

高解析度三維大氣風場、熱力及水氣場 的反演及驗證

楊伯謙 廖宇慶

國立中央大學 大氣科學系
113年度天氣分析研討會

Outline

- 研究目的與方法
- 分析方法
 - 風場合成(WISSDOM)
 - 複雜地形上的熱力場反演(TPTRS)
- 觀測系統模擬實驗(OSSE)設計介紹
- 實驗結果
- 總結
- 未來工作

研究目的與方法

• 目的：

在晴空及降雨的狀態下，提供高時空解析度(~10分鐘，公里級到百米級)的風場、熱動力場。而在晴空狀態下，若有更多氣象場的資訊，並對於午後對流的生成有更多的參考依據。

• 方法：

光達及雷達分別為在晴空及降雨狀態下可觀測風場之儀器，本研究以其為主要依據，使用變分分析反演在複雜地形上之高時空解析度的三維風場、氣壓及溫度擾動場，進而改善水氣場。

WInd Synthesis System using DOppler Measurements (WISSDOM)

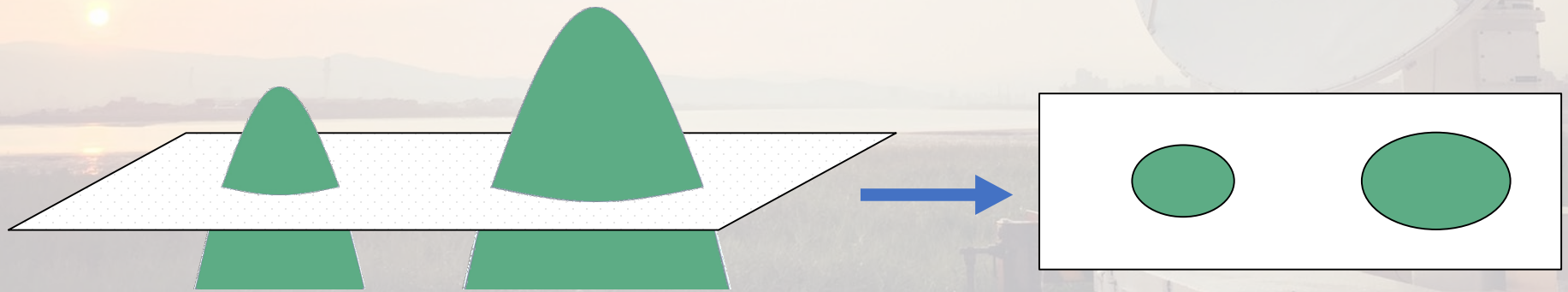
(Liou and Chang 2009, Liou et al. 2012, Liou et al. 2014)



複雜地形上的熱動力反演

(TPTRS: Terrain-Permitting Thermodynamic Retrieval Scheme)

- 以三個動量方程式為基礎，導入WISSDOM合成的風場，求得熱力場的三維結構。
- 傳統的熱力反演方法需要在每一個水平面上求解Poisson 方程式，故在低層有山脈貫穿的情形下，會使得求解變得極端困難。



- 故TPTRS使用下降法求解(非求解Poisson eq.)，可在地形上直接進行計算求得溫度壓力場。

Related equations

π' : 標準化氣壓 擾動
 θ'_c : 虛雲位溫 擾動(K)

$$\frac{1}{\theta_{v0}} \left[\frac{\partial u}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{u} - fv + \text{turb}(u) \right] = -\frac{\partial \pi'}{\partial x} \equiv -F$$

$$\frac{1}{\theta_{v0}} \left[\frac{\partial v}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} + fu + \text{turb}(v) \right] = -\frac{\partial \pi'}{\partial y} \equiv -G$$

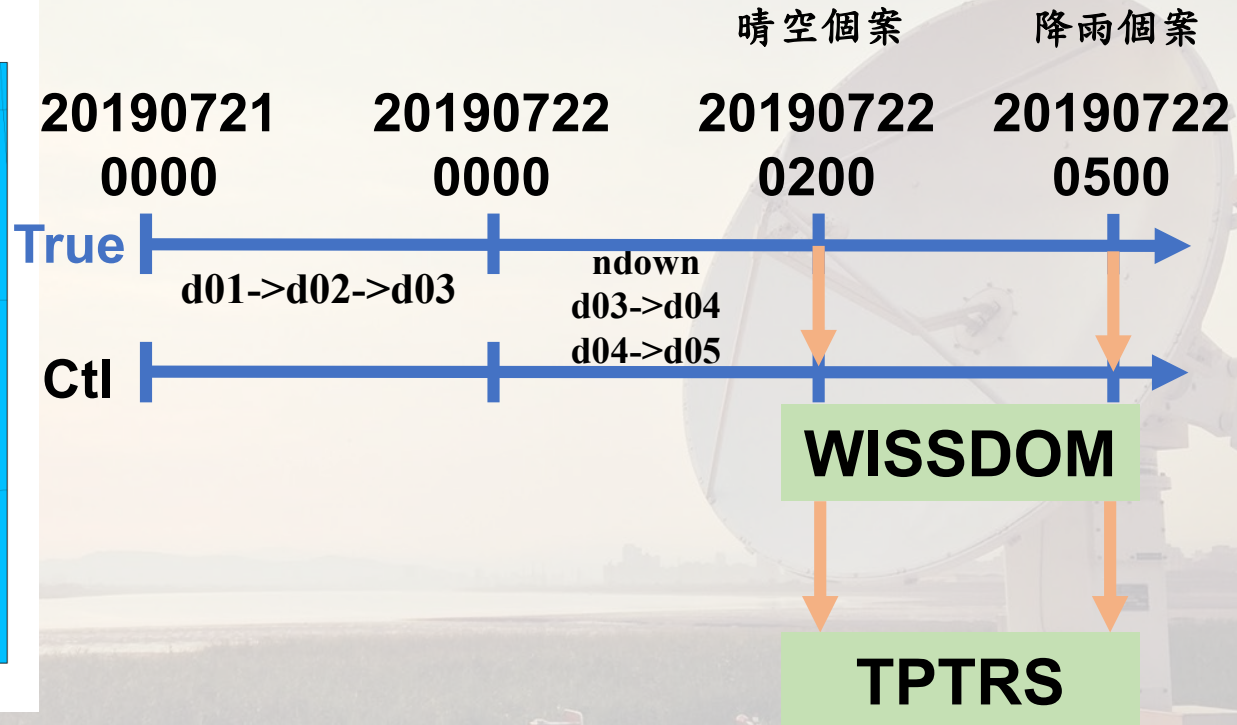
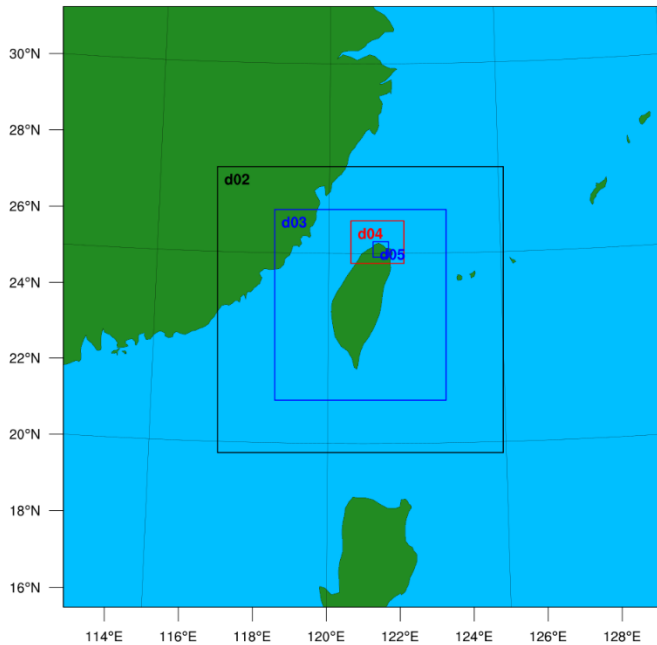
$$\frac{1}{\theta_{v0}} \left[\frac{\partial w}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{w} + \text{turb}(w) + gqr \right] = -\frac{\partial \pi'}{\partial z} + g \frac{\theta'_c}{\theta_0 \theta_{v0}} \equiv -H$$

$$u \frac{\partial \theta'_c}{\partial x} + v \frac{\partial \theta'_c}{\partial y} + w \frac{\partial \theta'_c}{\partial z} + w \frac{d\theta_0}{dz} = S$$

$$\pi = Cp \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{R}{C_p}}$$

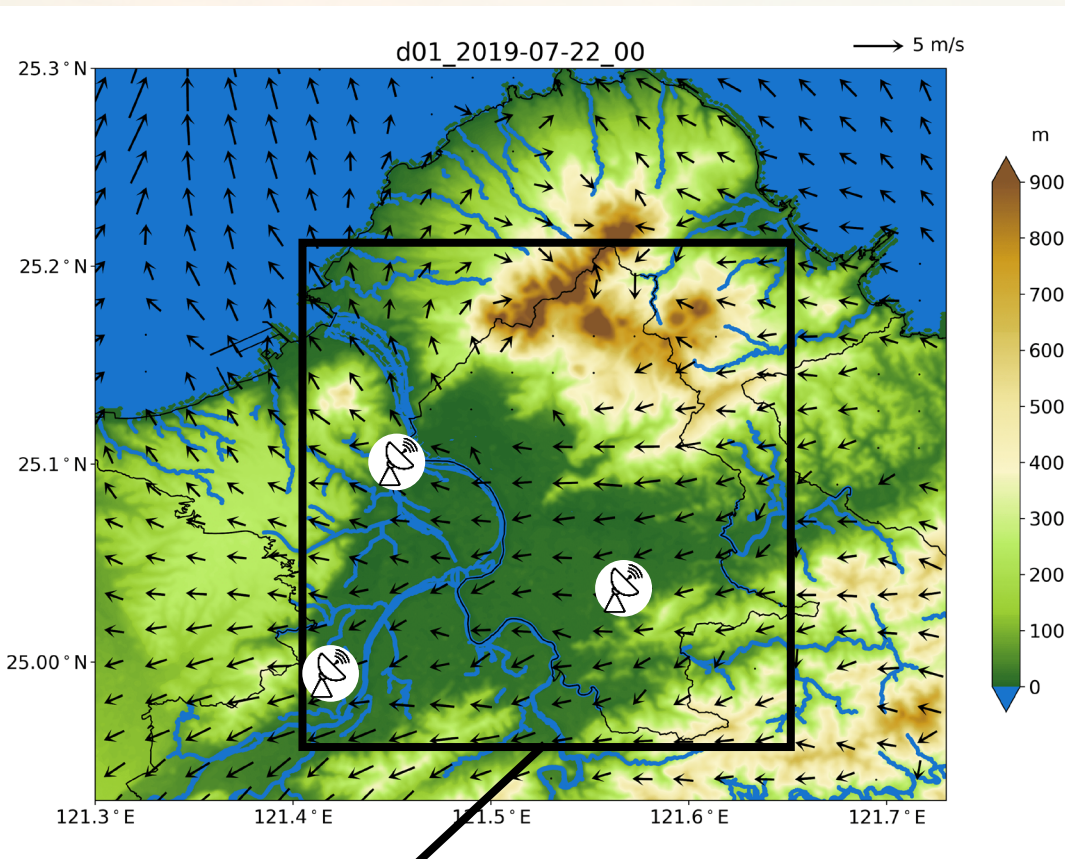
$$\theta'_c = \theta' + (0.61qv' - qc)\theta_0$$

高解析度OSSE個案(2019/07/22)



	d01	d02	d03	d04	d05
水平網格點	211×211	301×301	541×601	502×403	442×442
水平解析度(m)	8100	2700	900	300	100
垂直層	109	109	109	109	109

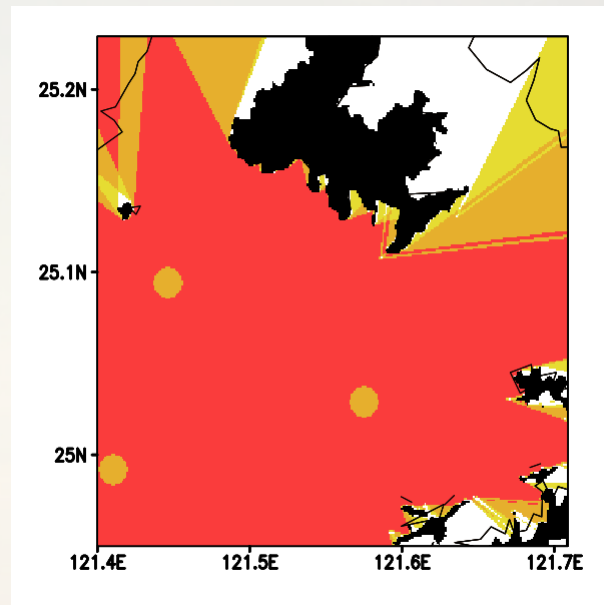
WRF Domain 5 2019/07/22 0000UTC->0600UTC



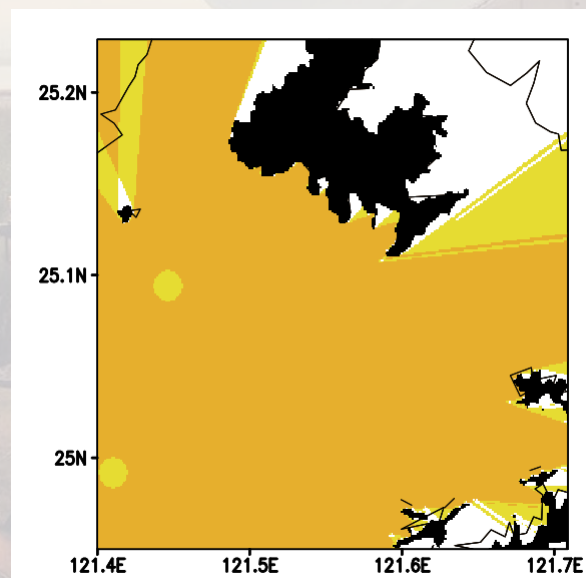
WISSDOM analysis area
301 × 301

紅色：3 lidar cover
橙色：2 lidar cover
黃色：1 lidar cover

3-lidar coverage (500m)



2-lidar coverage (500m)



晴空個案與真實場之比較

2019/07/22 0200UTC

- 1.風場水平剖面比較
- 2.散布圖
- 3.熱力場水平剖面比較
- 3.ETS及RMSE分數

實驗組	背景風場	雷達(光達) 數目
lidar2	0130UTC	2
lidar3	0130UTC	3
lidar3_sd	Sounding	3

U

lidar3

lidar2

lidar3 sd

V

W



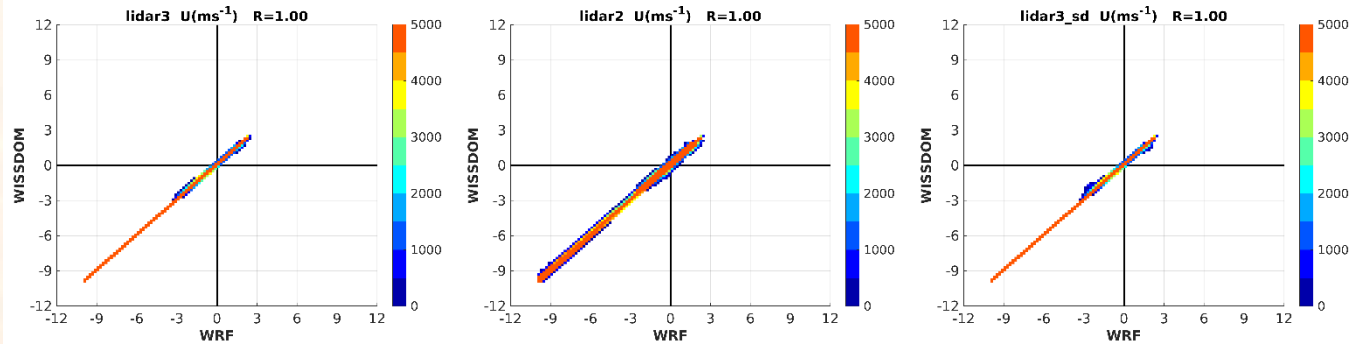
晴空個案實驗組與真實風場散布圖

lidar3

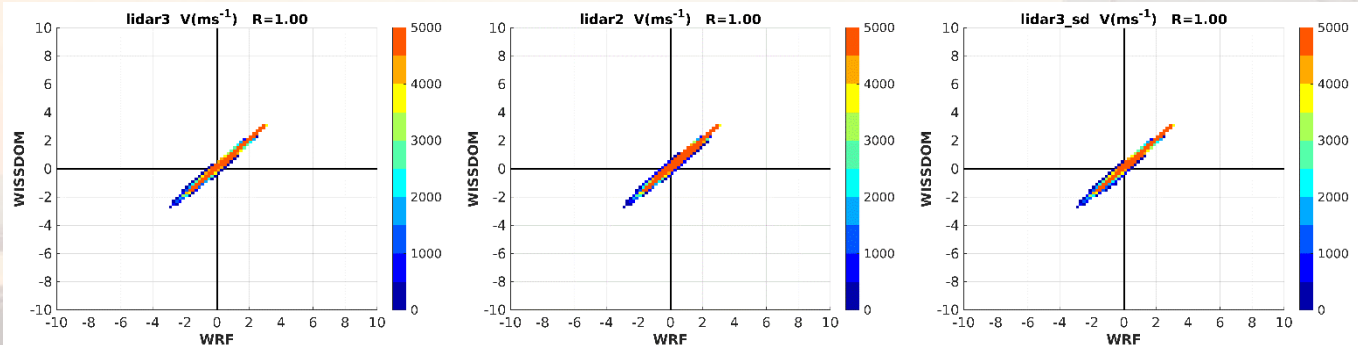
lidar2

lidar3_sd

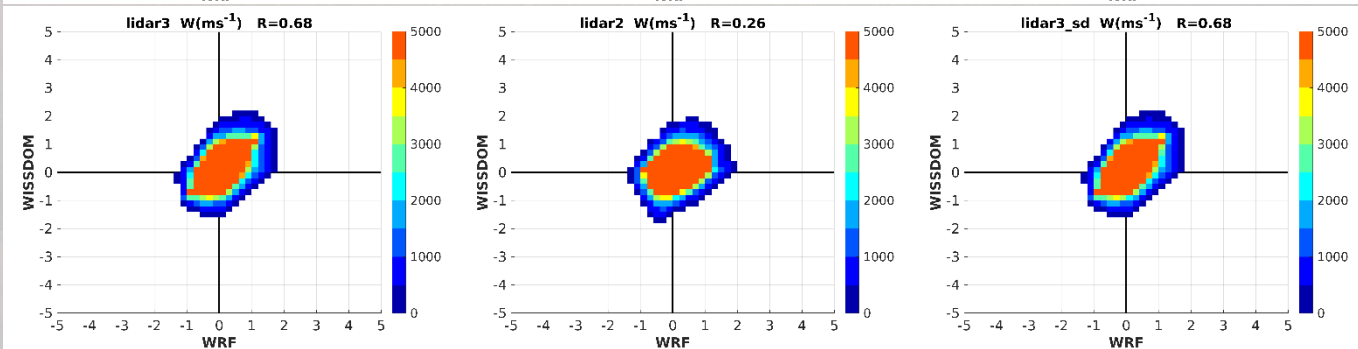
U



V



W



晴空個案在高度(500m) TPTRS反演熱力變數 與真實結果比較

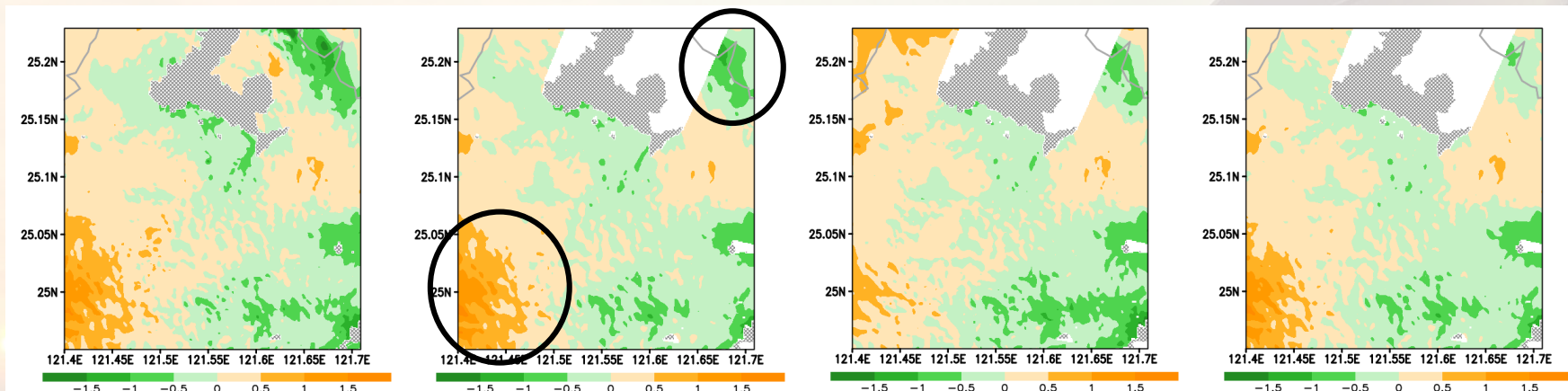
True

lidar3

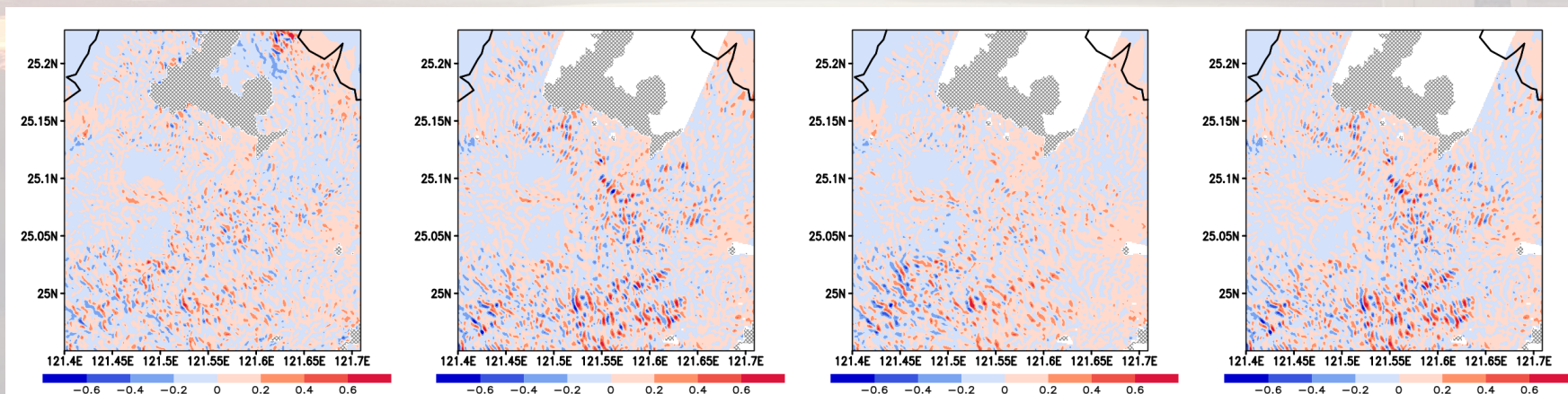
lidar2

lidar3_sd

π'



θ'_c



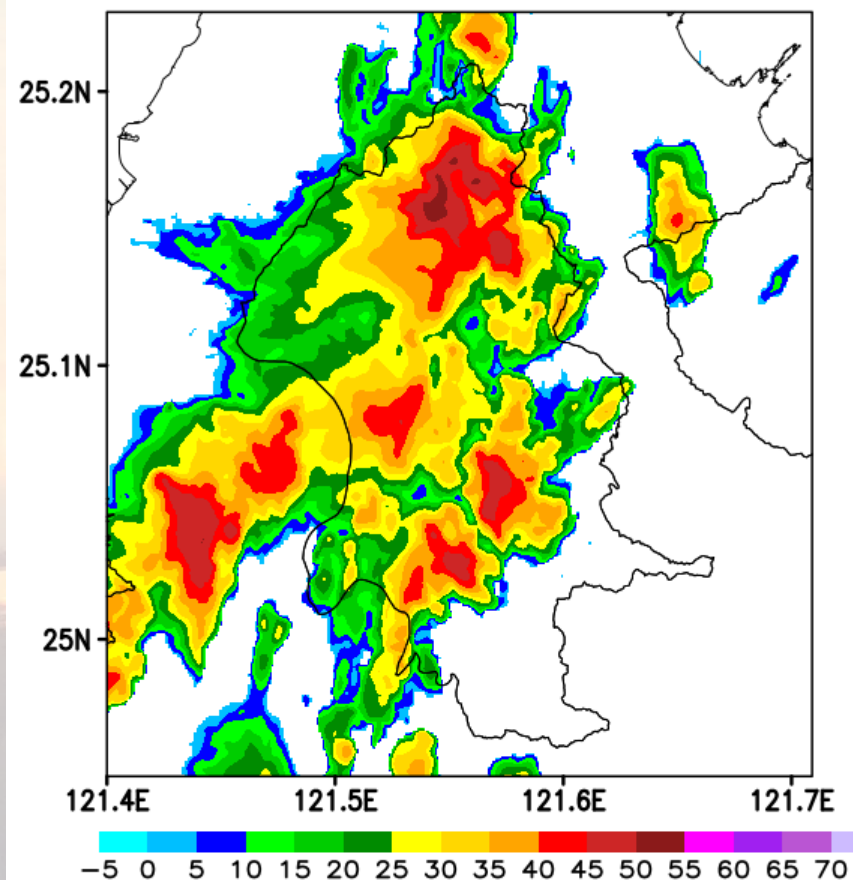
各實驗組與真實場比較之分數

實驗組		lidar3	lidar2	lidar3_sd
U	RMSE_3D(m/s)	0.047	0.054	0.053
	SCC_3D	0.999	0.999	0.999
V	RMSE_3D(m/s)	0.048	0.066	0.050
	SCC_3D	0.998	0.996	0.998
W	RMSE_3D(m/s)	0.208	0.283	0.208
	SCC_3D	0.685	0.597	0.685

實驗組		lidar3	lidar2	lidar3_sd
π'	RMSE_3D ($Jkg^{-1}K^{-1}$)	0.001	0.003	0.001
	SCC_3D	0.997	0.968	0.997
θ'_c	RMSE_3D(K)	0.068	0.230	0.068
	SCC_3D	0.752	0.693	0.745

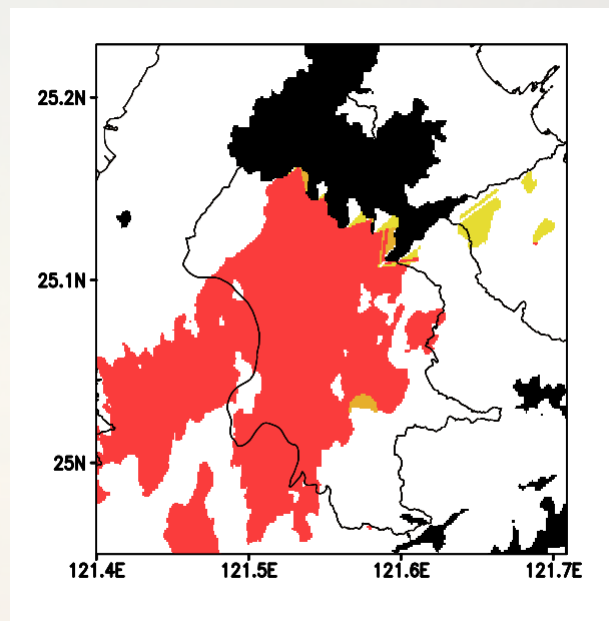
降雨個案

2019/07/22 0500UTC

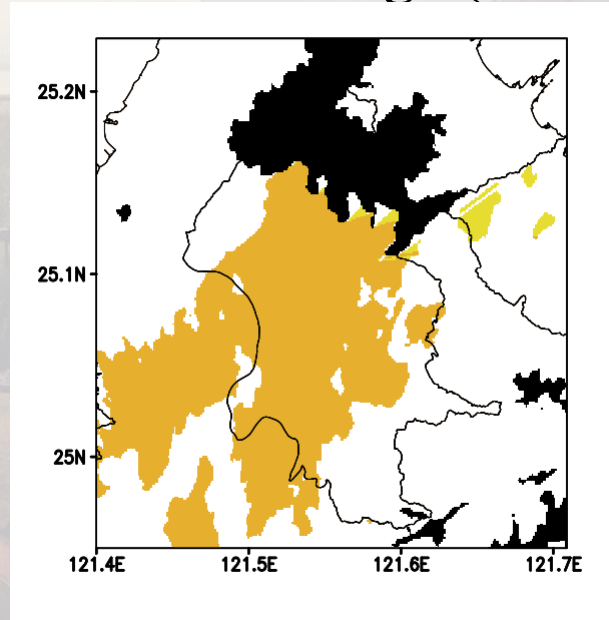


紅色：3 lidar cover
橙色：2 lidar cover
黃色：1 lidar cover

3-radar coverage (500m)



2-radar coverage (500m)



降雨個案與真實場之比較

2019/07/22 0500UTC

- 1.風場水平剖面比較
- 2.散布圖
- 3.熱力場水平剖面比較
- 3.ETS及RMSE分數

實驗組	使用背景場	雷達(光達) 數目
radar2	0430UTC	2
radar3	0430UTC	3
radar3_sd	Sounding	3

降雨個案實驗組與真實風場比較(高度500m)

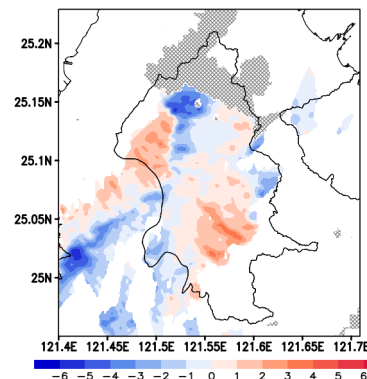
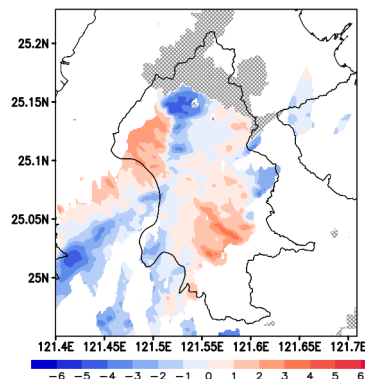
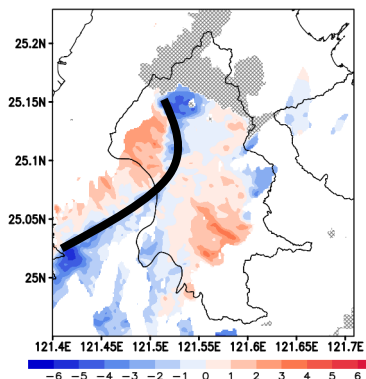
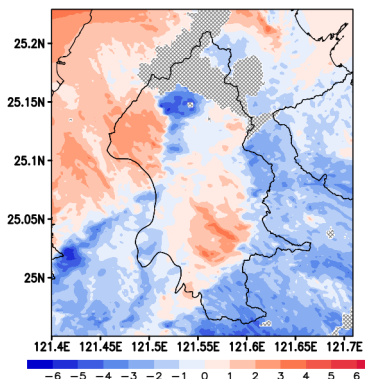
True

radar3

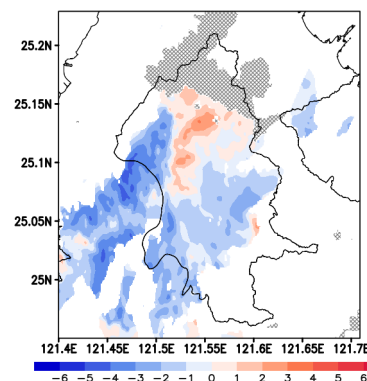
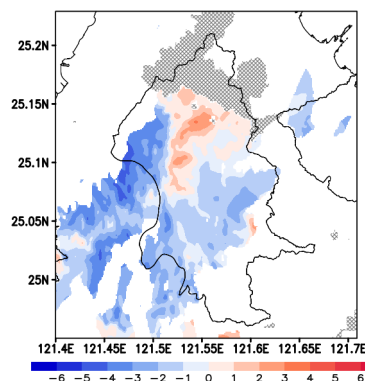
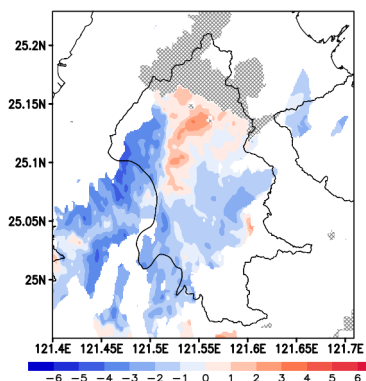
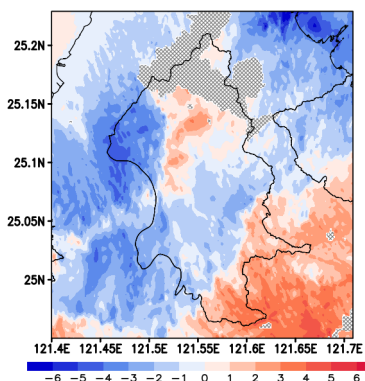
radar2

radar3_sd

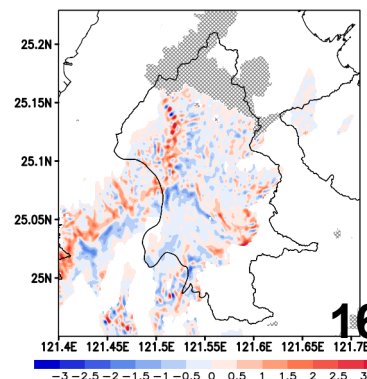
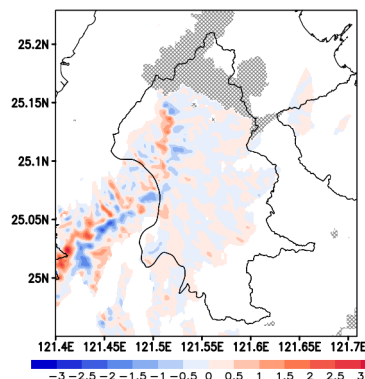
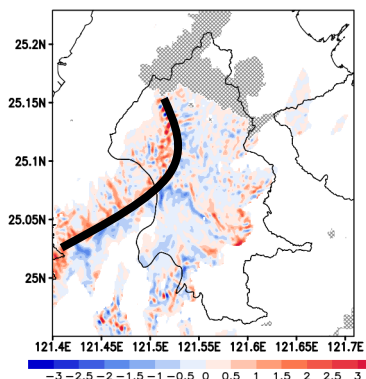
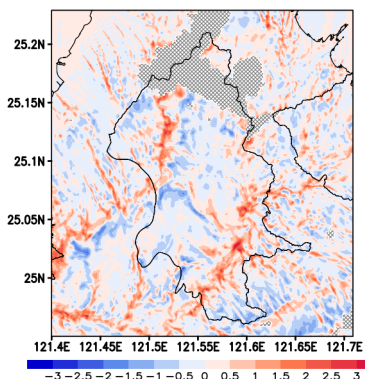
U



V



W



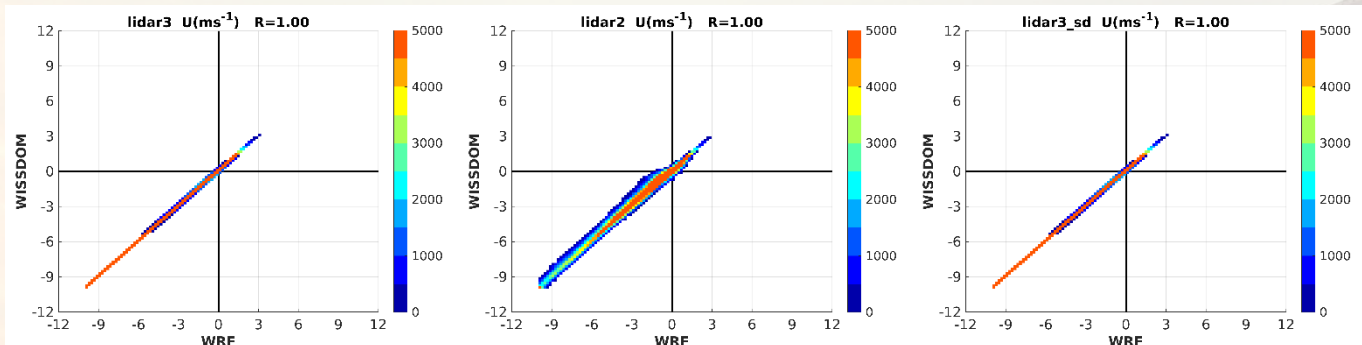
降雨個案實驗組與真實風場散布圖

radar3

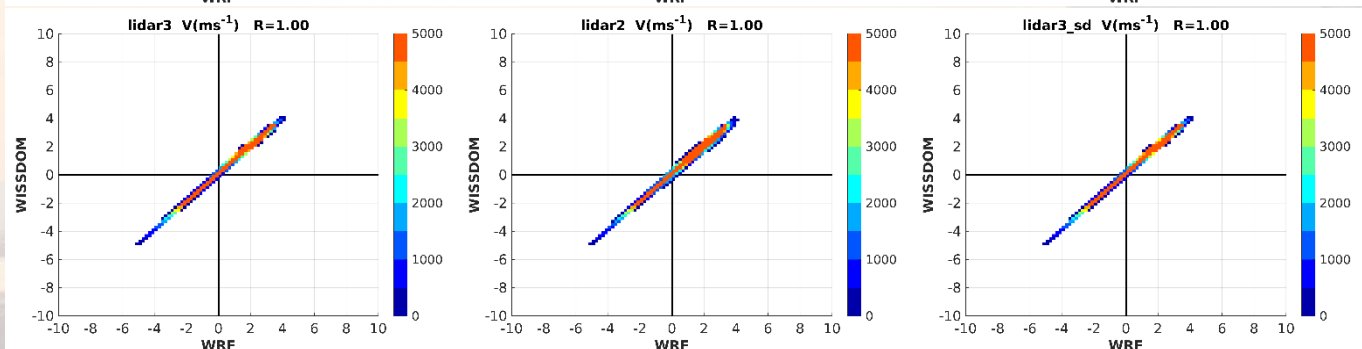
radar2

radar3_sd

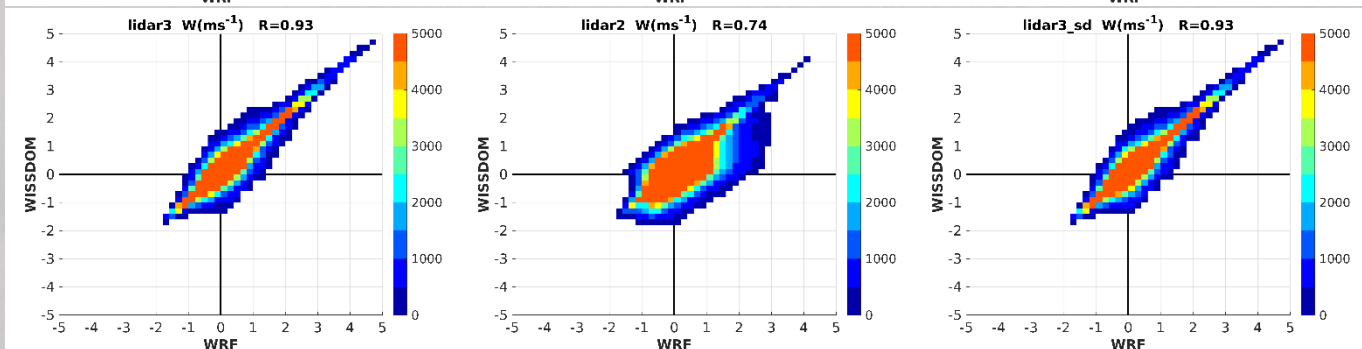
U



V



W



降雨個案在高度(500m) TPTRS反演熱力變數 與真實結果比較

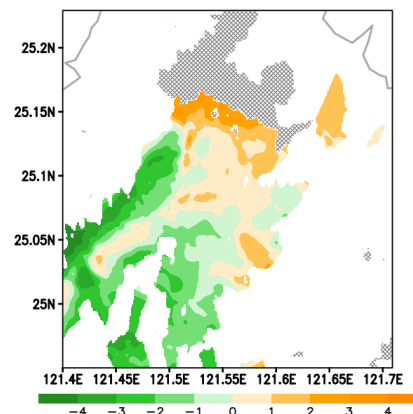
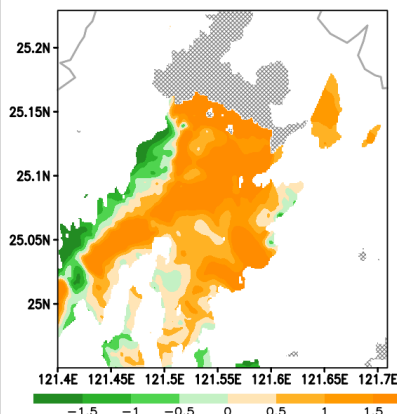
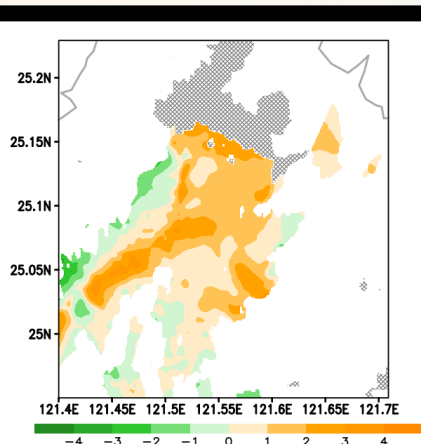
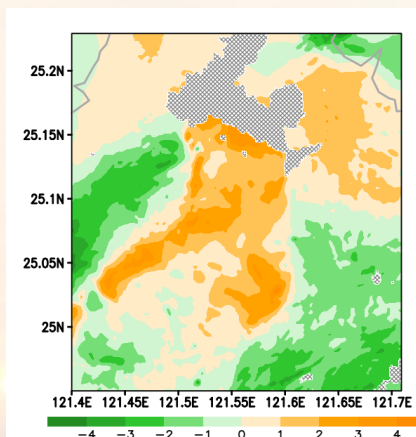
True

radar3

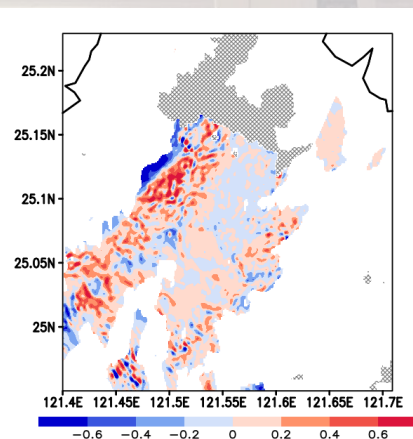
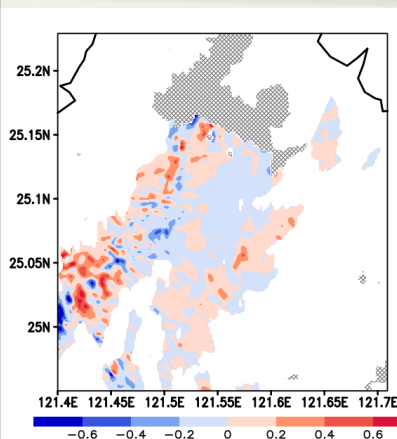
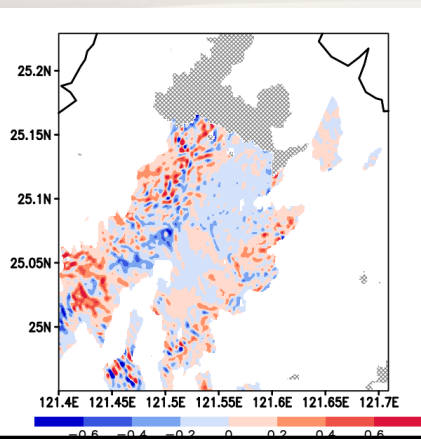
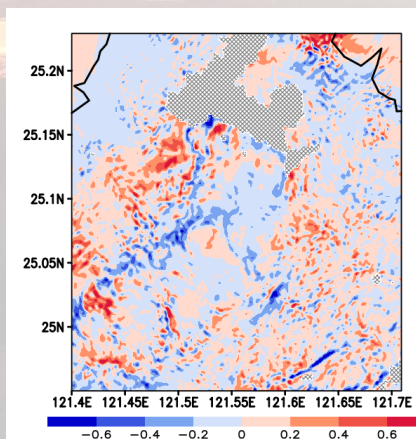
radar2

radar3_sd

π'



θ'_c



各實驗組與真實場比較之分數

實驗組		radar3	radar2	radar3_sd
U	RMSE_3D(m/s)	0.069	0.135	0.071
	SCC_3D	0.999	0.999	0.999
V	RMSE_3D(m/s)	0.087	0.165	0.089
	SCC_3D	0.998	0.996	0.997
W	RMSE_3D(m/s)	0.278	0.312	0.283
	SCC_3D	0.935	0.856	0.932

實驗組		radar3	radar2	radar3_sd
π'	RMSE_3D ($Jkg^{-1}K^{-1}$)	0.003	0.004	0.012
	SCC_3D	0.968	0.961	0.410
θ'_c	RMSE_3D (K)	0.108	0.119	0.141
	SCC_3D	0.775	0.718	0.650

水氣調整方法

雷達資料
回波 $> -10dBZ$

RH η : 回波

$$\begin{aligned} &= 0.000124(\eta)^4 \\ &- 0.006841(\eta)^3 \\ &+ 0.054437(\eta)^2 \\ &+ 2.348806(\eta) \\ &+ 52.28733 \end{aligned}$$

TPTRS(θ'_c 、 π')

$$\theta'_c = \theta' + (0.61q'_v - q_c)\theta_0$$

$$\theta' \approx \left(\frac{1000hPa}{P_0} \right)^{\frac{R}{C_p}} T' - \frac{R}{C_p} \frac{\theta_0}{p_0} p'$$

$$e_s \approx A \exp\left(-\frac{B}{T}\right)$$

$$q_{vsat} \approx \varepsilon \frac{e_s}{p}$$

$$q_v = q_{vsat} \times RH/100$$

$$q'_v = q_v - q_{v0}$$

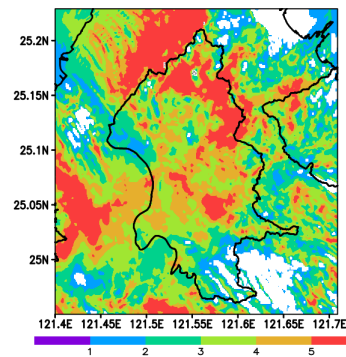
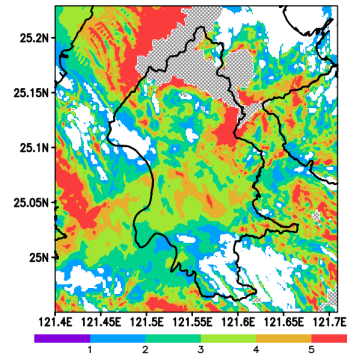
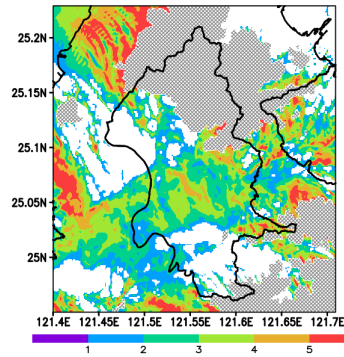
水氣調整與未調整前之 q'_v

200m

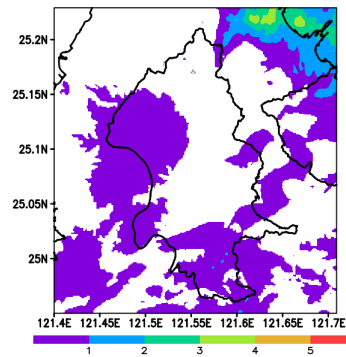
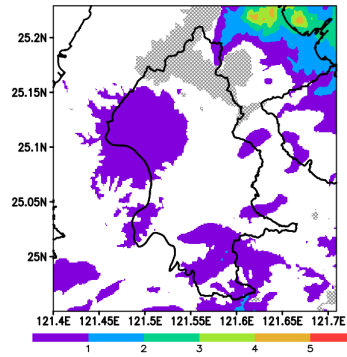
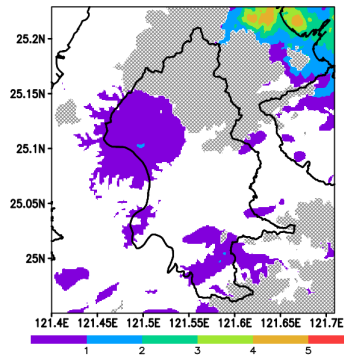
500m

1000m

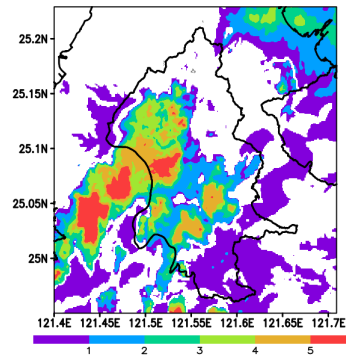
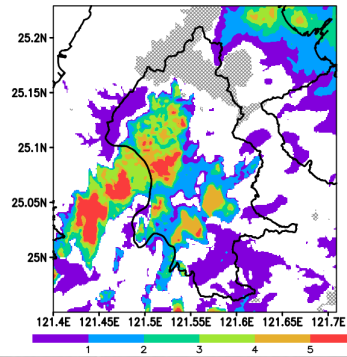
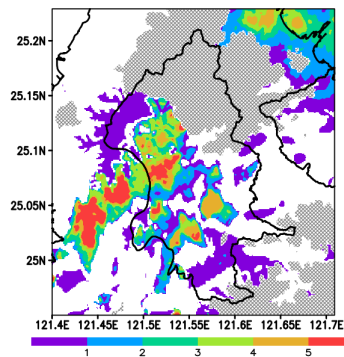
真實場



未調整



調整後



總結

- 本次報告分別利用晴空及降雨個案，在OSSE架構下，首次將水平及垂直解析度提高至100 米，並測試WISSDOM合成3D風場的能力，其風場的表現與真實場相符
- 以TPTRS進行熱力場反演，在光(雷)達覆蓋區域，其結果與真實場一致性高，故此系統能在晴雨情境下獲得三維空間高解析度之熱動力場。
- 水氣調整法可以有效地將雷達覆蓋區域之水氣混合比調整至飽和的狀態，可利用於分析或是模式資料同化使用。

未來工作

- 將WISSDOM產生的風場以及熱力反演(TPTRS)的溫度壓力場，做為分析場放入模式進行預報並驗證其結果。
- 在晴空狀態下實際使用光達資料進行個案測試，驗證其風場之準確性及評估整體可行性。



Thank you
for your attention