



同化雷達與地基GPS觀測資料以改善定量降水預報

黃子茂 楊舒芝 黃清勇

中央氣象局 台灣颱風洪水研究中心 國家太空中心

前言

- ▶ 中央氣象局在臺灣地區已建立完整的即時地基GPS觀測網。GPS訊號在穿越大氣層時，因為大氣折射率的不同，導致GPS訊號在對流層中產生路徑延遲，而天頂方向的光學延遲量稱為天頂總延遲（zenith total delay, ZTD）。
- ▶ 蔡及洪(2012)指出，同化地基式GPS ZTD可改善模式在臺灣地區及周圍海域偏乾及降水預報不足的現象，且同化地基式GPS ZTD後，0~12小時預報之ETS得分有顯著改善。
- ▶ 中央大學副教授楊舒芝老師已成功建置結合WRF模式預報的LETKF系統（WRF-LETKF Assimilation System, WLAS），目前已可同化多種觀測資料並有許多相關期刊論文發表。

前言

- 雷達觀測算符已由中央大學蔡直謙博士及副教授楊舒芝老師建置於WRF-LETKF 系統(Tsai et al. 2014)，發展出WRF-LETKF Radar Assimilation System (WLRAS)。
- 為了瞭解ZTD觀測資料與雷達觀測資料對定量降水預報的影響，中央大學與中央氣象局、國家太空中心及台灣颱風洪水研究中心合作研究，進行了同化雷達與地基GPS觀測資料以改善定量降水預報的研究計畫。

ZTD 觀測算符

根據Bevis et al. (1994)及Vedel and Huang (2004)，ZTD為天頂濕延遲（zenith wet delay，ZWD）與天頂靜力延遲（zenith hydrostatic delay，ZHD）之總和

$$ZTD = ZWD + ZHD$$

ZWD可表示為

$$ZWD = \frac{1}{\varepsilon} \sum_{i=1}^N \frac{p_i q_i}{T_i} \left(k' + \frac{k_3}{T_i} \right) (h_{i+1} - h_i)$$

其中 $\varepsilon = 0.622$ ， $k' = 2.21 \times 10^{-7}$ ， $k_3 = 3.7 \times 10^{-3}$ ， p_i 、 q_i 、 T_i 及 h_i 分別為模式層的氣壓、比濕、溫度及高度場。

ZHD可表示為

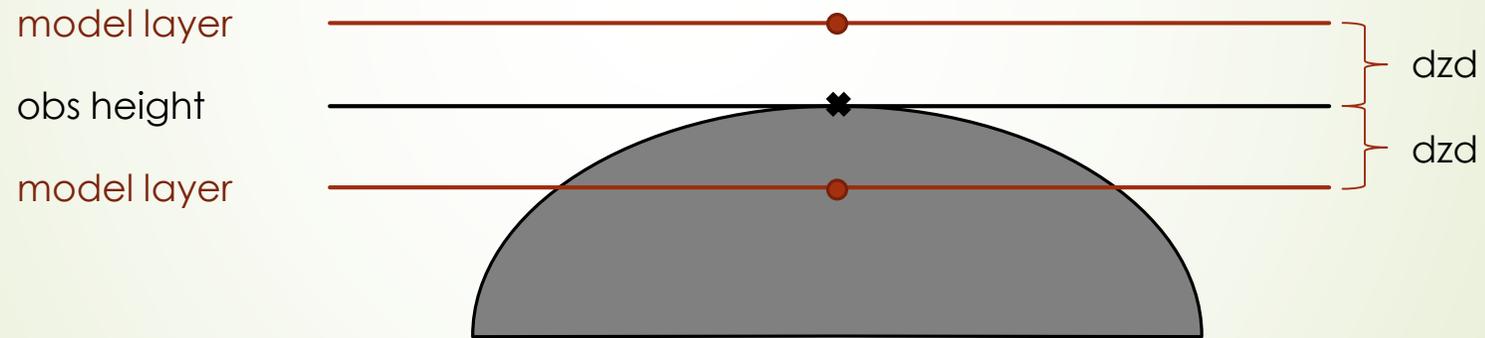
$$ZHD = 2.2768e^{-5} p_a / z_f \quad z_f = 1 - 2.663e^{-3} \cos(2\theta) - 2.8e^{-7} h_a$$

其中 θ 為緯度， p_a 為海平面氣壓， h_a 為地面高度。

地形校正

$$innov = obs - (ges - dzd) \quad dzd = 10^{-4} \times ref \times (h_o - h_m)$$

其中 ref 為模式折射率， h_o 為測站高度， h_m 為模式最底層高度。



ZTD obs for LETKF

經度 緯度 垂直層數 三維變數 二維變數

120.3480 23.0210 1 1 2

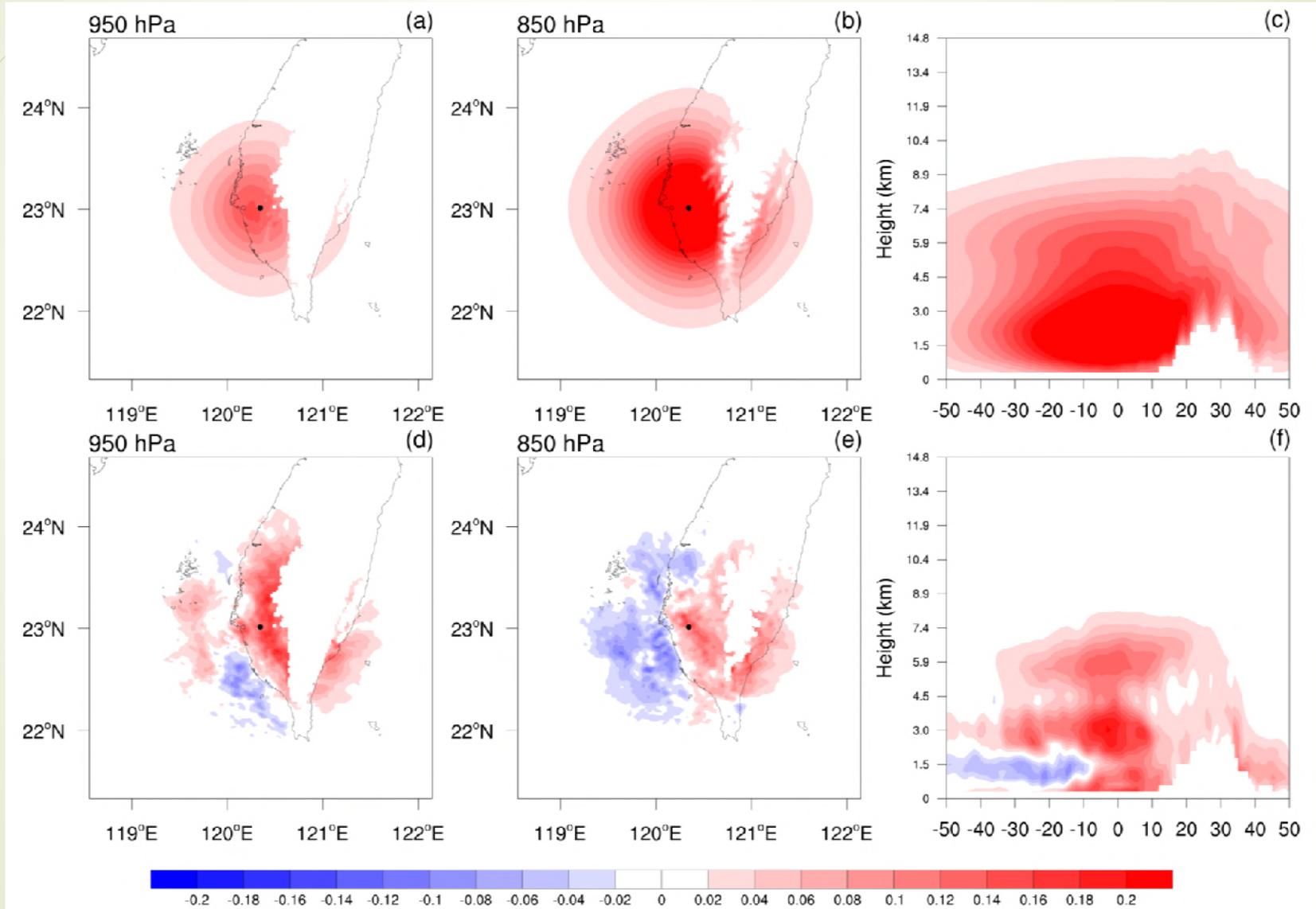
-888888.000 273.300 105.094

地面氣壓
觀測為無效值
-888888

ZTD 單位
是公分
觀測誤差
為1公分

測站高度
單位是公尺

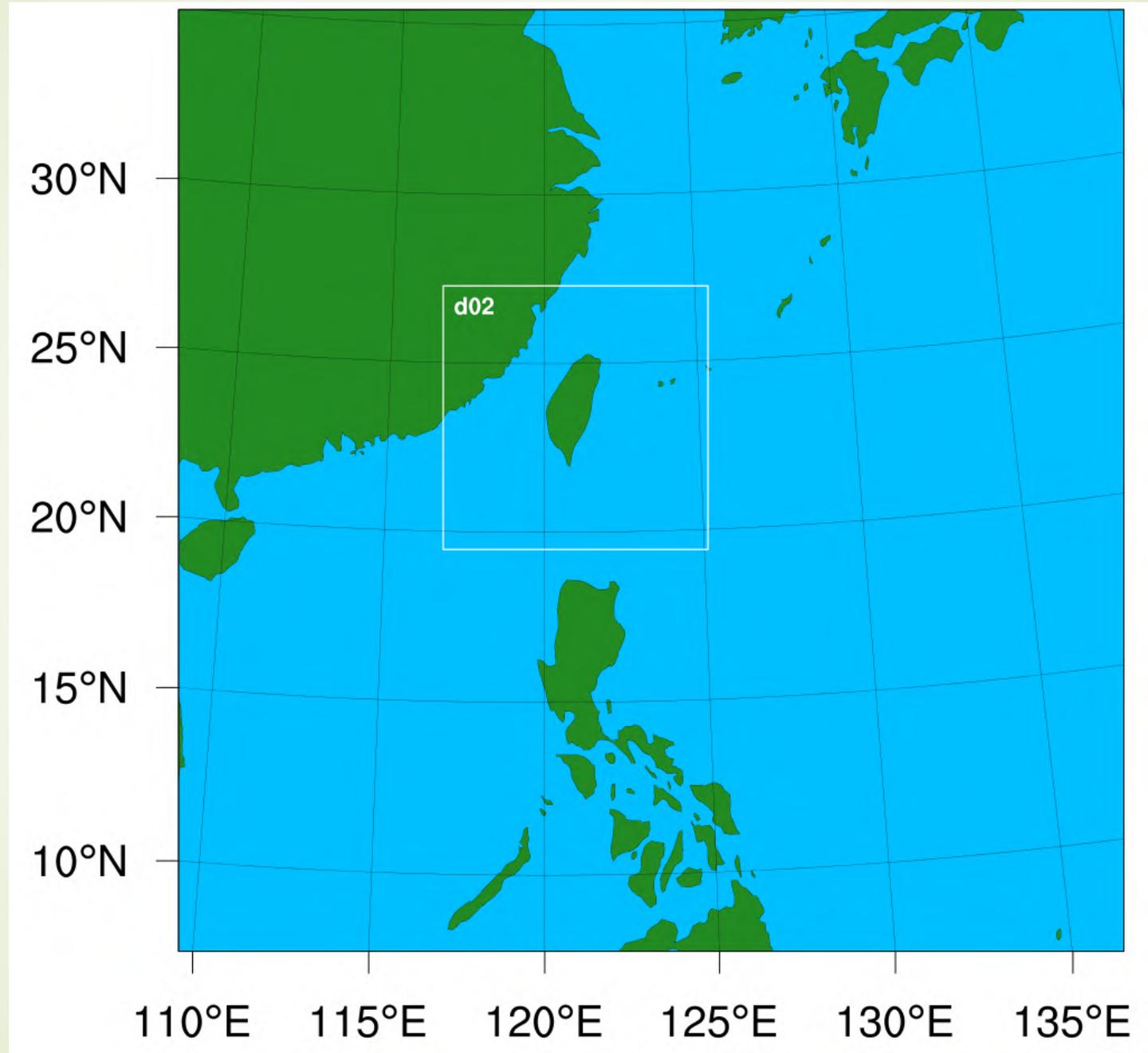
單點測試



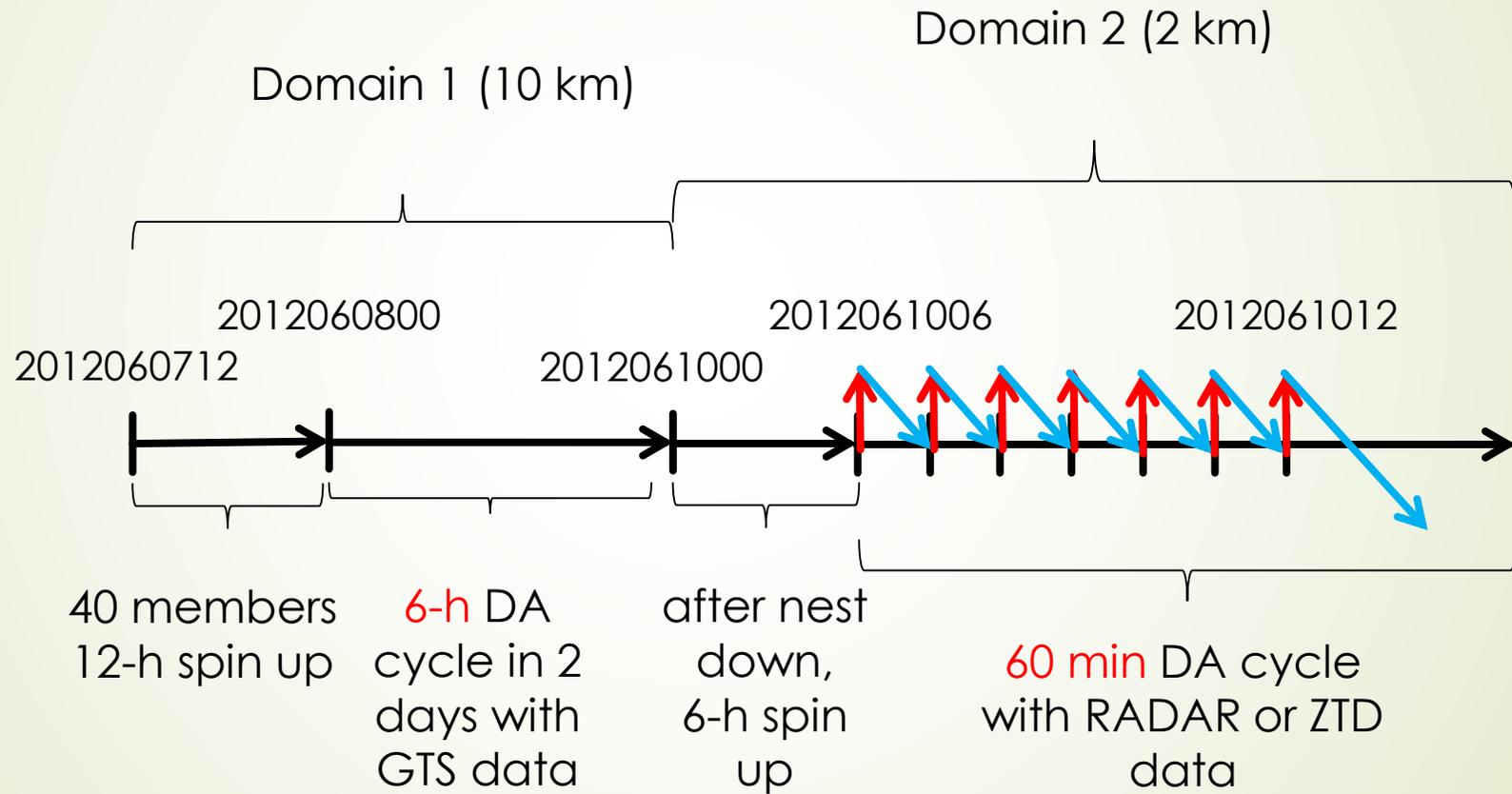
實驗設計

Case name	GPS ZTD data	RADAR data
CTR	X	X
RADAR	X	O
ZTD	O	X
BOTH	O	O

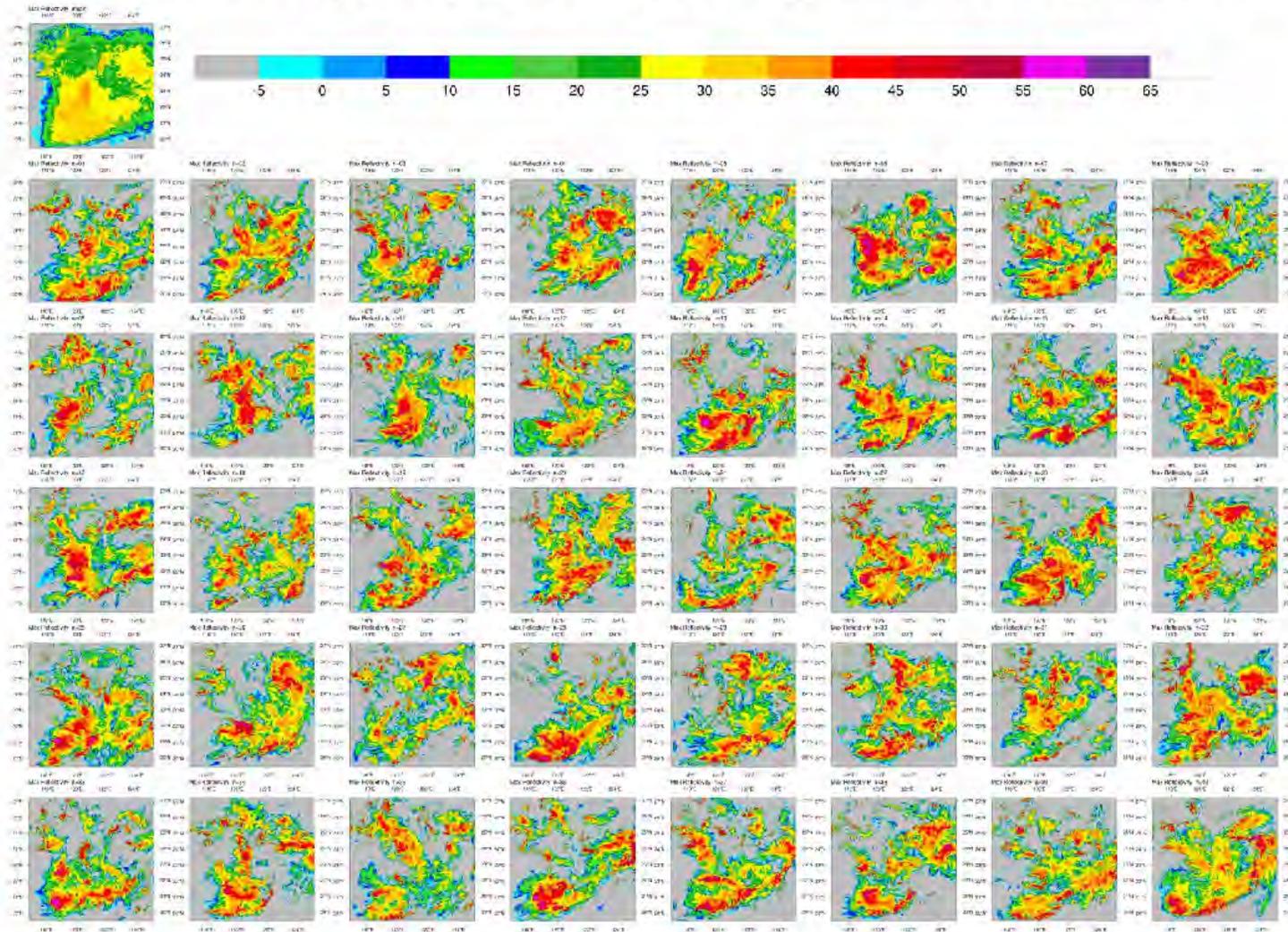
本實驗使用WRF V3.7.1，domain使用氣象局提供之兩層巢狀網格，domain 1 為301x301，domain 2為421x421，解析度分別為10km及2km，垂直座標為52層eta座標。GPS ZTD資料使用的是WRF-LETKF Assimilation System (WLAS)進行同化，水平localization 設為50公里，而RADAR資料則是使用WRF-LETKF Radar Assimilation System (WLRAS)進行同化，水平localization 設為12公里。



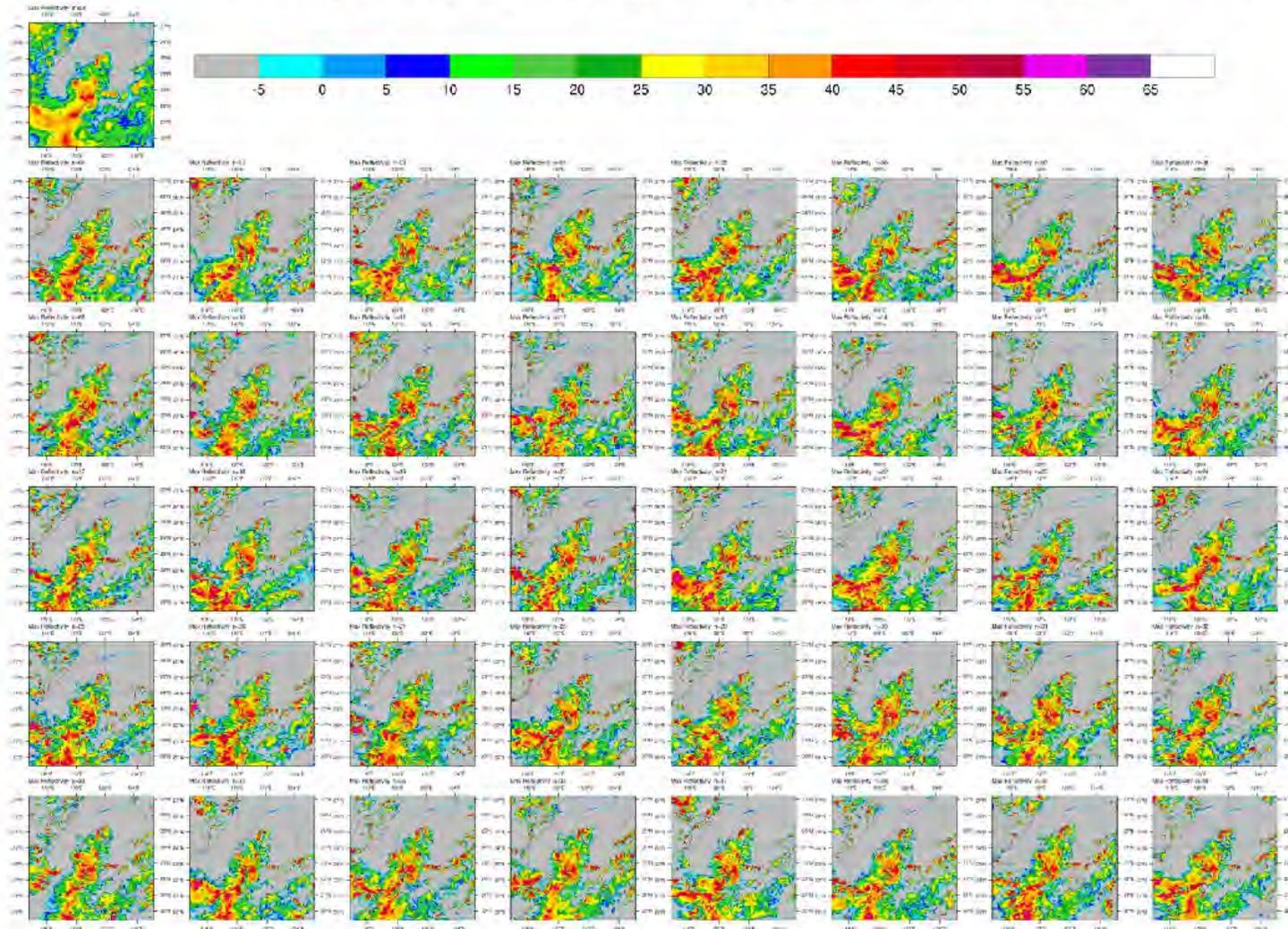
流程圖



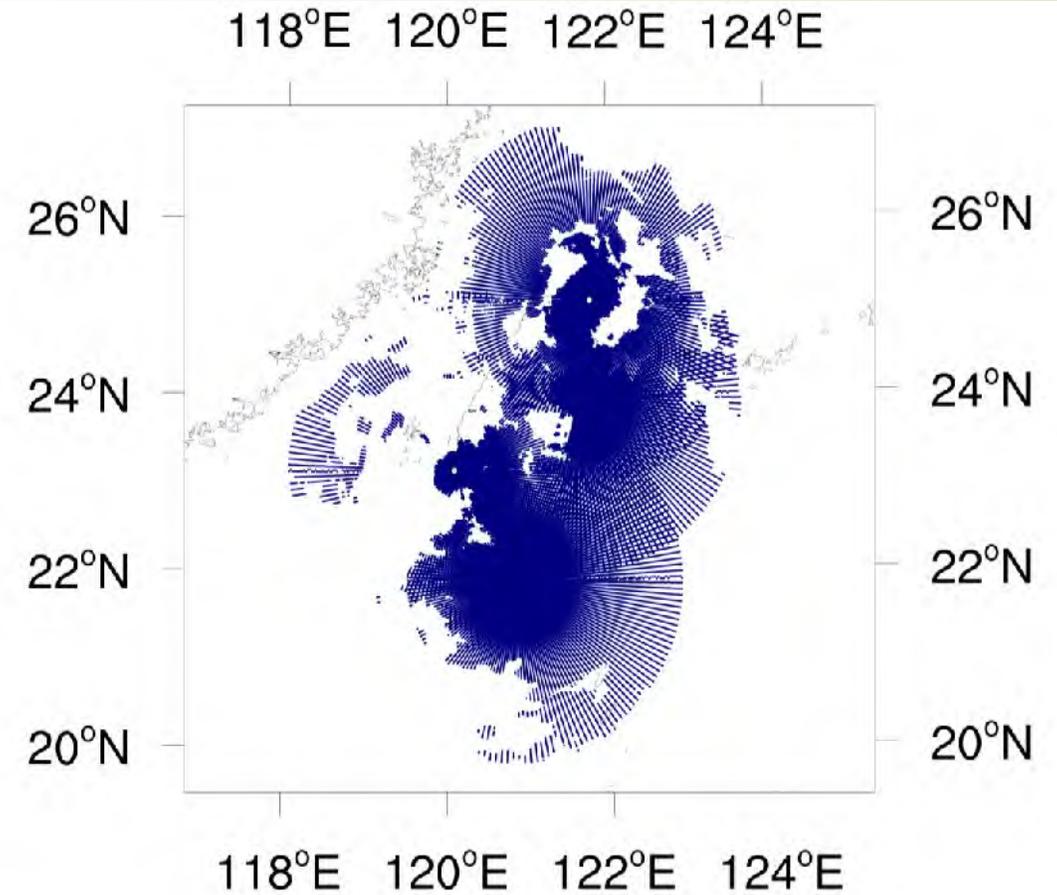
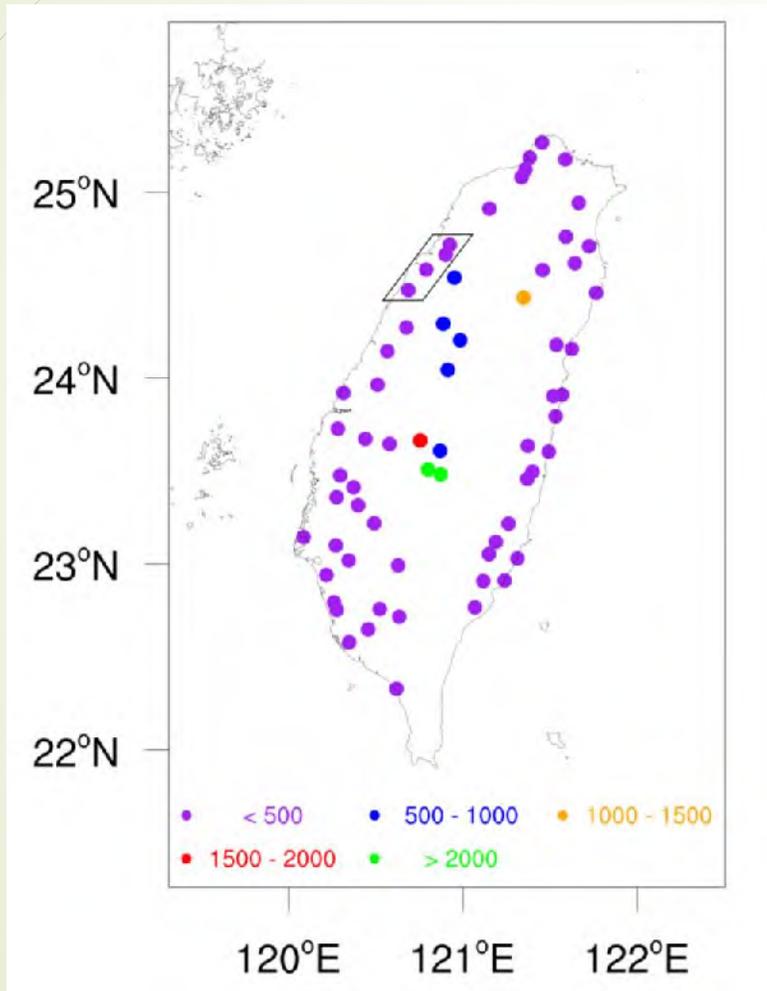
Max Reflectivity(dBz) @ Background @ 2012-06-10_06:00:00



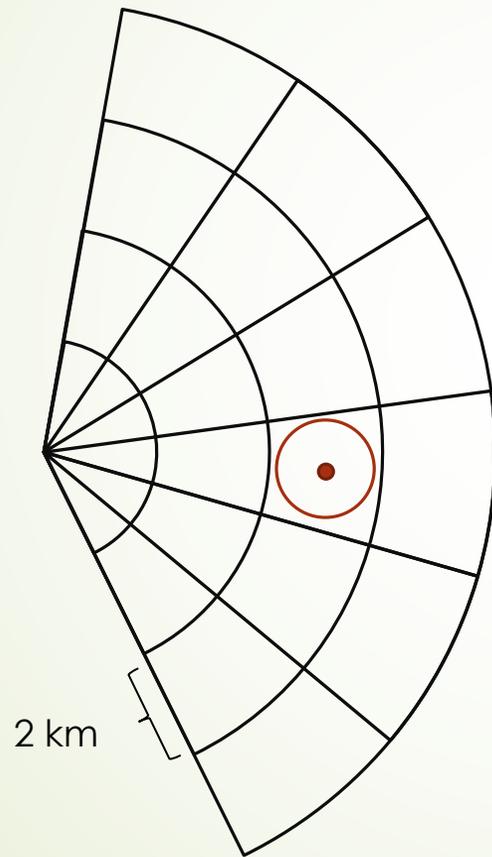
Max Reflectivity(dBz) @ Background @ 2012-06-10_06:00:00



觀測點分布



Super observation

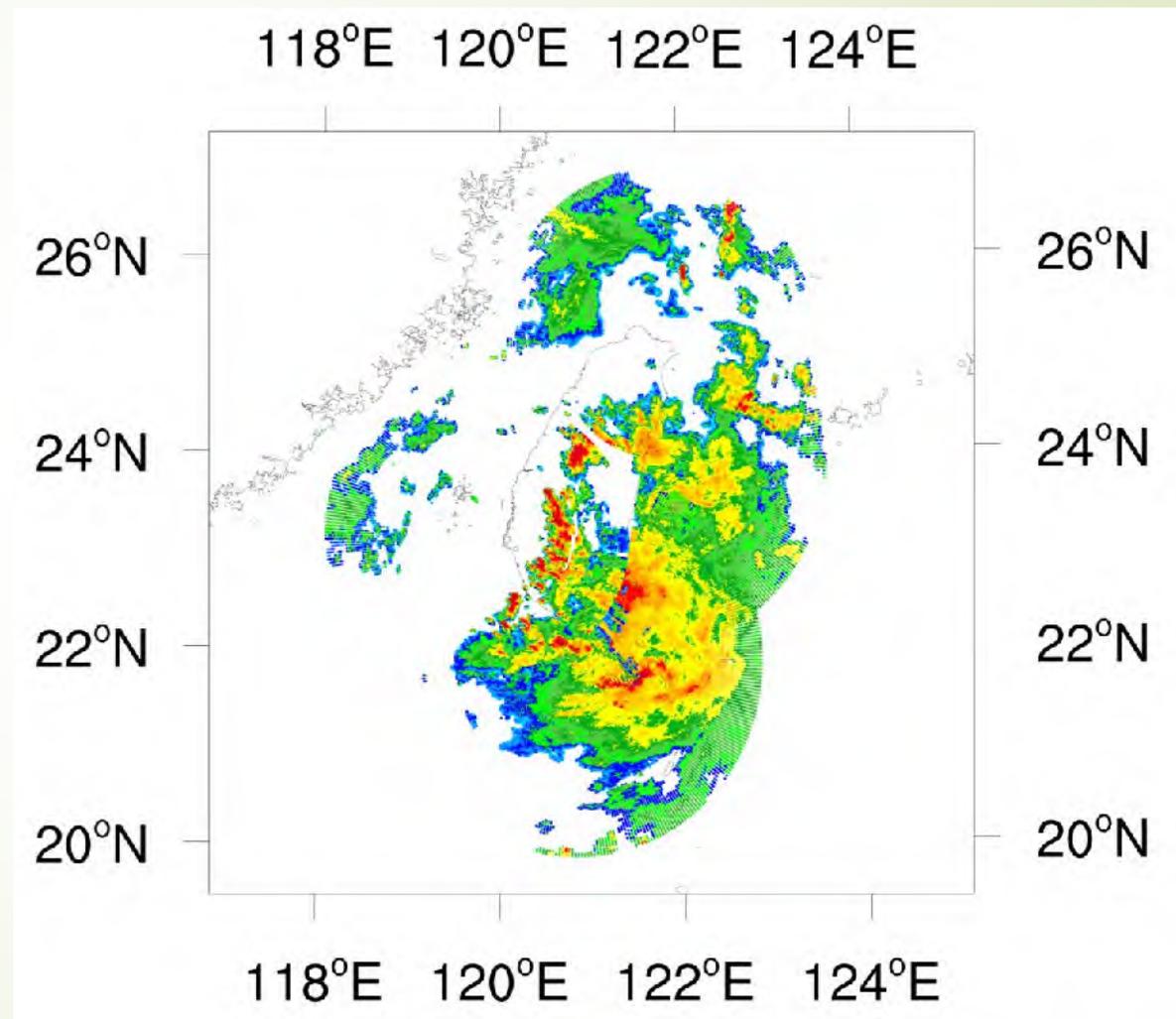
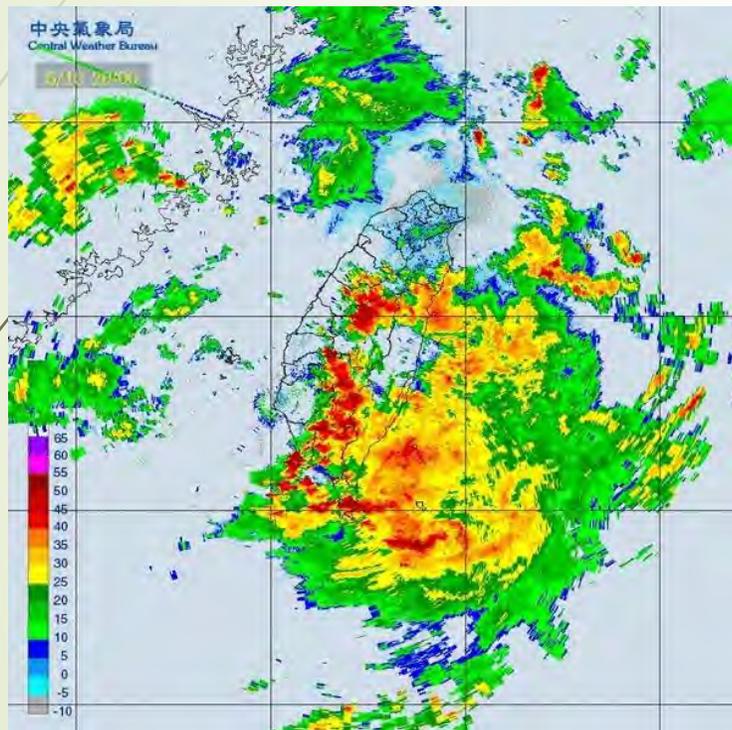


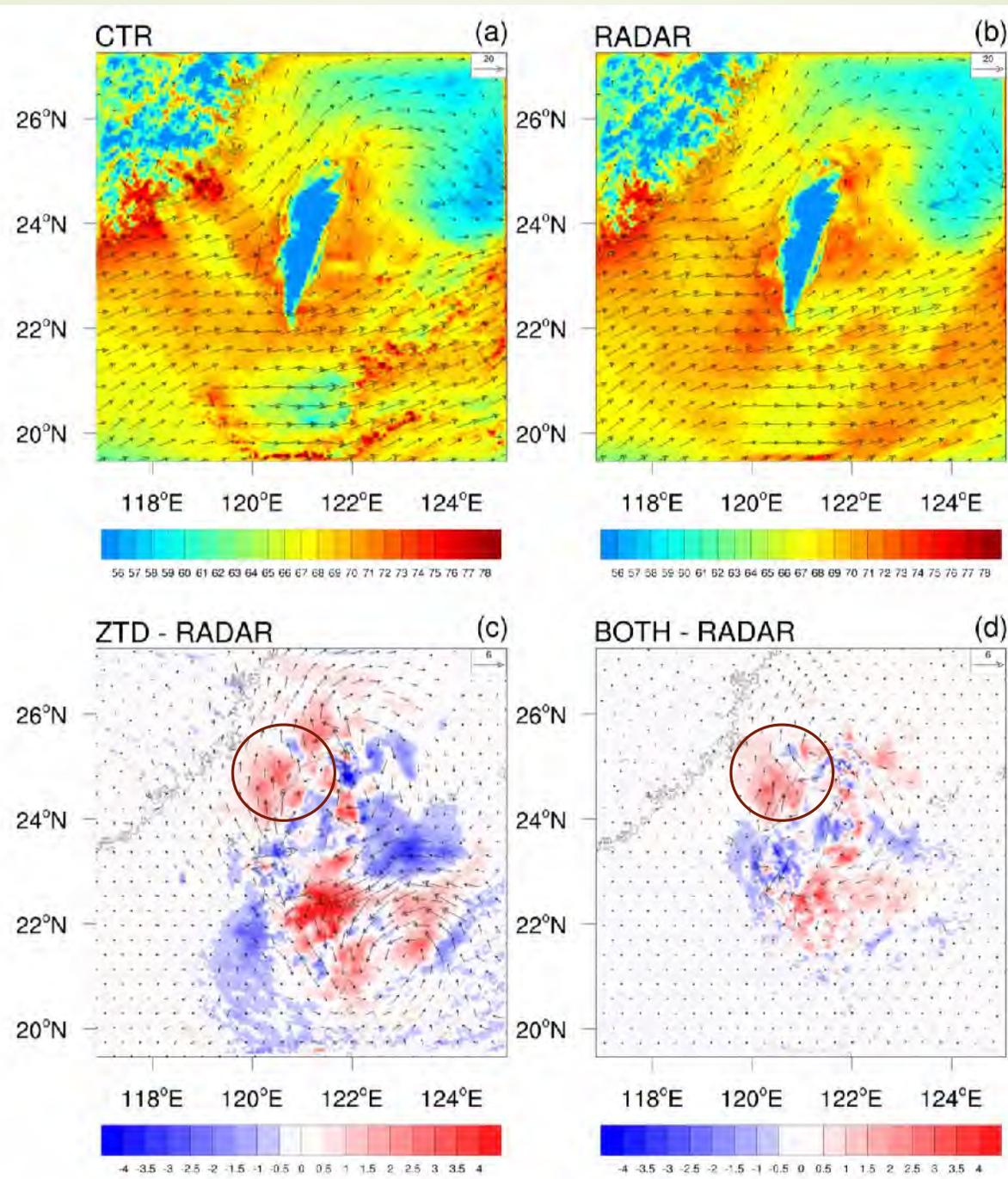
$$O = \frac{\sum_i w_i o_i}{\sum_i w_i}$$

$$w_i = e^{-d^2}$$

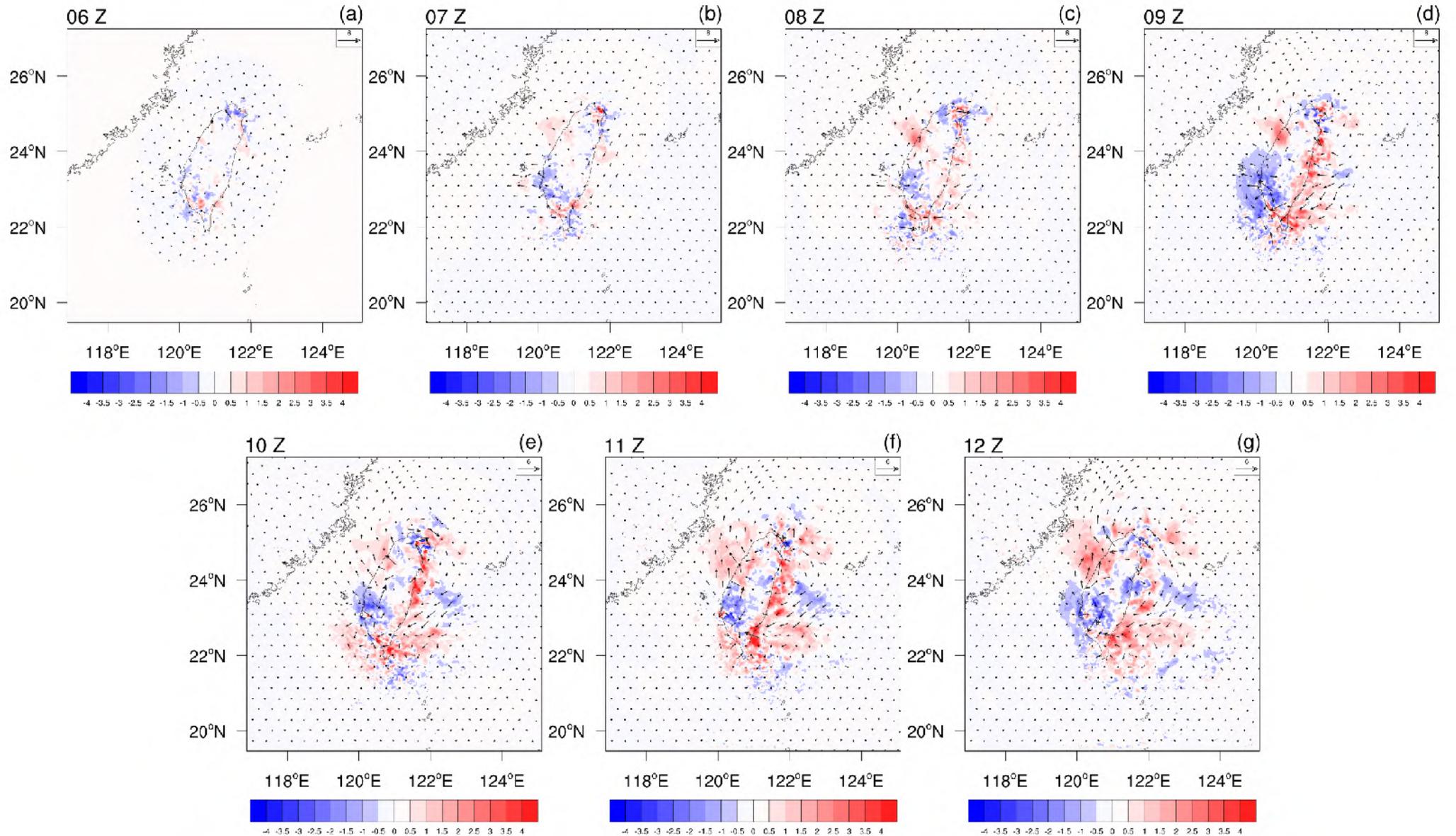
我們將半徑230公里的掃瞄範圍，取徑向間距為 2公里，方位角間距為 2 度的扇形，以扇形的中心，做距離的高斯權重平均

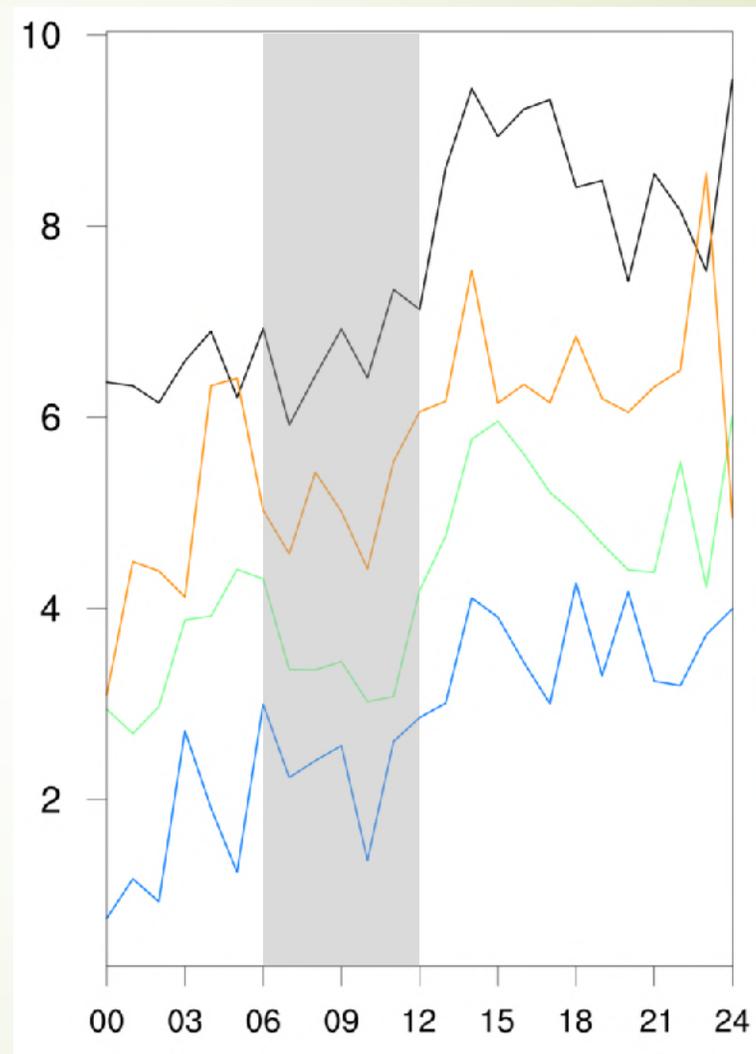
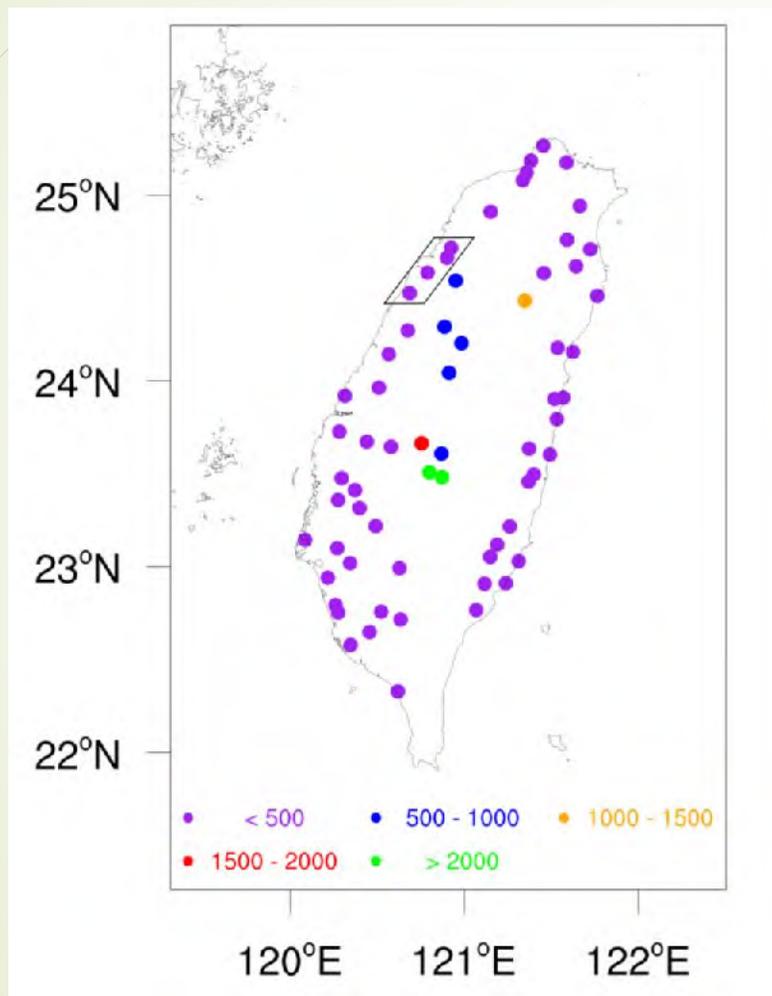
Super observation

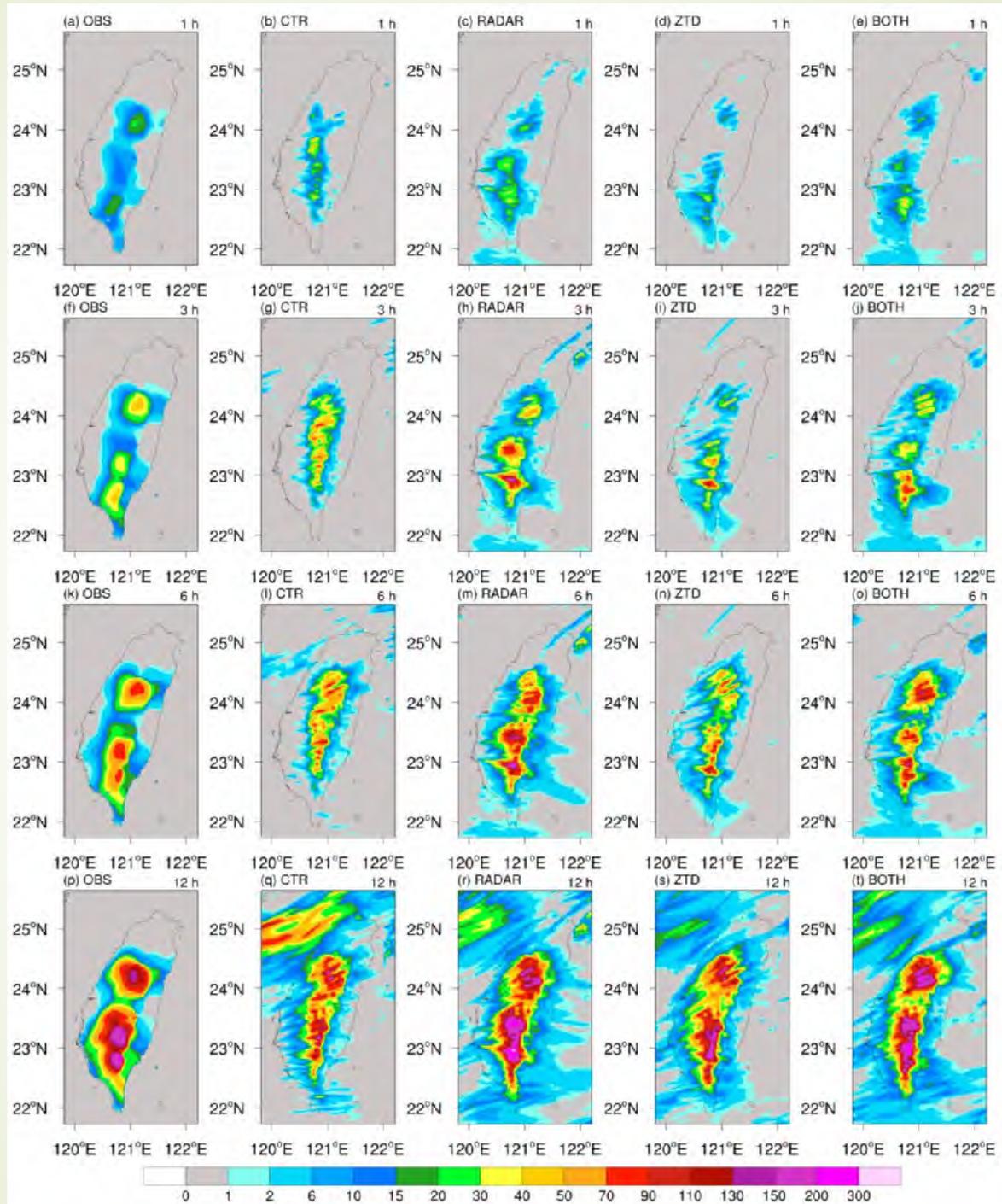


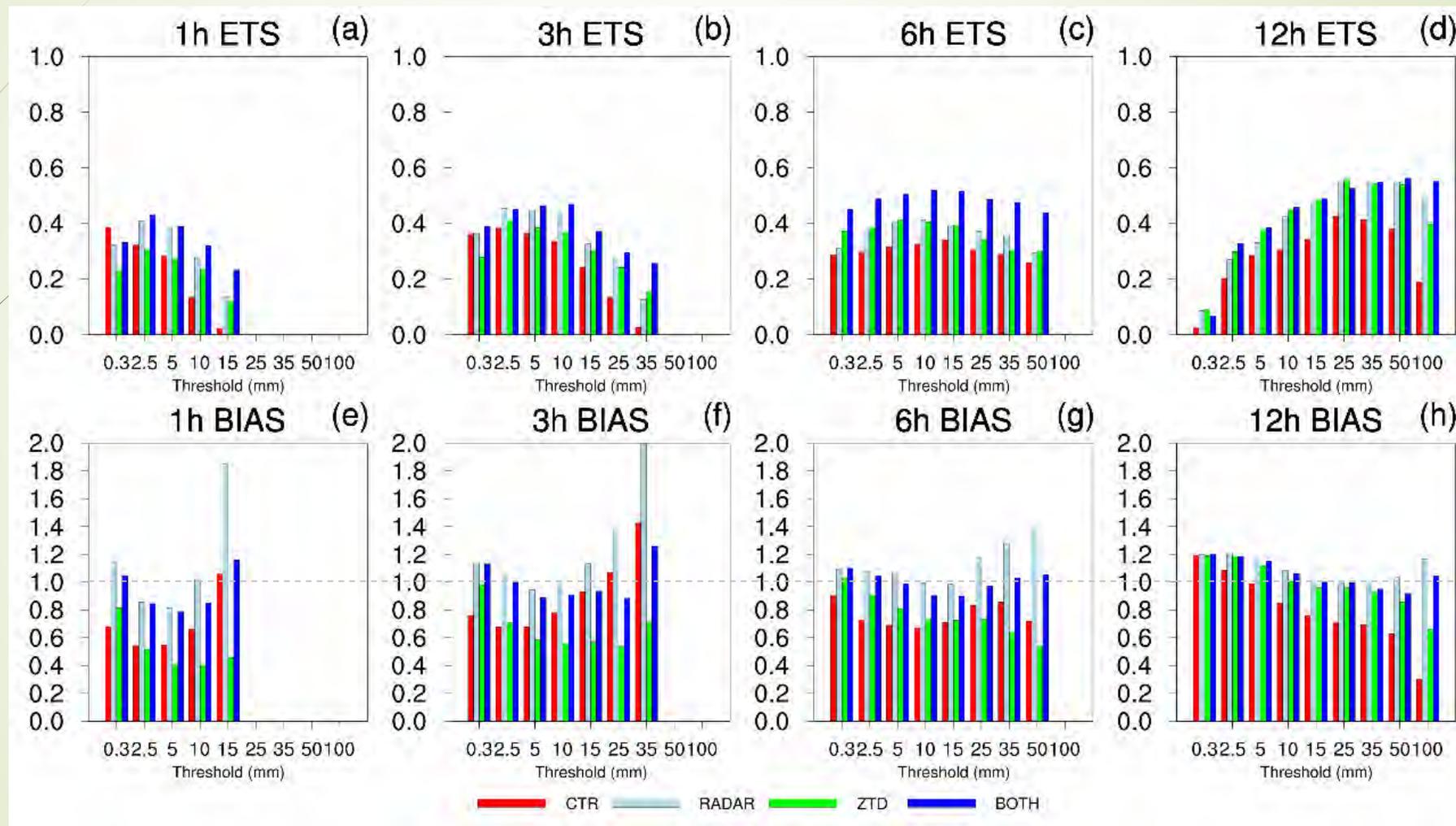


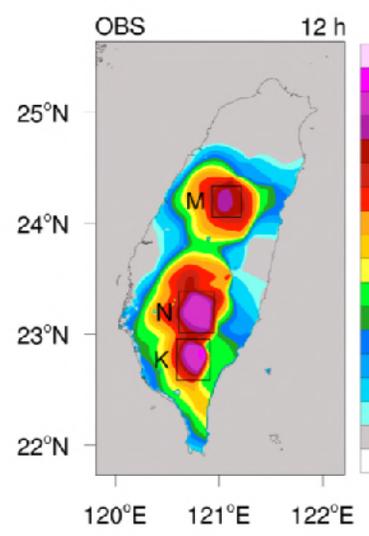
BOTH-RADAR



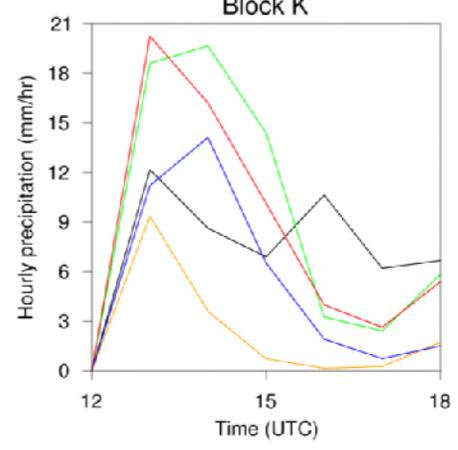
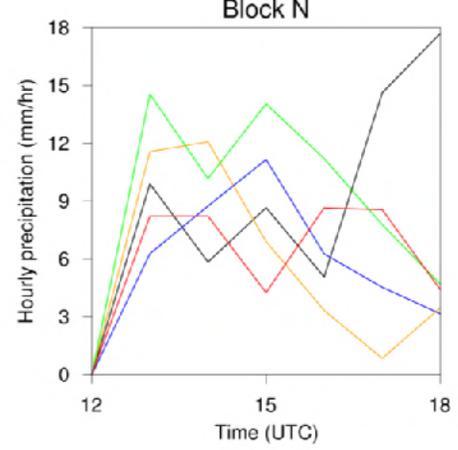
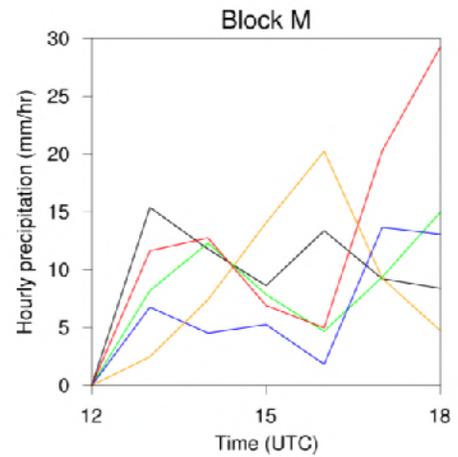




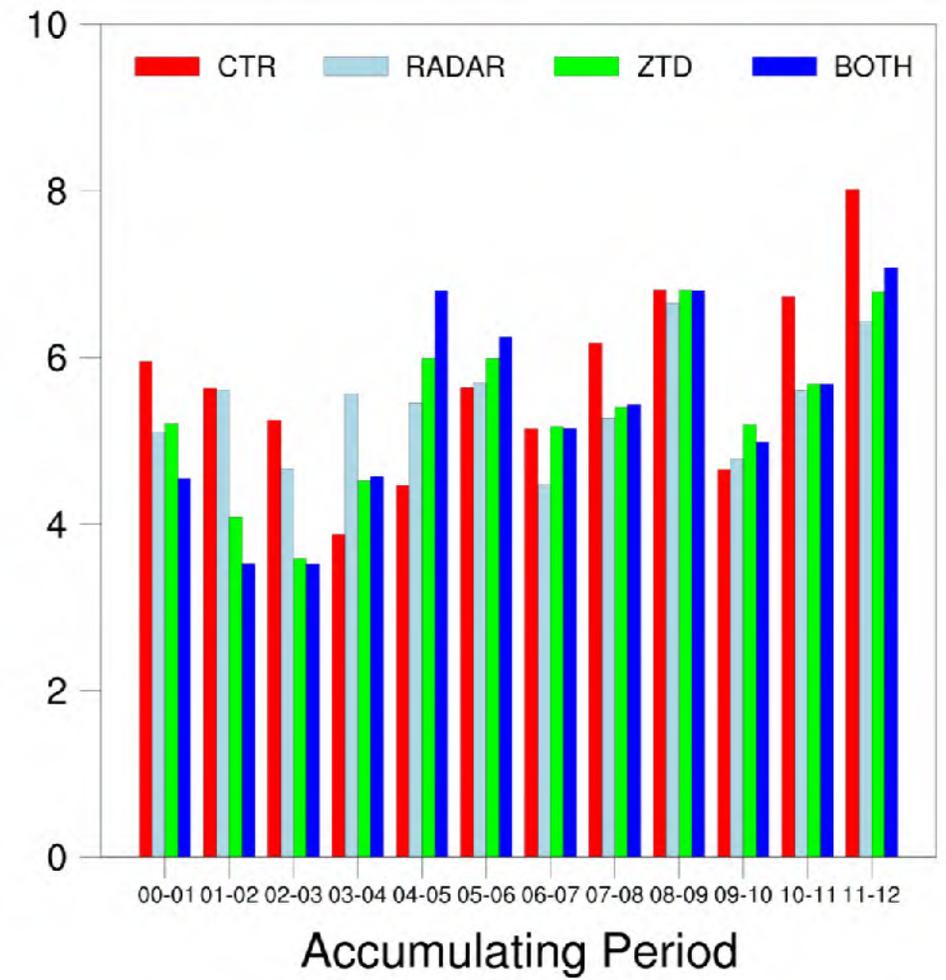
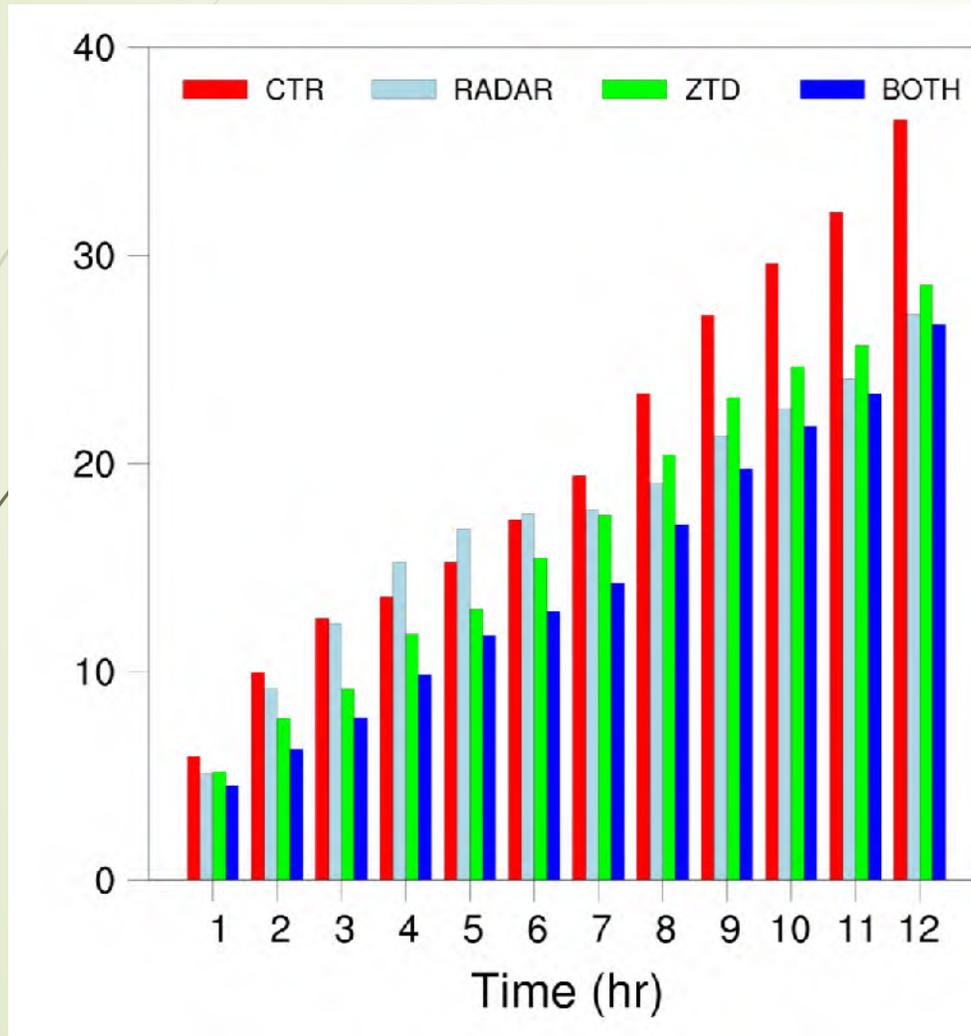




- REAL
- CTR
- RADAR
- ZTD
- BOTH



RMSE

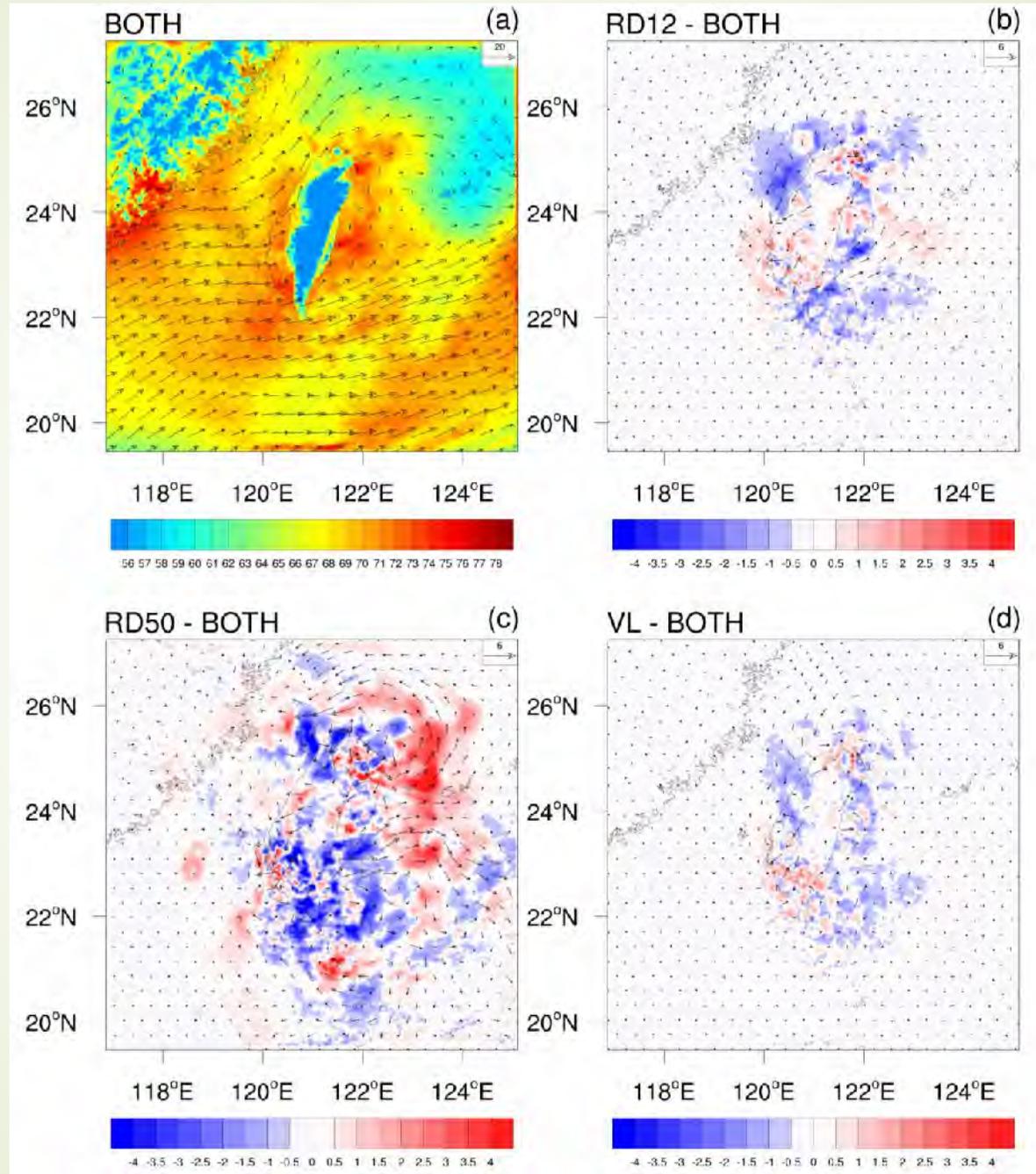


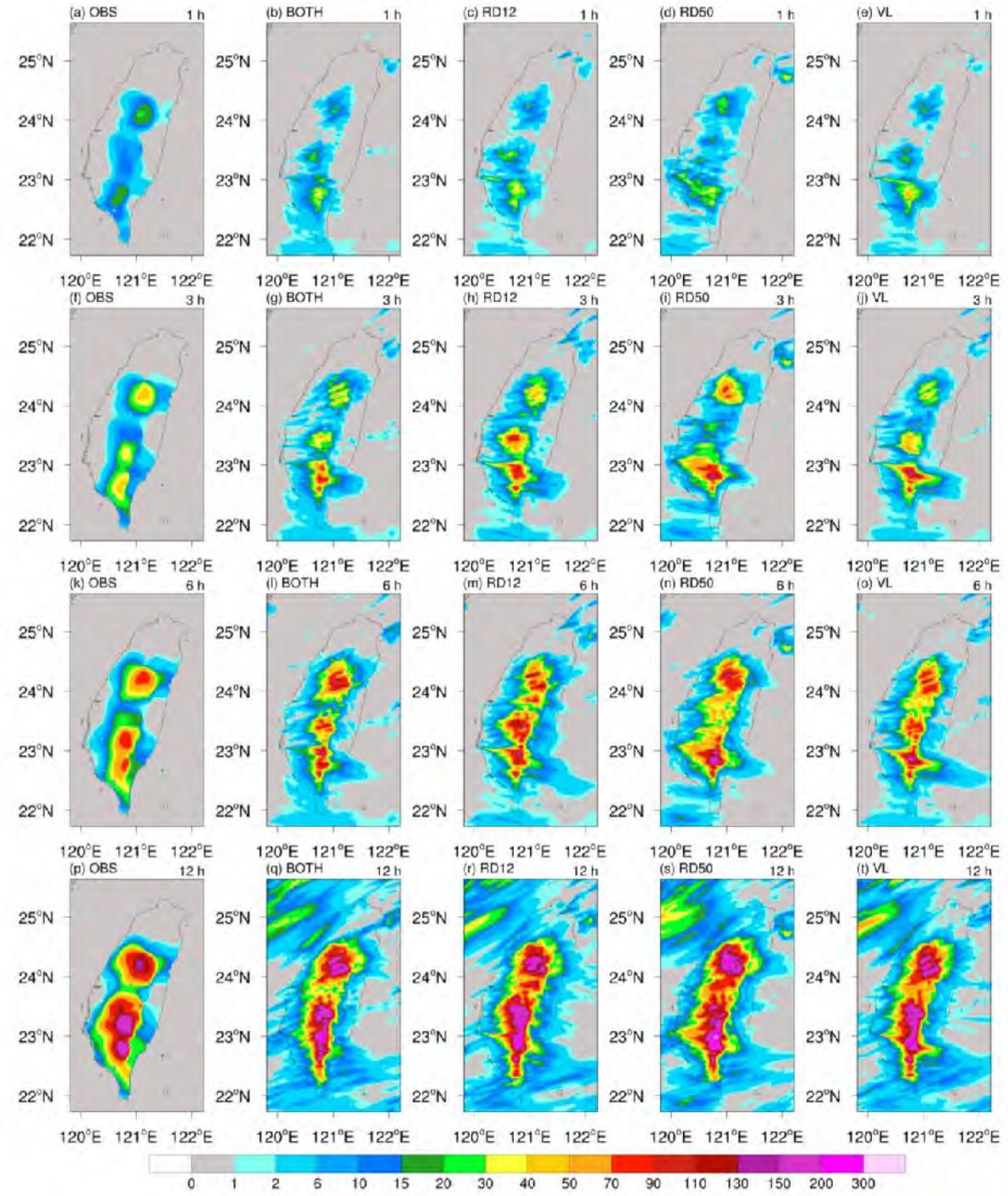
小結

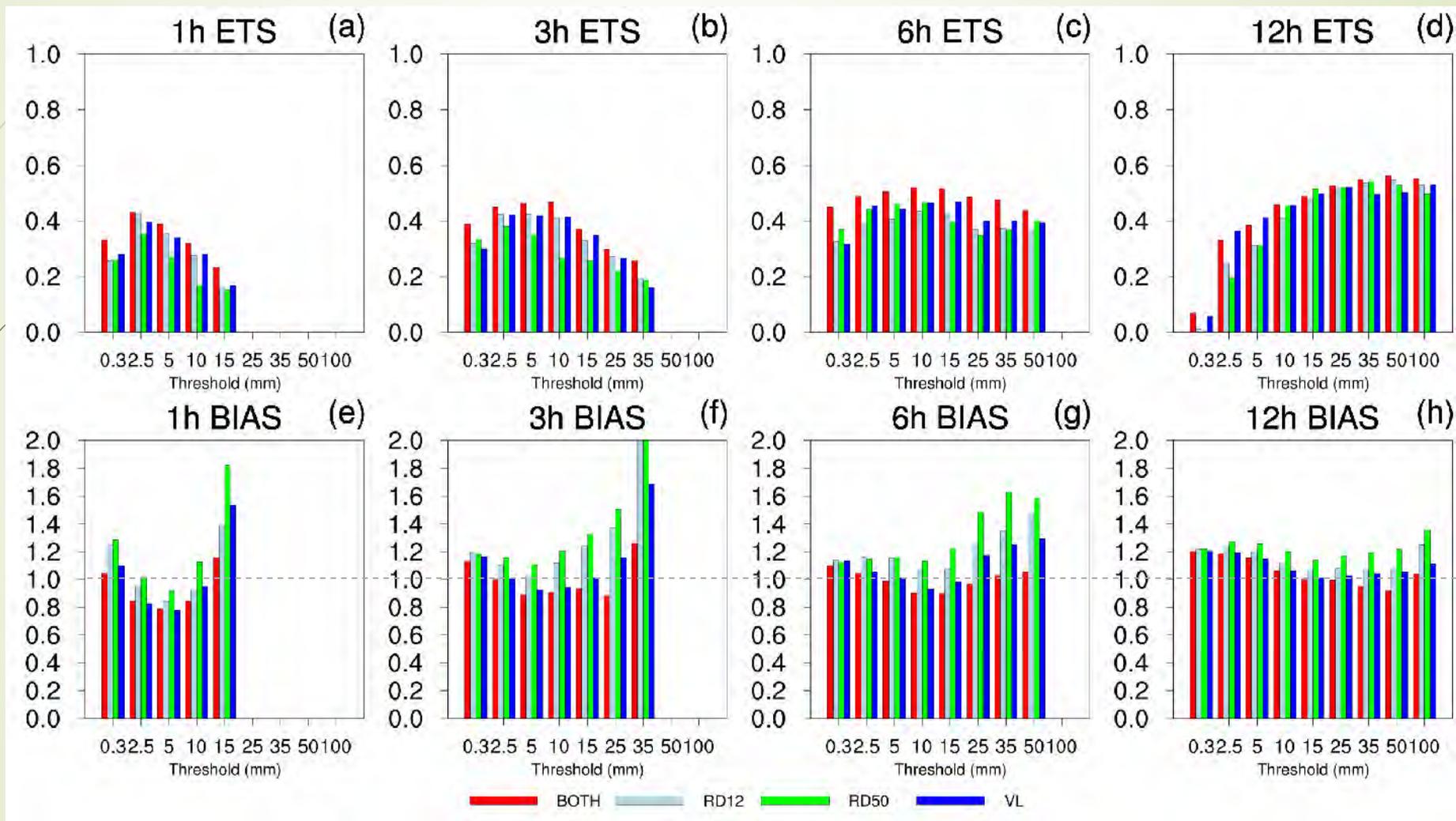
- 經由單點測試可以發現，3DVAR與LETKF實驗的水氣混合比增量有相似的量級。LETKF實驗的增量分布呈現海陸分布的現象。
- 同化ZTD資料實驗相對於只同化雷達資料實驗會增加北部的總可降水量，減少南部的總可降水量，其變化趨勢大致與觀測資料的變化趨勢相符。
- 2012年6月梅雨實驗中，所有的同化實驗相對於CTR實驗都能模擬出南部山區的降雨，降雨分布較接近實際降雨。然而RADAR實驗的南部山區降雨強度較強，而同化ZTD觀測資料會修正全台的降雨強度。
- 整體來說，所有同化實驗對於降雨模擬有較好的改善效益，其中以BOTH實驗的表現最好。

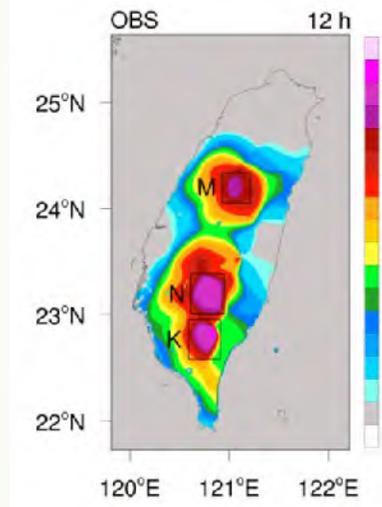
實驗設計

Case name	GPS ZTD data	RADAR data
BOTH	50 km	12 km
RD12	12 km	12 km
RD50	50 km	50 km
VL	same as BOTH, but set the maximum weighting to the quality center of qv	

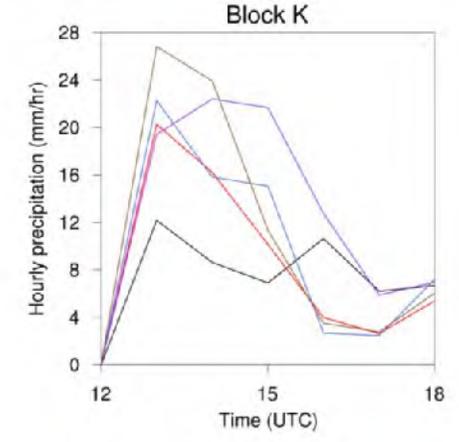
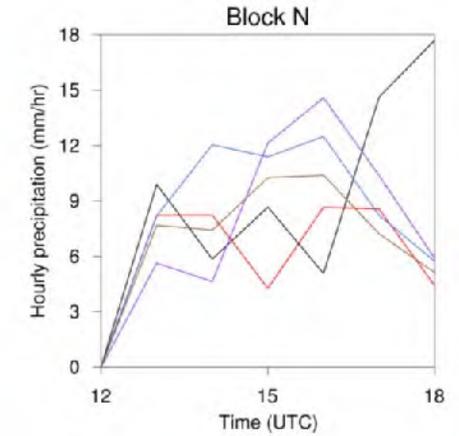
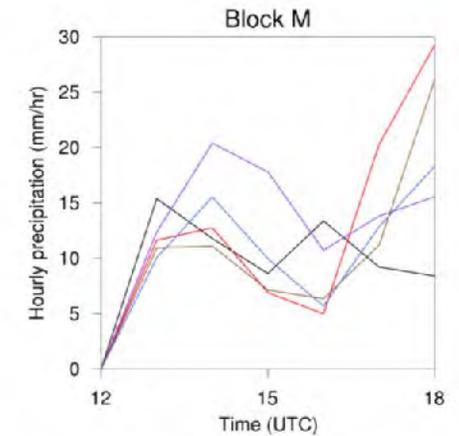




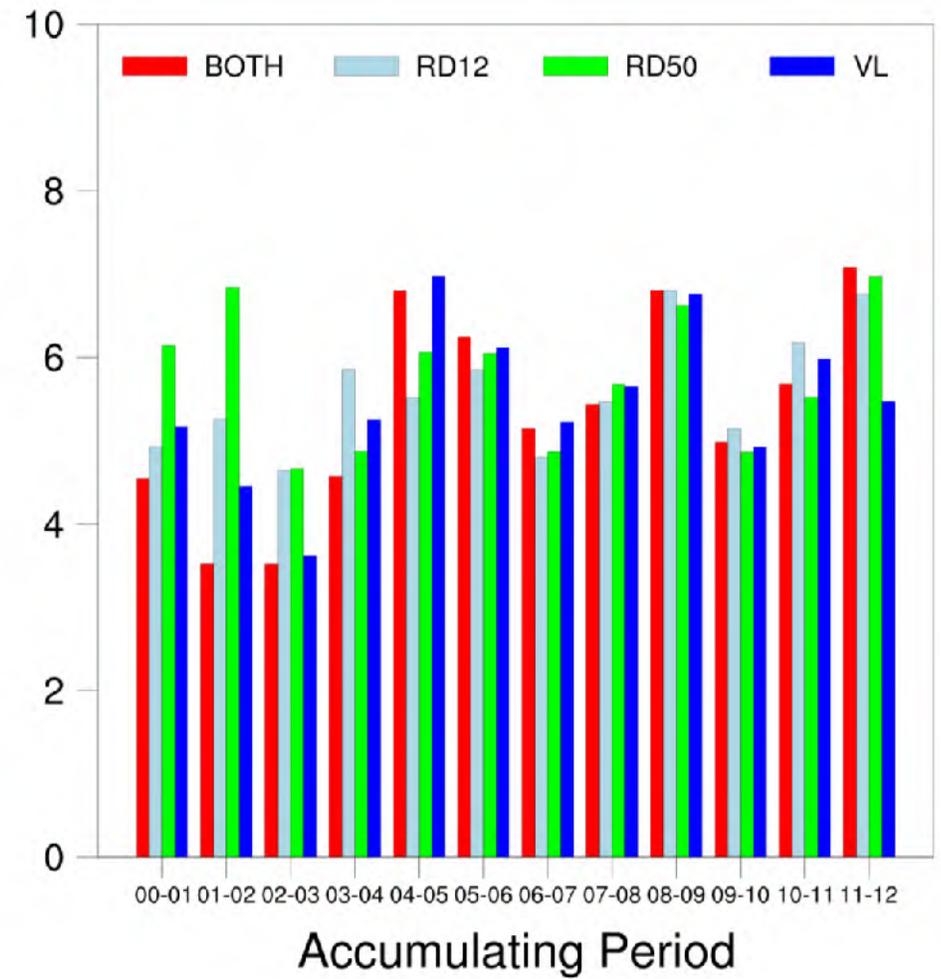
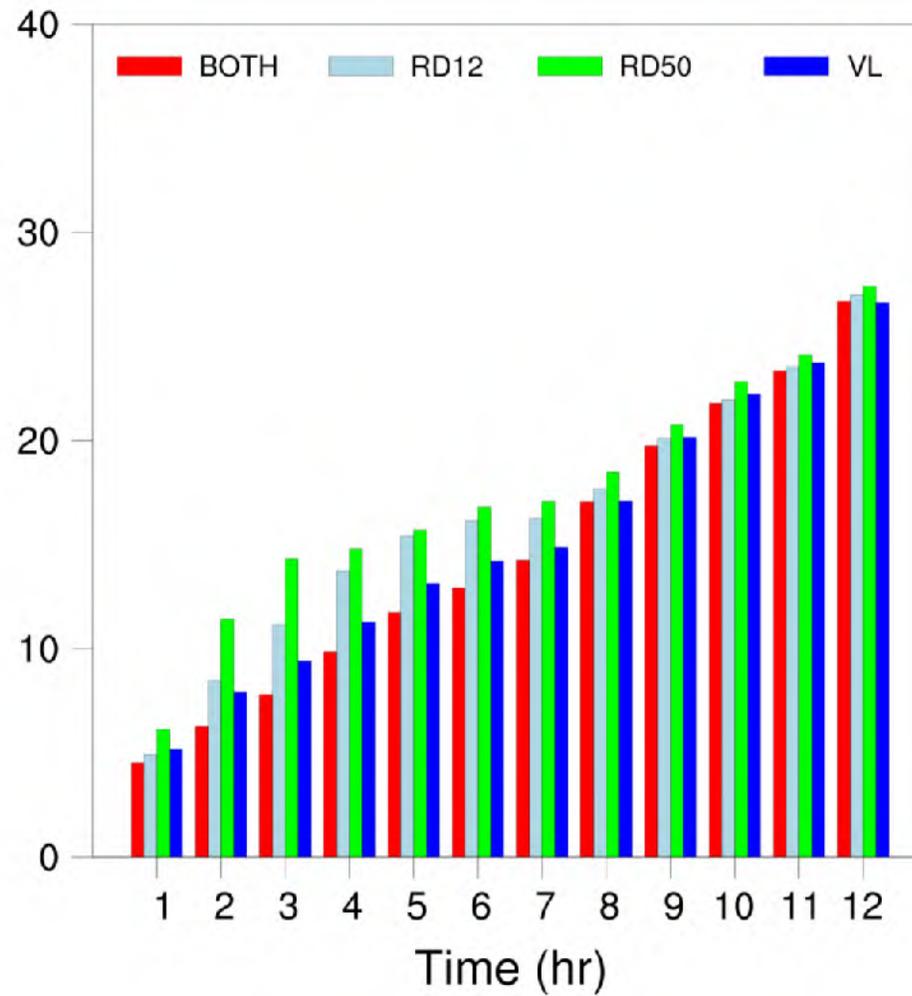




- REAL
- BOTH
- RD50
- RD12
- VL

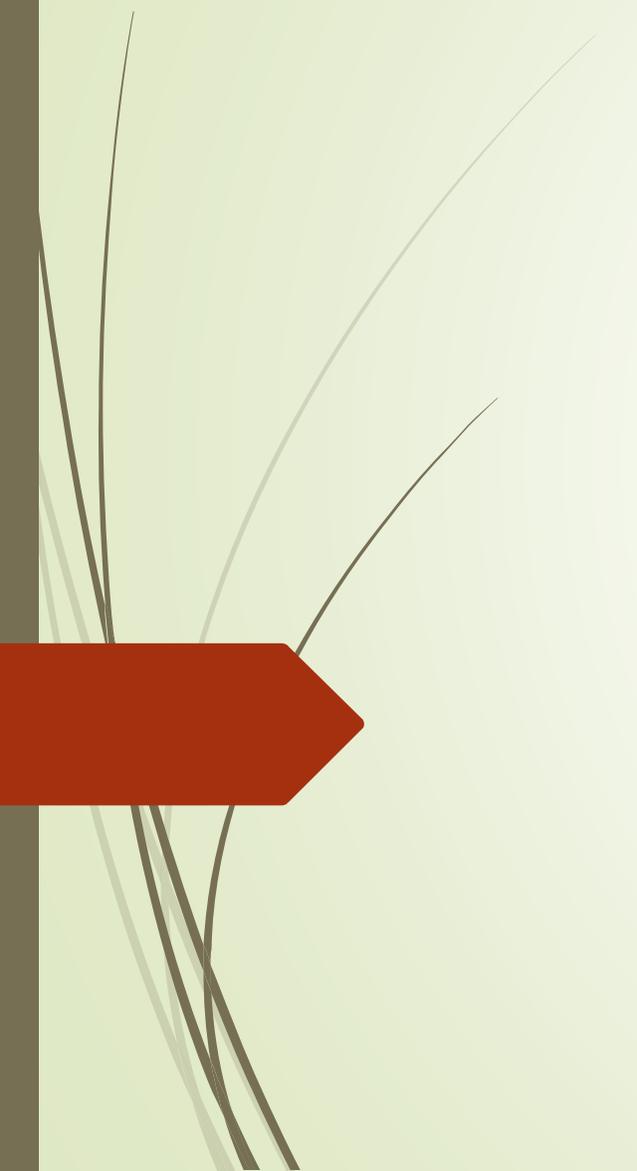


RMSE



總結

- 我們已成功地將ZTD同化算符建置在WRF-LETKF Assimilation System中，並且得到不錯的模擬結果。實驗也顯示，ZTD同化算符的最大權重設在地面有較好表現。
- 同時同化雷達資料與ZTD資料可以改善定量降雨預報，特別是6小時以內之降雨預報。整體來說，相對於CTR實驗，BOTH實驗對於定量降水預報有28%修正量，而相對於RADAR實驗則有16%修正量。
- 使用相同的水平localization會使得雷達資料及ZTD資料同化模擬結果變差，因此對於不同水平分佈尺度的觀測資料而言，水平的localization的設定為一重要課題。



Thanks for listening