

## 数値解析で学ぶ気象学

### 3 温度移流の解析

発達する温帯低気圧は、以下のような特徴を持っていることが知られている。

1. 上空の気圧の谷が、地上の低気圧より西にずれている。  
(地上天気図と 500hPa 天気図)
2. 低気圧の前面（東側）で暖気移流、後面（西側）で寒気移流が生じている。  
(850hPa 天気図)
3. 低気圧の前面（東側）で上昇流、後面（西側）で下降流が生じている。  
(700hPa 天気図)

ここでは、これらのうち 2 番目の条件である、850hPa 面での**温度移流(temperature advection)**に注目して、温帯低気圧の発達に伴う気象場の特徴を解析したい。格子点データとして与えられている客観解析データを用いて、指定された気圧面での水平温度移流を計算することを考える。

非断熱加熱のない状況下では、熱力学方程式は、温位 $\theta$ を用いて、

$$\frac{D}{Dt} \theta = \frac{\partial}{\partial t} \theta + \vec{u} \cdot \nabla_p \theta + \omega \frac{\partial}{\partial p} \theta = 0 \quad (1)$$

と書けた。両辺に $\frac{T}{\theta} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^{R/C_p}$ をかけると、

$$\frac{\partial}{\partial t} T + \vec{u} \cdot \nabla_p T + \omega \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{R}{C_p}} \frac{\partial}{\partial p} \theta = 0 \quad (2)$$

となるので、温度のオイラー微分（局所微分）は、

$$\frac{\partial}{\partial t} T = -\vec{u} \cdot \nabla_p T - \omega \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{R}{C_p}} \frac{\partial}{\partial p} \theta \quad (3)$$

と書ける。右辺第 1 項は水平温度移流、第 2 項は鉛直温度移流を表している。右辺第 1 項を  $x - y$  平面上で成分に分けて書けば、

$$-\vec{u} \cdot \nabla_p T = -u \frac{\partial}{\partial x} T - v \frac{\partial}{\partial y} T \quad (4)$$

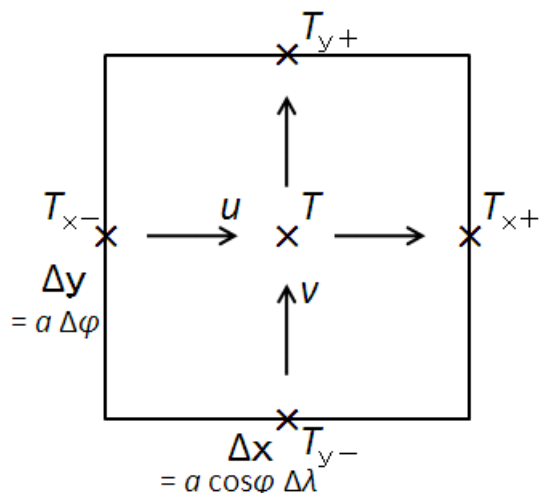
となる。半径 $a$ の球面上で定義された球面座標系においては、緯度 $\phi$ と経度 $\lambda$ を用いて、

$$-\vec{u} \cdot \nabla_p T = -u \frac{1}{a \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \lambda} T - v \frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \phi} T \quad (5)$$

と書ける。微小な領域における差分に置き換えると、

$$-\vec{u} \cdot \nabla_p T = -u \frac{T_{x+} - T_{x-}}{a \cos \phi \Delta \lambda} - v \frac{T_{y+} - T_{y-}}{a \Delta \phi} \quad (6)$$

となる。



**課題5** : SLP\_200905.dat、Z500\_200905.dat、T850\_200905.dat、U850\_200905.dat、V850\_200905.dat はそれぞれ、2009年5月の各時刻における海面気圧、500hPa面高度、850hPa面気温、850hPa面東西風、850hPa面南北風の客観解析データである。データファイルの書式は、対応するコントロールファイルに記述されている。これらのデータを用いて以下の問いに答えよ。

①2009年5月17日0時 (UTC) における海面気圧と500hPa面高度、850hPa面気温の分布を作図せよ。

②2009年5月17日0時 (UTC) における850hPa面での水平温度移流を計算せよ。水平温度移流は、気温と東西風、南北風から算出せよ。単位は  $\text{K/day}$  とする。北極と南極では計算が難しいので欠損値を代入してよい。地球の半径は  $a = 6.368 \times 10^6 \text{m}$  とする。

水平温度移流の計算に用いたプログラム (prog05.f[.c]) と、海面気圧 (SLP.ps)、500hPa面高度 (Z500.ps)、850hPa面気温 (T850.ps)、850hPa面水平温度移流 (Tadv850.ps) を作図した図を提出せよ。なお、作図する領域は、緯度経度座標で北緯20~50度、東経110~160度とする。

注意 :

✓ 北極、南極においては南北移流を計算できないので、欠損値を代入する。

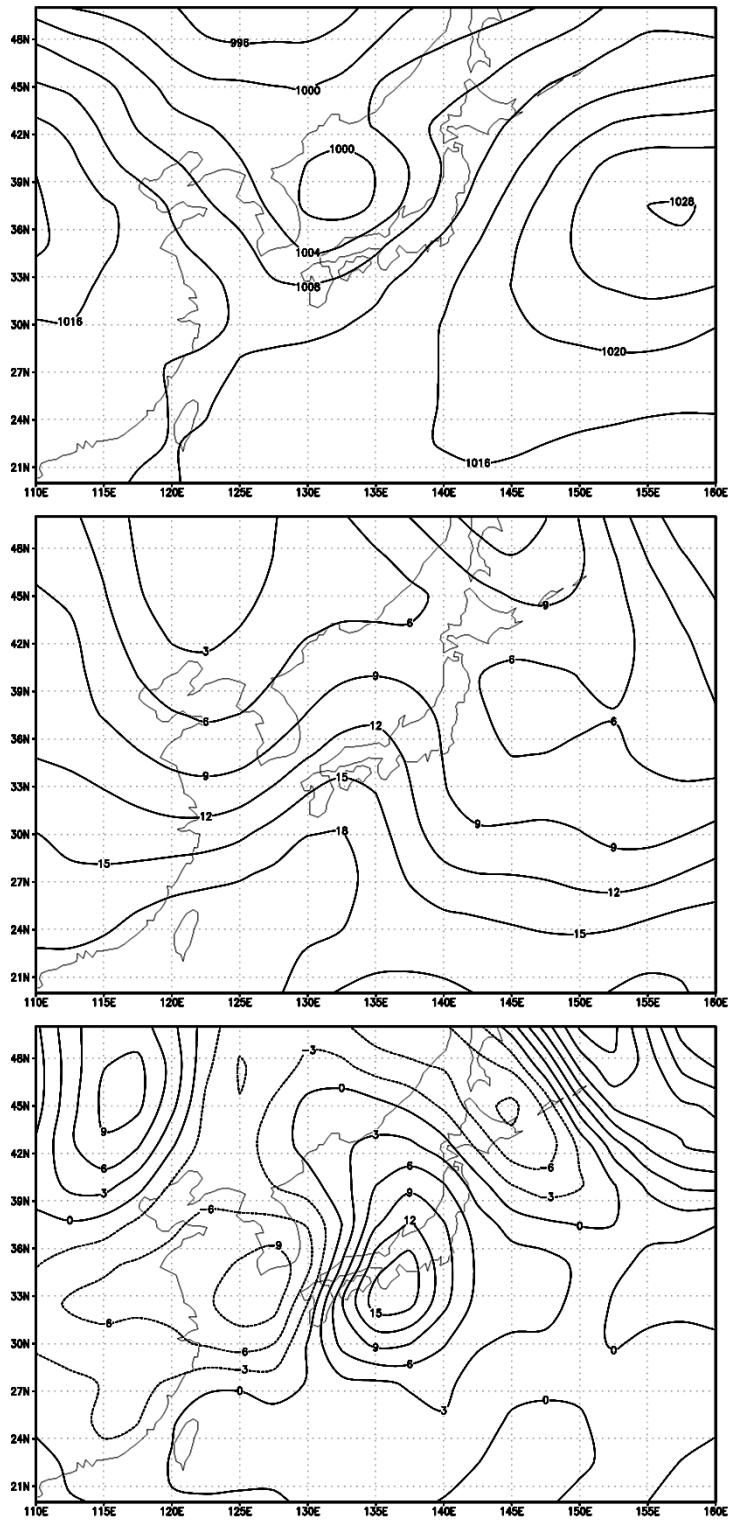


図 5.1 2009年5月17日0時 (UTC) における海面気圧 (上) と 850hPa 気温 (中)、水平温度移流 (下)。等値線間隔はそれぞれ 4 hPa、3 K、3 K/day。

※この演習では NCEP/NCAR (米国環境予測センター/米国大気研究センター) による客観解析データを用いている。