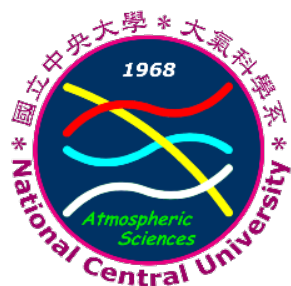


利用系集敏感度分析與觀測系統模擬實驗 評估佈建先進觀測儀器對數值天氣預報之效益

2024/09/04

莊秉學 柯縉盈 廖宇慶 鍾高陞 張偉裕 張沁全

國立中央大學 大氣科學學系



- 研究動機與目標
- 研究方法
 - 實驗設計
 - 觀測算符設置
 - 系集敏感度分析 (Ensemble Sensitivity Analyses, ESA)
- 研究成果
 - 系集敏感度分析結果
 - 觀測系統模擬實驗結果
- 結論與未來展望

- ✓ 地面觀測與雷達觀測網已完整建置，能掌握降水系統演變、近地表天氣。但前者為限地觀測，後者受限於仰角、地形阻擋，邊界層內觀測仍不足。
- ✓ 建置**先進儀器**觀測網，提供**高時空解析度**之觀測，提高邊界層環流掌握度，提升局地可預報度。
- ✓ **系集敏感度分析(ESA) + 觀測系統模擬實驗(OSSEs)**，提供評估架構、儀器設置建議。

垂直剖線觀測

風場：雲雷達(KASPR、Doppler Cloud Radar MIRA)、光達(WINDCUBE)

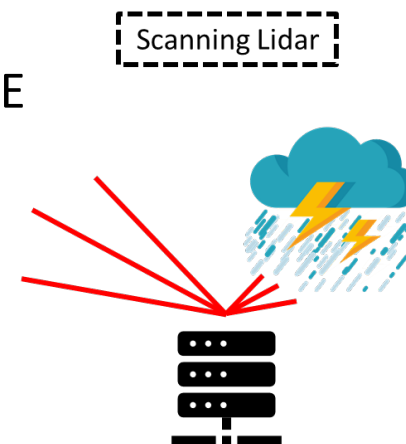
溫度：微波輻射計(MP- 3000A、MICCY)

水氣：氣溶膠光達(LR111-D300)、光達(MPD)



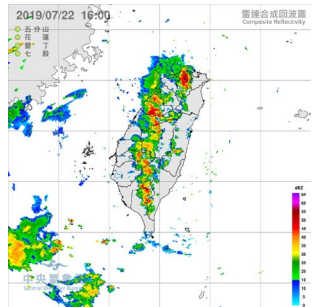
掃描式光達

風場：WINDCUBE

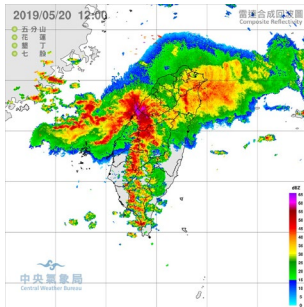


個案選取

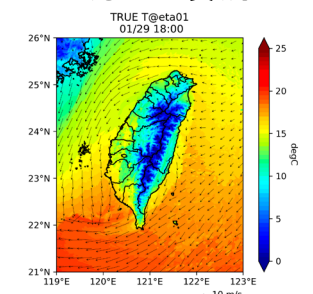
午後對流



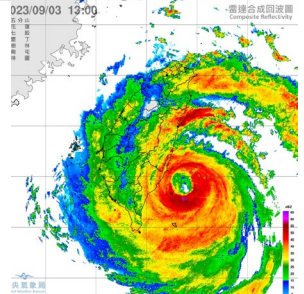
鋒面降雨



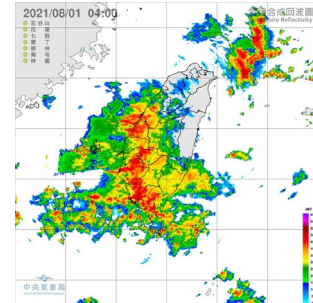
晴空環流



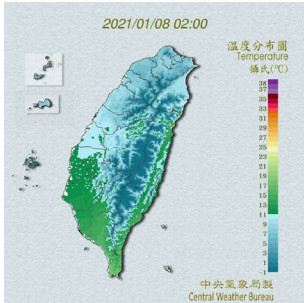
颱風



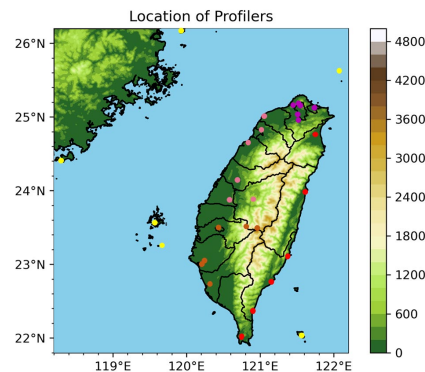
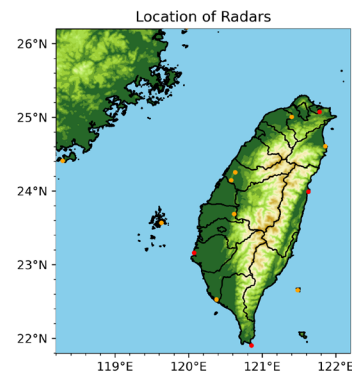
西南氣流



寒潮個案



觀測系統模擬實驗(OSSEs)



地面站+雷達

VS

地面站+雷達+先進儀器

30站、20站、10站

分區排名 vs 全臺排名

系集敏感度分析(ESA)

1. 定義回應函數 $J(x)$

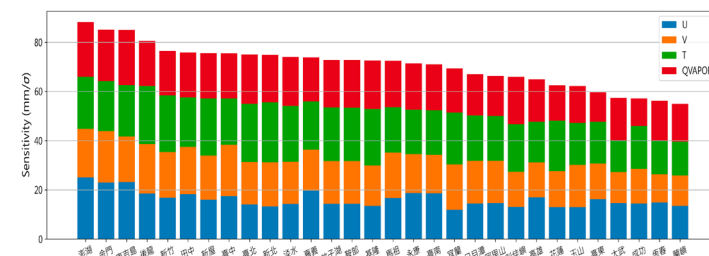
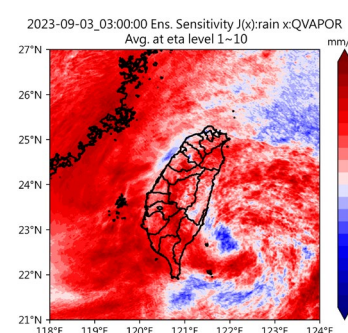
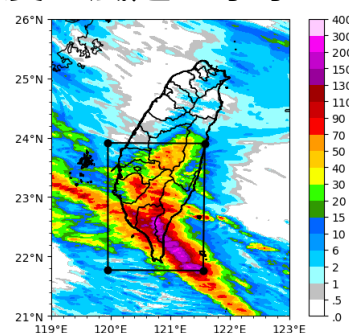
降水、地表氣壓、
渦度、風速...等等

2. 計算U, V, T Qv 對於

回應函數之敏感度

3. 將站點10km內ESA結果平均，

累加所有變量ESA並排序



$$\frac{\partial J}{\partial \vec{x}} = \frac{Cov(J, \vec{x})}{Var(\vec{x})}$$

J : 回應函數 Response function

$\vec{x}$: 狀態變數 State Variable

$$\frac{\partial J}{\partial \vec{x}_{norm}} = \frac{\partial J}{\partial \vec{x}} \times Std(\vec{x}) = \frac{Cov(J, \vec{x})}{Std(\vec{x})} = Corr(J, \vec{x}) std(J)$$

1. 定義回應函數 $J(x)$

降水、地表氣壓、渦度、風速...

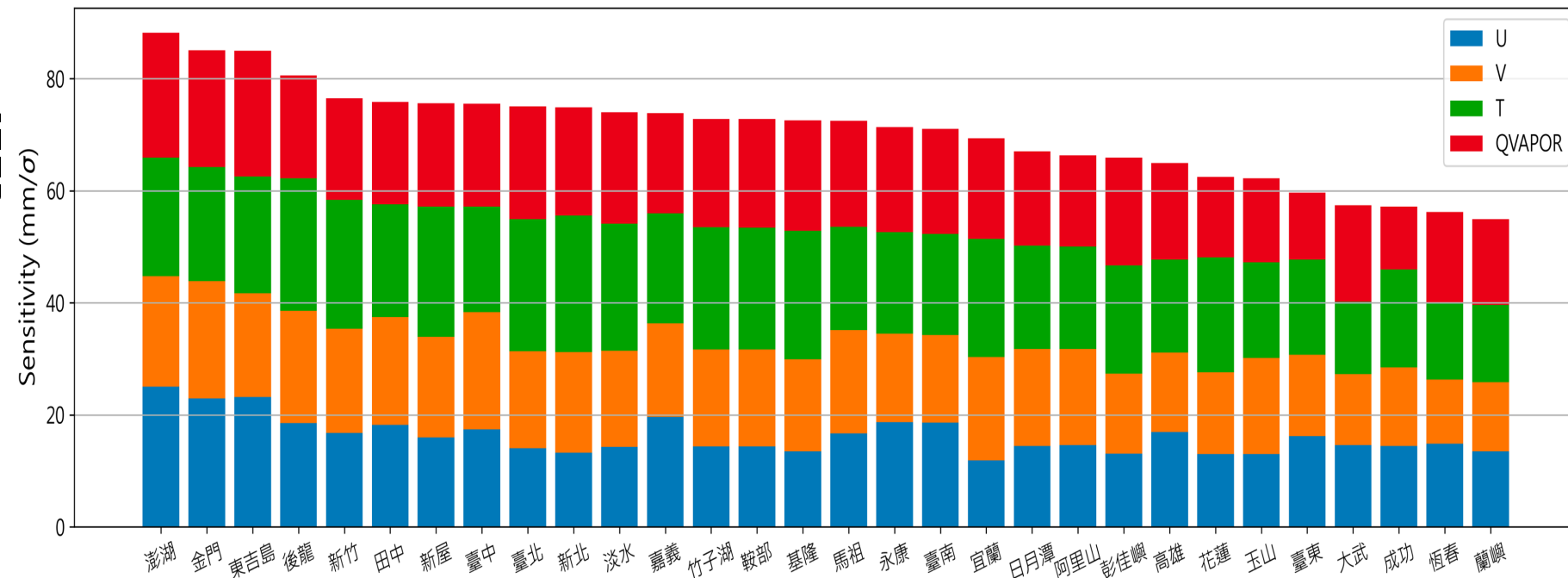
J : 7/22 05 至 10 UTC 累積降水

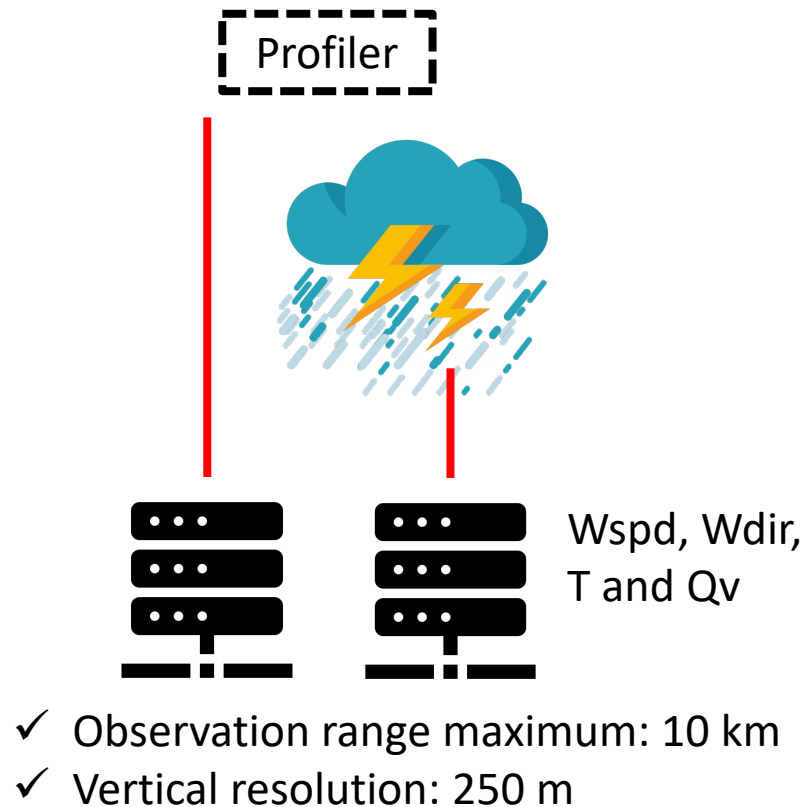
2. 計算 U, V, T, Q_v 對於回

應函數之敏感度

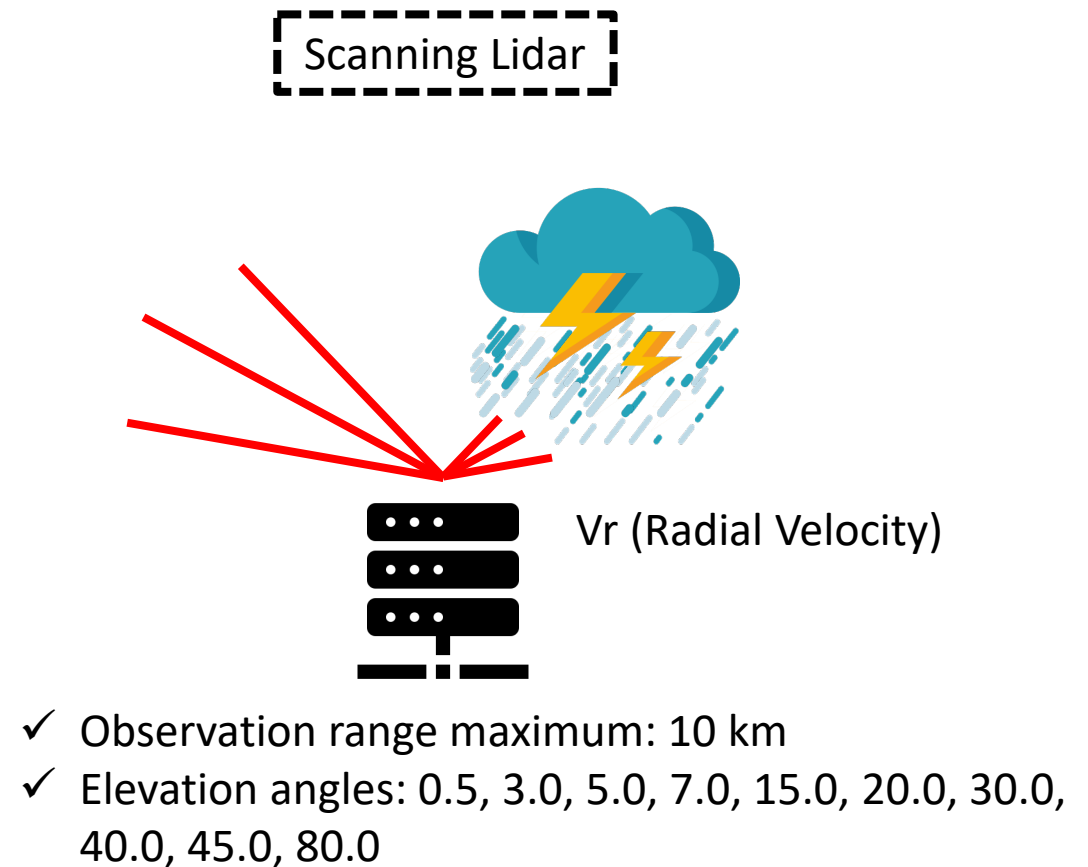
3. 將站點10km內ESA結果平均，

累加所有變量ESA並排序





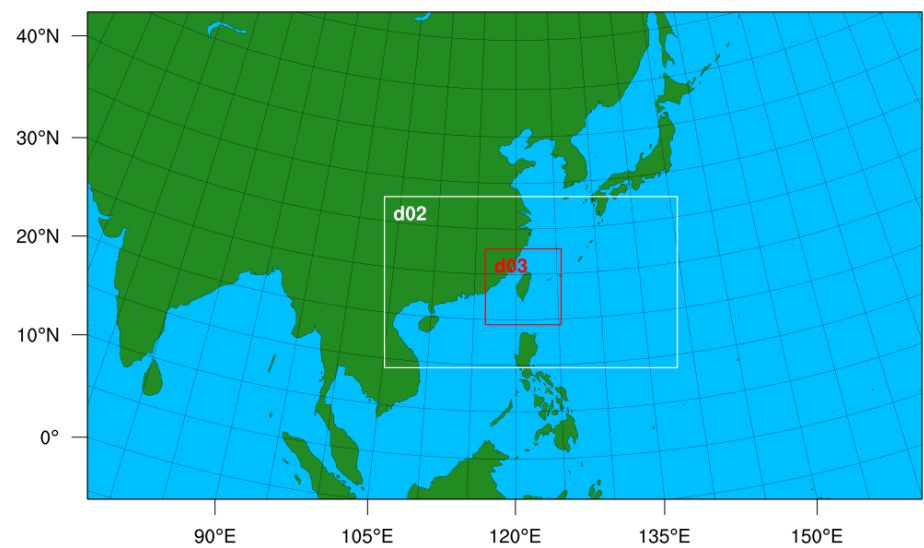
The observation is truncated if the vertical accumulation of ZH > 30 dBZ



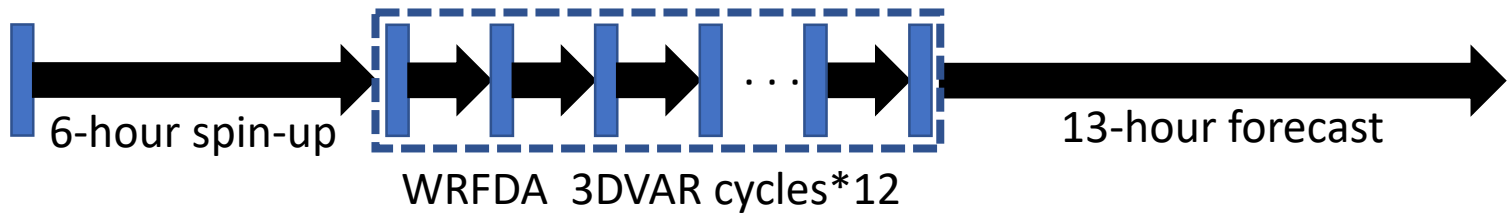
The lidar beam can not pass through the grid point with ZH > 10 dBZ

	Wspd	Wdir	RH	T	Td	Qv
Error STD	1.1 m/s	20.0 deg	10.0 %	2.0 K	2.0 K	0.8 g/kg

WPS Domain Configuration

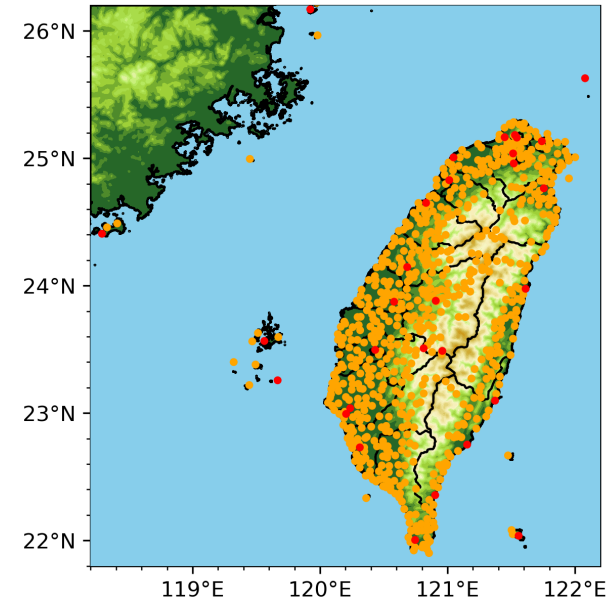


Version	WRFV3.9.1
IC and BC	NCEP FNL analysis 0.25 degree
Horizontal Resolution	10km 、 2km 、 1km
Vertical Resolution	65 eta levels
Physics Parameterization	
LW Radiation	RRTM scheme
SW Radiation	RRTM scheme
PBL	YSU scheme
Cumulus	Grell-Devenyi ensemble scheme
Microphysics	GCE scheme

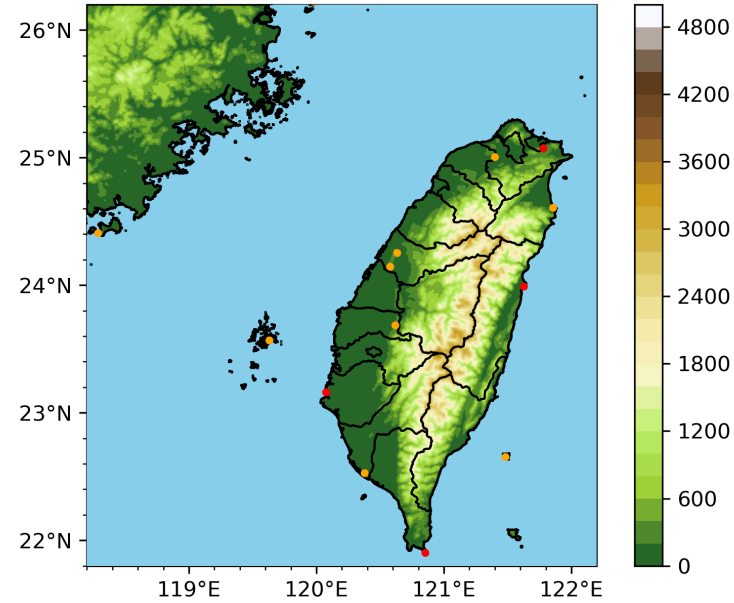


21 th Jul. 2019 1200 UTC	21 th Jul. 2019 1800 UTC	22 th Jul. 2019 0500 UTC	Afternoon Thunderstorm
19 th May. 2019 1200 UTC	19 th May. 2019 1800 UTC	20 th May. 2019 0500 UTC	Frontal MCS

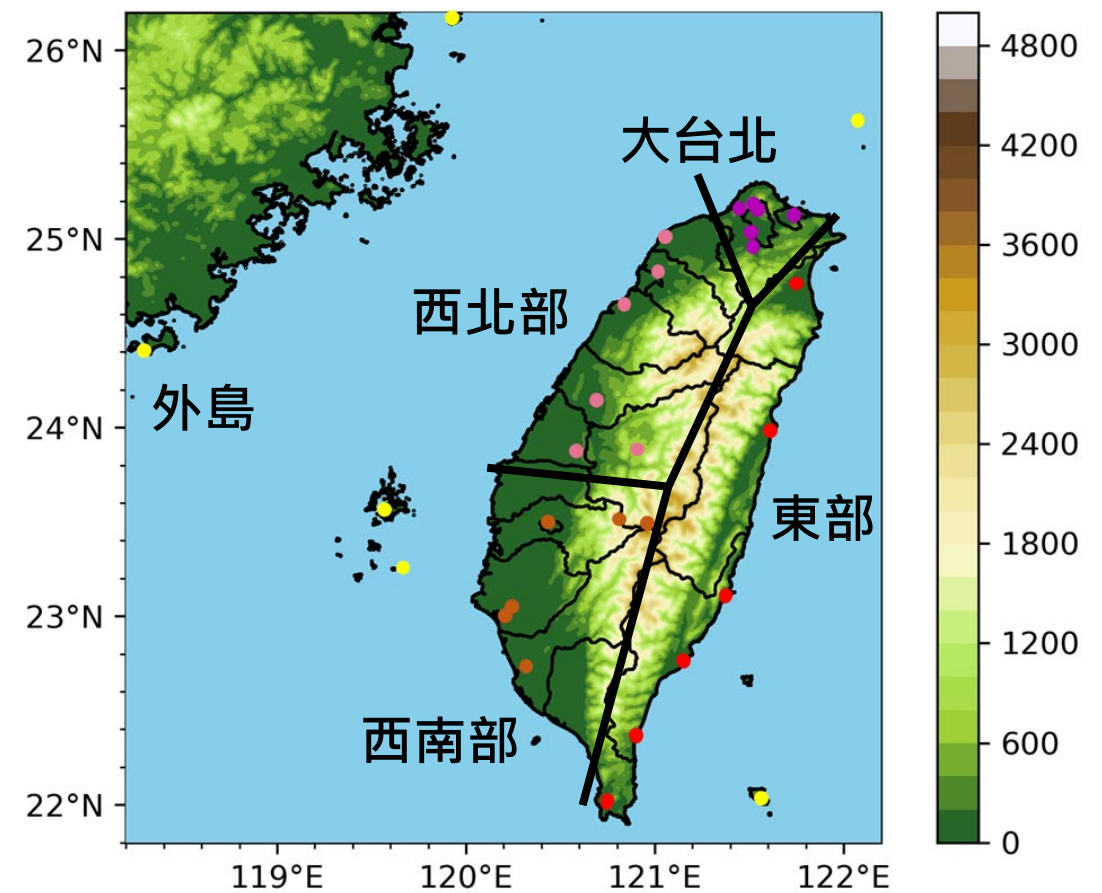
Location of Surface Stations



Location of Radars



Location of Profilers



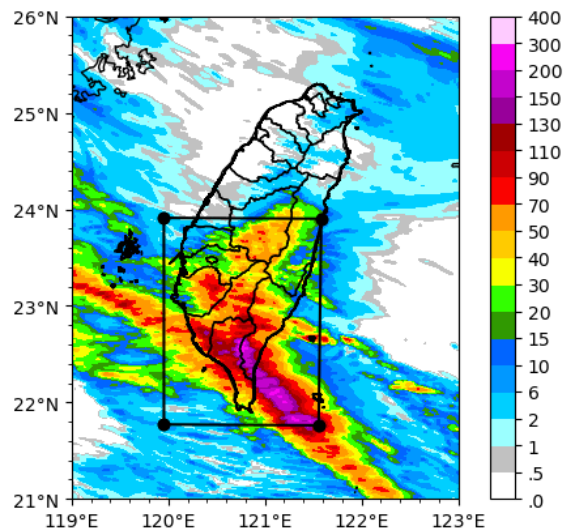
	地面站	雷達	垂直剖線觀測 + 掃描式光達
Ctrl	X	X	
Top10	X	X	ESA 前10名
Top20	X	X	ESA 前20名
RTop10	X	X	ESA 各區前2名
RTop20	X	X	ESA 各區前4名
ALL	X	X	全臺

研究成果

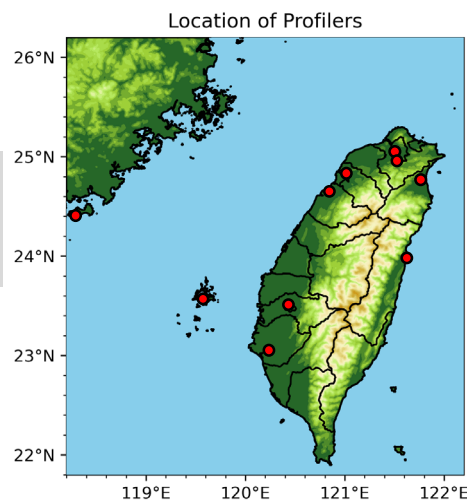
午後對流 與 鋒面個案

$$\frac{\partial J}{\partial \bar{\mathbf{x}}} \cdot Std(\bar{\mathbf{x}}) = \frac{Cov(J, \bar{\mathbf{x}})}{Std(\bar{\mathbf{x}})}$$

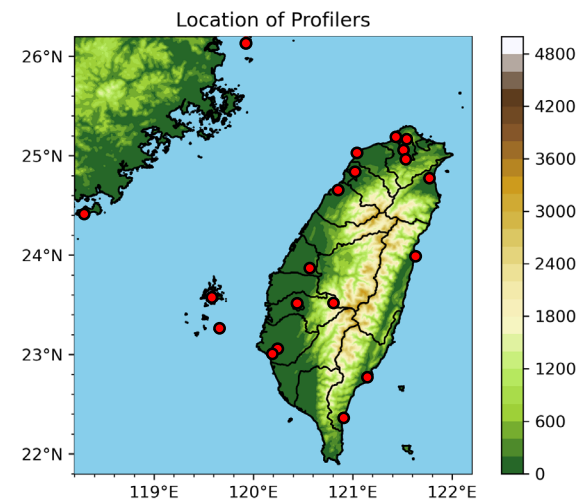
J : 2019/05/20 05~14UTC 臺灣中南部(黑色框線)累積降水平均



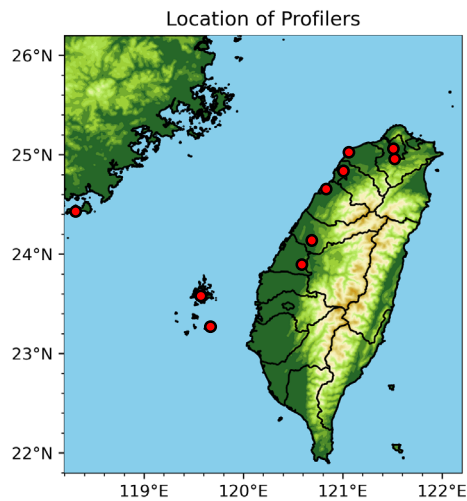
Regional
Top 10



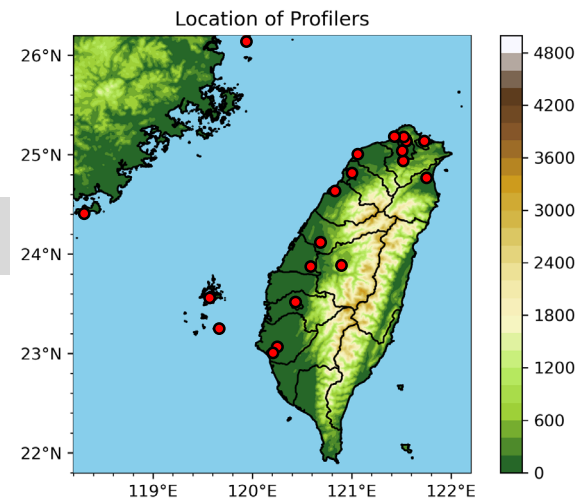
Regional
Top 20



Top 10

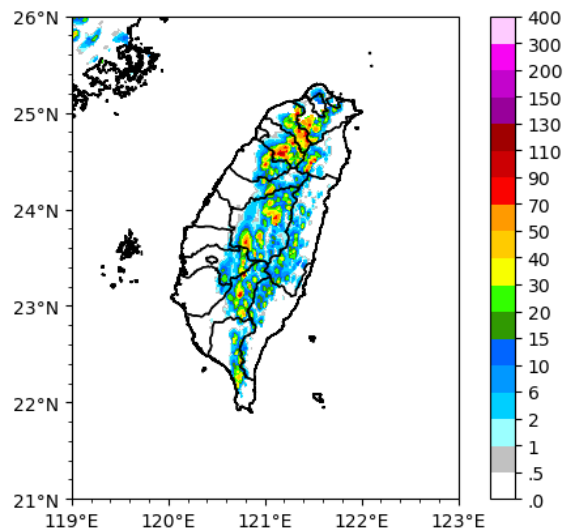


Top 20

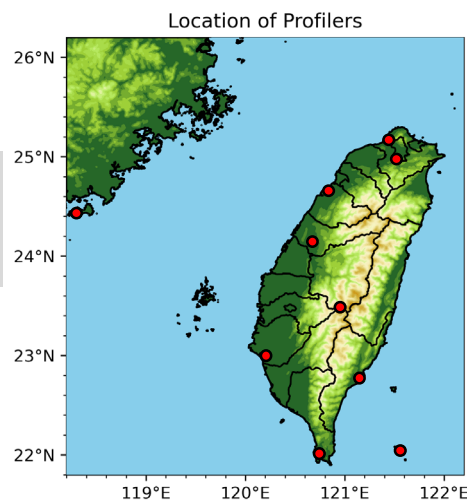


$$\frac{\partial J}{\partial \bar{\mathbf{x}}} \cdot Std(\bar{\mathbf{x}}) = \frac{Cov(J, \bar{\mathbf{x}})}{Std(\bar{\mathbf{x}})}$$

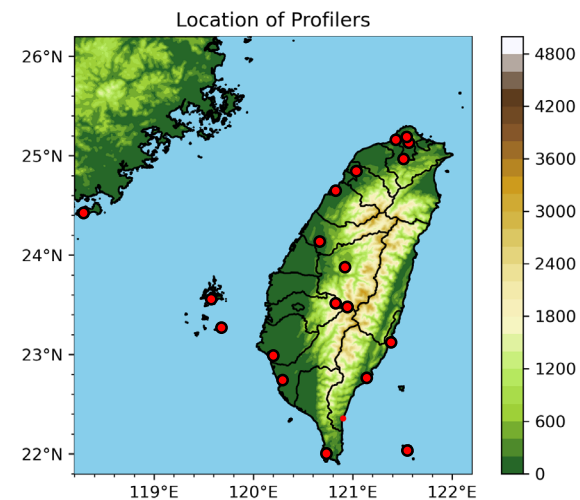
J : 2019/07/22 05~10UTC 臺灣本島海拔>100m區域降水平均



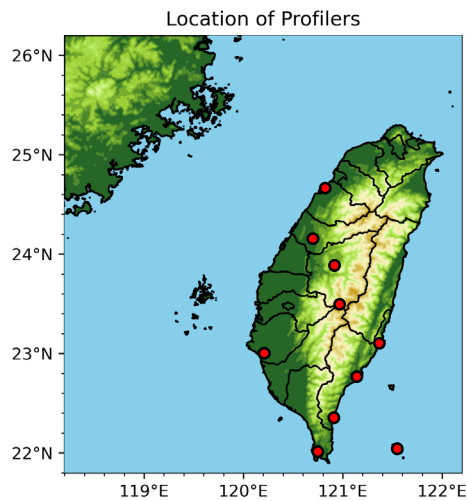
Regional
Top 10



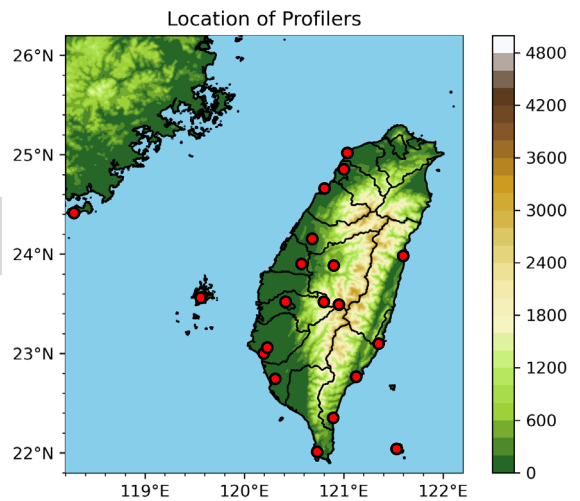
Regional
Top 20



Top 10



Top 20

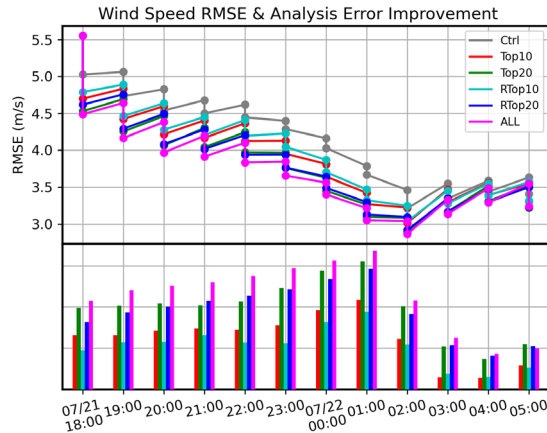


分析場誤差表現

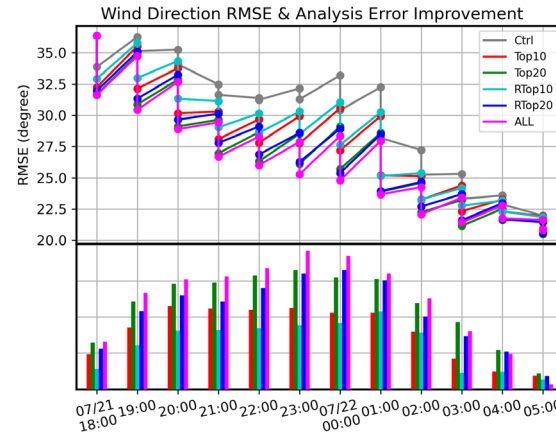
$$\text{Improvement} = \left(1 - \frac{\text{RMSE}}{\text{RMSE of CTRL}}\right) \times 100\%$$

11

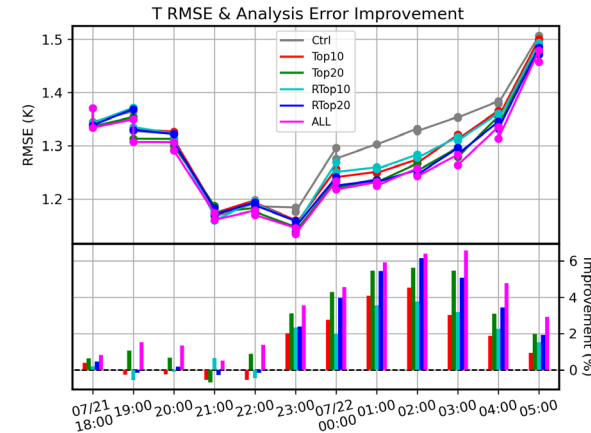
Wspd (m/s)



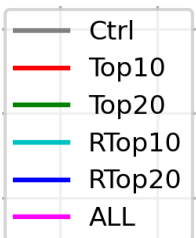
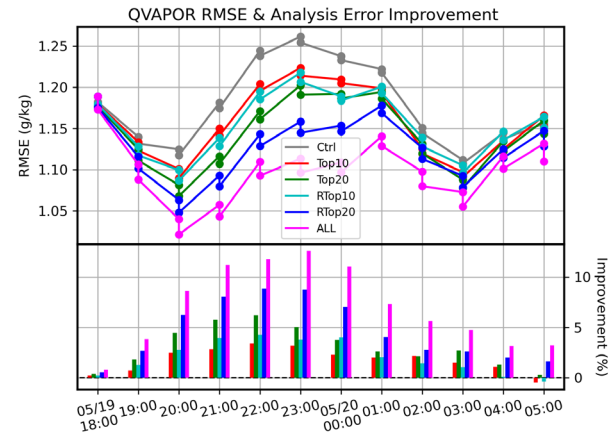
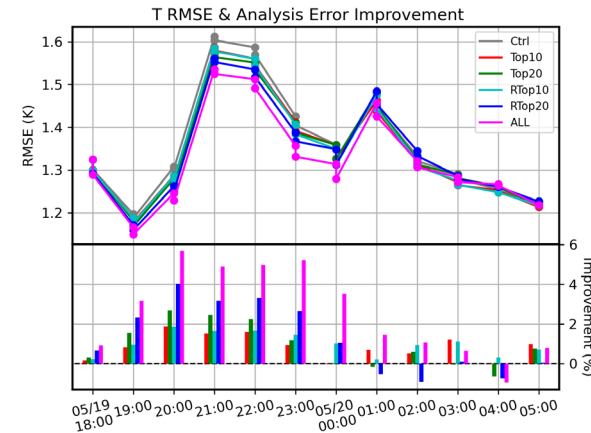
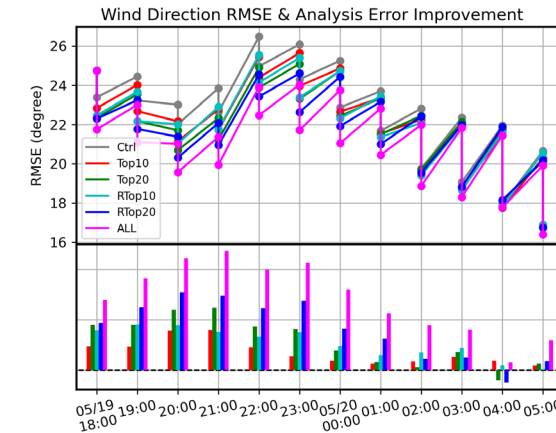
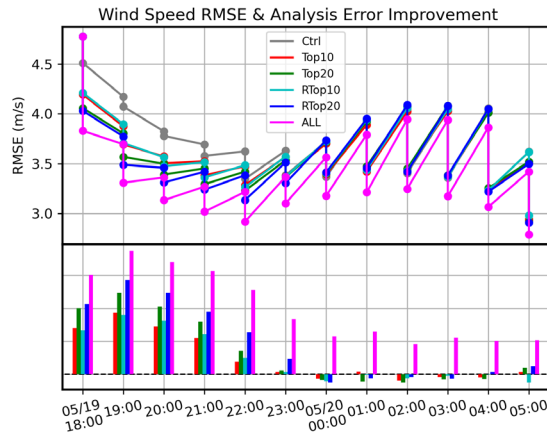
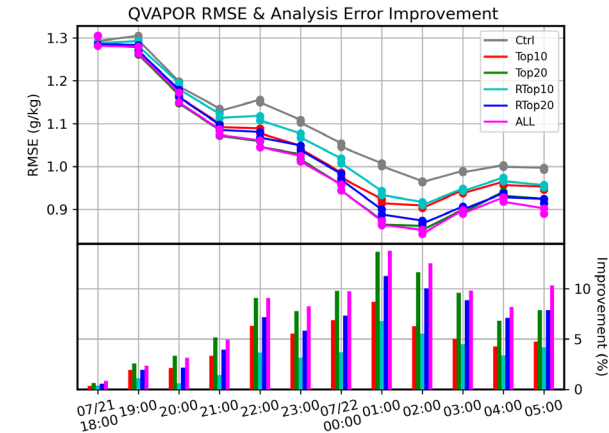
Wdir (°)



T (K)



Qv (g/kg)

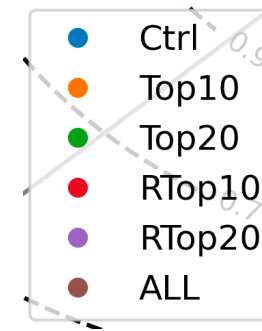
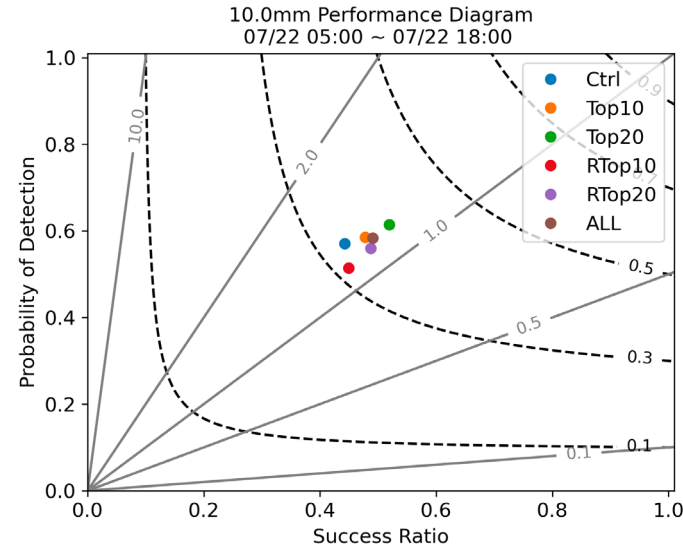
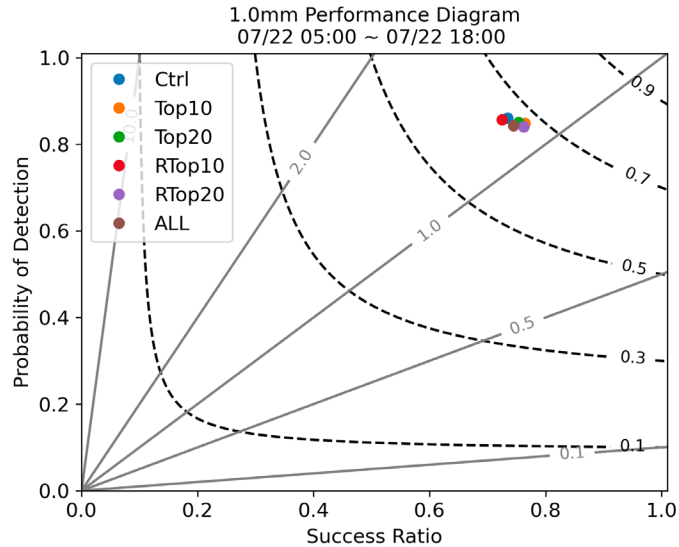


- Improvement 皆為正：同化先進觀測更接近真實場！
- ALL (紫色) $\geq$ TOP20 $\geq$ RTOP20 $\geq$ TOP10 $\geq$ RTOP10

午後對流

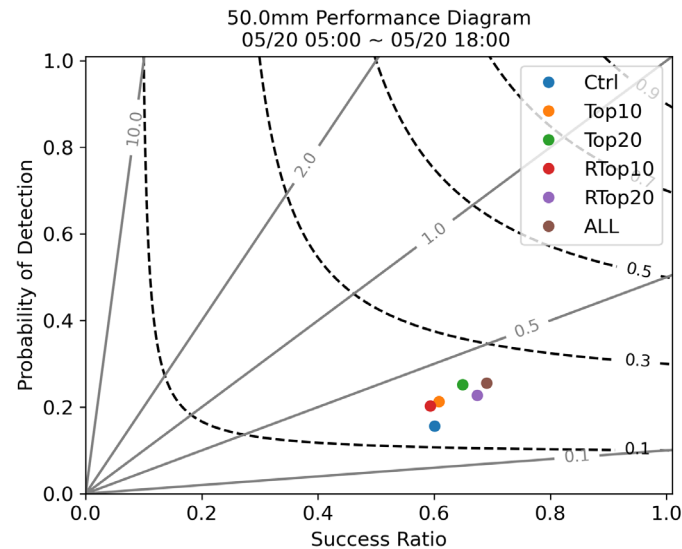
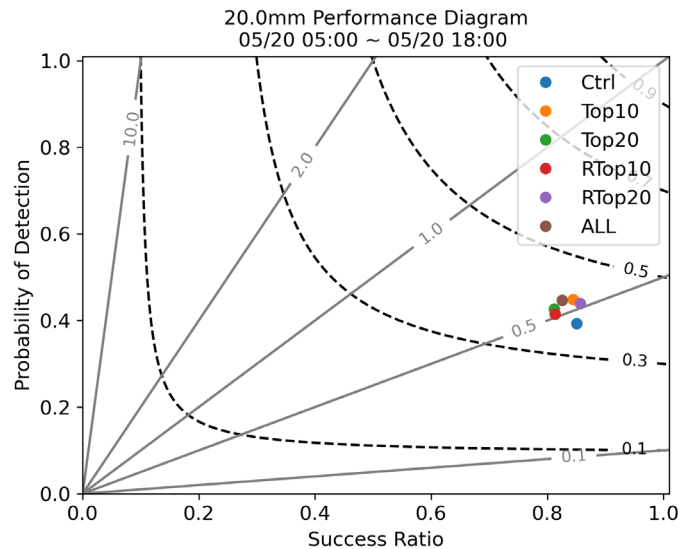
鋒面個案

午後對流



- 同化先進觀測儀器 $\geq$ CTRL

鋒面個案



- 鋒面個案效益較好
- 午後對流個案更加局地，
RTOP10不一定能描述特徵。

	新北	淡水	鞍部	臺北	竹子湖	基隆	新屋	新竹	後龍	臺中	田中	日月潭	嘉義	臺南	永康	高雄	阿里山	玉山	宜蘭	花蓮	成功	臺東	大武	恆春	馬祖	彭佳嶼	金門	澎湖	東吉島	蘭嶼
午後對流	2	2	1	0	1	0	1	2	4	4	1	3	1	4	1	2	2	4	0	1	3	4	3	4	0	0	3	2	1	4
鋒面個案	4	2	1	4	2	1	3	4	4	2	3	1	3	2	3	0	1	0	3	2	0	1	1	0	2	0	4	4	3	0
晴空環流	4	2	1	3	1	4	3	2	0	2	3	0	4	1	3	1	0	0	4	4	0	2	2	0	4	4	3	0	0	3
颱風個案	1	2	2	1	0	0	1	2	1	2	4	3	3	4	4	3	2	2	0	1	3	4	4	2	0	0	1	2	3	3
總體積分	11	8	5	8	4	5	8	10	9	10	11	7	11	11	11	6	5	6	7	8	6	11	10	6	6	4	11	8	7	10
總排名	1	13	26	13	29	26	13	8	12	8	1	18	1	1	1	21	26	21	18	13	21	1	8	21	21	29	1	13	18	8

- 分數計算：入選TOP10、TOP20、RTOP10、RTOP20任一組得一分，一個案最多得4分。
- 總分11分，共有7站點：新北、田中、嘉義、臺南、永康、臺東、金門
- 總分10分，共有4站點：新竹、台中、大武、蘭嶼

結論與未來展望

- ✓ 系集敏感度分析 (Ensemble Sensitivity Analyses, ESA)+ 觀測系統模擬實驗(OSSEs) ，提供站點設置建議。

- ✓ OSSEs結果：

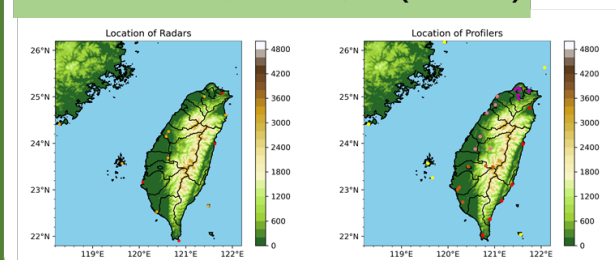
1. 同化先進觀測儀器能提升分析場與預報。
2. 同化愈多站點，效果愈好。

- ✓ ESA結果：

四個案選出前11名：新北、田中、嘉義、臺南、永康、臺東、金門、新竹、台中、大武、蘭嶼。

- ✓ 以目前的架構，繼續對不同天氣系統進行分析。

觀測系統模擬實驗(OSSEs)



地面站+雷達

VS

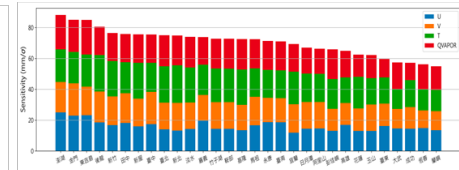
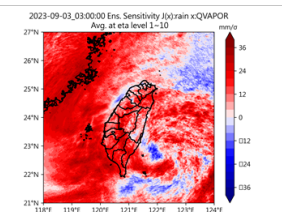
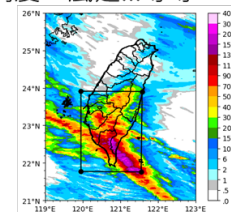
地面站+雷達+先進儀器

30站、20站、10站

分區排名 vs 全臺排名

系集敏感度分析(ESA)

1. 定義回應函數 $J(x)$
降水、地表氣壓、
渦度、風速...等等
2. 計算 U, V, T, Q_v 對於
回應函數之敏感度
3. 將站點10km內ESA結果平均，
累加所有變量ESA並排序



報告結束，感謝聆聽！