

大気の大循環

(1) なぜ冬が寒く、夏が暑いのか

地球の気温はほとんど太陽からもらうエネルギーです。そのエネルギー量は、太陽光に垂直に受けるか、斜めに受けるかで変化します。これが、冬は寒く夏は暑くなる大きな要因です。太陽エネルギーを垂直に受けると（頭の真上から受けると）、一定の面積（単位面積）当たりのエネルギー量は最大になります。斜めから受ける角度によって、どの程度、もらうエネルギー量がちがうかを図で書いてみました（図 1）。北緯 35° は名古屋の南の東海市や岡崎市北部ぐらいになります。この図は受ける面積を線で表してあります。左側が夏至の太陽の南中高度 78.4° で、太陽光線に垂直面 S で受けたエネルギーを Ss という面積で受けることになります。右は冬至の日の状態で、S の面積で受けたエネルギーを Sw という面積で受けます。Sw>Ss ですので、単位面積当たりでは、冬至の日の方が少ない、つまり寒いことになります。このことは、懐中電灯を壁に垂直に当てた時と斜めに当てた時の、明るさと当たる面積でもわかります。図 2 は図 1 の角度を求める説明図です。日本では北回帰線は通っていませんので（台湾の中部を通っています）、真上から太陽の光がくることはありません。図 3 はオーストラリアのノーザンテリトリーにある南回帰線を示す碑で、図 4 はその近くで冬至の日に撮った写真です。

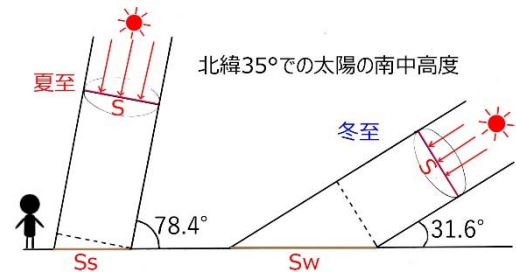


図 1 北緯 35° での太陽の南中高度

この図は受ける面積を線で表してあります。左側が夏至の太陽の南中高度 78.4° で、太陽光線に垂直面 S で受けたエネルギーを Ss という面積で受けることになります。右は冬至の日の状態で、S の面積で受けたエネルギーを Sw という面積で受けます。Sw>Ss ですので、単位面積当たりでは、冬至の日の方が少ない、つまり寒いことになります。このことは、懐中電灯を壁に垂直に当てた時と斜めに当てた時の、明るさと当たる面積でもわかります。図 2 は図 1 の角度を求める説明図です。日本では北回帰線は通っていませんので（台湾の中部を通っています）、真上から太陽の光がくることはありません。図 3 はオーストラリアのノーザンテリトリーにある南回帰線を示す碑で、図 4 はその近くで冬至の日に撮った写真です。

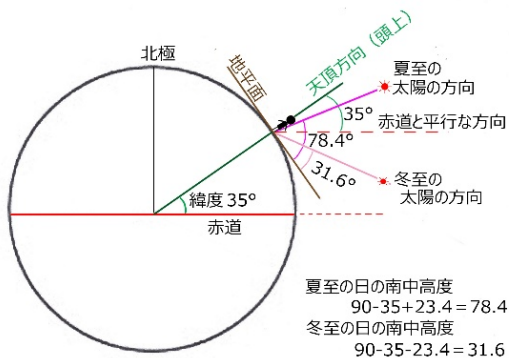


図 2 南中高度の求め方



図 3 南回帰線標識



図 4 ほぼ頭上の太陽のつくる影

(2) 大気の大循環

同じ地点での寒暖差の出る説明をしましたが、赤道付近が暑く、極地域が寒いのも、太陽高度の差が大きな要因です。赤道と極地方で大きな温度差があるため、地球の大気は大きく対流しようとしてきます。地球全体を巡る大きな対流（循環）を大気の大循環といいます。

地球の公転軌道面ともいえる天の赤道（地球の赤道の上空を結んだ線）と太陽の公転軌道面（黄道）は約 23.4° 傾いているため、太陽は北緯 23.4°～南緯 23.4° の範囲で移動します。いつも赤道上空付近にあるといえます。赤道で熱せられた空気は、膨張し、軽くなって上空に向かって流れ出ます（以降は図 5 を参照してください）。上空には対流圏界面という気温変化が逆転（＝上空ほど“重い”）す

る面があるため、大気はそれ以上、上昇できません。そのため、上昇した空気は北か南に分かれて流れます（以降は北半球側のみの説明です）。北へ向かった上空の空気は、地球の自転によるコリオリ力（転向力）のため、右へそらされて東方向に向きを変えます（これ以上、北へ進めません）。地球を囲むある幅の帯状の空気を考えてみます。赤道が地球の半径が一番大きく、緯度が高くなるほど帯状空気の半径は小さくなります。赤道付近にあったある幅の帯状の空気が移動したのなら空気の

量は変わらないので、圧縮されて緯度が高いほど空気の密度が大きく（重く）なります。さらに圏界面までの高さ（対流圏の厚さ）も緯度が高くなると低くなる（赤道付近で18km、中緯度で11km、極では8kmほど）ことや、上空で冷却されることなども加わって、密度が大きく（重く）なります。赤道上空からは常に空気が流れてきますので、空気は地表に向かって流れます（下降気流の誕生）。上空から流れ込む空気のため、地表では気圧が高くなり「**亜熱帯高圧帯**」がつけられます。南北両半球の緯度30～35°を中心にして、東西につらなる気圧の高い帯状の地域です（完全に地球をとりまわっているわけではなく、いくつかの高気圧に分かれています）。「**亜熱帯高圧帯**」では、下降するにつれて断熱圧縮によって温度が上がり、相対湿度が下がるので熱く乾燥した空気となり、大陸ではサハラ砂漠やオーストラリアなど、砂漠となるところが多いです。亜熱帯高圧帯は、風が弱く穏やかに晴れているため昔の帆船は進むことが困難で、船を軽くすることや、飲み水不足を防ぐために、積み荷の馬を海に捨てたことから「**馬の緯度 horse latitude**」と呼ばれました。ヨーロッパからの航海の難所の一つだったのでしょう。降りてきた空気は地表付近で、北と南に流れていきます。上昇によって空気が少なくなった赤道付近（**熱帯収束帯**）を補うように南へ流れる風は**貿易風**と呼ばれます。やはり自転の影響（コリオリ力）を受けて進行方向の右へそられていき、北東から吹く**北東貿易風**となります。貿易風 trade wind は一年中ほぼ決まった風向と強さで吹き続けるため「**定風**」「**恒信風**」と呼ばれてきましたが、ヨーロッパの帆船が大西洋上のこの風を利用して中南米へ航海したため、貿易風と呼ばれるようになりました。ハワイは貿易風帯に属しており、島の北側（山側）から風が吹きます。オアフ島には1000m程度の山脈が北西-南東方向に走り、湿った風はこの山脈で雨を降らすため、風下側のワイキキビーチでは適度に乾燥した風が吹くこととなります。このように**亜熱帯高圧帯**と**熱帯収束帯**の間には1つの大きな循環が成り立っており、**ハドレー循環**と呼ばれます。このハドレー循環が大気大循環の原動力とも言えます。

中緯度上空で優勢なのは**偏西風**で、蛇行して流れることが多く、そこには高気圧や低気圧が複雑に発生するので、平均すると上空では北から南に向けた流れが見られます。地上では北向き、上空では南向きのこの循環は**フェレル循環**と呼ばれますが、この循環は、この**偏西風**波動を経度方向に平均することによって現れるいわばみかけの循環ですので、はっきりと描かれないことも多いです。緯度30°付近で下降し、緯度60°付近で上昇する中緯度で見られる大気の大循環です。地表付近では地球の自転にともなう西寄りの流れとなり、**偏西風**と呼ばれ、日本もこの影響下にあります。

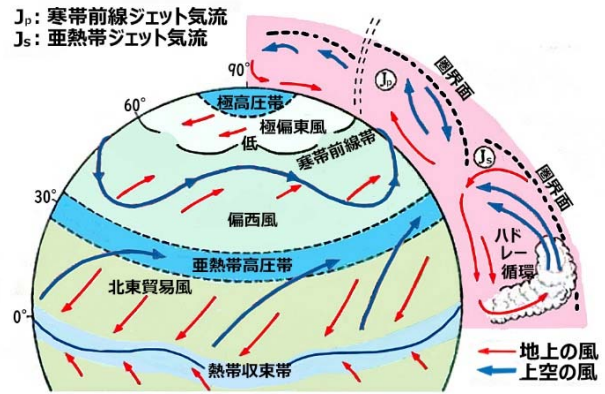
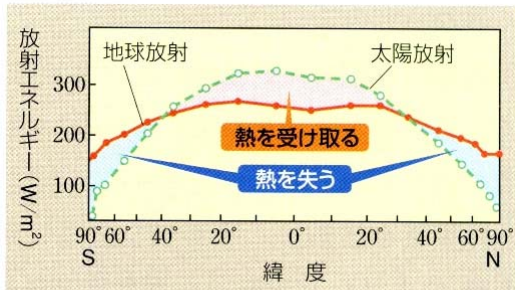


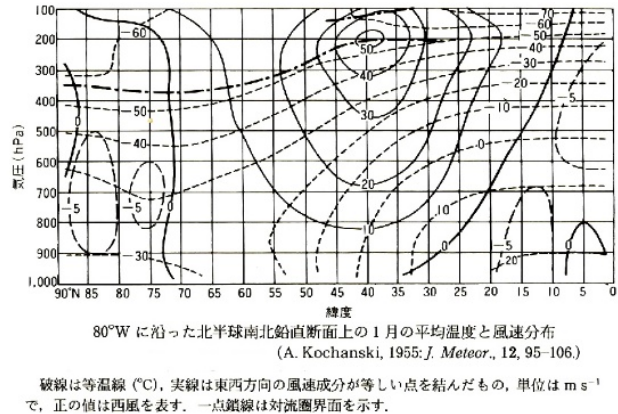
図5 大気の大循環(URL1を改)

偏西風帯の大きな特徴は、南北に蛇行して流れる**偏西風波動**と呼ばれる現象です。偏西風波動の原因は南北の温度差が大きいことや、コリオリ力による影響が大きいと考えられています。図6では地球の緯度別放射エネルギー収支(熱のやり取り)が、図7は鉛直断面の気温分布(1月)が示されています。緯度35°付近は地球が熱をもらうか失うかの境になっており、図7の気温分布(破線)を見ても急な傾き(温度差が大きい)となっています。傾圧不安定といいますが、不安定を解消するために波動を発生させるようです。



地球の緯度別の放射エネルギー収支

図6 緯度別放射エネルギー収支(数研出版, 2014)



80°Wに沿った北半球南北鉛直断面上の1月の平均温度と風速分布
(A. Kochanski, 1955: J. Meteor., 12, 95-106.)

破線は等温線(°C)、実線は東西方向の風速成分が等しい点を結んだもの、単位は $m s^{-1}$ で、正の値は西風を表す。一点鎖線は対流圏界面を示す。

図7 1月の鉛直断面の気温分布(小倉, 2000)

南北の緯度30°、高度12~15km付近には強い西風が吹いており、亜熱帯ジェット気流と呼び、日本上空にもやってきます。北半球の亜熱帯ジェット気流は夏に比べ冬は南を流れ、梅雨の時期にちょうど日本上空に差し掛かりさらに北上して日本がその南側に入ると夏になります。もう一本の上空を吹く強い西風を**寒帯前線ジェット気流**と呼びます。寒帯前線ジェット気流は、緯度60°くらいの位置にでき、蛇行が激しく、流れる位置の変動も激しい流れです。途中で途切れることもあります。このジェット気流も南北の温度差のある寒帯前線の上空にできます(図8)。ジェット気流については会報no21・no22を参照してください。

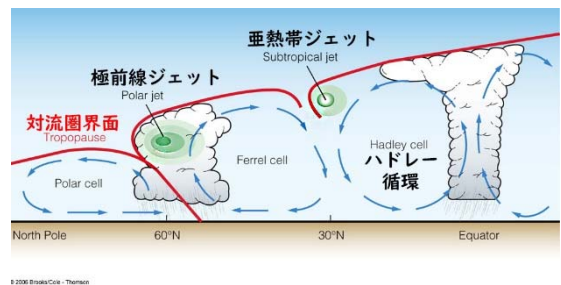


図8 ジェット気流(Alksnis, 2018に加筆)

極付近では日射が少なく、放射によって冷え続けています。このため空気の柱は縮み低くなっています。気圧が低くなっている上空に中緯度方面から空気が流れ込んでくるため地上の気圧は高くなっています。このようにしてできる高気圧を極高気圧といいます。ここから吹き出す風はコリオリ力で東寄りの風となり極偏東風といいます。ただし上空は極に向かうほぼ西風です。極の寒気がコリオリの力を強く受けて偏東風として南下するのが極循環です。

(3) 気団・移動性高気圧・三寒四温 -なぜ移動性低気圧はないのか-

気団は、多くは停滞性の高気圧で、主に赤道付近の低緯度と両極を取り巻く高緯度の地域で発生します。これらの地域は、水平方向の擾乱が少ないために均質な大気がまとまって存在しやすいため、気団を形成しやすいからです。ただし、熱帯収束帯(赤道低気圧)にできる赤道気団は気圧の低い気団です(図9)。中緯度地域では、ジェット気流の影響で擾乱が発生し、温帯低気圧を発生さ

せて南北の大気をかき混ぜてしまいます。さらに高気圧はジェット気流によって移動性となるため、大規模な気団は存在しません（地域的には、気団とみなせる高気圧が季節的に発生します）。複数の気団が接触すると、前線（性質の異なる気団の境界を前線面と呼び、その面が地面と交わってできる線が前線です）ができ、低気圧が発達することがあります。日本に影響を与える主な気団は、シベリア気団・オホーツク海気団・小笠原気団・赤道気団の4つです。以前は揚子江気団も考えられていましたが、揚子江気団は、日本の気候に与える影響が小さいこと、シベリア気団と連動している（移動しない、または、移動しにくい停滞性の大規模な高気圧」定義に該当しない）ことがわかったため、教科書から消えました。シベリア気団は、日本海側に大雪を降らせる原因の気団で、低温乾燥です。オホーツク海気団は、梅雨前線や秋雨前線の発生の一因となる気団で、低温湿潤です。小笠原気団は、蒸し暑い夏のおもな原因となる気団で、温暖湿潤です。赤道気団は、熱帯低気圧（台風）を発生させる気団で高温多湿です。低気圧は、偏西風や高気圧に押されて常に動いており、あえて「移動性」と呼ぶ必要がないのです。大陸由来の移動性の低気圧を「温帯低気圧」と呼んでいます。移動性低気圧は気象の専門用語としては存在するそうです。

「三寒四温」は元々冬の気候を示す言葉で、冬の時期に寒い日が3日くらい続くと、そのあとに比較的暖かい日が4日続くという意味で、寒暖の周期を表しています。もとは中国の東北部や朝鮮半島北部で冬の気候を表す言葉です。日本の冬ではこのような周期が現れることはほとんどありません。近年では本来の意味から外れて、春先に低気圧と高気圧が交互にやってきたときの気温の周期的な変化、という意味合いで使用されることが多くなっていることはご存じだと思います。

主な参考引用文献

Alksnis, E, 2018, Global atmospheric circulation in the light of liquid turbulent Earth's interior idea.

,See discussions, stats, and author profiles for this publication at:

<https://www.researchgate.net/publication/323414614>

小倉義光, 2000, 一般気象学 (第2版). 東京大学出版会.

数研出版編集部, 2014, もういちど読む数研の高校地学. 数研出版.

URL 1 : <https://blog.goo.ne.jp/morinoizumi33/e/61aad68d964107efa8c914678cfa42d>

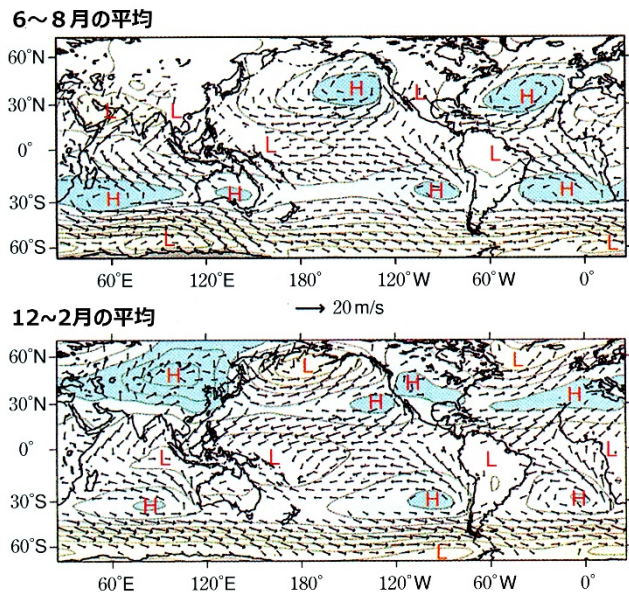


図9 海面気圧と地表風（数研出版，2014）