

気象 1 雲と雨について

今回は自然環境の一構成要素である気象に関する第一回目として、雲と雨についての話です。

(1) 蒸発と飽和

雲や雨は大気中の水分ですが、その振る舞いについていくつかの用語があります。日常生活でも使うものがあります。

- ◎**蒸発**：水面から水分子が空中に飛びだしてしまう現象。
- ◎**飽和**：飛び出す水分子と飛び込む分子が同数の時をいいます。
- ◎**過飽和**：空気中の水蒸気分子が多いため、飛び込む分子が飛び出す分子より多い状態をいいます。
- ◎**凝結**：空気中を飛び回る水蒸気分子が、水面に飛び込んで液体の水にとらえられてしまい、水に変わる現象をいいます。
- ◎**沸騰**：水の内部から水の分子が出ていく現象をいいます。沸騰すると水中に水蒸気の泡が発生します。泡の内部の水蒸気圧は1気圧以上になっています（大気圧が1気圧なのでそれ以上になっています）。

通常の大気温度では水蒸気圧は1気圧にはなりません。100℃になると飽和水蒸気圧は1気圧になります。右図を見ていただくとわかると思いますが、たとえば大気圧が70hPaしかない場合は、水は38℃程度で沸騰します。これが高地で飯盒炊爨（飯盒炊飯）をするとお米の芯が残る（硬めに炊き上がる）原因です。ちなみに富士山の頂上では沸点は約88℃です。

なお、1atm（気圧） = 1013.25 ^{ヘクトパスカル} h P a = 1013.25 ^{ミリバール} m b = 760mmHg です。

※Pa（パスカル）は圧力のSI単位（国際単位系）です。

h（ヘクト）は接頭語で100を意味します。

k（キロ）は1000，da（deca：デカ）は10，deci（デシ）が

1/10，c（センチ）が1/100，m（ミリ）が1/1000を意味します。そのほかにもメガ，ギガ，テラ，マイクロ，ナノ，ピコなどがあります。なお，デシはデシリットルdLで使うくらいですし，デカはあまり使いませんが，英語の10年（間）を意味するdecadeはここからきていると思います。

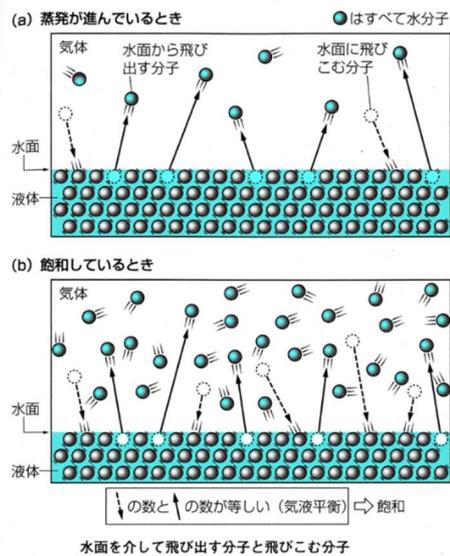


図1 蒸発と飽和

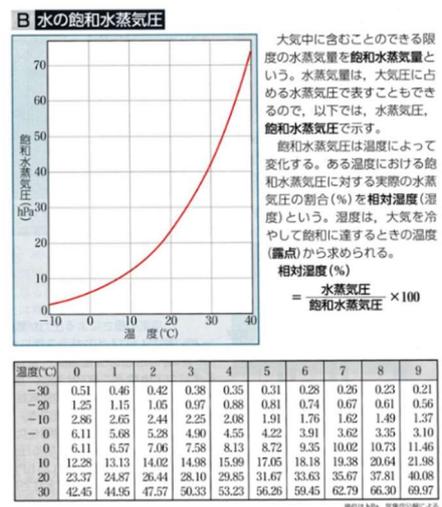


図2 水の飽和水蒸気圧

(2) 湿度と断熱変化

雲ができる現象の一つに断熱変化があります。意味は字の通りで、周りの物質と熱のやりとり無しで起こる変化のことです。ここでは気塊（空気の塊）が、周りの大気から熱（エネルギー）をもらったり、やったりせずに、膨らんだり、収縮するする変化（現象）のことです。膨らむ現象を断熱膨張、逆に収縮する現象を断熱圧縮といいます。雲ができる時に起きる現象は断熱膨張です。その過程は次のようです（図3を参照）。

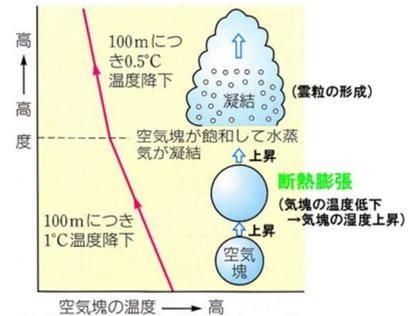


図3 断熱膨張

- ① 何らかの原因で空気塊が上昇する。
- ② 断熱膨張をする（上空ほど大気の密度は小さく気圧が低いため膨張する。その際に空気は熱伝導率が非常に小さいので周りの大気と熱のやり取りをほとんどしない＝断熱）。
- ③ 膨張という仕事をするため、気塊の温度は低下する。
- ④ 気塊の湿度*が上昇する。

※湿度 = 気塊が実際に含んでいる水蒸気量 / その温度で気塊が含むことのできる最大の水蒸気量（飽和水蒸気量）
× 100

飽和水蒸気量は温度が下がると小さくなりますが、含んでいる水蒸気量は変わらないので湿度は上昇します。

- ⑤ やがて飽和（湿度 100%）に達する＝凝結が起こる（雲粒：水滴が形成される）

◎上下する気塊の温度の変化率を断熱減率といいます。気塊の湿度によってその割合は異なります。

気塊の湿度が飽和していないときは、100mごとに1°C変わります（乾燥断熱減率といいます）

飽和に達すると100mごとにおよそ0.5°C変化します（湿潤断熱減率といいます）

◎実際には水滴（雲粒）ができる（凝結する）ためには、中心となるもの（凝結核といいます）が必要です。凝結核は吸湿性があり水蒸気分子が接触すると吸着して水分子の膜を作ります。そしてこの膜に対して凝結が起きます。エアロゾル（ホコリ・火山灰・煤煙など）が凝結核になりやすいです。

◎いろいろな粒子の半径は次の様です。

・凝結核： $1 \times 10^{-4} \text{mm}$ ・水蒸気分子： $1 \times 10^{-7} \text{mm}$ ・雲粒： $1 \times 10^{-2} \sim 10^{-3} \text{mm}$ ・雨粒：1mm

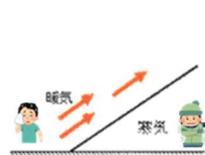
雲粒がいくつ集まると雨粒になるのでしょうか？

以上のように雲粒ができるためには気塊の上昇が必要です。気塊の上昇が起きる代表的な原因は次の4つです（図4）。これらは雨が降りやすい原因になるといえます。

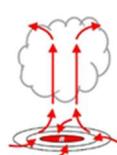
【日射】



【前線】



【低気圧】



【地形（山）】



←図4

- ① 空気より地面の方が温められやすいので、地面に接した空気の方が温められ、膨張して軽くなって上昇します。
- ② 暖かい空気と冷たい空気がぶつかり合ったところが前線（面）です。暖かい空気の方が軽い（密度が小さい）ので寒気の上ののし上がっていきます。

- ③ 低気圧は周りより空気が少ないところなので、周りから空気が集まってきて、ぶつかり合った空気は上へと昇っていきます。
- ④ 空気は山にぶつかると斜面に沿って上昇します。同じ山でも風上側の方が天気が悪いことがよくあります。

(3) 雨のでき方

雲粒が集まって重くなって落ちてきたものが雨（雪など）です。雲粒が集まるためにはひと工夫が必要です。まず、一部の雲粒が独占的に成長する必要があります。そしてその際にも、中心になるものが重要です。凝結核が NaCl, H₂SO₄, (NH₄)₂S などのものが凝結しやすく、さらに急速に成長するためには、氷晶や海塩粒子が必要と考えられています。

雨粒のでき方は少し複雑で、でき方によって“冷たい雨 cold rain”と“暖かい雨 warm rain”と分けることがあります。日本付近の雨は冷たい雨だと考えられています。

まず、冷たい雨のでき方です。

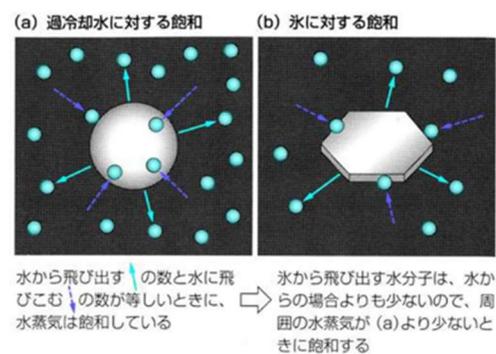
前提条件として、中緯度より極側の地域では、上空の雲の中では氷（氷晶）と水滴（過冷却の水）が存在します（図7）。過冷却の水と氷晶とでは飽和水蒸気圧は過冷却水に対する方が大きいのです（図5・図6）。言い換えると過冷却の水と氷晶が混在すると、氷晶に対して飽和していても、水の周りの大気は未飽和状態となります。そのため水滴は蒸発して、周囲の大気に水蒸気を供給します。するとその水蒸気が氷晶に昇華*して付け加わり、氷晶は成長して、雪として落下することになります。そして途中で融ければ雨となります。これが冷たい雨のでき方です。

一方、低緯度地域では、氷晶はできにくいので、中心となる粒子に海塩粒子（海の波などで飛び散って空気中に舞い上がった塩粒）などがなると考えられています。

※昇華：固体から気体、または気体から固体へと直接、相転移する現象。

(4) 大気の安定・不安定

気塊が上昇しにくいときを「安定」、どんどん上昇するような時を「不安定」といいます。つまり、雲ができやすいときが「不安定」で、いわゆる“天気が悪くなる”状態です。入道雲は「不安定」の時にできやすく、冬の夜明けなどで“放射冷却”が起きる時は安定になりやすいと言えます。



↑ 図5

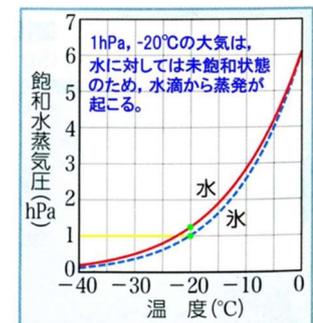


図6→

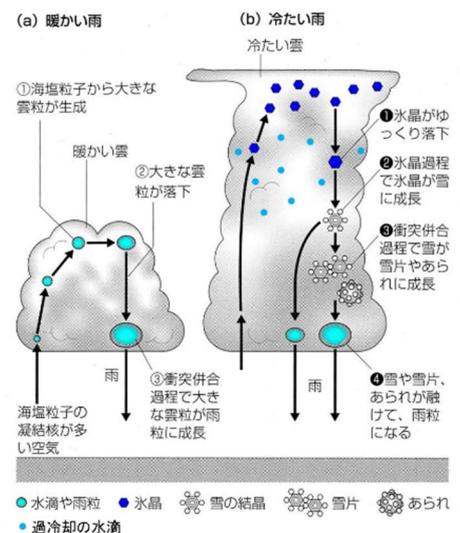


図7 →

(5) 雨粒の落下速度

前述したように、雲粒や雨粒がしやすいのは気塊が上に昇っている（上昇気流）ところす。しかし、雲粒や雨粒は成長し質量が増す（重くなる）と上昇気流で支えることができなくなり落下していきます。

重力があるので落下速度は加速していき、そのままでは地表に来る頃には猛烈なスピードになります。実際には空気抵抗（摩擦）がありますので、人間は雨が降っていても安全です。ある時点で重力と空気抵抗力が等しくなり落下速度は一定になる（終端速度）からです。この空気抵抗力は雲粒と雨粒とで少し異なります。雨粒は雲粒より大きいので空気抵抗が大きく、雲粒に比べて半径の増加に対して落下速度の増加の割合が小さくなっているのです。空気抵抗力に関係するのは雲粒の半径と落下速度、それに粘性係数です。少し物理の知識が必要なので、ここでは省略して、結果だけ述べます。

まず、雲粒の終端速度は雲粒の半径の2乗に比例します。したがって、雲粒の半径が2倍になれば終端速度は4倍になります。一方、雨粒の終端速度は雨粒の半径の平方根に比例します。したがって、雨粒の半径が2倍になれば $\sqrt{2}$ 倍、3倍になれば $\sqrt{3}$ 倍になります。

現在は、ハイスピードカメラによって雨粒の落下速度は高い精度で測定できるようになっています。具体的な雨粒の終端速度（地上に降ってくる速度）は、直径が0.02mm程度の霧では1~2cm/s、直径が0.5mm程度の小雨の場合は2.2m/s程度、直径1mmの弱い雨で、6.2m/s、直径3mmの強い雨で7~8m/s（25~29km/h）、雷雨などで降る大つぶの雨（直径5mmほど）は、10m/s（36km/h）になるようです。

最後に雨粒の形の話です。雨粒は落下してくるときに衝突しあって大きくなります。表面をできるだけ小さくしようとする表面張力のため球形になろうとしますが、実際は落下するときの空気抵抗によって、下側が平たくつぶれます（図8）。よく饅頭のような形と表現されます。ただし、大きくなり過ぎると空気抵抗に負けて分裂してしまいます。したがって、雨粒には大きさの限界があり、最大で8mm程度といわれています。

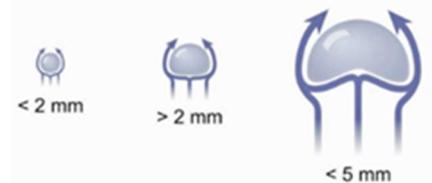


図8

空気の流れを普通、風といいます。風は地面にほぼ平行に移動する流れをいいます。垂直方向の動きは、上昇気流、下降気流などといいます。ビル風などは、上下方向の動きでも“風”といいますけどね。

使用した図は多くの本やWebサイトからお借りしました。私が加筆したものもあります。