

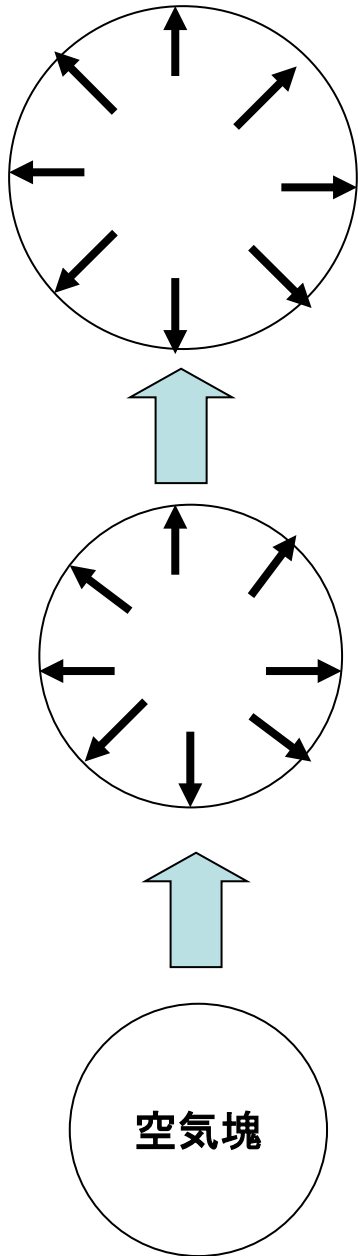
●大気の安定度 ●雲の仕組み ●雲の種類



古川武彦「気象コンパス」

<http://www.met-compass.com>

## 空気塊の上昇・下降



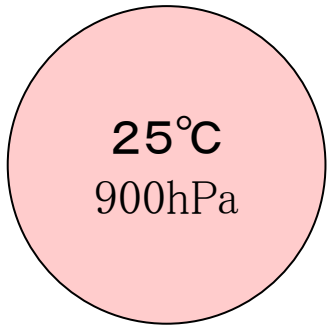
- 気圧は上空ほど低い
- 空気の塊が上昇すると膨張する
- 膨張に際して、周りの空気を押しのけるという仕事が必要で、そのためにエネルギーが必要
- 自分の熱エネルギーを用いて仕事をするので、熱エネルギーが減少する(温度が下がる)

# 大気の安定度

A: 持ち上げた空気塊の温度の方が、環境より暖かい(軽い) → ますます上昇する → 不安定

環境の温度分布(A)

20°C  
900hPa

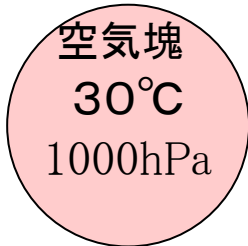


環境の温度分布(B)

27°C  
900hPa

B: 持ち上げた空気塊の温度の方が、環境より冷たい(重たい) → 元の位置に下降しようとする → 安定

30°C  
1000hPa

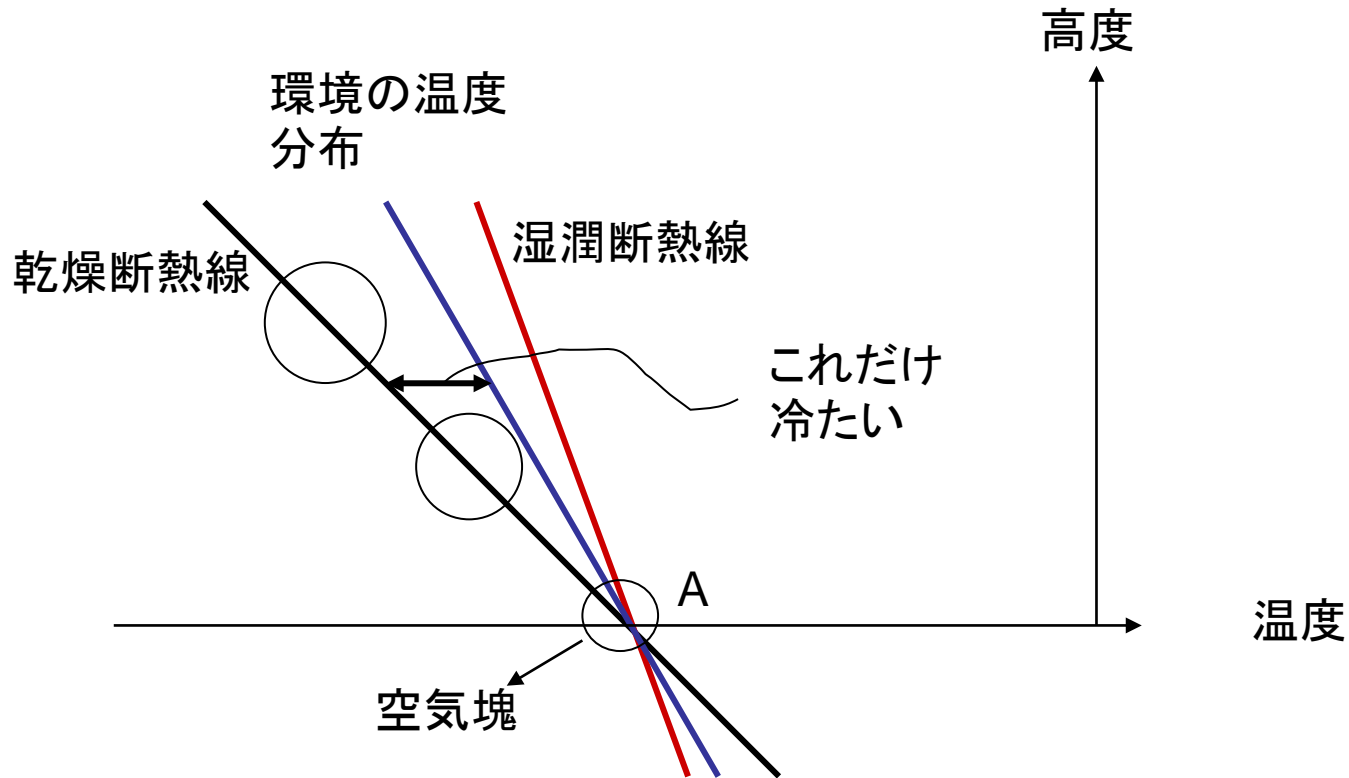


断熱変化

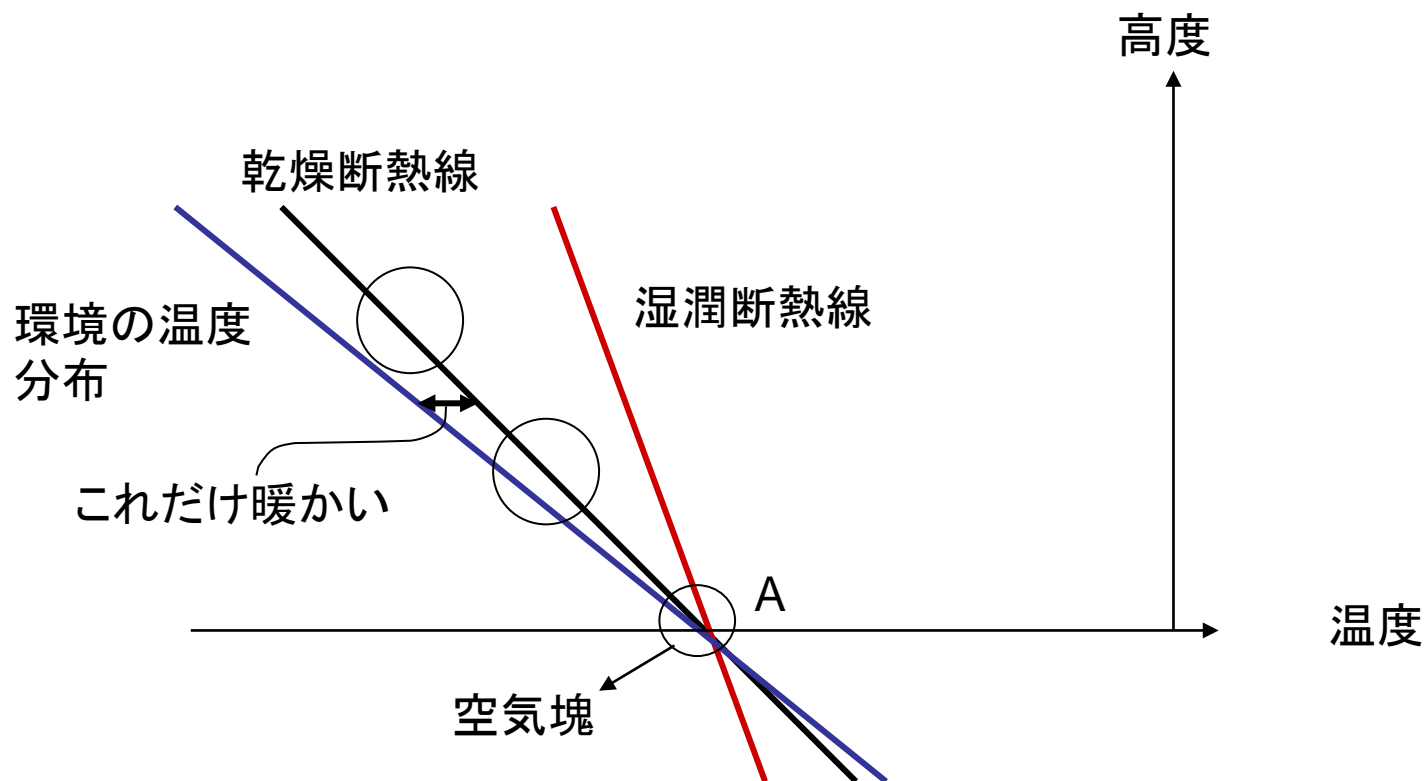
30°C  
1000hPa

大気の安定度は、環境の温度の鉛直分布で決まる。

# 大気の安定度(安定の場合)

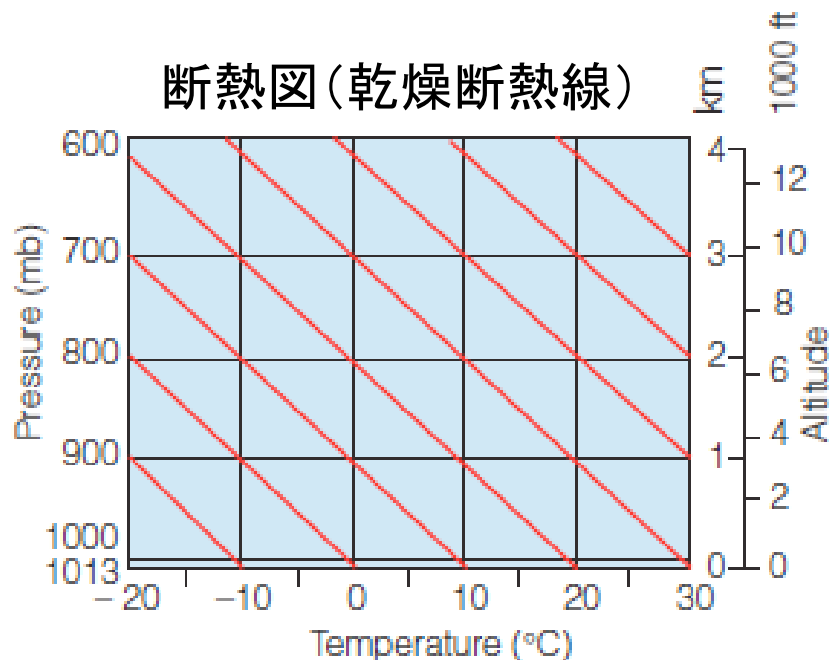


# 大気の安定度(不安定の場合)



# 乾燥断熱減率と乾燥断熱線

- 空気塊が、断熱的に上昇する場合、上空では気圧が低くなるため膨張する。その膨張のための仕事により、自分の熱エネルギー、すなわち、温度が低くなる。
- 気圧の低下と高度の上昇は、一定の関係式で結ばれているので、空気塊の高度変化に伴う温度変化の割合が求められる。
- **この割合は、一定値を取り、 $9.8^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$ 、（ $100\text{m}$ ごとに約 $1^{\circ}\text{C}$ 減少する）。**  
この割合を、「**乾燥断熱減率**」という。
- ある空気塊の温度と気圧（あるいは高度）の状態は、下図のような図（断熱図、エマグラム）上で表現できる。
- 空気塊が上昇（あるいは下降）する場合、**その温度は、必ず乾燥断熱線に沿って変化する。** なお、たとえ、空気塊が水蒸気を含んでいても、それが凝結しない限り、この関係は当てはまる。

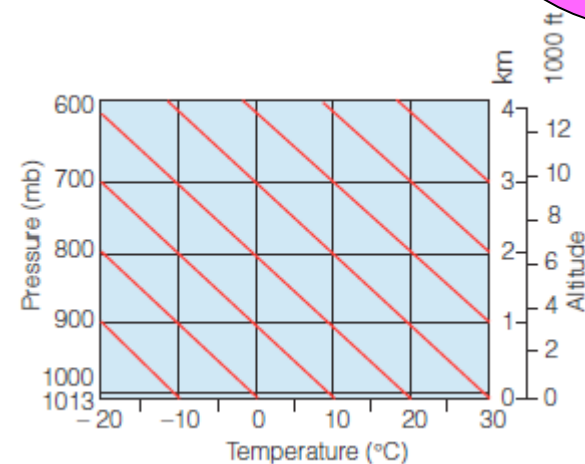
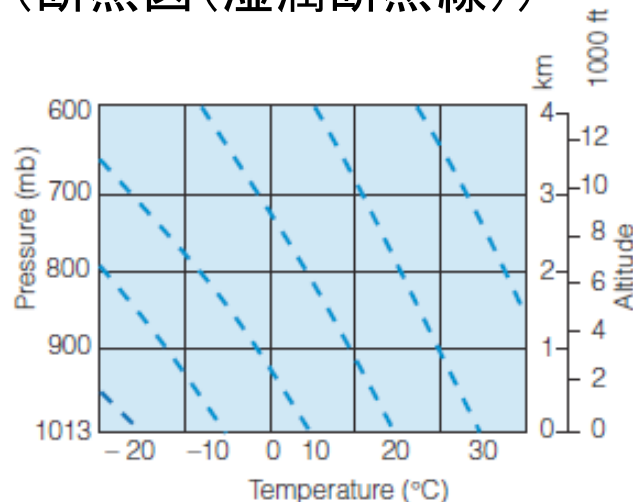


# 湿潤断熱減率

実際の大気の平均減率  
6.5°C/km

- 水蒸気で飽和した空気の場合の減率を、湿潤断熱減率という。
- 飽和した空気塊は、湿潤断熱線に沿って変化する。
- 飽和した空気の場合は、断熱過程であっても、内部の空気が凝結による潜熱の放出により加熱されるので、湿潤断熱減率は、必ず乾燥断熱減率に比べて小さくなる。
- また、温度が高いほど多くの水蒸気を含むことができるので、湿潤断熱減率は小さくなる。(下図で、温度が低い領域では減率は大きく、高い領域では減率が小さいことに注意！！)
- 湿潤断熱減率は、対象とする空気塊の温度に依存する。
- 湿潤断熱減率は、4°Cから6°C/1km程度  
(断熱図(湿潤断熱線))

湿潤断熱減率  
4°C~6°C/km



# 積雲の周囲の鉛直循環

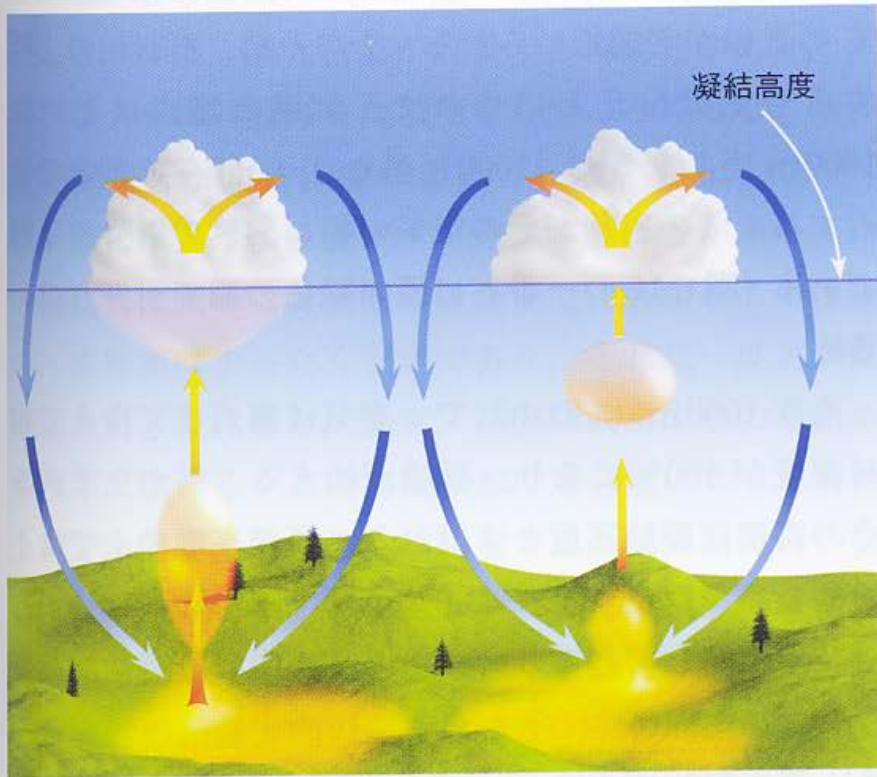


図 6.16 積雲は熱い、目に見えない気泡が、地面から離れて上昇し、凝結高度まで冷えてできる。積雲の下と内部では、空気は上昇している。雲の周囲では、空気は沈降している。

© C. Donald Ahrens



図 6.17 暖かい夏の午後に立ち上がっている積雲。おのおの雲そこでサーマルが地面から上昇していることを表している。雲間の晴れている領域は、空気が沈降しているところである。



# 雲は → 水蒸気が凝結したもの

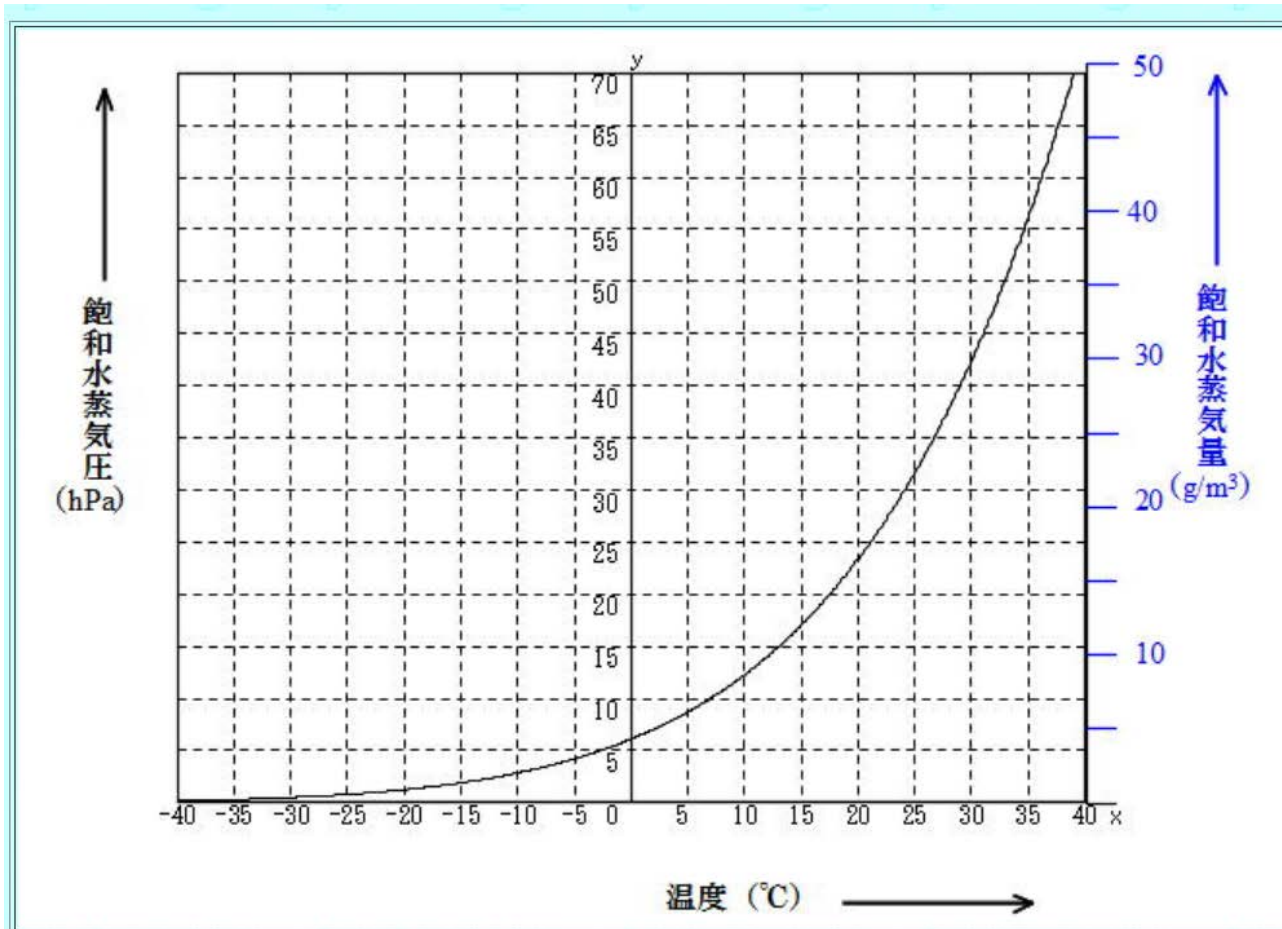
- 水蒸気を含む空気塊の温度が下がり、飽和に達すると、水蒸気が凝結して、雲粒が生成され、眼に見えるのが雲。(注)水蒸気はいくら多くても、眼に見えない！
- 水蒸気の飽和は、空気塊の①断熱的な上昇、膨張、冷却 あるいは②放射による冷却で起きる。
- ①の場合：日射による局所的な上昇気流、山の斜面の上昇気流、低気圧に伴う上昇気流、台風など
- ②の場合：夜間の地面付近の放射冷却、上空の空気の放射による冷却など
- 雲が維持されるためには、上昇気流が必要(雲粒は質量を持つため、自身は落下するため)

# 温度と湿度、水蒸気の飽和、凝結

- 空気を含みうる最大の水蒸気量(飽和水蒸気量)は、温度に一義的に依存する。温度の関数。
- 空気は、温度が高いほど、多くの水蒸気を含む。
- 湿度: その温度で実際に含まれている水蒸気量に対する飽和水蒸気量の比、(あくまでも相対的な関係)
- 湿度(相対湿度):  $\text{実際の水蒸気量} / \text{飽和水蒸気量}$
- 空気の温度が低下すると、やがて、飽和に達するので、もはや水蒸気の状態を保てず、雲粒が生まれる。
- 飽和しても、雲粒が出来ない状態がある: 過冷却

# 空気が含むことができる水蒸気

空気が含むことができる水蒸気量（水蒸気圧）は、限りがある。その限界まで水蒸気を吹くんだ状態を飽和状態という。そのときの水蒸気量を飽和水蒸気量といい、 $1\text{m}^3$ の空気に何gの水蒸気が含まれるかで表す。また、飽和水蒸気の代わりに水蒸気の圧力（分圧、hPa）で示すこともある。飽和水蒸気量（飽和水蒸気圧）は温度が高いほど多い（高い）。それはちょうど水に溶ける砂糖が、水の温度が高いほどたくさん溶けるのと同じである。



# 雲の生成と凝結核

- 実際には、雲を生成する凝結の過程はそう簡単ではない。
- ちょうど露と霜はそれができる表面を必要とするように、その上に水蒸気が凝結して雲粒を生成するためには、空気中に浮遊する粒子がなければならない。
- 空気はきれいなように見えるけれども、ほんとうは決してそうではない。普通の日、あなたの人差し指の大きさほどの体積の中には、1000から15,000個の粒子が含まれている。
- これらの多くは、水蒸気が凝結する際に表面として働くので、**凝結核**と呼ばれる。凝結核がないと、凝結が起き始めるのに数100%の相対湿度が必要となる。

# 凝結核の起源

- ・ 凝結核となる粒子は種々の方法で大気中に入ってくる。例を挙げると、ダスト、火山、工場の煙、森林火災、海の波しぶきからの塩、そして海洋中の光プランクトンから射出される硫黄の粒子すらも。
- ・ 凝結核は極端に軽く(多くは1グラムの1兆分の1以下の質量を持つ)、それゆえ、空気中に何日にもわたって漂うことができる。
- ・ 凝結核は工業都市の上では最も豊富にあり、そこでの著しく汚染された空気は、1立方センチメートル当たり100万個の粒子を含むことがある。
- ・ 凝結核はよりきれいな“田舎”の空気、または海洋上で減少し、そこでは濃度は1立方センチメートル当たりほんの数個に減少することがある。



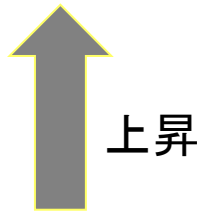
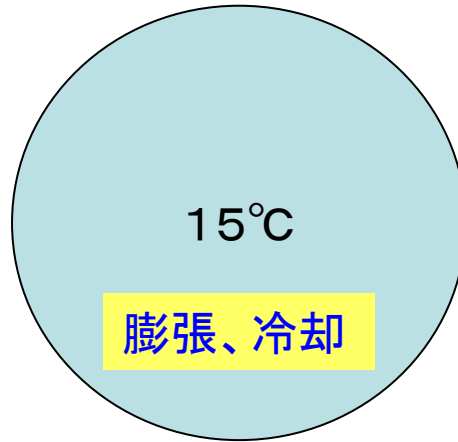
# ペットボトルの中に雲を作ってみる

- ① ペットボトルに水を3～5cmくらい入れて栓(フタ)をし、よく振る。
- ② 水を捨てて、ペットボトルを少しへこませた状態で栓をする(右の写真)。
- ③ ペットボトルを強く握ったり、ゆるめたりしながら懐中電灯で観察する。
- ④ 栓を開け、線香の煙をほんの少し入れて、ペットボトルを少しへこませて栓をする。
- ⑤ ペットボトルを強く握ったり、ゆるめたりしながら懐中電灯で観察する。

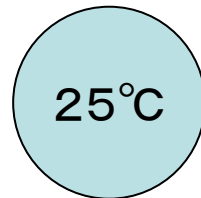


# 雲と降水の生成過程 (氷粒を含まない場合)

上空



水蒸気は眼に見えない！



地上

膨張(断熱的)



温度低下(断熱的冷却)



露点温度に達する



水蒸気が凝結



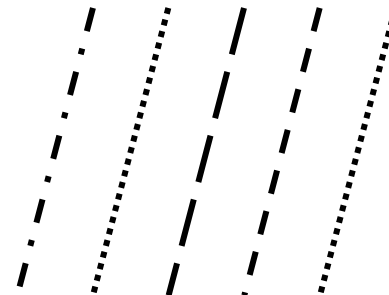
雲粒の生成(直径0.01~0.1mm程度、  
眼に見える)



雲粒が成長し、雨粒に(0.1~数mm)



降水として落下(0.5mm程度~数mm)



# 雲・雨・雪・霰・雹

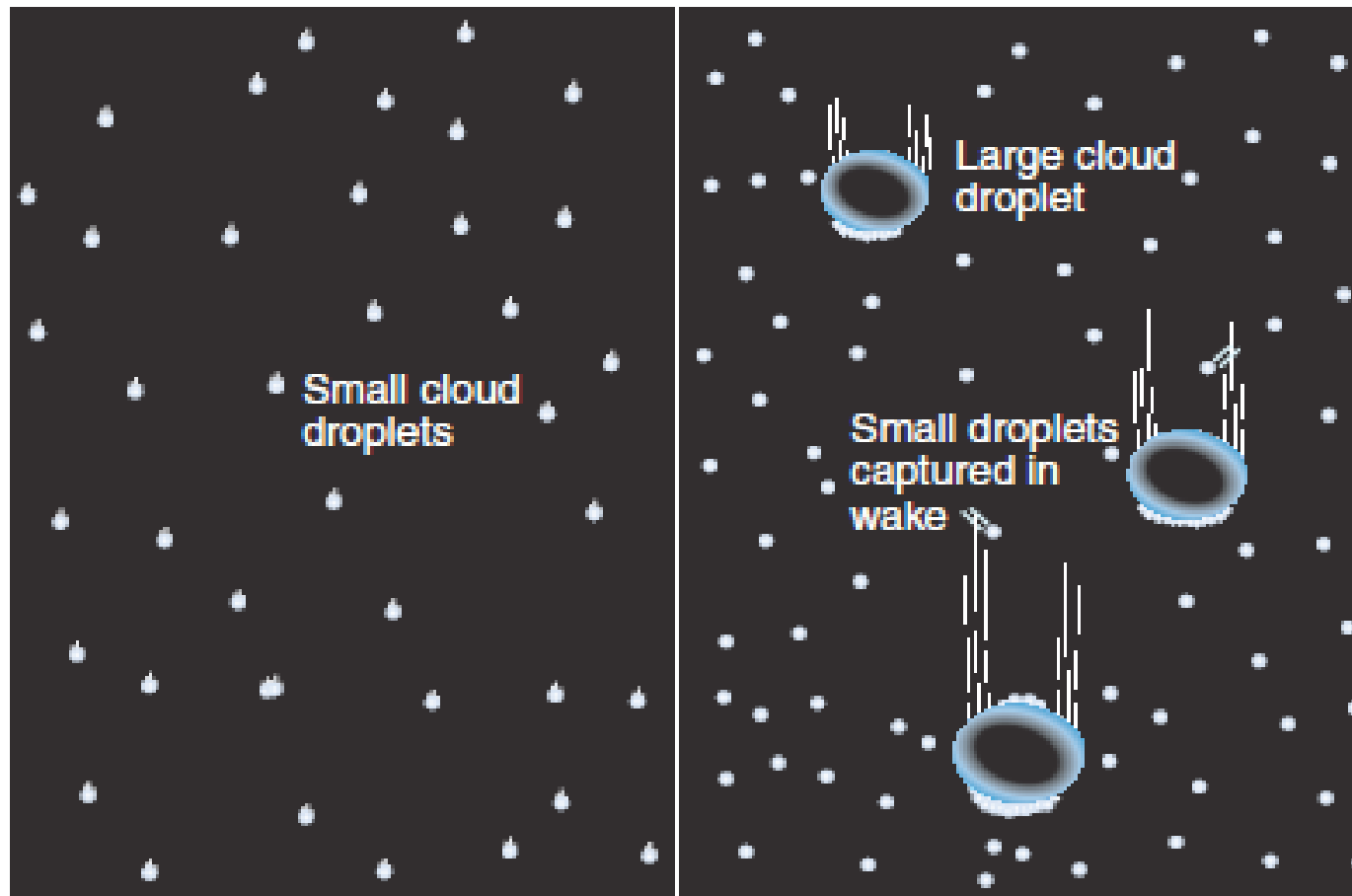
- 雲： 細かい水（雲粒）、または氷（氷晶）の塊、あるいは雲粒と氷晶の混合（雲粒の直径0.01～0.05ミリ未満）
- 雨： 雲粒が成長して、地上に落下、あるいは、雪片が融けて地上に落下。（直径0.5ミリ以上で、以下は霧雨。直径10ミリ以上の雨粒はない。）
- 雪： 雲から落下する氷の結晶（雪結晶）
- 霰： 雪結晶や凍結水滴が、過冷却の雲粒を付着して落下（直径数ミリ程度あるいは以下）
- 雹： 霰や凍結水滴が、強い積乱雲中で過冷却の雲粒を捕捉、落下



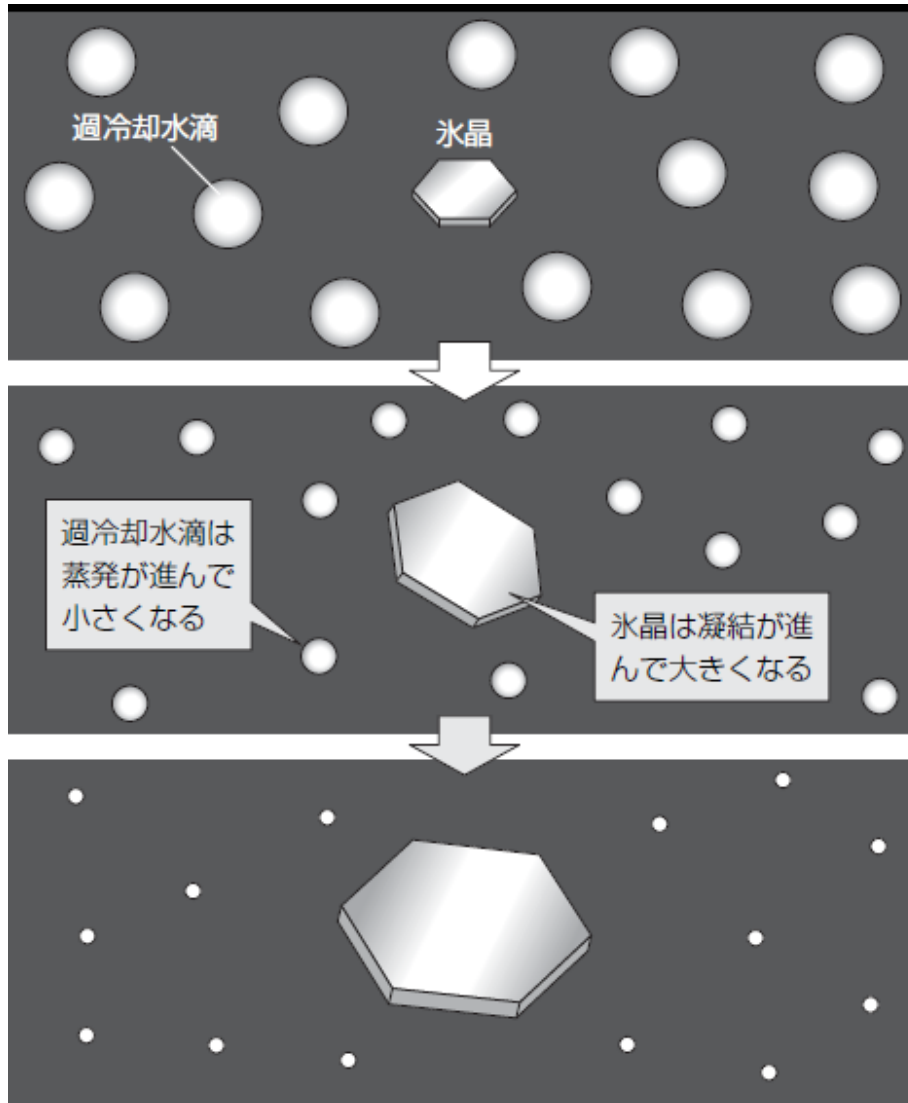


# 雲粒から雨粒への成長の仕組み

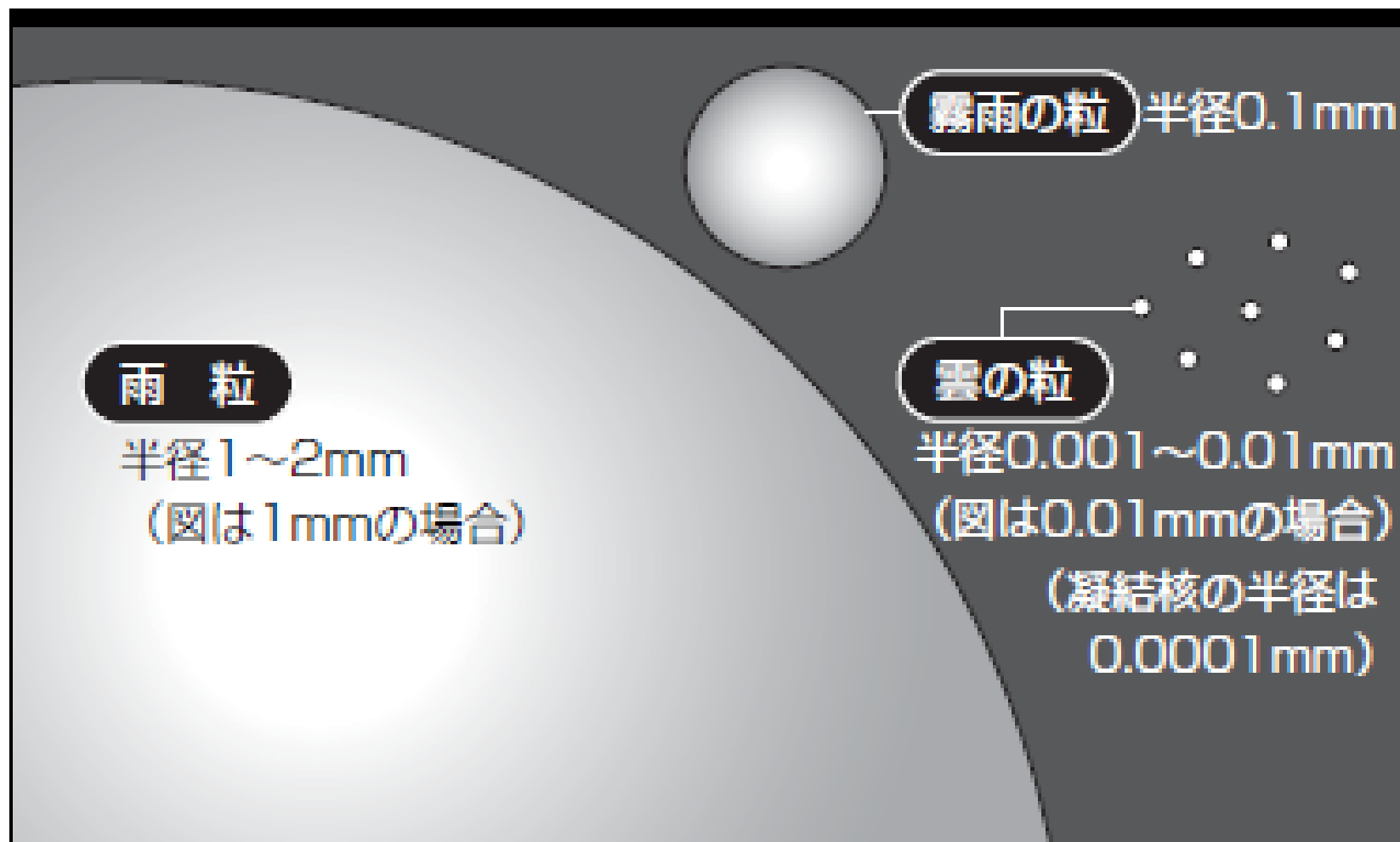
衝突併合過程（雲粒の落花速度の違いに起因）



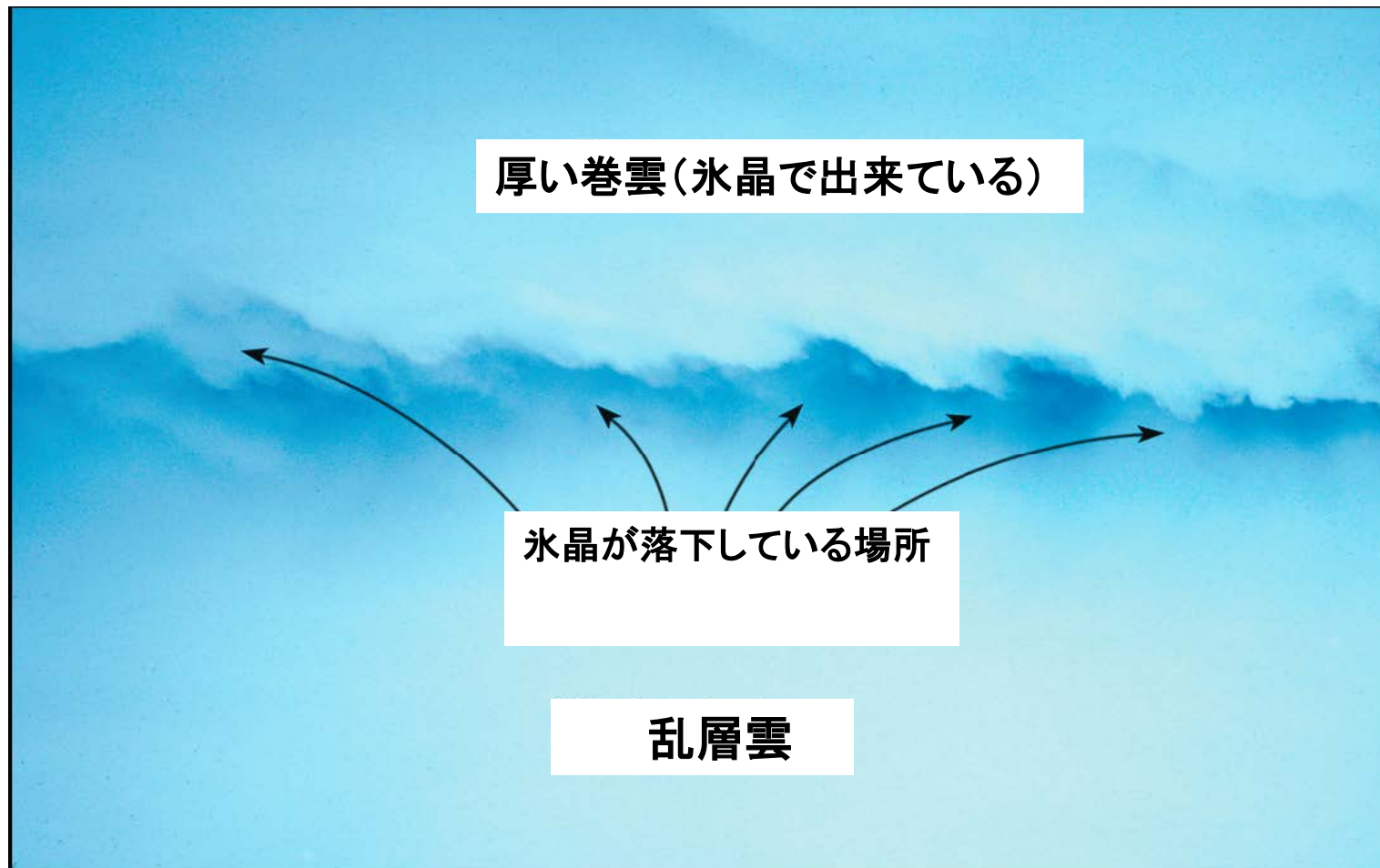
## 過冷却の水滴が氷晶に成長(昇華)



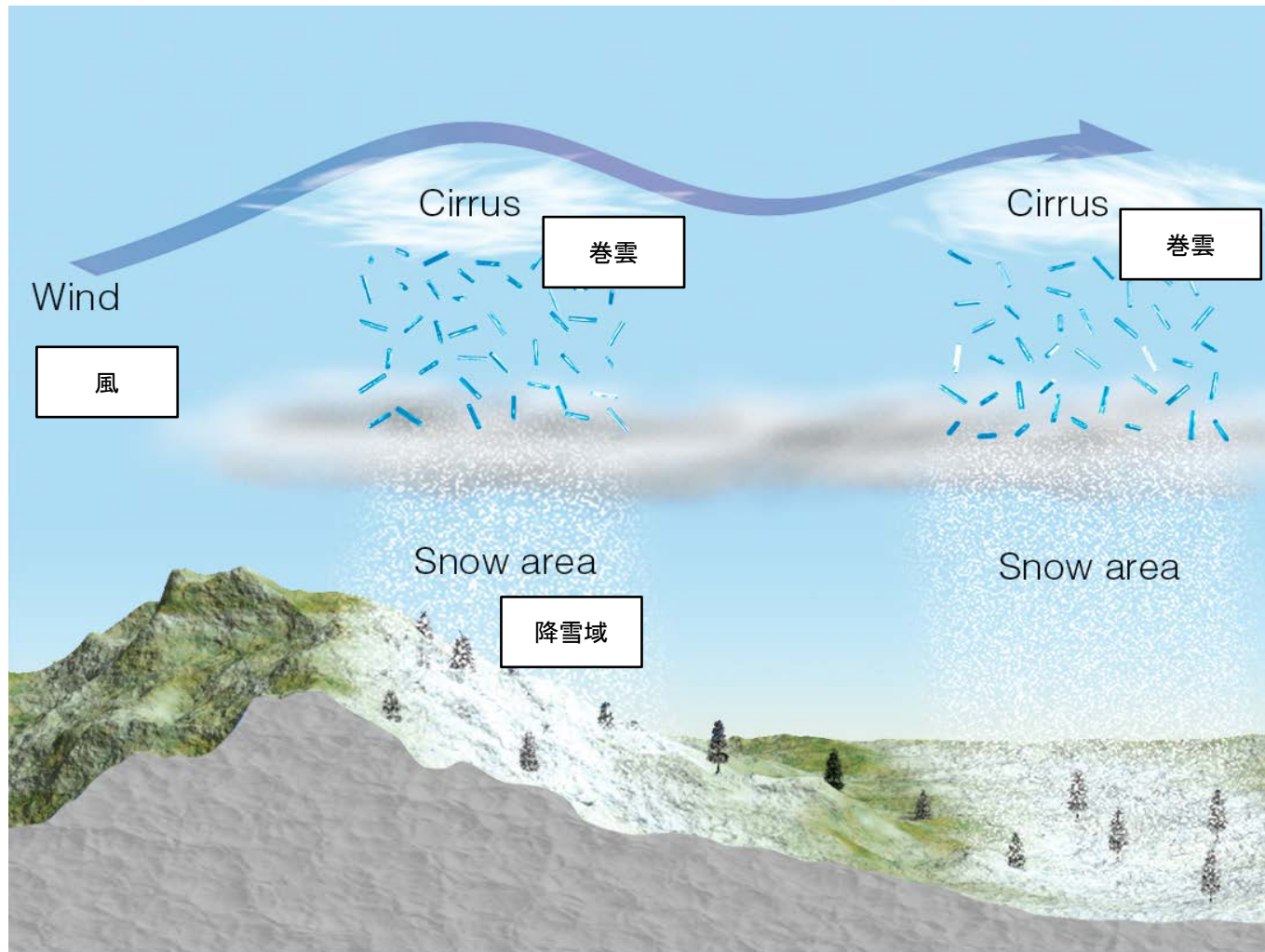
# 雲粒、雨粒、霧雨



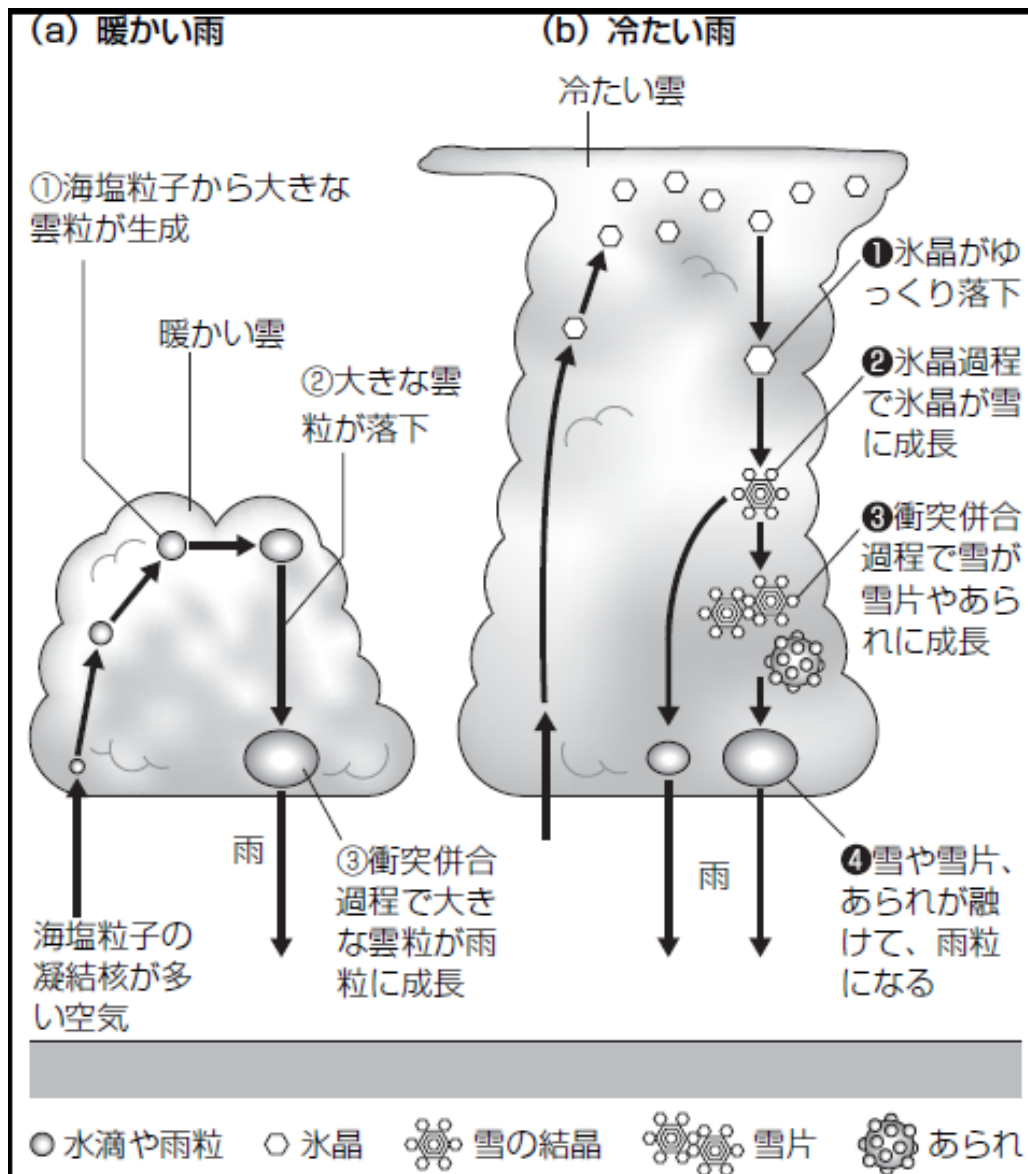
# 卷雲からの氷晶の落下（種撒き）



# 卷雲からの種まき



# 暖かい雨、冷たい雨



# 雲の成因

水蒸気の凝結

雲粒、氷粒の生成

水蒸気圧が飽和水蒸気に等しくなる  
(露点温度に達する)

雲粒、氷粒の成長

放射による冷却

断熱膨張による  
空気の冷却

降水粒子の落下

上昇気流

低気圧、海陸風、台風など  
地表面における日射  
山の斜面にぶつかる気流

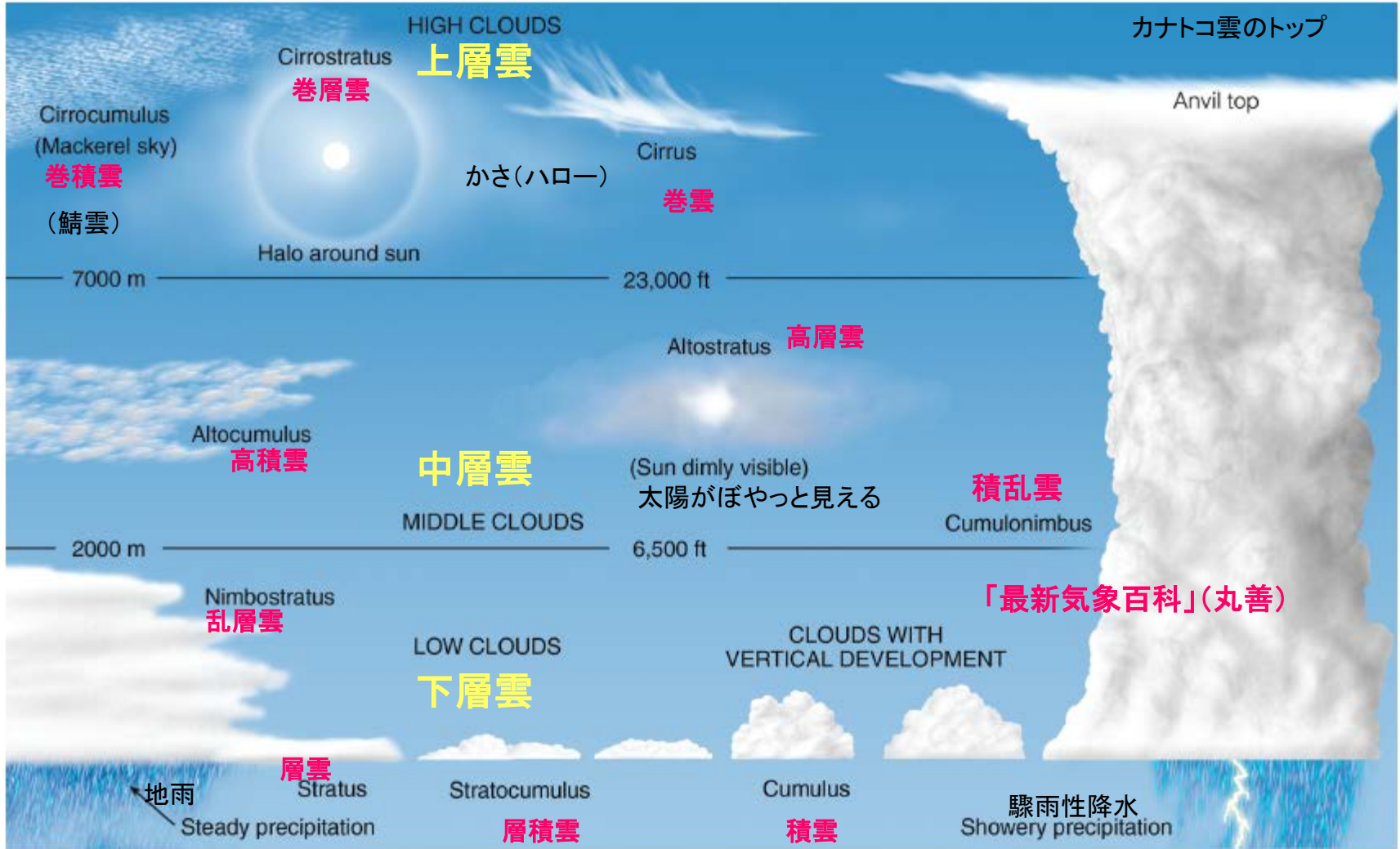
降水

# 降水、降水強度とは

- ・ **降水とは**: 液体および固体の水物質が、大気中を落下して、地表・海面に到達したもの。
  - ・ 降雨(**雨**)は降水の内の液体の落下。
    - ・ したがって、空中に漂っている雲(粒)や霧(粒)は、降水ではない。また、露や霜は空気中の水蒸気が、地上の物に直接に凝結したものだから、降水ではない。
- ・ **降水の種類**: 雨(通常、直径約0.5mm以上)、霧雨(直径0.5mm未満)、凍雨、雪、霰(みぞれ)、霰(あられ)、雹(ひょう) など。
- ・ **降水量**: ある時間内に降る雨や雪などの量で、単位はmm(ミリメートル)。
  - ・ 雪の場合は、熱で融かして測る。→降雪量: ある時間内に降る雪の深さ、積雪: 積雪の深さ
- ・ **降水強度**: その降水がもし1時間一定で継続したとすれば、得られる降水量で、ミリ/時間で表す。したがって、時間雨量強度50ミリの雨という場合、雨が30分で止めば、実際の雨量は25ミリとなる)。



# 雲の種類と高さ



# 低気圧に伴う雲の分布(模型図)

