

全球分析資料初始化為WRF初 始場之過程探討

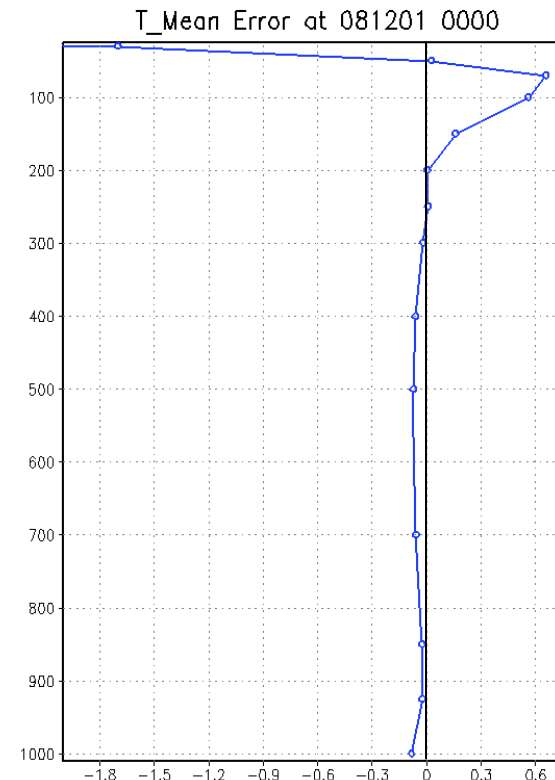
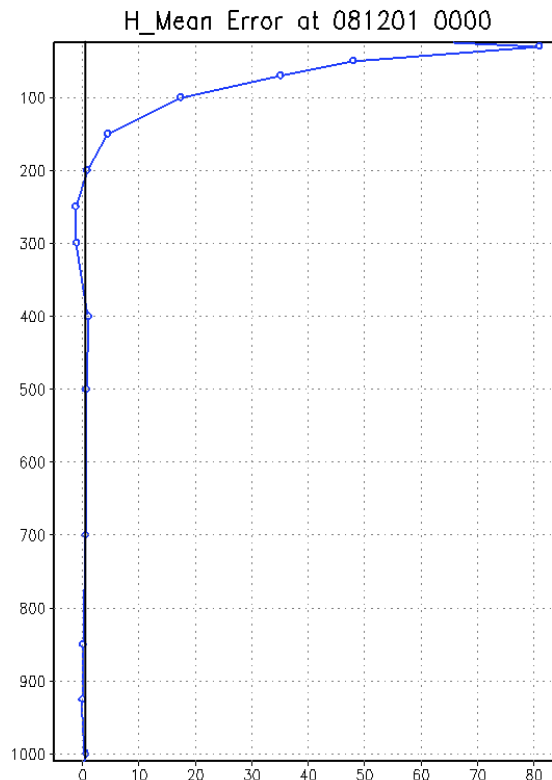
氣象資訊中心 魏士偉 洪景山

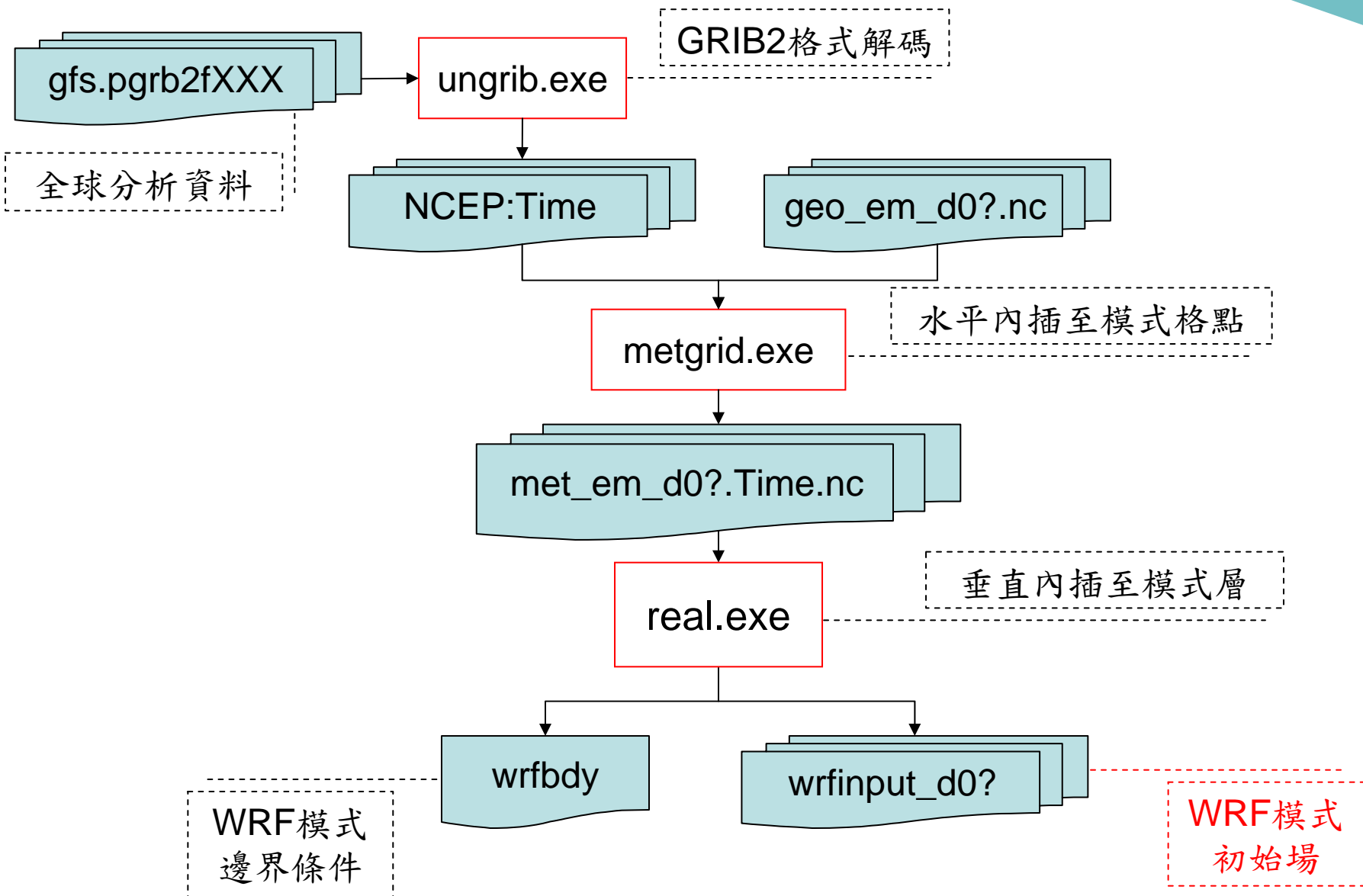
大綱

- 研究動機
- WRF模式初始化過程
- 垂直內插方法及其誤差探討
- 2008年12月個案測試
 - 垂直解析度不同造成之影響
 - 三種垂直內插方法的差異與影響
- 結論

研究動機

- WRF模式的初始場在高層與NCEP分析場有很明顯的偏差，因此想深入了解從全球模式資料初始化為WRF模式初始場的過程中是何原因造成高層明顯的偏差，並探尋改善的方法及其對預報的影響。





垂直內插方法

- 垂直內插

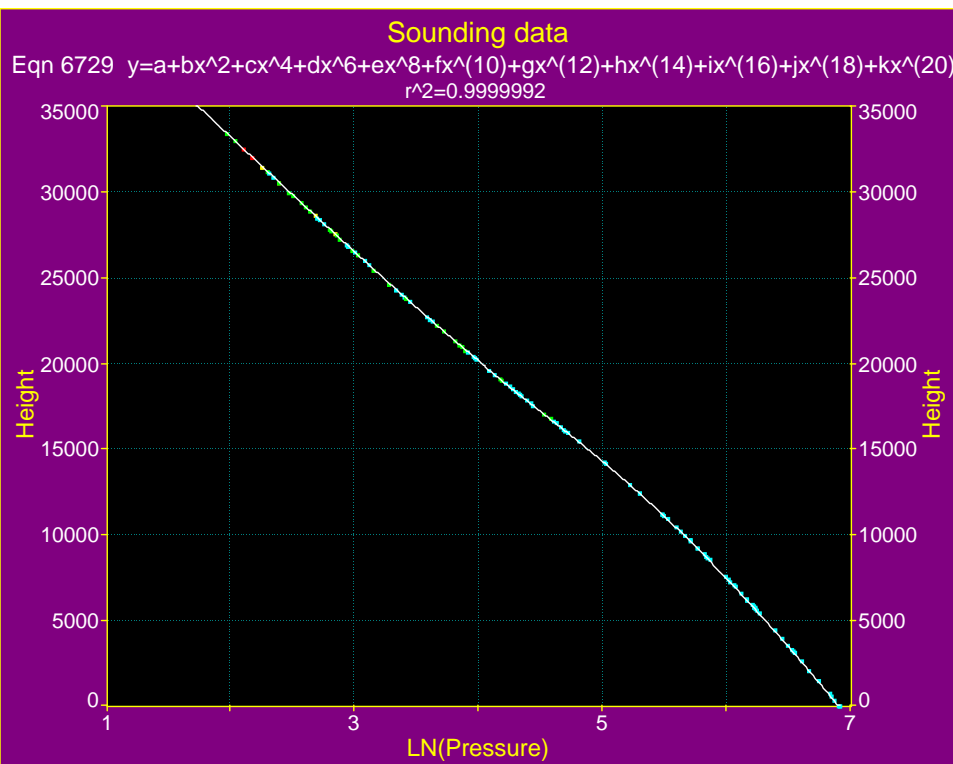
- 將全球分析資料(P Level)透過垂直內插至WRF模式層(Eta Level)
- 垂直內插是透過Lagrange Polynomial Interpolation

$$P(x) = \frac{(x-x_2)(x-x_3)\cdots(x-x_n)}{(x_1-x_2)(x_1-x_3)\cdots(x_1-x_n)} y_1 + \frac{(x-x_1)(x-x_3)\cdots(x-x_n)}{(x_2-x_1)(x_2-x_3)\cdots(x_2-x_n)} y_2 + \cdots + \frac{(x-x_1)(x-x_2)\cdots(x-x_{n-1})}{(x_n-x_1)(x_n-x_2)\cdots(x_n-x_{n-1})} y_n.$$

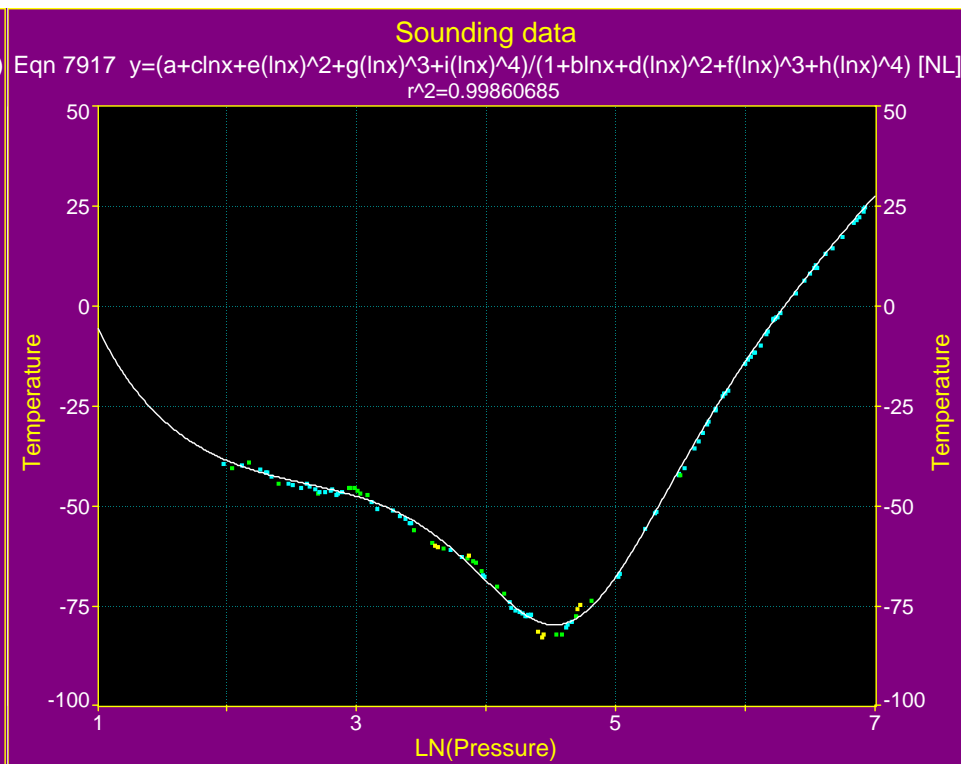
- Lagrange_order = 1時，使用兩個點進行內插(線性)
- Lagrange_order = 2時，使用三個點進行內插(二次方程式)

垂直內插的誤差探討

- 利用原始的探空資料，找出近似方程式 $Y=f(X)$ ，其中 Y 為高度或溫度， X 為 $\ln(P)$ ，將此方程式作為真實場(truth)。

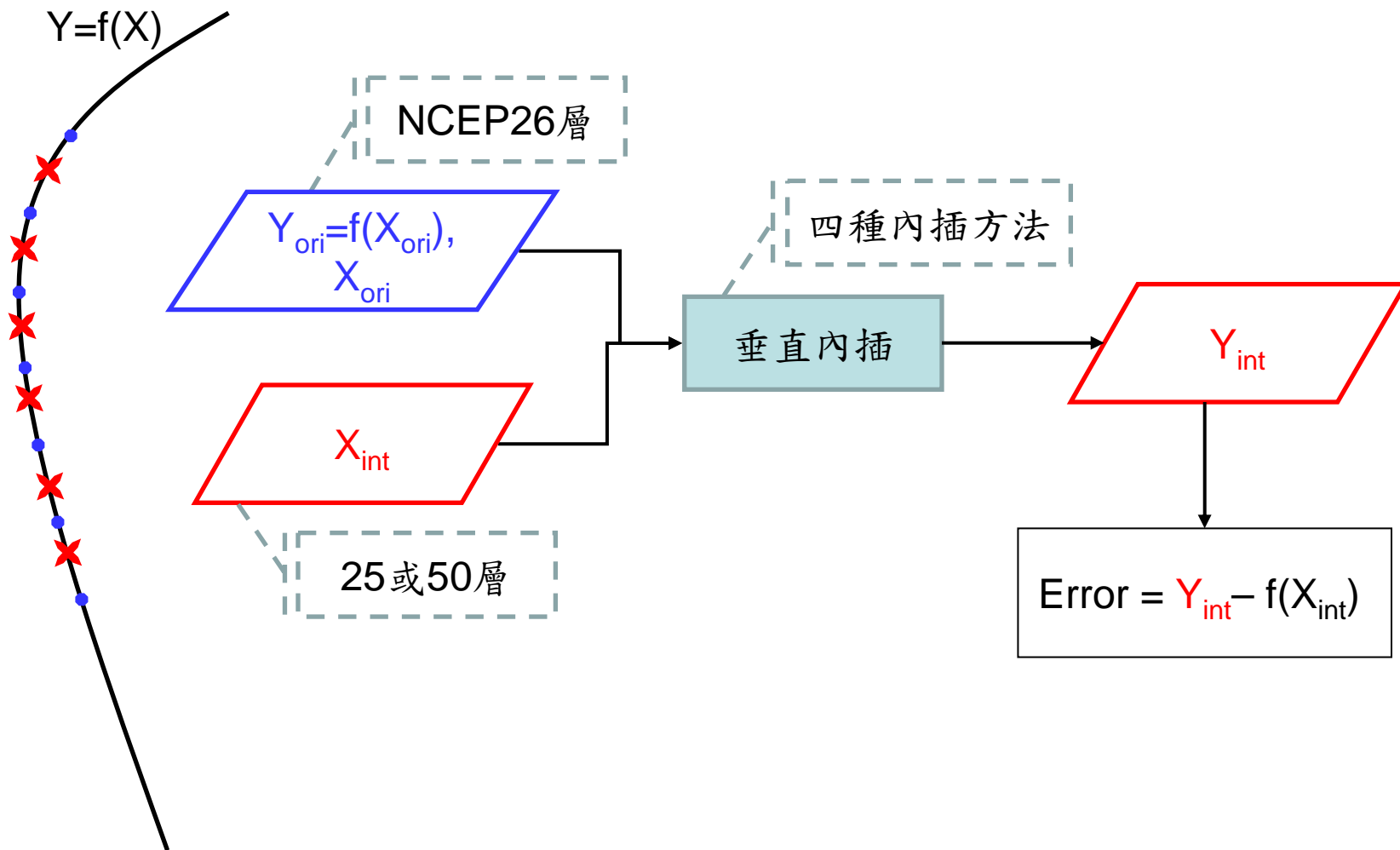


Height



Temperature

垂直內插的誤差探討

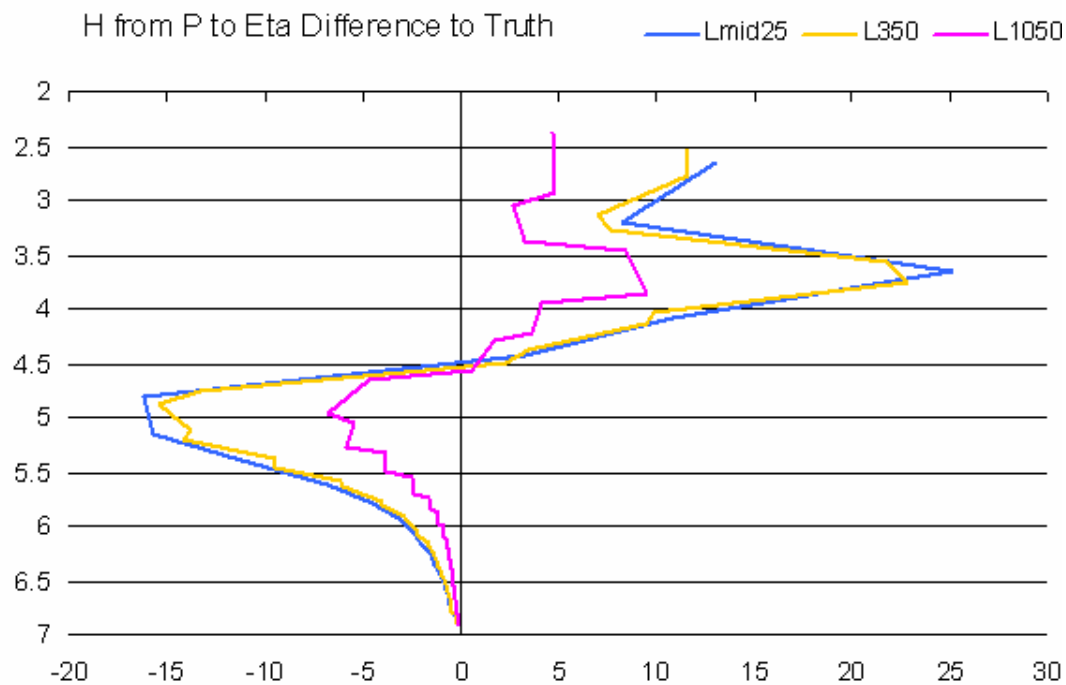
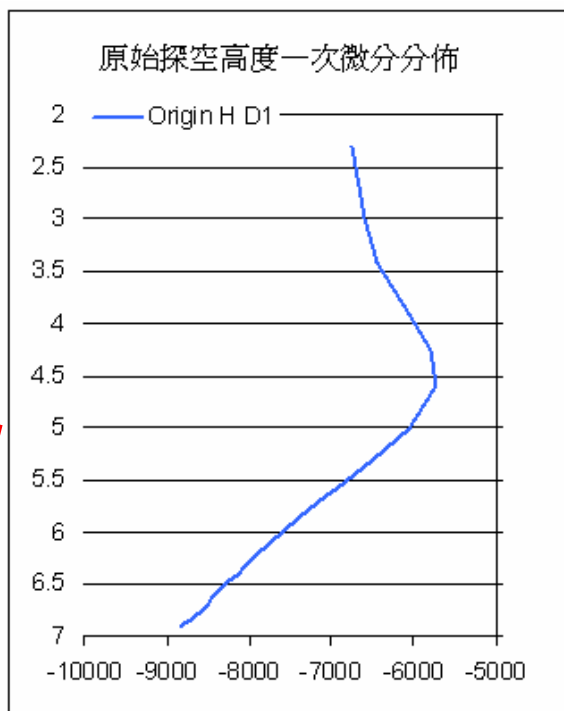


垂直內插的誤差探討

實驗名稱	垂直層數	內插位置	附註
<u>X</u> mid25	25	$\frac{1}{2} \Delta \ln(P_p)$	<u>X</u> ：垂直內插方法，L表示線性內插，Q為二次方程式內插，3是三次方程式內插，S為Cubic spline內插。
<u>X</u> 350	50	$\frac{1 \& 2}{3} \Delta \ln(P_p)$	
<u>X</u> 1050	50	$\frac{1 \& 9}{10} \Delta \ln(P_p)$	

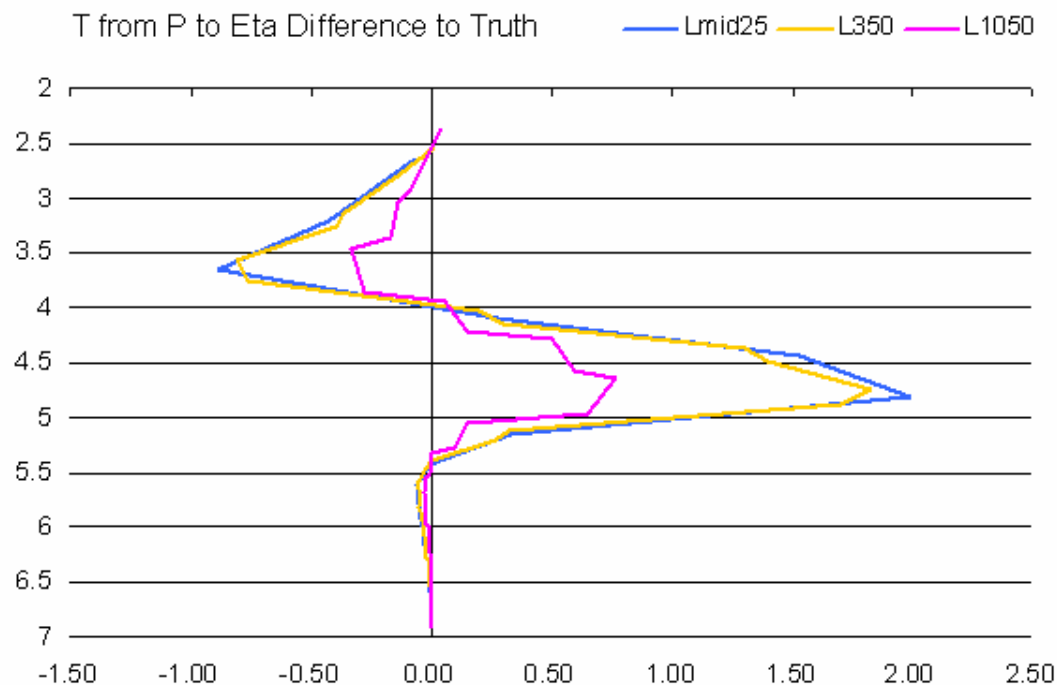
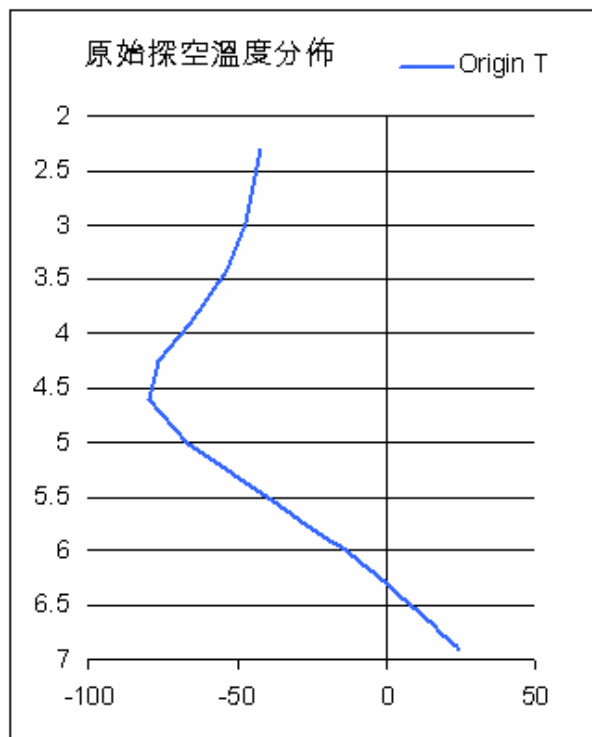
- P_p 為NCEP全球分析資料26層的氣壓值，於truth上可得對應值(Y_{ori} & X_{ori})。
- 以此模擬實際自P層內插至Eta層的初始化過程。

垂直內插的誤差探討



從P層內插至Eta層在不同垂直解析度的比較，誤差大小的順序為 $L1050 < L350 < Lmid25$ ，因此可以知道誤差除了受到垂直解析度的影響，也會受到與P層之間的距離影響。而誤差的來源可從探空的原始分佈得知誤差明顯的區域主要出現在高度場隨 $\ln(P)$ 變化出現轉折的區段。

垂直內插的誤差探討



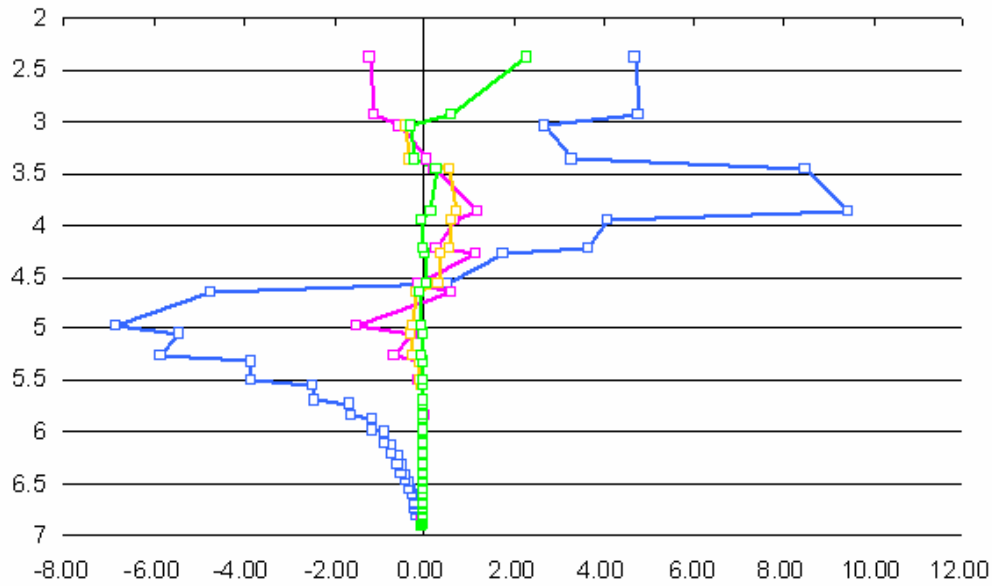
溫度場情況與高度場類似，使用25層的結果與truth的差異最大。而且同樣都能看到在 $\ln(P)$ 約等於4.6左右(大約100百帕)的區域誤差最大，比對探空的溫度垂直分佈，剛好對應到轉折處，也就是對流層頂附近。

垂直內插方法比較

- 測試使用三次方程式 (4 個點) 以及 Cubic spline 進行 P to Eta 的垂直內插，在這四組實驗中以 cubic spline 的誤差最小，甚至接近 0。

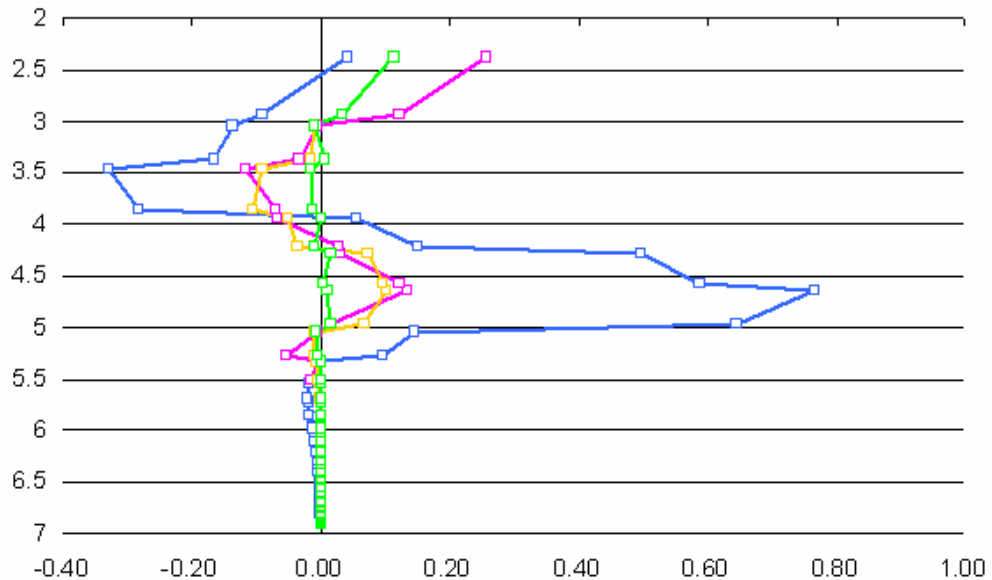
H from P to Eta Difference to Truth

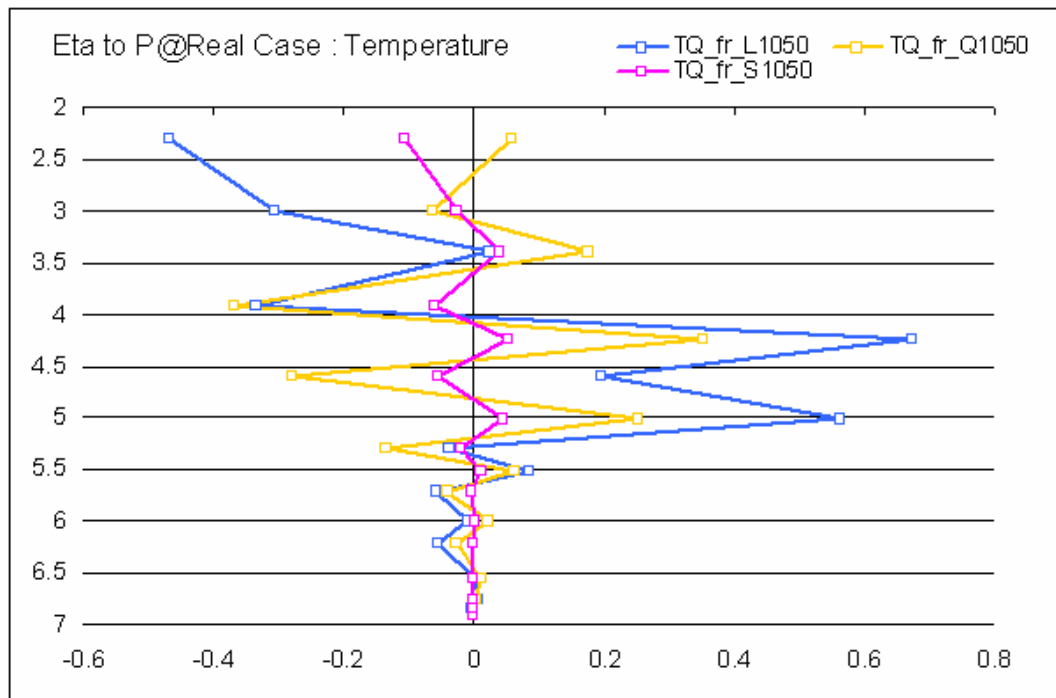
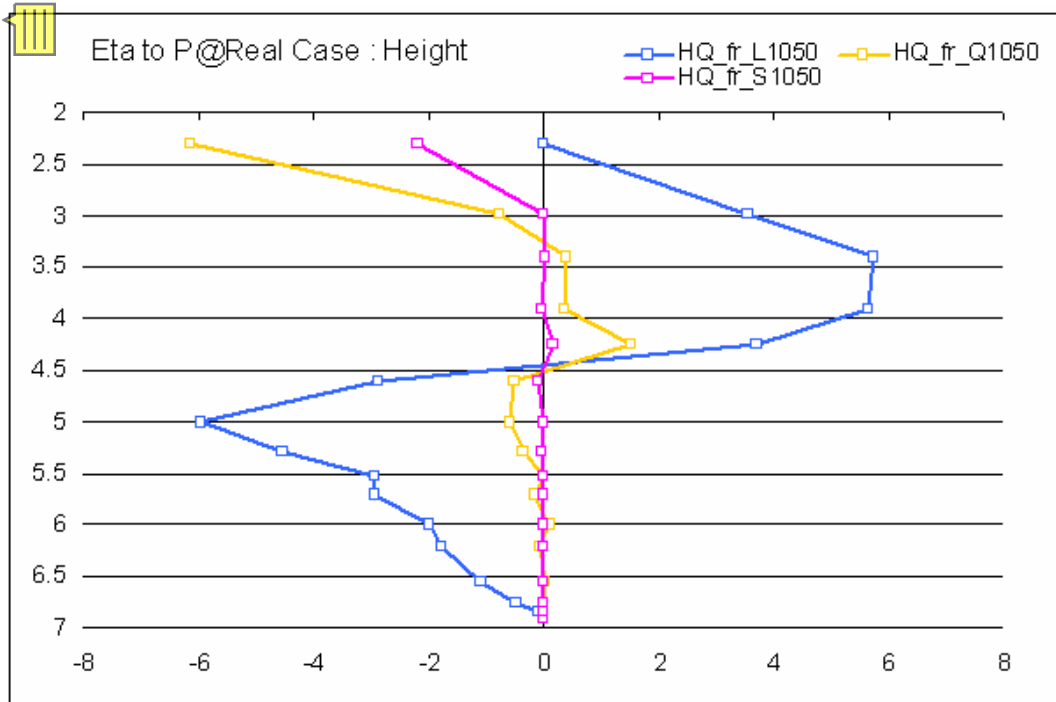
L1050 Q1050
31050 S1050



T from P to Eta Difference to Truth

L1050 Q1050
31050 S1050





實際資料內插

- 由於真實場為一近似曲線，或許因為如此 Cubic spline 能有較小的誤差。
- 將原始探空中的16層標準層取出作為P層資料，進行一次P to Eta再到 P的過程以比較各種內插方式。
- 在相同解析度的情況下cubic spline的誤差依然是最小的。

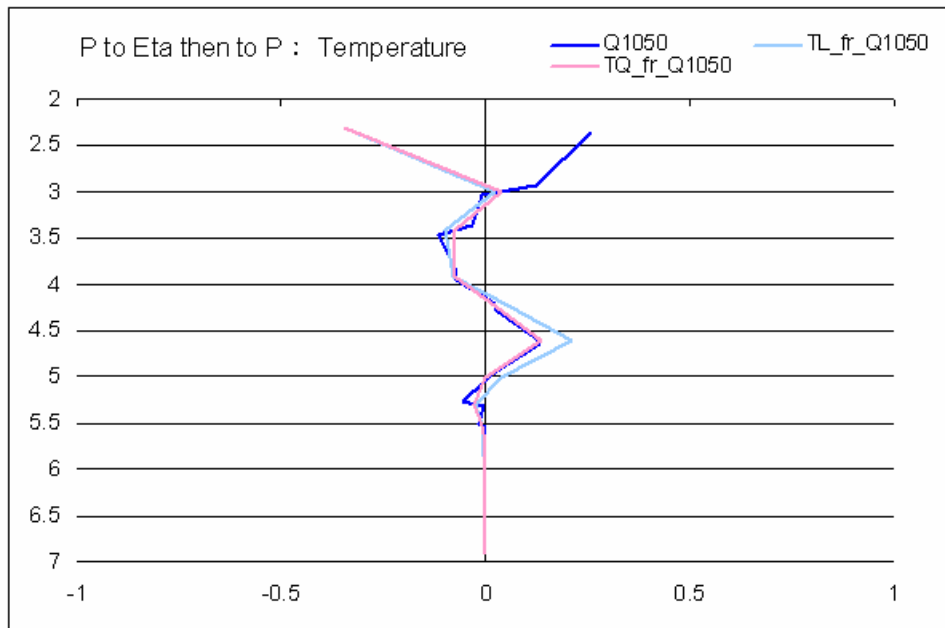
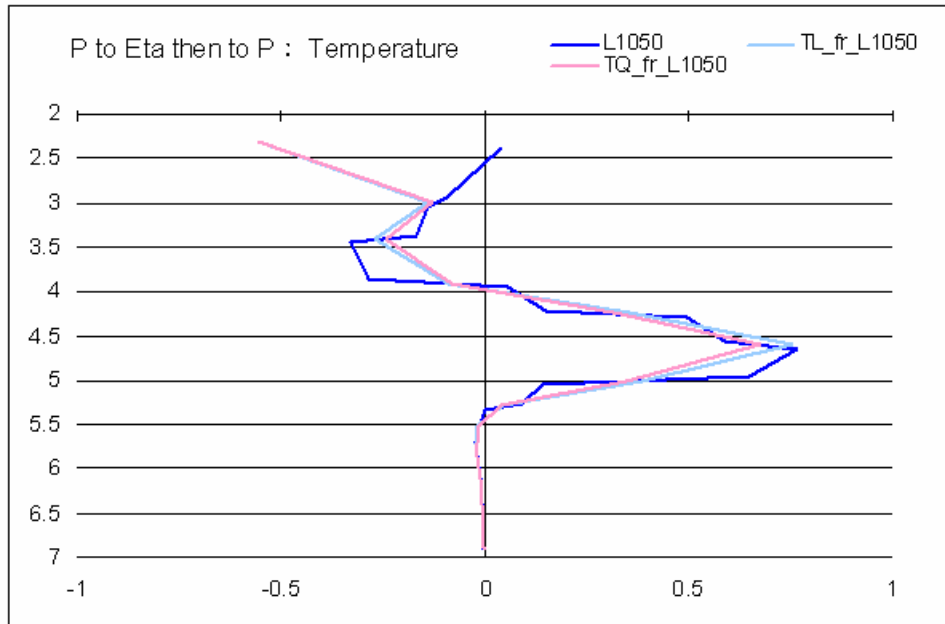
兩階段造成的誤差

- 在解析度較低的情況下，使用二次方程式內插能夠減少內插回P層增加的誤

在垂直解析度足夠的情況下，內插回P使用線性內插或者二次式內插差別不大，而且誤差主要是來自於第一階段P層內插至Eta層，第二階段產生的誤差小了許多。

回等壓層的影響並不大。

- 高度場的情形相當類似。

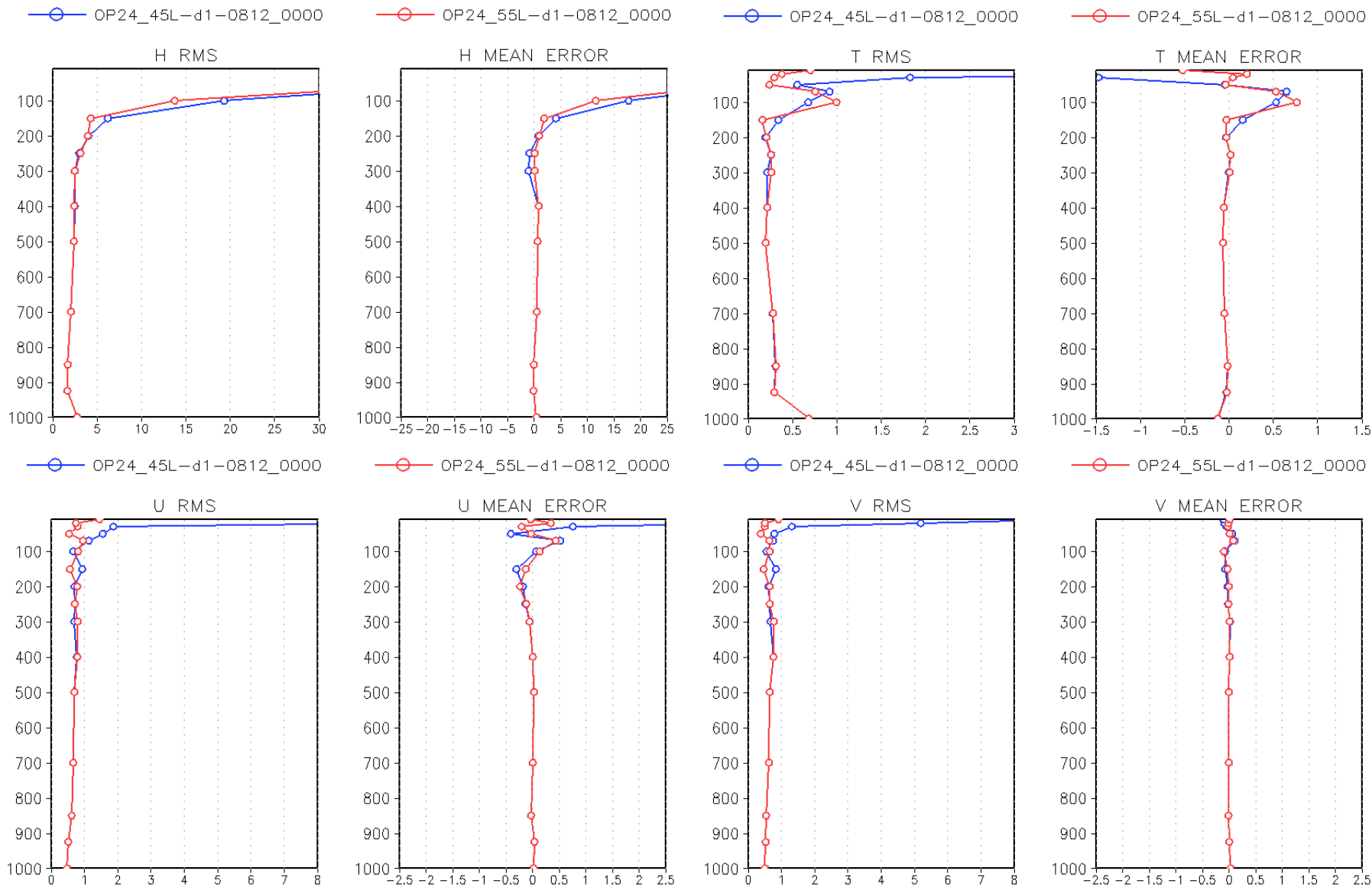


實際個案測試

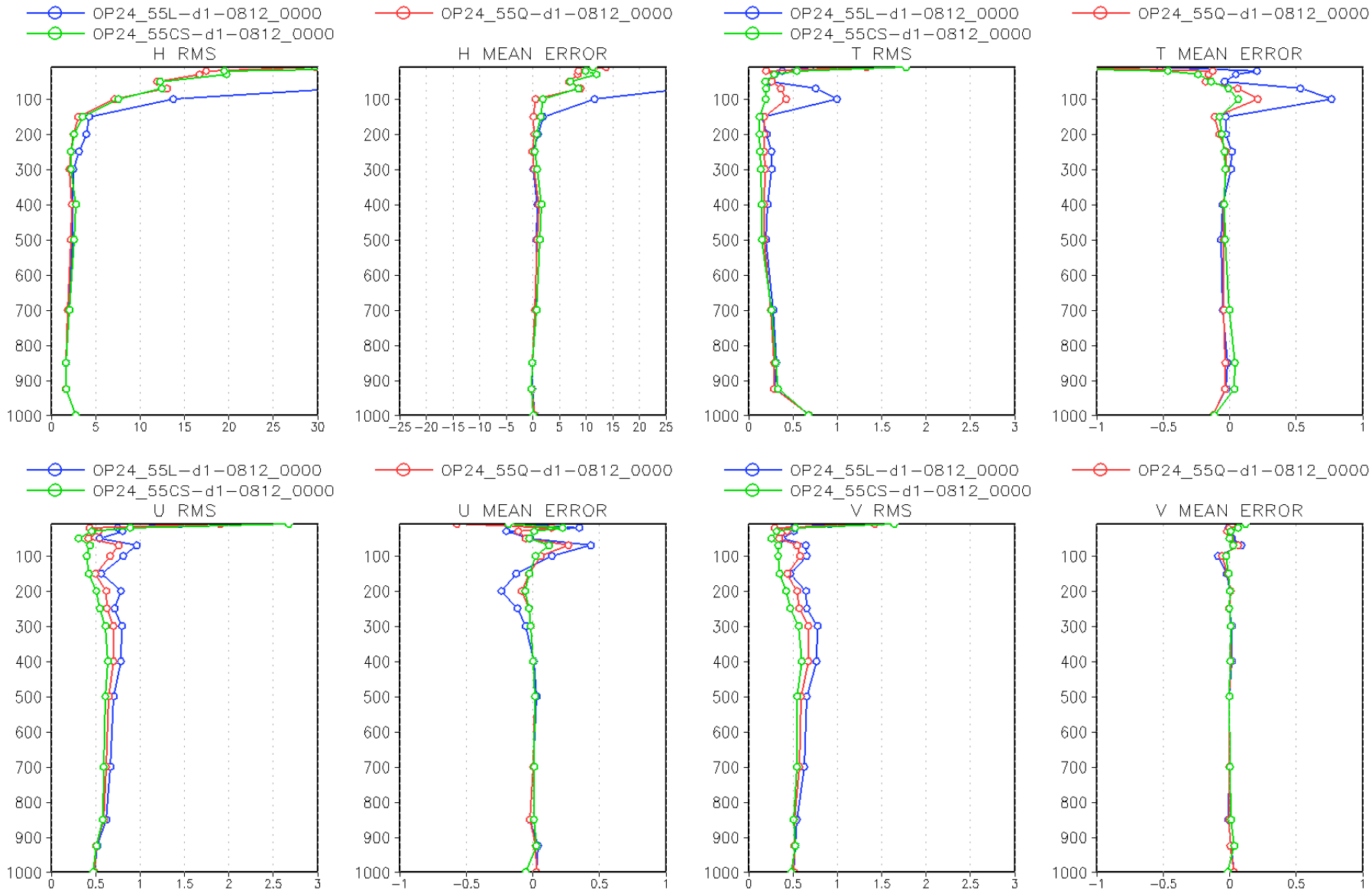
- 實驗敘述：
 - 由前述的垂直內插測試得知垂直解析度以及垂直內插方法都會影響到垂直內插的誤差。
 - 因此設計一個55層的垂直分層，其分層在300百帕以下保持與45層相同的分層，300百帕以上則額外增加10層並且提高模式層頂至10百帕。
- 使用模式：WRF 3.3.1 [NODA w/o DFI]
- 實驗時間：20081201 ~ 20081210

	45	55
Linear	45L	55L
Quadratic	45Q	55Q
Cubic Spline	45CS	55CS

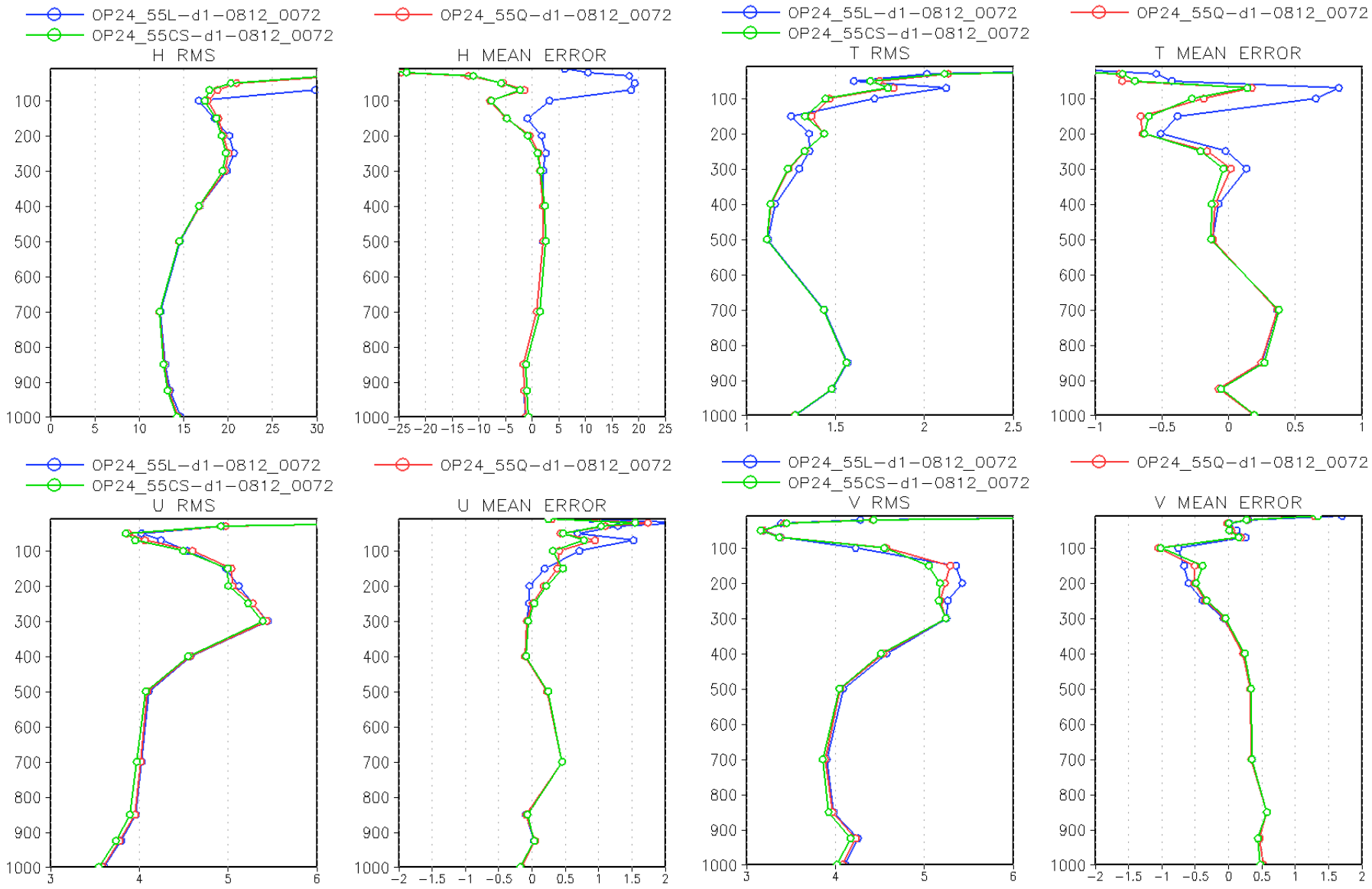
垂直解析度的影響 (45L vs. 55L)



垂直內插方法之比較(55L, 55Q, 55CS)



預報72小時之比較



結論

- WRF模式初始化中的垂直內插在參數隨高度變化的斜率發生改變的區域容易產生誤差，使用越高次方的內插方法以及更高的模式解析度，或者更接近等壓層的垂直分層都可以有效地降低此誤差。
- 在解析度足夠的分層下，內插回等壓層的校驗過程用線性內插即可，若能使用二次式內插亦可些微降低誤差。
- 實際個案的實驗中，增加模式高層解析度的確有助於降低模式高層的誤差，但是更高次方的垂直內插方法能夠更為有效的降低高層的RMSE以及ME。

結論

- 預報72小時的結果中，Cubic Spline與二次方程式垂直內插的結果相當接近，但是Cubic Spline相對來說有著略低的RMSE。
- 要更進一步減少垂直內插的誤差，或許需設計一個更為靠近等壓層的垂直分層。

END

垂直內插誤差探討小結

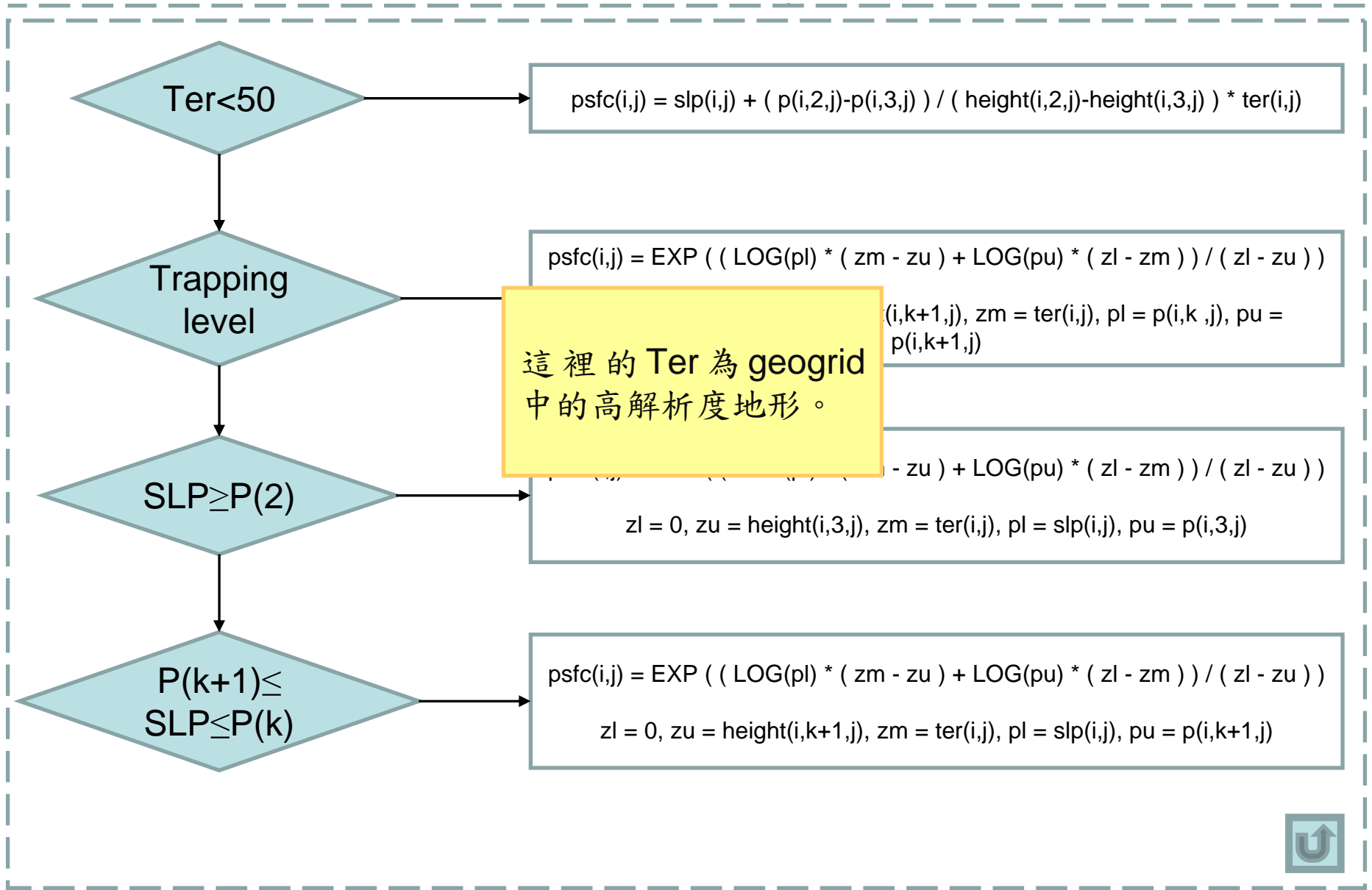
- 從不同垂直解析度跟垂直內插方法的測試，可以知道垂直內插的誤差來源主要出現在重力位高度場以及溫度場的函數斜率變化明顯的地方。
- 提升垂直解析度可有效地降低誤差，但是Eta層與P層的距離也會影響到內插的結果，與P層的距離越接近誤差也越小。
- 使用較高次方的垂直內插亦可降低誤差，在四種垂直內插方式中誤差最小的是使用cubic spline內插的結果。
- 從Eta層內插回P層時，如果改以二次方程式進行內插也能夠降低與真實場的差異。
- 因此想要降低初始化的誤差或許可以從增加垂直解析度、更高次方的垂直內插方法以及降低Eta層與P層之間的距離這三個方向來處理。



GHT、P、
Ter、SLP

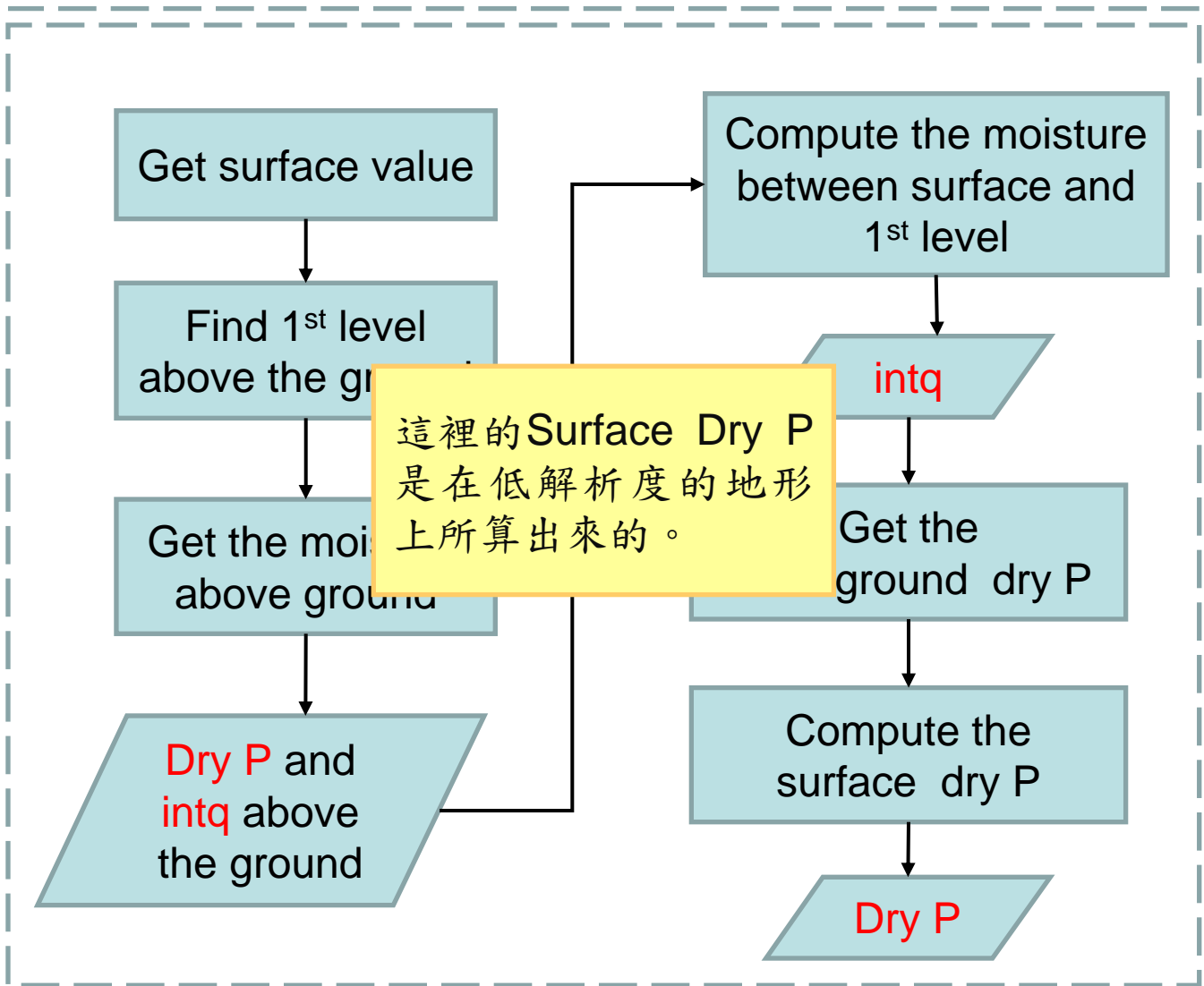
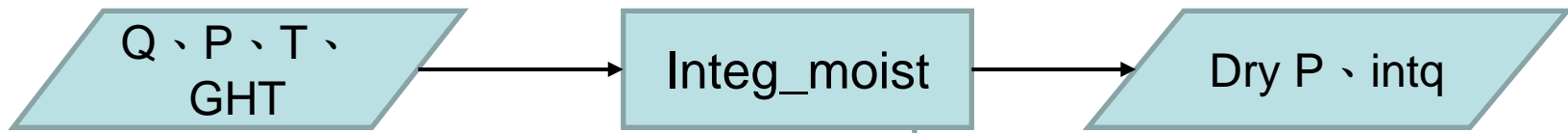
sfcprs3

Surface
Pressure



這裡的 Ter 為 geogrid 中的高解析度地形。





這裡的Surface Dry P 是在低解析度的地形上所算出來的。

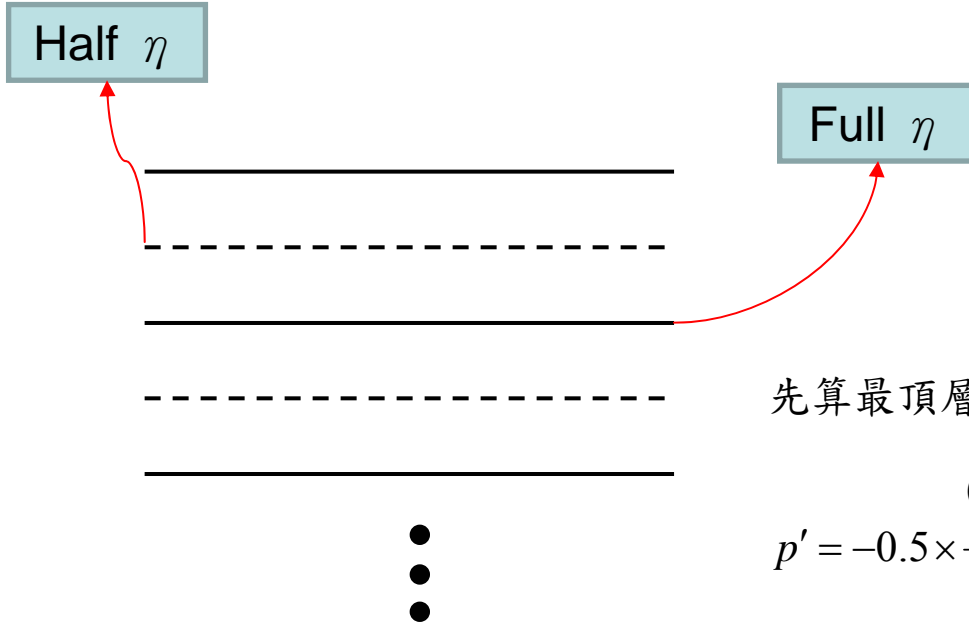




Real

- `adjust_heights`, 如果此項為true，real在最後會對高度場進行調整。
- `vboundb`, `vboundt`, 如果給定數值，則會使得在垂直內插時，在最下面幾層或最上面幾層會使用線性內插，不論namelist中`lagrange_order`設定多少。
- Wrfinput中的重力位高度場與氣壓的擾動場都有進行重新計算，並非原先直接內插所得的數值。

P 的重新計算



先算最頂層的 p'

$$p' = -0.5 \times \frac{(\mu' + \frac{q}{1+q} \times \mu_b)}{\frac{1}{\delta\eta} \times \frac{1}{1+q}} = -0.5 \times \delta\eta \times \frac{1+q}{1} \times (\mu' + \frac{q}{1+q} \times \mu_b)$$

其中 μ_b 為hydrostatic surface pressure $-P_{top}$

然後往下計算所有層的 p'

$$p'_k = p'_{k+1} - \frac{(\mu' + \frac{qv f}{1+qv f} \times \mu_b)}{\frac{1}{\delta\eta^h} \times \frac{1}{1+qv f}}, \text{其中 } qv f = 0.5(q_{k+1} + q_k)$$

在這由於 $\delta\eta$ 為負值，所以用相減得到下面一層的 p'

PHI的重新計算

利用 $\frac{dp}{dz} = -\rho g$, $p = \rho RT$, 可以得到 $dz = -\alpha \times p \times d \ln(p)$

$\alpha \times p \approx RT$ 及 $d \ln(p) \approx dz$, 並且假設溫度隨高度變化近乎直線
所以一階垂直內插有較好的結果。

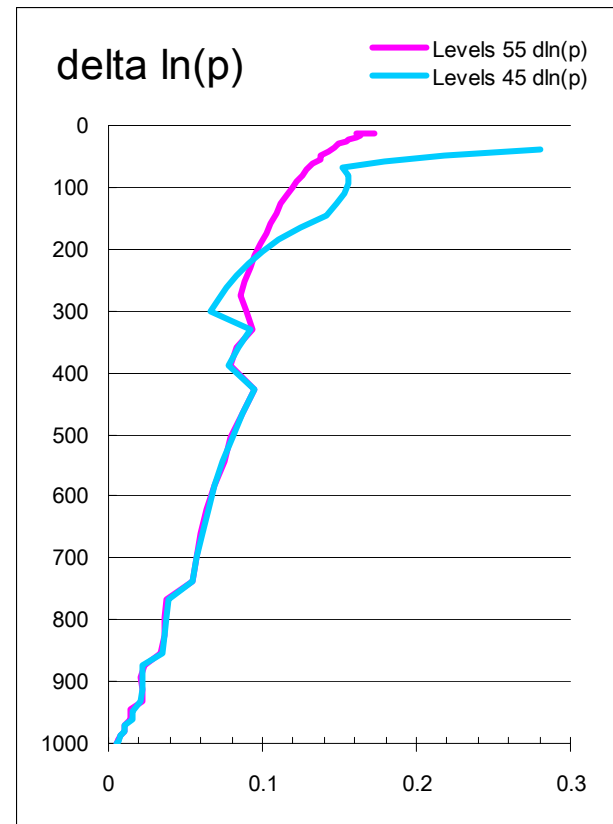
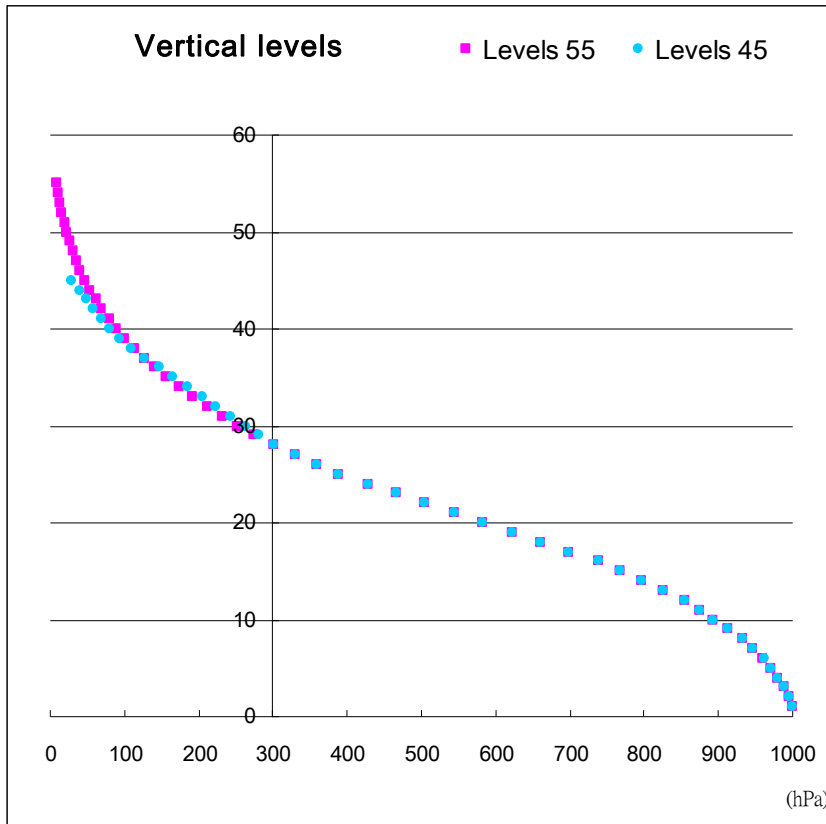
$$p_{fu} = \mu \times \eta_k^f + P_{top}, p_{fd} = \mu \times \eta_{k+1}^f + P_{top}, p_{hm} = \mu \times \eta_{k-1}^h + P_{top}$$

$$\Phi = \Phi + \alpha \times p_{hm} \times \ln \frac{p_{fd}}{p_{fu}}$$

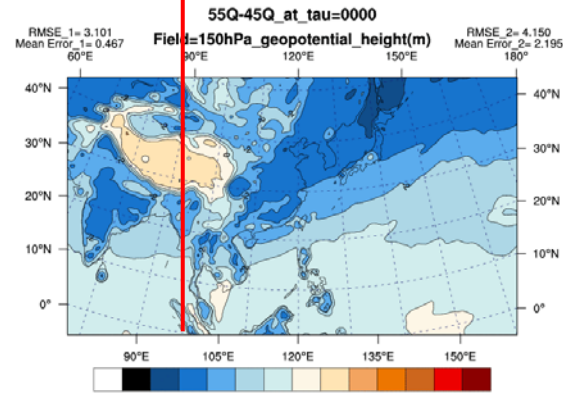
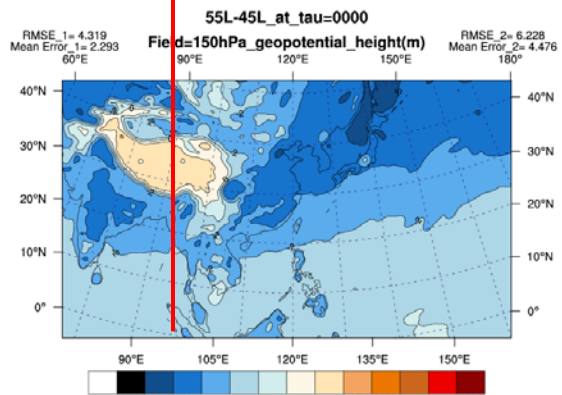
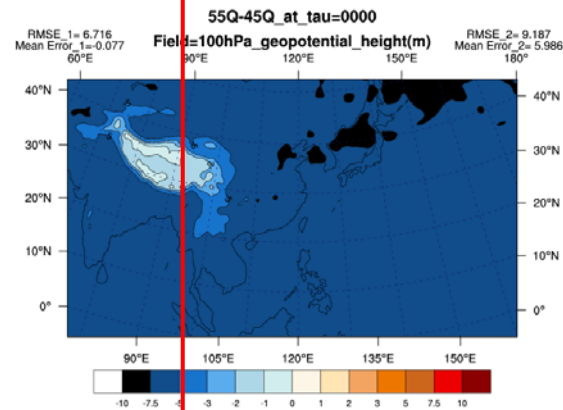
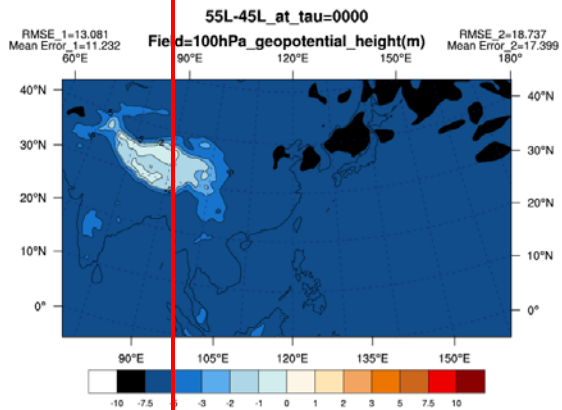
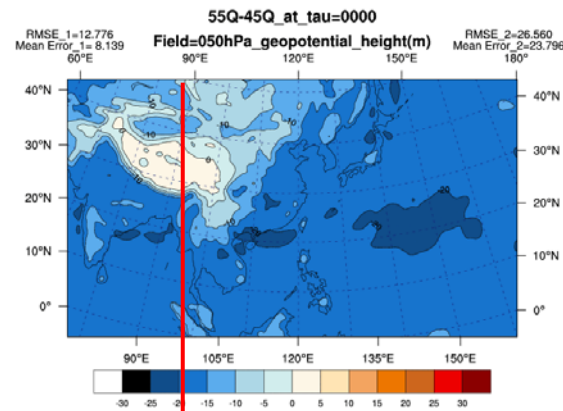
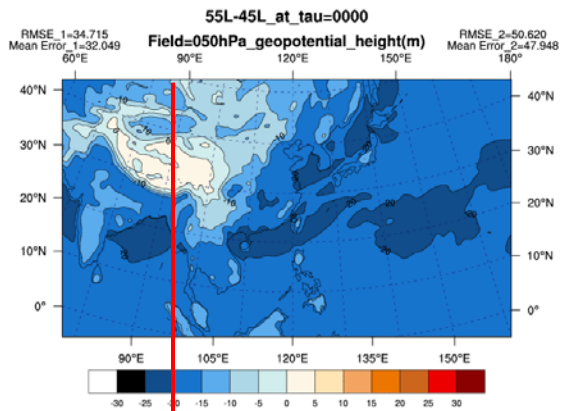
α 是透過混合比等參數所計算出來的。

垂直內插— dry vs. total

- 測試在計算 μ 時水氣設為0，如此一來 μ 便是以 total pressure 計算。
- μ 比使用 dry pressure 增加了3百帕到5百帕左右。
- μ 變大，每一層 eta level 的 $P(= \mu * \text{eta} + P_{\text{top}})$ 也跟著上升。
- 使用 total Psfc 會造成 eta level 的分佈有所不同，整體的 eta level 的 $\ln(p)$ 自低層到高層會增加0.006~0.001，厚度 $d \ln(p)$ 的差異則從低層的 10^{-6} 到高層的 10^{-3} 次方。



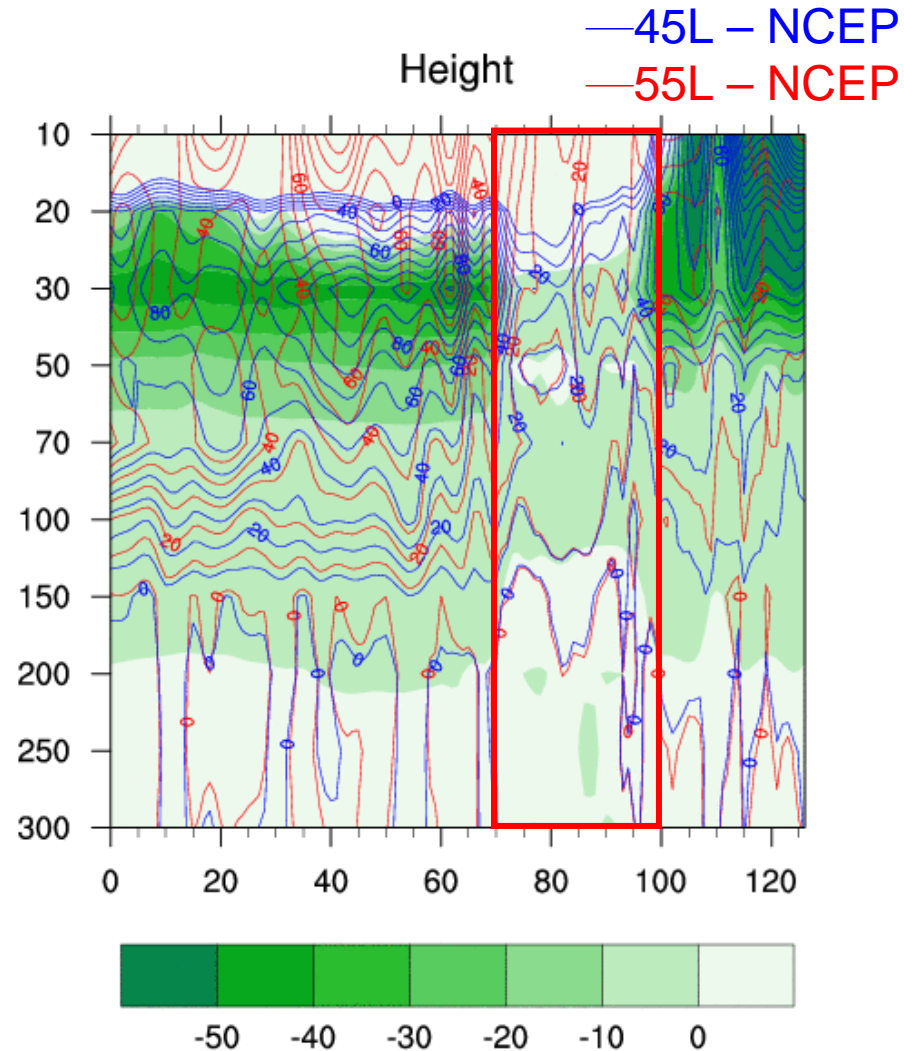
- 從垂直內插的方式中可以知道在 $d \ln(P)$ 越小的情況(i.e., Eta層與P層的距離降低)理應會有較小的誤差，因此增加300百帕以上的層數來增加垂直解析度以及降低其 $d \ln(P)$ 。



- 在不同解析度的情況下，可以看到青藏高原上的差異較其他地區小了許多（100百帕）最為明顯。
- 多數區域55層的重力位高度都是較45層來得低。唯獨青藏高原地區不同，55層略高於45層。
- Q：青藏高原為什麼比較特別？可以在兩者的差異中明顯的看見其輪廓。

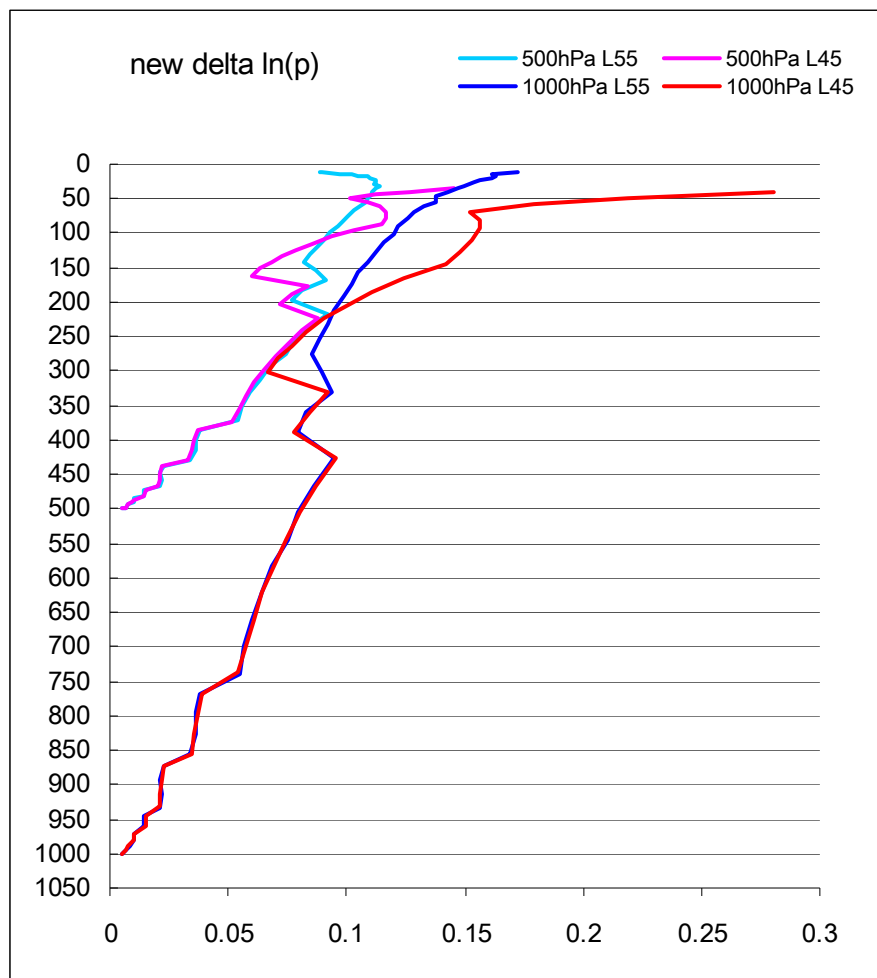
Q

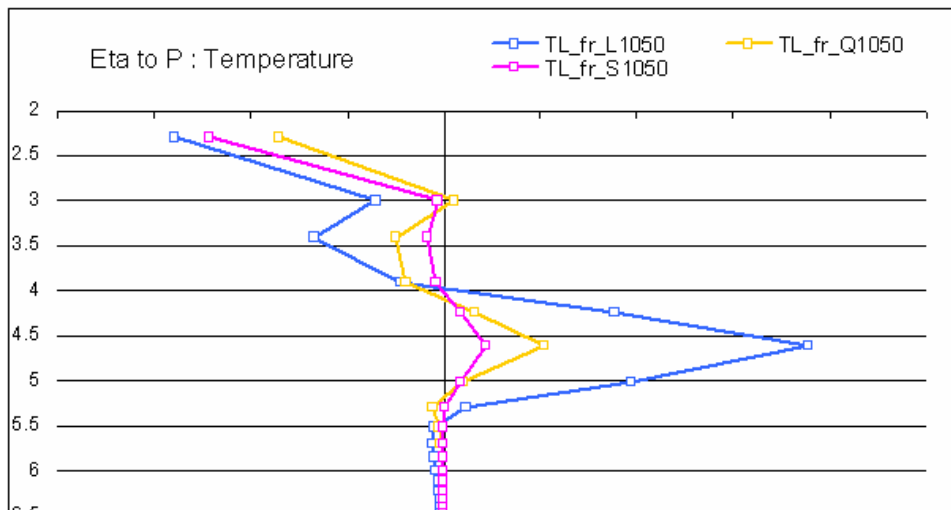
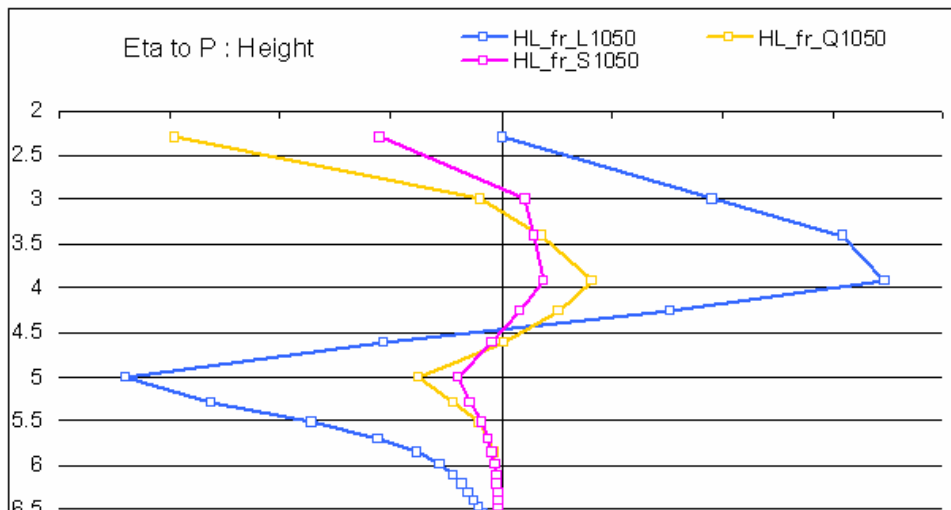
- 從右側圖中可見45層(藍線)與55層(紅線)分別與NCEP的差異等值線分布，在橫軸(南北向)70至100這塊區域(青藏高原)在等壓面上比兩側區域都小了許多，藍色與紅色等值線也較為接近。



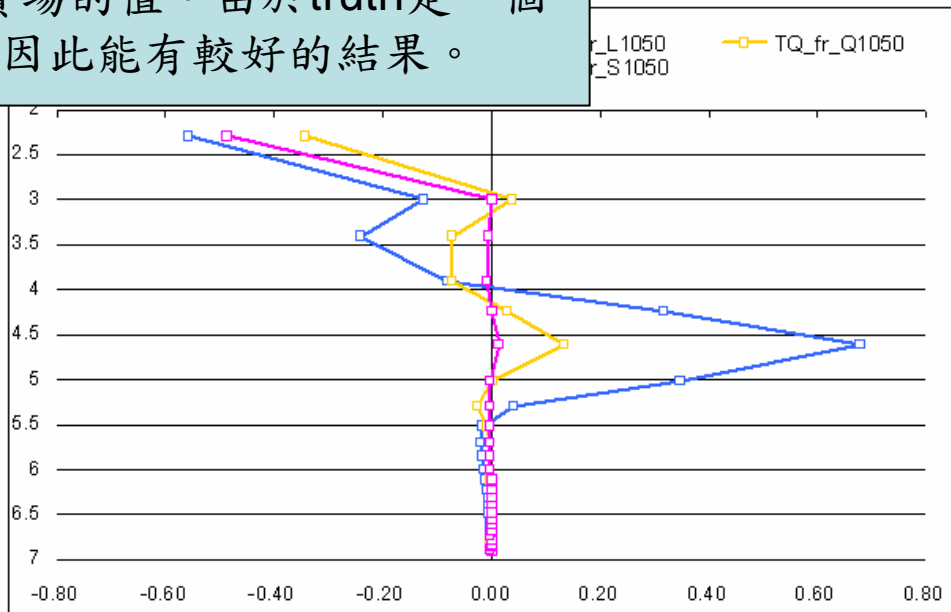
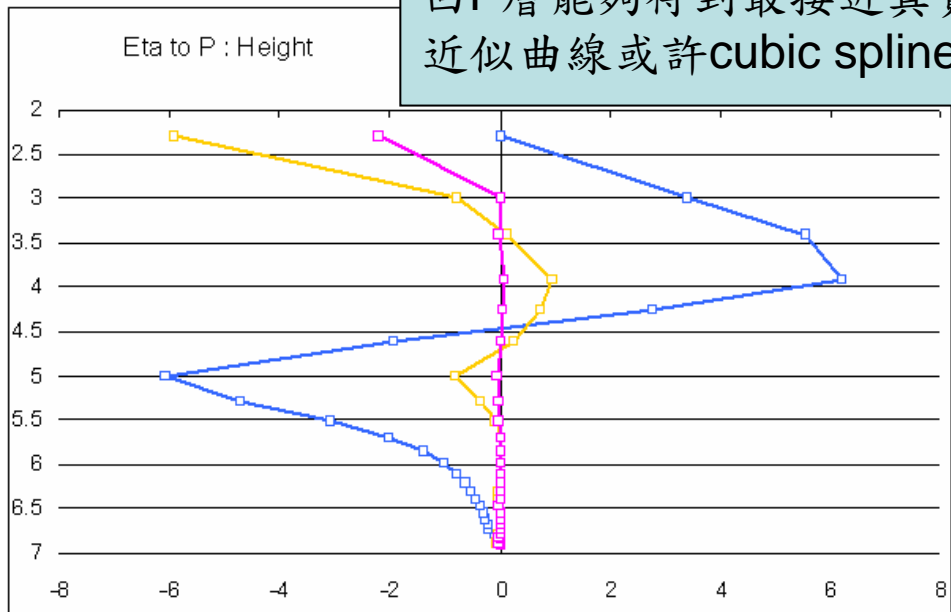
猜測原因

- 在地形較高的地區地面氣壓較低，因此垂直方向模式層的分佈也不一樣。
- 地面氣壓為1000百帕時高層自200百帕以上45層的厚度都較55層來得大，但若地面氣壓為500百帕，45層與55層每層的厚度差異就降低了許多。
- 或許是此原因造成在青藏高原不同垂直解析度有差異較小的特殊情況。

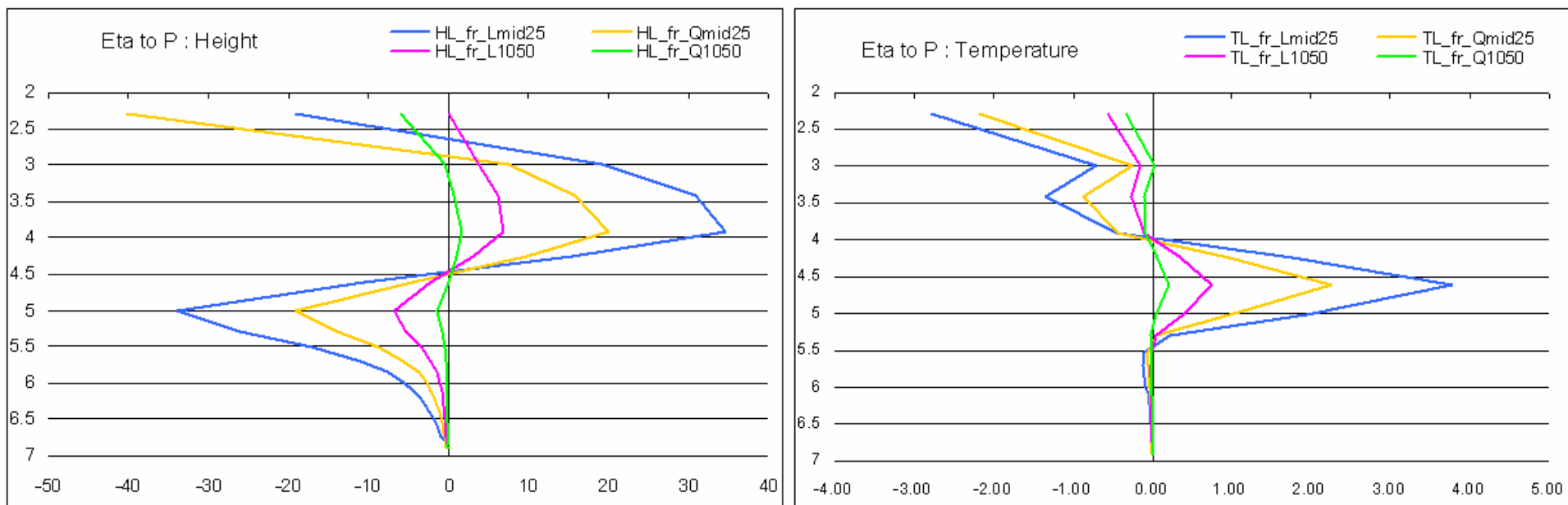




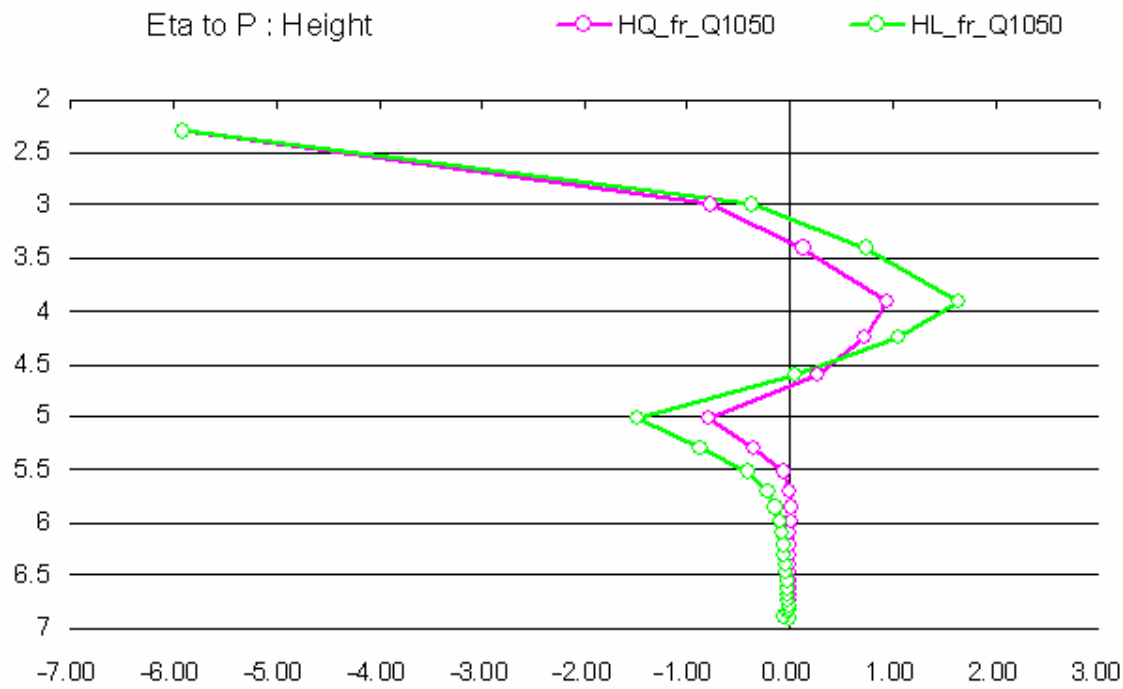
自P層內插到Eta層使用Cubic spline再以二次式內插回P層能夠得到最接近真實場的值。由於truth是一個近似曲線或許cubic spline因此能有較好的結果。



垂直內插的誤差探討



- 不論是高度場或者溫度場都可以看見在同樣以線性內插回P層的情況下，高解析度且用二次方程式內插的誤差最小。



- 如果將內插回氣壓層的過程改以二次方程式進行內插，可以得到更小的誤差。

