

A scenic view of a mountain village. In the background, a large, rugged mountain peak is covered in snow under a clear blue sky. The middle ground shows a cluster of traditional wooden houses with brown roofs, nestled on a green hillside. In the foreground, there are green fields and some pink flowers. The overall scene is bright and clear.

# 由非地轉風效應探討台灣與 東亞地區冷季主要天氣實務研究

中央氣象局 預報中心  
林定宜  
2016.10.04



# 大綱



- 1、非地轉風對天氣變化之重要性與定義
- 2、非地轉風與地轉調整
- 3、決定非地轉風的因子
- 4、個案診斷研究



# 非地轉風(地轉偏差風) 的重要性

- ☀ 一般中緯度地區大氣中，典型地轉風速度數量級約為**10m/s**(Holton, 1992)，而自由大氣裏**非地轉風**之大小一般遠小於地轉風。但它在地轉調整過程中對於大氣運動的演變和天氣變化有著非常重要的作用，因為**非地轉風使實際風穿越等壓線引起質量的重新分佈，造成氣壓場，風場的變化，而使天氣系統產生演變。**



# 非地轉風(地轉偏差風)之定義

☀️ **非地轉風是實際風與地轉風的向量差；**  
由水平氣壓梯度力和科氏力之間的平衡遭到破壞時形成的。

☀️ **超(次)地轉風：**自由大氣中風速**大(小)**於相應地轉風的實際風，其方向偏於**高(低)**壓一側。



# 非地轉風的表達式



$$\vec{V}_a = \vec{V} - \vec{V}_g$$

$$V_a = -\frac{V^2}{fR}$$

$$\vec{V}_a = \frac{1}{f} \vec{k} \times \frac{d\vec{V}_h}{dt}$$

當  $\vec{V}_a < 0$ : 有氣旋式曲率 (次地轉風)

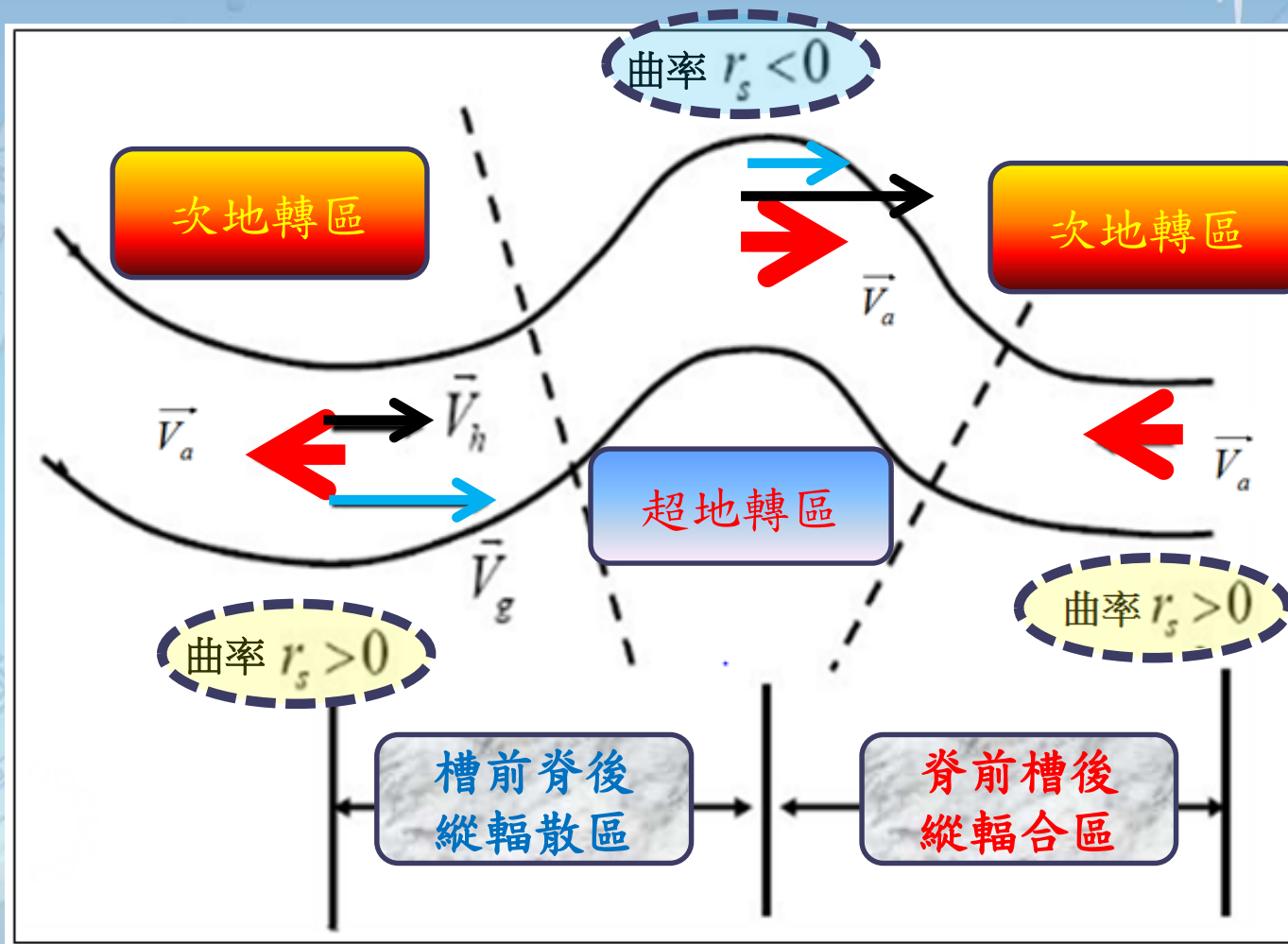
實際風小於地轉風

當  $\vec{V}_a > 0$ : 有反氣旋式曲率 (超地轉風)

實際風大於地轉風



# 非地轉風、縱輻散(合)區 及超(次)地轉區之概念圖



# 非地轉風(地轉偏差風) 的本質

☀ 在**正壓大氣**非地轉風表現的是  
「**地轉偏差風**」。

☀ 在**斜壓大氣**中呈現的是

「**熱力偏差風**」：熱力偏差風與大氣的「斜壓性」和「垂直運動」有關，垂直風切引致非地轉風。

$$\vec{V}_a \propto \frac{\omega}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial p} \approx \frac{\omega}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_g}{\partial p} = \frac{R}{f^2 p} \omega \nabla_h T$$




$$\vec{V}_a \propto \frac{\omega}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial p} \approx \frac{\omega}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_g}{\partial p} = \frac{R}{f^2 p} \omega \nabla_h T$$

## 「熱力偏差風」

☀ 反映大氣上下兩層的非地轉風偏差  
(上層非地轉風與下層非地轉風之差)。

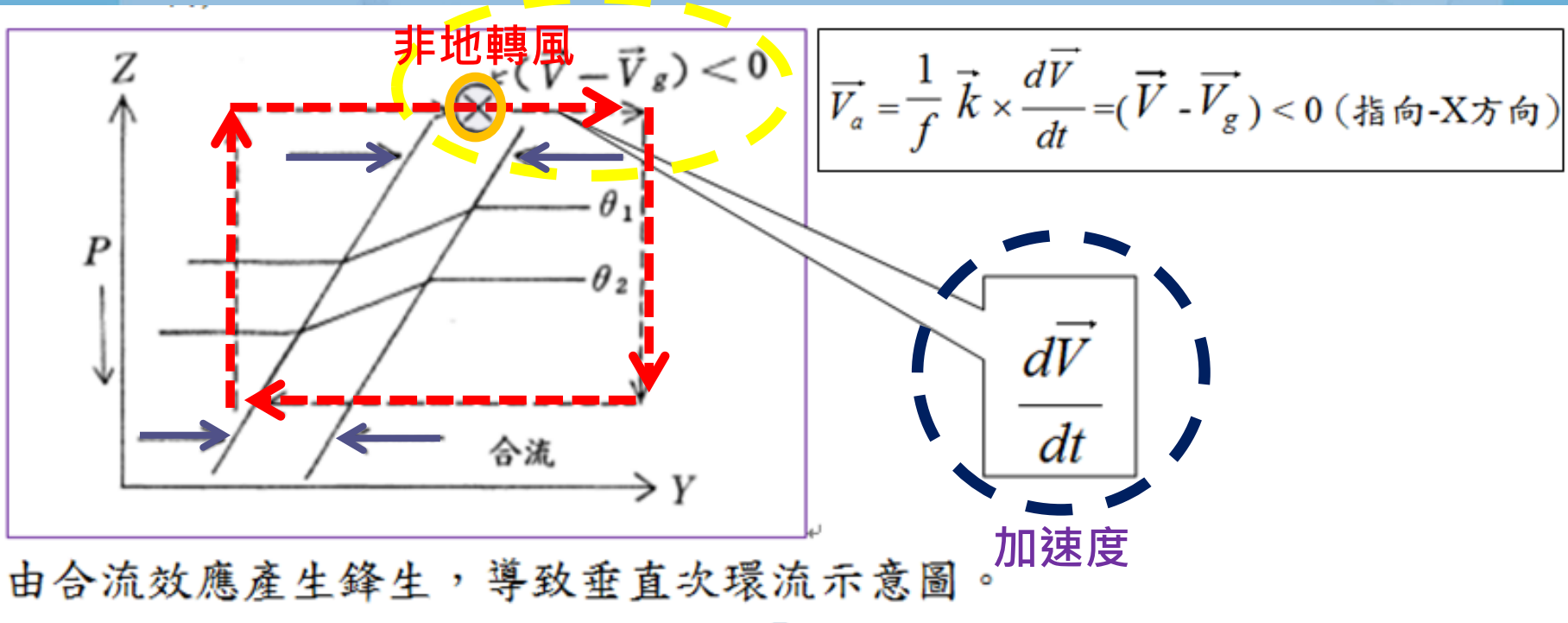


# 地轉調整過程

 大氣運動是一連串地轉平衡的破壞並又不斷建立的過程，也是一連串風場和氣壓場不斷變化和相互適應調整的準地轉運動過程。大氣的壓力梯度力與科氏力常處於準地轉平衡狀態，當局部地區有非地轉風或不平衡擾動出現時，**慣性重力波**對能量的頻散和**科氏力**的作用，將進行地轉調整過程，從不平衡狀態變成平衡狀態，稱為「**地轉調整過程**」。在較高緯度區域地轉調整比較低緯處為快。

# 非地轉風扮演著既破壞又建設的角色：

地轉風被鋒生過程破壞之後，  
需要靠非地轉風來傾向地轉平衡。



垂直次環流是在抵銷部分鋒生合流之強迫作用。

「反者道之動，弱者道之用。」

正壓大氣下之羅斯貝變形半徑 (Rossby radius of deformation) :

$$L_R = \frac{C_0}{f_0} = \frac{\sqrt{gH}}{f_0} = \frac{\text{慣性重力外波波速}}{\text{慣性震盪特徵頻率}}$$

➤ 地球自轉效應變得重要時的特徵尺度

斜壓大氣下

$$L_{R,n} \equiv \frac{NH}{n\pi f_0}$$

H: scale height

N: Brunt-Väisälä frequency

大氣自由震盪頻率 (約10min)

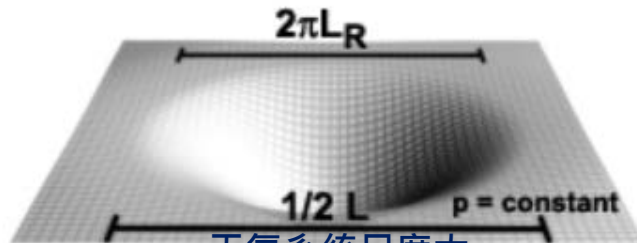
$n=1,2,3\dots$

(第n個垂直結構特徵值)

生活有氣象

## Large-scale disturbance

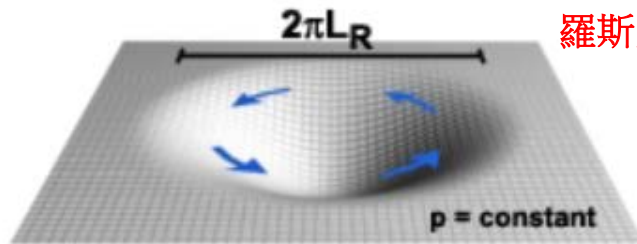
$$L \gg 2\pi L_R$$



天氣系統尺度大

Initial disturbance

大尺度之地轉調節為  
風場向質量場調整



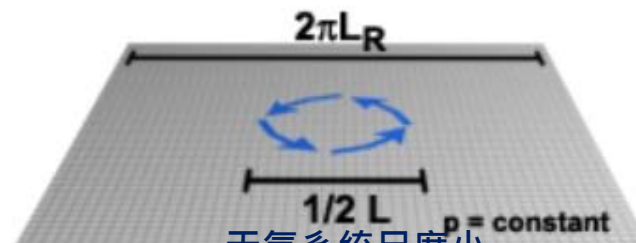
Final adjusted state

- perturbation mass field mostly retained
- winds adjust to mass field
- perturbation size changes little

→ Wind vectors

## Small-scale disturbance

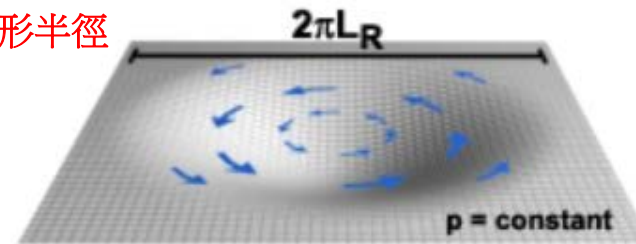
$$L \ll 2\pi L_R$$



天氣系統尺度小

Initial disturbance

小尺度之地轉調節為  
質量場向風場調整



Final adjusted state

- perturbation spreads out, so looks weaker
- some winds are retained
- mass field adjusts to the winds

$$L_R = \frac{\sqrt{gH}}{f}$$

羅斯貝變形半徑

# 決定非地轉風的主要因子

$$\vec{V}_a = \frac{1}{f} \vec{k} \times \frac{d\vec{V}_h}{dt}$$

$$\vec{V}_a = \frac{1}{f} \vec{k} \times \frac{d\vec{V}_h}{dt} = \frac{1}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial t} + \frac{1}{f} \vec{k} \times (\vec{V}_h \cdot \nabla_h \vec{V}_h) + \frac{\omega}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial p}$$

(a)  $\frac{1}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial t}$

是等變壓風

$$\vec{V}_a \propto \frac{1}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial t} \approx \frac{1}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_g}{\partial t} = \frac{1}{f^2} \vec{k} \times (\vec{k} \times \nabla_h \frac{\partial \phi}{\partial t}) = -\frac{1}{f^2} \nabla_h \left( \frac{\partial \phi}{\partial t} \right)$$

變高項

(b) 慣性平流風(Inertial-advective wind)，又稱「橫輻散風」和「縱輻散

風」： $\frac{1}{f} \vec{k} \times (\vec{V}_h \cdot \nabla_h \vec{V}_h)$ ：該項反映風速的水平平流引起的偏差風。

(c) 熱力偏差風： $\vec{V}_a \propto \frac{\omega}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial p}$

摩擦作用及位溫局地變化、位溫平流和非絕熱作用亦是影響形成非地轉風的因子，但這裡暫不考慮！



# 非地轉風方程 主要項目之尺度分析

根據準地轉理論 (Quasi-geotropic theory) 之尺度分析 (Scale analysis) (J. G. Charney, 1948): 在大氣運動的尺度分析 (On the scale of atmospheric motions) 中指出就 **綜觀尺度運動** 而言:

$U \approx 10 \text{ms}^{-1}$  : 水平風速尺度

$w \approx 1 \text{cms}^{-1}$  : 垂直風速尺度

$L \approx 10^6 \text{m}$  : 長度尺度 【 $\approx \frac{1}{2\pi}$  波長 (Wave length)】

$H \approx 10^4 \text{m}$  : 深度 (Depth) 尺度

$\frac{\delta p}{\rho} \approx 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$  : 水平氣壓梯度力變化之尺度 (Fluctuation scale)

$\frac{L}{U} \approx 10^5 \text{s}$  : 時間尺度

中緯度地區之數量級:

$$f_0 = 2\Omega \sin \phi_0 = 2\Omega \cos \phi_0 \cong 10^{-4} \text{s}^{-1}$$

若在低緯度地區  $f_0$  (科氏參數) 之數量級約為  $10^{-5} \text{s}^{-1}$



而就**中尺度運動**而言：

$U \approx 10ms^{-1}$ ：水平風速尺度

$w \approx 10cms^{-1}$ ：垂直風速尺度

$L \approx 10^5 m$ ：長度尺度【 $\approx \frac{1}{2\pi}$  波長 (Wave length)】

$H \approx 10^4 m$ ：深度 (Depth) 尺度

$\frac{L}{U} \approx 10^4 s$ ：時間尺度





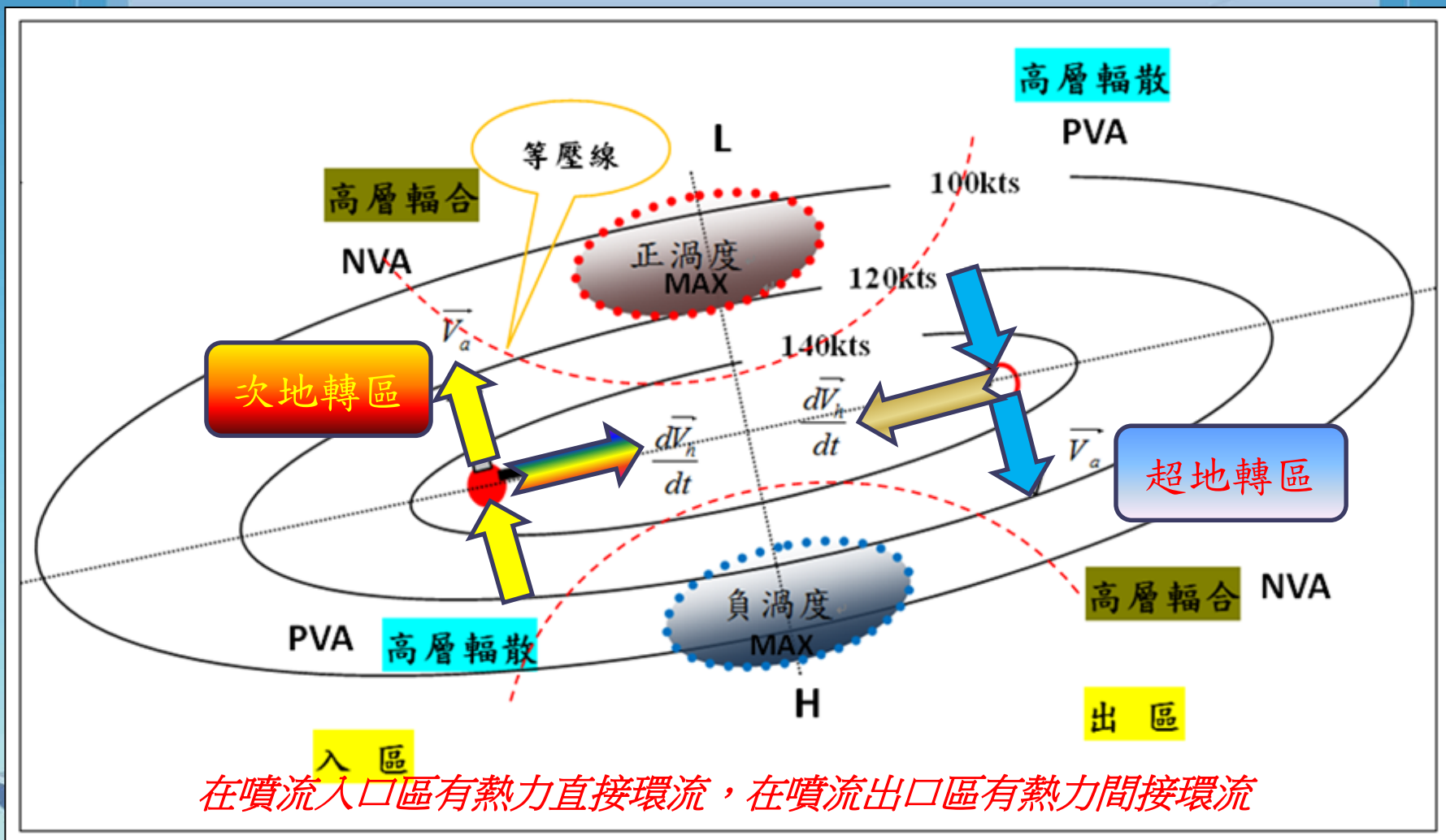
# 分析結果

# 寒流南下

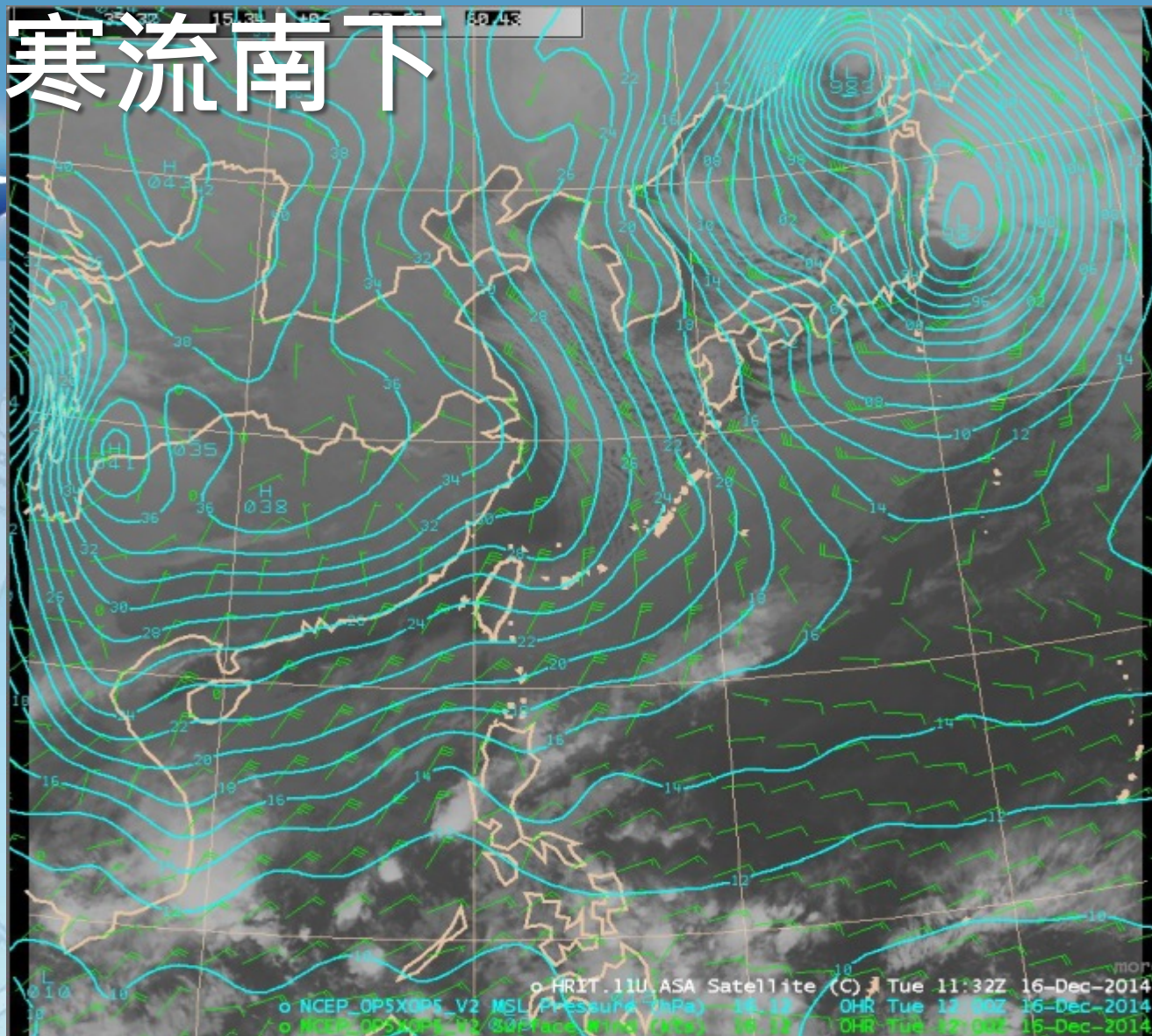


☀️ 東亞地區寒流南下時，高層噴流入區有偏南非地轉風，低層有**偏北非地轉風**。影響非地轉風因素主要受**變高頂**與風速的**慣性平流**的影響，在高層**慣性平流**的作用更為重要。

# 高層噴流條之渦度、輻散輻合、加速度及非地轉風綜合概念模式圖



# 寒流南下



2014年12月16日12UTC NCEP\_0.5x 0.5 地面風標、MSL等壓線疊加HIRT.11U紅外線衛星雲圖。

生活氣象

# 寒流南下



## 非地轉風因子尺度分析

☀  $10^4 \text{ s} * 10^{-4} \text{ ms}^{-2} = 10^0 = 1 \text{ ms}^{-1}$

$$\frac{1}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial t}$$

~ 由等變壓風或變高引起之偏差風

☀  $10^4 \text{ s} * 10 \text{ ms}^{-1} * 10 \text{ ms}^{-1} * 10^{-6} \text{ m}^{-1} = 1 \text{ ms}^{-1}$

$$\frac{1}{f} \vec{k} \times (\vec{V}_h \cdot \nabla_h \vec{V}_h)$$

~ 由風速的水平平流(或慣性平流)引起的偏差風

☀  $10^4 \text{ s} * 10^{-2} \text{ ms}^{-1} * (10 \text{ ms}^{-1} / 10^4 \text{ m})$

$= 10^{-1} \text{ ms}^{-1} = 0.1 \text{ ms}^{-1}$

$$\frac{\omega}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial p}$$

~ 由斜壓作用引起的偏差風

# 南支槽前

- ☀️ 南支槽係由高原地形所強迫出，屬慣性內重力波，是一種頻散波，斜壓性不若北方槽明顯。南支槽前高度場隨時間下降，「**等變壓風**」是重要貢獻之項，而南支槽前常伴隨著低層噴流，因此風速的**水平平流(或慣性平流)**所引起的偏差風亦有所貢獻。
- ☀️ 可觀察到背風槽區之非地轉風現象，並發現輻散、輻合場有交錯呈現，代表著其以「慣性重力波」的形式傳遞，而後在下游區會很快頻散減弱。

# 南支槽前非地轉風因子 尺度分析



➤  $10^4 \text{ s} * 10^{-4} \text{ ms}^{-2} = 10^0 = 1 \text{ ms}^{-1}$

$$\frac{1}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial t}$$

~ 由等變壓風或變高引起之偏差風

➤  $10^4 \text{ s} * 10 \text{ ms}^{-1} * 10 \text{ ms}^{-1} * 10^{-6} \text{ m}^{-1} = 1 \text{ ms}^{-1}$

$$\frac{1}{f} \vec{k} \times (\vec{V}_h \cdot \nabla_h \vec{V}_h)$$

~ 由風速的水平平流(或慣性平流)引起的偏差風

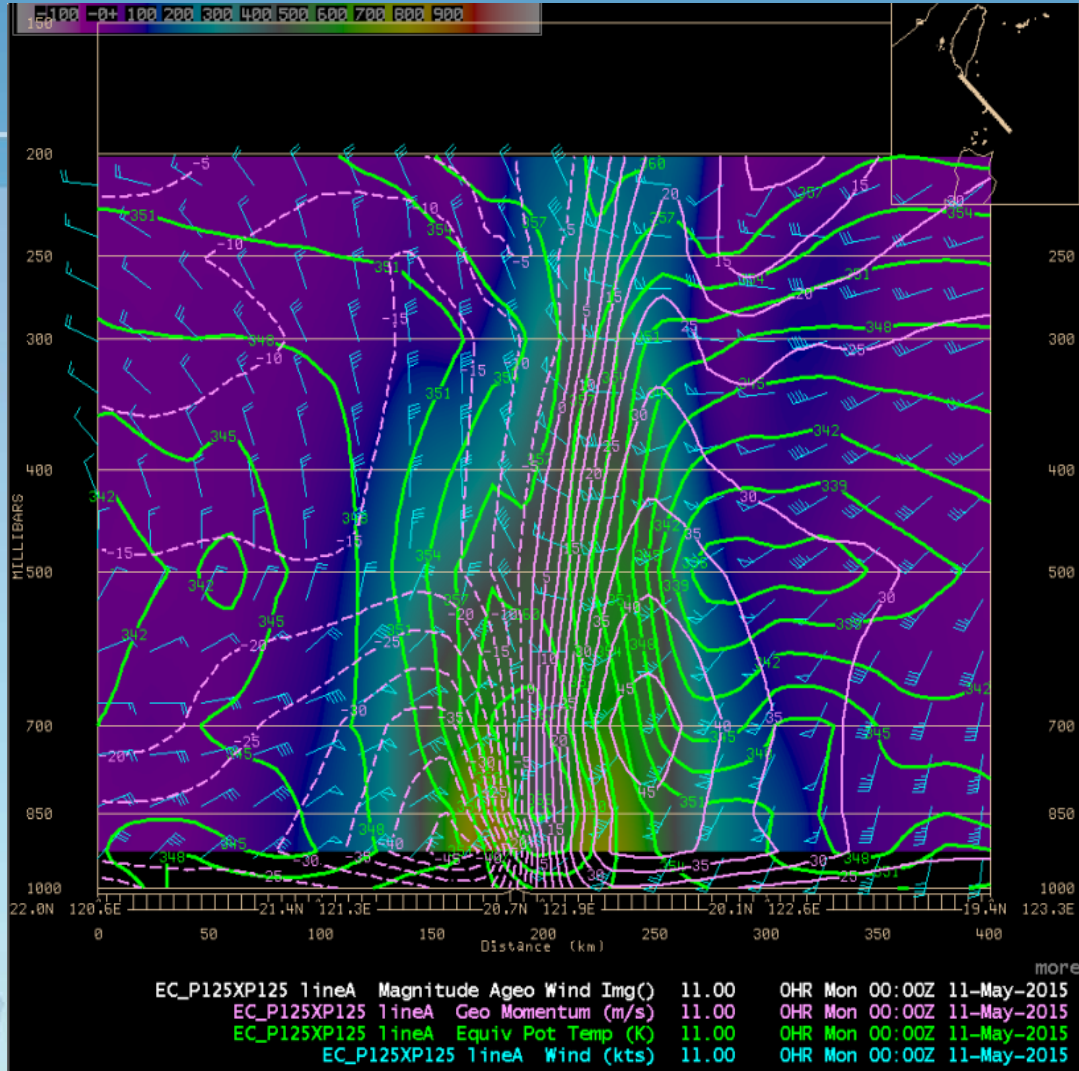
➤  $10^4 \text{ s} * 10^{-2} \text{ ms}^{-1} * (10 \text{ ms}^{-1} / 10^4 \text{ m})$

$= 10^{-1} \text{ ms}^{-1} = 0.1 \text{ ms}^{-1}$

$$\frac{\omega}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial p}$$

~ 由斜壓作用引起的偏差風

# 「紅霞」颱風

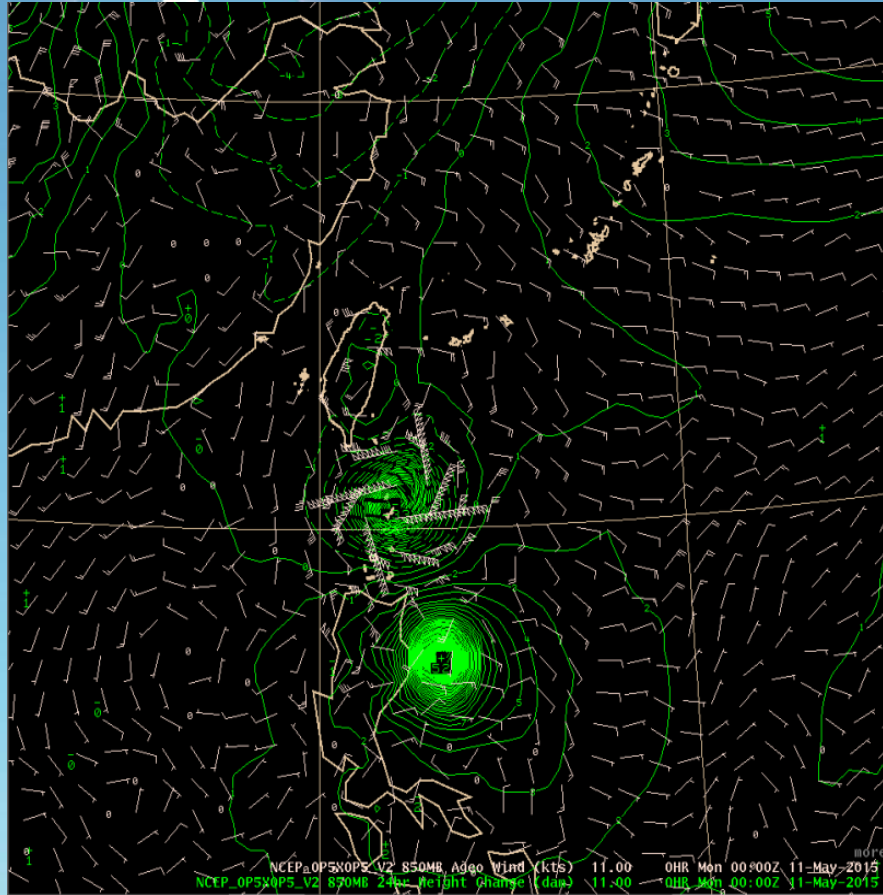


2015年5月11日00UTC EC\_0.125x0.125  
非地轉風標、相當位溫、地轉動量(Mg)以及非地轉  
風量值(shading範圍)垂直剖面圖。

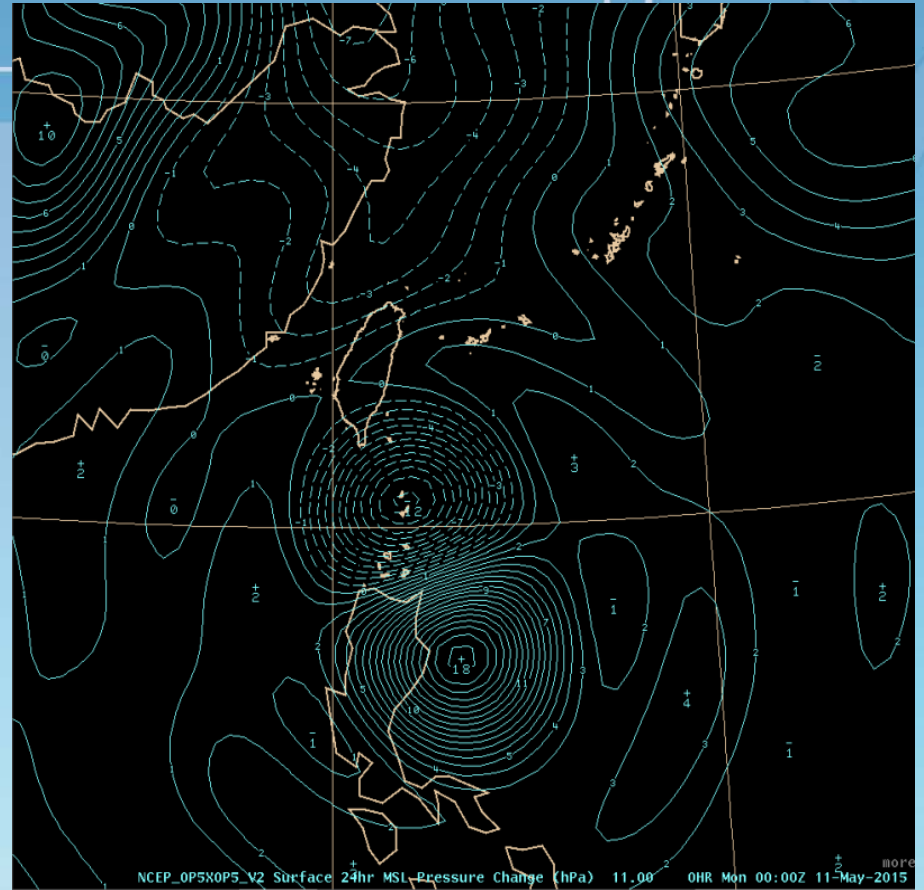
生活氣象



# 「紅霞」颱風



2015年5月11日00UTC NCEP\_0.25x0.25  
850hPa非地轉風標及過去24小時變高



2015年5月11日00UTC NCEP\_0.25x0.25  
平均海平面過去24小時變壓

# 「紅霞」颱風非地轉風因子 尺度分析



➤  $10^4 \text{ s} * 10^{-3} \text{ ms}^{-2} = 10^1 = 10 \text{ ms}^{-1}$

$$\frac{1}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial t}$$

~由等變壓風或變高引起之偏差風，注意在此處的數量級比一般 $10^{-4} \text{ ms}^{-2}$ 為大，是 $10^{-3} \text{ ms}^{-2}$

➤  $10^4 \text{ s} * 10 \text{ ms}^{-1} * 10 \text{ ms}^{-1} * 10^{-6} \text{ m}^{-1} = 1 \text{ ms}^{-1}$

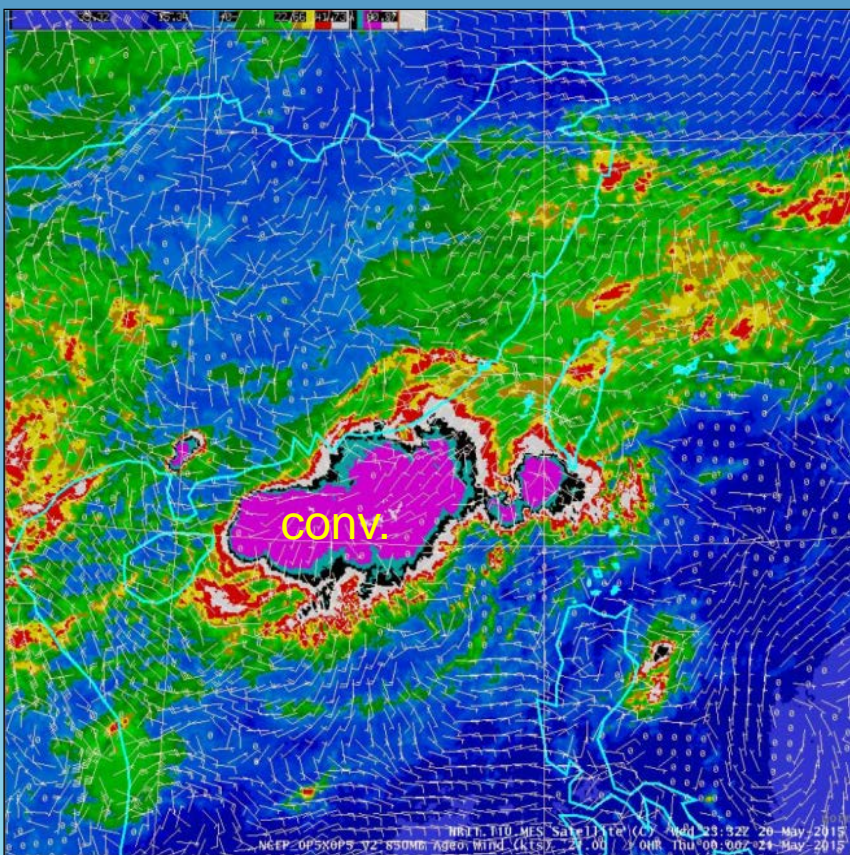
$$\frac{1}{f} \vec{k} \times (\vec{V}_h \cdot \nabla_h \vec{V}_h)$$

~由風速的水平平流(或慣性平流)引起的偏差風

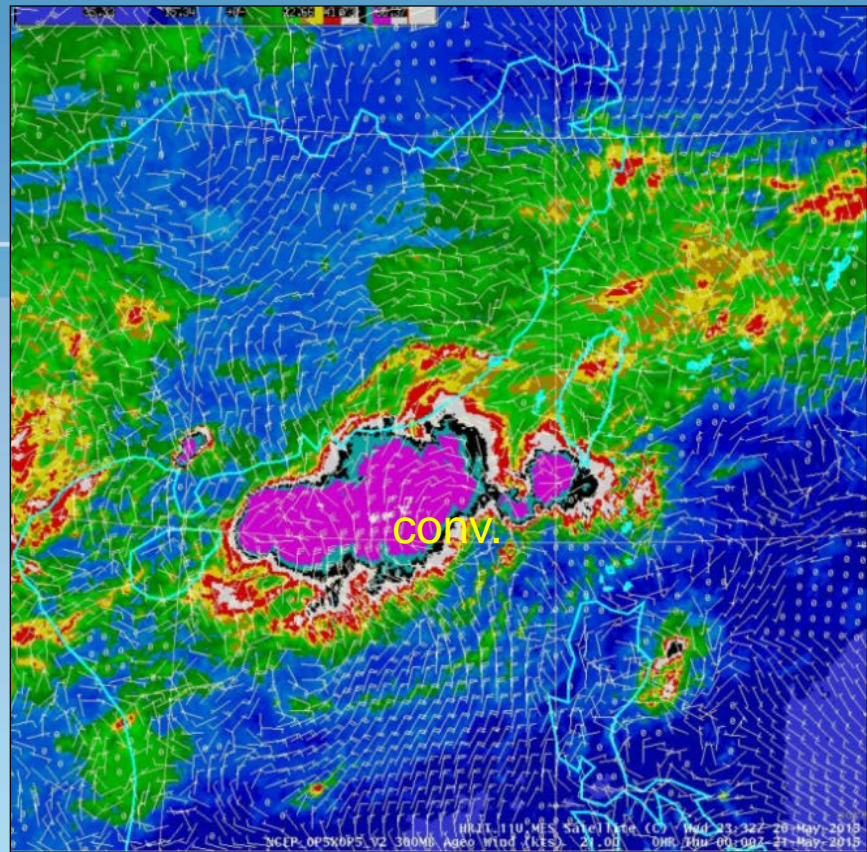
➤  $10^4 \text{ s} * 10^{-1} \text{ ms}^{-1} * (10 \text{ ms}^{-1} / 10^4 \text{ m}) = 10^0 \text{ ms}^{-1} = 1 \text{ ms}^{-1}$

~由斜壓作用引起的偏差風

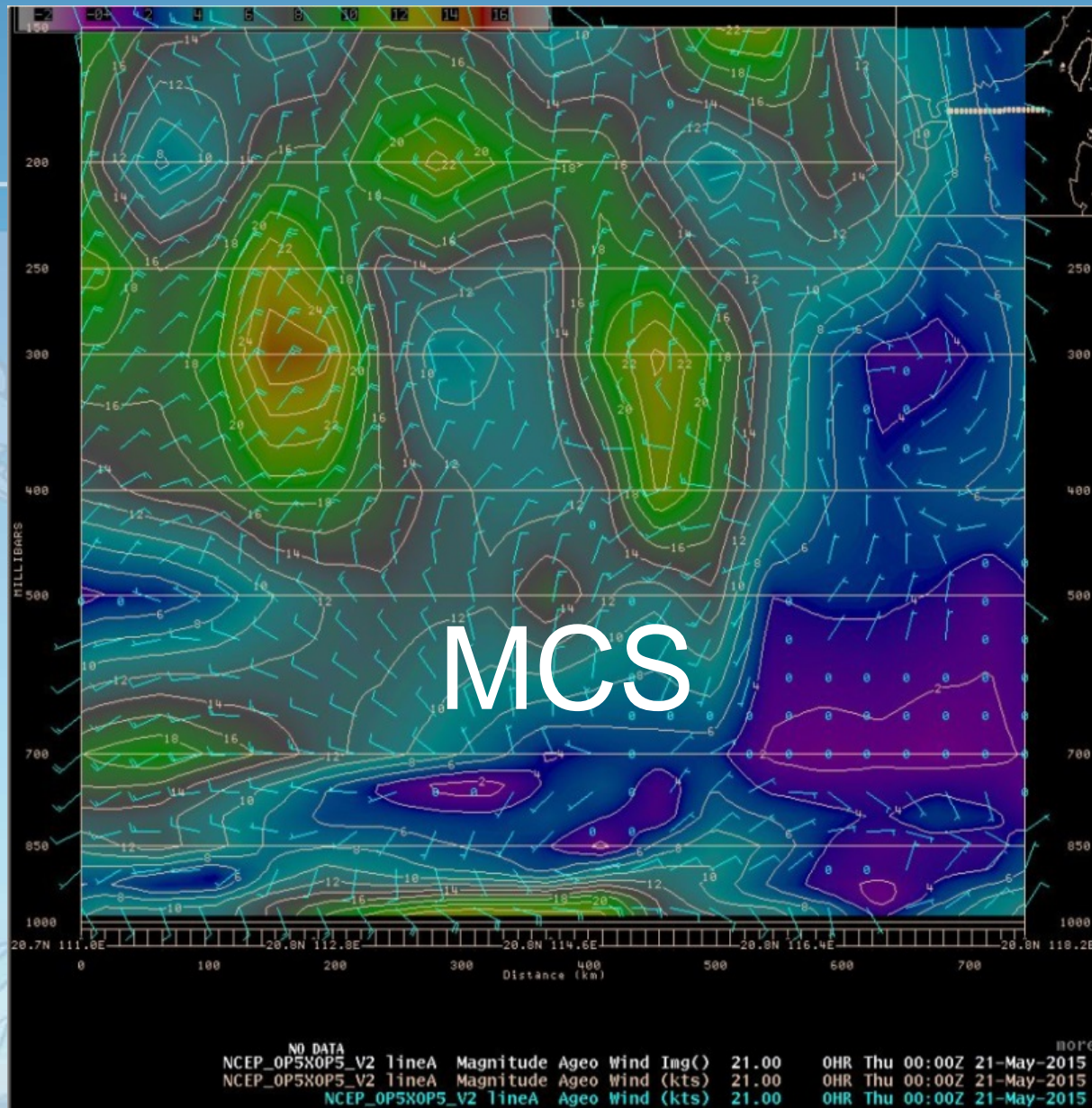
$$\frac{\omega}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial p}$$



2015年5月21日00UTC NCEP\_0.25x0.25 50hPa非地轉風場疊加 IRT.11U紅外線色調強化衛星雲圖

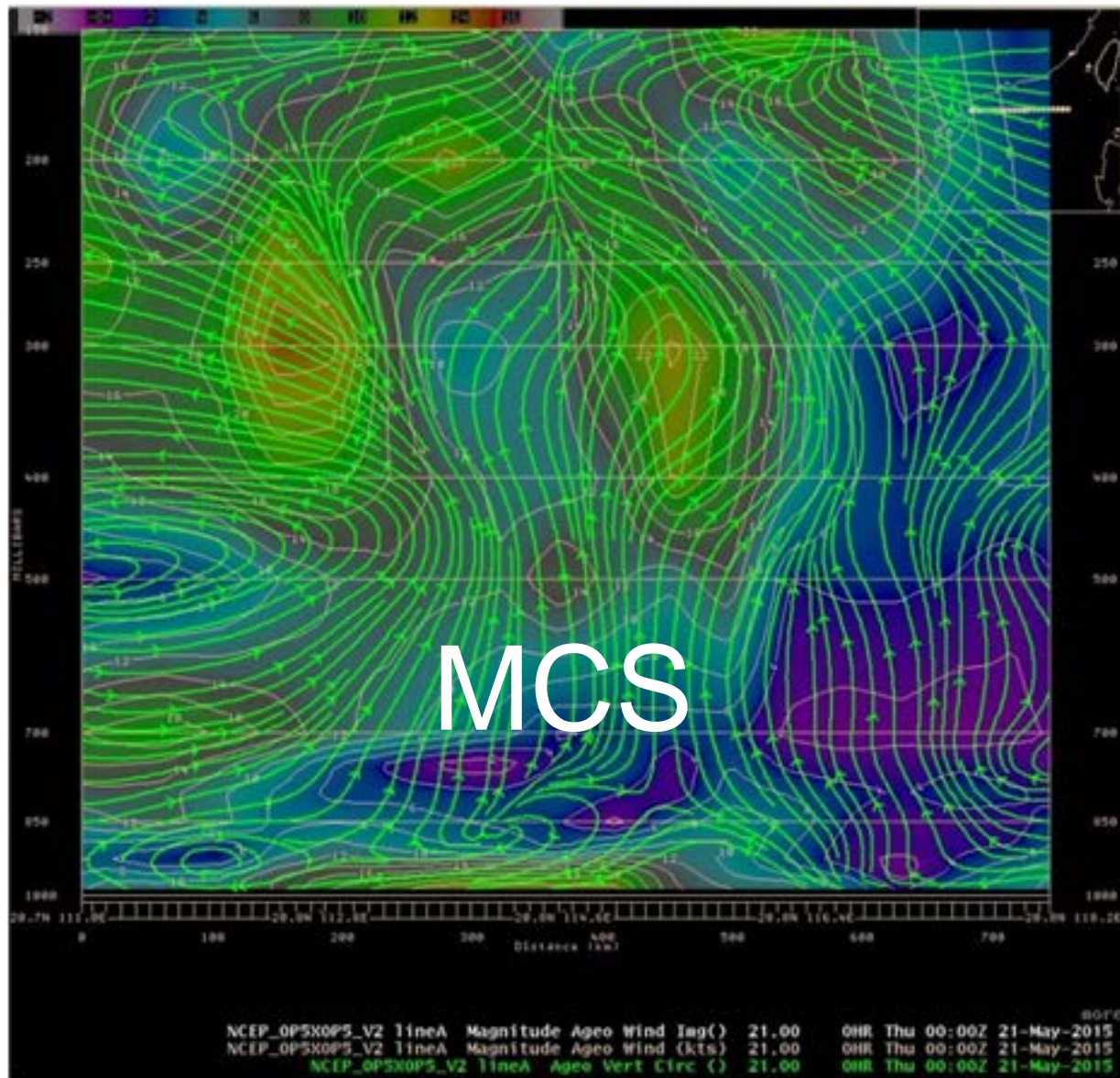


2015年5月21日00UTC NCEP\_0.25x0.25 30hPa非地轉風場疊加 IRT.11U紅外線色調強化衛星雲圖



圖：2015年5月21日00UTC NCEP\_0.25x0.25非地轉風標及其量值(shading之範圍)垂直剖面圖。





2015年5月21日00UTC NCEP\_0.25x0.25 非地轉風垂直環流及其量值(shading之範圍)垂直剖面圖。



# MCS非地轉風因子 尺度分析



☀  $10^4 \text{ s} * 10^{-4} \text{ ms}^{-2} = 10^0 = 1 \text{ ms}^{-1}$

$$\frac{1}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial t}$$

~由等變壓風或變高引起之偏差風

$$\frac{1}{f} \vec{k} \times (\vec{V}_h \cdot \nabla_h \vec{V}_h)$$

☀  $10^4 \text{ s} * 10 \text{ ms}^{-1} * 10 \text{ ms}^{-1} * 10^{-5} \text{ m}^{-1} = 10 \text{ ms}^{-1}$

~由風速的水平平流(或慣性平流)引起的偏差風，  
數量級最大

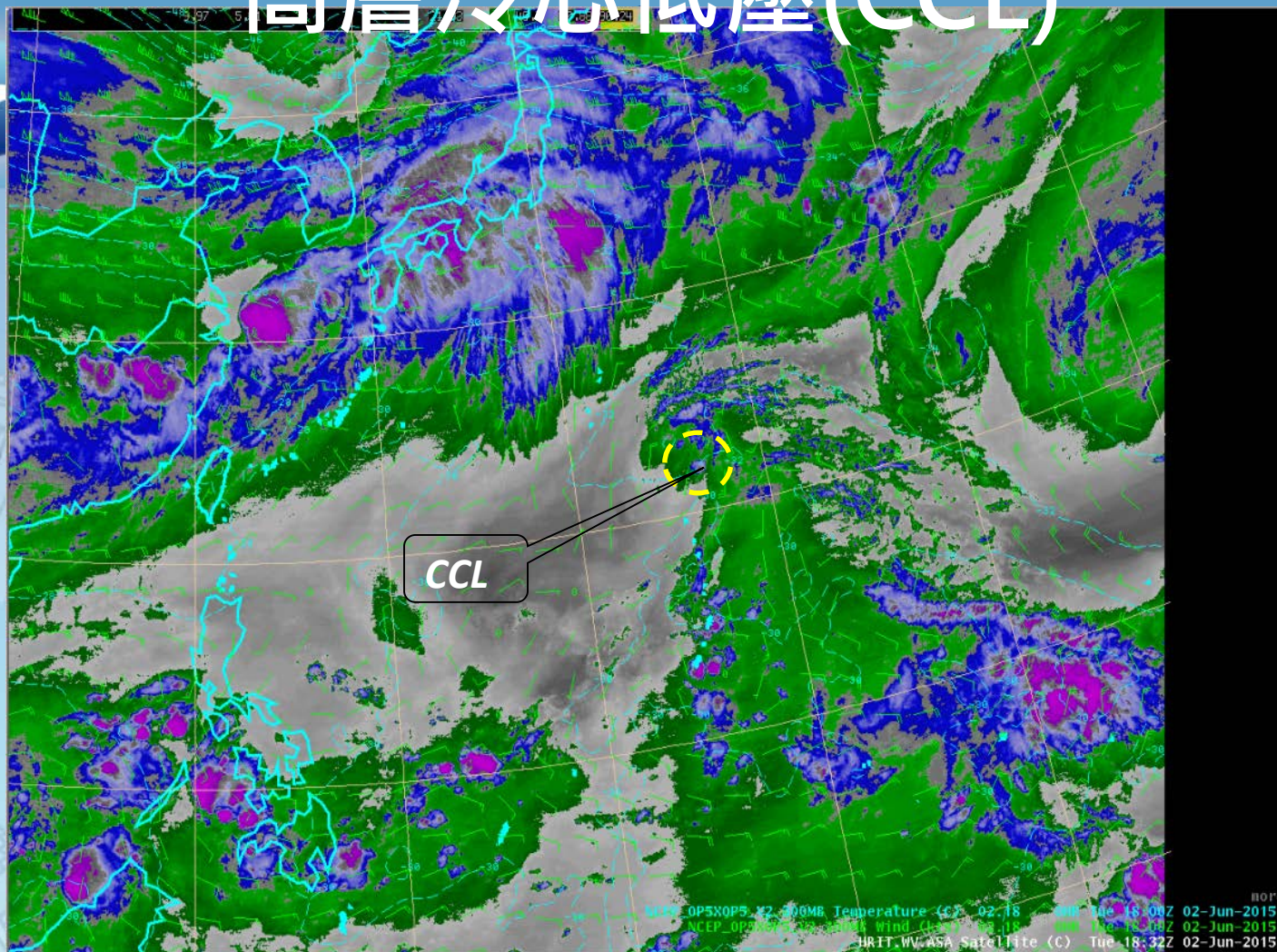
☀  $10^4 \text{ s} * 10^{-1} \text{ ms}^{-1} * (10 \text{ ms}^{-1} / 10^4 \text{ m})$

$$= 10^0 \text{ ms}^{-1} = 1 \text{ ms}^{-1}$$

$$\frac{\omega}{f} \vec{k} \times \frac{\partial \vec{V}_h}{\partial p}$$

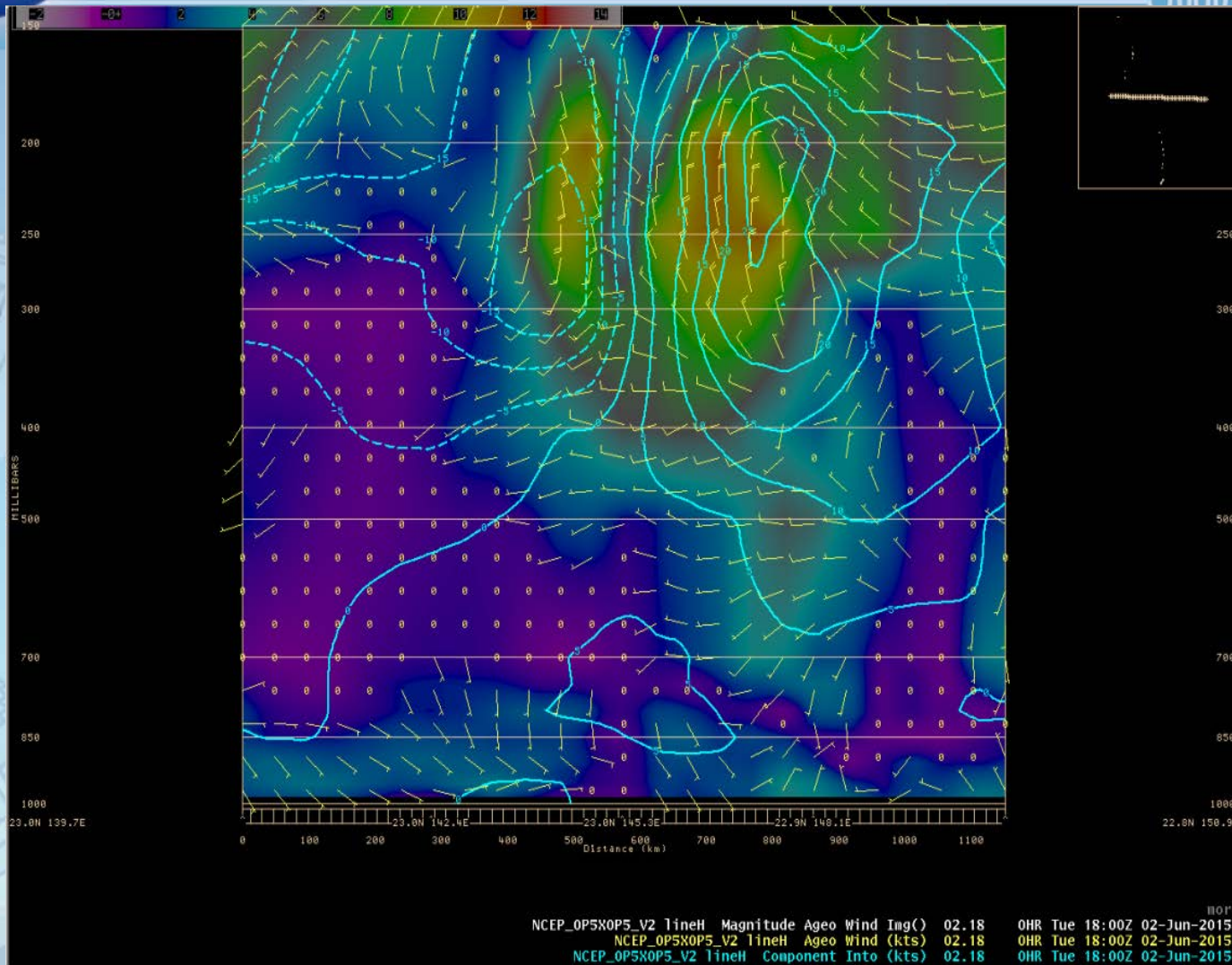
~由斜壓作用引起的偏差風

# 高層冷心低壓(CCL)



圖：2015年6月2日18UTC NCEP\_ 0.25x0.25 300hPa風場、溫度場疊加HIRT.WV 水汽頻道色調強化衛星雲圖。

# 高層冷心低壓(CCL)



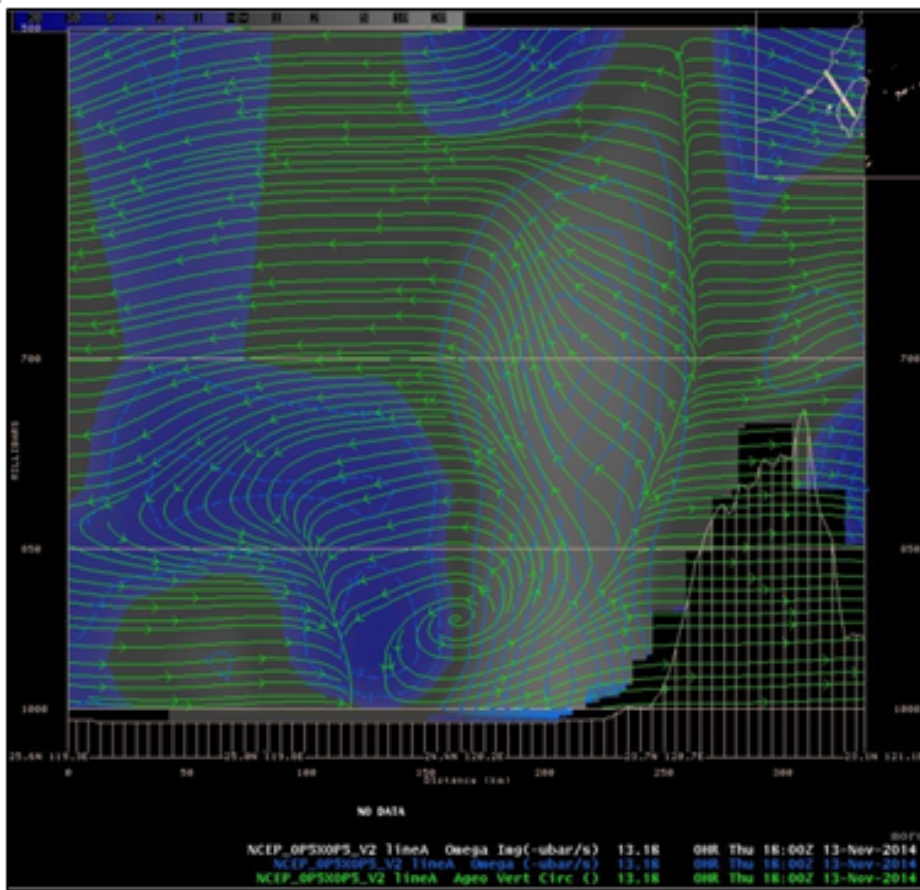


# CSI(條件性對稱不穩定) 的大氣環境

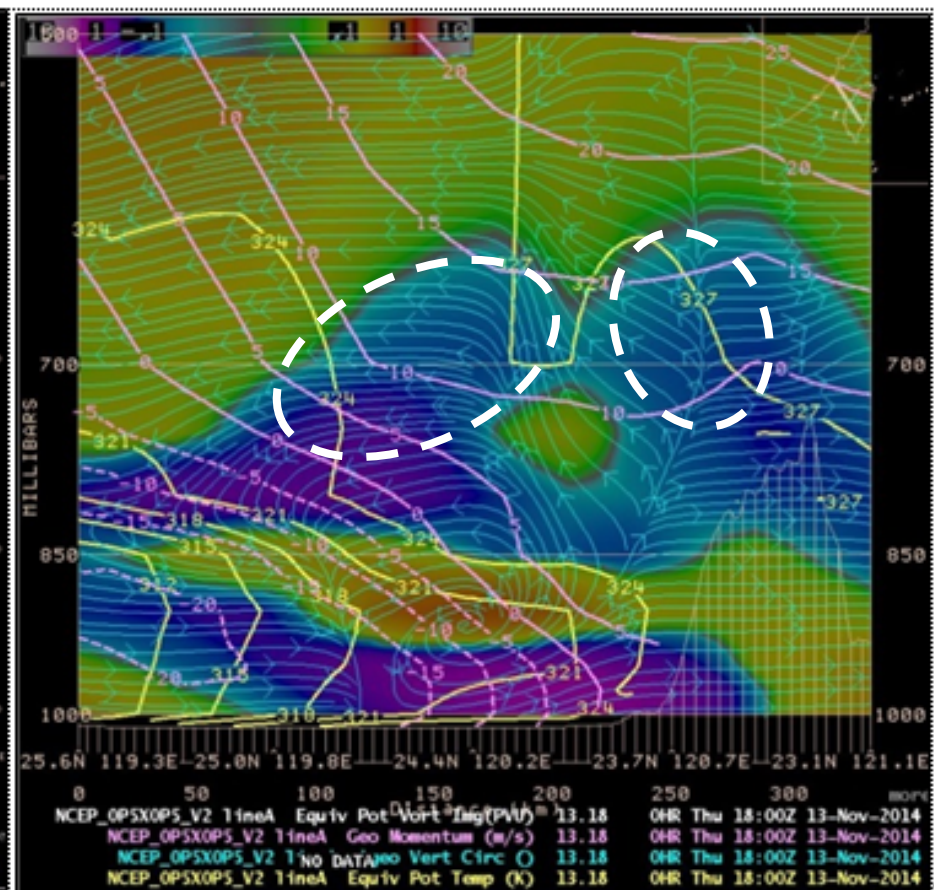


☀ 個案在CSI的大氣環境下：在850hPa至700hPa有明顯**Omega上升運動區**，並配合有**非地轉風上升運動區**以及非地轉風明顯的逆時針風切現象。

# 條件性對稱不穩定機制~ 2014年秋 玉山初雪

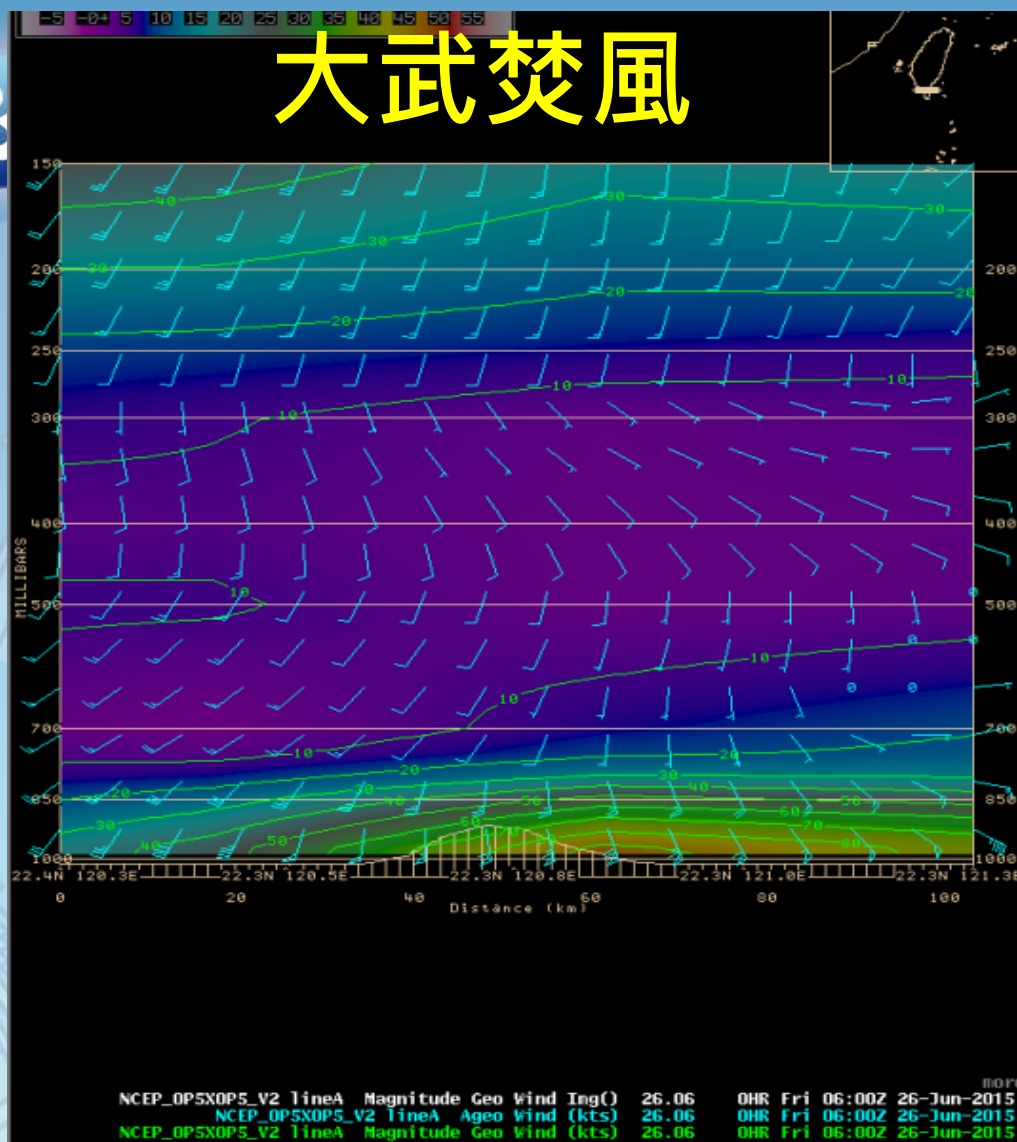


2014年11月13日18UTC NCEP\_0.5x0.5非地轉風垂直環流疊加Omega場垂直剖面圖。

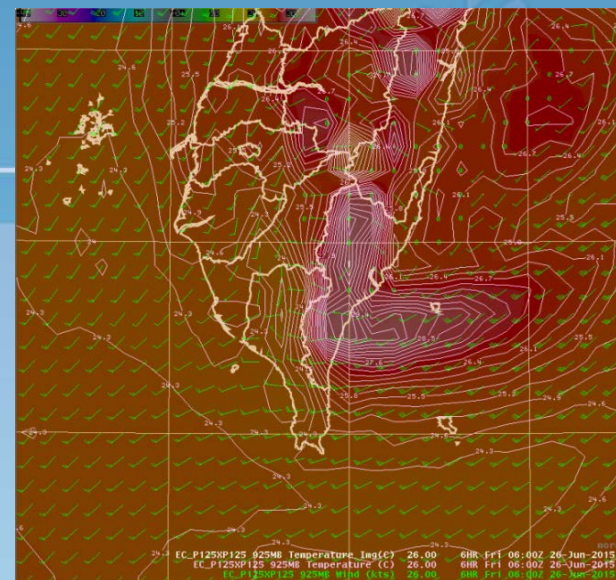


2014年11月13日18UTC NCEP\_0.5x0.5非地轉風垂直環流疊加相當位溫、絕對動量及相當位渦(EPV~shading之範圍)垂直剖面圖。

# 大武焚風

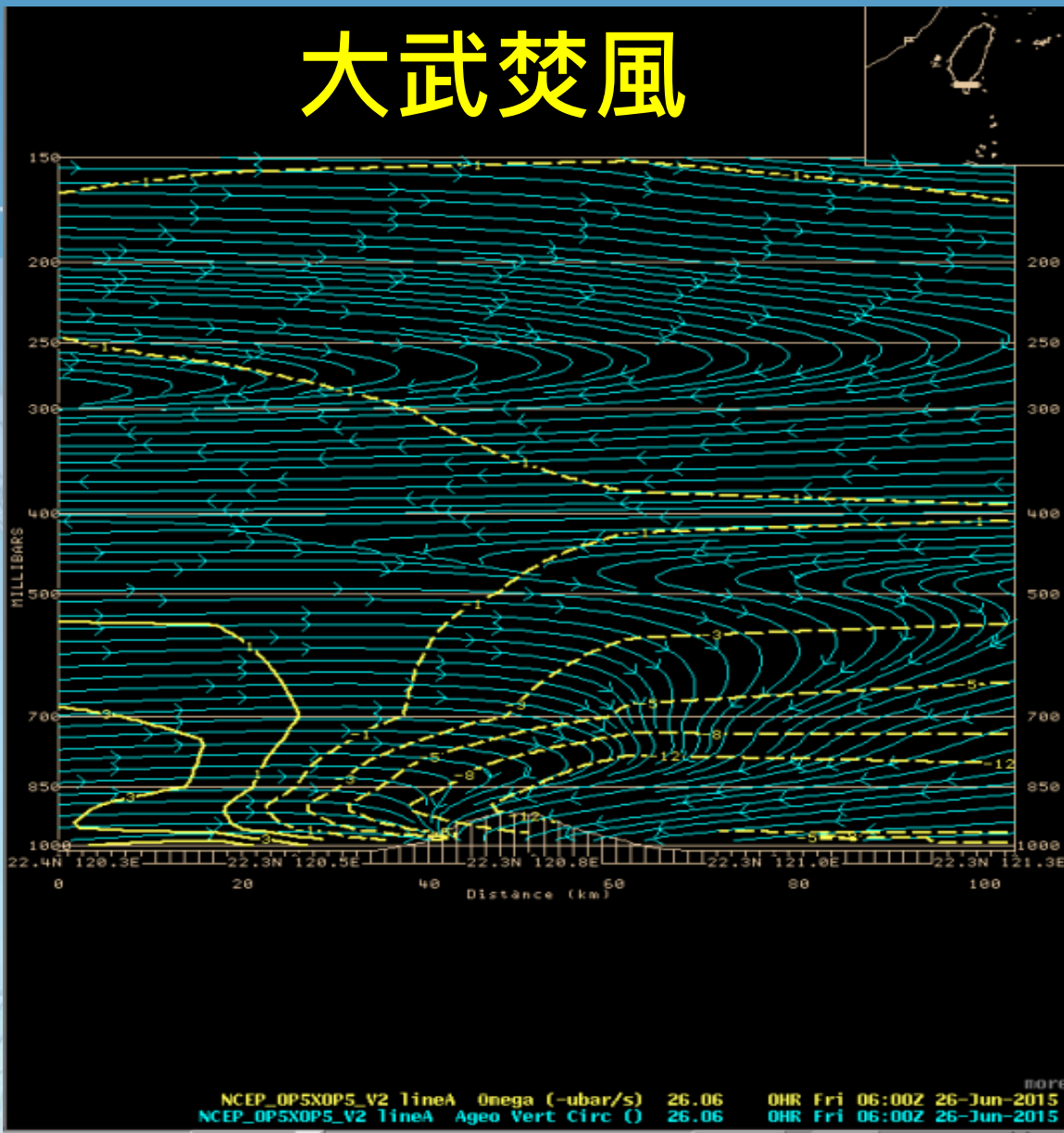


圖：2015年6月26日06UTC NCEP\_0.25x0.25 非地轉風標其量值(shading之範圍) 垂直剖面圖



圖：925hPa溫度場及風標

# 大武焚風



圖：2015年6月26日06UTC NCEP\_0.25x0.25 非地轉風垂直環流及OMEGA場垂直剖面圖。

# 大武焚風個案



☀ 由垂直剖面圖分析焚風，在中央山脈東側，強的偏南非地轉風量值(可達80kts)能更凸顯焚風之動力機制；從非地轉風垂直環流配合OMEGA場可以更清楚地看到焚風的沉降運動的軌跡。



# 結語：老子道德經：

「反者道之動，弱者道之用。  
天下萬物生於有，有生於無。」

反者與弱者也，猶如非地轉風，而道者也，天氣變化的道理；動：動力機制。

天下萬物：天氣系統。

有：非地轉風；無：地轉平衡。

非地轉風在使大氣運動趨向於地轉平衡，  
扮演著既破壞又建設的角色。

感謝您的聆聽！

**THANKS FOR YOUR ATTENTION!**

