

8 大気力学（2）

8.1 温度風の関係

中緯度の上空では西風が卓越している。これを**偏西風^高**(westerly wind)という。上空に行くほど偏西風が強くなっている原因を考えてみよう。まず地上気圧は赤道と極で等しいとする。赤道でも極でも上空に行くほど気圧は低くなるが、気温の高い赤道のほうが空気の密度が低いので、静水圧平衡の関係より、気圧が低下する割合は小さい。このため、上空の気圧は、赤道と極とでは赤道のほうが高くなる。ここで地衡風^高の関係をを用いると、低緯度側で気圧が高い場所では西風が吹くことがわかる。赤道と極の気圧差は上空に行くほど大きくなるので、偏西風も上空に行くほど強くなる。このような南北温度勾配と東西風の鉛直方向の変化（鉛直シア）との関係を**温度風の関係**(thermal wind relationship)という。一般に、夏季よりも冬季のほうが、赤道域と極域の温度差が大きくなるので、中緯度の対流圏上部での偏西風は、冬季のほうが強い。

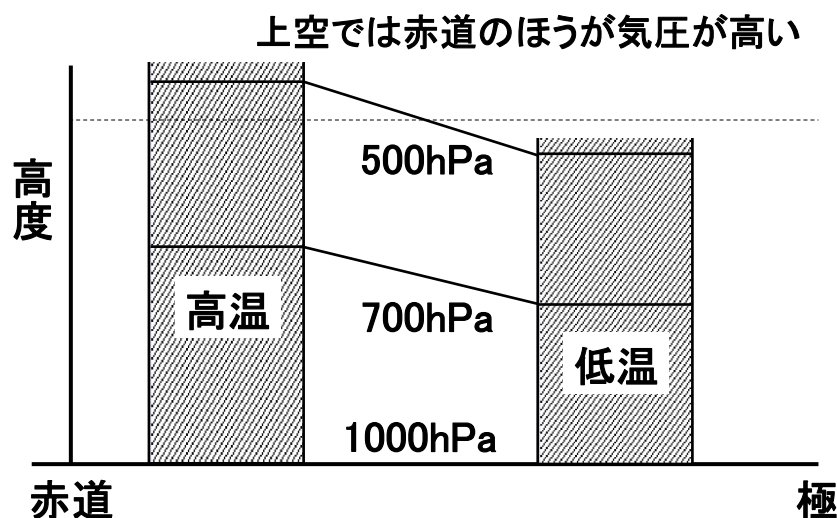


図 8-1: 温度勾配と気圧傾度の関係

温度風^高の関係をより一般的にみると、北半球では、上空に行くほど、温度の高い場所を右に見て吹く風が強くなる、ということが出来る。南半球では、逆に、温度の高い場所を左に見て吹く風が強くなる。このような温度風^高の関係をを用いて、温度移流がある場合の、風の鉛直シアを考えてみよう。温度移流とは、風が等温線に平行に吹くのではなく、高温側から低温側に向かって、あるいは低温側から高温側に向かって吹いている場合のことである。前者を暖気移流、後者を寒気移流とよぶ。まず、北半球において、暖気移流の場合を考える。下

の図において風の鉛直シアを考えると、上空に行くほど、等温線に対して平行に、図の右に向かって吹く成分が大きくなっていくので、風向は時計回りに変化する。寒気移流の場合は、この逆で、風向は上空に行くにつれて反時計まわりに変化する。この関係は、温度勾配の方向が南北方向ではない場合でも成り立ち、一地点での高層気象観測データから温度移流を判断するときに利用できる。

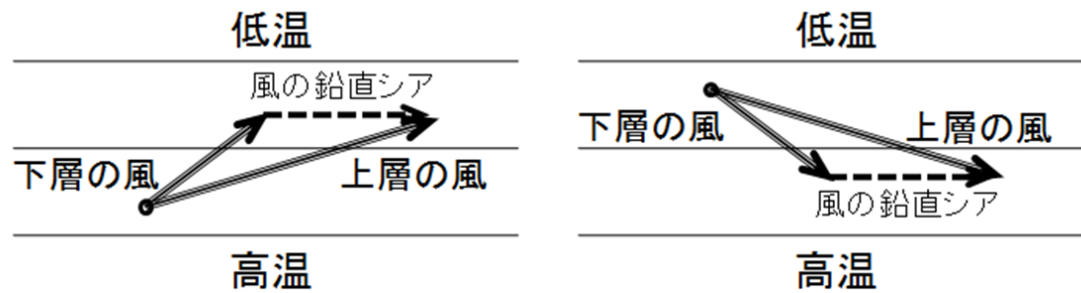


図 8-2: 暖気移流時（左）と寒気移流時（右）の温度風の関係

問 8-1 下の表のような高層気象観測データについて、対流圏下層の温度移流（暖気移流か寒気移流か）を判定せよ。そのように判断した根拠も示せ。なお、風向は 0° が北、 90° が東である。

（1）2007 年 12 月 29 日 21 時 根室

気圧 (hPa)	高度 (m)	気温 ($^{\circ}\text{C}$)	相対湿度 (%)	風速 (m/s)	風向 ($^{\circ}$)
996.5	39	2.2	90	10.1	90
925	637	-1.1	96	27	102
850	1311	-1.2	97	33	135
800	1795	-0.5	96	33	159
700	2860	-3.5	92	22	191
600	4062	-10.8	83	19	214
500	5441	-19.1	89	25	205
400	7061	-30.1	77	37	210

(2) 2007 年 12 月 29 日 21 時 仙台

気圧 (hPa)	高度 (m)	気温 (°C)	相対湿度 (%)	風速 (m/s)	風向 (°)
993.8	44	9.9	73	3.2	340
925	637	6.3	76	9	295
850	1324	1.0	91	12	273
800	1808	-2.2	98	10	258
700	2863	-5.0	74	14	235
600	4058	-11.1	97	23	208
500	5432	-20.7	26	24	214
400	7049	-30.2	59	32	212

(気象庁のウェブサイトより)

8. 2 収束・発散と渦度

地上天気図の低気圧のまわりでは、中心に向かって風が吹き込み、空気が集まってくるようにみえる。逆に、高気圧のまわりでは、中心から風が吹き出してくるようみえる。このような吹き込みや吹き出しを定量化する方法を考える。低気圧の中心に向かって多量の空気が吹き込めば、それだけ上昇流が強くなる。このように、水平面上での吹き込みや吹き出しは、鉛直流にも関係していて、その定量的な評価は重要である。

図のように、微小な面積 $\Delta x \Delta y$ の領域を考える。ただし、東を $+x$ 、北を $+y$ と定義する。また、領域の中心 $(x, y) = (0, 0)$ では、水平風速が (u_0, v_0) とする。以下では、この領域の端での空気の出入りを考える。まず、東西風 u が x に依存していて、東の境界 $x = +\Delta x/2$ では $u = u_0 + \Delta u/2$ であるとする、東の境界から出ていく空気は $(u_0 + \Delta u/2)\Delta y$ となる。同じように、西の境界から出ていく空気は $-(u_0 - \Delta u/2)\Delta y$ である。したがって、東西の境界から正味で出ていく空気は $\Delta u \Delta y$ である。南北の境界から正味で出ていく空気も同様に考えて $\Delta v \Delta x$ である。両者の和を面積 $\Delta x \Delta y$ で割ると、

$$\frac{\Delta u \Delta y + \Delta v \Delta x}{\Delta x \Delta y} = \frac{\Delta u}{\Delta x} + \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

となる。結局、水平面上での空気の吹き出し D は、微分を用いて、

$$D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$$

と表すことができる。これを**発散**(divergence)という。負の発散のことを**収束**(convergence)ということがある。

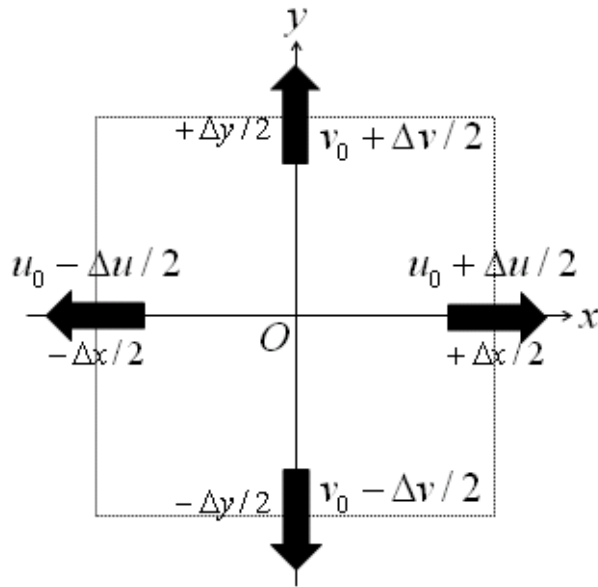


図 8-3: 水平風の発散
 $(u_0 = v_0 = 0, \Delta u > 0, \Delta v > 0 \text{ で } D > 0 \text{ の場合})$

地上天気図の低気圧のまわりでは、単に風が吹き込むだけでなく、反時計回りの渦が生じている（北半球の場合）。高気圧のまわりでは、逆に、時計回りの渦が生じている。ここでは、収束・発散と同じように、渦の度合いの定量化を考える。反時計回りに回転しているとき、南北風 v は $+x$ 方向にいくほど大きくなり（ $\Delta v > 0$ ）、東西風 u は $+y$ 方向にいくほど小さくなる（ $\Delta u < 0$ ）ことが分かる。このことから渦の度合いは、 $\Delta v / \Delta x$ と $-\Delta u / \Delta y$ との和で表すことができると考えられる。そこで、**渦度**(vorticity) ξ を

$$\xi = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

と定義する。反時計回り（北半球では低気圧性）のときには渦度は正、時計回り（北半球では高気圧性）のときには負になる。

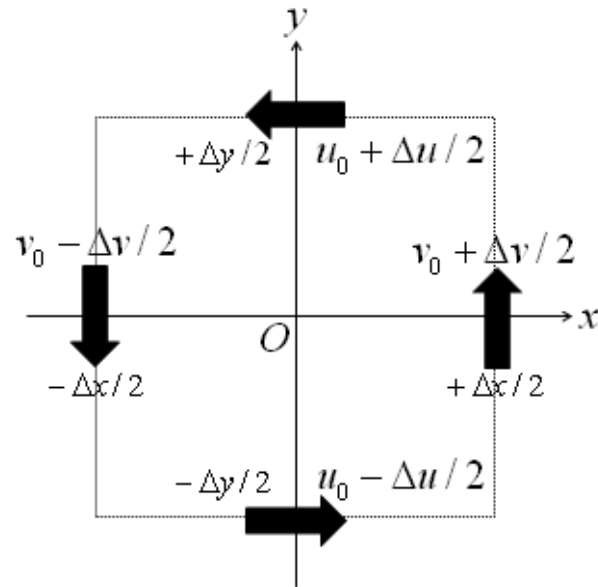


図 8-4: 渦度

($u_0 = v_0 = 0$ 、 $\Delta u < 0$ 、 $\Delta v > 0$ で $\xi > 0$ の場合)

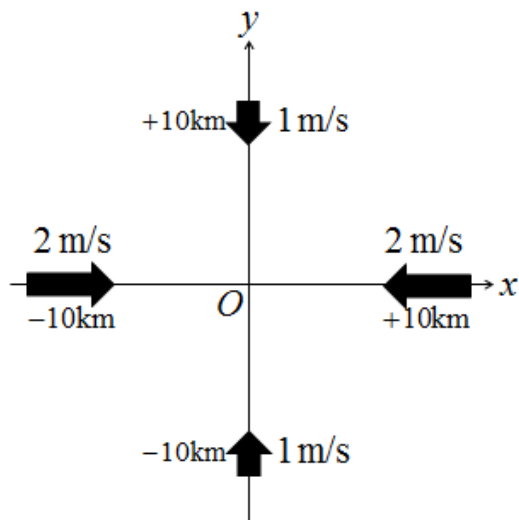
地球の自転による回転の効果考慮に入れて、

$$\zeta = f + \xi = f + \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

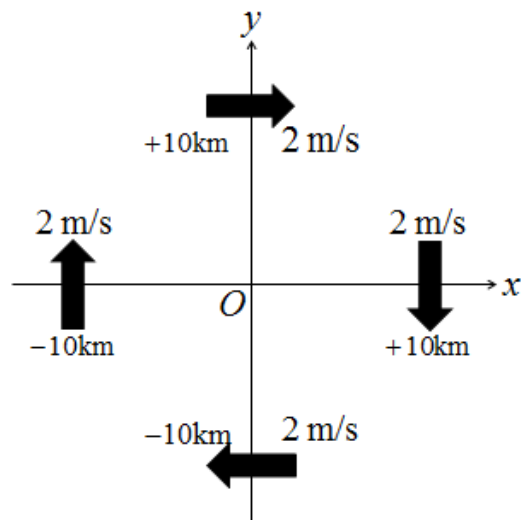
という量を用いることがある。これを**絶対渦度**(absolute vorticity)という。上で定義した渦度 ξ を絶対渦度と区別するため**相対渦度**(relative vorticity)とよぶことがある。

問 8-2 下の図のような風の場合において、水平面上での発散を求めよ。

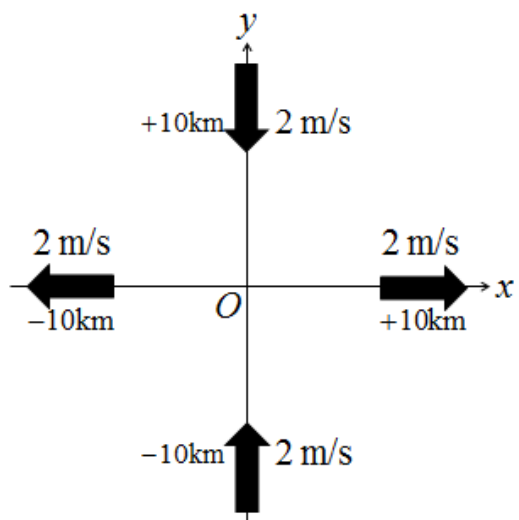
(1)



(2)



(3)



問 8-3 問 8-2 の風の場合において、渦度（相対渦度）を求めよ。