水を40cmの高さまでを吸上げ、それを一気に落下させて発電する装置を作成した。

図9に発電装置を示した。熱い水蒸気の容器は1000mlの金属容器を用いた。500mlの水を40cmの高さまで吸い上げるにはこの大きさの金属容器が必要であった。

上部水容器に約500mlの水が吸い上げられたら、この容器を45度の斜面を落下させる。落下速度の調整は左のオモリで調整する。落下速度は発電電圧の大きさと発電時間を左右する。電圧はLED(発光ダイオード)の規格に合わせ3V程度とした。

上に述べた一連の実験は子供向けの科学教室を想定して考案した。心掛けたことは、見ればなんとなく分かる、動きがあって楽しい、子供も実験に参加できる。装置のほとんどは百均の店、ホームセンタで調達可能な品である。ただし発電機

は国産の模型用の直流モータでは適したものがなかった。この装置では「科学工作，風力発電キット，(株式会社アークテック)」をネットで購入した。



図9 発電装置.

上部水容器の台はタコ糸で繋がれ，落下するといくつかのプーリを介して発電機をまわす。右上は点灯したLED.

【参考文献】

- 1) 三島勇，増満浩志，2001：図解雑学，水の科学，東京，ナツメ社，190-191.
- 2) 保坂直紀，2001：図解雑学，異常気象，東京，ナツメ社，12-13.
- 3) 村松照男，2004：図解雑学，気象のしくみ，東京，ナツメ社，24-25.
- 4) 山田暢司，2013：実験マニア，東京，亜紀書房，13-18.
- 5) 山田卓三（監），小暮陽三，1998：21世紀こども百科，科学館，東京，小学館，64-65.
- 6) 山田卓三（監），小暮陽三，1998：21世紀こども百科，科学館，東京，小学館，60.
- 7) ガリレオ工房（編著），2011：ガリレオ工房の科学マジック，東京，新星出版社，15-17.