

# 評估中央氣象署TCWA2雙矩量雲微物理參數法在MPAS模式模擬雙偏極化雷達參數之表現

蔡子衿(Tsai, T.-C.)<sup>1</sup>、吳英璋(Wu, Y.-J.)<sup>1,2</sup>、陳正平(Chen, J.-P.)<sup>2</sup>、蕭玲鳳(Hsiao, L.-F.)<sup>1</sup>、劉志權(Jake Z. Liu)<sup>3</sup>

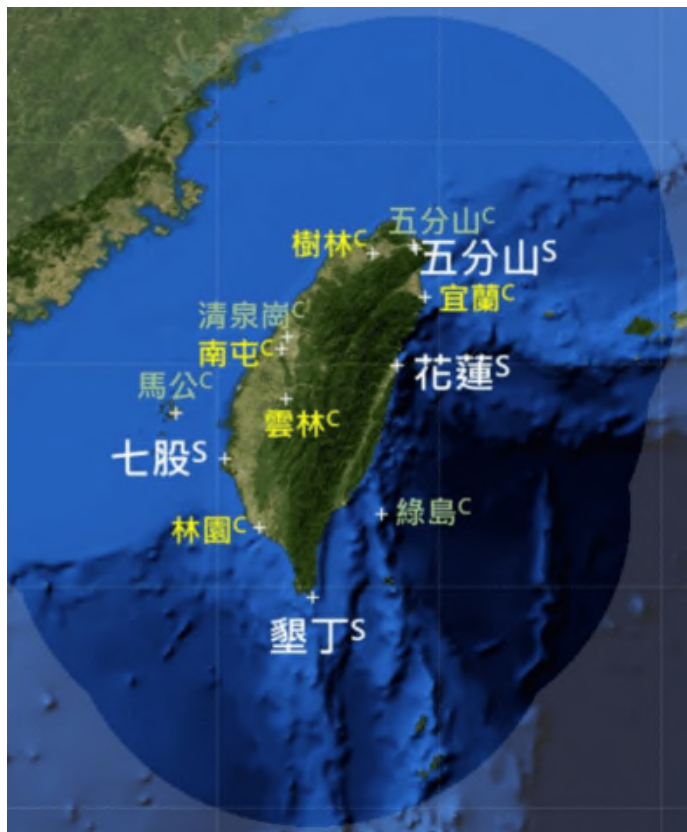
1. 中央氣象署科技發展組
2. 國立臺灣大學大氣科學系
3. 美國大氣研究中心(NCAR)

114年天氣分析與預報研討會(2025/09/02) | 中央氣象署

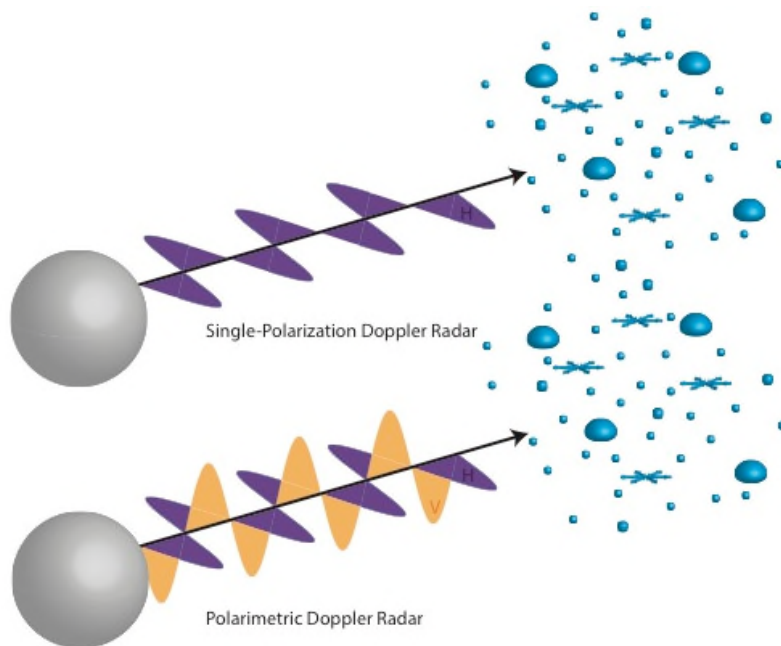
**TCWA2 : Taiwan Central Weather Administration 2-moment**

# 研究背景說明

## 雷達觀測網



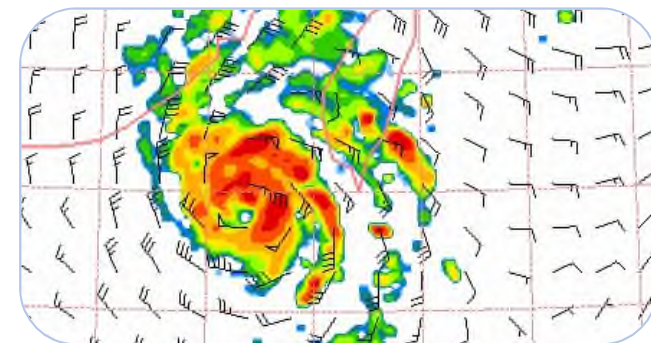
## 雙偏極化回波



水物粒徑、形狀和  
密度等特性

數值天氣模式  
極短期預報

12小時預報



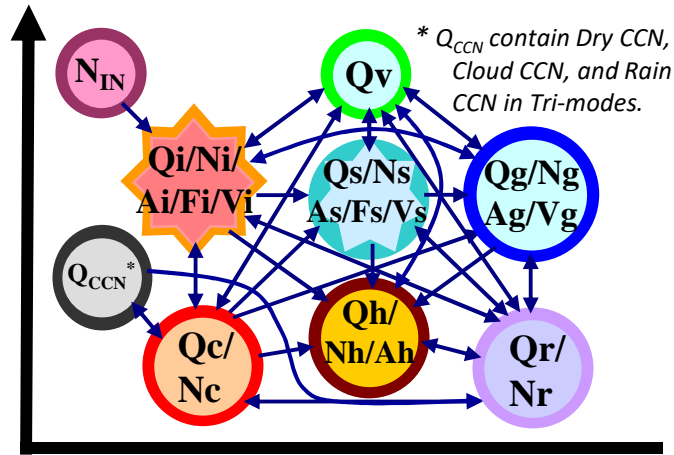
雷達資料同化

數值模式之挑戰：

1. 雲微物理參數法
2. 雙偏極化雷達算符



# NTU 4Ice-3M scheme



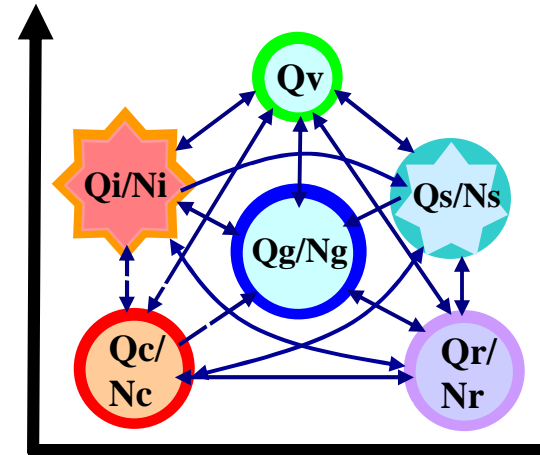
27 Variables

1. 第二階矩量M2
2. 形狀、體積矩量
3. 合併軟雹與硬雹



4. 水物落速耦合特性
5. 氣膠活化參數式
6. 飽和度預報法

# TCWA2



11 Variables

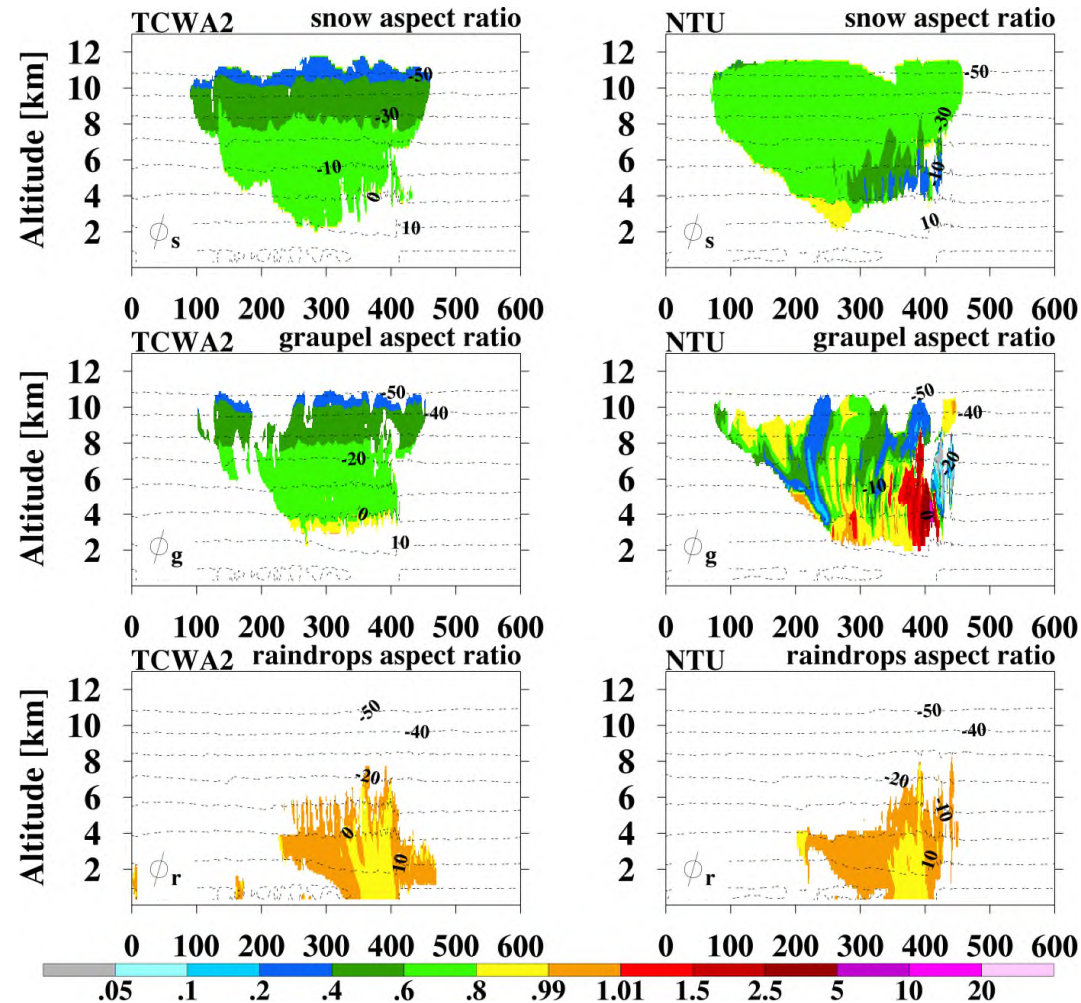
物理方法	WDM6	MORR	MY2	NTU	TCWA2
矩量閉合	雙(暖雲)	雙	雙	三	雙
預報個數	9	10	13	27	11
譜型參數	譜型參數 $\alpha = 0, 1, \text{或} 3$ 定值			預報譜型參數	診斷譜型參數
冰粒子特性	假設球形且密度為定值			預報法	診斷法
落速參數	依照不同水物給予定值			理論法數值解	

兩參數法物理過程都可考慮水物粒徑譜、形狀和密度在凝華、碰撞及落速之影響

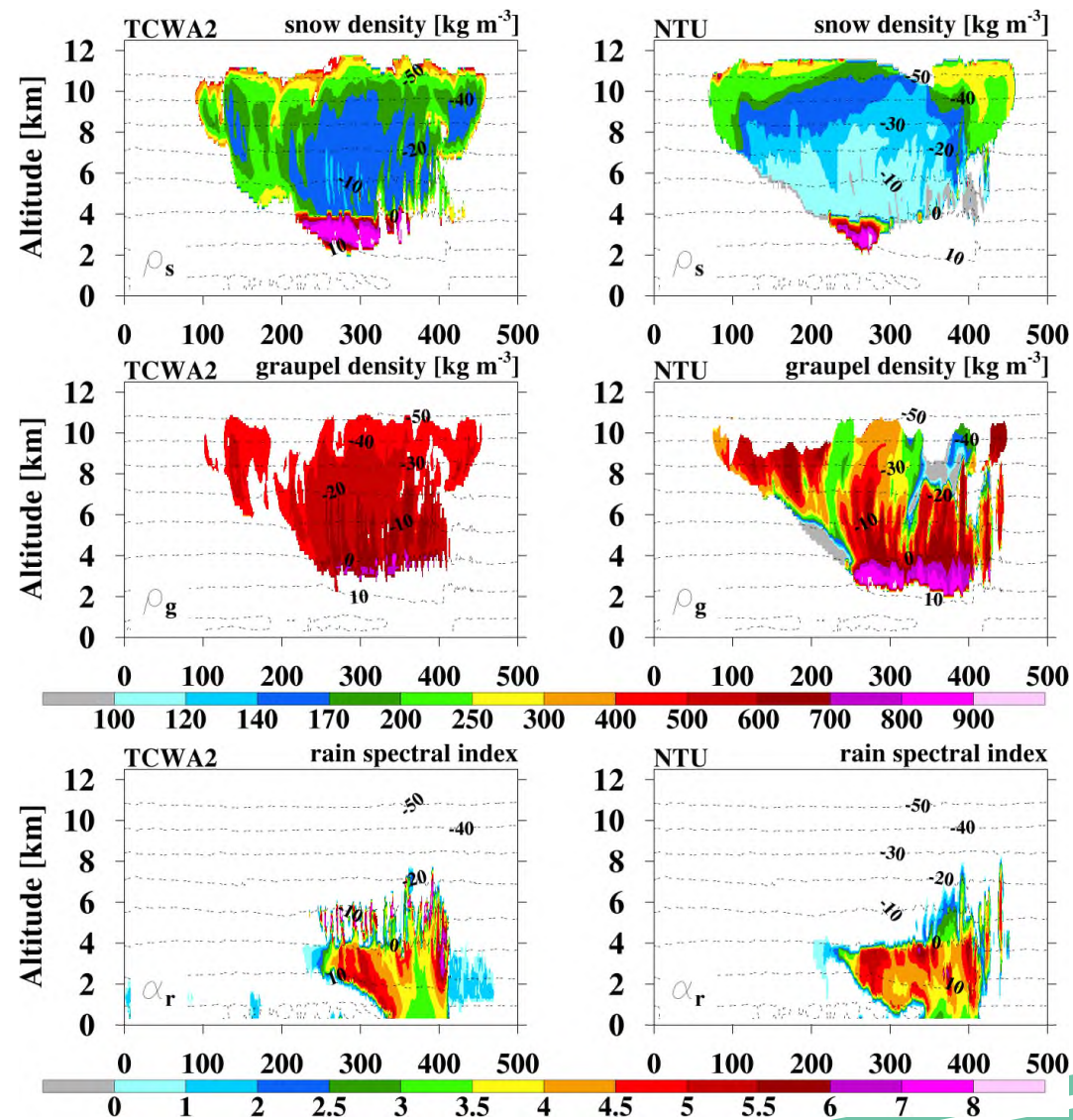
# WRF 二維理想個案 squall line 模擬

## 水物形狀、密度及譜型參數

TCWA2 (左) 及 NTU (右)



TCWA2 (左) 及 NTU (右)



## 雲物理模式變數

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  
(電磁波長、  
傾斜角、冰水  
混合方式等)

## 雙偏極化參數

1. 雷達回波因子DBZ
2. 差分反射率ZDR
3. 比相差KDP
4. (線性偏振率LDR)
5. (極化相關係數RHV)

高度耦合模  
式之粒徑譜、  
水物特性及  
融化比例至  
雷達模擬器

## 散射振幅關係式

$$f_{a,b}^{(\pi)} = \frac{\text{水物粒徑}^3}{6 \times \text{雷達波長}^2} \frac{1}{\left[ L_{a,b} + \frac{1}{\epsilon_i - 1} \right]}$$

縱橫比 冰水比例

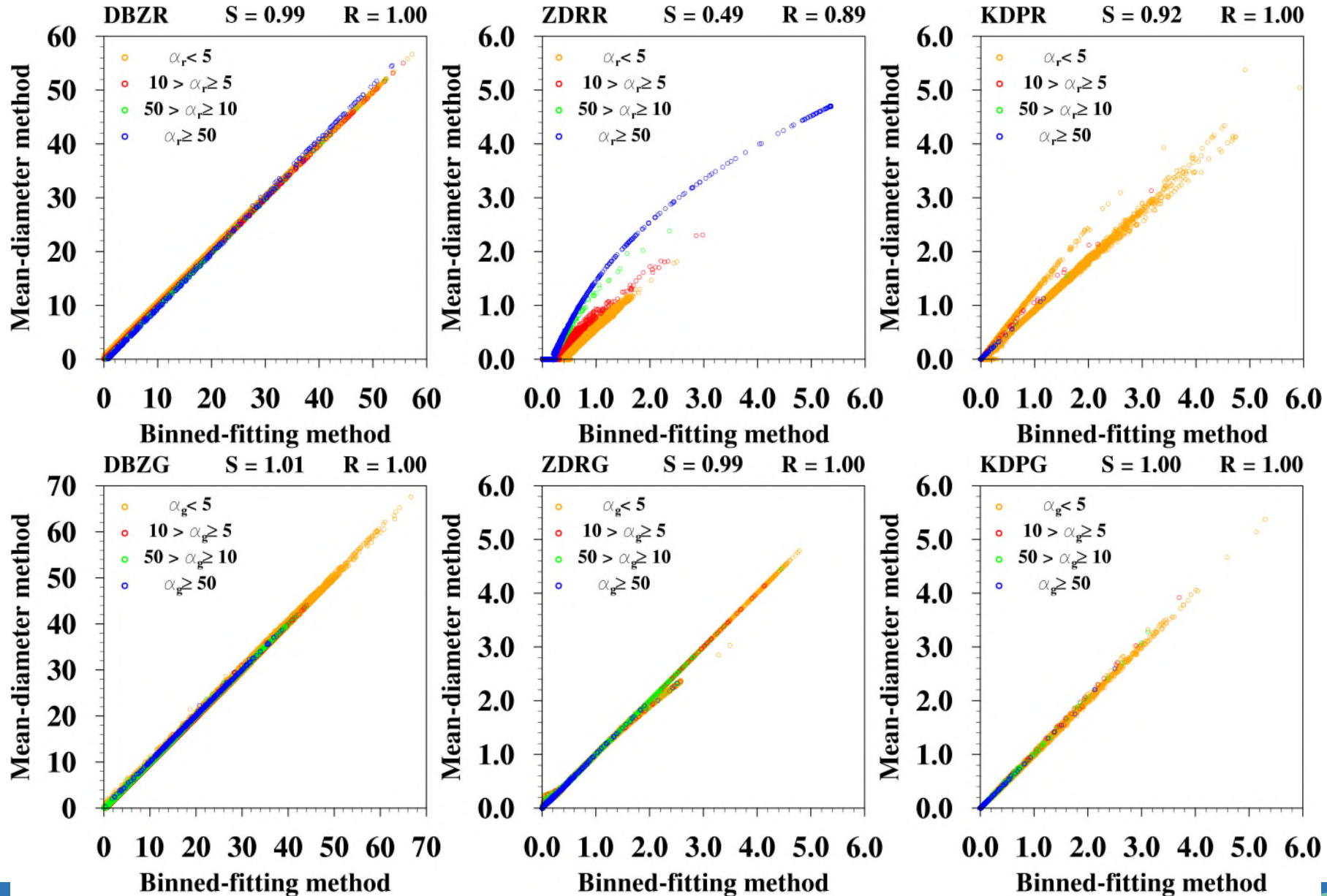
1. 傳統作法：擬合 $f_{a,b}$ 為 $f(D)$ 冪次擬合式後對粒徑譜積分

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

2. 本研究方法：直接用細格(bin)法求得雙偏極化參數之積分結果，然後在擬合其為粒徑函數等

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

# 驗證本研究方法之參數式-雨滴和結凇冰晶(軟雹)



1. 雨滴形狀採用隨粒徑變化之關係式，粒徑譜越寬( $\alpha$ 越小)，形狀效應越顯著；
2. 結凇冰晶形狀不隨粒徑變化，故其結果趨近於平均法；
3. 本雷達算符的計算符合TCWA2與NTU水物之物理關係

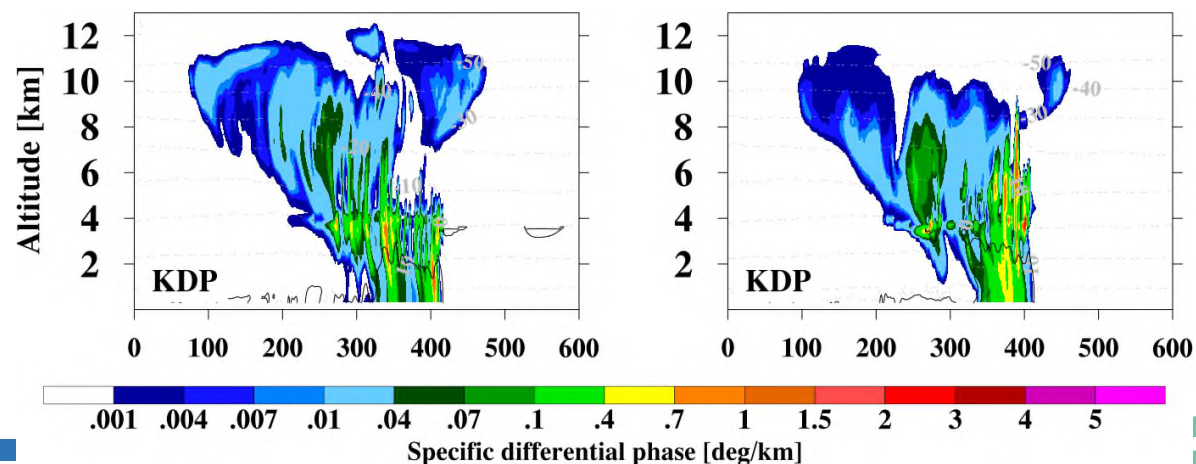
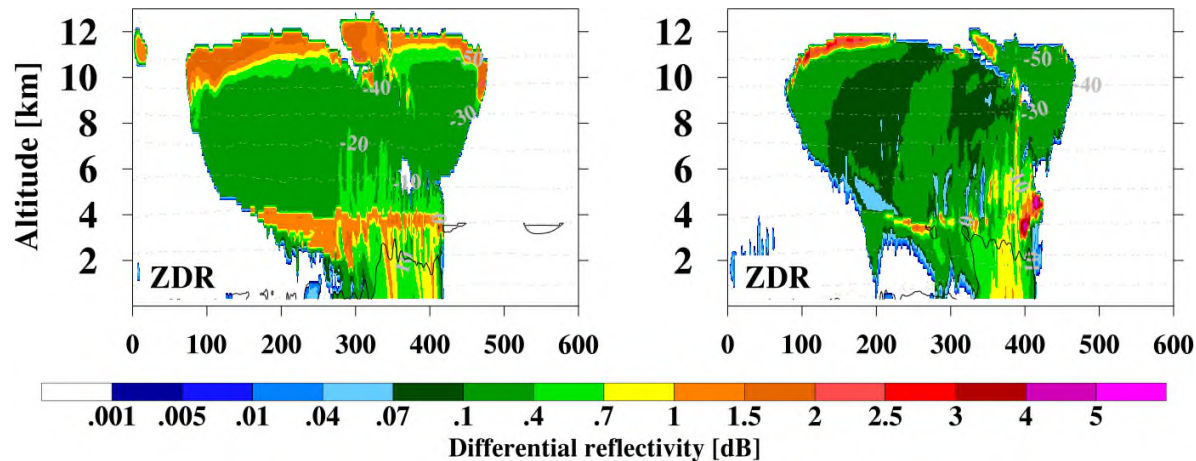
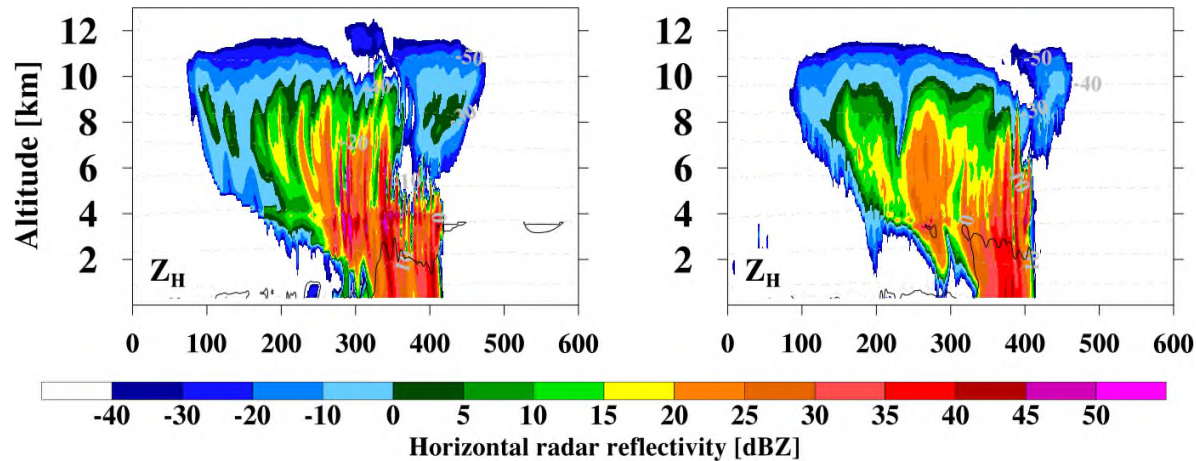
# WRF二維理想個案 squall line模擬



TCWA2 (左) 及 NTU (右)

雙矩量法及  
診斷冰相水物  
形狀和密度

三矩量法及  
預報冰相水物  
形狀和密度



水平回波  $Z_H$

- 對流區
- 層狀區
- 融化層亮帶  
(bright band)

差分反射率  $ZDR$

- ZDR column
- Midlevel ZDR rings
- Cloud top ZDR

比相差  $KDP$

- KDP column
- KDP foot

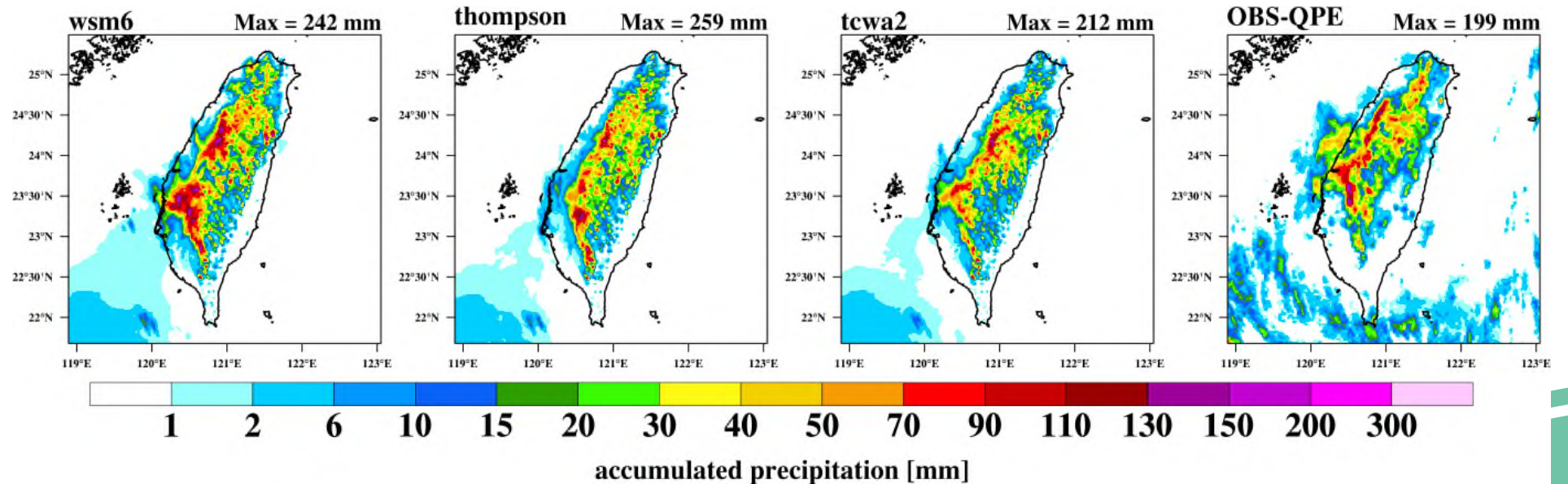
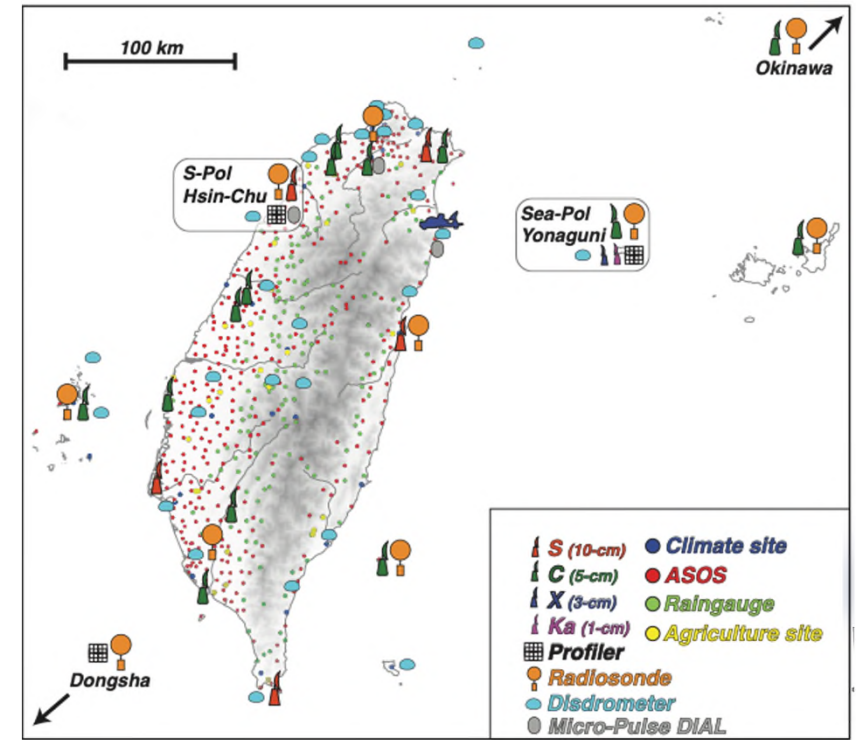
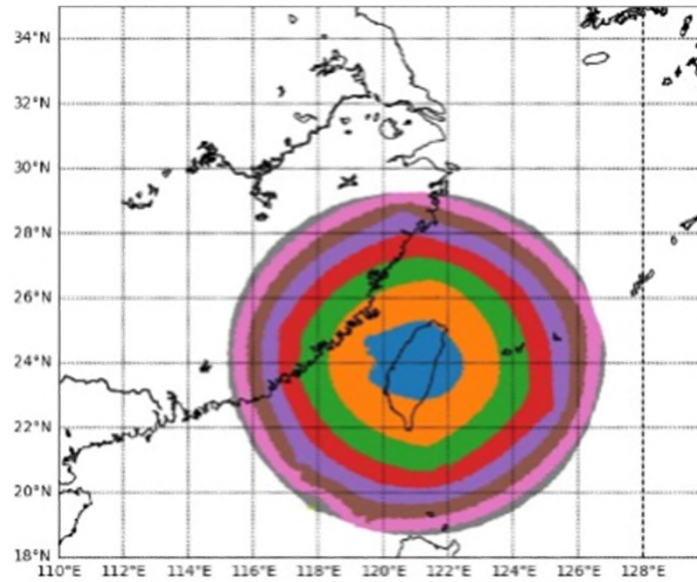
# MPAS三維實際個案

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  
雲微物理參數法：

wsm6、  
thompson、  
tcwa2

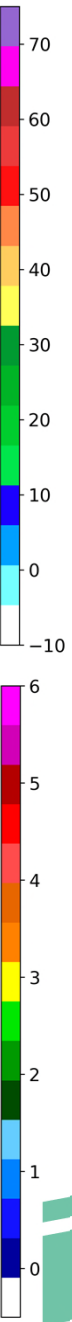
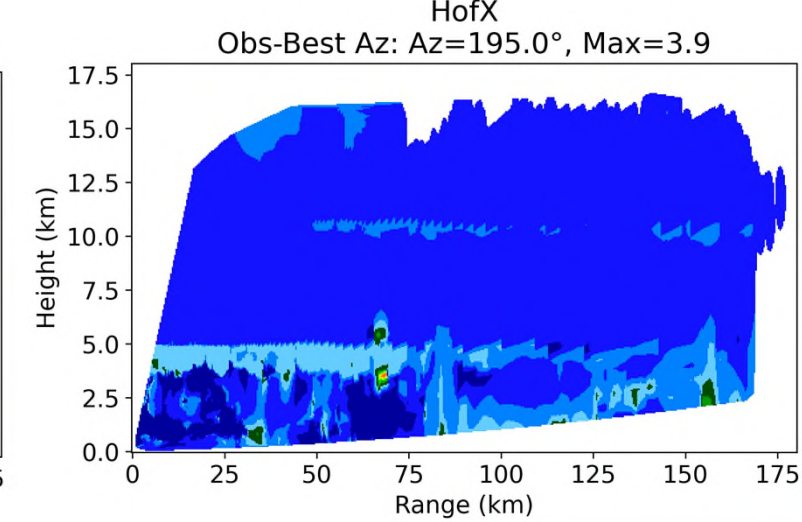
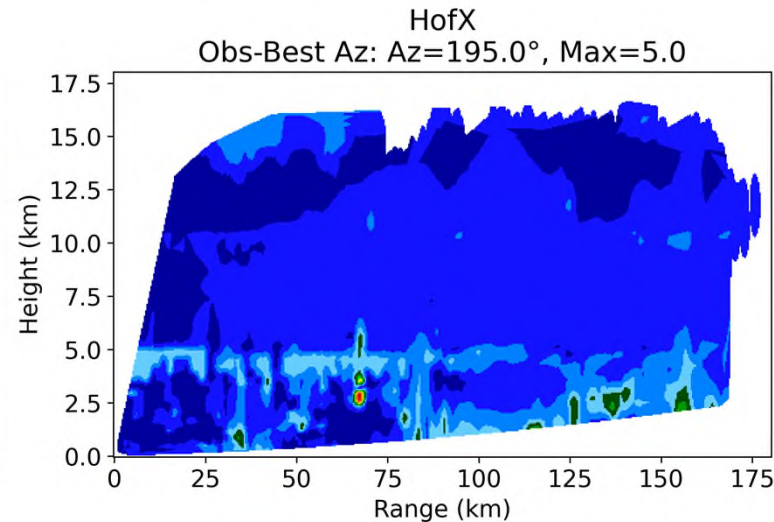
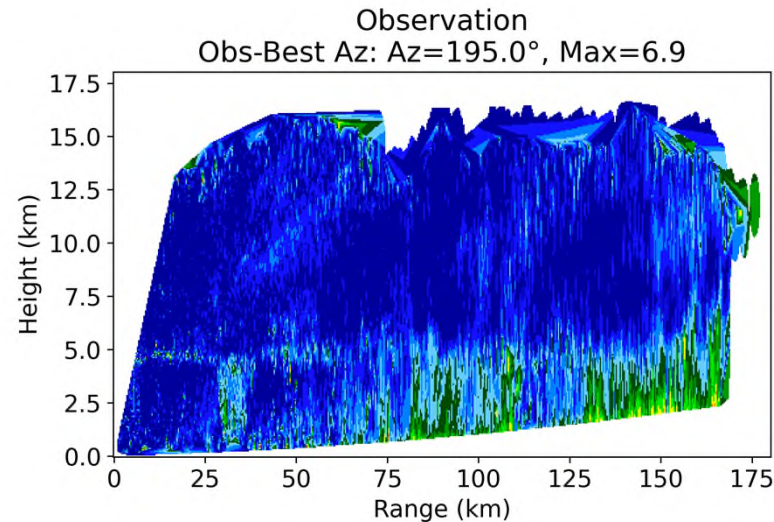
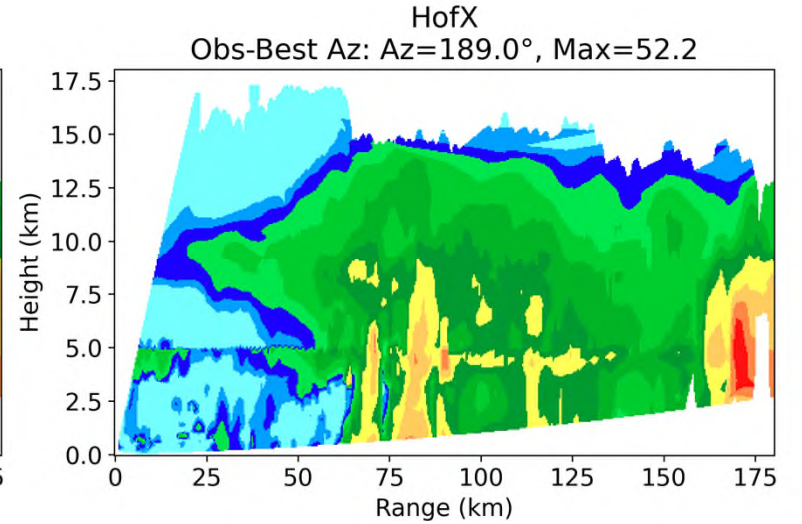
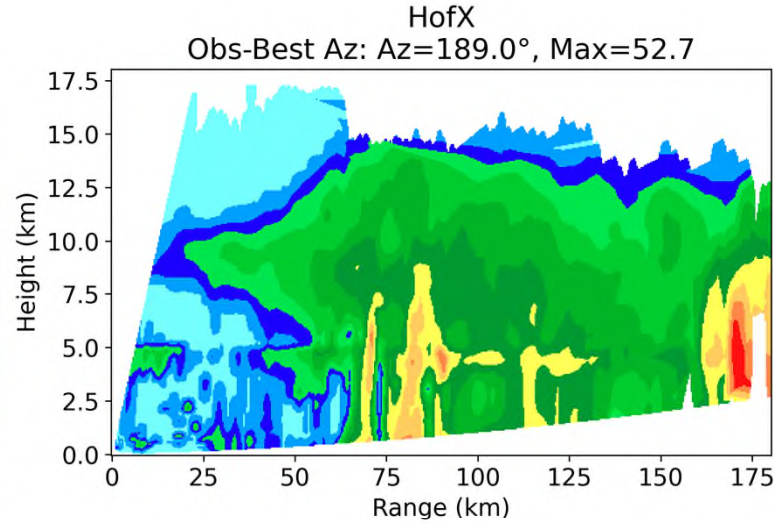
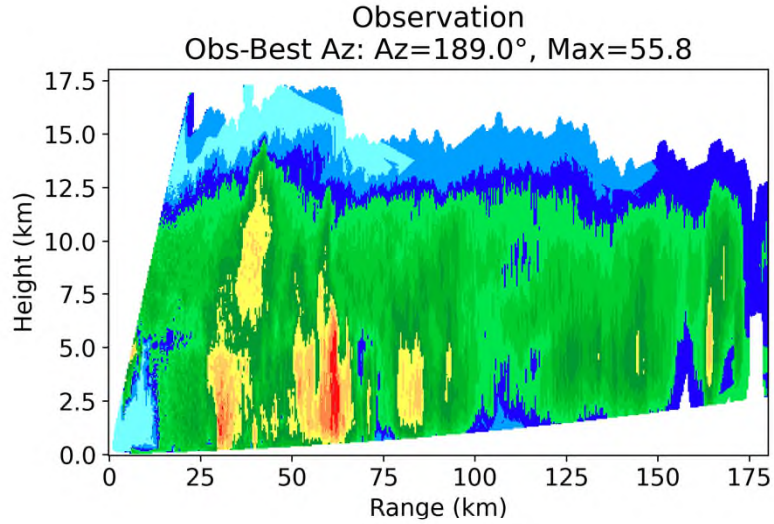


# MPAS-JEDI觀測算子[observation operator, $H(x)$ ]比對

NCAR S-POL RHI觀測8Z

MPAS結果內插至觀測點

JEDI結果內插至觀測點

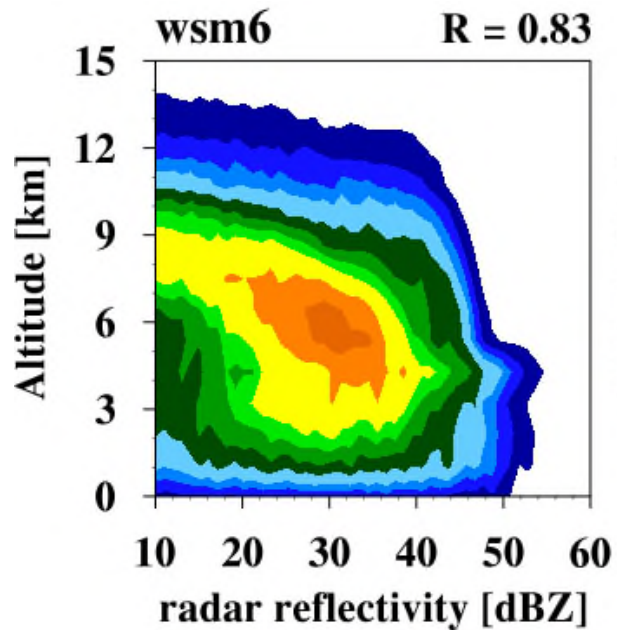


# 雷達回波CFAD統計

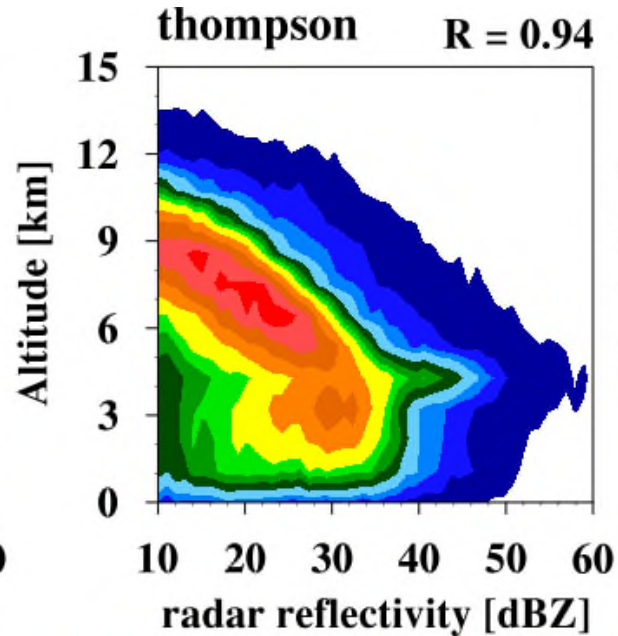
時間 2022 6/24 6-11Z 對應觀測格點



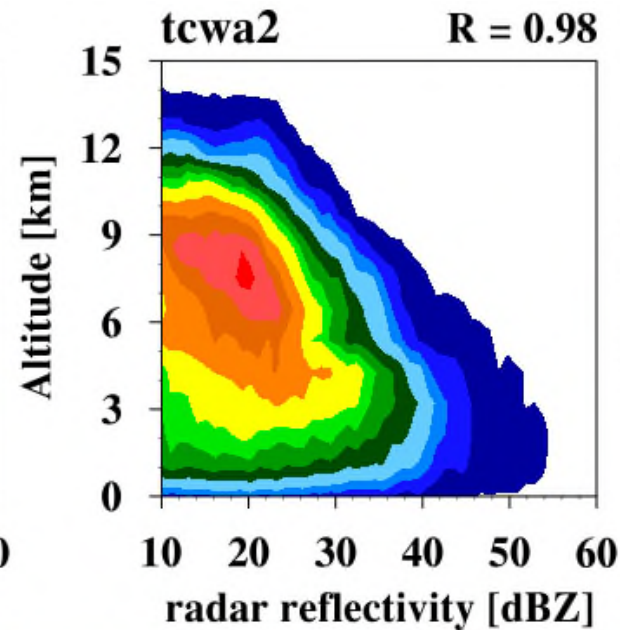
### NCAR單矩量



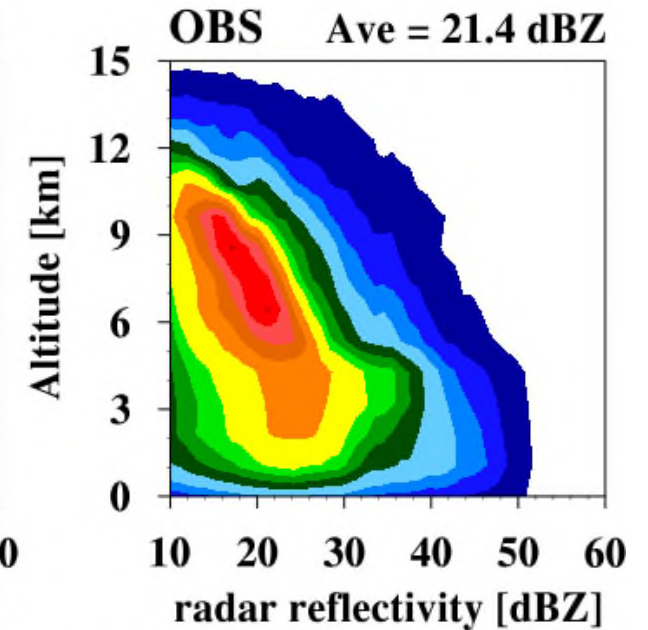
### NCAR雙矩量



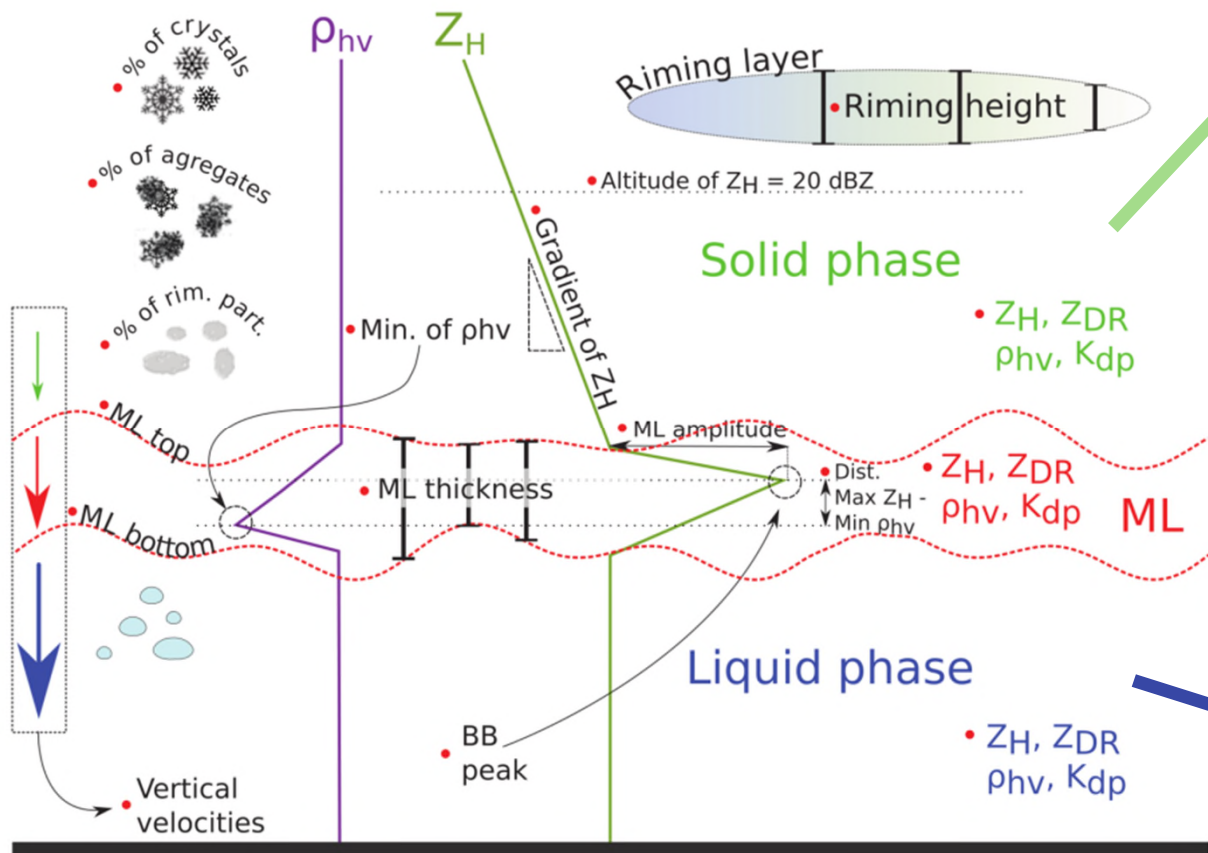
### 氣象署雙矩量



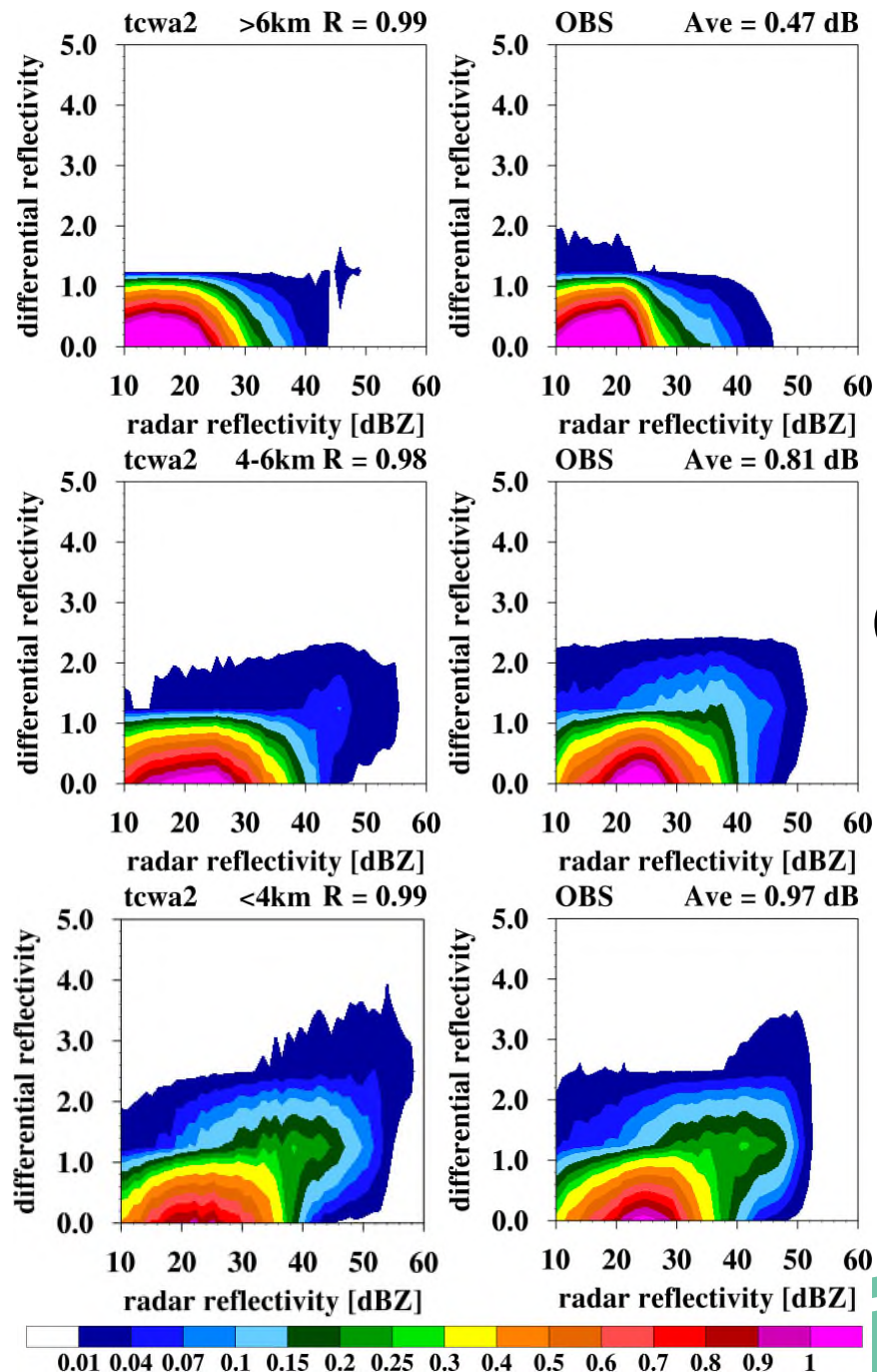
### 氣象署PPI觀測



# 差分反射率(ZDR)CFAD分層統計



(Wolfensberger, Scipion et al. 2016)

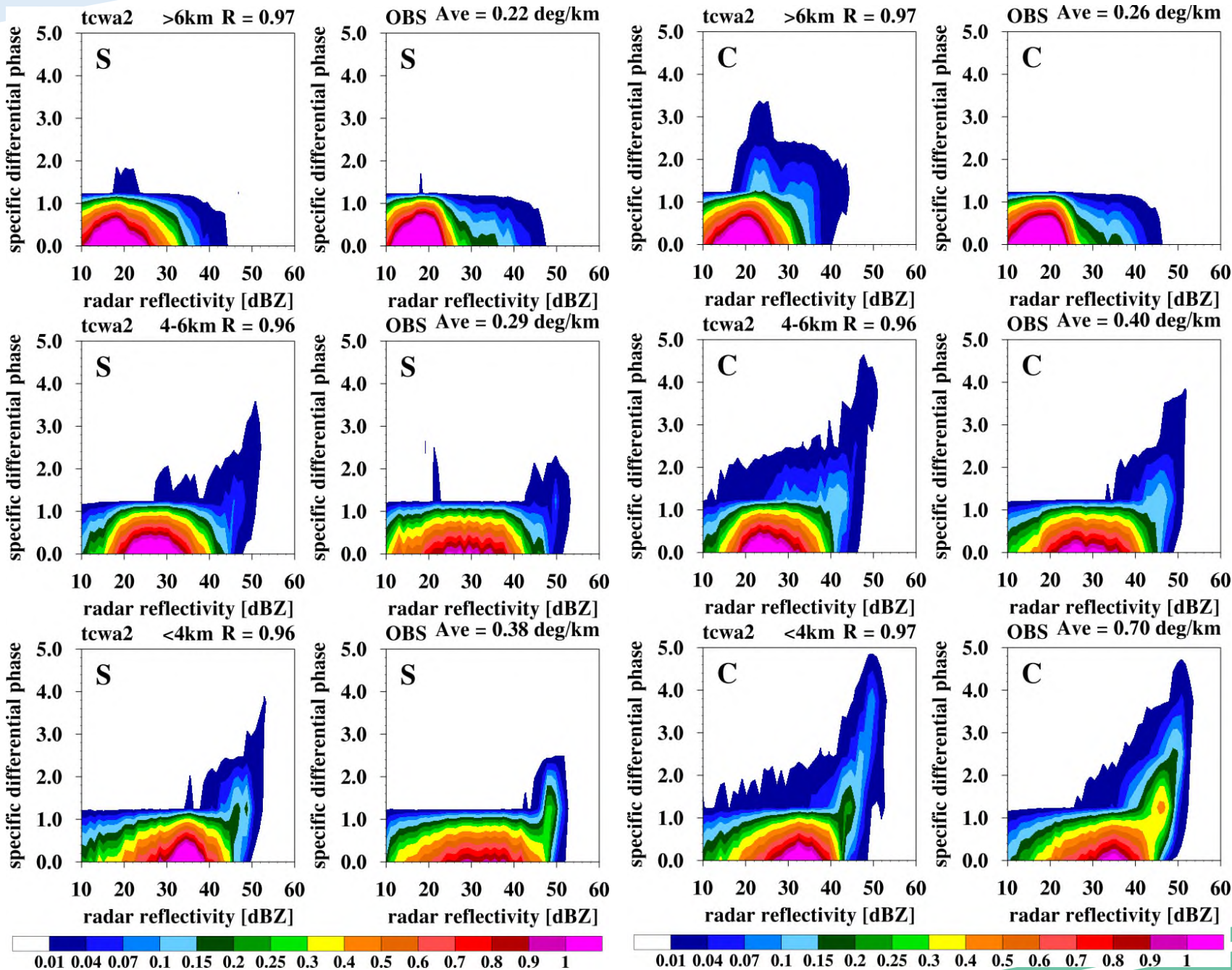


冰相層  
(>6公里)  
乾雪(雹)

混相層  
(4~6公里)  
濕雪(雹)

液相層  
(<4公里)  
雨滴

# 比相差(KDP) CFAD分層 統計之 S和C波段



冰相層  
(>6公里)  
乾雪(雹)

混相層  
(4~6公里)  
濕雪(雹)

液相層  
(<4公里)  
雨滴



# 工作小結

1. 針對極短期天氣預報，中央氣象署發展一雙矩量雲微物理參數法 TCWA2 及雙偏極化雷達算符(總體法)，除耦合水物粒徑譜和物理特性外，並移植至 MPAS 模式及 JEDI 雷達資料同化系統；
2. 經 TAHOPE 實驗 6/24 個案與雷達觀測初步比對，顯示 TCWA2 模擬雙偏極雷達訊號可大致掌握不同高度層之回波強度(ZH)、差分反射率(ZDR)及比相差(KDP)統計之物理特性。

**報告完畢，謝謝指教~**

# Polarimetric Radar Operator

(Ryzhkov et al. 2011)



scattering amplitude

$$f_{a,b}^{(\pi)} = f_{a,b}^{(0)}$$

radar wavelength

- S band 110 mm
- C band 53 mm
- X band 32 mm

Ice diameter

$$\frac{\pi^2 D_i^3}{6\lambda^2} \left[ L_{a,b} + \frac{1}{\epsilon_i - 1} \right]$$

Shape parameter **density-adjusted ice dielectric factor**

effective ice density

solid ice dielectric constant

$$\epsilon_i = \frac{1 + 2 \frac{\rho_i}{\rho_{i0}} \frac{\epsilon_I - 1}{\epsilon_I + 2}}{1 - \frac{\rho_i}{\rho_{i0}} \frac{\epsilon_I - 1}{\epsilon_I + 2}}$$

solid ice density

- Influences of ice crystal **density** and **aspect ratio (shape)**

**Oblate spheroids**

$$L_a = \frac{1 + f^2}{f^2} \left[ 1 - \frac{\arctan f}{f} \right]; L_b = \frac{1 - L_a}{2}; f = \sqrt{\phi^{-2} - 1}$$

**Prolate spheroids**

$$L_a = \frac{1 - e^2}{e^2} \left[ \frac{1}{2e} \ln \left( \frac{1 + e}{1 - e} \right) - 1 \right]; L_b = \frac{1 - L_a}{2}; e = \sqrt{1 - \phi^{-2}}$$

$$Z_{h,v} = \frac{4\lambda^4}{\pi^4 |K_w|^2} \int_0^\infty \{ F(f_a, f_b, A) \} n(D) dD$$

$$K_{DP} = \frac{0.18\lambda}{\pi} \int_0^\infty \{ F(f_a, f_b, A) \} \cdot n(D) dD$$

$$Z_{DR} = 10 \log \left( \frac{Z_h}{Z_v} \right)$$

$$L_{dr} = \frac{4\lambda^4}{\pi^4 |K_w|^2} \int_0^\infty F(f_a, f_b, A) \cdot n(D) dD$$

Angular moments

water dielectric factor

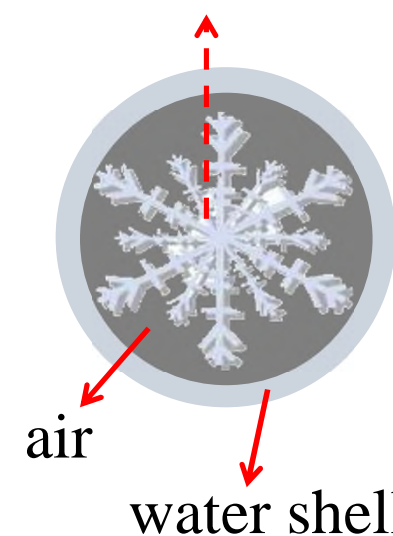
# Mixture & volume water fraction

The dielectric constant  $\epsilon_{ws}$  for the melting snow aggregate (air-ice-water mixture) is calculated with a **two-step** procedure using **Maxwell-Garnett** mixing formula (Maxwell-Garnett 1904).

1<sup>st</sup> step ( $\epsilon_s$ ) :  $\epsilon_i$  (inclusion) –  $\epsilon_a$  (matrix) by  $\rho_s$

2<sup>nd</sup> step ( $\epsilon_{ws}$ ) :  $\epsilon_s$  (inclusion) –  $\epsilon_w$  (matrix) by  $f_{vw}$

ice inclusion



$f_{vw}$  : volume water fraction;  $f_{mw}$  : mass water fraction (*from model*)

1. Jung et al. (2008)

No density effect  $f_{vw} = F_{\max} \left[ \min \left( \frac{Q_S}{Q_R}, \frac{Q_R}{Q_S} \right) \right]^{0.3}$   
 $F_{\max} = 0.5$

2. Ryzhkov et al. (2011)

No water skin effect  $f_{vw} = \frac{\rho_s f_{mw}}{\rho_w - \rho_w f_{mw} + \rho_s f_{mw}}$

*This study*

$$f_{vw} = \left( \frac{\rho_s f_{mw}}{\rho_w - \rho_w f_{mw} + \rho_s f_{mw}} \right)^{0.3}$$