

雲のはなし その1-積乱雲

松浦 俊博

雲は太陽からの放射熱を反射することにより大気温度の上昇を抑える。一方、地上からの放射熱を反射・吸収する有力な温室効果物質でもあり、大気温度が下がりすぎるのを防ぐ。また、地表や海面の熱や水の移動媒体であり、台風などにより熱や水を日本に届ける役割も果たす。もし雲の発生や移動を制御できれば、環境問題や食糧問題は大幅に改善される。

空に浮かぶ雲は、地表や海面から蒸発した水蒸気が冷やされて水滴や氷の結晶として集まったものである。水滴の直径は0.02mmから0.1mm程度で、浮かぶためには、それぞれ毎秒1cmから30cm以上の上昇気流が必要である。この気流は次のように発生する。(1)海からの湿気を含んだ風が山にぶつかり上昇する、(2)湿気を含んだ暖気が冷気とぶつかり楔状の冷気の上を昇っていく、(3)地表や海面が太陽光で熱せられて上昇気流を発生する。

雲の種類には、低い位置の層雲^{そううん}、高い位置の絹雲^{けんうん}、低位置から高位置まで広がる積乱雲などがある。特に積乱雲の発生は大変面白い。地表や海面が熱せられると円柱状の上昇気流が発生し、上昇に伴い圧力が下がるので気流は膨張する。上昇気流は周囲と熱のやりとりが無い「断熱膨張」により気温が下がる。空気が乾燥していれば1km上昇すると温度は10℃下がる。

積乱雲が高さ方向にどれくらい成長するかは、気流とその周りの空気の温度の高低により決まる。すなわち、ある高度で気流の温度が周囲より高ければ気流の密度が周囲より低くなるので、軽い気流は上昇を続ける。逆に、気流の温度が周囲より低ければ、重い気流は上昇できなくなる。

気流が上昇して圧力と温度が下がり、水蒸気の飽和点を超えると凝縮が始まり水滴が発生する。これが雲の発生である。水滴が生じる際には「潜熱」を放出するので上昇1kmあたりの温度降下は6℃に減る。気流の温度が周囲より高いならば、気流は上昇を続け積乱雲の高さは増え続ける。

ここで、地表が冷えているときに地表に広がる冷気層に生じる雲(霧)は上部の暖気層と地表に挟まれて上昇しない。ここには上昇気流はない。含まれる水滴の径は非常に小さいので空気と一体的に動く。地表付近の空気温度が非常に低い場合はその部分の密度が高いため、その上部の微小水滴を含む空気は降下できない。この冷気層は主に風に運ばれて移動し、地表を濡らし周辺の木々や建物に付着する。

積乱雲の上昇気流の温度が下がり続けて0℃以下になっても、水滴はすぐには氷にならないが、温度がさらに下がると氷と水滴の混合状態になり、-40℃以下になるとすべて氷状態になる。高度は7kmくらい。この状態でさらに上昇すると大気圏と成層圏の境界に近づく。高度は10km程度であり、これより高い位置では雲は成長せず水平方向に広がる。大気圏では高度上昇とともに気温が下がるが、成層圏では逆に上がる。これは成層圏に存在するオゾンが紫外線のエネルギーを吸収するためである。こうして、気流の温度が周囲より低くなり、従って周囲より重くなった上昇気流はここで停止する。いわば温度の壁である。

上昇気流の生じる地表では、周りの空気が気流に吸い込まれるので中心の気圧は低い。中心に向かう流れには^{コリオリ}Coriolis力が働き、北半球では上から見て反時計回りの渦流が螺旋状に上昇する。

この上昇気流が高度10kmくらいまで上昇すると、ジェット気流と干渉することがある。ジェット気流は、極付近のPolar cellと呼ばれる循環冷気流と隣接cellの循環暖気流がぶつかる不連続境界Polar frontの上空に生じる。北緯45°から60°あたりで旅客機が飛行する高度を時速200-300kmの高速で西から東に流れる。

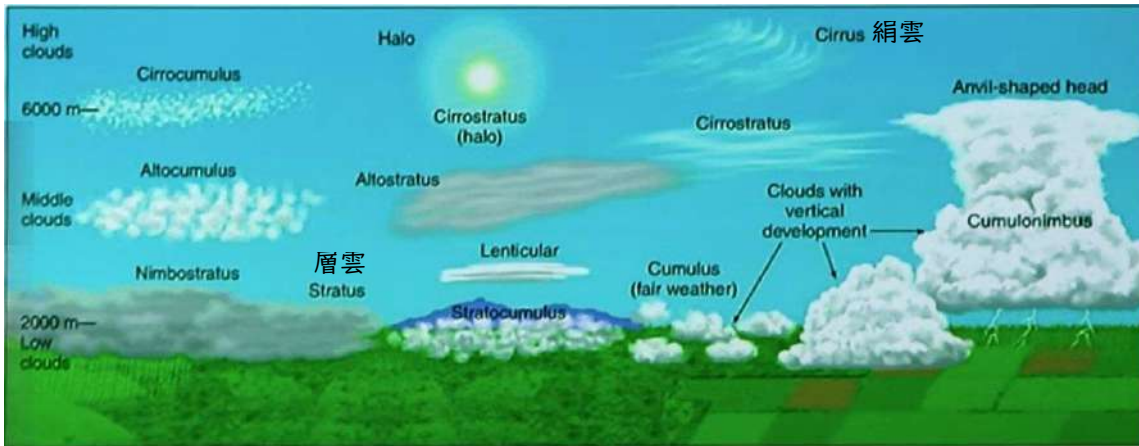
Polar frontの地表では北側からの南東方向への風と、南側からの北西方向への風がぶつかり合う。東西方向に対して斜めにぶつかるためPolar frontは南北に傾くが、同じ方向に傾き続けられないのでうねる。このうねりにより生じる渦が上昇気流や下降気流を引き起こし、地表に低気圧部と高気圧部をもたらす。このように、ジェット気流のうねりがポンプのように作用して、積乱雲の上昇気流発生を促す場合もある。

積乱雲が陸地で生じる場合には、水蒸気の供給に限度があるので広範囲に広がることは少ない。たいていの場合はあっという間に高くそびえて雨が降り出し雷を轟かせる。積乱雲内部の水滴や氷が合体して大きくなると雨や^{ひょう}雹になって地表に落ちる。落下する雹は上昇する氷の結晶と衝突する際にマイナス電荷に帯電し、上昇する氷の結晶はプラス電荷に帯電する。このため雲の上部はプラスに下部はマイナスに帯電して雷を発生する。雨の水滴の平均直径は2mm程度であるが、落下に伴い下降気流が生じて上昇気流は冷やされて弱まる。下降気流の方が^{しば}支配的になると積乱雲は萎んで消滅する。

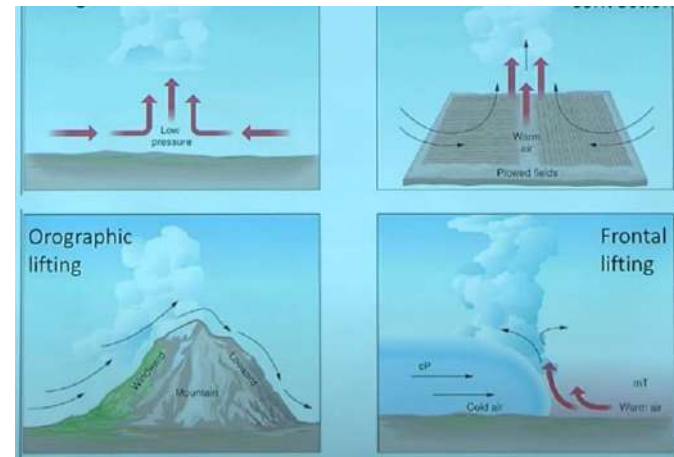
海上で発生する積乱雲は、成長すると台風などになる。その2では、台風の発生と構造について書いてみる。

出典：<https://www.youtube.com/watch?v=wmqi2SuCMGE>
UCIrvine OpenCourseWare Dr. J. Ferguson

雲の種類



上昇気流の発生



町に流れ込む雲 2017年8月 イタリア・トレントにて筆者撮影

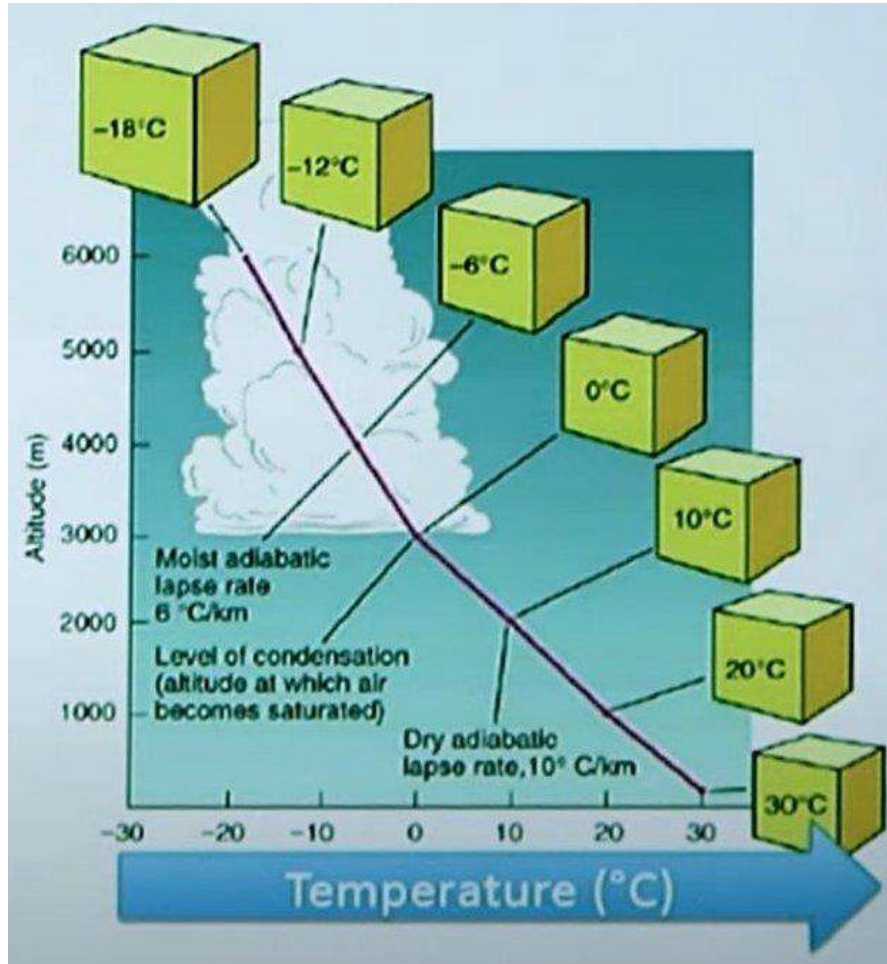


地表に冷気があり、その上に暖気があると冷気は上昇しない
地表の霧は上昇気流を伴わない

写真出典：UCIrvine OpenCourseWare Dr. J. Ferguson



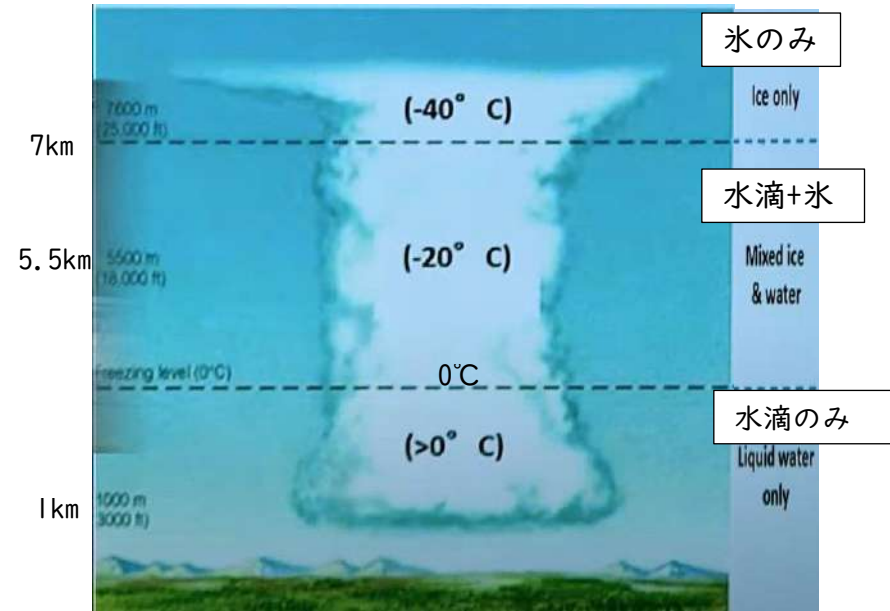
高度と断熱膨張による温度



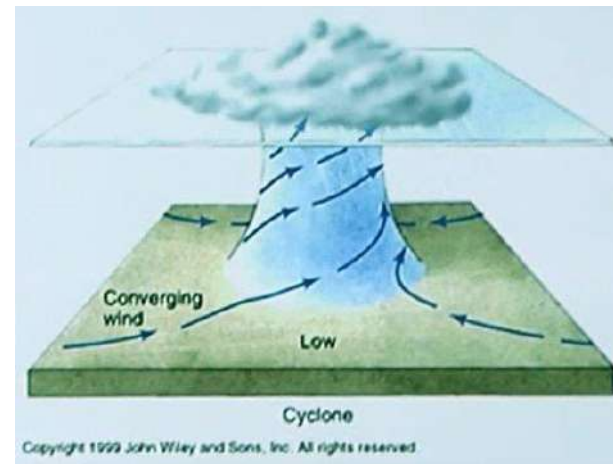
上昇気流は断熱膨張により気温が下がる。空気が乾燥していれば1 km 上昇すると温度は10°C下がる。

気流が上昇して圧力と温度が下がり、水蒸気の飽和点を超えると凝縮が始まり水滴が発生する。これが雲の発生である。水滴が生じる際には潜熱を放出するので上昇1 km あたりの温度降下は6°Cに減る。

積乱雲の高さ方向の温度と構成

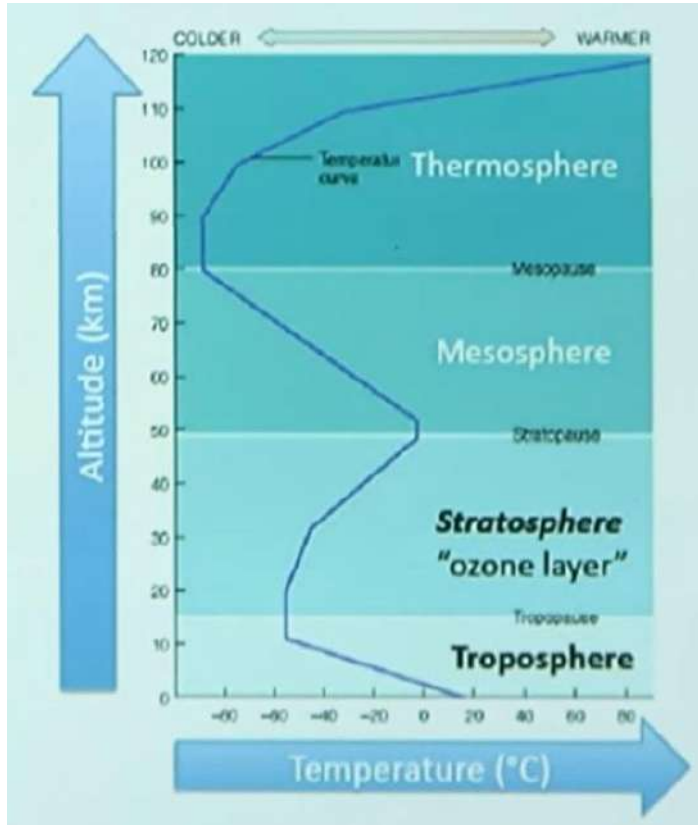


上昇気流/低気圧と雲の発生



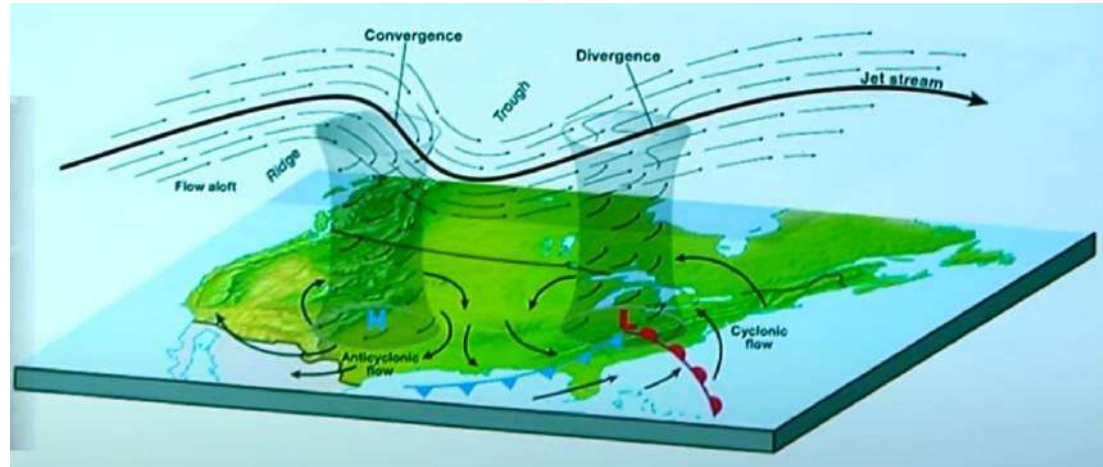
低気圧
上昇気流
反時計回り

高度と温度



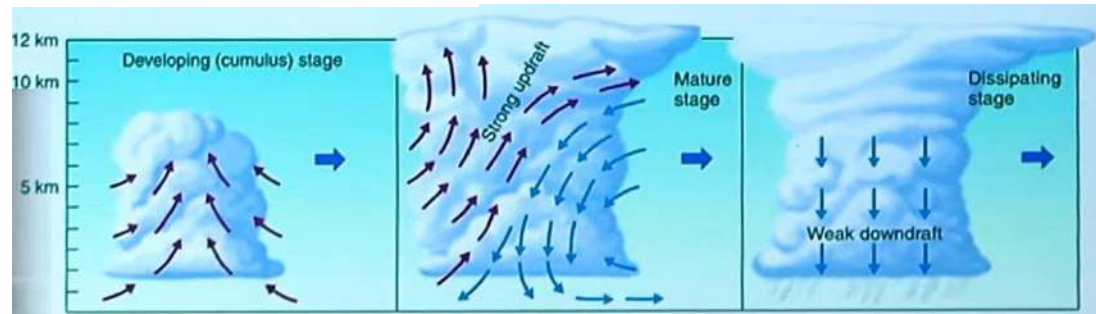
大気圏では高度上昇とともに気温が下がるが、成層圏では逆に温度が上がる。これは成層圏に存在するオゾンが紫外線のエネルギーを吸収するためである。

ジェット気流のうねりと低気圧/高気圧の発生



ジェット気流のうねりにより生じる渦が上昇気流や下降気流を引き起こし、地表に低気圧部と高気圧部をもたらす。このようにジェット気流のうねりがポンプの作用をして積乱雲の上昇気流発生を促す場合もある。

積乱雲の発生から消滅まで



積乱雲内部の水滴や氷が合体して大きくなると雨や雹になって地表に落ちる。雨の水滴の平均直径は2 mm程度であるが、落下に伴い下降気流が生じて上昇気流は冷やされて弱まる。下降気流の方が支配的になると積乱雲は萎んで消滅する。