

# 雙偏極化雷達資料同化 結合TCWA2雙矩量微物理參數方案 之研究

江琇瑛<sup>1</sup>、蔡子衿<sup>1</sup>、洪語澤<sup>1</sup>、陳正平<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中央氣象署科技發展組 <sup>2</sup>國立臺灣大學大氣科學系

## 背景與動機

- 對流尺度短延時強降水系統發展快速，數值模式不易掌握其結構與強度，可預報度偏低 (Sun et al. 2014)。
- 應用局地觀測資料同化改進初始場，提升強降水事件之預報能力。
  - 中央氣象署發展RWRP作業系統，結合地面觀測、雷達回波與徑向風進行資料同化，提供即時短時預報，增加預警能力。
  - 其中雷達回波(ZHH)主要改善水象粒子之空間結構，強化對流系統初始狀態。
- 為進一步提升初始場微物理狀態掌握，引入ZDR/KDP雙偏極化雷達資料進行同化。補足對粒徑大小與液態水含量掌握的侷限，
- 不過，ZDR/KDP資料同化與微物理參數方案的關聯議題也隨之而來：
  - 不同微物理方案中多變數相關特性之議題，如ZDR觀測對雨水含量分析場之影響 (Jiang et al., in preparation)。
  - 模式微物理參數化誤差與同化效能之間的議題(Putnam et al. 2019)。

## 研究方向

### 發展新的微物理參數方案

TCWA2

ZDR/KDP  
雙偏極化  
雷達資料  
同化



微物理  
參數方案  
改進

先以雨水粒子為主軸，擬定出一合宜的雨水粒子資料同化策略，使ZDR和KDP觀測在TCWA2雙矩量微物理參數方案中，能夠發揮各自優勢。

TCWA2雙矩量微物理參數方案改進：

- 譜形 $\alpha$ 參數之診斷公式分析與調校
- 雨水碰撞合併參數化精進  
(與陳正平教授團隊合作)

# 引入 $\alpha$ 診斷公式之雙矩量微物理方案: TCWA2

總體微物理參數方案之粒徑譜函數  
 主要為伽碼(gamma)型式分佈，  
 數學表達式如下：

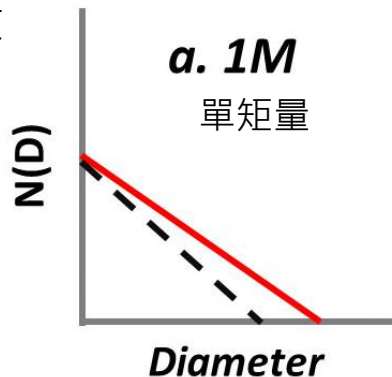
$$N(D) = N_0 D^\alpha e^{-\lambda D}$$

$\lambda$  : 斜率參數 ( slope )

$N_0$  : 截距參數 ( intercept )

$\alpha$  : 譜形參數 ( shape )

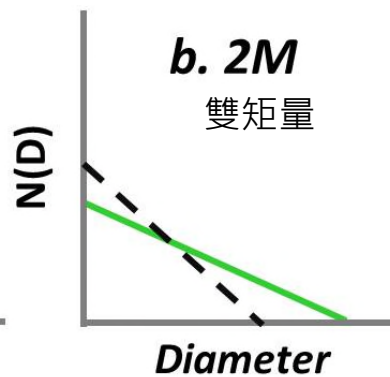
TCWA2 雙矩量微物理方案引入了  
 $\alpha$ 參數的診斷公式，  
 提升水象粒子粒徑譜靈活度，  
 以可更合宜描述雲微物理過程。



(Q only)

$N_0$  is fixed ;  
 $\alpha$  is constant ;  
 $\lambda$  is prognostic

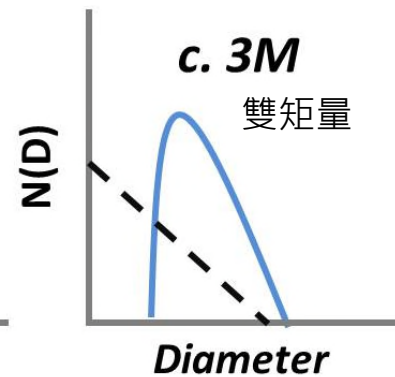
$$N(D) \propto f(\lambda)$$



(Q&N)

$N_0$  is prognostic ;  
 $\alpha$  is constant ;  
 $\lambda$  is prognostic

$$N(D) \propto f(N_0, \lambda)$$



(Q, N, and A or Z)

$N_0$  is prognostic ;  
 $\alpha$  is prognostic ;  
 $\lambda$  is prognostic

$$N(D) \propto f(\alpha, N_0, \lambda)$$

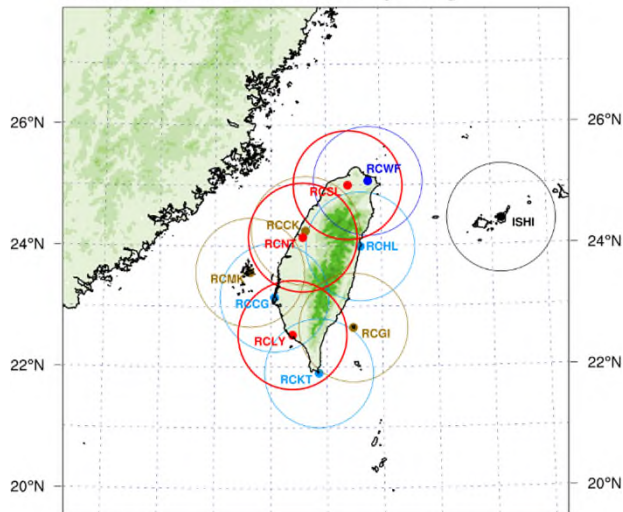


也引入冰相密度的診斷公式，使冰相密度非固定值，助於更真實模擬冰相粒子的成長、聚合等過程。  
 相關細節可參考：蔡等人，2024：評估本署TCWA2雙矩量雲微物理參數法模擬之雙偏極化雷達參數，第113屆  
 天氣分析與預報研討會，中央氣象署。

## 實驗設計

運用本署LETKF對流尺度資料同化系統(RWRF-LETKF)模組，但微物理方案改為TCWA2  
(江等人，2024：中央氣象署LETKF對流尺度短期預報系統現況，第113屆天氣分析與預報研討會，中央氣象署)

Model Domain @ 2-km Grid Spacing

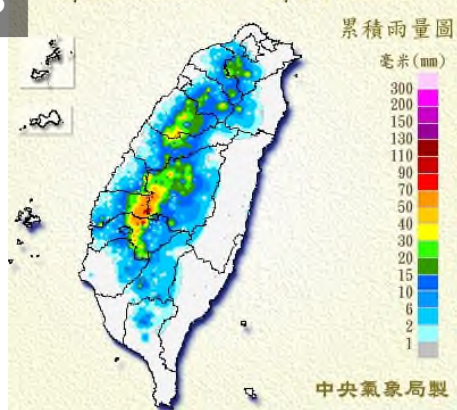


模式預報網域範圍以及  
雷達站分布(圓圈曲線代  
表離雷達站100公里處)

選取2022年6月23-24日之午後對流降水個案。

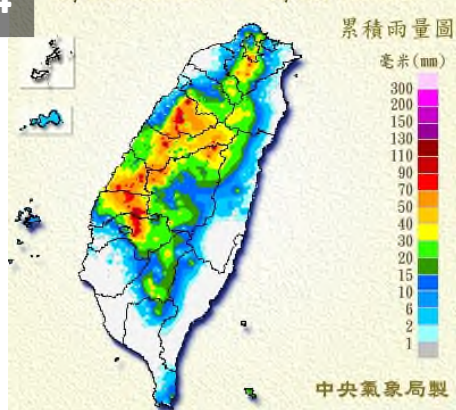
6/23

6/23 00:00 ~ 6/24 00:00



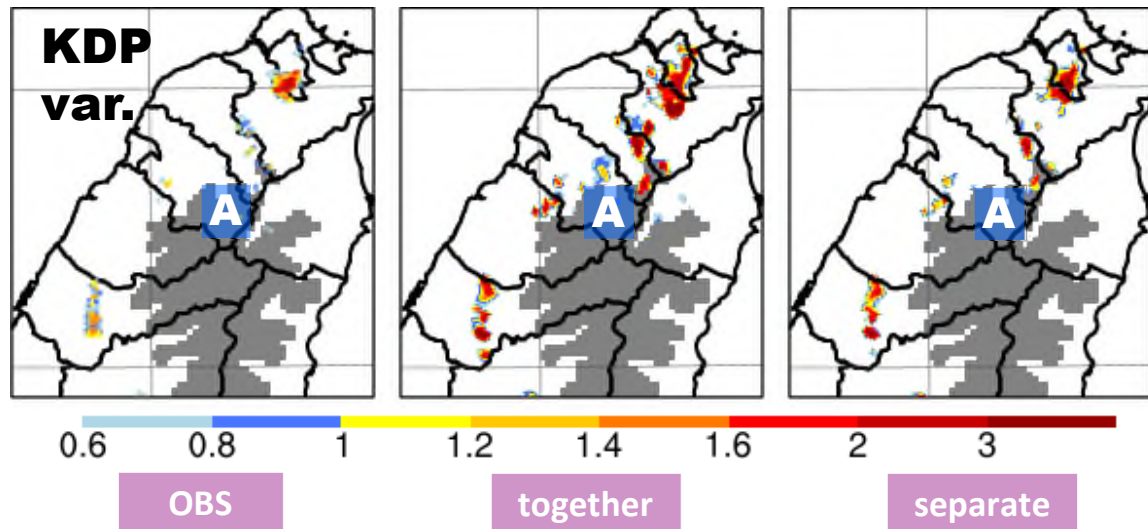
6/24

6/24 00:00 ~ 6/25 00:00



## 雙偏極化雷達資料同化：分離式同化策略

2022/06/24  
06 UTC



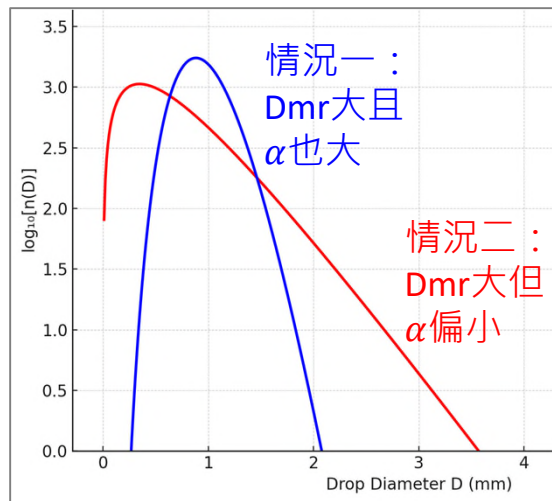
- 此策略將限制ZDR觀測同化對qr之影響，使原先KDP高估現象降低，如A處所示。
- 此策略同化也限制KDP觀測同化對Dmr之影響。
- 目的係各發揮所長，限制多變數間相關性的交錯影響。

回波、KDP和ZDR觀測「一併」更新背景場雨水混合比(qr)和平均粒徑(Dmr)

以相同的背景場，  
- ZHH與KDP觀測更新qr  
- ZHH與ZDR觀測更新Dmr  
(Jiang et al., in preparation)

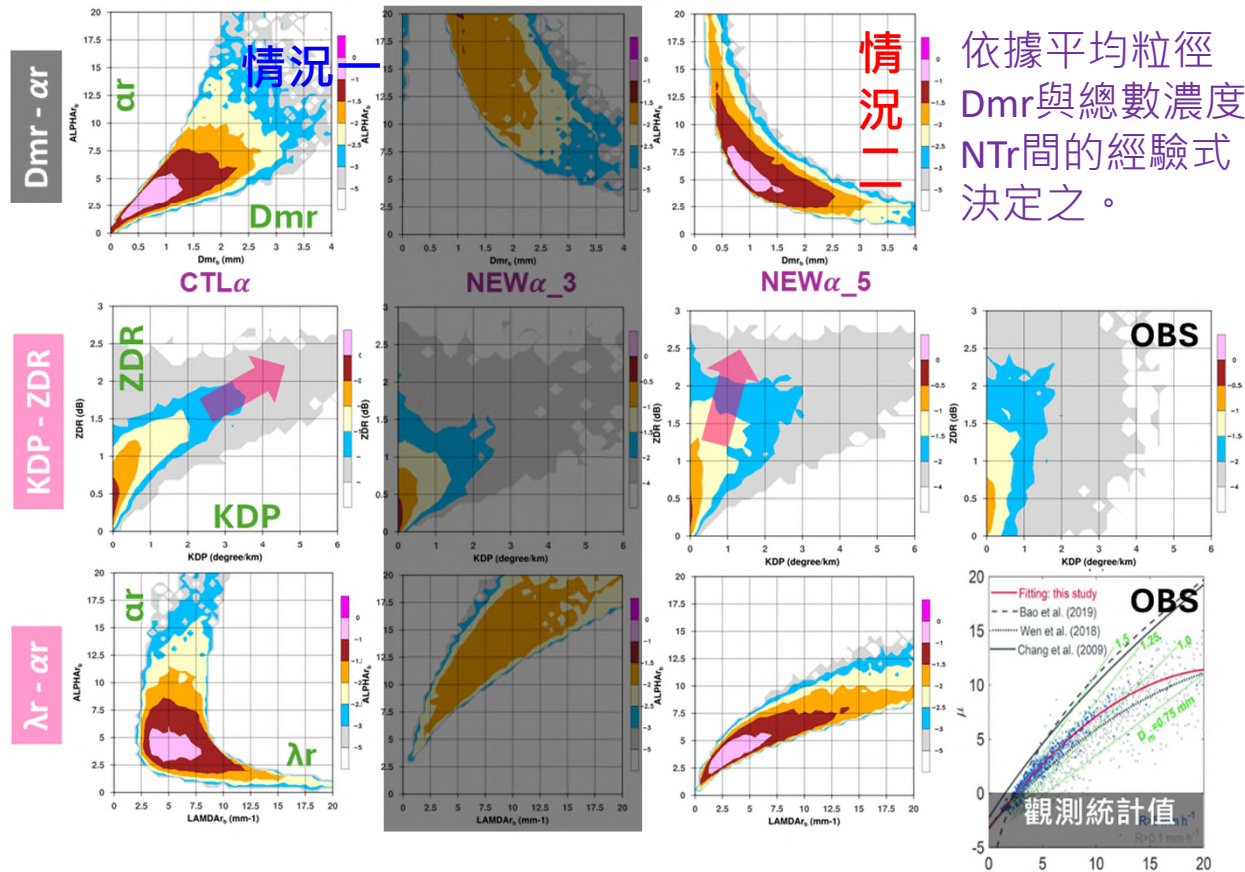
# TCWA2調校與結果：粒徑譜形狀參數

Dmr與 $\alpha$ 之間變化對DSD的影響



- 情況一表示，  
Dmr愈大， $\alpha$ 也大，  
分布愈窄。
- 情況二表示，  
Dmr愈大， $\alpha$ 則小，  
分布變寬。

不同譜形參數 $\alpha$ 診斷公式所產生的變化結果



依據平均粒徑  
Dmr與總數濃度  
NTr間的經驗式  
決定之。

## TCWA2調校與結果：雨水碰撞合併過程

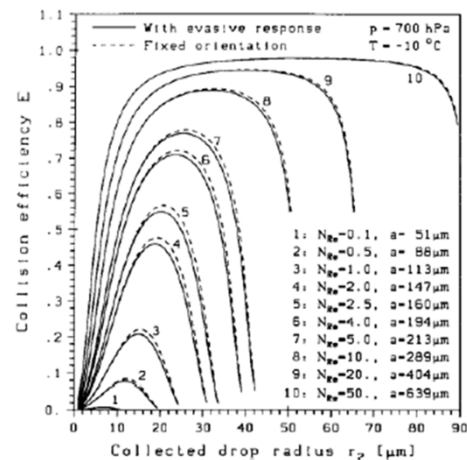
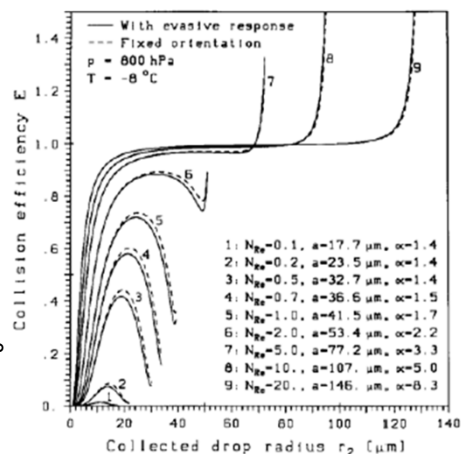
相關細節可參考：洪等人，2024：利用機器學習優化微物理參數法中的碰撞收集過程，第113屆天氣分析與預報研討會，中央氣象署。

- 「碰撞效率」是碰撞合併過程中最難準確定義的部分，因其受到粒子形狀、相對運動、空氣黏性阻力與繞流結構等高度非線性因素影響，難以用簡單公式精確描述。

### （與陳正平授教團隊合作）

結合如Böhm (1992c) 所示的高解析模擬資料，進一步透過AI模型學習在不同粒徑大小、形狀與相對運動情境下的碰撞效率之非線性關係，讓模式中能更準確反應碰撞合併過程。

- Böhm (1992c) 即透過細緻的水物粒子模擬分析，探討不同粒子形狀與大小組合，兩者對碰撞效率的影響

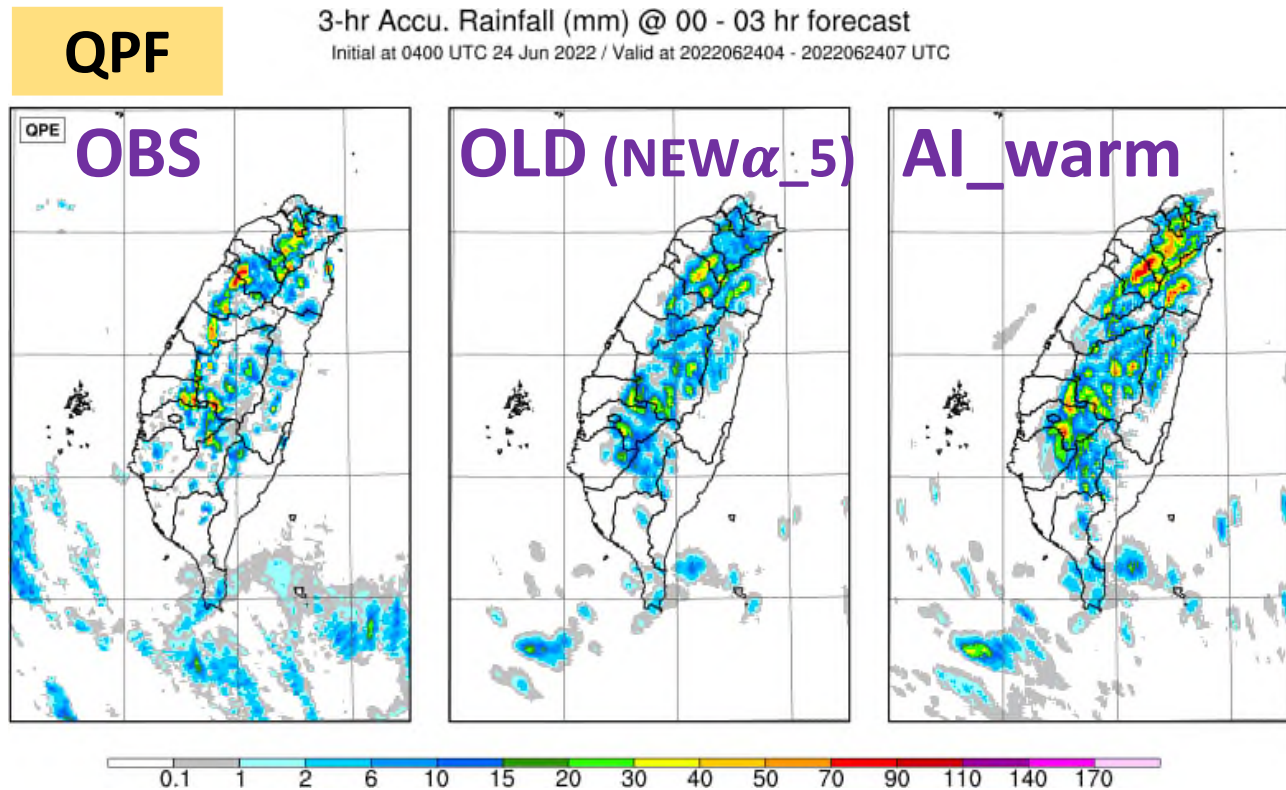


左圖為探討不同扁平程度對碰撞效率的影響；  
 右圖為探討收集者粒徑大小對碰撞效率的影響

## TCWA2調校與結果：雨水碰撞合併過程

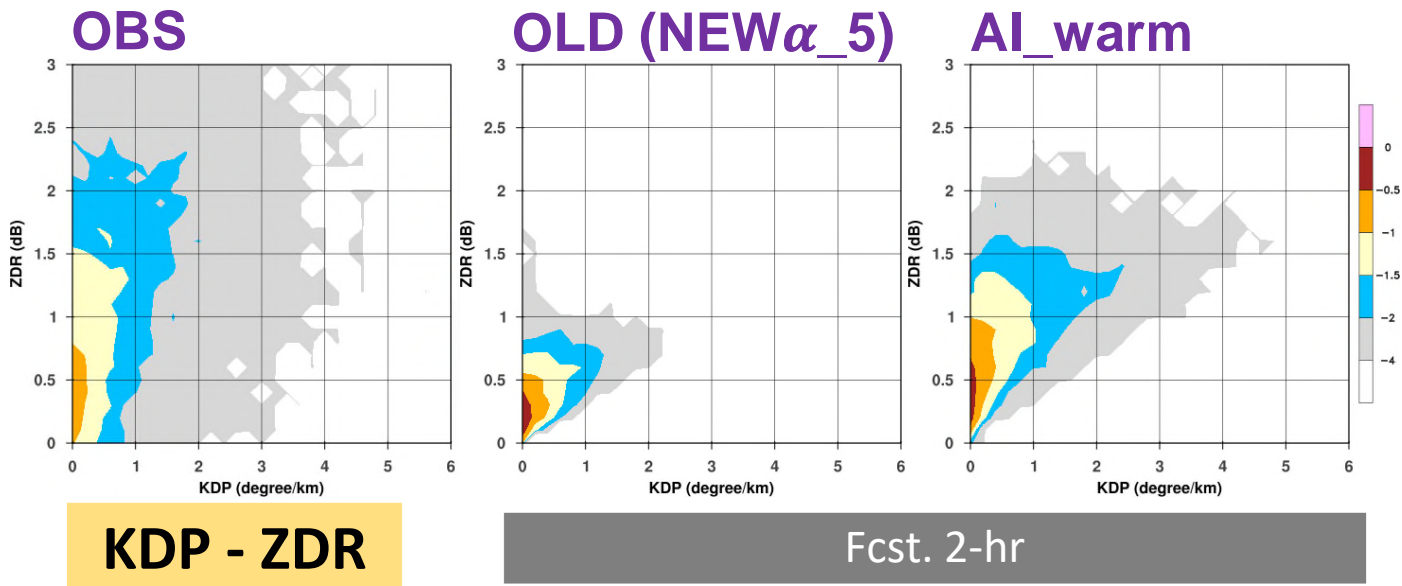
相關細節可參考：洪等人，2024：利用機器學習優化微物理參數法中的碰撞收集過程，第113屆天氣分析與預報研討會，中央氣象署。

- 使用相同的初始場，進行不同雨水碰撞合併過程參數化之預報結果。
- 結果顯示：
- OLD實驗整體降雨強度偏低，對應觀測中之強降雨區域呈現不足；
- 相較之下，AI\_warm實驗則表現出較佳的降水強度，在量值上更接近觀測。



## TCWA2調校與結果：雨水碰撞合併過程

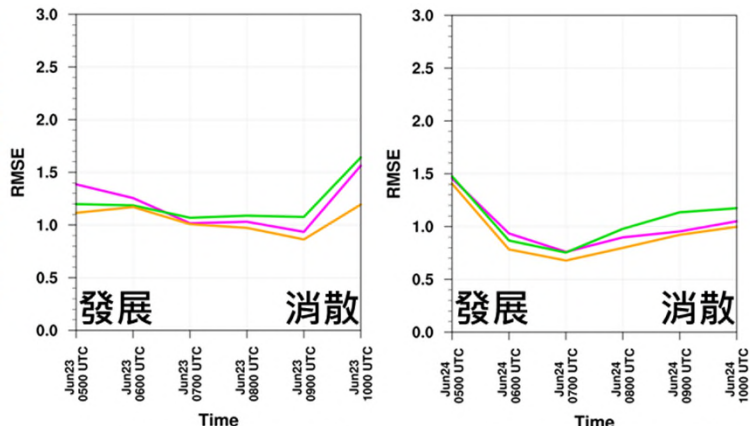
相關細節可參考：洪等人，2024：利用機器學習優化微物理參數法中的碰撞收集過程，第113屆天氣分析與預報研討會，中央氣象署。



- 進一步比較KDP/ZDR 雙偏極化雷達變數之結果。
- AI\_warm實驗重現出低KDP而高ZDR之情況，顯示其預報較能掌握粒徑偏大而雨水含量較低的微物理狀態。

# 全循環資料同化結果 – 分析場表現

ZDR variable

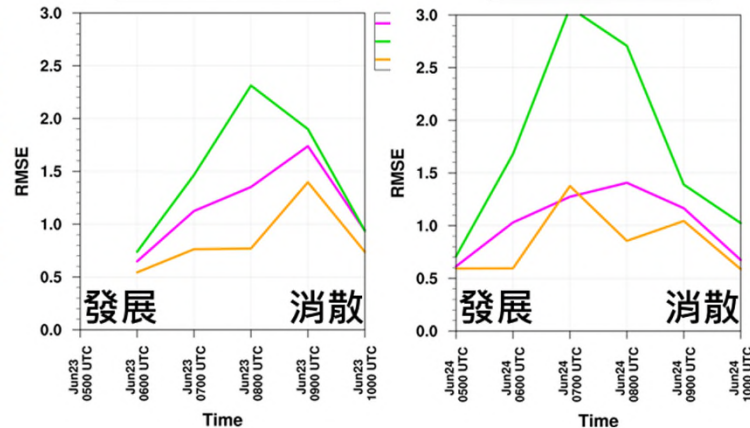


2022/06/23

2022/06/24

CTLα  
NEWα\_5  
AI\_warm

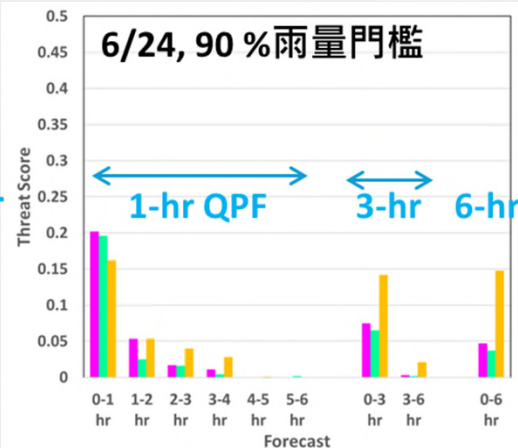
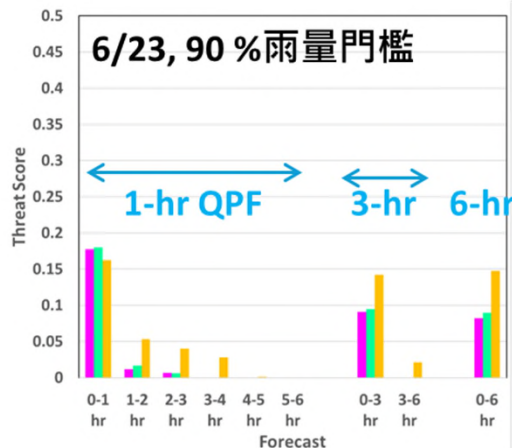
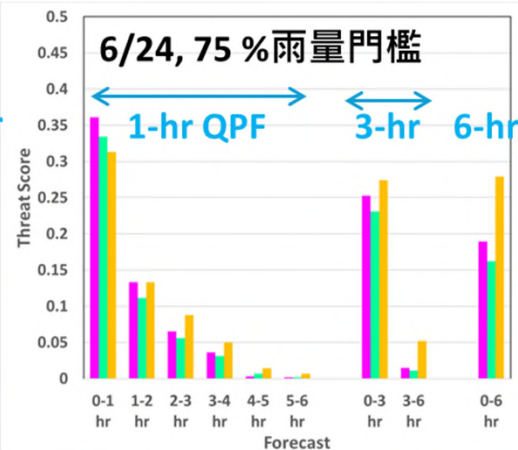
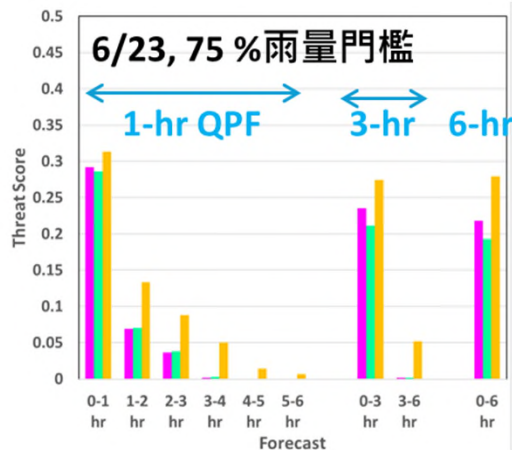
KDP variable



使用ZDR (KDP) 變數進行診斷，用以評估雨滴粒徑 (雨水含量) 分析場：

- 比較CTLα與NEWα\_5實驗，探討譜形參數 $\alpha$ 調校在循環資料同化過程的成效。結果顯示，單純只調校譜形參數 $\alpha$ 診斷公式，分析表現反而變差，尤其是KDP變數。
- NEWα\_5與AI\_warm實驗的譜形參數 $\alpha$ 診斷公式皆相同，而結果顯示，進一步結合微物理過程參數化的精進，分析場表現可更為穩健。

# 全循環資料同化結果 – QPF預報表現



CTL $\alpha$   
NEW $\alpha_5$   
AI\_warm

- 整體而言，AI\_warm實驗的預報表現最佳。
- 此結果也表示出，合宜的雙偏極化雷達資料同化策略，同時結合微物理參數方案改進 (譜形參數 $\alpha$ 診斷公式調校+雨水碰撞合併參數化精進)，以有效發揮資料同化效能和提升預報表現。

## 結果與未來展望

- 本研究於 ZDR/KDP 觀測資料同化研究中，提出分變數更新的同化策略，並結合 TCWA2 微物理參數方案之調校，展現出雙偏極化觀測資料在資料同化應用上的進一步潛力。
- 未來將持續精進TCWA2微物理方案，除雨水碰撞合併過程外，也將擴展致雨滴破碎、不同類別冰相之間和冰水混相間等微物理過程。
- ZDR和KDP觀測同化應用推展到冰相部分，將考量微物理參數方案中冰相粒子被細分為雪、軟雹與冰雹等類別，決策各類別對應之同化方案。
- 本研究聚焦於午後熱對流個案進行實驗與評估，未來將擴展至其他天氣系統型態，如梅雨鋒面、颱風降雨等。

**Thank you for your attention**