



2025年8月18日花蓮短延時強降雨個案之 雷達資料同化研究

梁佳齡¹、陳致穎²、蔡世樵¹、葉南慶³、劉崇治⁴

¹國防大學理工學院環境資訊及工程學系

²中央研究院環遷中心

³空軍航空技術學院軍事氣象系

⁴明新科技大學資訊工程系



大綱

★ 前言

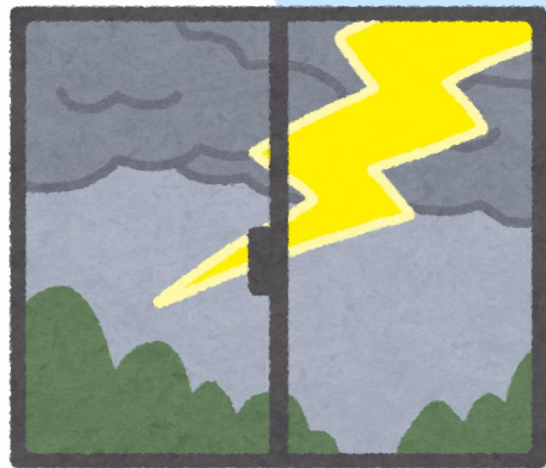
★ 研究資料與方法

★ 結果與討論

★ 結論

★ 參考資料





研究背景

- 全球暖化與氣候變遷使短延時強降雨事件的頻率與強度增加 (Fowler et al., 2021) 。
- 極端降雨易引發淹水、洪水、土石流及坡地崩塌，威脅生命財產與基礎設施 (Dodman et al., 2022) 。
- 臺灣地形複雜，中央山脈與大氣環流交互作用，容易形成局地強對流與短時強降雨 (Houze, 2012) 。
- 強對流具有發展快速、生命週期短及空間尺度小等特性，數值預報仍具高度挑戰 (Sun et al., 2014) 。

雷達資料同化

- 氣象雷達具高時間與空間解析度，可即時掌握降水結構、反射率及風場 (Doviak and Zrnić, 1993) 。
- 將雷達觀測資料同化至數值模式，可修正初始場及改善動力、熱力結構 (Sun and Crook, 1997) 。
- 過去研究顯示，雷達資料同化可改善對流發展、降雨強度與空間分布 (Xiao et al., 2005) 。

研究缺口

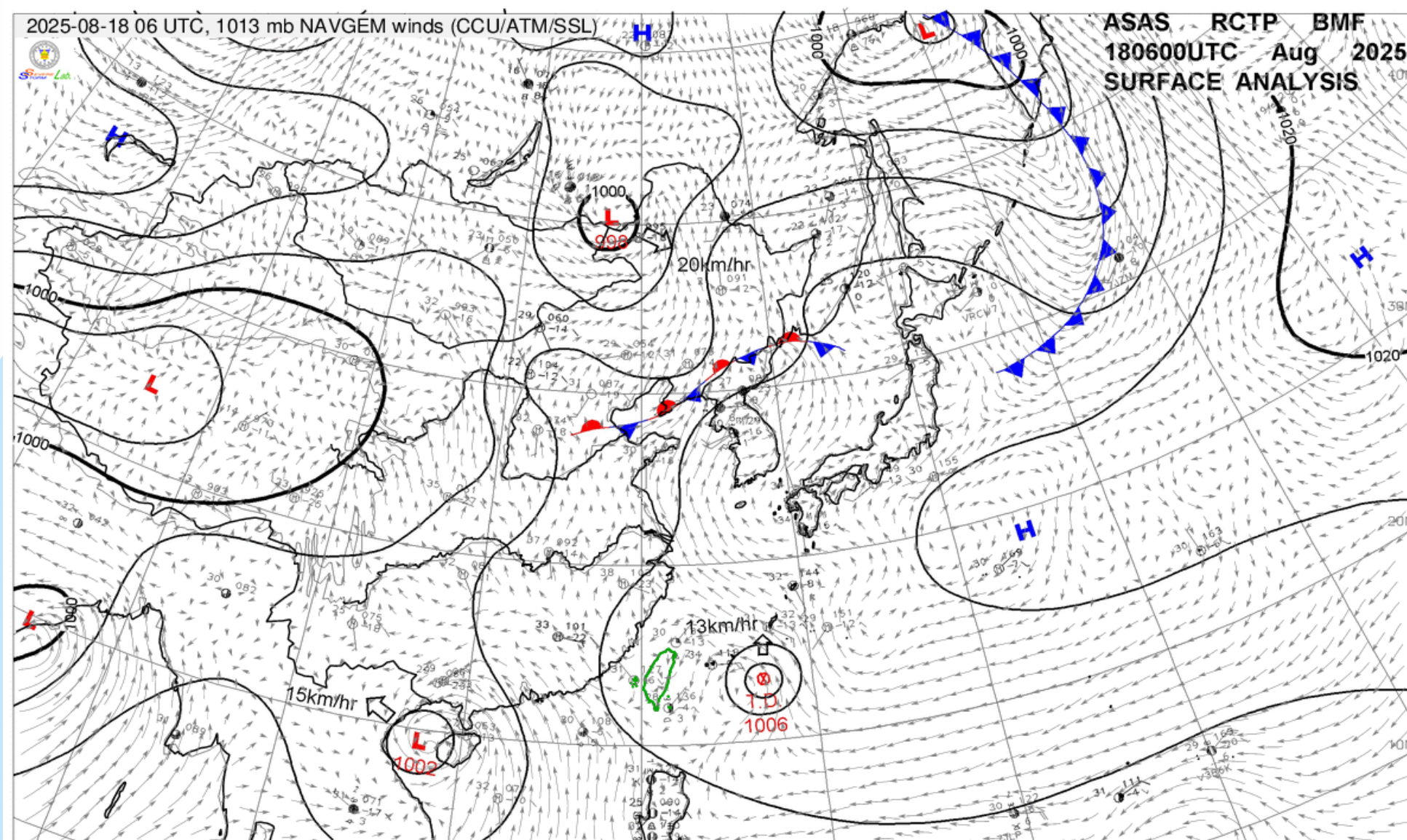
- 國內研究多使用中央氣象署S波段雷達資料。
- 軍方氣象雷達資料同化研究仍相對有限。
- 軍方雷達對短延時強降雨預報的效益，尚缺乏系統性評估。

研究目的

- 以2025年8月18日花蓮短延時強降雨個案為研究對象。
- 利用WRF-GSI同化空軍花蓮降雨雷達徑向風資料。
- 評估雷達資料同化對降雨模擬的改善效益。
- 探討循環同化的預報表現。
- 比較背景誤差縮放係數的敏感度。
- 分析風場、水氣與對流結構改善的可能物理機制。
- 提供軍方短延時降雨預報及防災決策支援之參考。



2.1 個案概述



- ✓ **綜觀天氣**
 - 熱帶性低氣壓位於臺灣東部近海
 - 滯留鋒面自日本海延伸至華北地區
 - 受低壓環流及局地海陸風環流共同影響
 - 700 hPa以下主要受東北風至東風環流影響

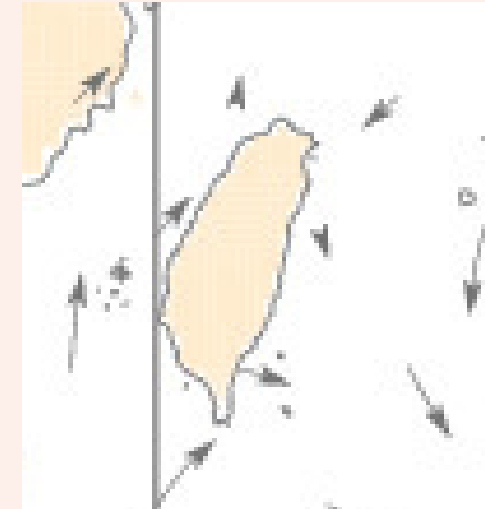
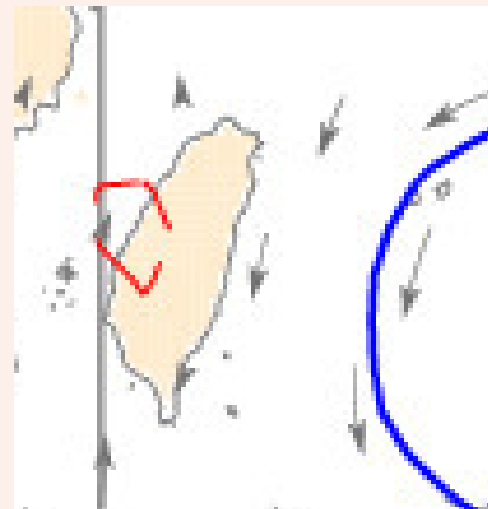
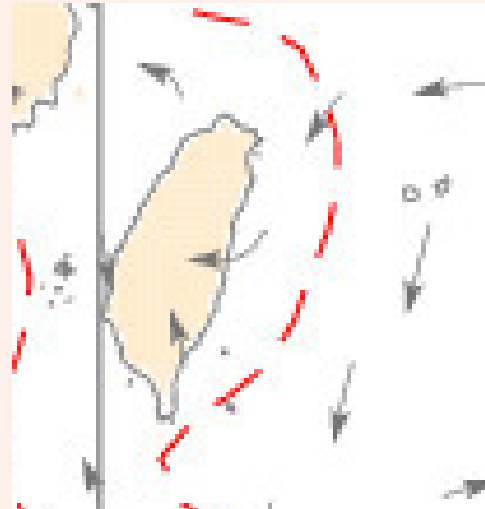
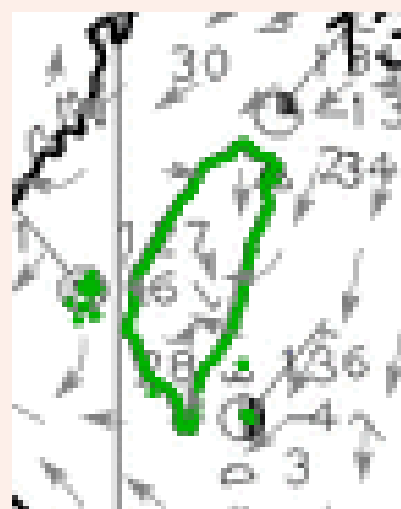
- ✓ **雷達資料**
 - 花蓮秀林強對流系統45~55dBz
 - 降水結構呈南北向延伸雨帶
 - 主要分布於花蓮與宜蘭交接沿海一帶

sfc

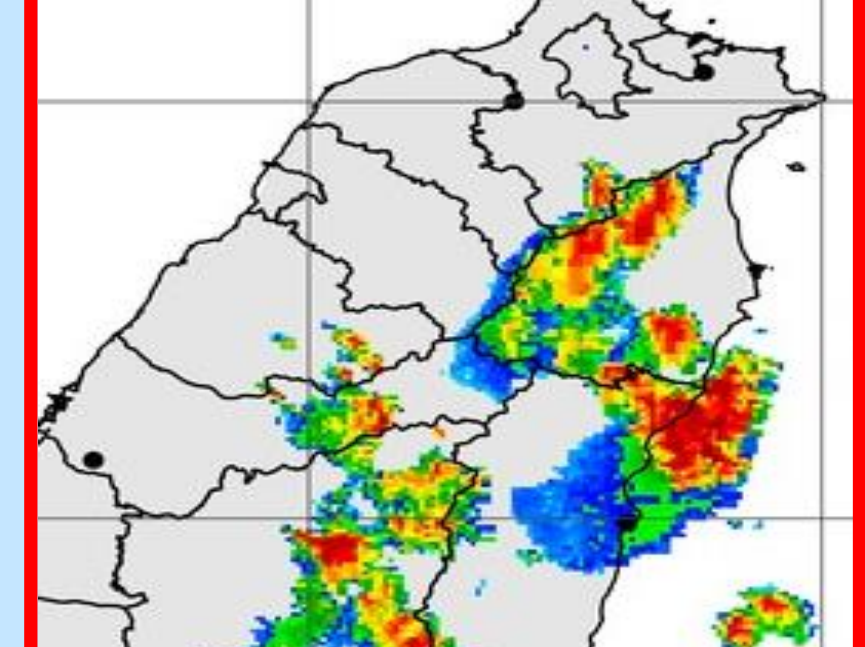
925 hPa

850 hPa

700 hPa

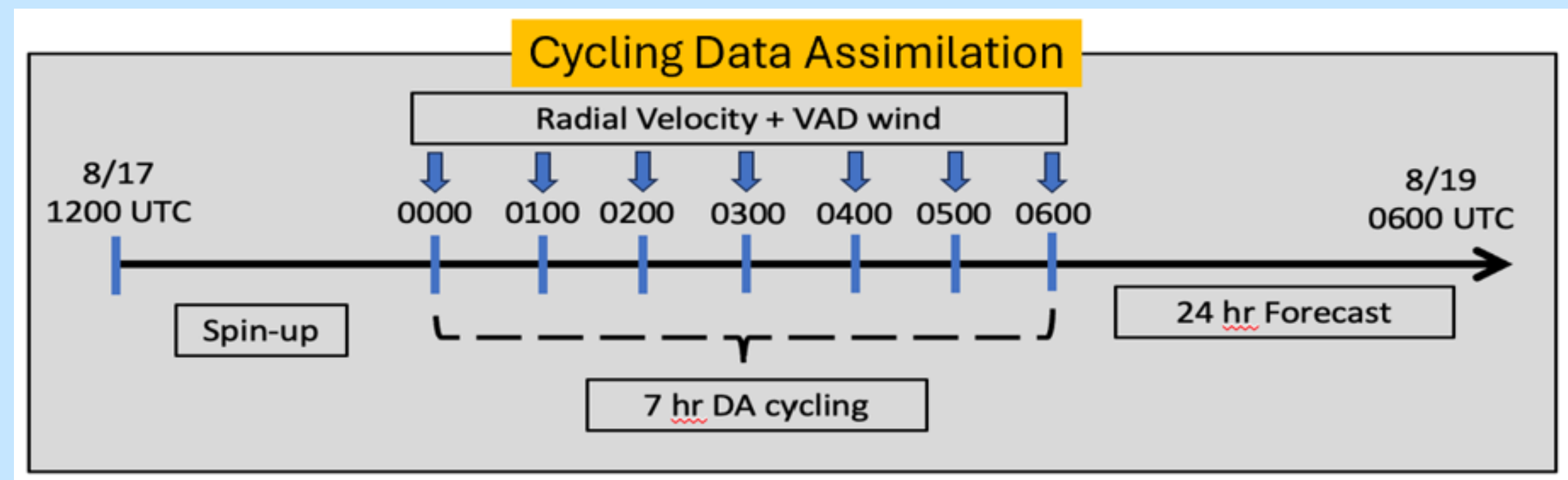
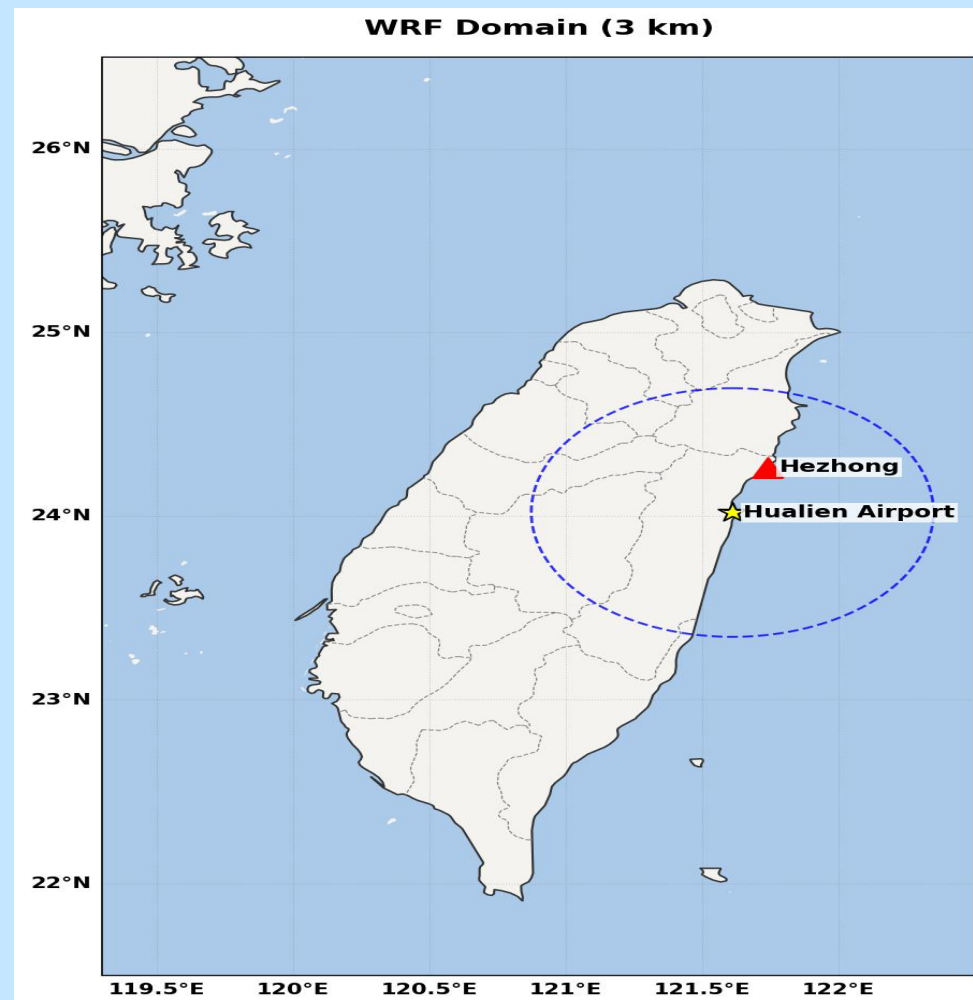


2025/08/18 1800L



2.2 WRF-GSI模式架構與設定實驗設計

實驗組別	雷達資料同化	同化方式	背景誤差縮放係數	暖啟動時間	實驗目的
CTRL	無	不進行同化	—	12 h	作為模式基準實驗
Less spin up	無	不進行同化	—	6 h	較短的暖啟動時間
Cycling DA	VAD 水平風場	同化8/18 00-06UTC 計7次	0.02、0.04、0.09	6 / 12 h	評估多次更新分析場對 強降雨模擬的改善效益 8組實驗



3.1 雷達VAD風場品質與時間一致性評估

VAD風場合理性評估

- 以 ERA5再分析資料作為大尺度環境風場參考，比較VAD水平風場垂直剖面。
- ERA5並非絕對真值，主要用於評估兩者在風向、風速及時間變化上的一致性。
- VAD利用不同仰角之徑向速度隨方位角變化，反演各高度層平均緯向風與經向風。
- VAD反演假設同一高度層的水平風場近似均勻。

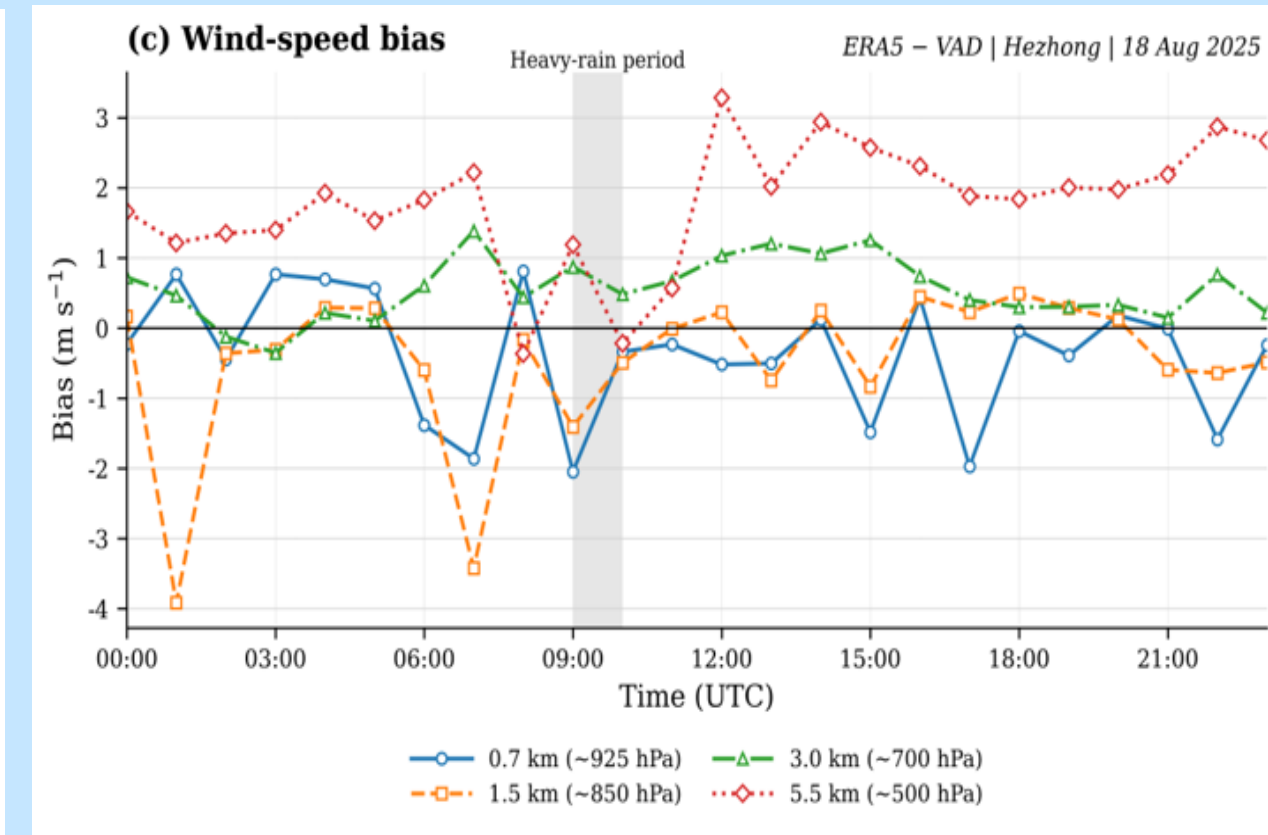
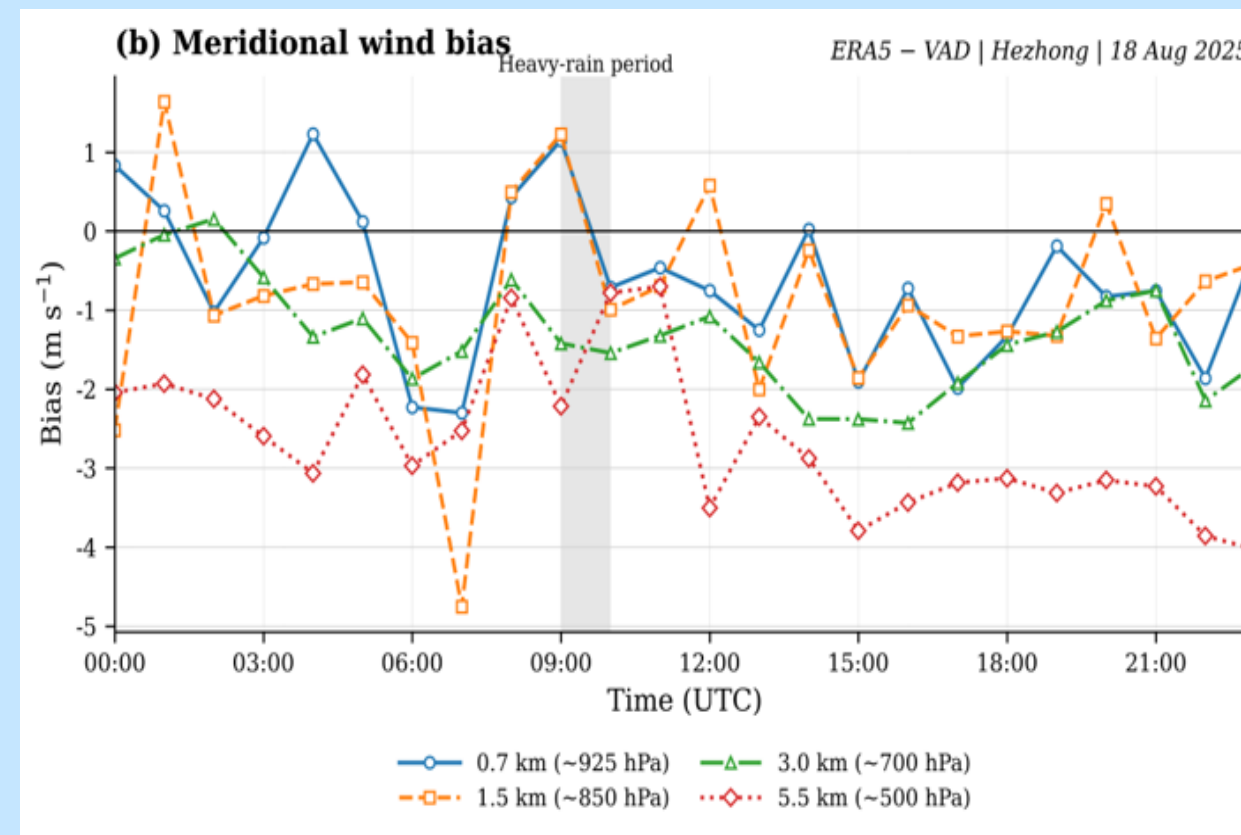
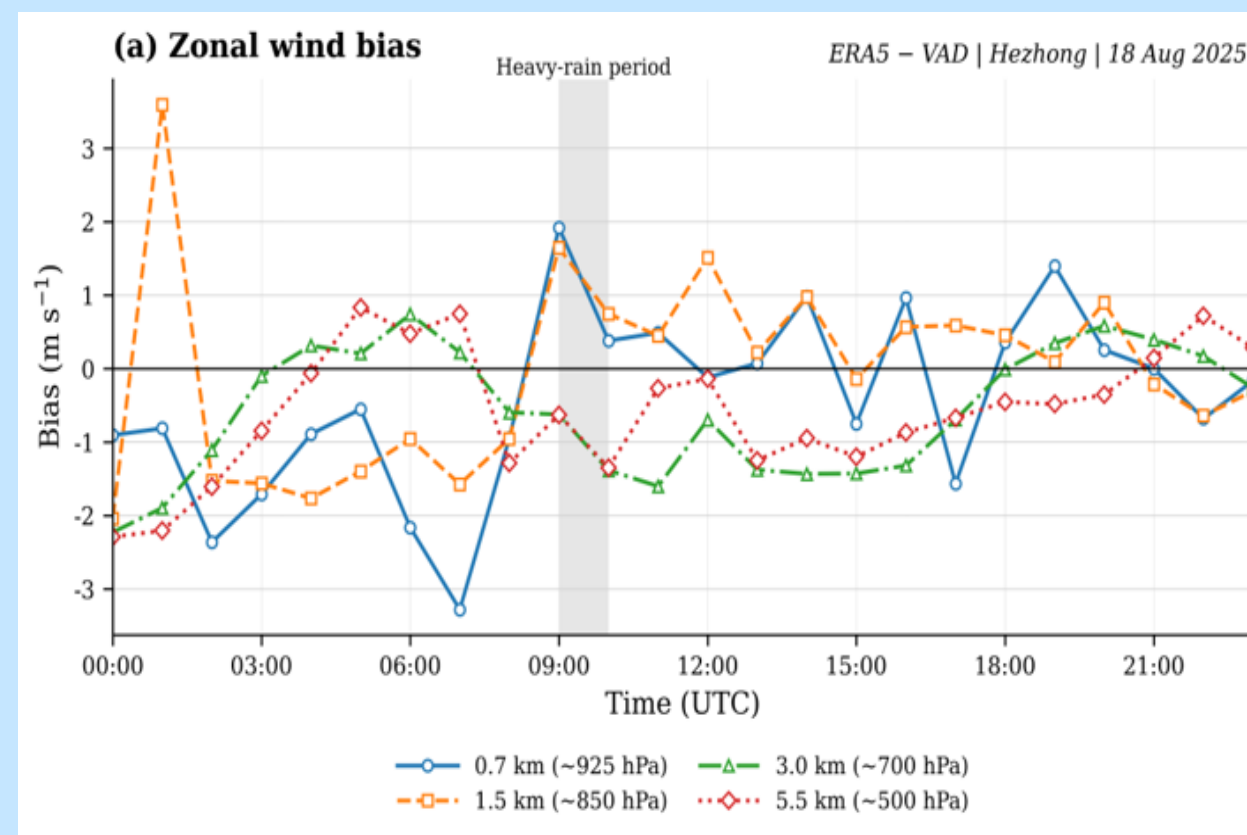
ERA5與VAD垂直座標一致化

- VAD以幾何高度 z 為垂直座標，垂直解析度約100 m。
- ERA5以標準氣壓層 p 為垂直座標。
- 選取最接近花蓮雷達之ERA5網格點，利用位勢高度建立高度座標。
- 將ERA5的 u 、 v 風場線性內插至VAD有效觀測高度後進行比較。

資料	性質	用途
雷達徑向風 (V_r)	雷達直接觀測	經品質控制後，輸入WRF-GSI進行同化
VAD的 (u 、 v)	由徑向風反演	與ERA5比較、品質控制及合理性檢查
模式 (u 、 v 、 w)	數值模式預報變數	經觀測運算子轉換成模擬徑向風

3.1 雷達VAD風場品質與時間一致性評估

$$\text{Bias} = \text{ERA5} - \text{VAD}.$$

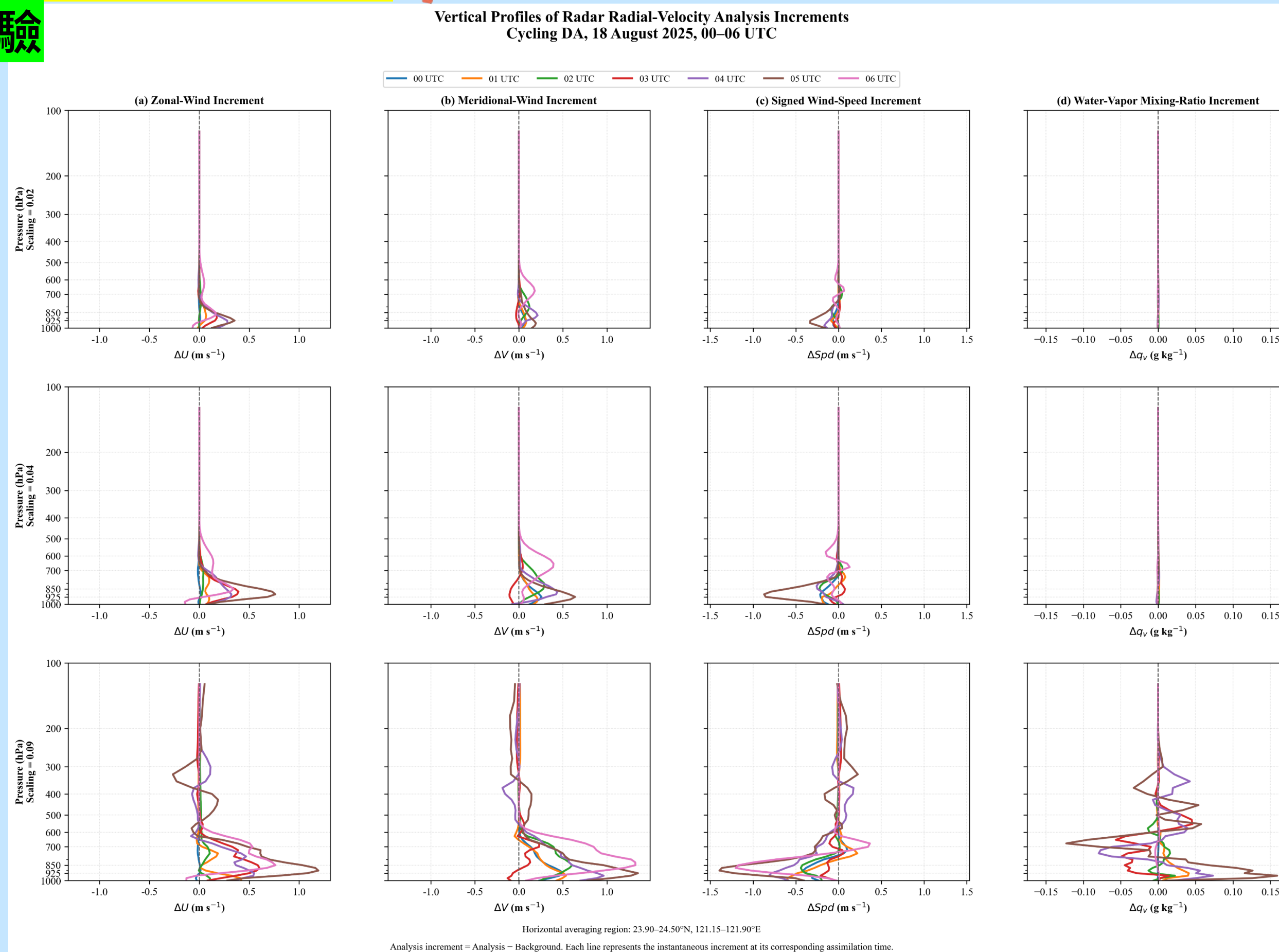


0.7 km (≈925 hPa)	逐時波動較明顯，多數時段 U、V 偏差在 ± 2 m/s 內，部分時段達 3–5 m/s；與海陸風、地形導引及局地對流擾動有關
1.5 km (≈850 hPa)	同屬邊界層範圍，偏差型態與 0.7 km 相近，反映局地低層環流受地形與海陸風快速調整
3.0 km (≈700 hPa)	偏差時間序列較平穩，U、V 多呈小幅負偏差，風速偏差偏零至小幅正值，中層演變趨勢一致性較佳
5.5 km (≈500 hPa)	V 分量呈較持續之負偏差，風速以正偏差為主，偏差幅度較中低層增大，可能與次網格地形效應、波束展寬有關

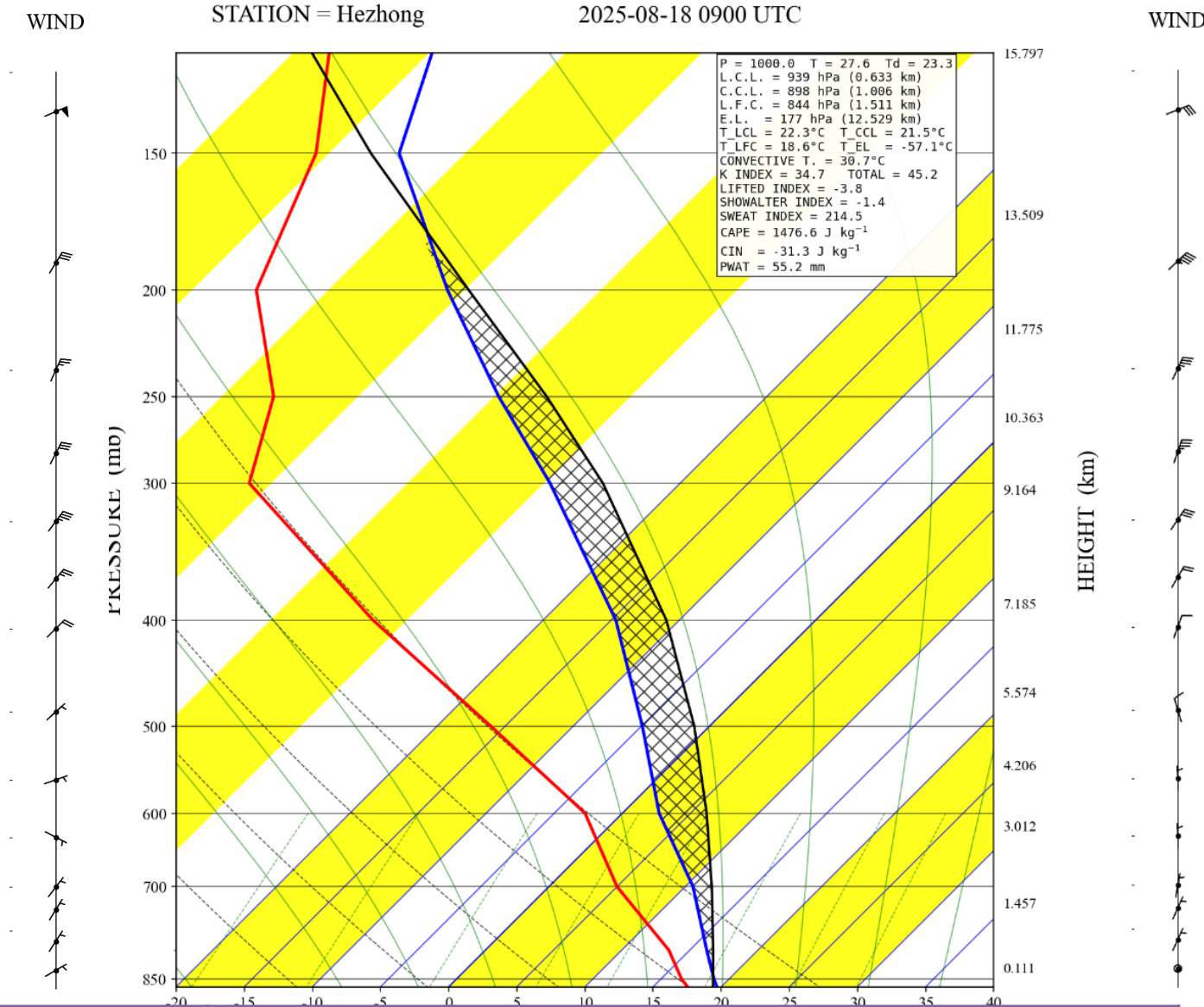
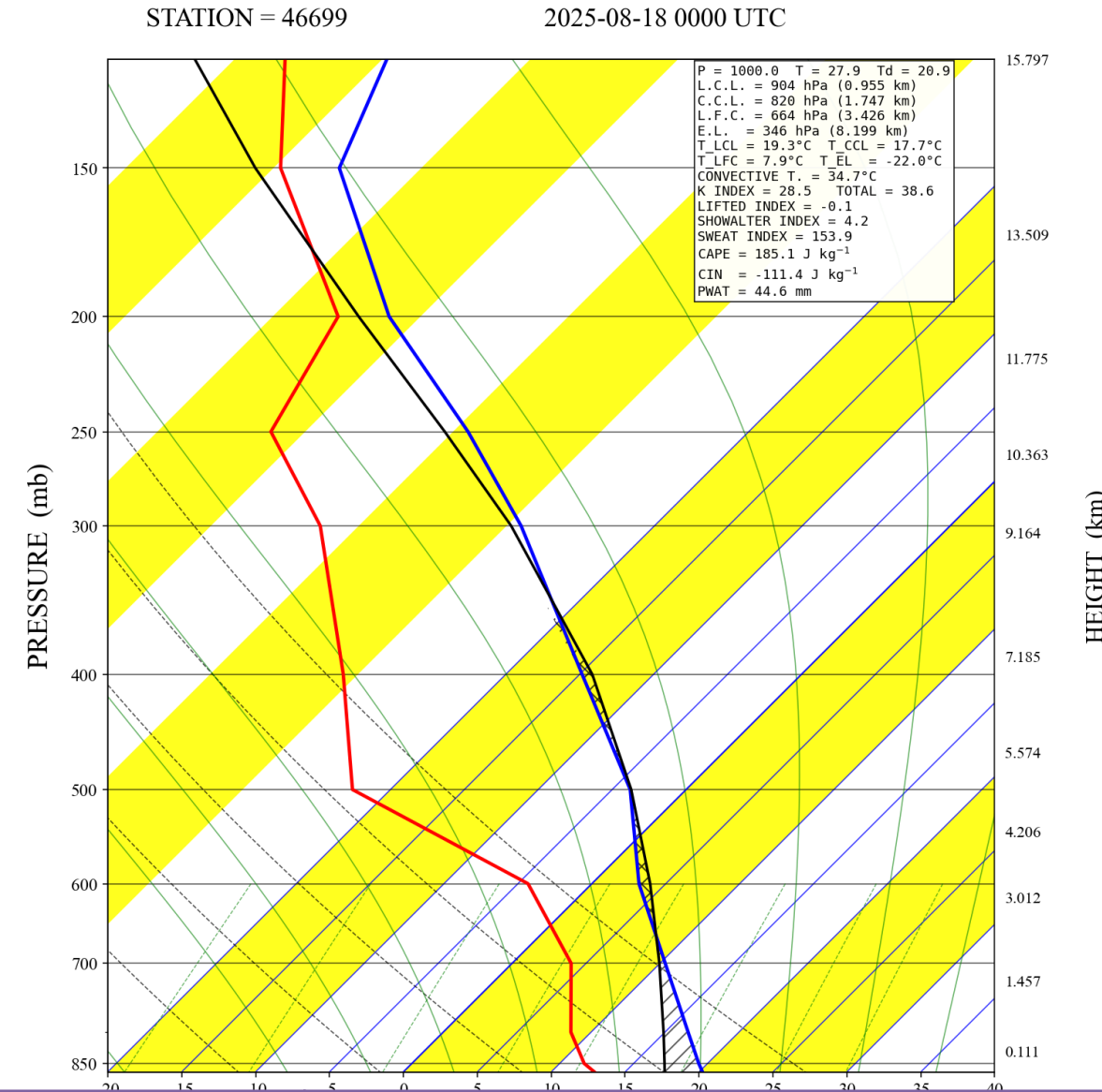
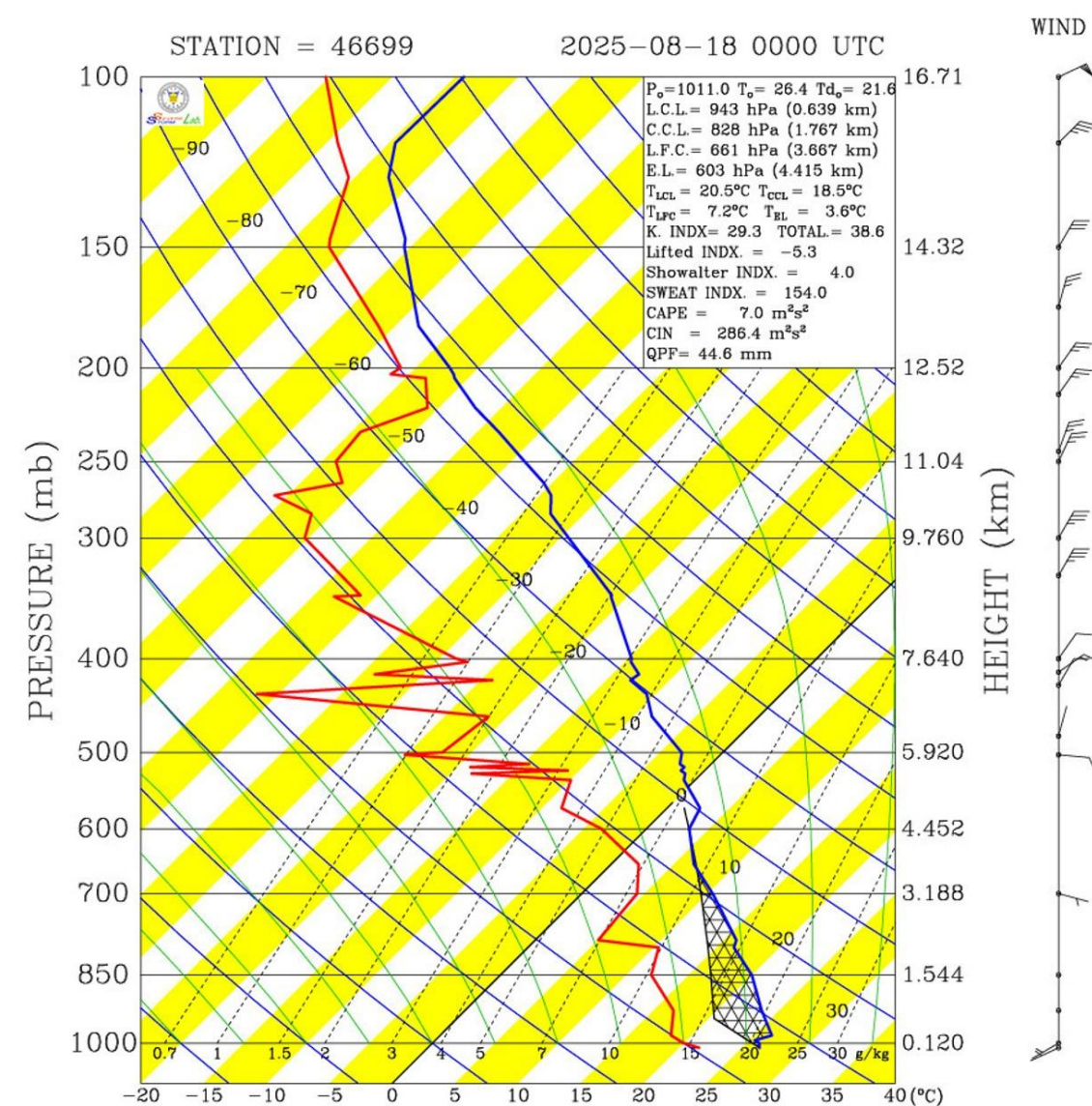


3.2 雷達徑向風同化之分析增量特徵

3.2.1 循環同化實驗

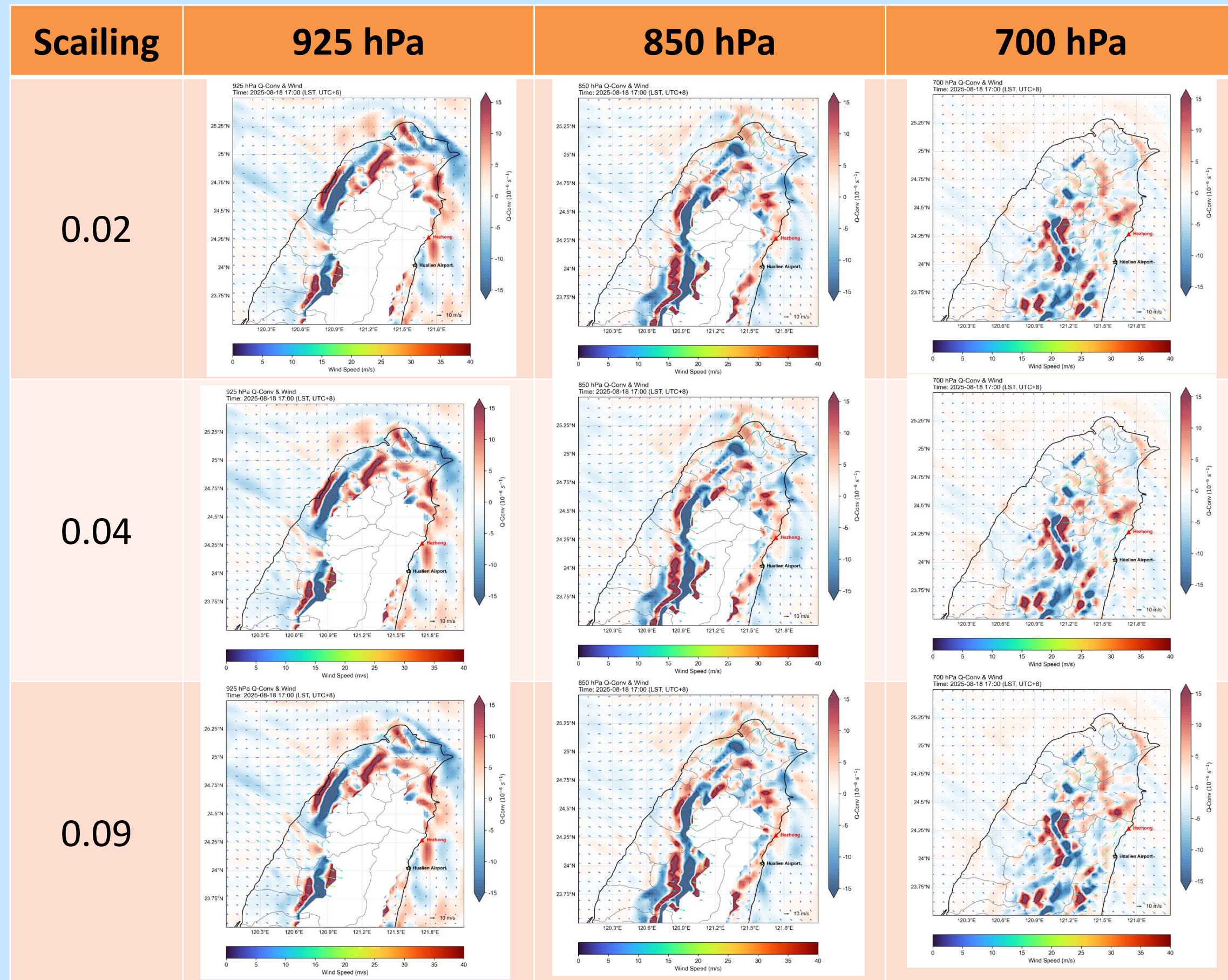


3.3個案熱力環境、對流潛勢演變與對流觸發機制



項目	2025-08-18 花蓮0000UTC的斜溫圖	ERA5再分析經雙線性空間插值繪製的0000UTC斜溫圖	ERA5再分析網格經過雙線性空間插值繪製的0900UTC斜溫圖
實際資料位置	花蓮探空站	和中附近ERA5格點經過雙線性空間插值	和中附近ERA5格點經過雙線性空間插值
資料來源	探空氣球實際觀測	ERA5再分析	ERA5再分析
LCL	943 hPa	904 hPa	939 hPa
EL	603 hPa	346 hPa	177 hPa
CAPE	7 J kg ⁻¹	185.1 J kg ⁻¹	1478.6 J kg ⁻¹
CIN	286.4 m ² s ²	-111.4 J kg ⁻¹	-31.3 J kg ⁻¹

3.4 水氣通量輻合分析



✓ 925 hPa

- 低層微弱東至東北風
- 中央山脈東側迎風坡形成集中之水氣通量輻合中心
- 和中一帶為輻合區

✓ 850 hPa

- 微弱東風
- 相較925 hPa，輻合中心略向山區內陸延伸

✓ 700 hPa

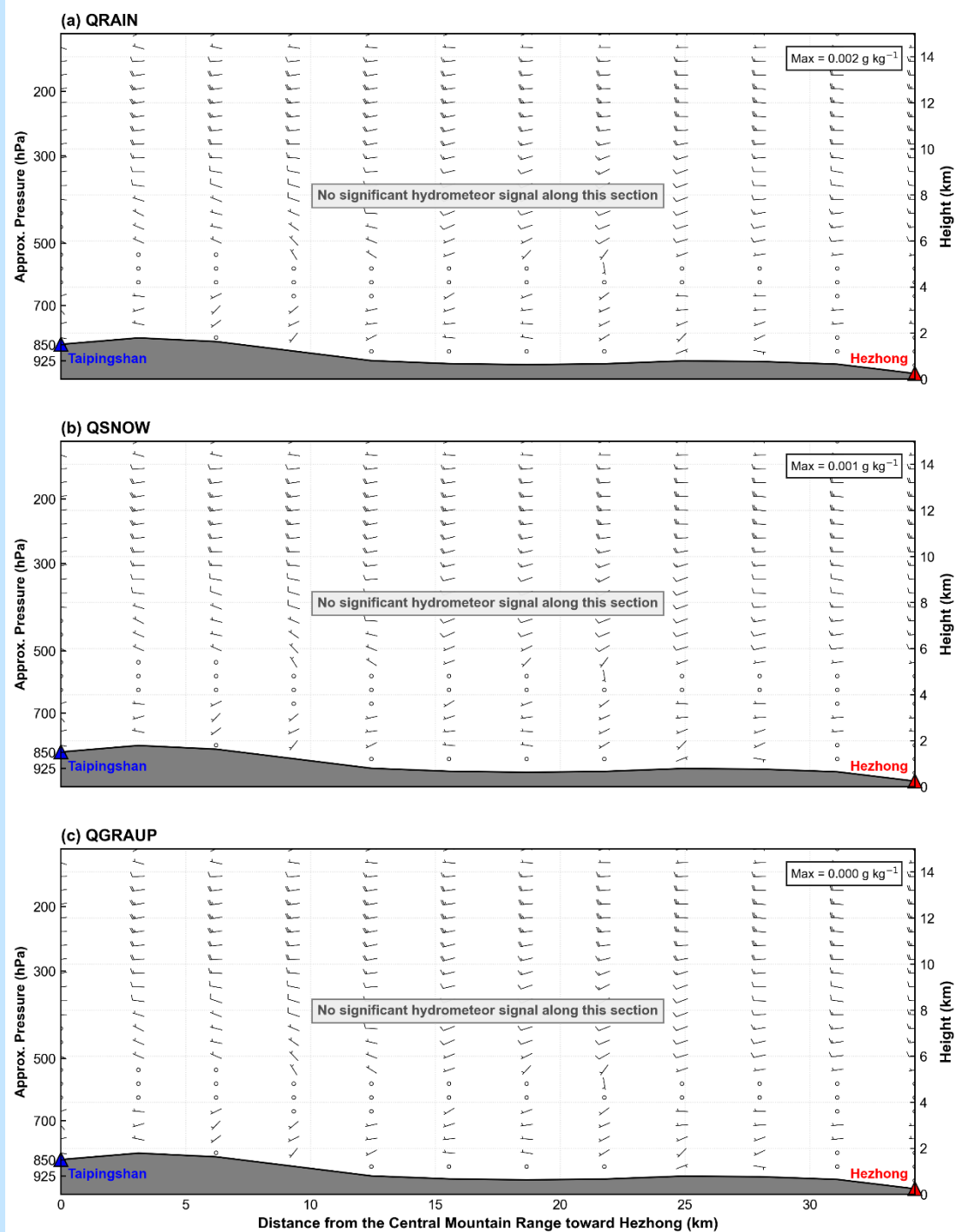
- 西南風
- 無明顯輻合輻散

3.5 對流結構演變分析

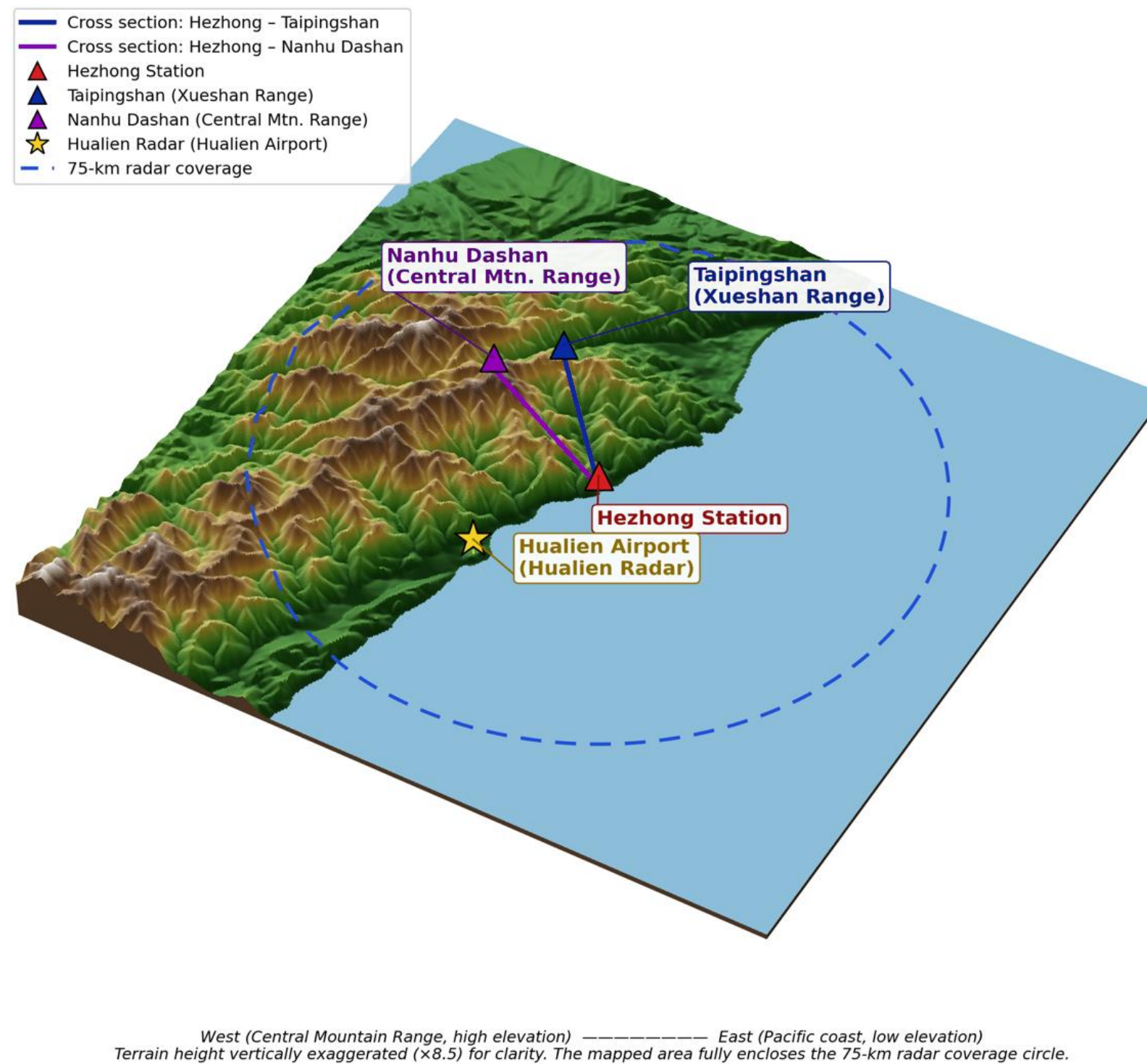
3.5.1 模式模擬水成物垂直結構

NoDA

Hydrometeor Vertical Cross Sections from the Taipingshan Range to Hezhong Stat
2025-08-18 09:00 UTC(single da scaling 0.04)

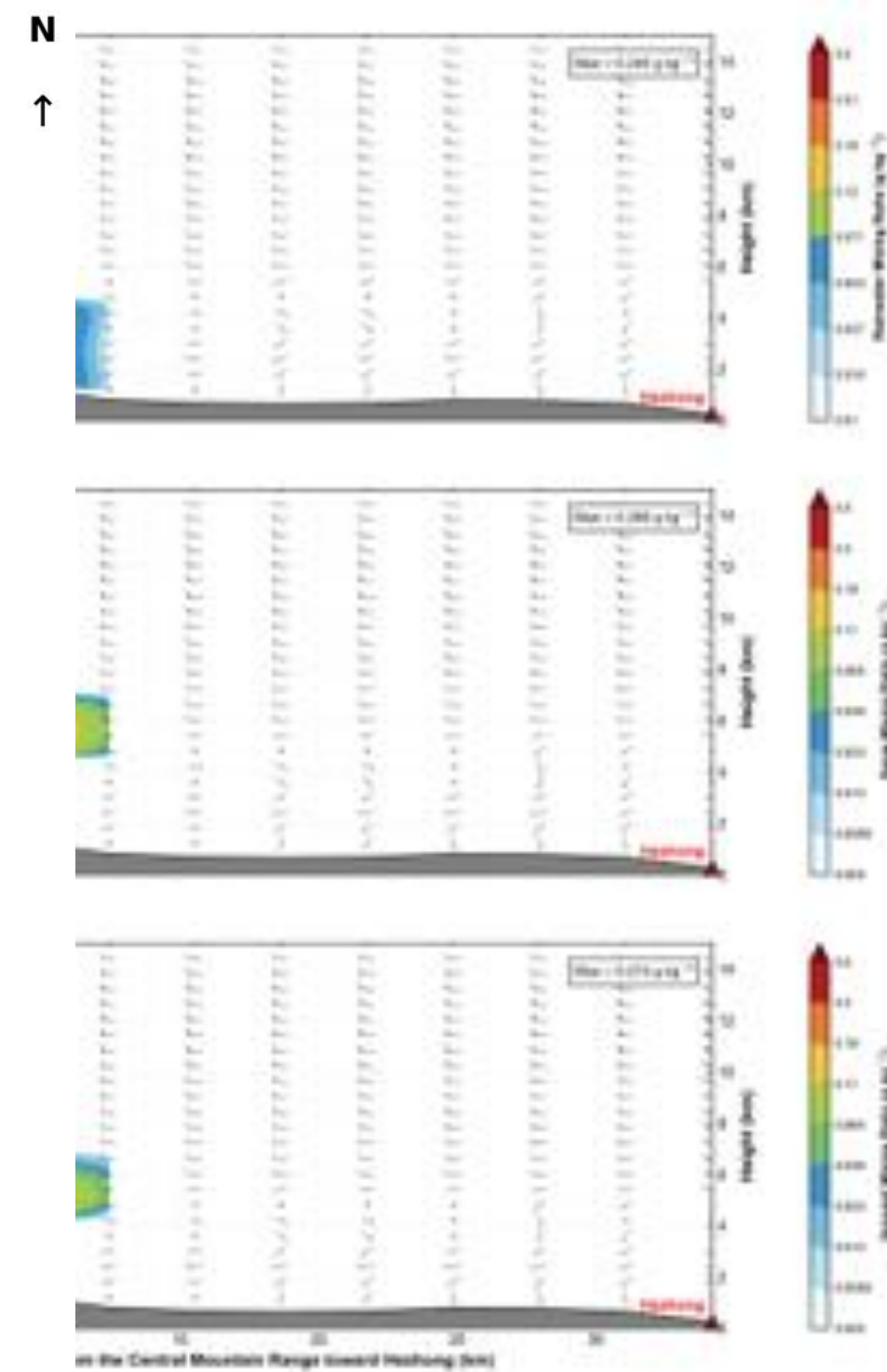


Cross Sections from Hezhong Station, Northeastern Taiwan
(Three-dimensional relief view, SRTM-3 90 m)



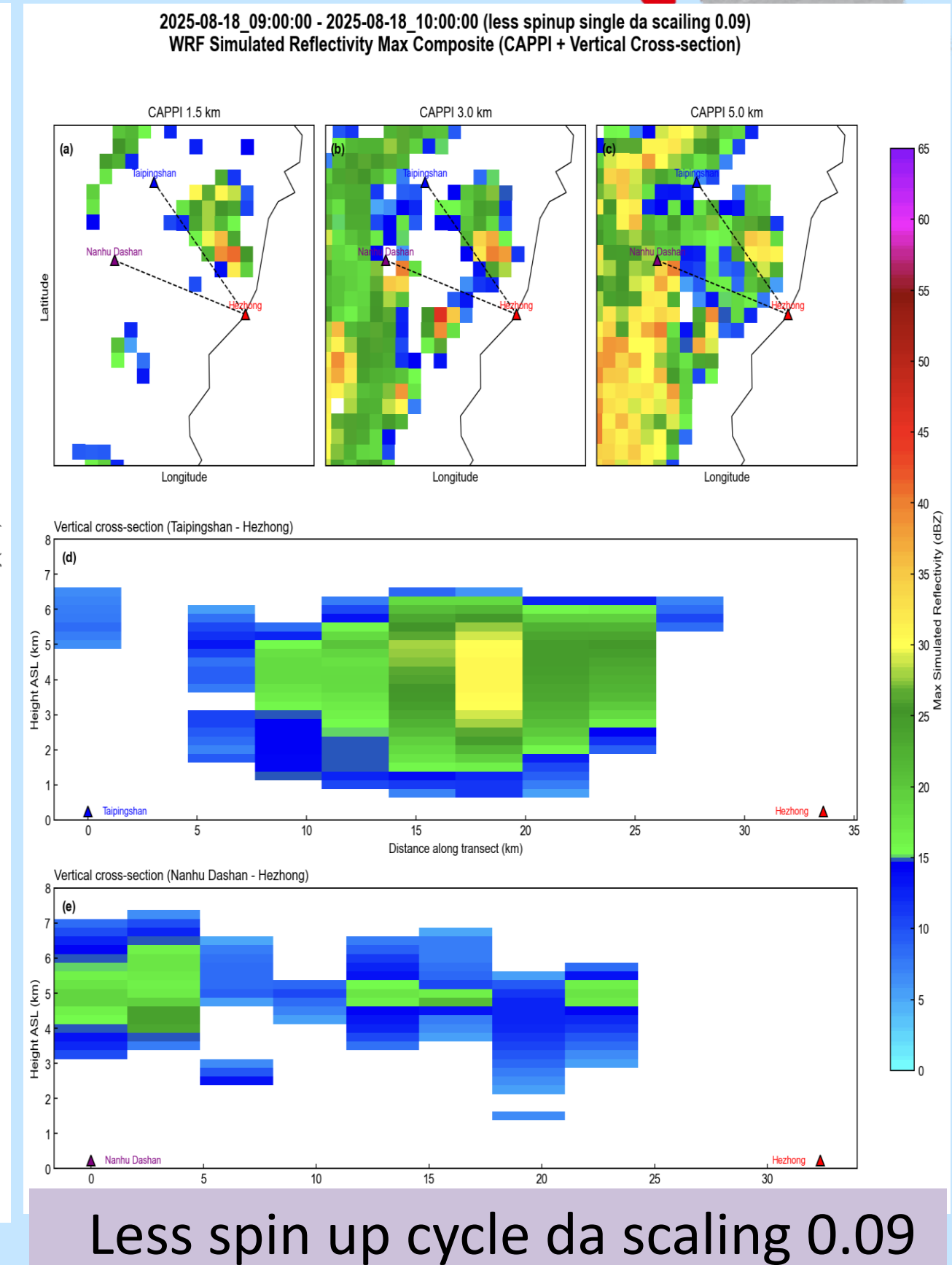
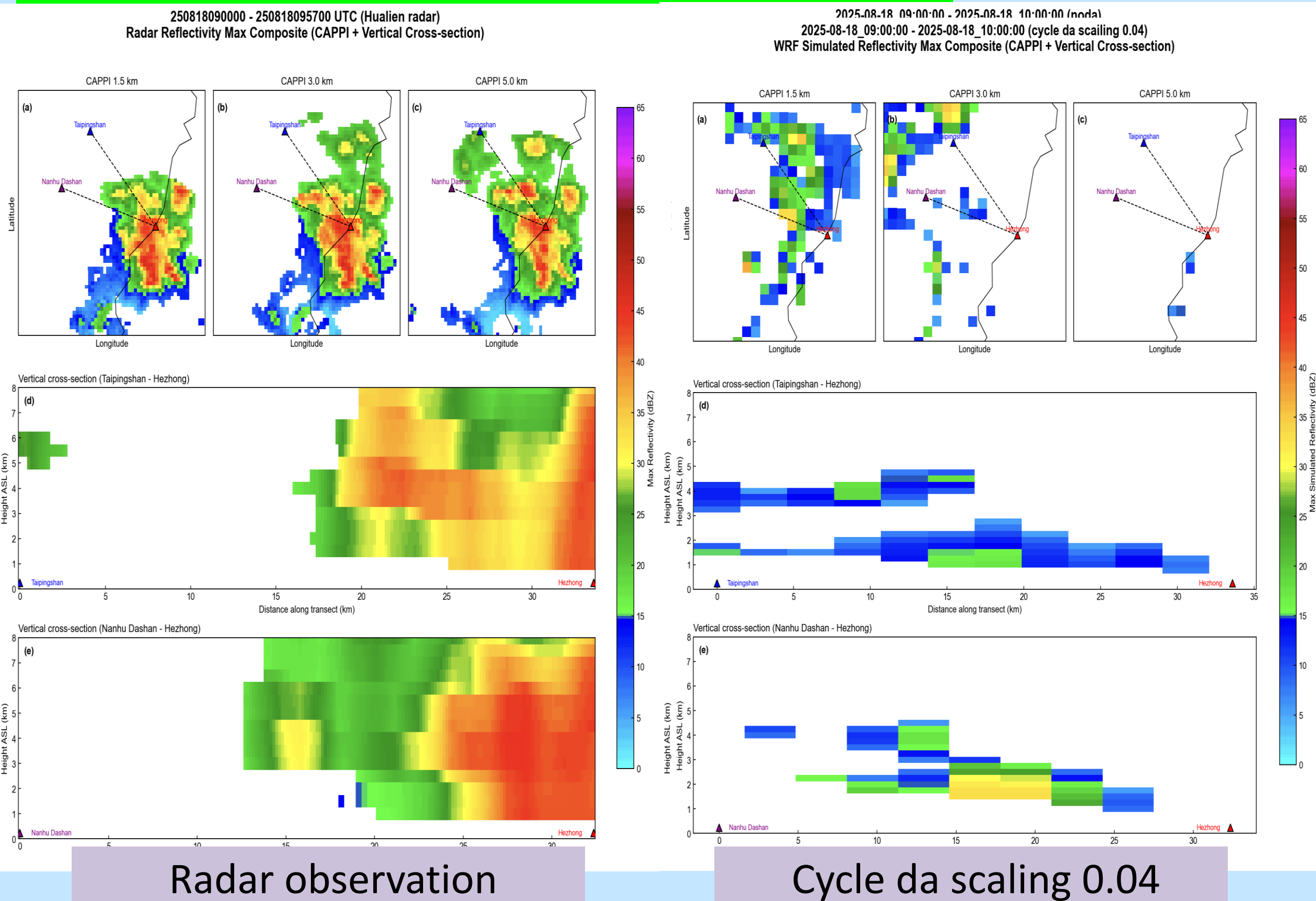
n up cycle da scaling 0.09

Vertical Cross Sections from the Taipingshan Range to Hezhong Station
2025-08-18 09:00 UTC(two spinup cycle da scaling 0.09)



3.5 對流結構演變分析

3.5.2 花蓮雷達觀測與WRF模擬實驗之比對



① VAD 風場具參考價值

花蓮雷達 VAD 風場於 0.7–3.0 km 與 ERA5 具合理時間一致性，可補充再分析較難解析之局地風場資訊

② 風場修正主導，水氣間接調整

分析增量集中於 1000–700 hPa；風場直接修正明顯大於水氣場，水氣經多變量背景誤差協方差間接產生

③ 環境已具深對流潛勢

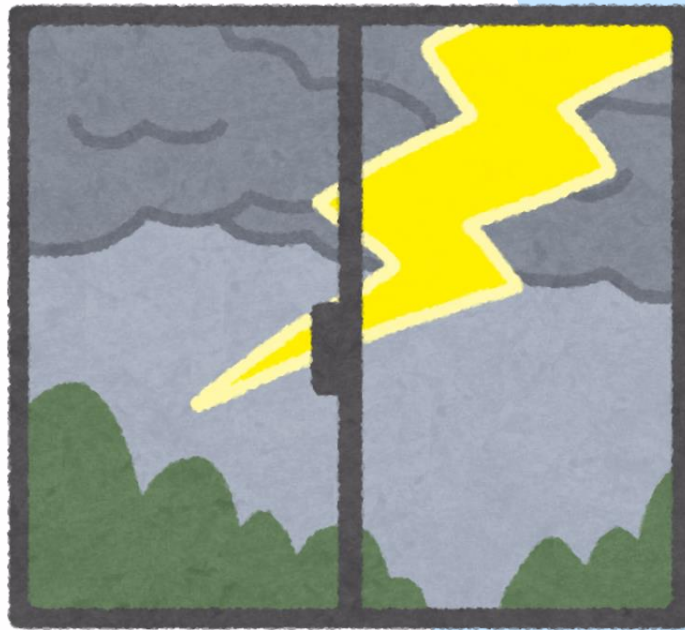
強降雨發生前 CAPE 於 0600 UTC 達最大，且維持至 0900–1000 UTC，配合低 LCL、弱 CIN，僅待局地輻合與地形抬升觸發

④ 改善物理路徑明確

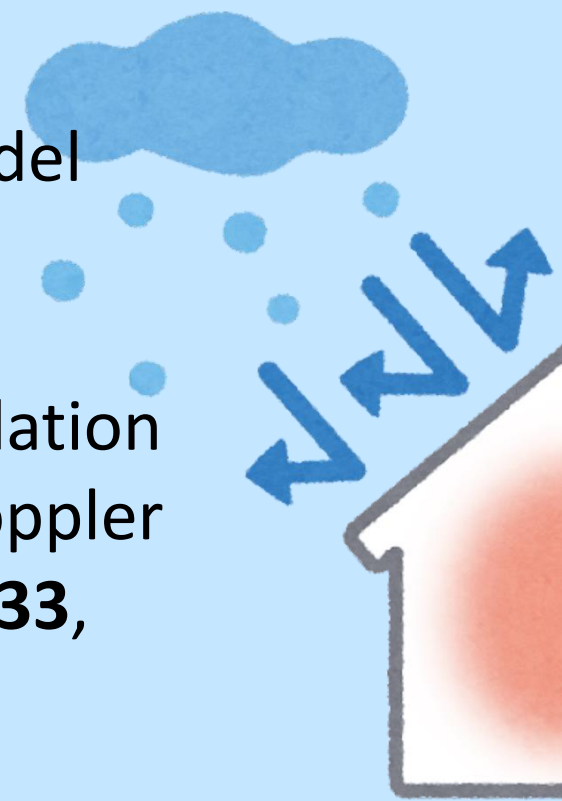
中低層風場修正 → 暖濕水氣輸送與局地輻合調整 → 迎風坡地形抬升增強 → 對流觸發與維持條件改變

⑤ 暖啟動時間影響甚至超過同化本身

縮短 spin-up 對水成物發展有顯著獨立影響，評估同化淨效益時應固定為控制變數



- Fowler, H. J., et al., 2021: Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. *Nature Reviews Earth & Environment*, **2**, 107–122. doi:10.1038/s43017-020-00128-6.
- Dodman, D., et al., 2022: Cities, settlements and key infrastructure. In *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge University Press, 907–1040. doi:10.1017/9781009325844.008.
- Houze, R. A., Jr., 2012: Orographic effects on precipitating clouds. *Reviews of Geophysics*, **50**, RG1001. doi:10.1029/2011RG000365.
- Sun, J., et al., 2014: Use of NWP for nowcasting convective precipitation: Recent progress and challenges. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **95**, 409–426. doi:10.1175/BAMS-D-11-00263.1.
- Doviak, R. J., and D. S. Zrnić, 1993: *Doppler Radar and Weather Observations*. 2nd ed., Academic Press, 562 pp.
- Sun, J., and N. A. Crook, 1997: Dynamical and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud model and its adjoint. Part I: Model development and simulated data experiments. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **54**, 1642–1661.
- Xiao, Q., Y.-H. Kuo, J. Sun, W.-C. Lee, D. M. Barker, and E. Lim, 2005: Assimilation of Doppler radar observations with a regional 3DVAR system: Impact of Doppler velocities on forecasts of a heavy rainfall case. *Monthly Weather Review*, **133**, 768–788. doi:10.1175/MWR-2909.1.





Thank You





Questions and Discussion

