

# 利用WRF 3DVAR同化雷達徑向 風對2011年南瑪都颱風模擬之影 響

陳怡儒<sup>1</sup> 林沛練<sup>1</sup> 林欣弘<sup>2</sup>  
國立中央大學大氣物理研究所<sup>1</sup>  
國家災害防救科技中心<sup>2</sup>

2012/09/19

# 前言

- 台灣位於熱帶氣旋活躍的西北太平洋地區，當侵台颱風接近台灣時，移動路徑與環流因複雜地形產生很大的變化，使得台灣地區對颱風的風雨與路徑預報更為困難。
- Xiao et al. (2004) 利用 MM5 3DVAR 對2002年露莎颱風 (RUSA) 進行研究，在颱風路徑的修正上，同化雷達徑向風比同化回波結果好；此外，只同化雷達徑向風的初始場修正效果及短時間的降雨預報都比只同化回波資料有較佳的結果。
- Lin et al. (2011) 對2004年艾利颱風 (AERE) 以 MM5 3DVAR 同化都卜勒雷達徑向風資料，成功改善颱風強度及環流結構，並修正颱風強度誤差約 25 %。

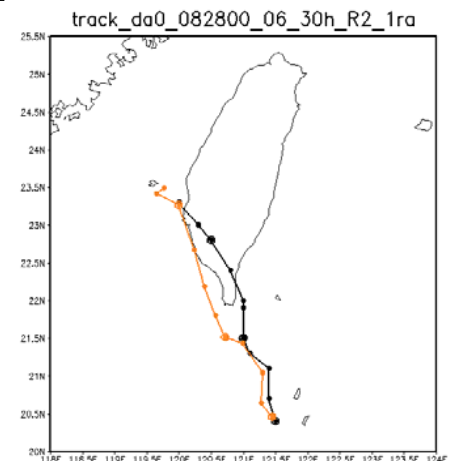
# 研究動機

- 在天氣系統的數值模擬過程中，模式的預報能力常受限於初始場的準確性，全球模式提供的初始場解析度不夠高，對中小尺度天氣系統無法完整反應出真實大氣的狀態。
- 雷達具有高時、空解析度，在台灣完整的雷達網下，對模擬有很好的改善空間，尤其對海上移入台灣的天氣系統或侵台颱風，能在系統尚未到達台灣之前，利用同化雷達資料來修正模式初始場，改善模式預報的準確性。
- 本研究希望藉由同化高解析度雷達徑向風資料以改善模式初始場，增加颱風路徑、結構和降水的準確度。

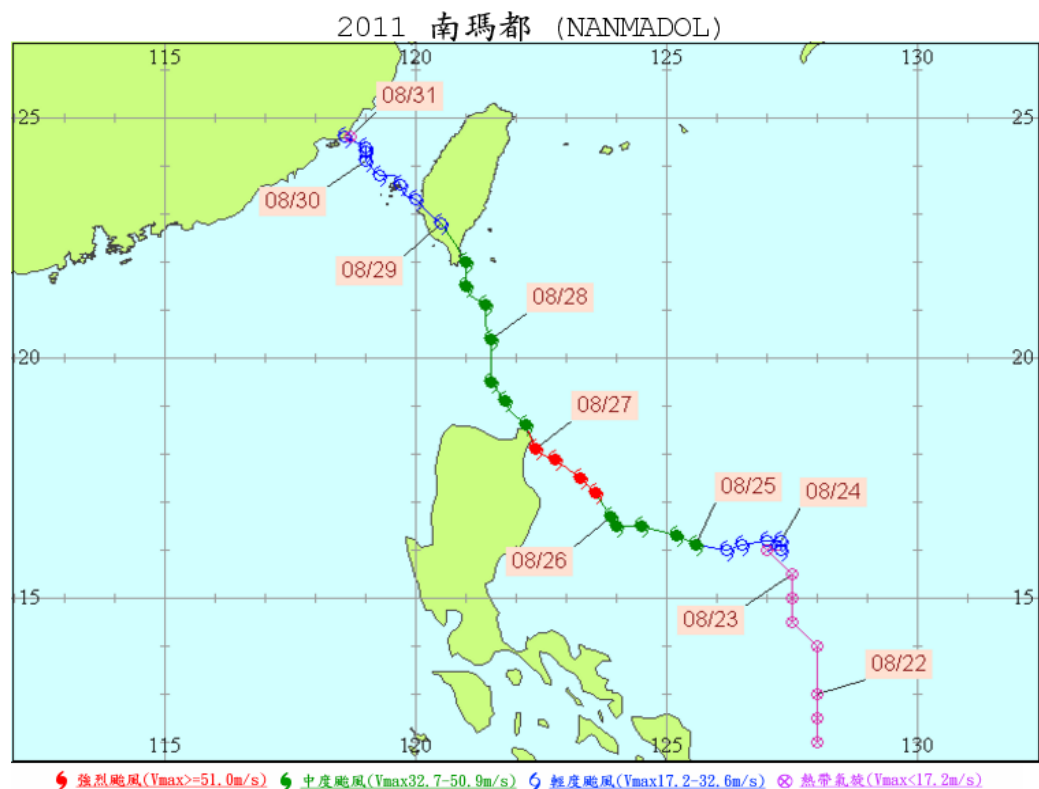
08/28 00UTC

黑：best track

橘：CTRL



# 個案介紹

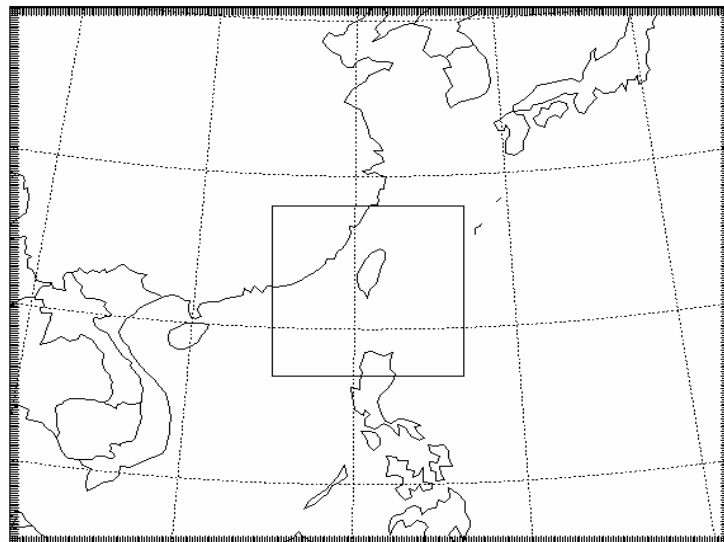


- 南瑪都颱風於8月29日4時20分（8/28 20~21UTC）由臺東縣大武附近登陸，13時（8/29 05UTC）左右在臺南附近出海，緩慢向西北移動，31日8時（8/31 00UTC）於臺灣海峽減弱為熱帶性低氣壓。

# 模式設定

## WRF

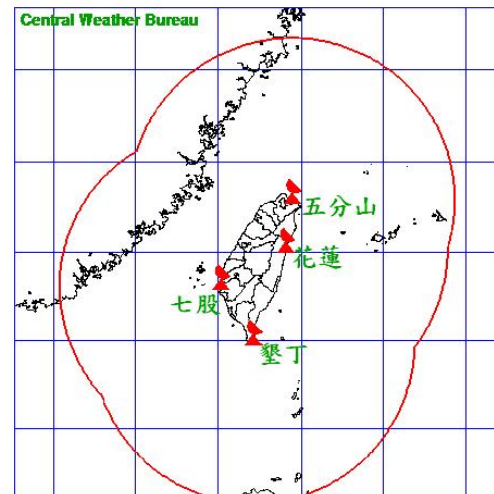
- 使用版本：WRF V3.2.1
- 初始時間：2011/08/28 00 UTC
- 模擬時間：30 hr
- 資料來源：NCEP-FNL ( $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ )
- Domain1，網格間距15km，水平網格數301x253
- Domain2，網格間距 5km，水平網格數241x241
- 垂直分層：35層（從地面到 50hPa）
- 微物理參數化：WSM 5-class scheme
- 長波/短波輻射參數化：rrtmg scheme
- 邊界層參數化：YSU scheme
- 積雲參數化：Kain-Fritsch (new Eta) scheme
- 地表參數化：Unified Noah land-surface model



# 模式設定

## 3DVAR

- 使用版本：WRFDA V3.2.1
- 同化時間：2011/08/28  
06、09、12、15、18 UTC
- First guess：WRF output
- 觀測資料：雷達徑向風
- Radar – 墾丁雷達站
- Domain & 參數化設定和 WRF 相同
- 背景場誤差：CV3（NCEP）
- 水平影響半徑（influence factor of horizontal scale）  
設為  $R1=0.06$  及  $R2=0.12$ 。



# 單點測試

- 簡化都卜勒雷達徑向風計算式：

$$V_r = u \frac{x}{r} + v \frac{y}{r} + w \frac{z}{r}$$

r=雷達與點的直線距離

- 同化虛擬徑向風= 背景徑向風 + 2 m/s

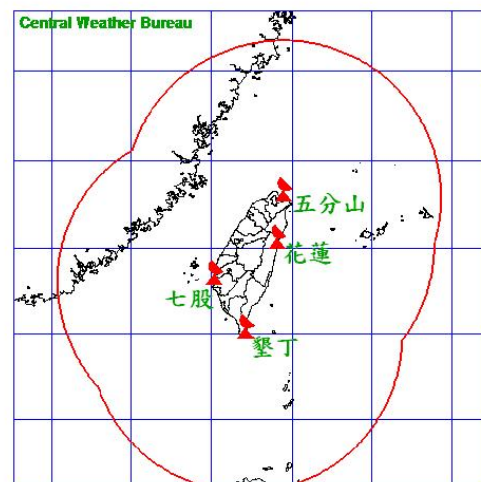
- 墾丁雷達向南 0.5°

花蓮雷達向東 0.5°

七股雷達向西 0.5°

五分山雷達向北 0.5°

- 同化水平影響半徑：R = 0.06，0.12

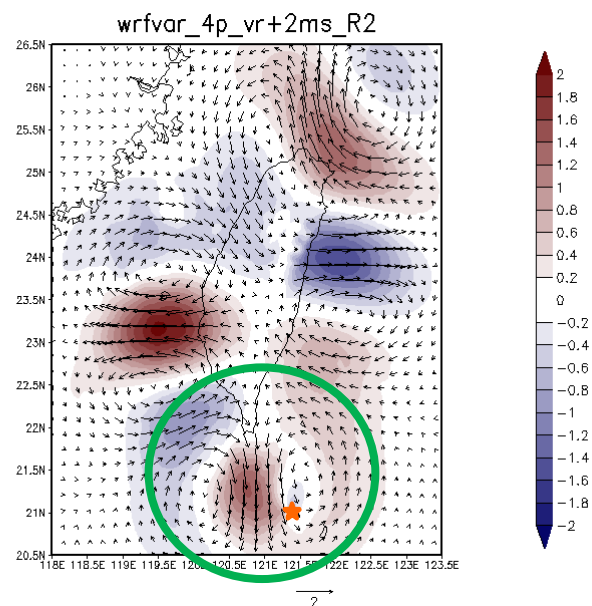


# 單點測試

R=0.06

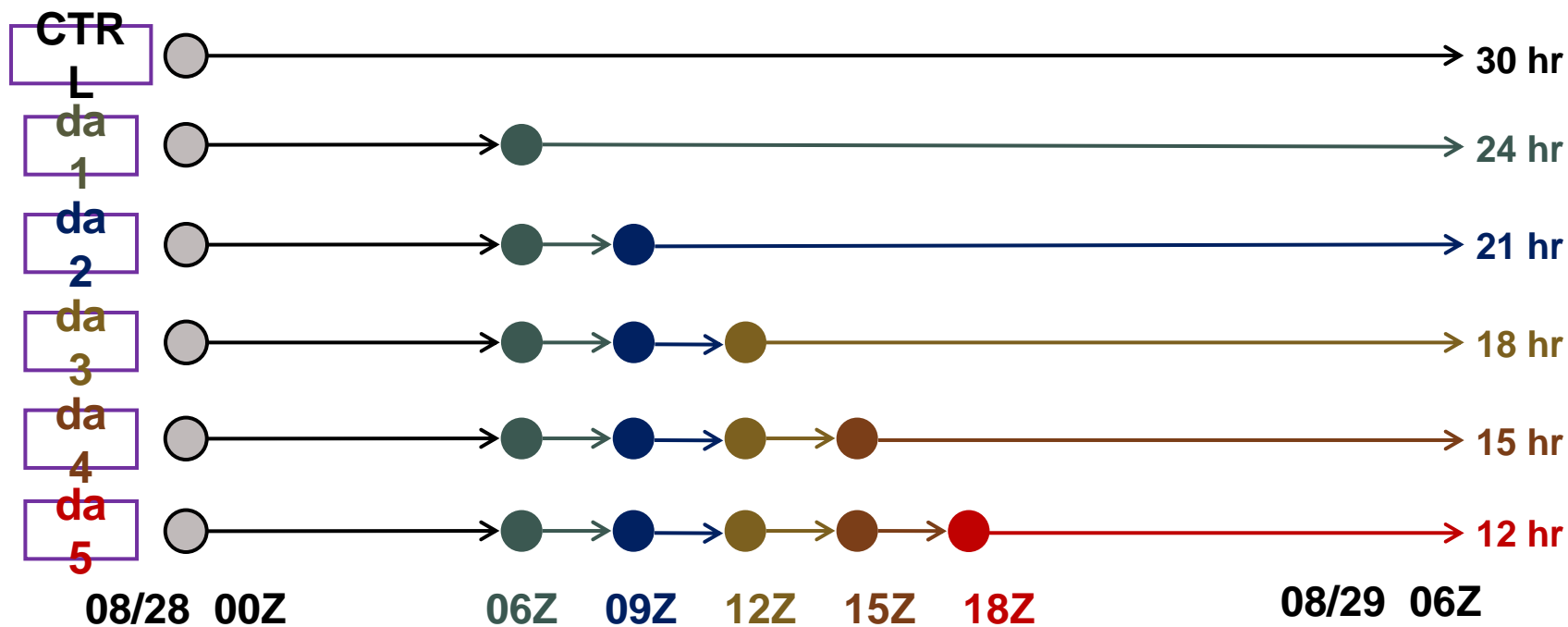
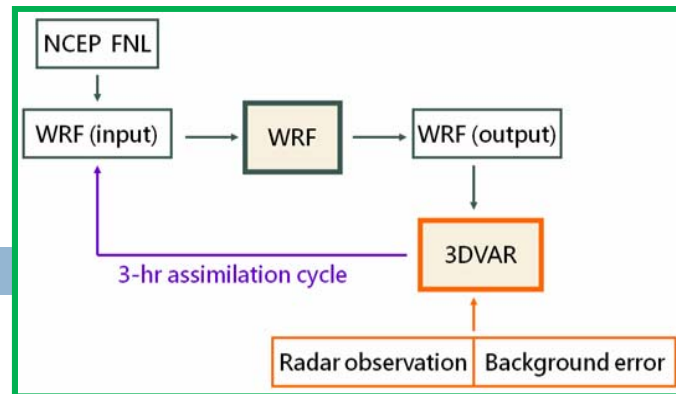
|            | 墾丁      |
|------------|---------|
| Vr         | 27.558  |
| New Vr     | 29.15   |
| Vr diff.   | 1.592   |
| Wind diff. | 1.30853 |

R=0.12





# 實驗設計





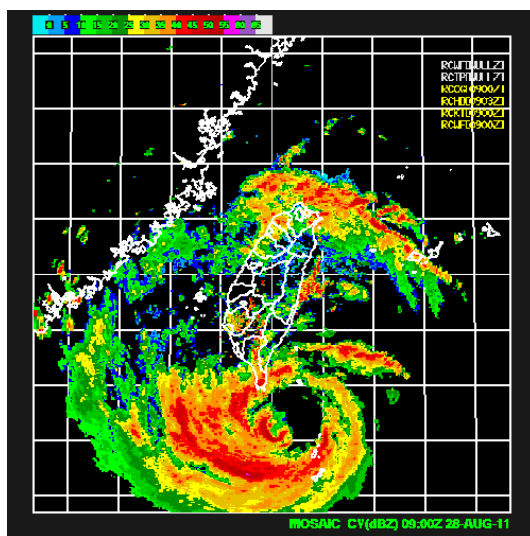
# 模擬結果討論

- 同化次數：CTRL vs. da1 ~ da5
- 影響半徑： $R1 = 0.06$   
 $R2 = 0.12$
- 颱風結構、颱風路徑、累積雨量&驗證

# 雷達回波

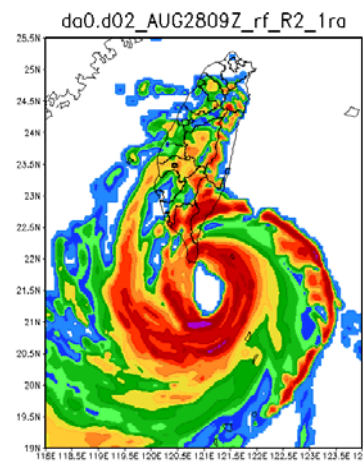
08/28 09Z

CWB



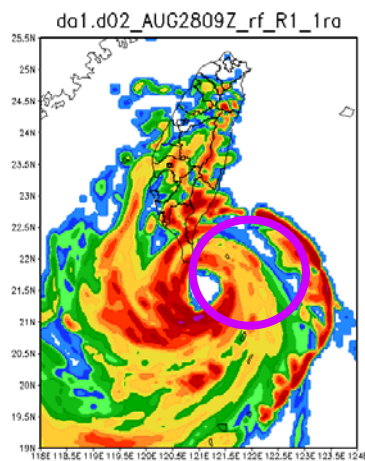
CTRL

雨帶偏強且較為對稱



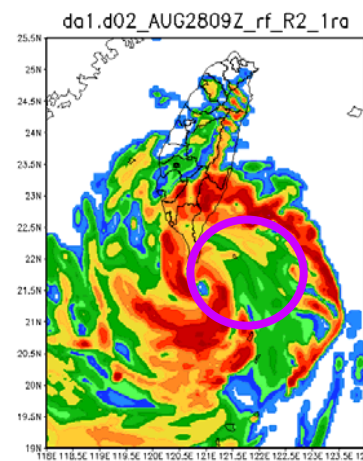
da1 R1

東北方雨帶減弱



da1 R2

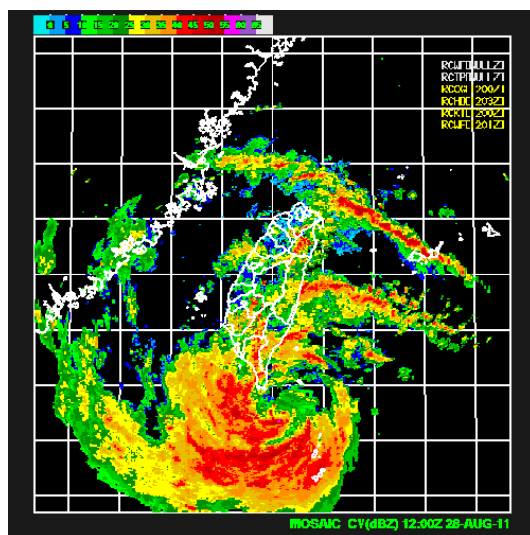
東北方雨帶減弱



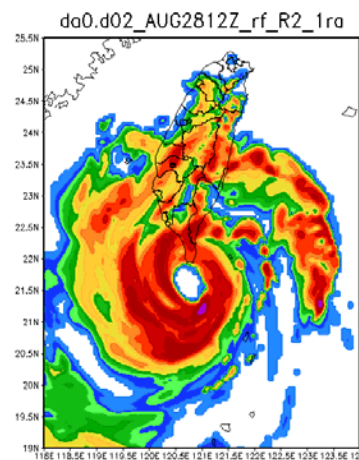
# 雷達回波

08/28 12Z

CWB



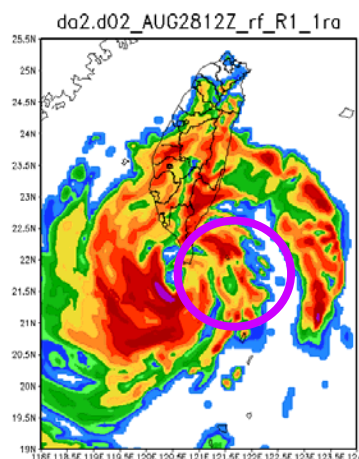
CTRL



雨帶太強且結構紮實，  
颱風眼位置也偏離實際  
位置

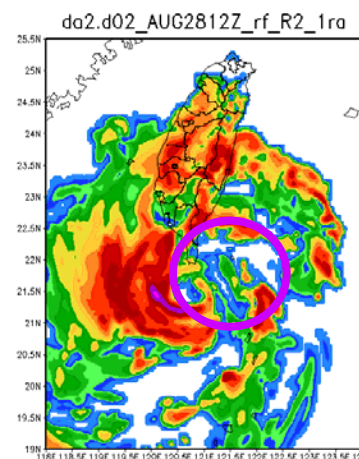
da2 R1

東北區雨帶結構減弱



da2 R2

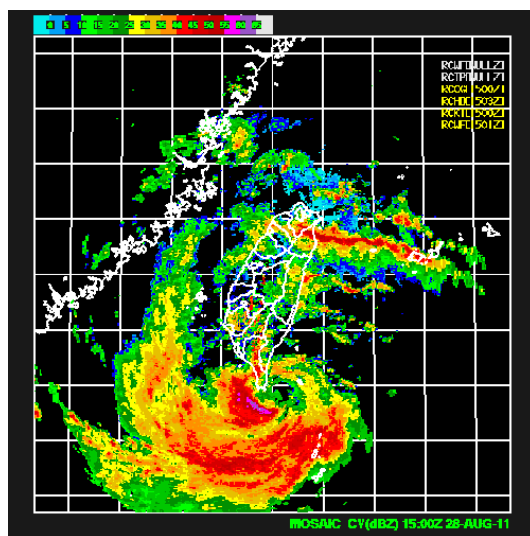
東北區雨帶減弱效果比  
R1明顯，颱風中心位置  
也比 R1 接近觀測



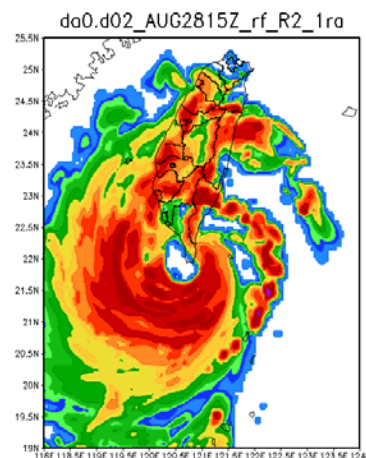
# 雷達回波

08/28 15Z

CWB



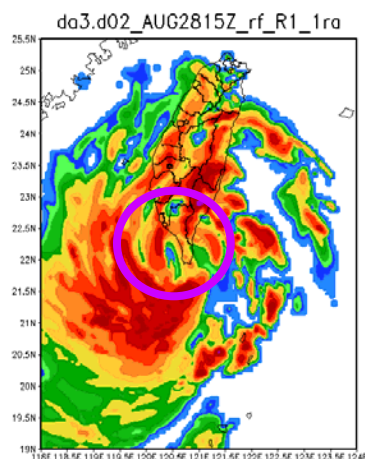
CTRL



雖有模擬出南強北弱  
不對稱結構，但颱風  
雨帶過強且中心偏西

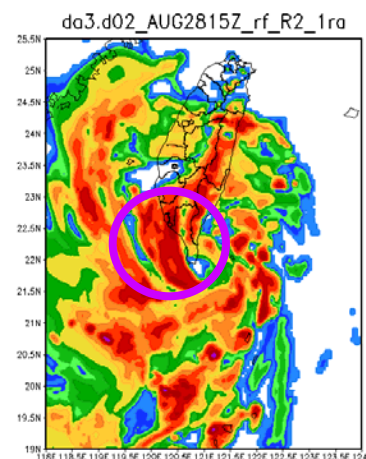
da3 R1

雨帶較完整，但颱風  
眼位置一樣有偏西的  
情形



da3 R2

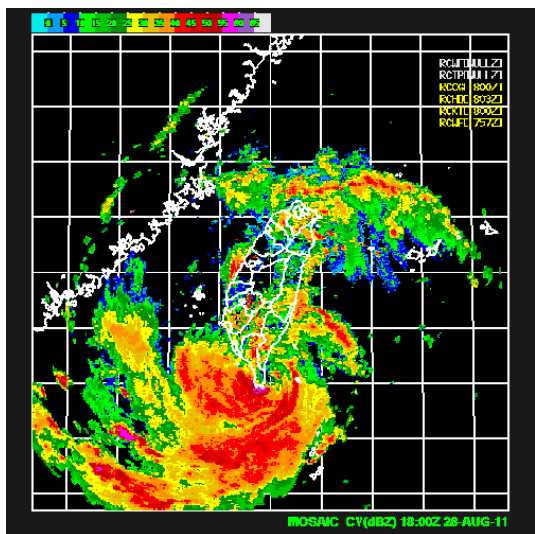
回波雖較破碎，但在颱  
風中心西南邊有模擬出  
強雨帶



# 雷達回波

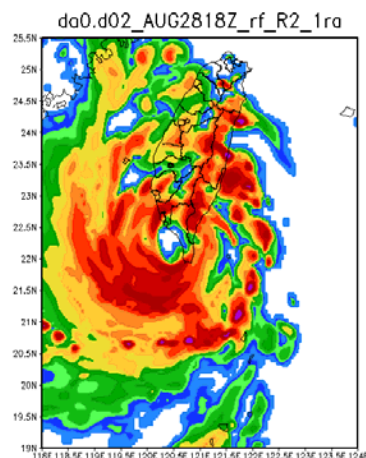
08/28 18Z

CWB



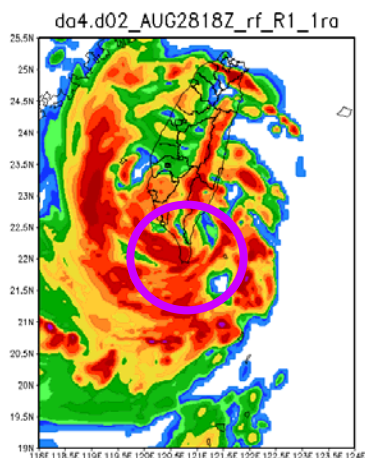
CTRL

仍然偏西且移動速度過快



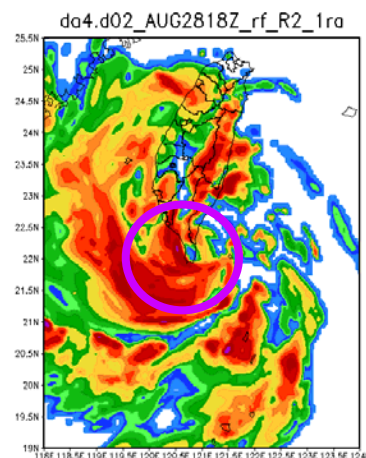
da4 R1

回波較破碎且颱風眼南邊的強雨帶沒有模擬出來



da4 R2

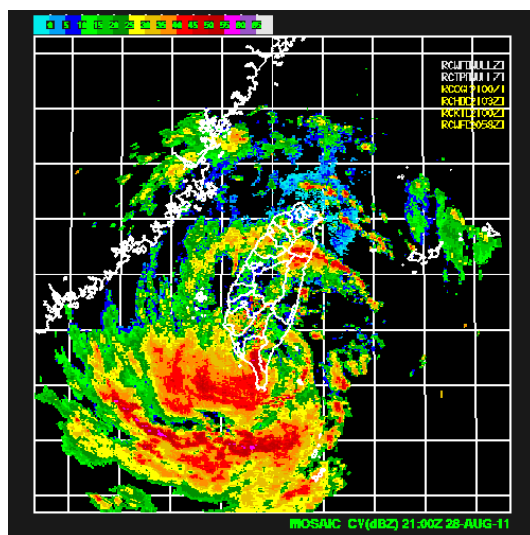
兩條雨帶和觀測雖有些偏離，但南邊整體雨帶結構較接近觀測



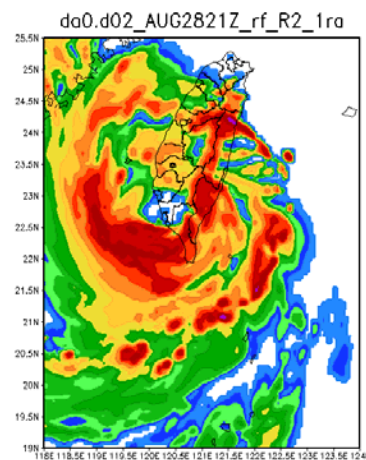
# 雷達回波

08/28 21Z

CWB



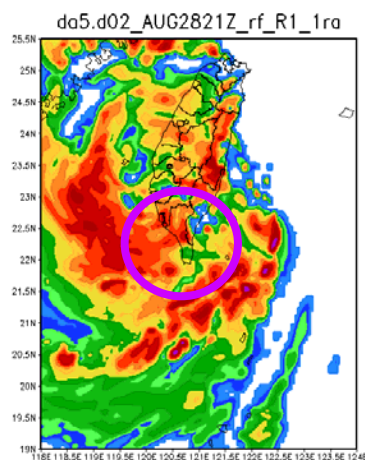
CTRL



颱風移速仍就過快，中心位置已在高雄沿海地區

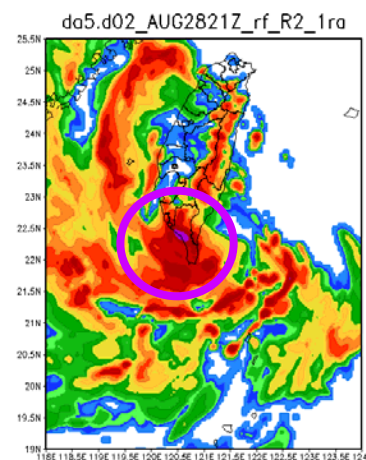
da5 R1

南邊雨帶模擬結果依然較不完整



da5 R2

台灣海峽上雖有條過強的雨帶，但在屏東和南邊海上有模擬出接近觀測的兩條雨帶



# 颱風路徑

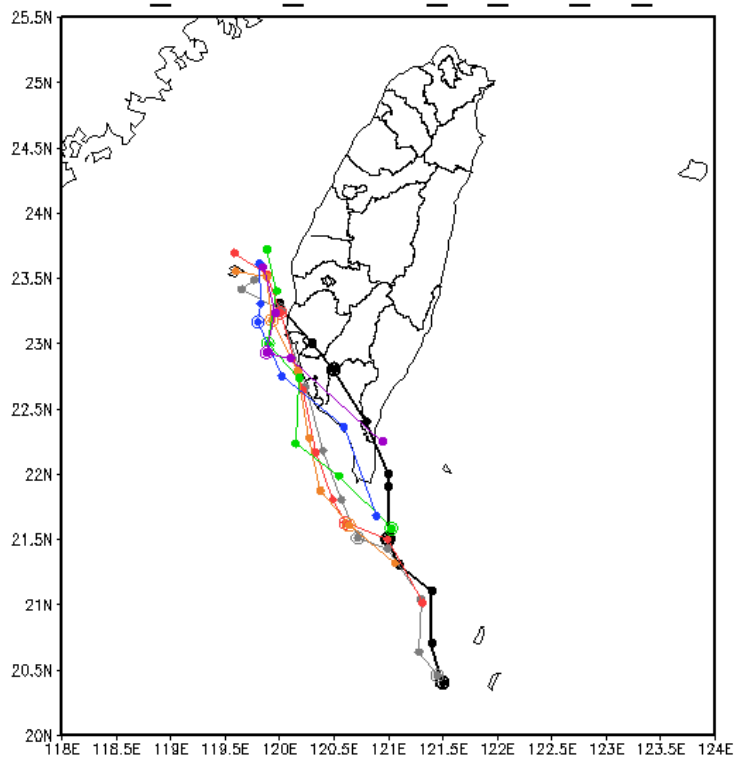
08/28 00Z ~ 29 06Z

R1

650hPa 環流中心

R2

track\_stream\_082800\_06\_30h\_R1\_1ra



黑：Best track

灰：CTRL

紅：da1

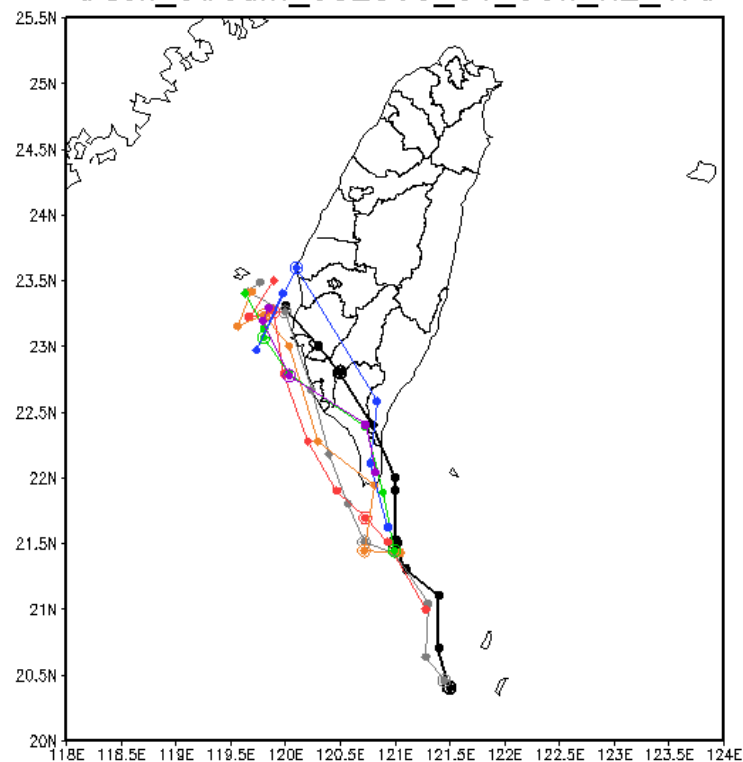
橘：da2

綠：da3

藍：da4

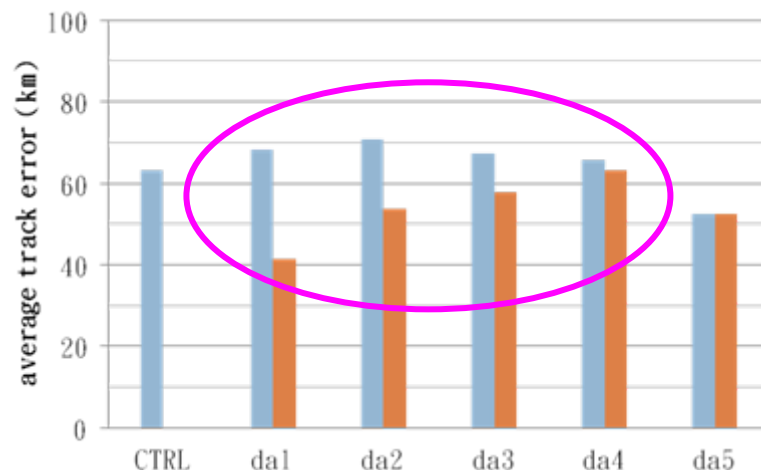
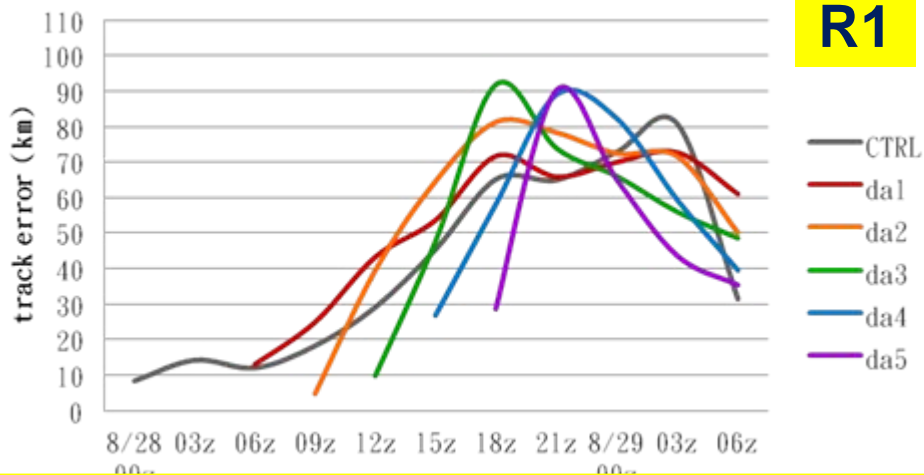
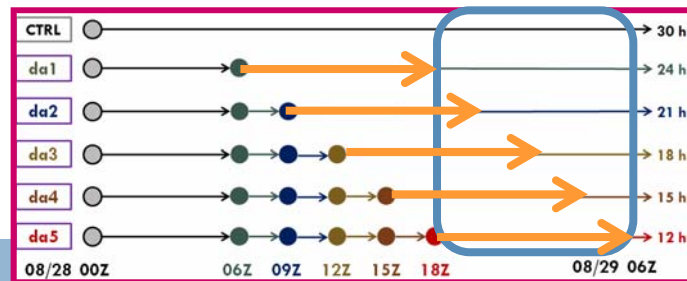
紫：da5

track\_stream\_082800\_06\_30h\_R2\_1ra

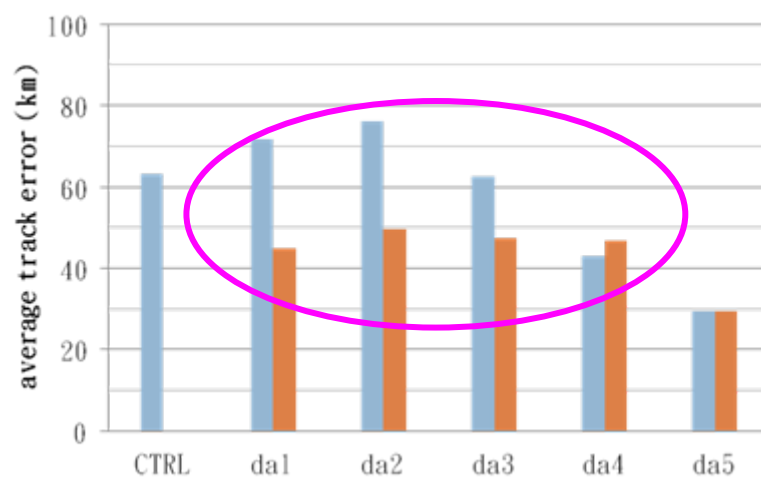
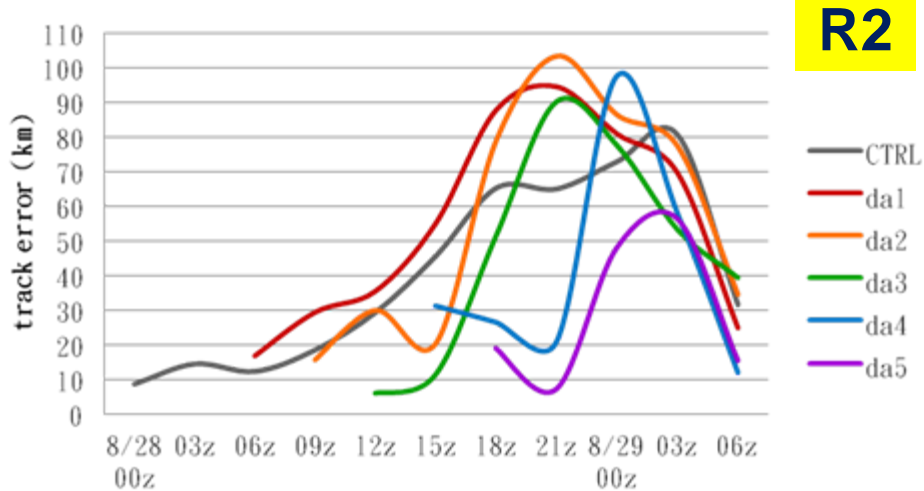




# 路徑誤差



R2做多次同化循環明顯改善颱風路徑誤差，但也隨著模擬間越長誤差值越大

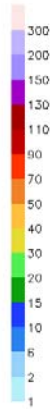
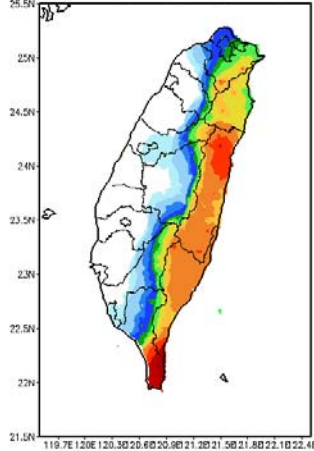


# 6hr累積雨量

08/28 (06~12Z)

CWB

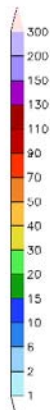
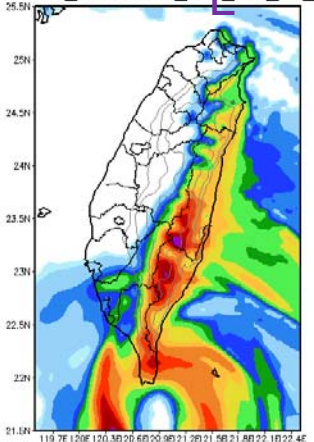
AUG2812Z\_CWB\_rain\_6hr (mm)



da1 : R1 R2 都不好  
偏強 位置不正確

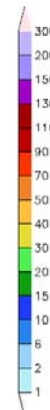
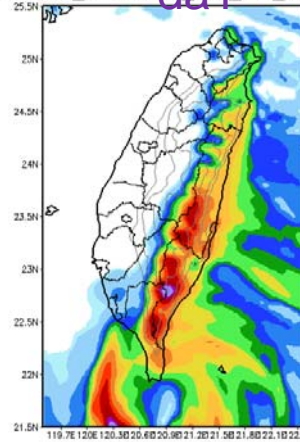
CTR

da0.d02\_AUG2812Z\_rain\_6hr\_R2\_1ra



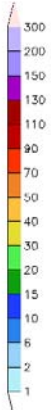
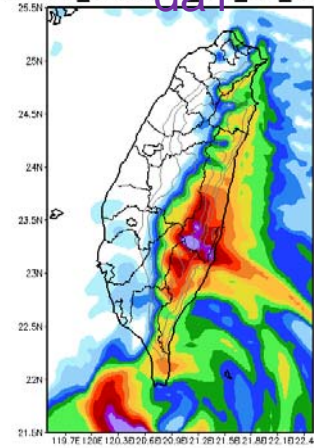
R1 ,

da1.d02\_AUG2812Z\_rain\_6hr\_R1\_1ra



R2 ,

da1.d02\_AUG2812Z\_rain\_6hr\_R2\_1ra



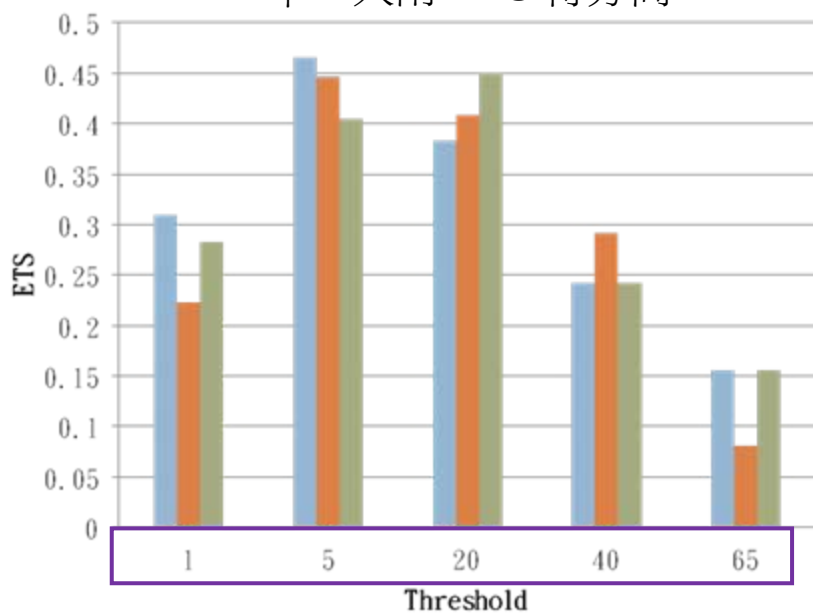
# 雨量驗證

08/28 (06~12Z)

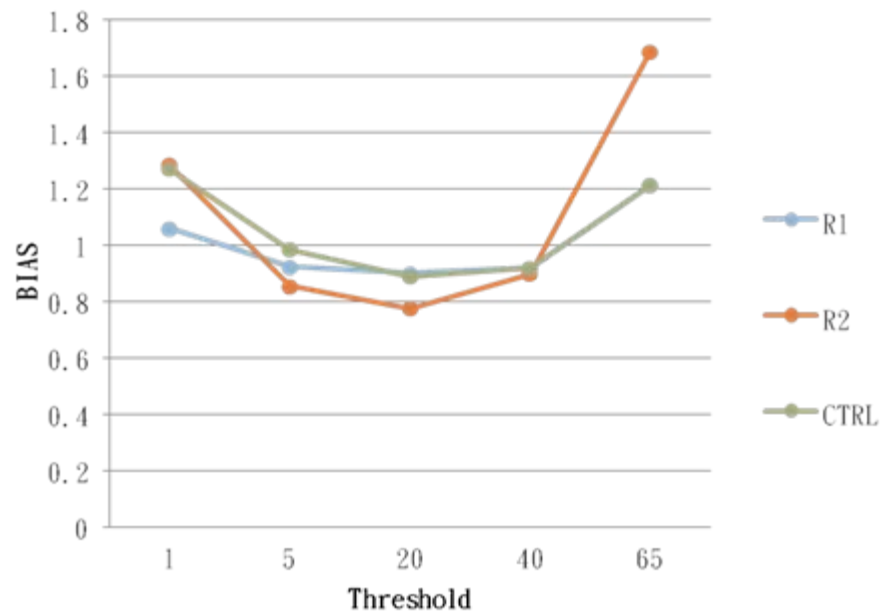
ETS

Bias

中、大雨 ETS 得分高



小雨 中雨 大雨 豪雨 大豪雨



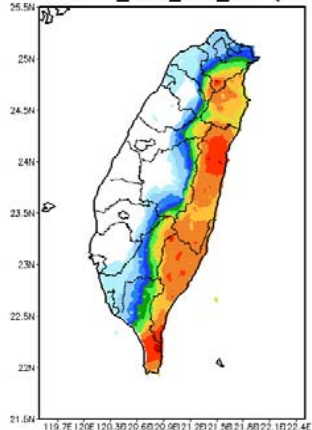
# 6hr 累積雨量 & 驗證

08/28 (09~15z)

da2: 皆偏強 R2 降水分佈較 R1 好

da2

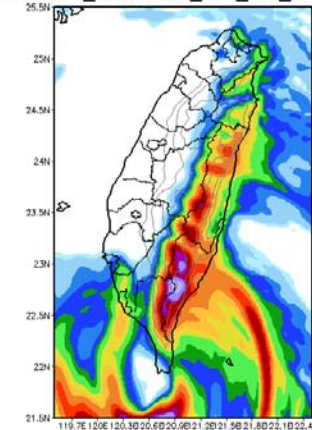
AUG2815Z\_CWB\_rain\_6hr (mm)



CW

B

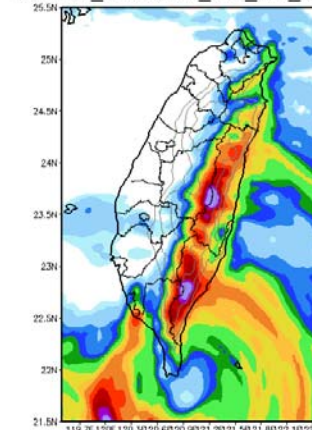
da2.d02\_AUG2815Z\_rain\_6hr\_R1\_1ra



R

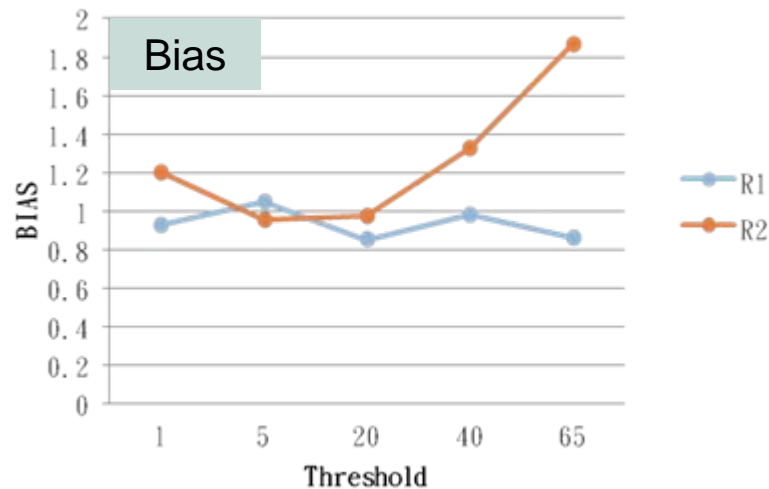
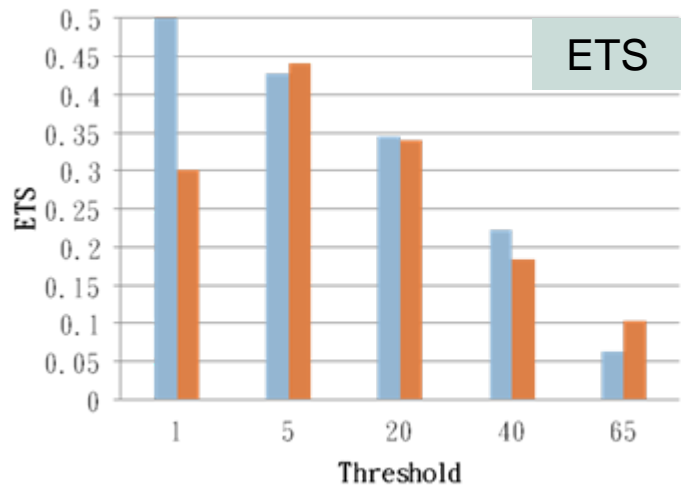
1

da2.d02\_AUG2815Z\_rain\_6hr\_R2\_1ra



R

2



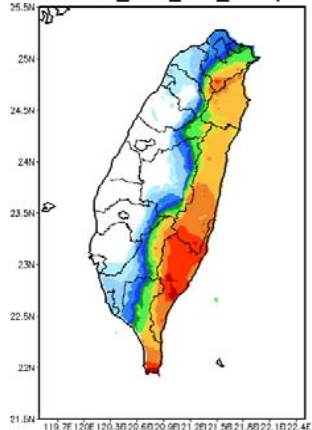
# 6hr 累積雨量 & 驗證

08/28 (12~18Z)

da3: 皆偏強 R1 降水分佈較 R2 好

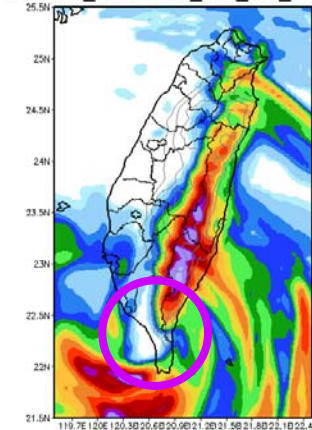
da3

AUG2818Z\_CWB\_rain\_6hr (mm)



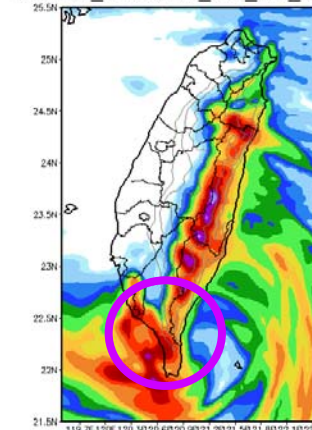
CW

da3.d02\_AUG2818Z\_rain\_6hr\_R1\_1ra



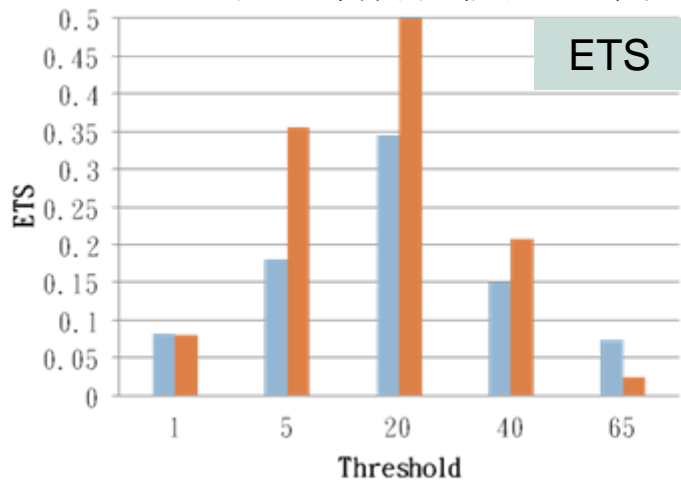
R 1

da3.d02\_AUG2818Z\_rain\_6hr\_R2\_1ra



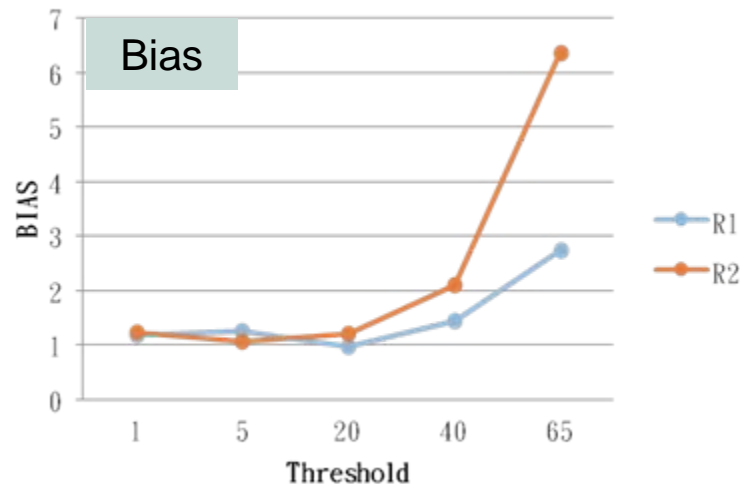
R 2

R2的ETS得分整體比 R1高



1

2

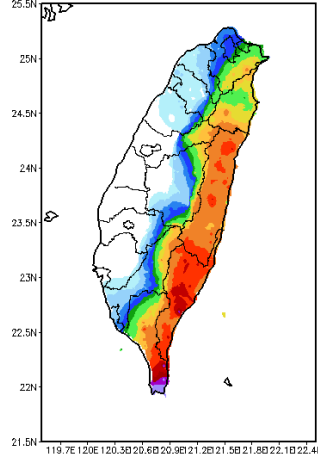


# 6hr累積雨量

08/28 (15~21z)

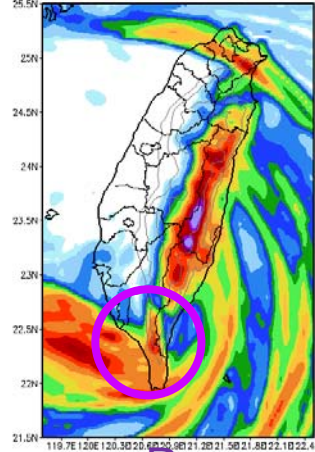
da4 : 皆偏強  
R2降水分佈較R1接近觀測

AUG2821Z\_CWB\_rain\_6hr (mm)



CWB

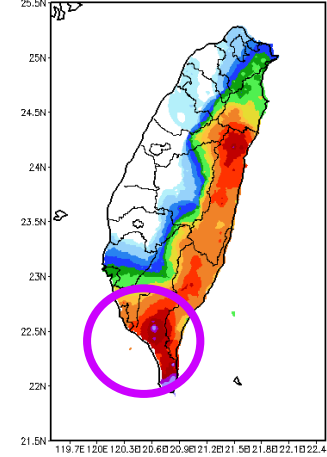
da4.d02\_AUG2821Z\_rain\_6hr\_R1\_1ra



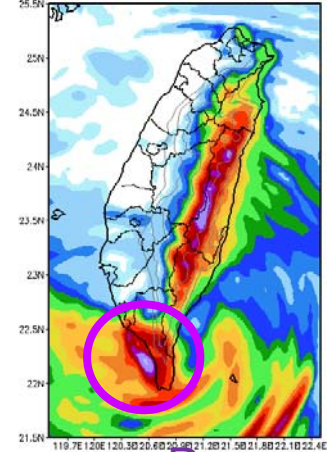
R

1

AUG2900Z\_CWB\_rain\_6hr (mm)



da4.d02\_AUG2821Z\_rain\_6hr\_R2\_1ra



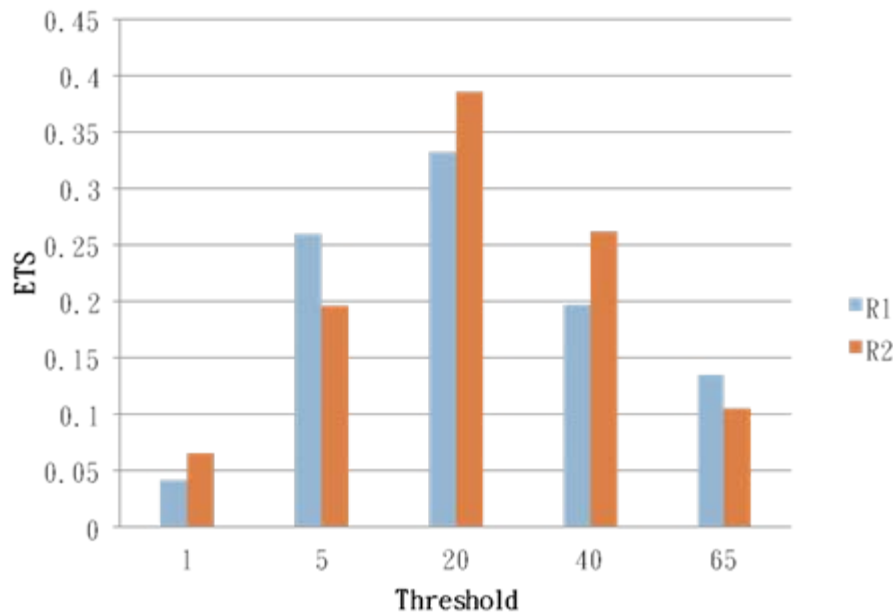
R

2

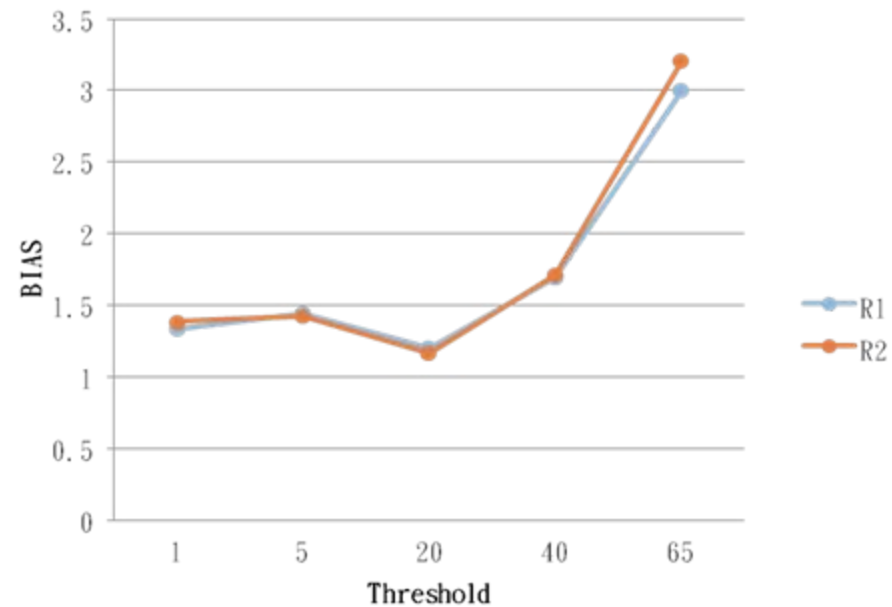
# 雨量驗證

08/28 (15~21z)

ETS



Bias



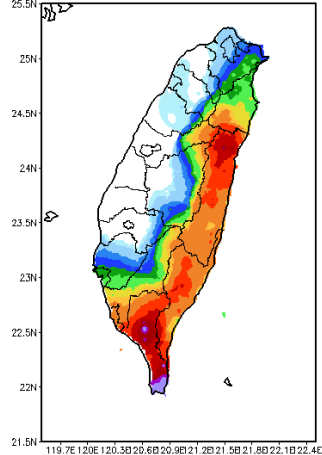
R2大雨及豪雨的得分皆比 R1高

# 6hr累積雨量

08/28 (18~00z)

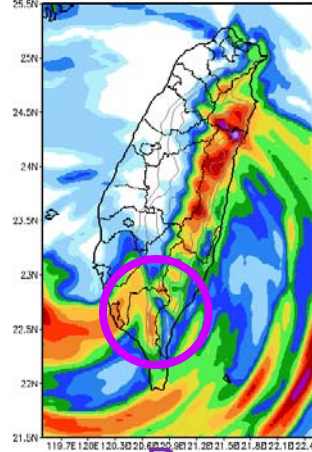
da5 : R2降水分佈較R1好

AUG2900Z\_CWB\_rain\_6hr (mm)



CWB

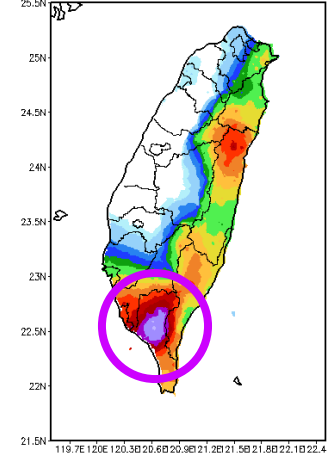
da5.d02\_AUG2900Z\_rain\_6hr\_R1\_1ra



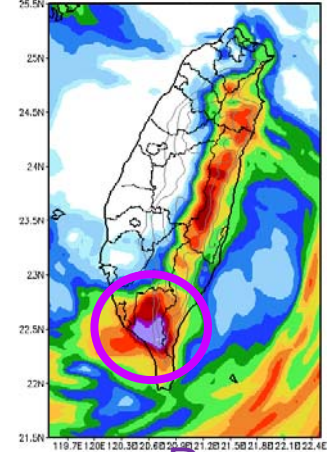
R

1

AUG2903Z\_CWB\_rain\_6hr (mm)



da5.d02\_AUG2900Z\_rain\_6hr\_R2\_1ra



R

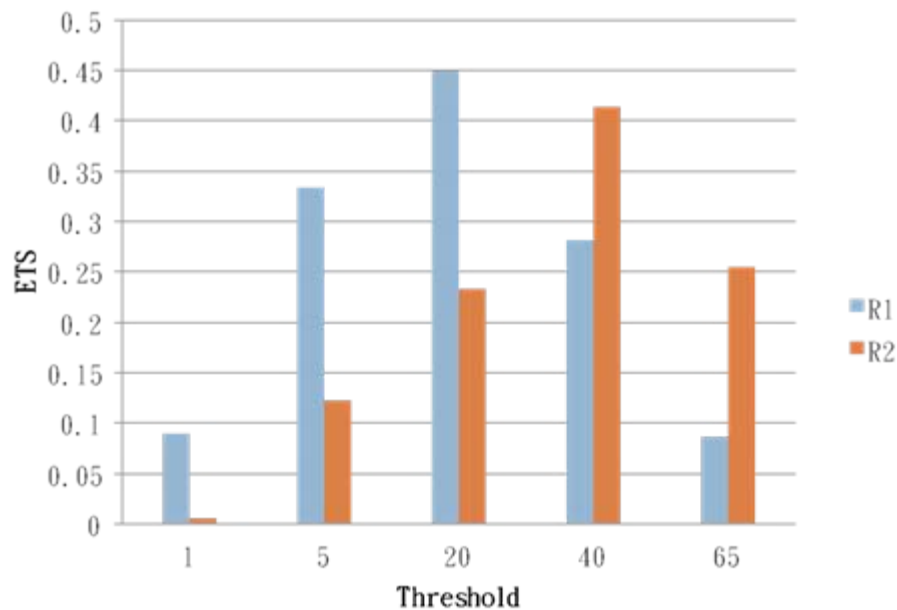
2



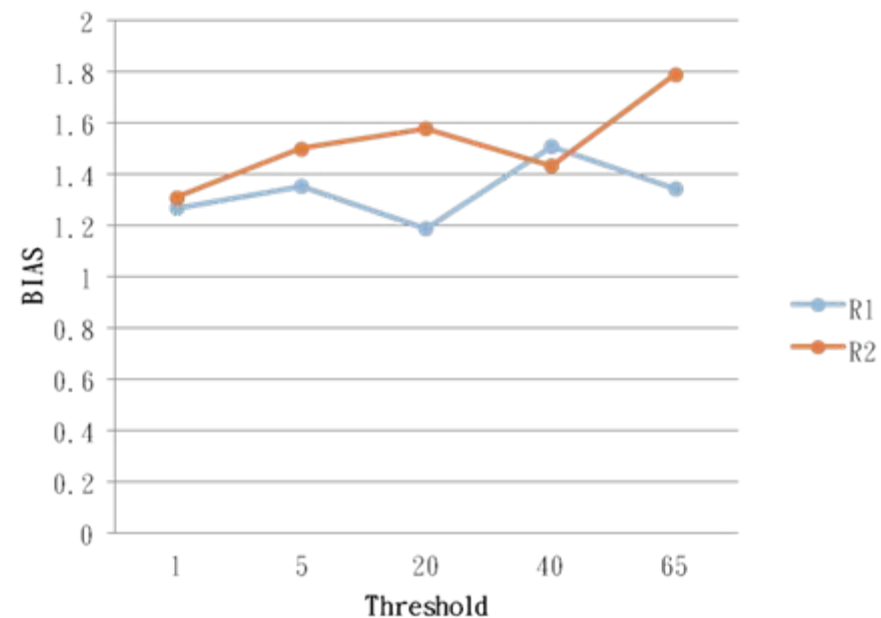
# 雨量驗證

08/28 (18~00z)

ETS



Bias



R1在偏弱降雨得分較 R2 高，但在豪雨甚至豪大雨的模擬上，R2 顯然有較高的準確度。

# 結論

# 結論

- 在颱風結構上，多次同化循環對近颱風中心的雨帶分布有較明顯的改善，而較大的影響半徑 **R2** 在颱風中心位置以及強對流雨帶區也比 **R1** 更接近觀測。
- 在颱風路徑上，隨著同化次數越多，其修正效果越大，越接近 **best track**；而 **R2** 平均路徑誤差小於 **R1**，且隨著同化次數越多，路徑誤差也明顯的下降。
- 六小時累積雨量結果比較，經過多次同化循環可以改善降雨分布不正確且高估的情形；而在較大影響半徑 **R2** 的強降水分布位置比 **R1** 準確。在雨量驗證上，**R1** 的 **ETS** 得分在門檻值設定為 **1** 和 **5mm** 時，偏弱降水上有較高的得分，但在門檻值為 **20**、**40** 和 **65mm** 的強降雨模擬上，**R2** 有較高的準確度。

# 結論

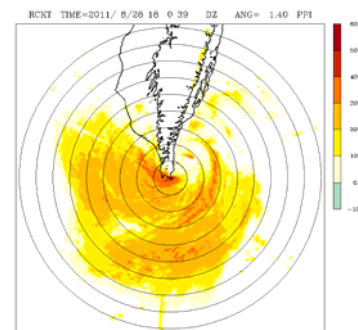
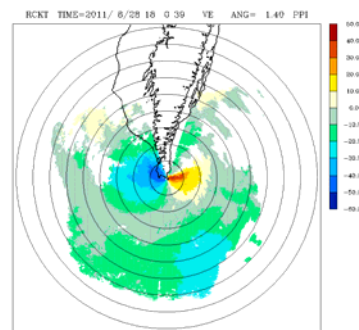
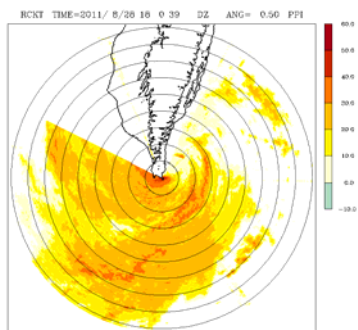
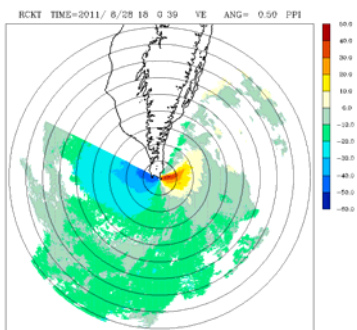
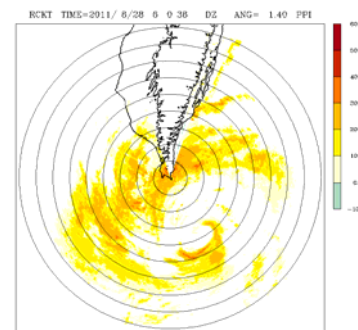
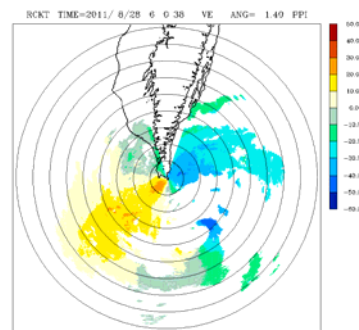
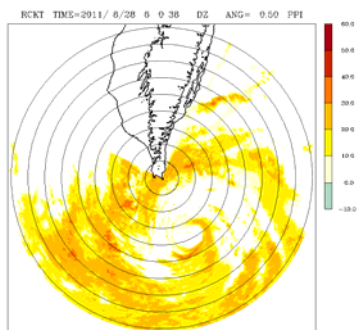
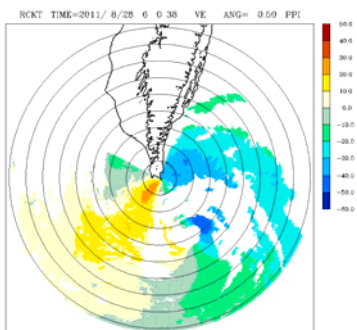
- 經由不同組合的實驗發現：
  - (1) 較多的同化循環次數比單一次同化結果好
  - (2) 較大的影響半徑 ( $R = 0.12$ ) 比較小的影響半徑佳以此組合實驗能有效改善數值模擬的準確度。
- 雖然降水仍有高估、颱風移動速度偏快的現象，但相較於未同化實驗 (**CTRL**)，降水分佈和颱風路徑有更接近觀測的趨勢，因此同化雷達徑向風資料有效的改善模式模擬結果。

**THANKS FOR YOUR  
ATTENTION**



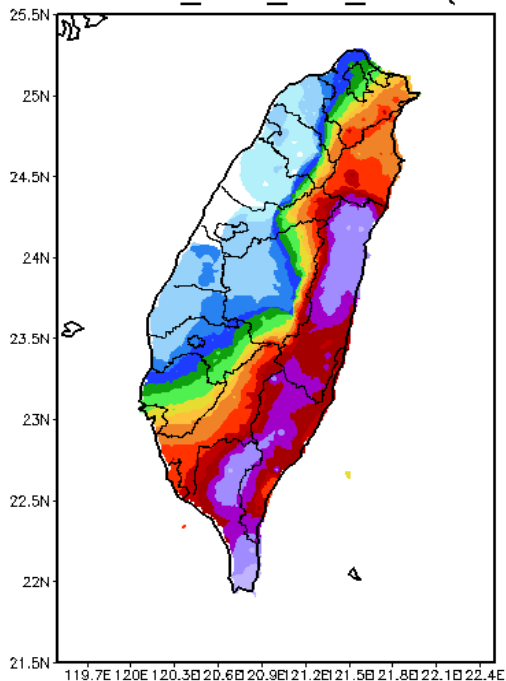
# 墾丁雷達

2012/08/28 06UTC  
18UTC



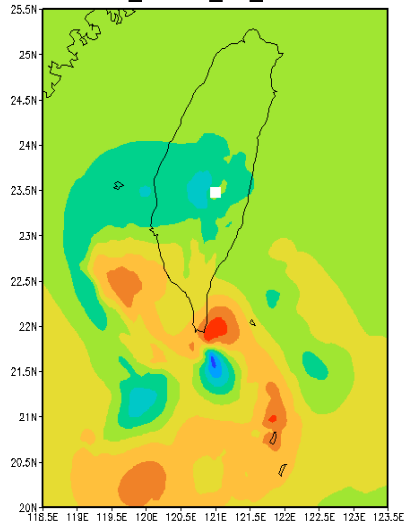
# 個案介紹

AUG2906Z\_CWB\_rain\_30h (mm)

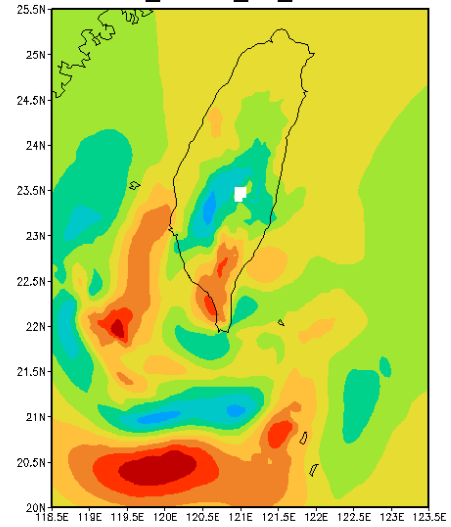


- 8月28日00 UTC 至 8月29日06 UTC（本研究模擬的時間），30 小時累積雨量超過 300 mm 以上的區域主要位於中央山脈東部及南部迎風面地區和屏東沿海地區。

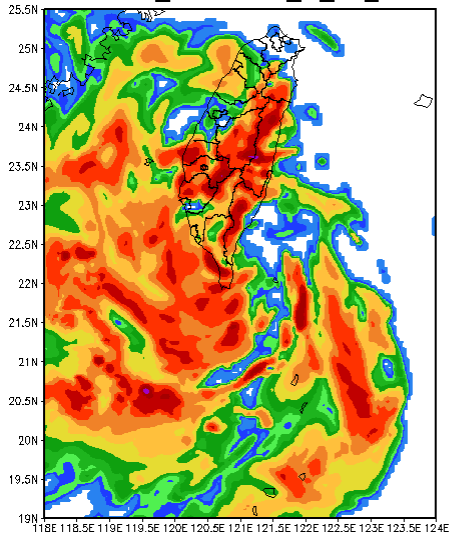
uv+\_da4-3\_R2\_082815



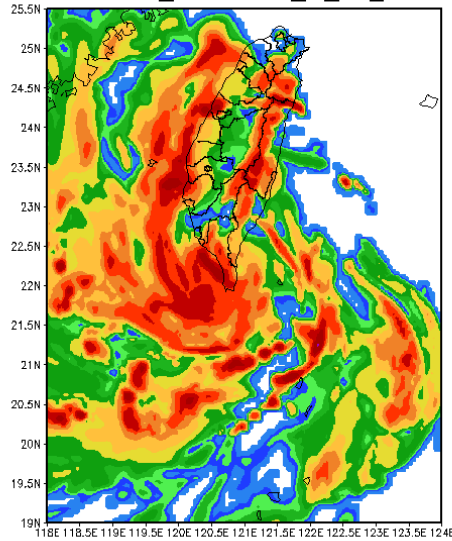
uv+\_da5-4\_R2\_082818



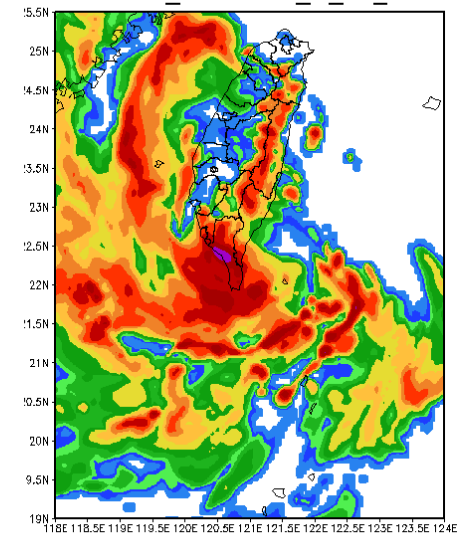
da5.d02\_AUG2819Z\_rf\_R2\_1ra



da5.d02\_AUG2820Z\_rf\_R2\_1ra



da5.d02\_AUG2821Z\_rf\_R2\_1ra

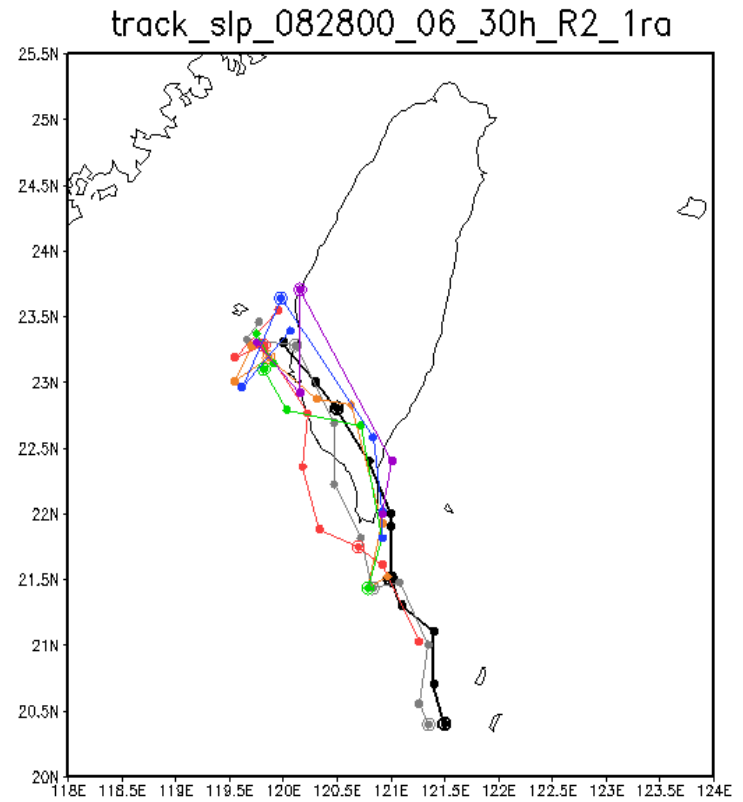
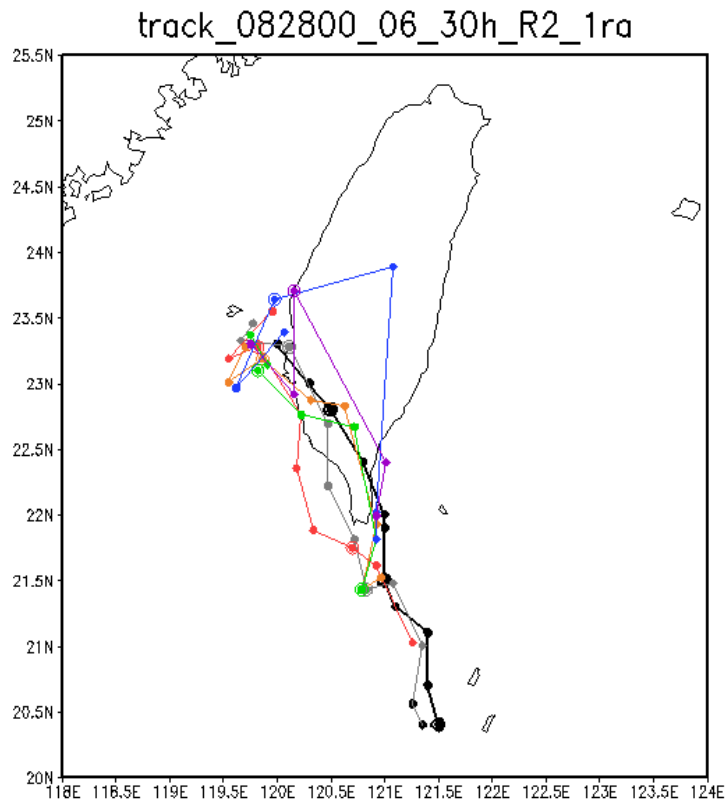




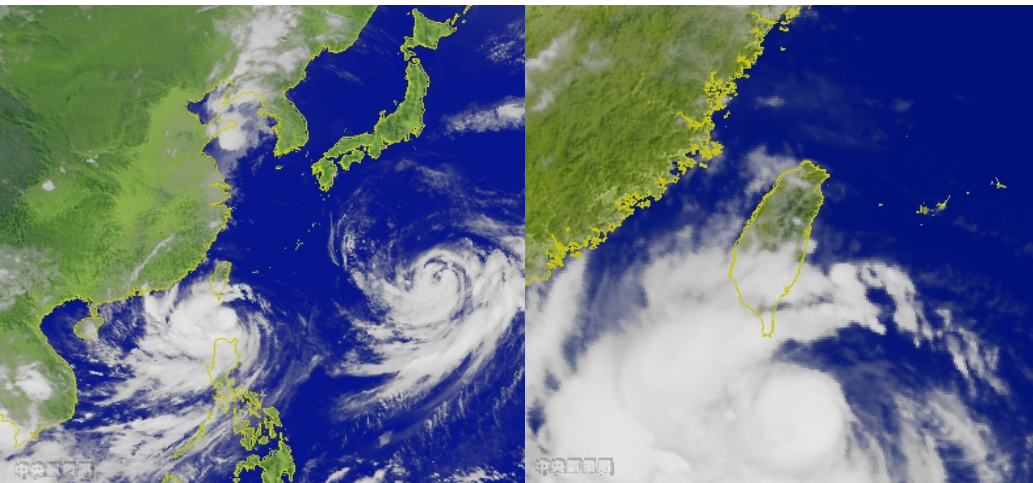
# SLP center

修正前

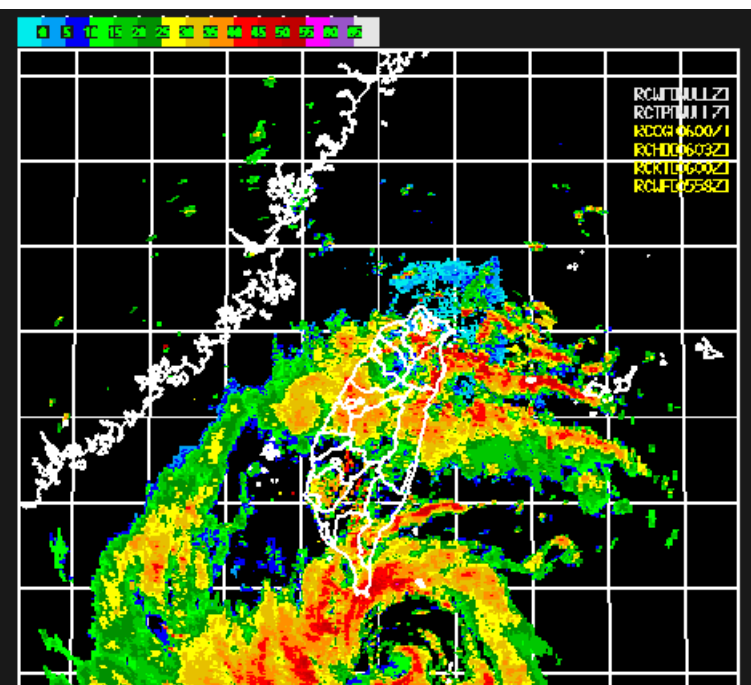
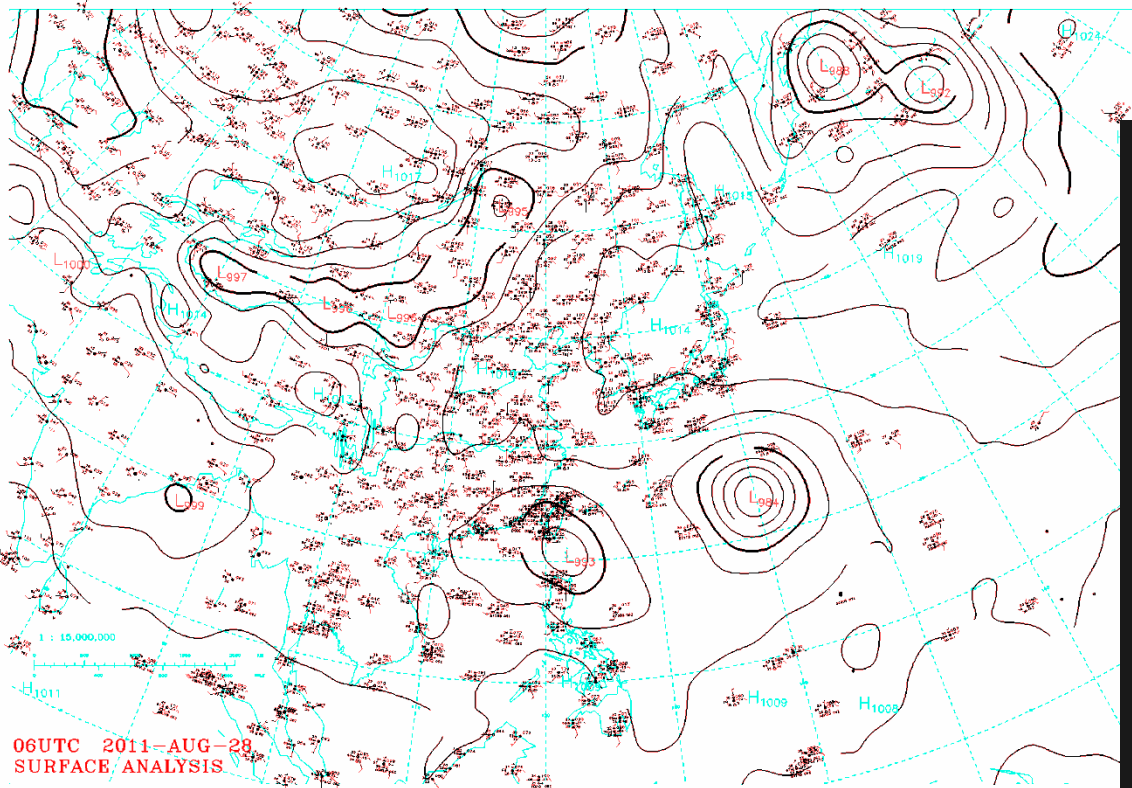
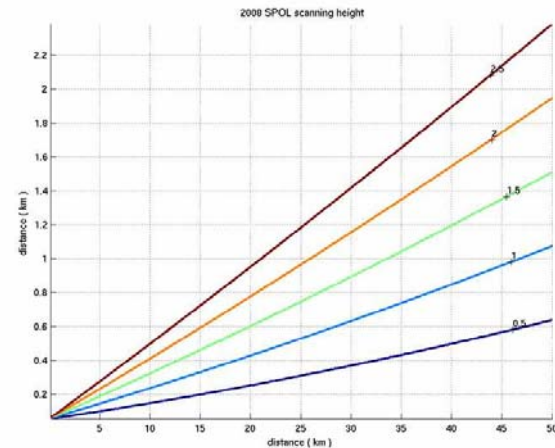
修正後



2012/08/28 06UTC



MTSAT2 紅外線雲圖 8/28 06:00 MTSAT2 紅外線雲圖 8/28 06:00

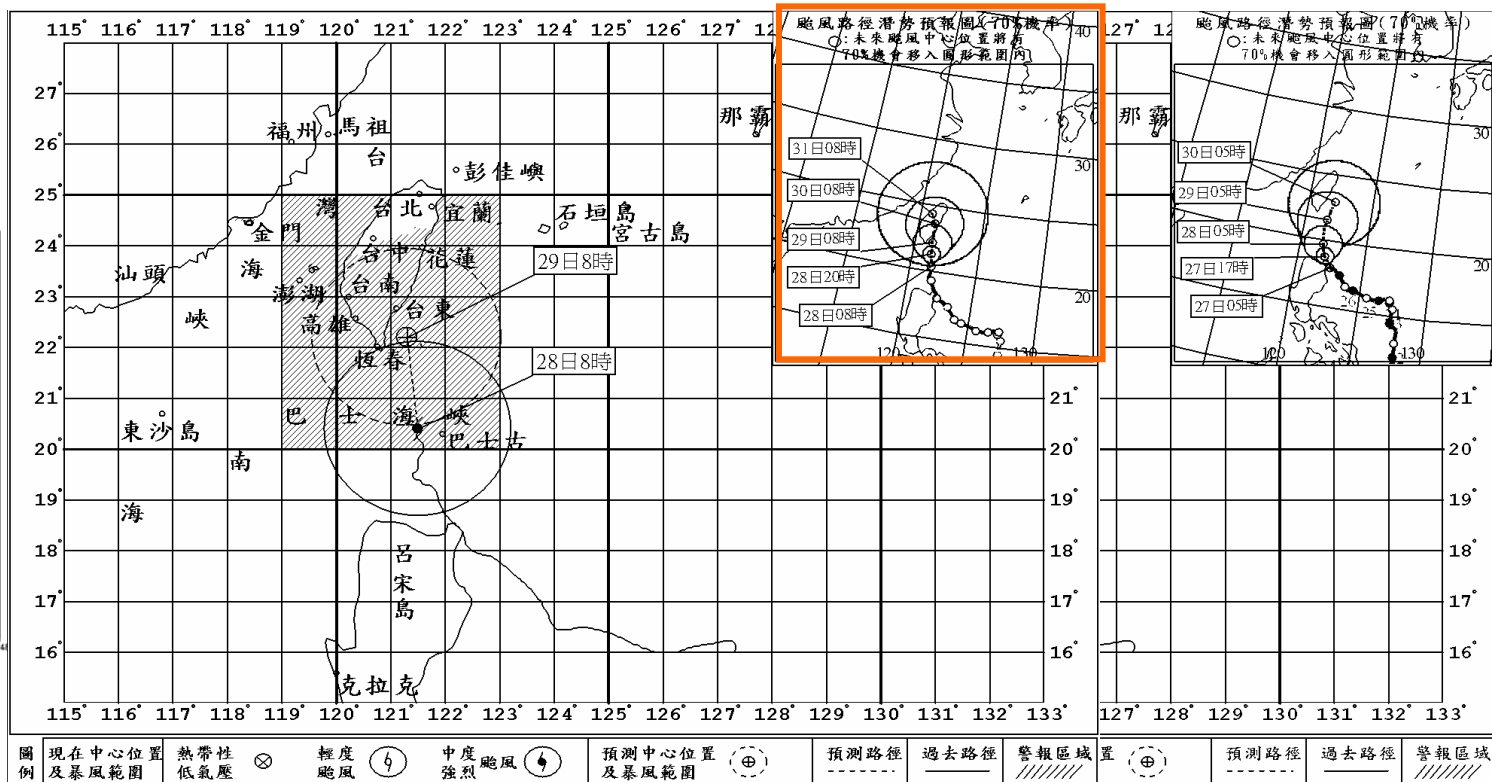
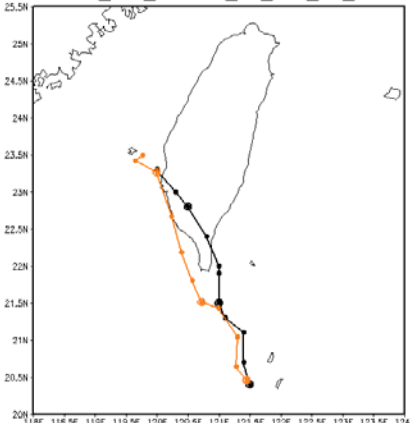


- 氣象局預測颱風移動路徑和觀測有偏差，因此本研究希望藉由同化高解析度雷達資料以改善模式初始場，增加颱風路徑、結構和降水的準確度。

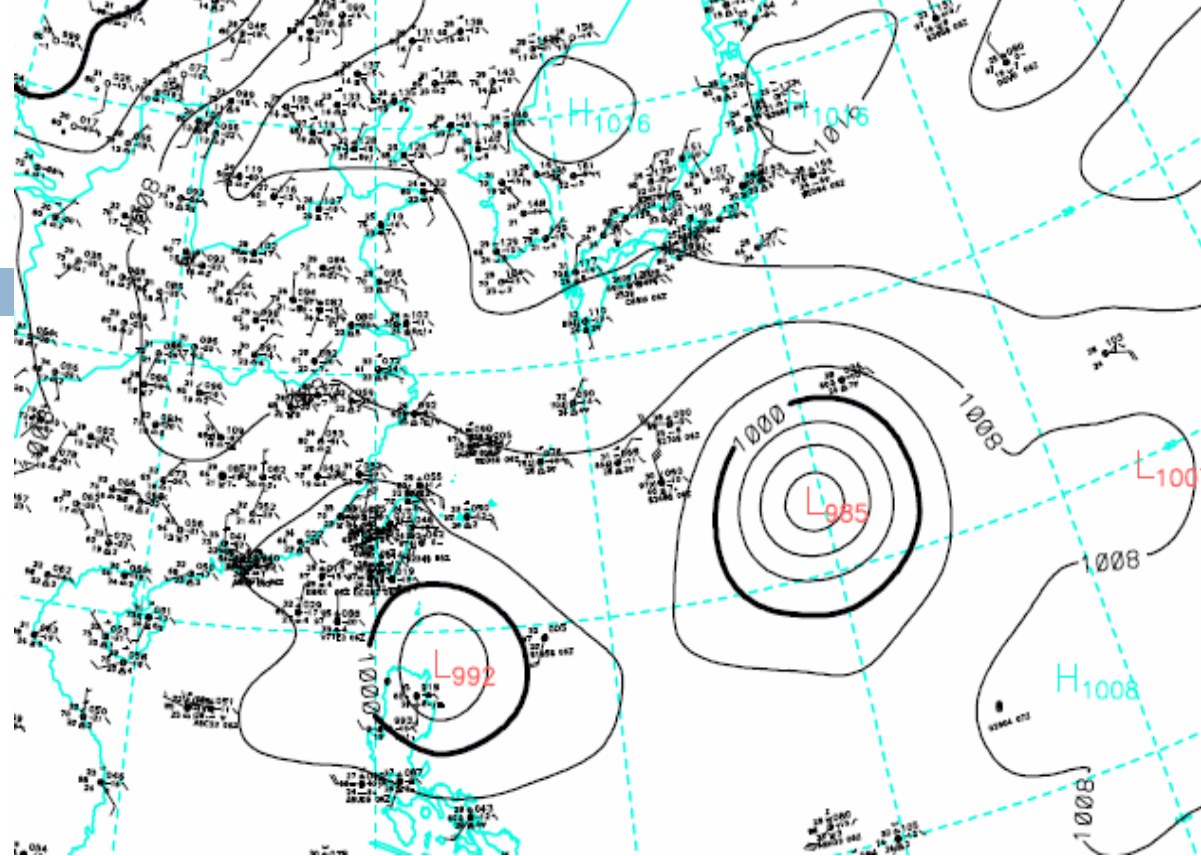
08/28 00UTC

黑：best track  
橘：CTRL

track\_da0\_082800\_06\_30h\_R2\_1ra



# 綜觀天氣

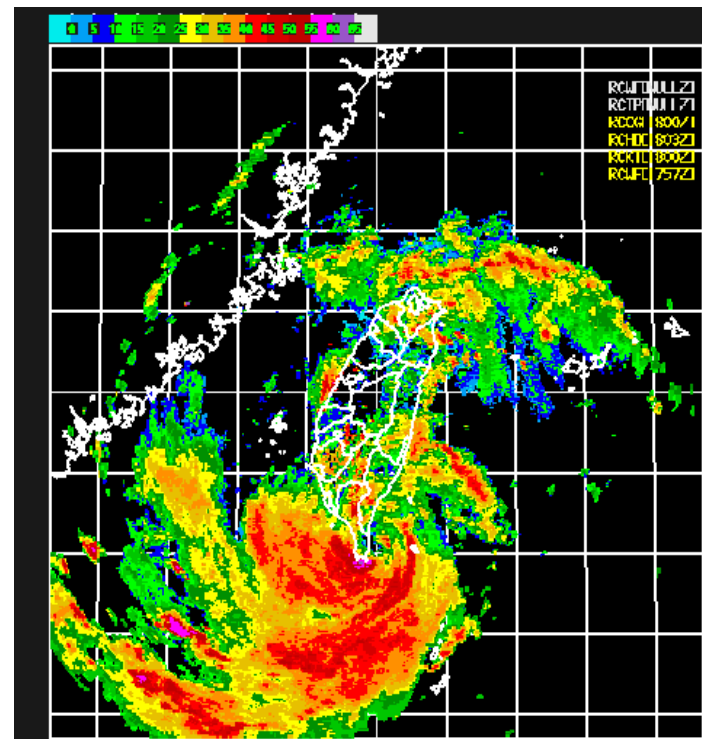
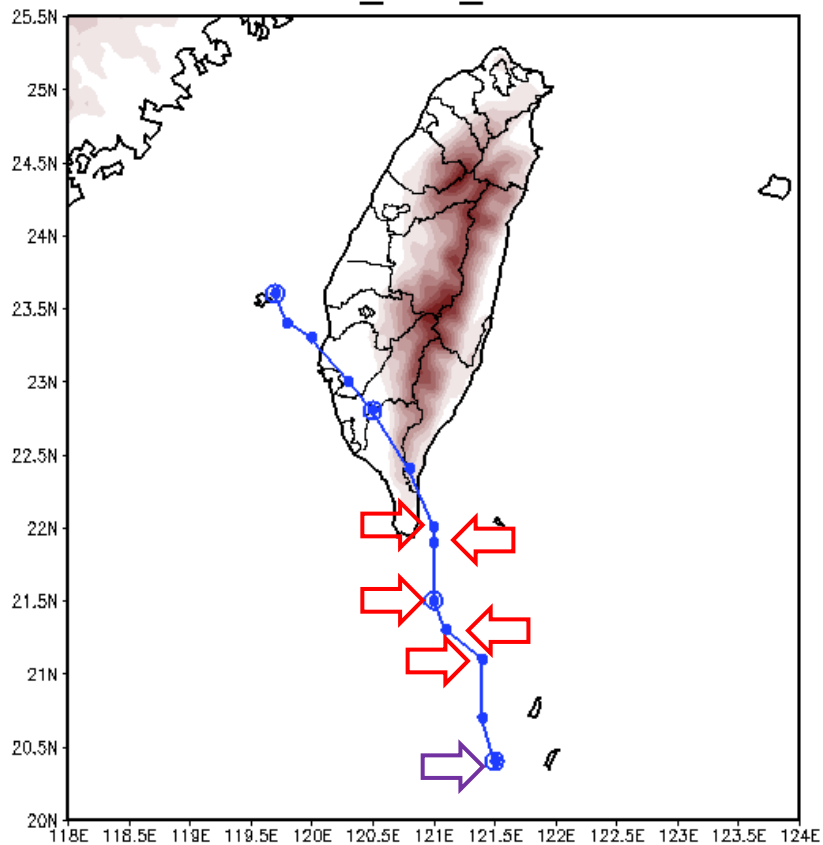


- **南瑪都颱風** 8月23日20時於菲律賓東方海面生成，編號第11號颱風。
- 於8月25日增強為中度颱風，強度持續增強，初期往西移動，此外透過地面天氣圖可知第12號颱風塔拉斯形成。
- 26日增強為強烈颱風，隨後轉為偏西北移動，根據中央氣象局資料指出，南瑪都颱風近地面最低氣壓為920hPa，近中心最大風速為 53m/s。
- 27日其中心通過菲律賓呂宋島東北角邊緣，強度減弱為中度颱風，轉為偏北北西移動，同時颱風的外圍環流開始逐漸的影響台灣。



□ 00Z 、 06 、 09 、 12 、 15 、 18Z

cwb\_best\_track



MOSAIC CV(dBZ) 18:00Z 28-AUG-11  
 MOSAIC CV(dBZ) 15:00Z 28-AUG-11  
 MOSAIC CV(dBZ) 12:00Z 28-AUG-11  
 MOSAIC CV(dBZ) 09:00Z 28-AUG-11  
 MOSAIC CV(dBZ) 06:00Z 28-AUG-11  
 MOSAIC CV(dBZ) 00:00Z 28-AUG-11

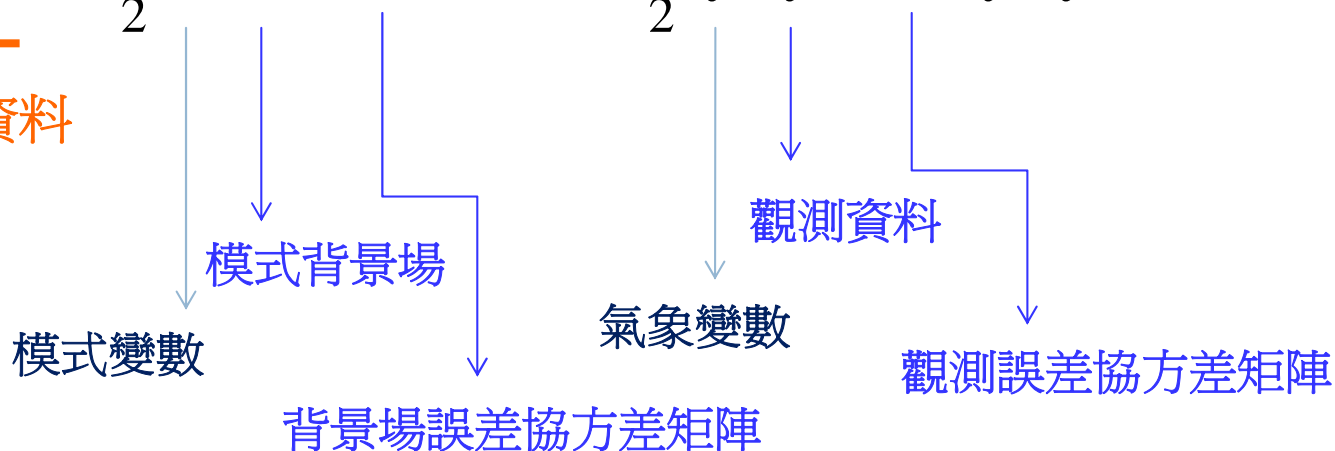
# 關鍵字

- 三維變分資料同化 (3DVAR)
- three-dimensional variational data assimilation

cost function :

$$J(\mathbf{x}) = J^b + J^o = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b)^T B^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b) + \frac{1}{2}(\mathbf{y} - \mathbf{y}^o)^T O^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{y}^o).$$

背景場和觀測資料  
的 cost function



極小化cost function → 求得最佳分析資料

# 降水校驗方法

- 公正預兆得分 (ETS)
- 偏離係數 (Bias)

# 公正預兆得分 (ETS)

|    |       | 觀測      |     |             |
|----|-------|---------|-----|-------------|
|    |       | Yes     | No  | total       |
| 模式 | Yes   | A (=H)  | B   | A+B = F     |
|    | No    | C       | D   | C+D         |
|    | total | A+C = O | B+D | A+B+C+D = N |

- ETS 為計算模式在特定位置預測達某一特定門檻值且不是隨機猜中的情況下，模式正確預測降水的機率：

$$ETS = \frac{H - R}{F + O - H - R} = \frac{A - R}{A + B + C - R} \quad R = \frac{FO}{N} = \frac{(A + B)(A + C)}{N}$$

- 對某特定降水門檻值而言，**F** 為模式預測有降雨的網格數，**O** 為觀測實際有降雨的網格數，**H** 為模式預報與觀測皆有下雨的網格數，**R** 為隨機預報正確降雨的網格數，**N** 為校驗區域內網格點總數。
- 若模式未預測到實際降雨或預測降雨位置偏移，則會降低 **ETS** 分數，**ETS** 分數愈高代表模式降水預報愈準確，**ETS=1** 表示完美預報。



# 偏離係數 ( Bias )

|    |       | 觀測      |     |             |
|----|-------|---------|-----|-------------|
|    |       | Yes     | No  | total       |
| 模式 | Yes   | A (=H)  | B   | A+B = F     |
|    | No    | C       | D   | C+D         |
|    | total | A+C = O | B+D | A+B+C+D = N |

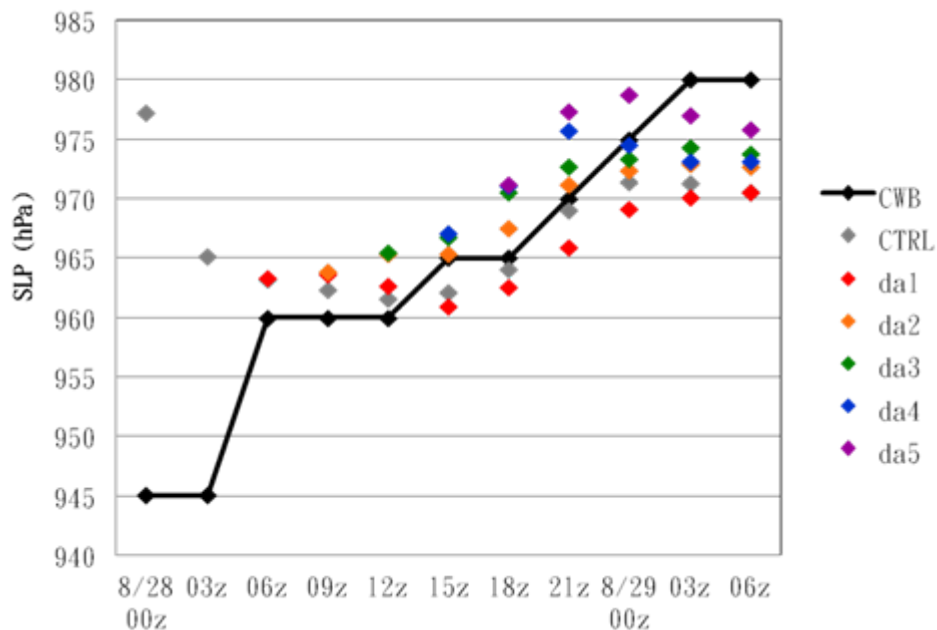
- **Bias** 為模式預報降水大於某特定門檻值的網格點數與觀測雨量值大於此門檻值網格點數的比值：

$$\text{Bias} = \frac{F}{O} = \frac{A + B}{A + C}$$

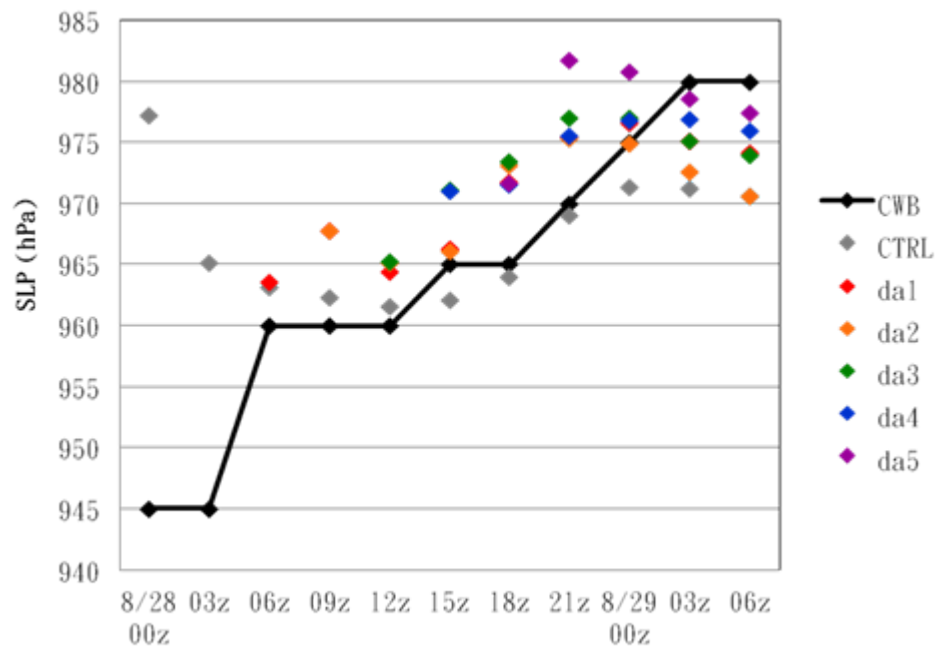
- **Bias** 值越接近 1 表示越接近觀測，大於 1 代表模式高估降水，小於 1 為模式低估降水。
- **Bias** 只統計模式與觀測降水發生的網格點數，對於降水位置的空間分布較無法準確得知。

# 海平面氣壓

R1



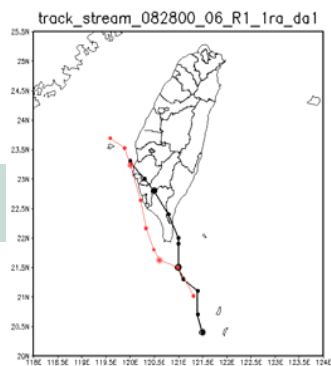
R2



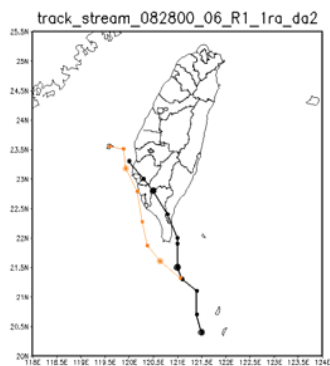
- CTRL run從初始時間00UTC 經六小時 spin up 調整出與觀測接近的颱風強度。
- 於06UTC開始進行資料同化循環實驗；颱風出海後（06UTC），在R1和R2兩組實驗中可看出同化循環次數越多，模擬出的颱風強度與觀測越接近，其中R2的中心最低氣壓值比R1更接近觀測值。

# 颱風路徑

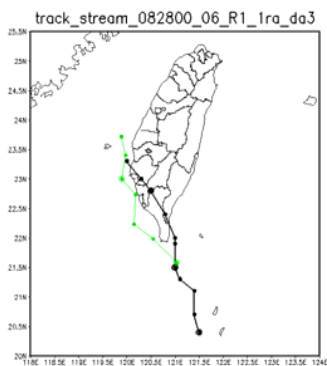
R1



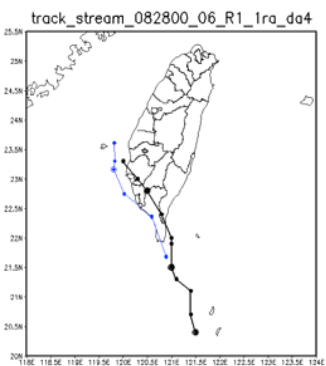
DA1



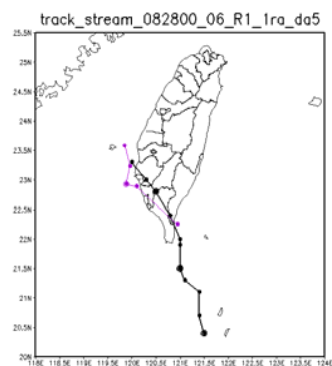
DA2



DA3



DA4

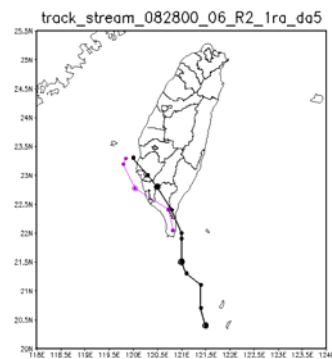
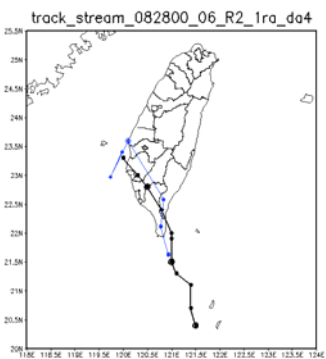
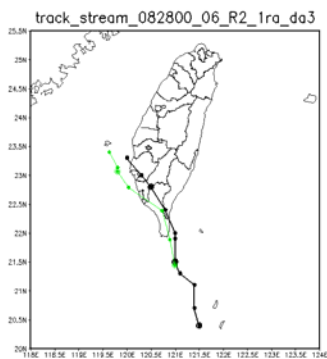
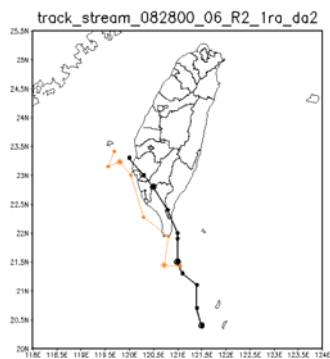
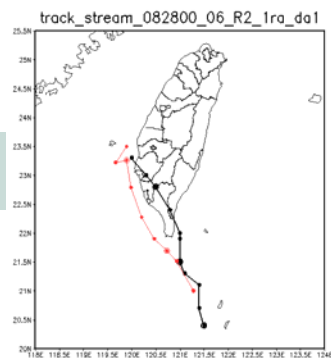


DA5

有修正

移動方向和速度  
有較明顯的修正

R2



有修正

29日00UTC 偏北

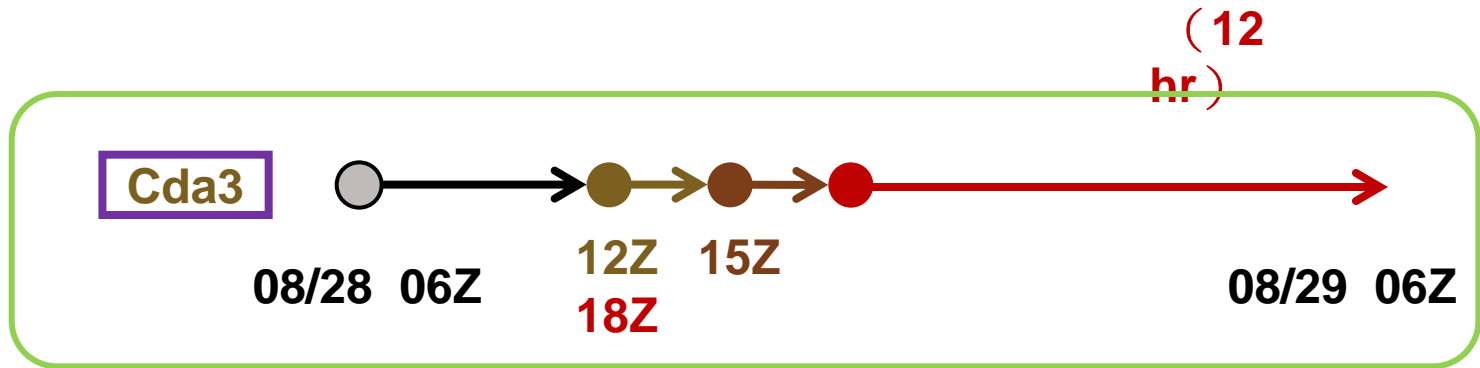
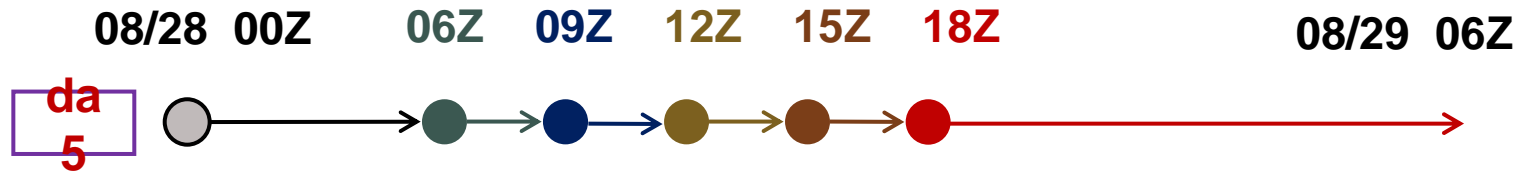
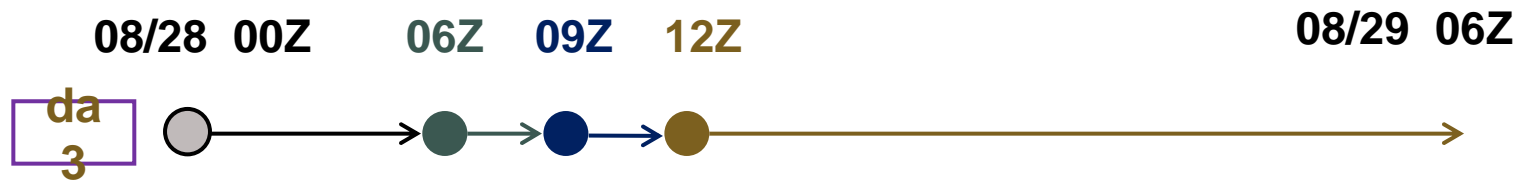
與最佳路徑最接近

# 同化循環實驗測試 (R2)

- 最大雷達回波
- 颱風路徑
- 累積雨量&驗證
- 比較模擬初始時間相同情況下，相同影響半徑但不同同化循環次數對模擬結果的影響



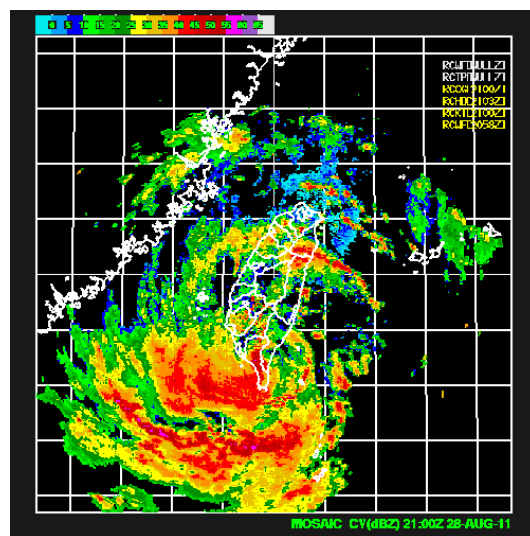
# 同化循環實驗設計



# 雷達回波

08/28 21Z

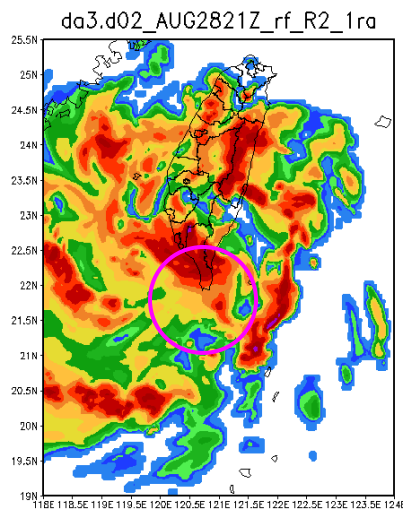
CWB



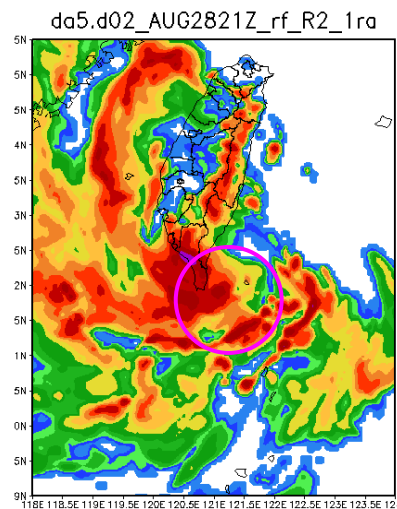
屏東地區有模擬出較強的回波，但台灣南部海上的強回波雨帶模擬結果不理想

台灣海峽上雖有過強的回波，但屏東和南邊海上皆有模擬出與觀測接近的兩條強雨帶

Cda3



da5

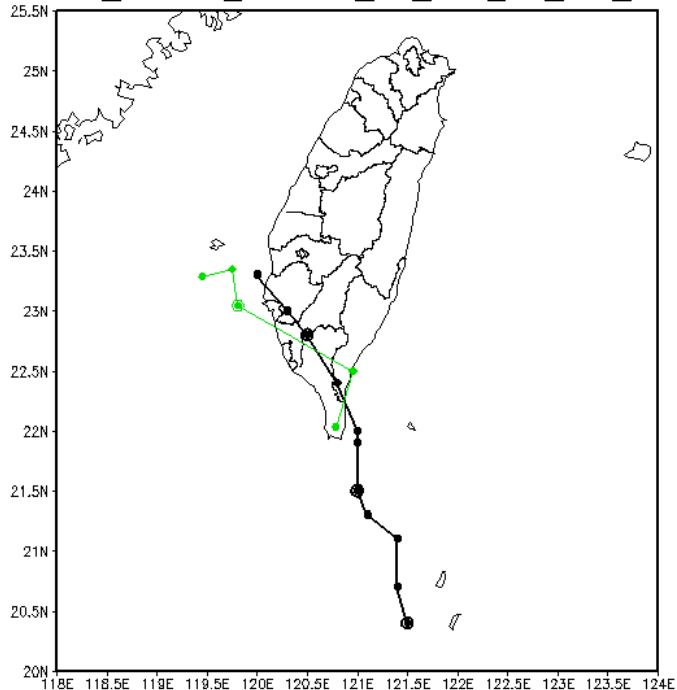


# 颱風路徑

08/28 00Z ~ 29 06Z

Cda3

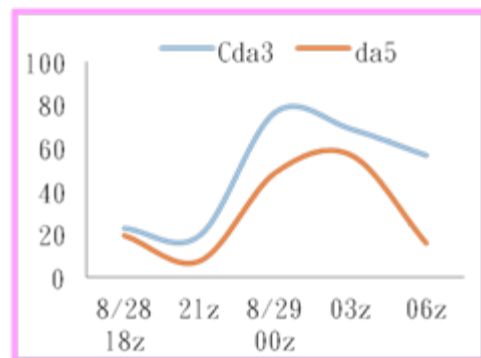
track\_stream\_082806\_12\_24h\_R2\_1ra\_da3



黑：Best track

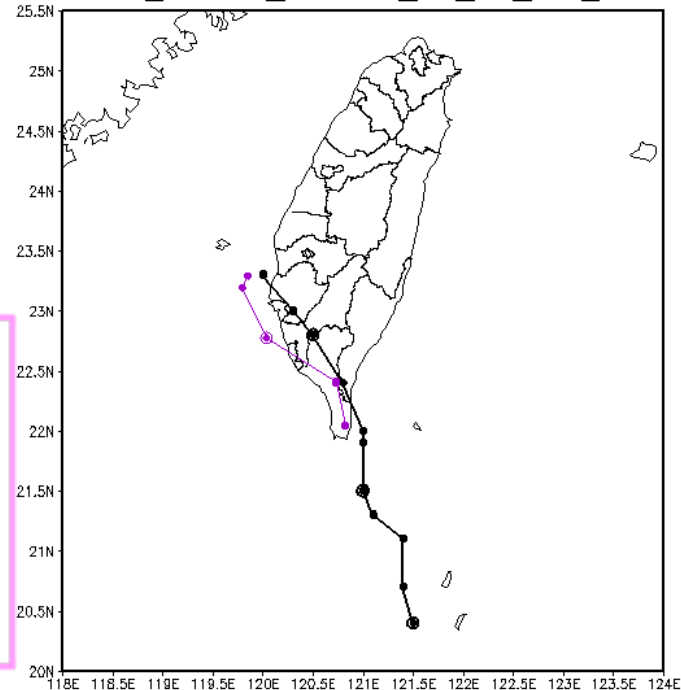
綠：Cda3

紫：da5



da5

track\_stream\_082800\_06\_R2\_1ra\_da5

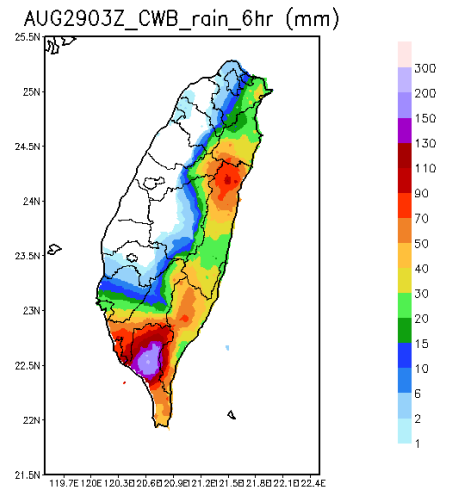


- 8/29 00UTC，da5 比 Cda3 離最佳路徑的中心位置近
- 0600UTC，da5 的颱風中心位置很接近最佳路徑，Cda3 因颱風移速過快使中心位置與最佳路徑相差甚遠

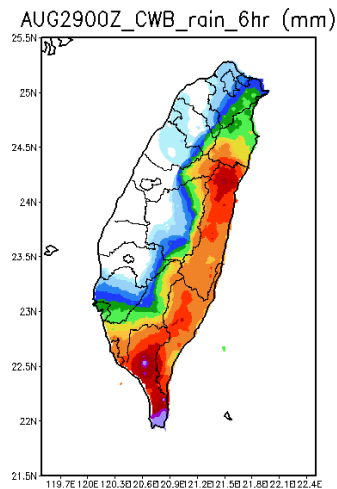
# 6hr累積雨量

08/29 (00z)

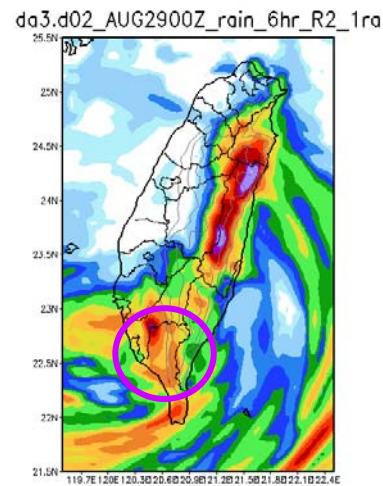
Cda3 在花蓮地區有高估的情形  
da5 在屏東山區也有高估情形



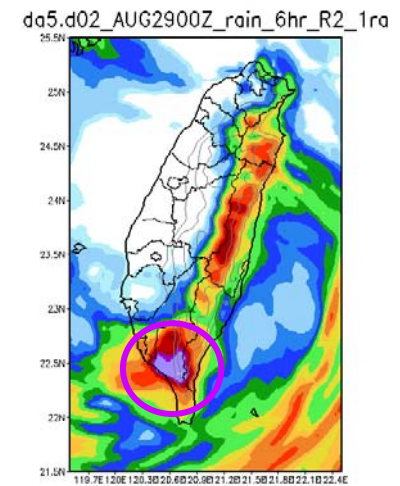
GWIS: CMA/IGES



CWB



Cda3

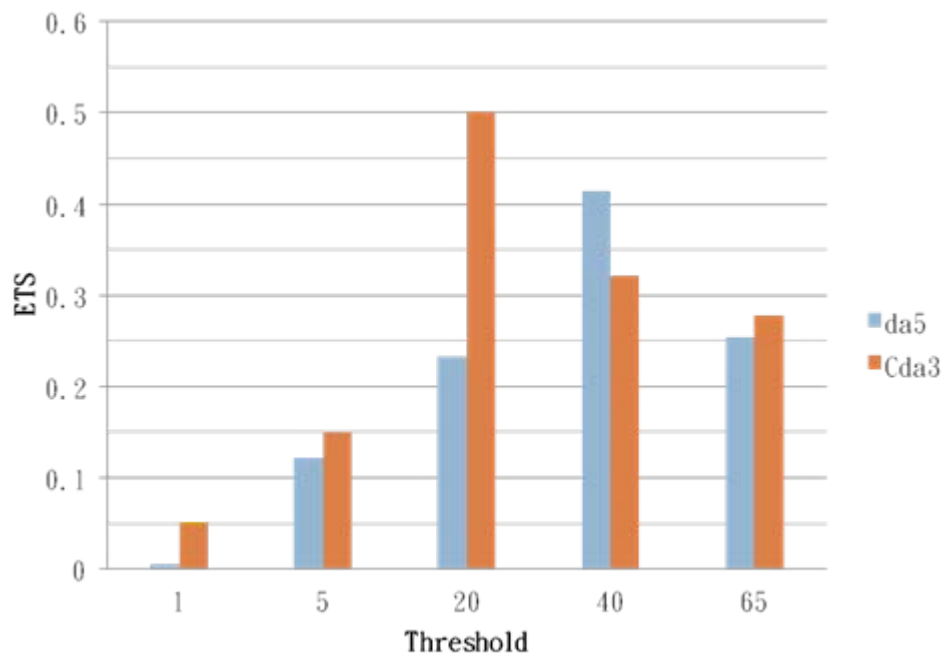


da5

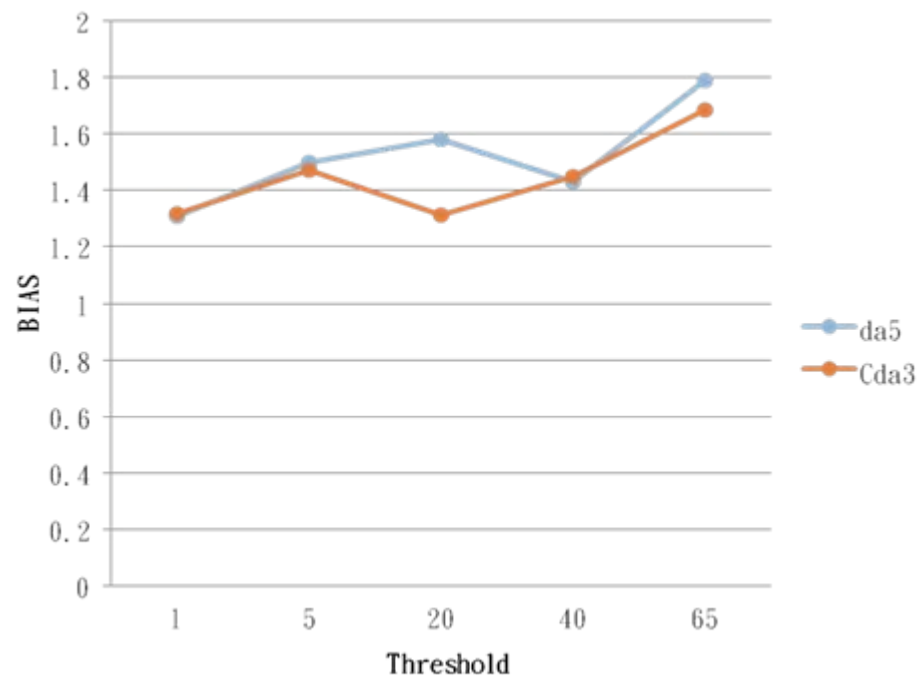


# 雨量驗證

Cda3



da5



da3 有模擬出花蓮地區的降雨，在大雨時的ETS 得分較da5高

Cda3 沒有模擬到屏東地區強降雨區，使 Cda3 在豪雨的 ETS 得分較 da5 低

# 未來工作

- 目前只同化氣象局所屬的墾丁雷達的徑向風資料，未來會試著將花蓮、七股和五分山雷達徑向風資料加進3DVAR中，希望能藉此對模式初始場修正效果更好，使模擬結果能更準確。
- 測試循環實驗的同化時間間距或改變模式spin up 時間，期望能使颱風的模擬結果能更趨於觀測。



# 3D-VAR

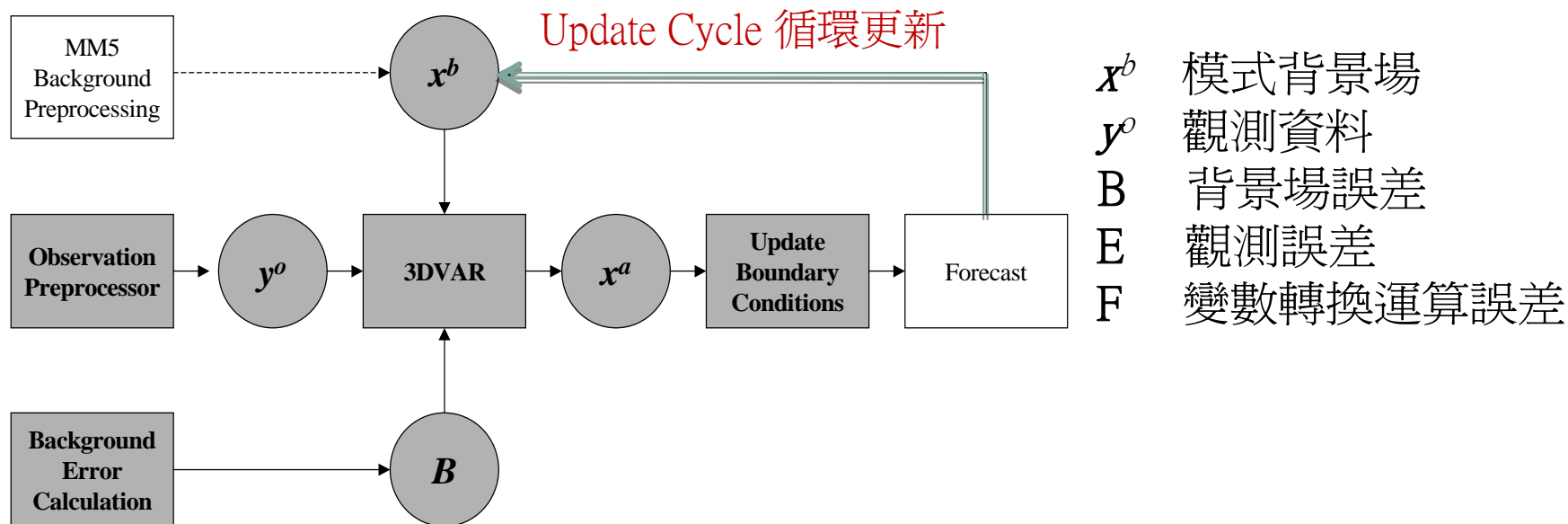
平衡方程是以理查森方程為基礎，利用連續方程、絕熱的熱動力方程以及靜力方程所求得

$$\gamma p \frac{\partial w}{\partial z} = -\gamma p \bar{\nabla} \cdot \bar{V}_h - \bar{V}_h \cdot \bar{\nabla} p + g \int_z^\infty \bar{\nabla} \cdot (\rho \bar{V}_h) dz$$

- (1) 其中的連續方程比不可壓縮連續方程以及非彈性連續方程有較高階的近似
- (2) 理查森方程直接包含熱動力方程，因此它能有效的連結動力與熱動力場之間的關係
- (3) 假設在靜力與絕熱大氣條件下，連續方程中的空氣密度項則可以省略，避免了複雜的計算過程

# 3D-VAR

$$J(\mathbf{x}) = J^b + J^o = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b) + \frac{1}{2}(\mathbf{y} - \mathbf{y}^o)^T (\mathbf{E} + \mathbf{F})^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{y}^o).$$



# 3D-VAR

雷達徑向風觀測變數轉換 Observation Operator

$$V_{r,i} = u \frac{x - x_i}{r_i} + v \frac{y - y_i}{r_i} + (w - V_T) \frac{z - z_i}{r_i}$$

雨滴終端速度  $V_T$  Sun and Crook (1997)

$$V_T = 5.40a(\rho q_r)^{0.125} \quad a = (p_0 / \bar{p})^{0.4}$$

模式初始場不包含液態水含量 ( $q_r$ )

Sun and Andrew (1997)的雷達回波與液態水含量的關係式

$$Z = 2.04 \times 10^4 (\rho q_r)^{1.75}$$