

發展中央氣象署雙矩量雲微物理參數法 及其雙偏極化雷達算符

蔡子衿¹、陳正平²、江琇瑛^{1,2}、吳英璋^{1,2}、蕭玲鳳¹

1. 中央氣象署科技發展組
2. 國立臺灣大學大氣科學系

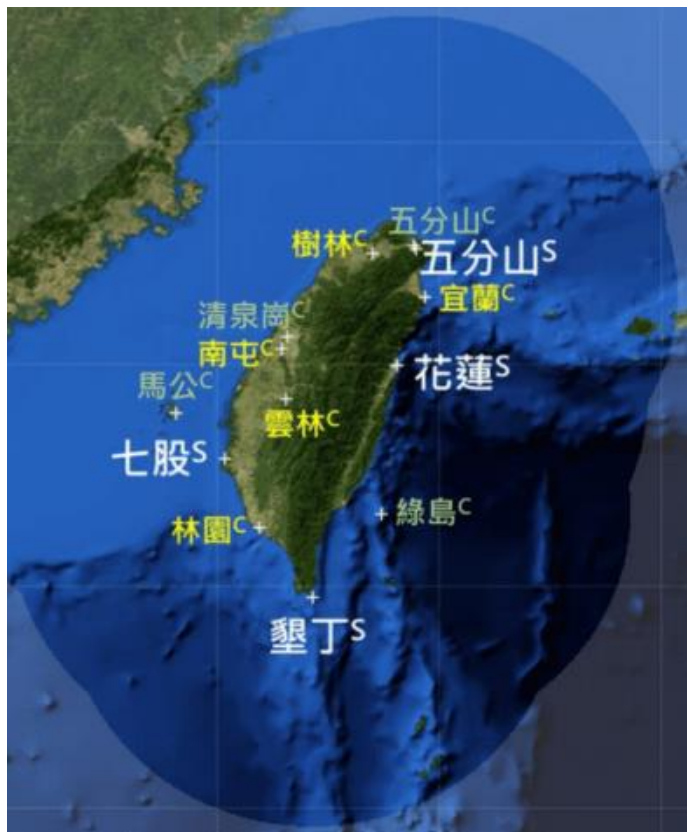
115年天氣分析與預報研討會(2026/09/03)

臺灣中央氣象署、臺大及美國NCAR團隊今年合作發表

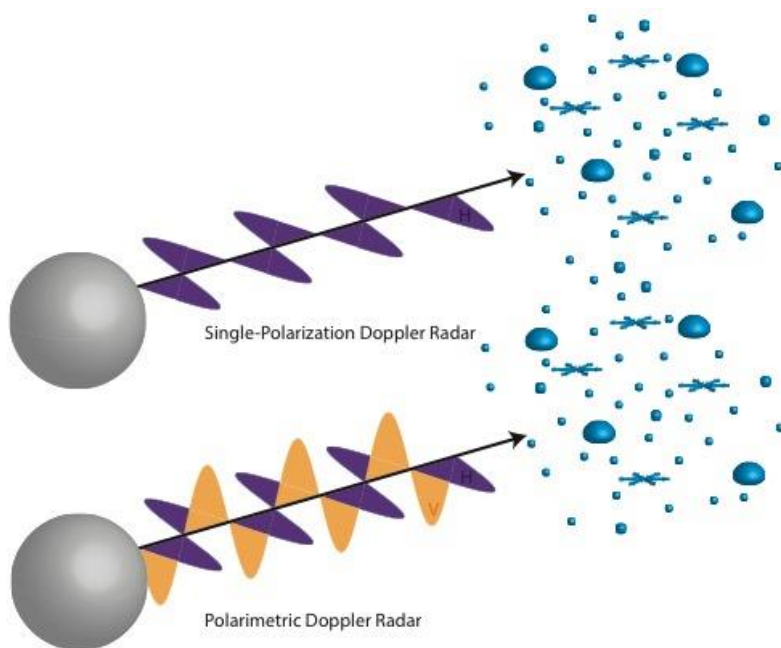
Tsai, T.-C., Chen, J.-P., Liu, Z., Jiang, S.-Y., Kong, R., Wu, Y.-J., Ban, J., Hsiao, L.-F., Tang, Y.-S., Chang, P.-L., and Hong, J.-S.: Development of the TCWA2 bulk cloud microphysics scheme and its integration with a dual-polarization radar operator for forecasting applications, *Geosci. Model Dev.*, **19**, 6231–6257, <https://doi.org/10.5194/gmd-19-6231-2026>, 2026.

作業任務

雷達觀測網



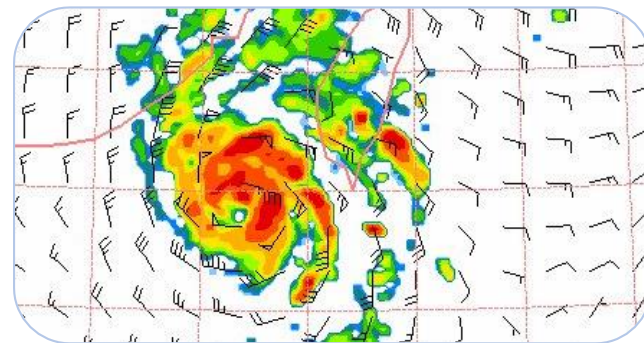
雙偏極化回波



水物粒徑、形狀和
密度等資訊

數值天氣模式 極短期預報

12小時預報



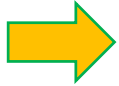
雷達資料同化

如何連結雷達觀測
與模式模擬，應用
於校驗、預報與資
料同化？

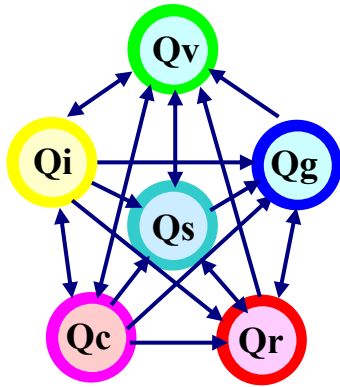
背景說明

水物粒徑分佈、形狀(縱橫比)和總體密度為關鍵因子

數值天氣
預報模式
如WRF、
MPAS



微物理參數法



大多數微物理參數法通常簡化水物形狀(球形)與密度(定值)，且無考慮這些特性變化之影響



雷達算符如
a. PPRO
(WSM6/NSSL)
b. CR-SIM
(WSM6/
Morrison/
Thompson/
MY2等)

常需另行假設粒子形狀與密度，這些假設可能與微物理參數法中的水物特性不一致



雙偏極化
雷達變數如
ZH(水平雷達回波)
ZDR(差分反射率)
KDP(比相差)

如何由模式產生具有物理一致性的雙偏極化雷達變數？

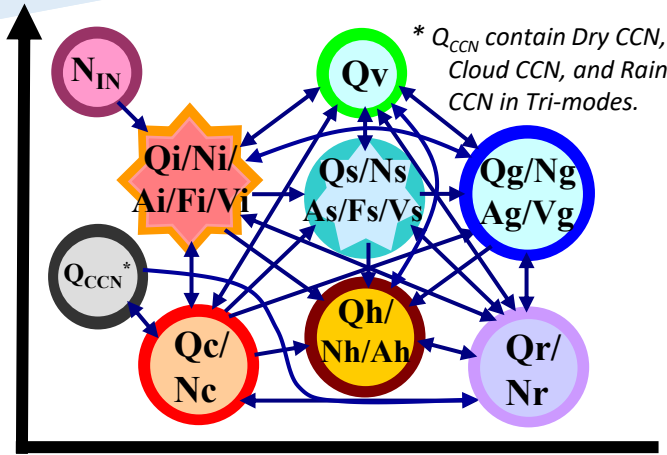
研究目標

發展一套耦合系統使微物理參數法與雙偏極化雷達算符使用一致的粒徑分布、形狀、密度與融化特性

1. 需要一個能夠描述水物形狀、總體密度及考慮其物理效應的**微物理參數法**
2. 需要一個根據上述物理特性所計算散射振幅之**雙偏極化雷達算符**

Physics-consistent microphysics–radar coupling system

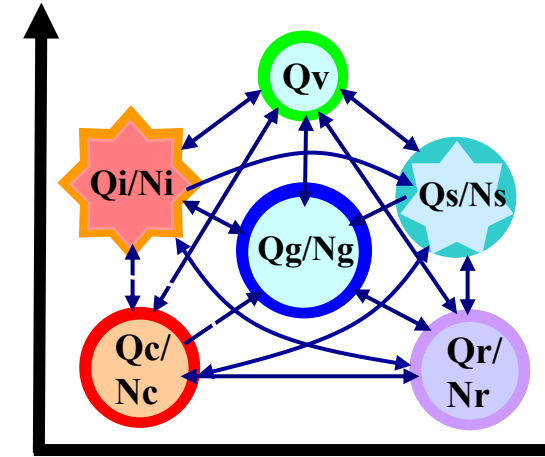
NTU 4Ice-3M scheme



27 Variables

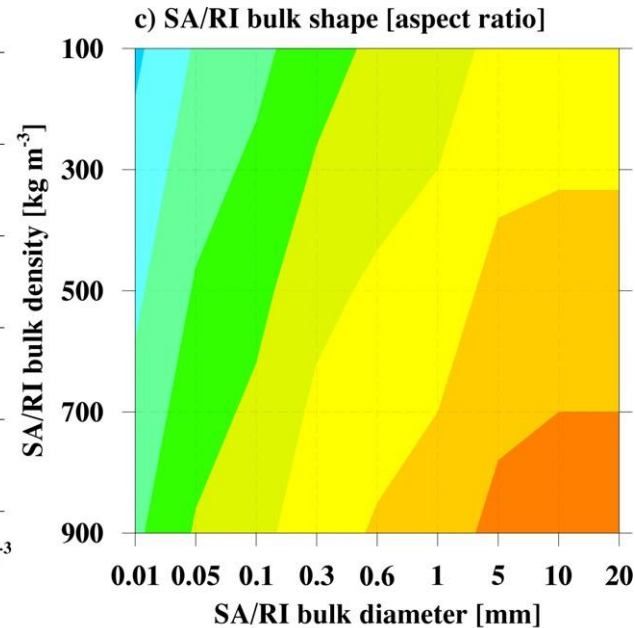
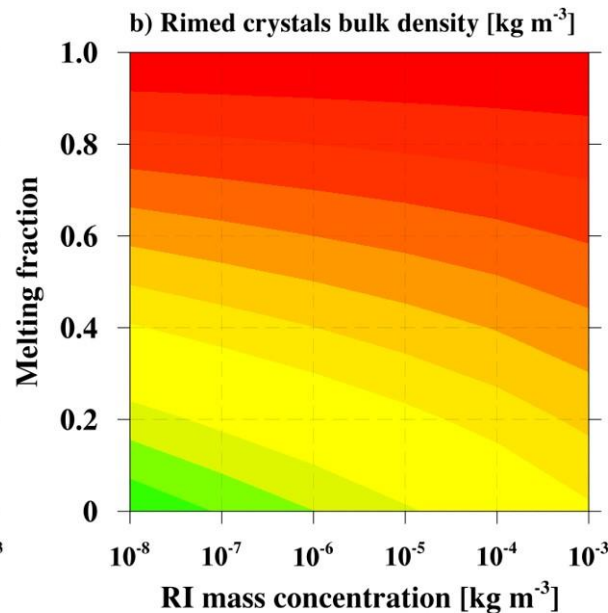
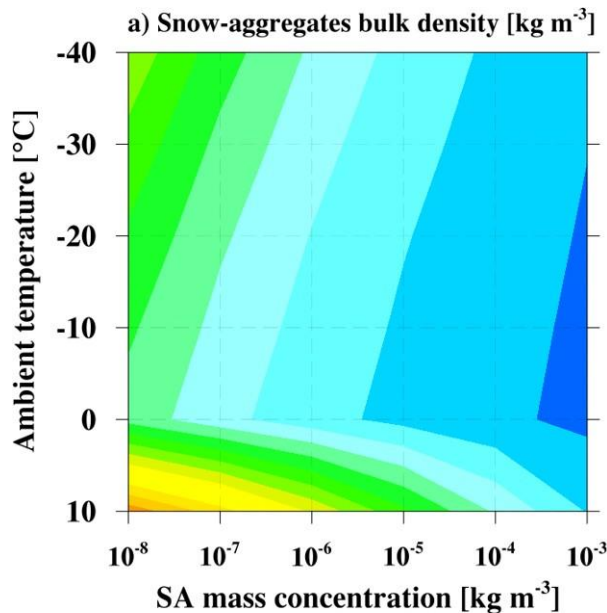
1. 移除第二階矩量
2. 形狀、體積矩量
3. 合併軟雹與硬雹
4. 耦合水物落速

TCWA2



11 Variables

Taiwan
Central
Weather
Administration
2-moment



TCWA2以診斷方式描述水物密度與形狀，並將其效應耦合至凝華、碰撞收集與落速等微物理過程



微物理模式變數

雨滴、冰晶、雪團
及冰雹(軟與硬雹)

1. 粒徑譜參數
2. 形狀及密度
3. 融化比例



雷達算符
計算散射振幅

雙偏極化參數

1. 水平雷達回波ZH
2. 差分反射率ZDR
3. 比相差KDP

確保微物理參數法與雷達算符之間的物理一致性

散射振幅關係式

水物粒徑

$$f_{a,b}^{(\pi)} = \frac{\pi^2 \text{水物粒徑}^3}{6 \text{雷達波長}^2} \frac{1}{\left[\text{縱橫比} + \frac{1}{\text{冰水比例} - 1} \right]}$$

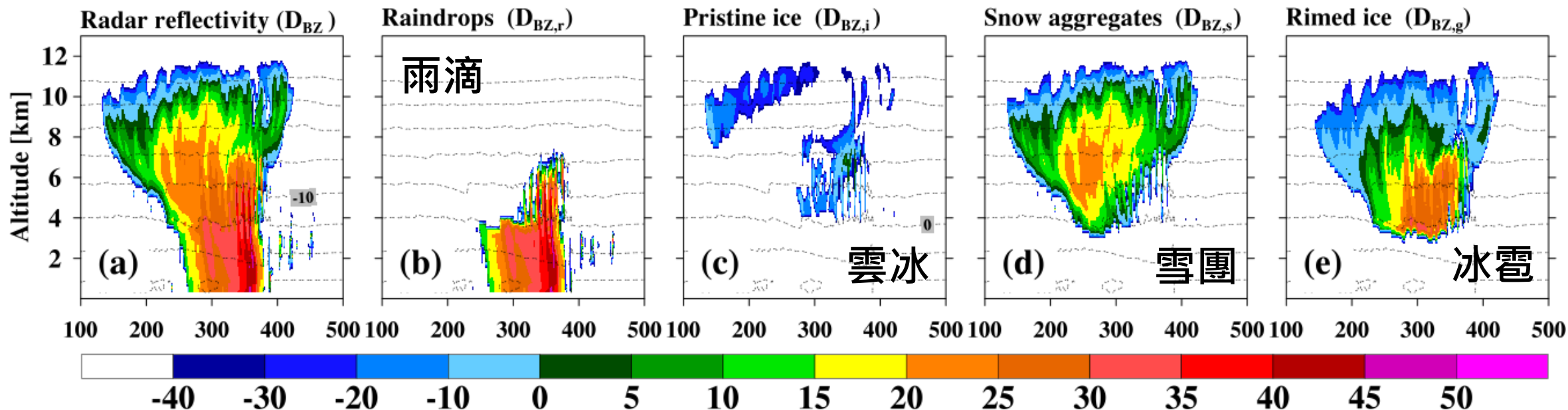
1. 傳統作法：擬合 $f_{a,b}$ 為 $f(D)$ 冪次擬合式後對粒徑譜積分

$$f_{a,b} \cong aD^b \rightarrow \int aD^b n(D) dD \rightarrow Z_H, Z_V$$

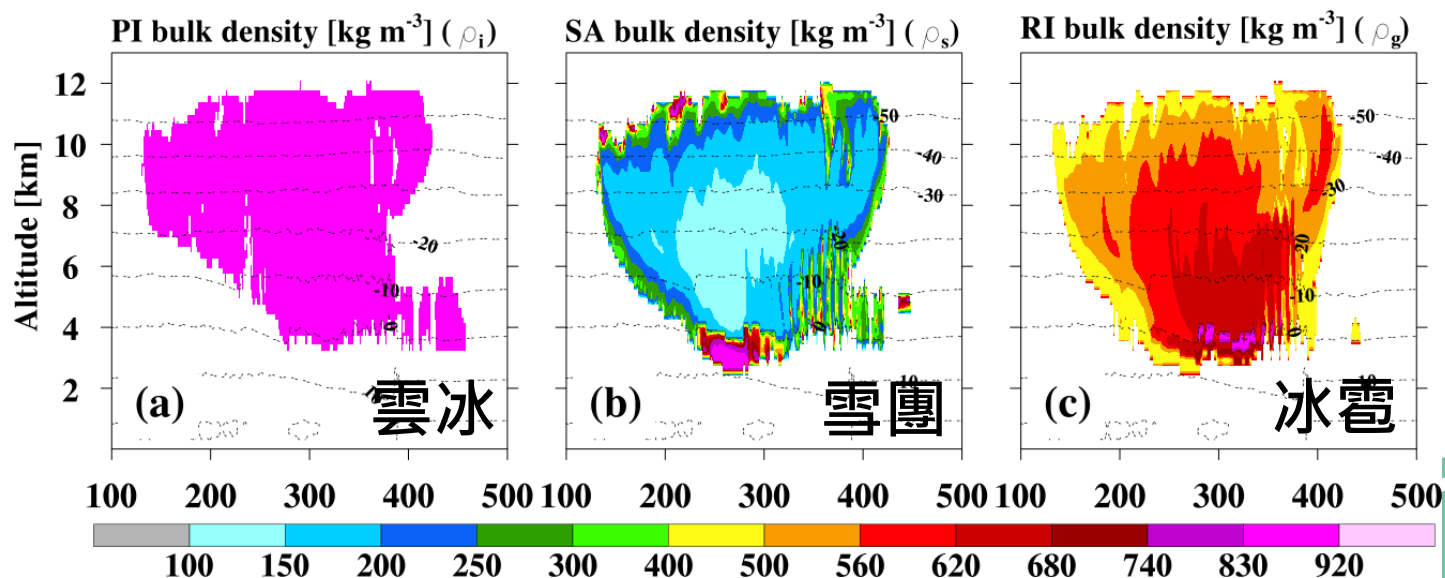
2. 本研究方法：先以細格(bin)積分計算雙偏極化雷達變數，再將其擬合為粒徑譜和物理特性之函數

$$\int f_{a,b} n(D) dD \cong f(\alpha, \lambda) f(\phi) f(\rho_i) f(\sigma) f(\lambda) \rightarrow Z_H, Z_V$$

WRF 二維理想個案 squall line模擬(1) 各水物貢獻之水平雷達回波

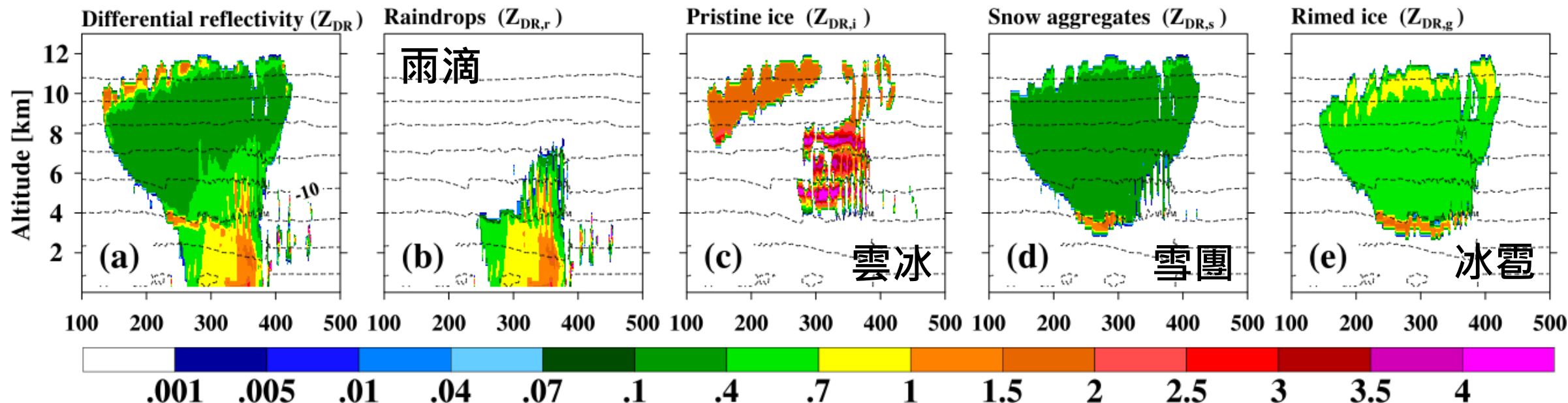


水平雷達回波 Z_H
TCWA2可由不同水物種類
的回波貢獻重現對流區、
層狀區及融化層亮帶



WRF 二維理想個案 squall line模擬(2)

各水物貢獻之差分反射率



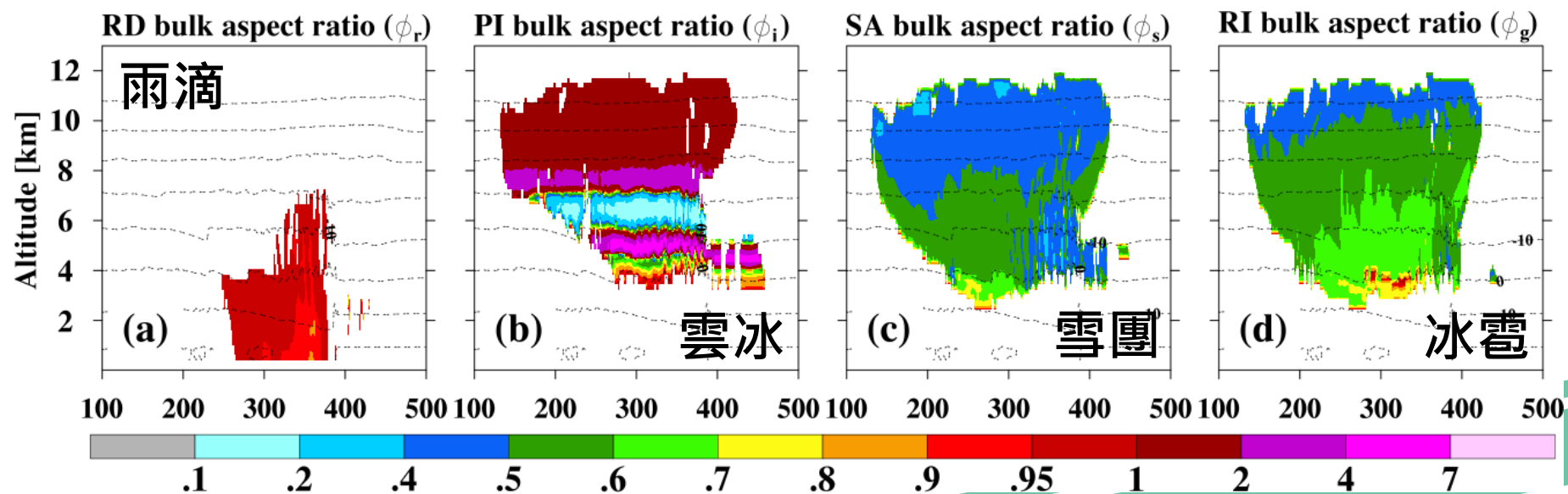
差分反射率 ZDR

粒子形狀與粒徑分布可重現典型特徵

- ZDR column
- Midlevel ZDR

ring

- Cloud top ZDR



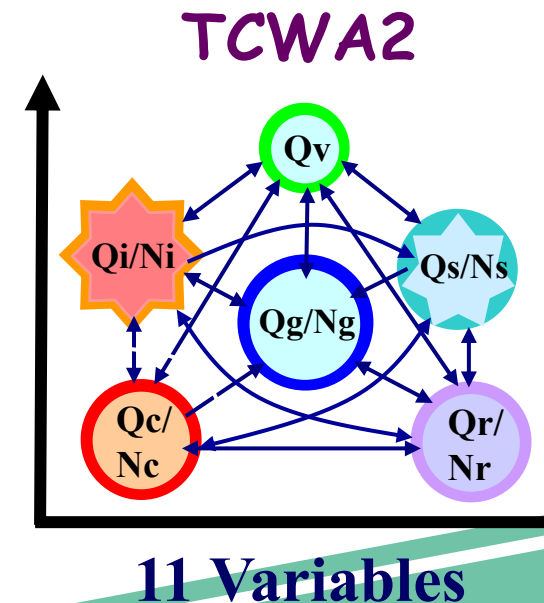
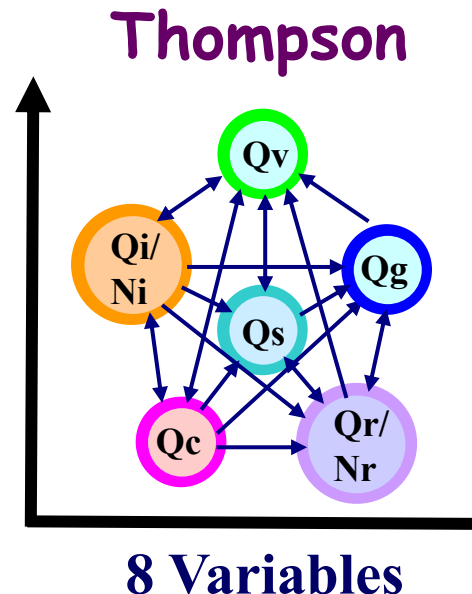
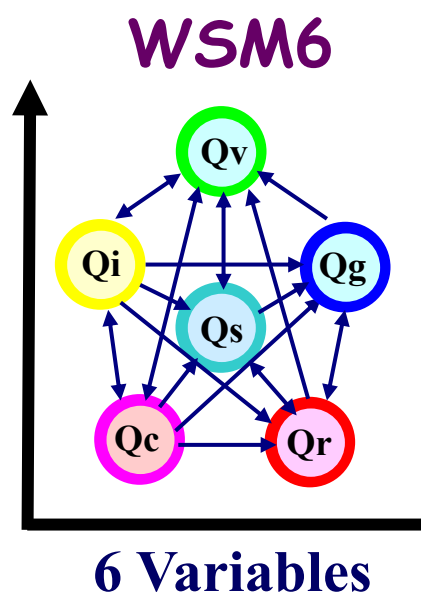
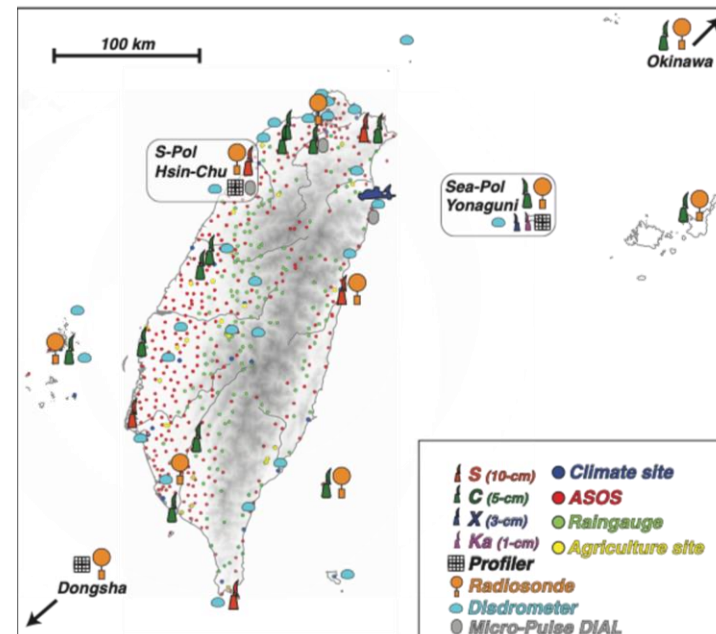
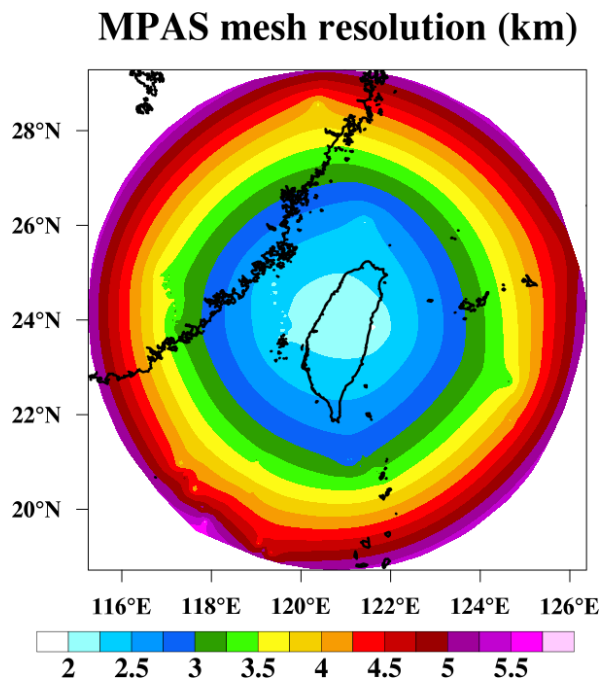
MPAS三維實際個案

TAHOPE (Taiwan-Area
Heavy rain Observation
and Prediction Experiment)
實驗 2022/6/24 午後對流

初始/邊界條件：NCEP GFS
積分時間：6/24 00Z-12Z
無進行資料同化

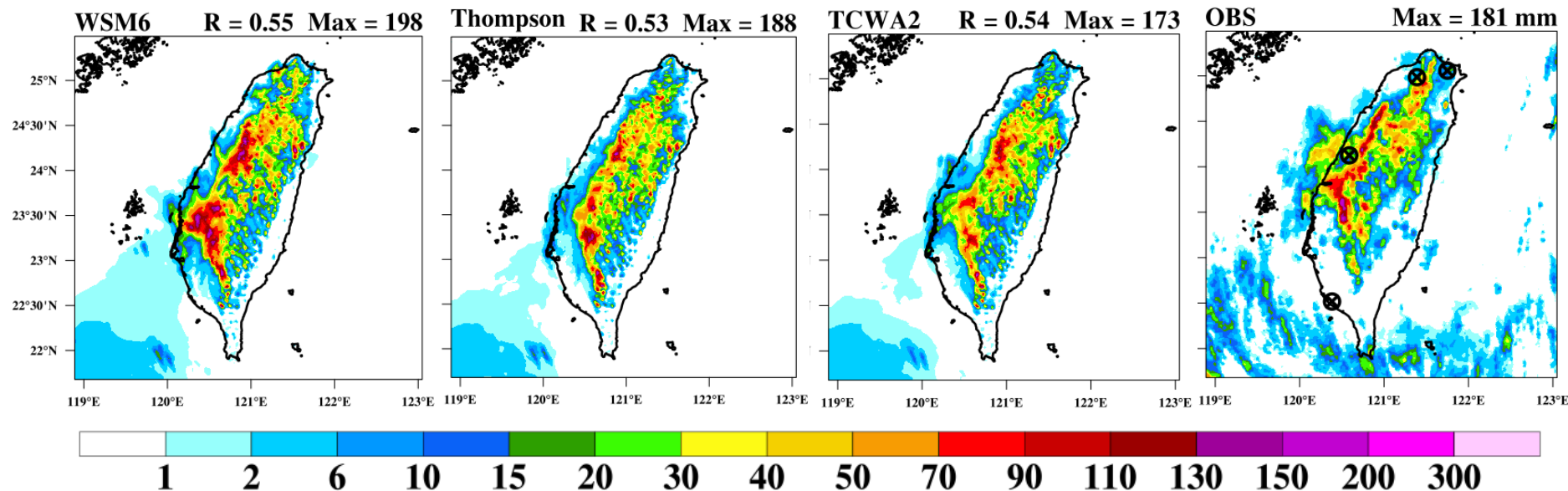
v8.4版惟
二可選用
mp並只有
輸出水平
雷達回波

微物理參數法
WSM6
Thompson
TCWA2



MPAS實際個案模擬結果(1)

12小時地面
累積降水

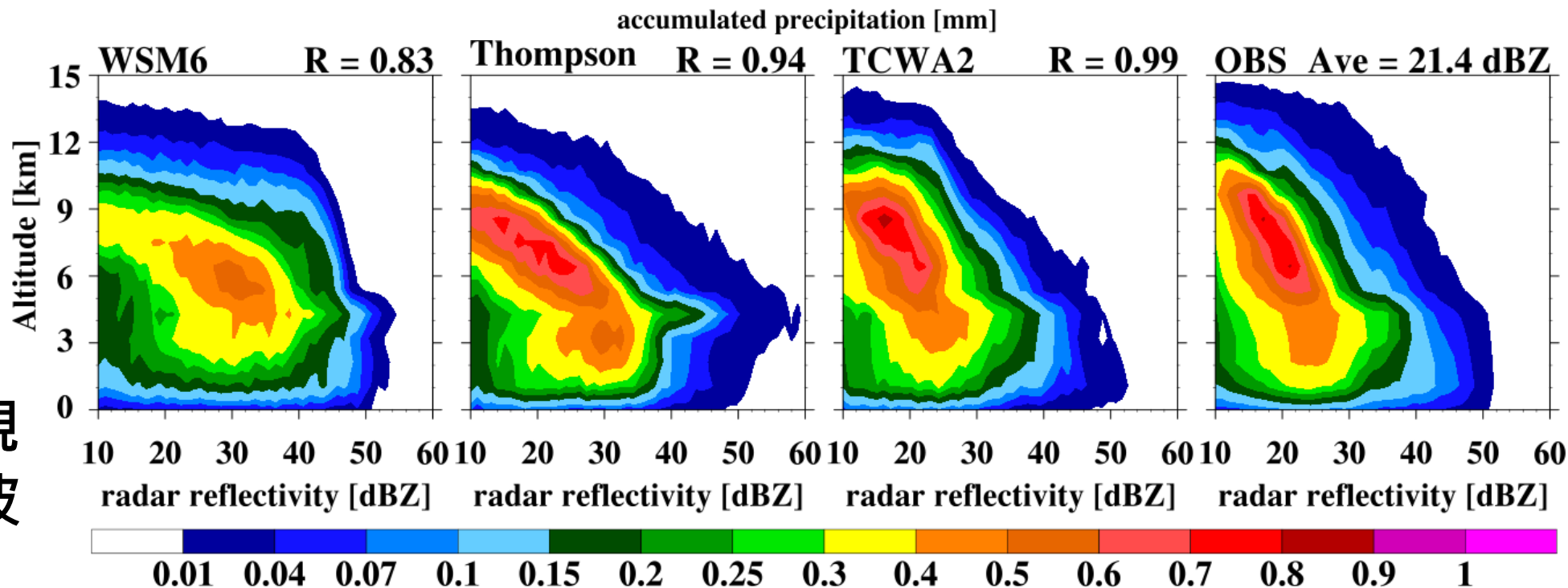


回波強度統計

Joint-PDF

選取 2022
6/24 6Z~11Z
各小時所對應
之觀測格點

TCWA2較能重現
觀測之主要回波
垂直統計結構



MPAS實際個案模擬結果(2)

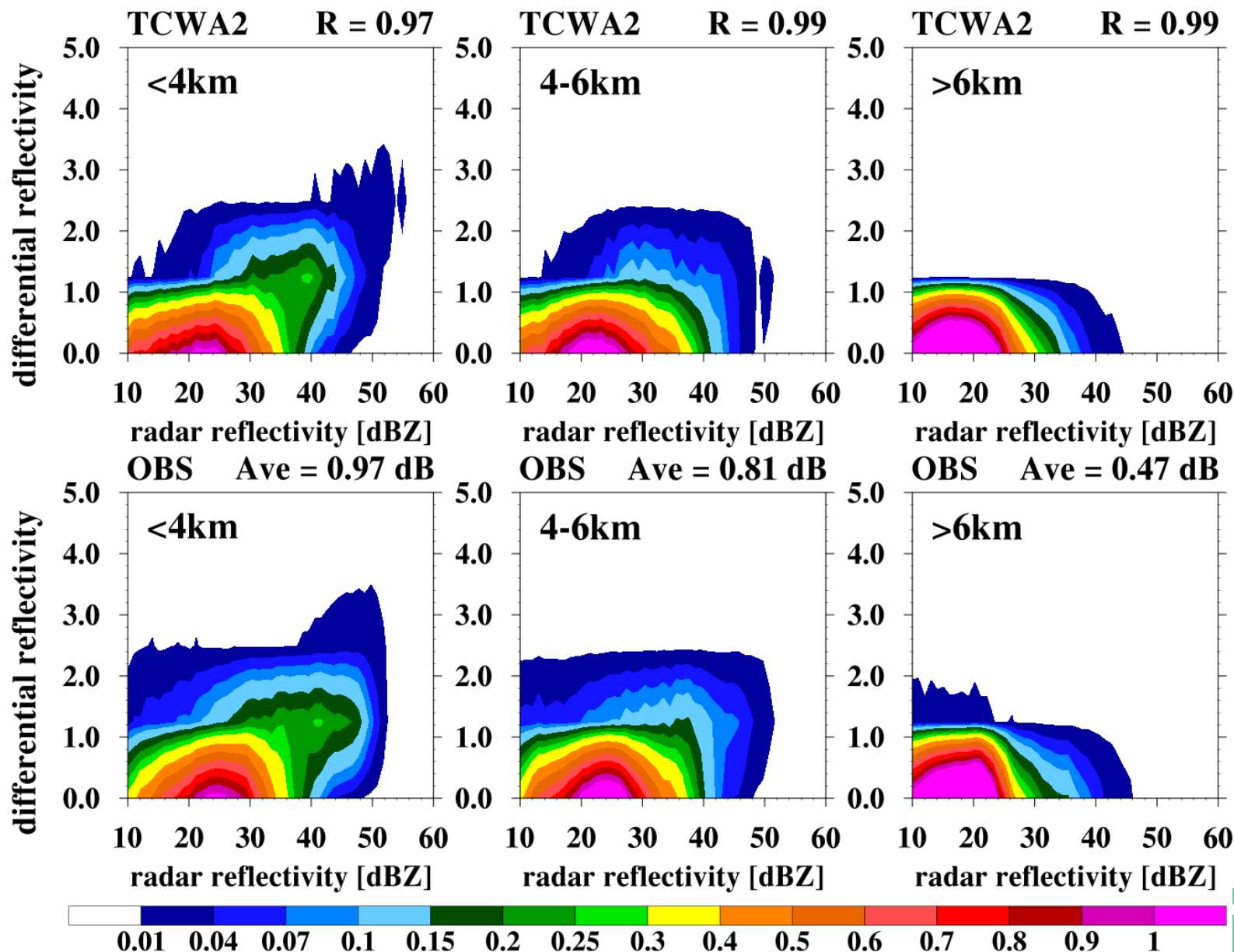
差分反射率(ZDR) Joint-PDF分層統計

主要控制過程有

- 雨滴碰撞收集
- 冰相水物融化
- 大雨滴破碎

TCWA2能合理重現
不同高度層主要水
物所對應的雙偏極
化雷達特徵

液相層 雨滴 混相層 濕雪(雹) 冰相層 乾雪(雹)



工作小結



1. TCWA2在雙矩量架構下診斷粒徑、形狀與密度特性，並使微物理過程與雙偏極化雷達算符具有一致的物理描述；模擬結果顯示，可合理重現主要水物所對應的雷達特徵；
2. TCWA2已向NCAR MPAS提交 Pull Request；其雙偏極化雷達算符亦已移植至 NCAR PPRO，並於 JEDI 中註冊為可選算符；
3. 未來將持續改善冰相微物理與粒子擺動處理，並透過更多天氣個案評估其模擬表現，進一步發展雙偏極化雷達資料同化技術。

報告完畢，敬請指教~