

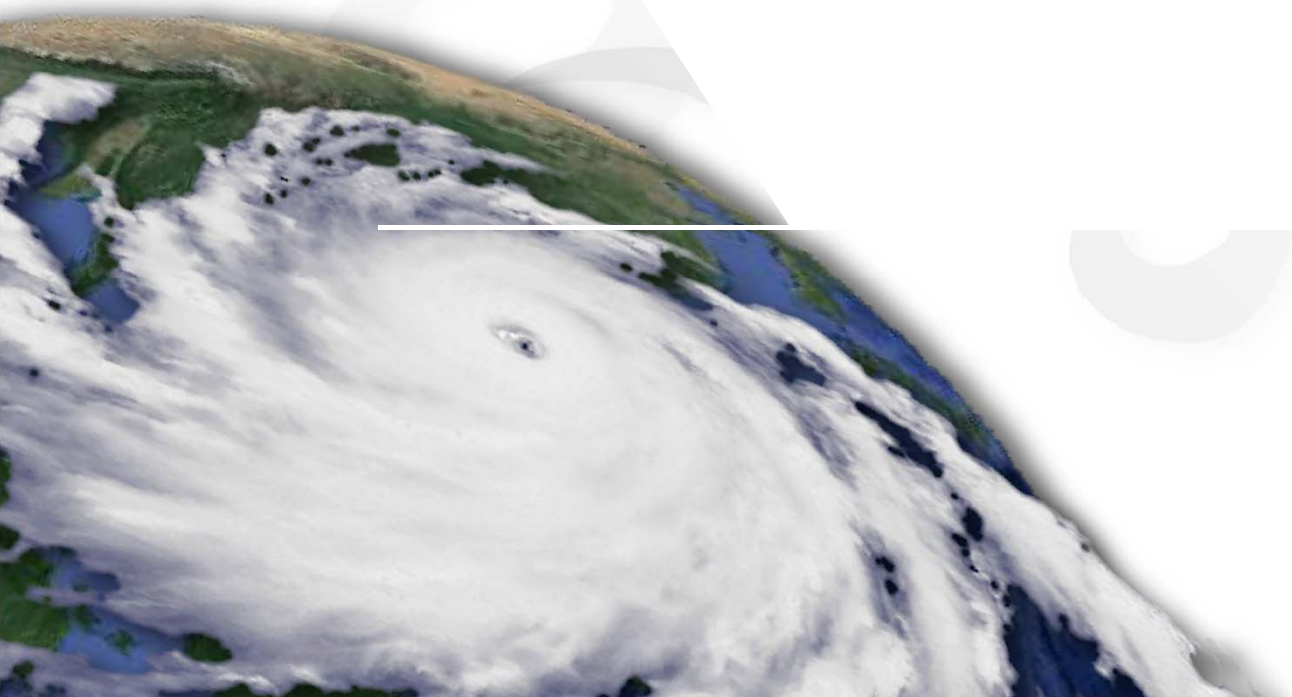
Central Weather Administration

中央氣象局



對流尺度系集定量降水預報之應用與分析研究

謝佳宏、蘇奕叡、李志昕、蕭玲鳳



**EAST Asia domain for 5 days forecast
4 times a day**

Deterministic
forecast

WRFD
15/3/1 KM

TWRF
15/3 KM

Provide
perturbations for
hybrid DA

Ensemble DA

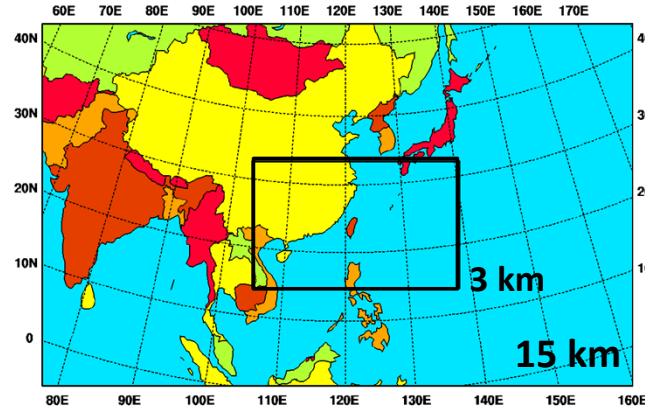
EAKF
15 KM

Provide initial
perturbations

Ensemble
Forecast

WEPS
15/3 KM

WRFD and TWRF



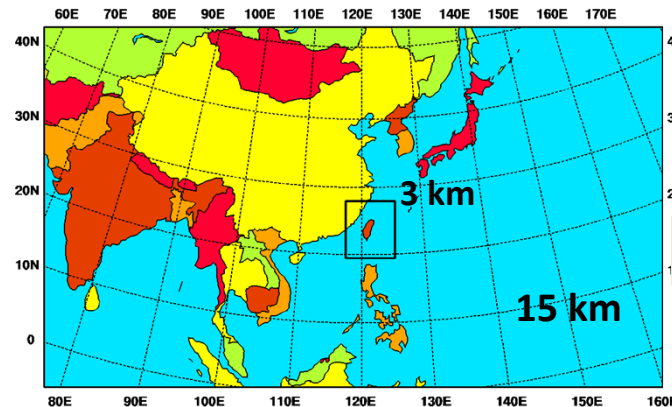
Model resolution

horizontal : 15/3 km
vertical levels : 52 levels
Model top : 20 hPa

Operational forecast

Forecast length : 126 hr
runs per day : 4 times

WEPS



Model resolution

horizontal : 15/3 km
vertical levels : 52 levels
Model top : 20 hPa

Operational forecast

Forecast length : 120 hr
runs per day : 4 times
Ensemble sizes : 20

Taiwan domain for 12 hours forecast Hourly update

Deterministic
forecast

RWRF
2 KM

Provide
perturbations for
hybrid DA

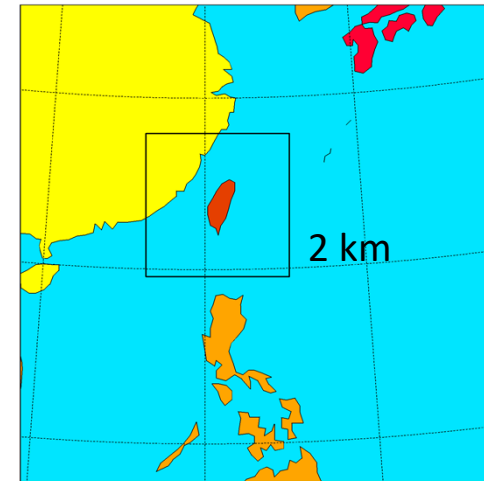
Ensemble DA

LETKF
2 KM

Provide initial
perturbations

Ensemble
Forecast

CEPS
2 KM
(under developing)



RWRF

Model resolution

horizontal : 2 km
vertical levels : 52 levels
Model top : 20 hPa

Operational forecast

Forecast length : 13hr
runs per day: 24 times
30-min update DA cycle

CEPS

configuration

horizontal : 2 km
vertical levels : 52 levels
Model top : 20 hPa
Ensemble sizes : 16

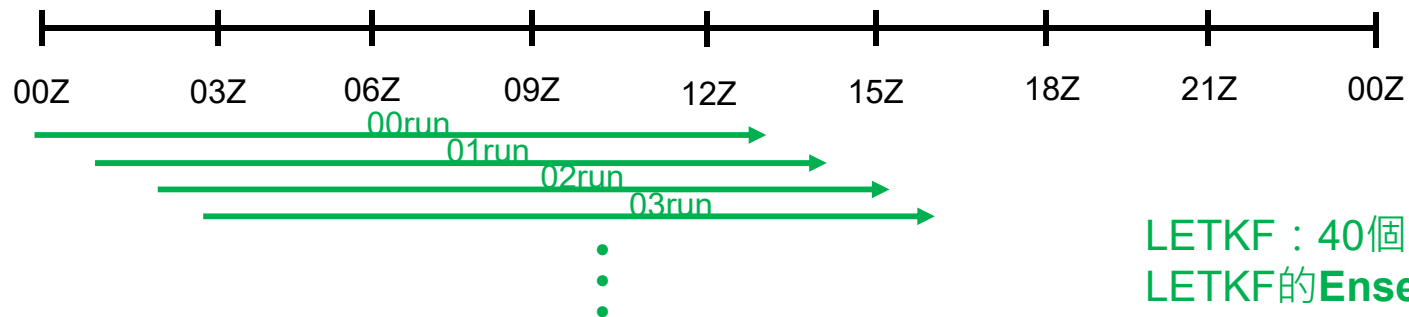
對流尺度系集預報系統—模式設定

(Convective-scale Ensemble Prediction System, CEPS)

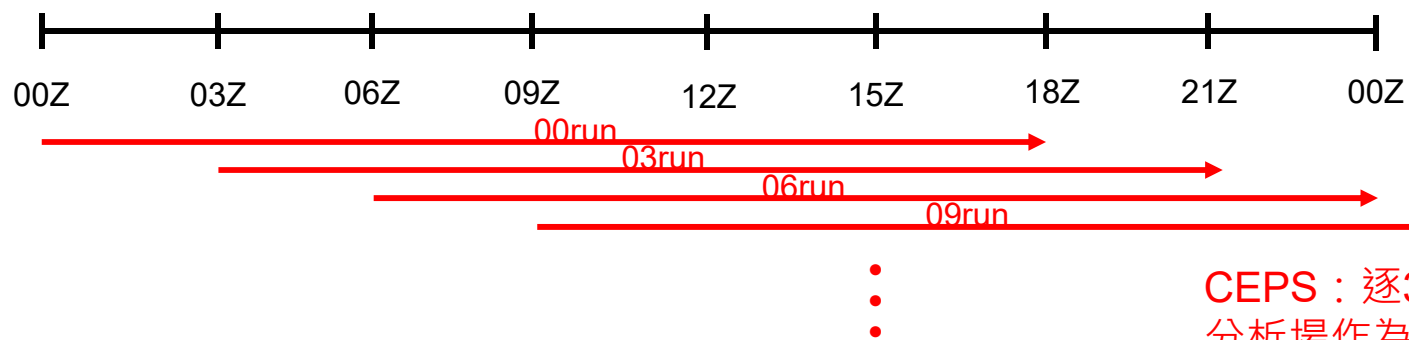
- 模式設定：(WRF模式)
 - 水平解析度：2公里 (範圍如右圖紅框)
 - 垂直解析度：52層
- 系集預報設定：
 - 16 個系集成員
 - 系集成員產製方案：
 - 初始場擾動：使用LETKF 之16個成員分析場
 - 側邊界擾動：RWRf側邊界+WEPS擾動
- 快速更新策略：
 - LETKF逐時更新，同化雷達+地面觀測資料

Physics Suite (operational deterministic WRF)	
Microphysics	Goddard
SW/LW radiation	RRTMG scheme
Planetary Boundary Layer	YSU
Land Surface Layer	MM5 similarity(91)
Land Surface Model	Noah Land Surface Model





LETKF : 40個成員，逐小時進行DA，並使用LETKF的**Ensemble mean**作為IC做13小時預報



CEPS : 逐3小時使用LETKF的**前16個成員**分析場作為IC做18小時預報

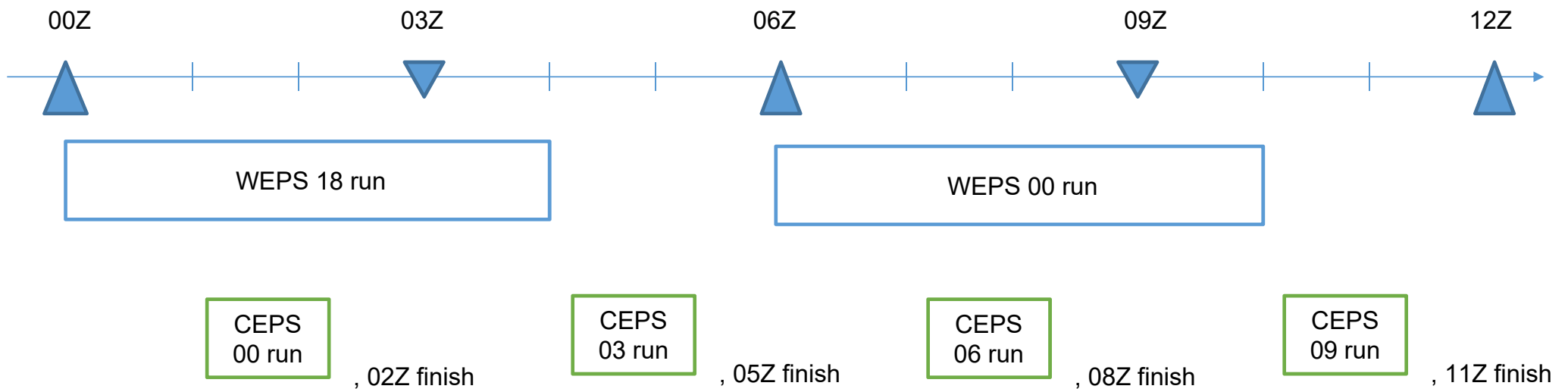
CEPS有甚麼優勢?

相對於決定性預報系統 (RWRF/LETKF) 有甚麼優勢?
相對於區域系集預報系統 (WEPS) 有甚麼優勢?

系集預報相對於決定性預報之預期優勢

1. 能提供機率預報。一個好的系集預報，有機會在大數據資料中，截取有用的資訊，產生好的預報產品。
2. 系集預報站在決定性預報的基礎上，使用決定性預報的設定，因此預報準確度能有相當的表現。而統計上，系集平均相對於單一預報能有較好的預報表現，但個案上並不一定。
3. 根據WEPS的經驗，系集平均降雨（或PMM）能有時間上的預報雨量分布一致性，能提早提供未來降雨預報，決定性預報則無。

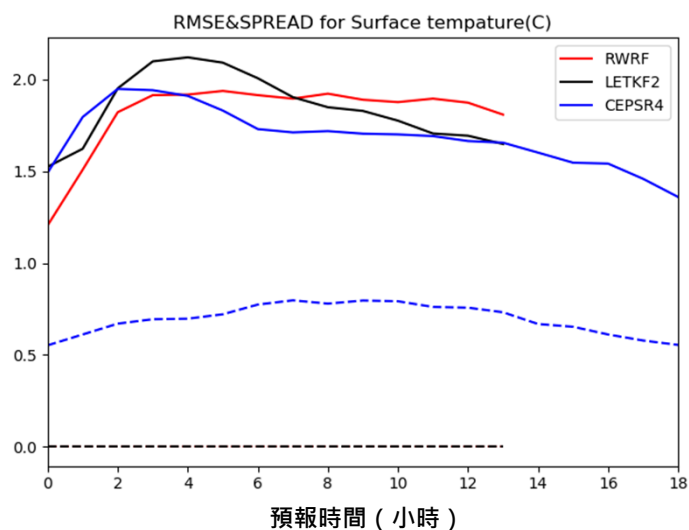
CEPS相對於WEPS之預期優勢



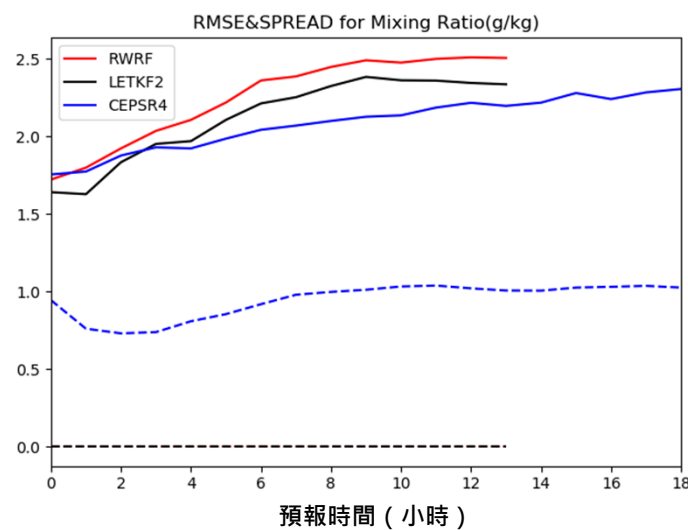
- WEPS因為作業資源，以及等待NCEP GEFS資料抓取時間(約6小時)，00 Z 一報最快能執行時間為下午2點，預報完之時間為晚上8點，因此會晚約12小時。因此，前12小時預報資料不可用。
- **CEPS**初始場來自**LETKF**，不需等待**NCEP**資料，能更快速獲得短時預報，掌握快速發展的系統(例如：午後對流)，彌補**WEPS**在前12小時不足的資訊。

臺灣陸地之地面校驗結果

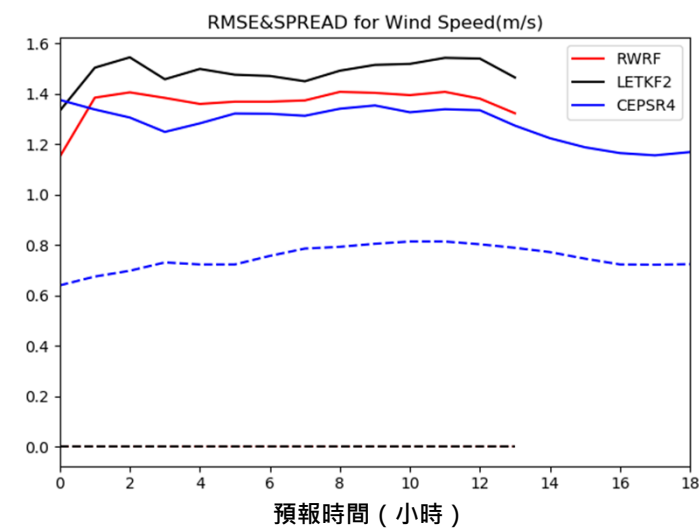
兩米溫度



兩米混合比



十米風速



— LETKF

— RWRf

— CEPS_MEAN

實線 → 誤差
虛線 → 離散度

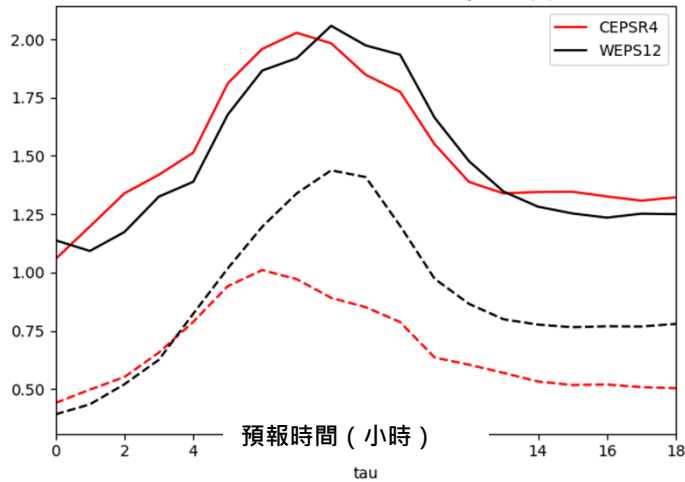
預報準確度：CEPS>RWRf>LETKF

CEPS MEAN之預報誤差長時間統計上小於RWRf和LETKF，符合系集預報之優勢，MEAN預報表現統計上會優於單一預報。但MEAN的極值會被平滑，需特別注意。

臺灣陸地之地面校驗結果

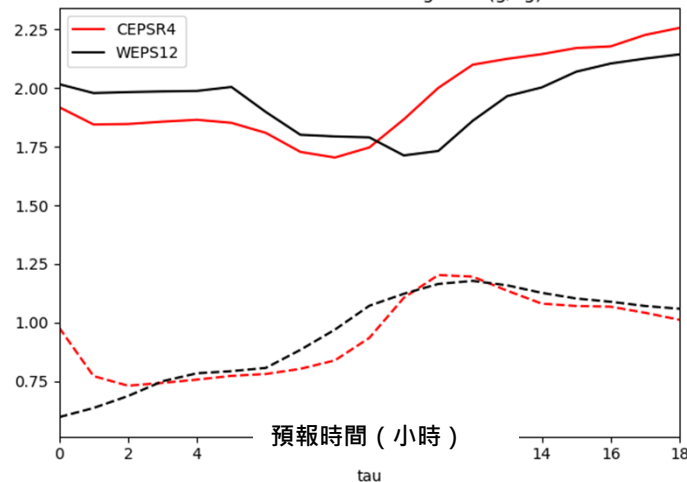
兩米溫度

RMSE&SPREAD for Surface temperature(C)



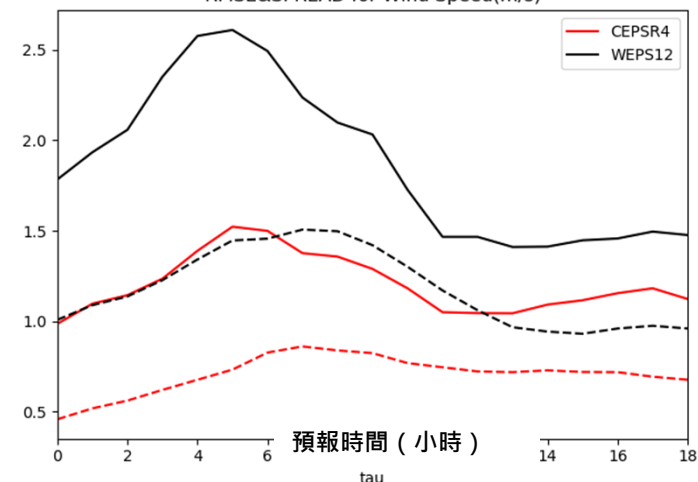
兩米混合比

RMSE&SPREAD for Mixing Ratio(g/kg)



十米風速

RMSE&SPREAD for Wind Speed(m/s)



— WEPS

— CEPS

實線 → 誤差
虛線 → 離散度

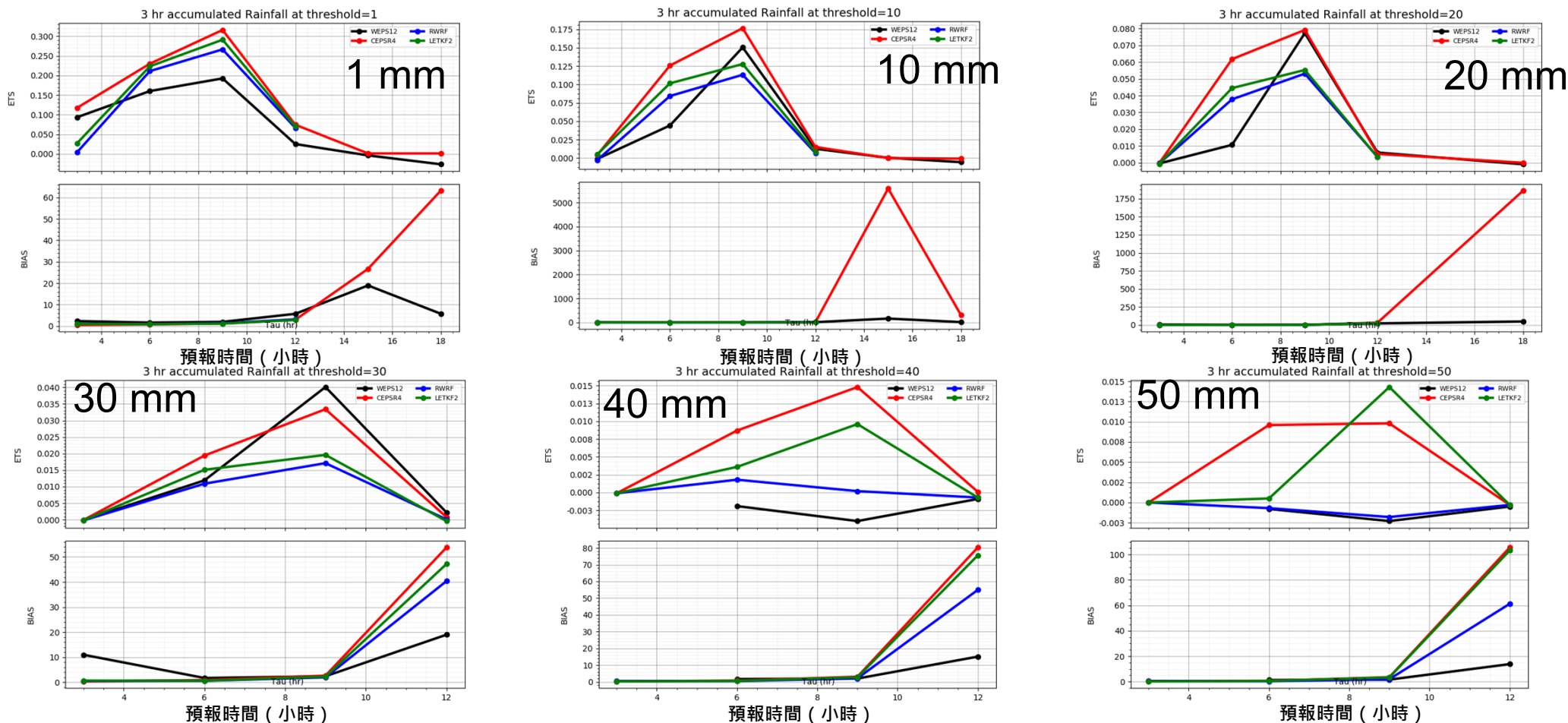
預報準確度：**CEPS**>WEPS

預報離散度：**WEPS**>**CEPS**

比較WEPS和CEPS之近地面預報表現，在兩米溫度和兩米混合比表現差不多，但CEPS之十米風速預報表現較佳。CEPS離散度仍較小，未來將持續強化離散度。

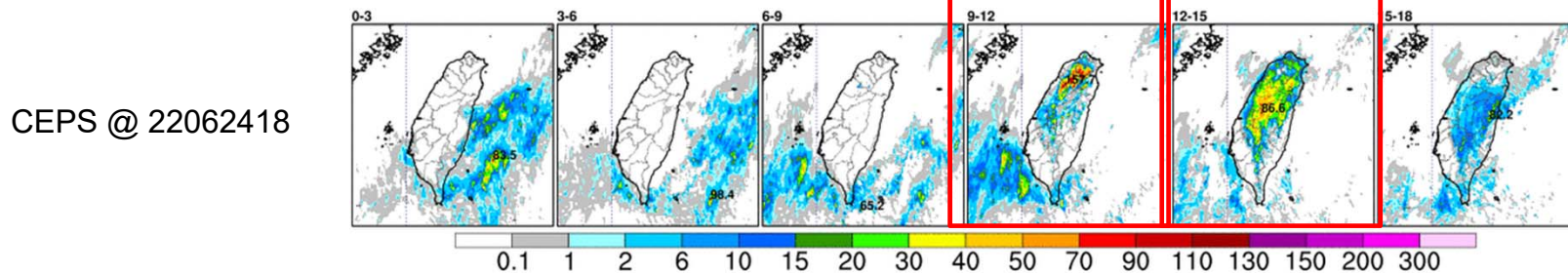
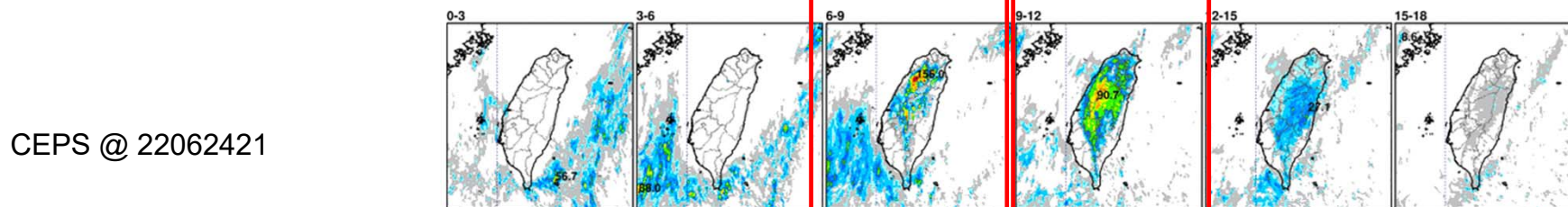
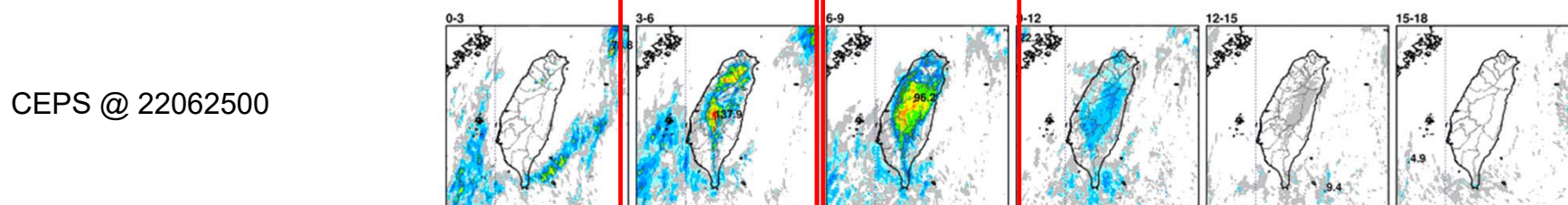
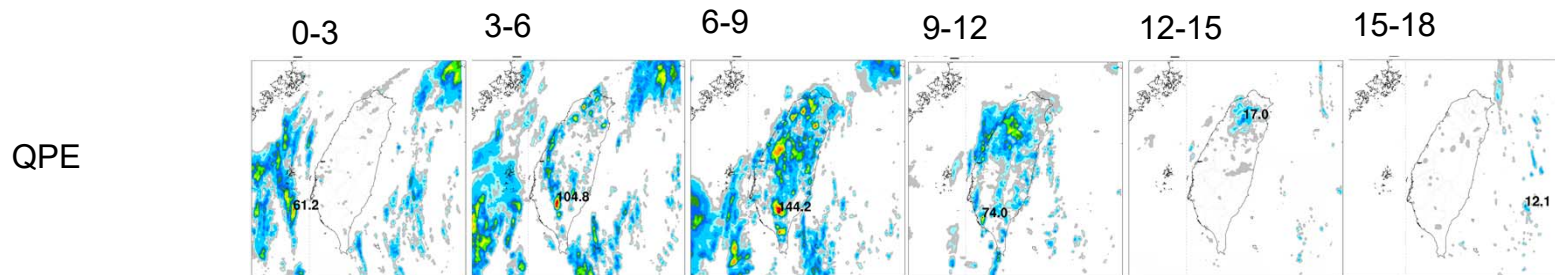
PMM預報校驗

— WEPS_PM — CEPS_PM — RWRF — LETKF



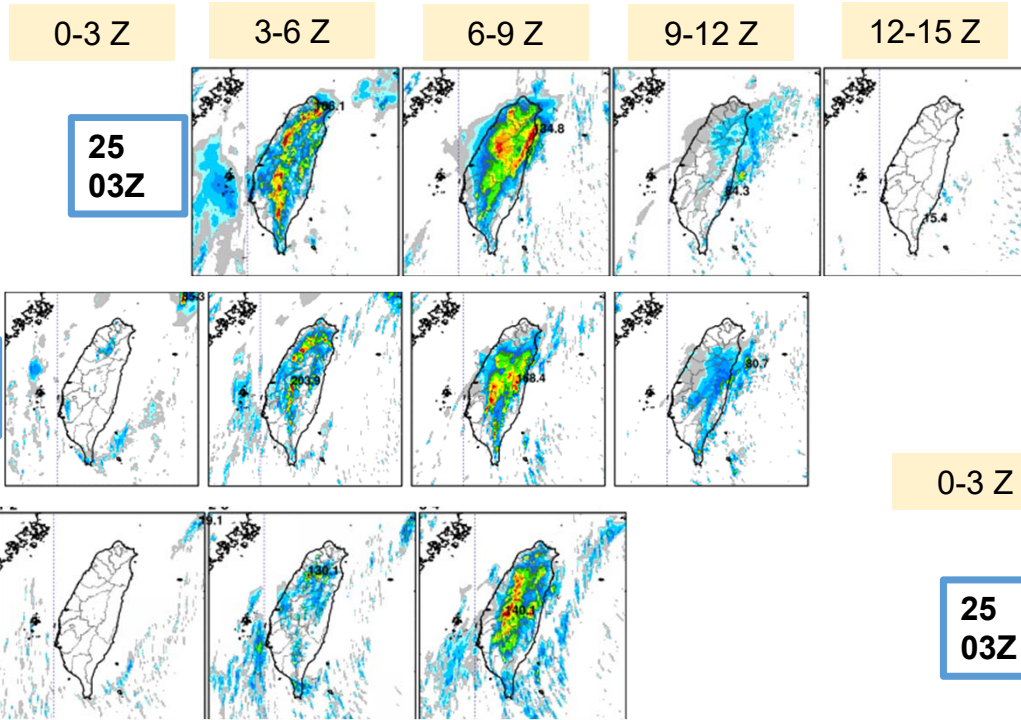
比較WEPS和CEPS，CEPS在午後對流個案預報表現優於WEPS；
相對於決定性預報，CEPS_PM也有較佳的表現。

降雨預報準確度：CEPS > LETKF > RWRF > WEPS

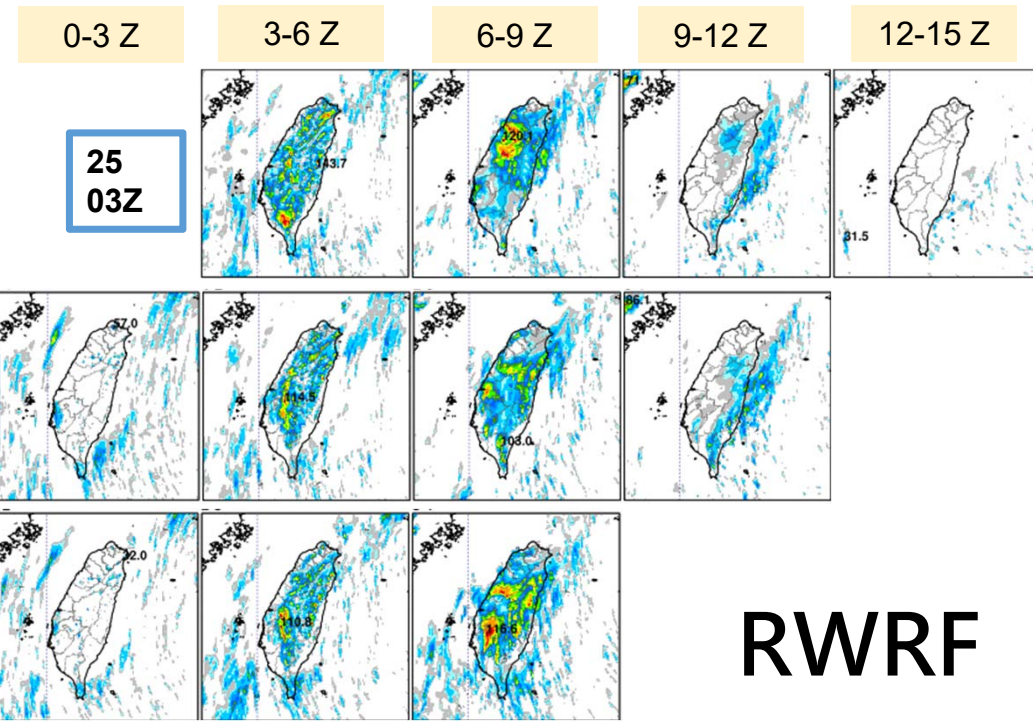


CEPS 前後幾個run，在相同的valid time有相似的預報雨量分布。但此個案的預報雨量過大。

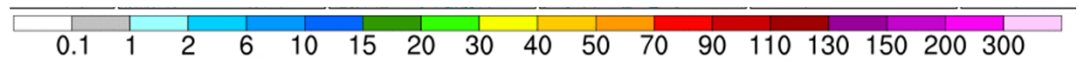
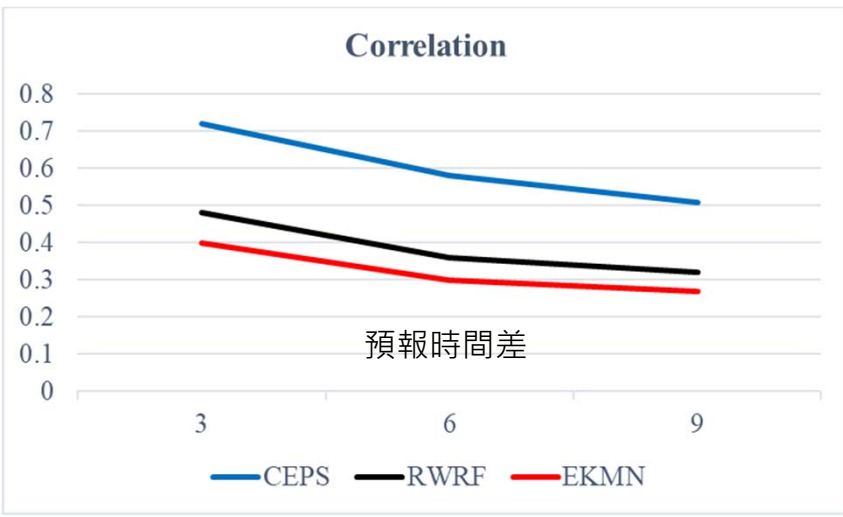
LETKF



CEPS預報具有一致性，
而LETKF和RWRF則無。



RWRF



小結

根據午後對流個案結果指出，CEPS之特性：

- 相對於RWRF/LETKF:
 1. 透過系集資料，擷取有用資訊，產生之降雨產品PM或是系集平均，其預報表現較佳。然而，系集平均可能會有極值平滑的問題。
- 相對於WEPS:
 1. 補足WEPS預報時前12小時預報。
 2. 午後對流之降雨預報表現優於WEPS。

2025年5,6月降雨校驗

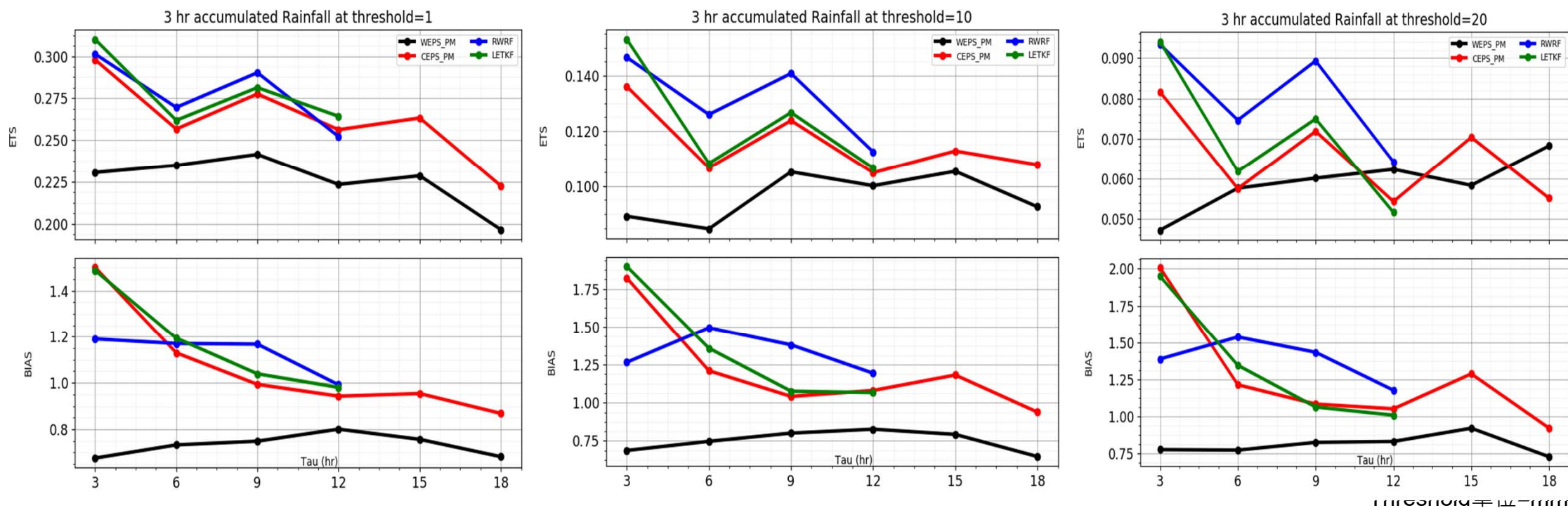


實驗內容

- CEPS上線後(2025/2) , 第一個梅雨季個案測試
- 時間 : 25050300~25063012
- 起始時間 : 00 06 12 18UTC

ETS及BIAS圖

— WEPS_PM — CEPS_PM — RWRP — LETKF



- 對流尺度預報系統，因能即時同化觀測資料，在前12小時預報有較好表現

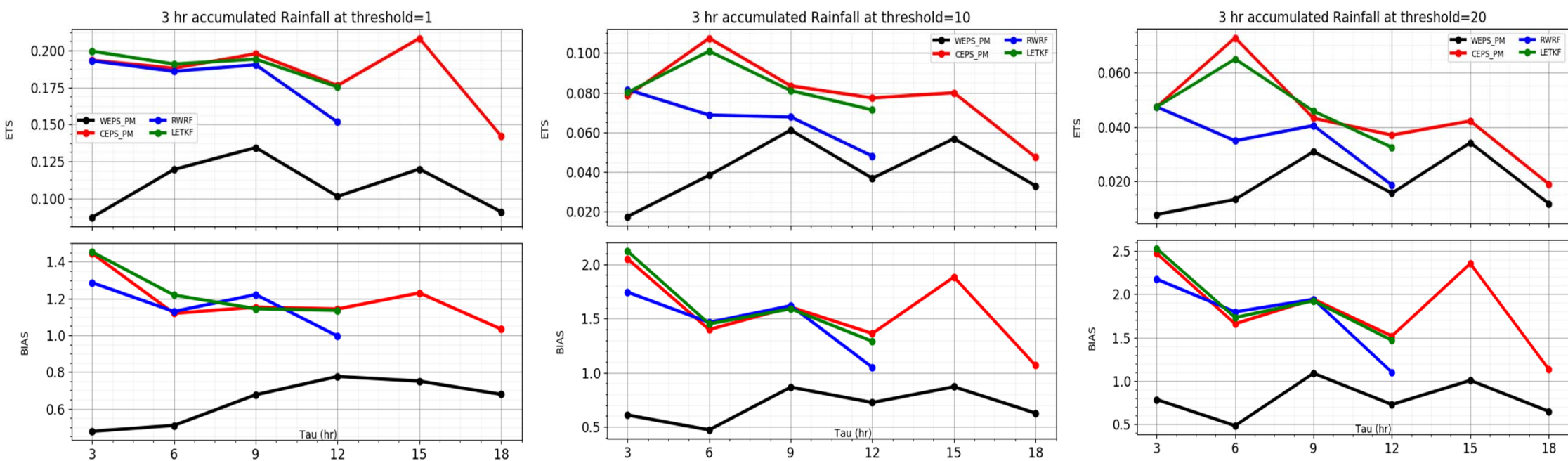
降雨預報表現：RWRP > LETKF = CEPS > WEPS

2025年5月6月降雨分類

- 午後：5/14~5/22、6/6~6/11、6/17~6/20、6/25~6/29
- 鋒面：5/6~5/12、5/24~5/30、6/1~6/5
- TD：6/12~6/16

ETS及BIAS圖(午後對流)

— WEPS_PM — CEPS_PM — RWRF — LETKF

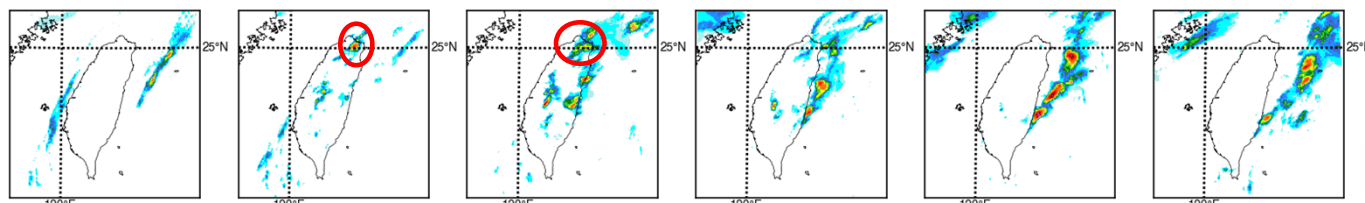


Threshold單位=mm

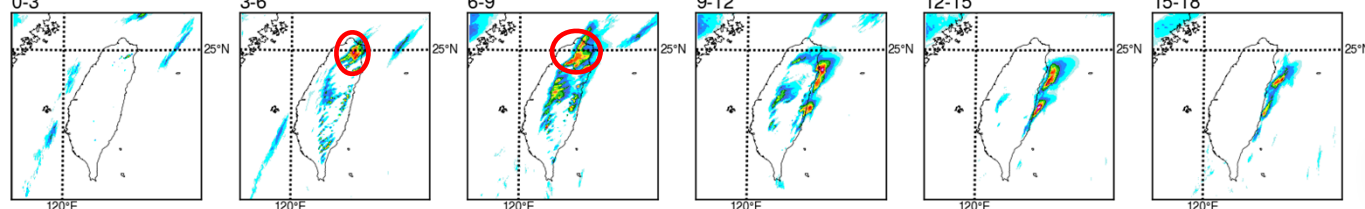
- 和2022年個案比較相似，午後對流個案中CEPS預報表現最佳，優於其他系統。

降雨預報表現：**CEPS**>**LETKF**>**RWRF**>**WEPS**

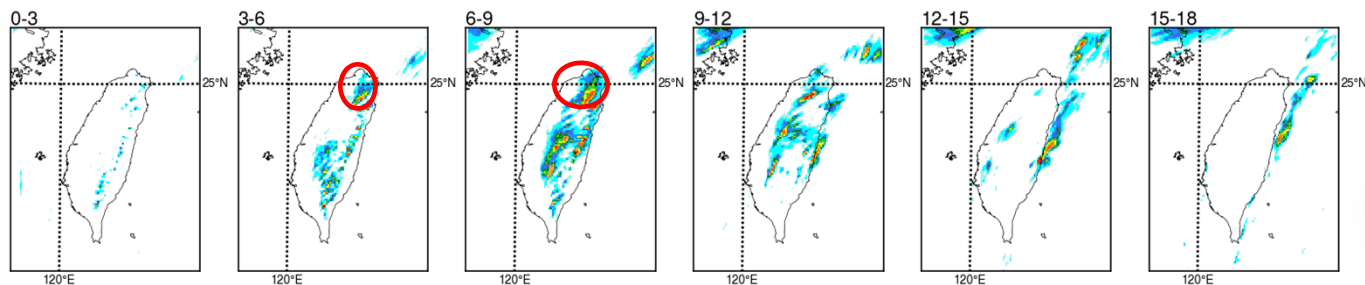
QPE



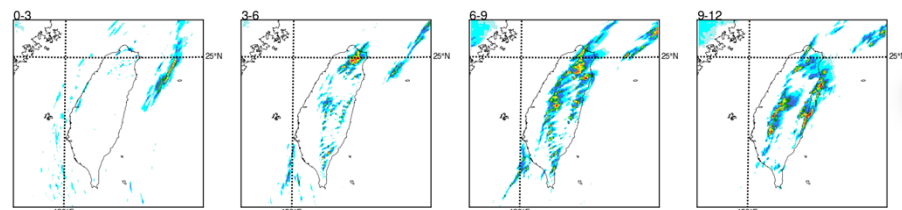
CEPS_PM



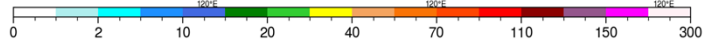
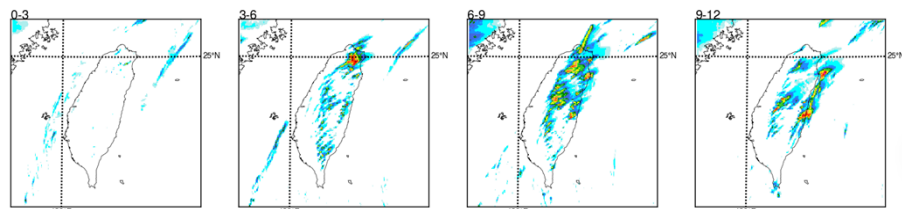
WEPS_PM



RWRF



LETKF

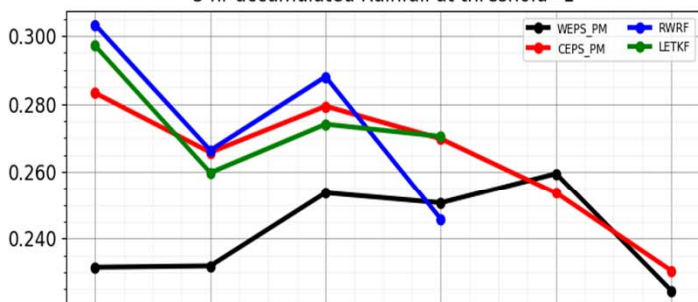


- 顯示對流尺度預報系統對於午後對流位置的掌握力優於WEPS。符合期待

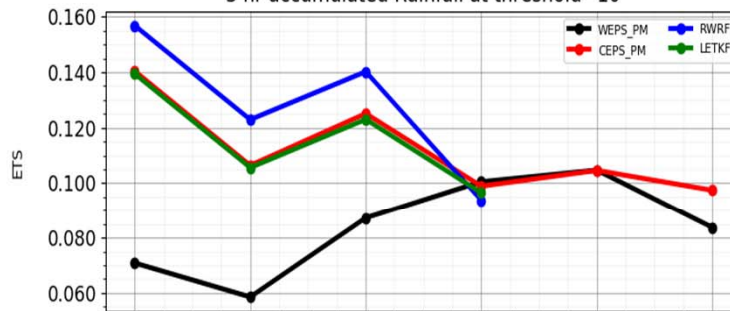
ETS及BIAS圖(鋒面)

— WEPS_PM — CEPS_PM — RWRF — LETKF

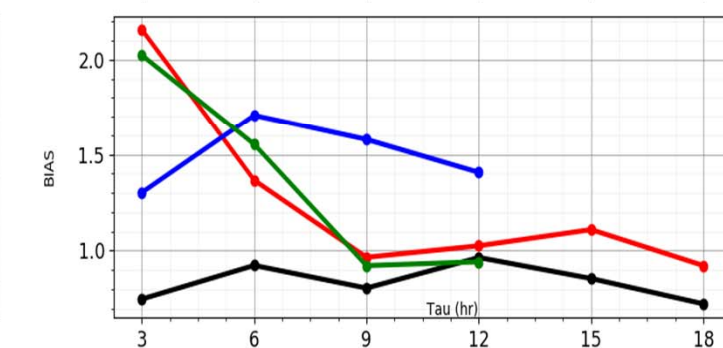
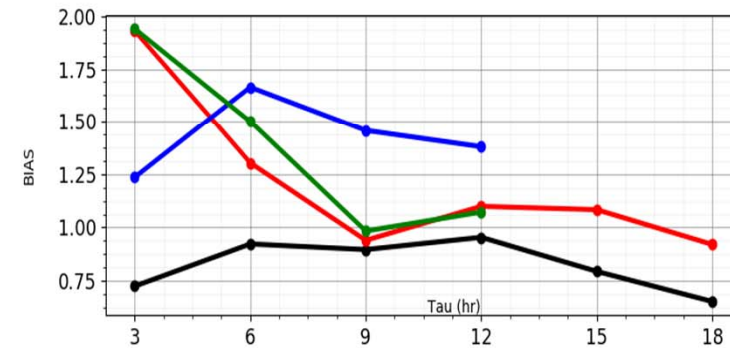
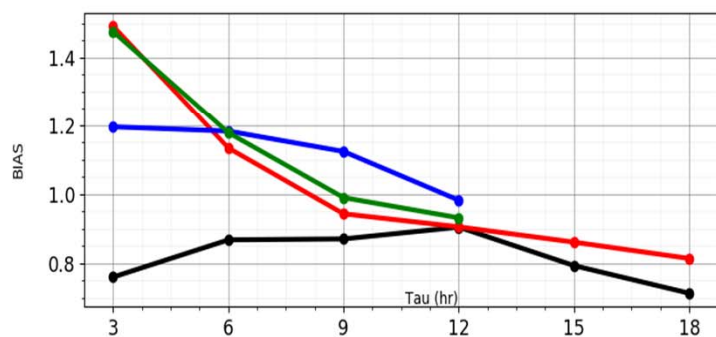
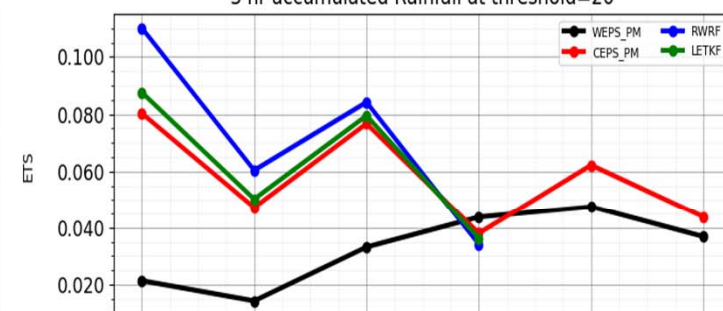
3 hr accumulated Rainfall at threshold=1



3 hr accumulated Rainfall at threshold=10

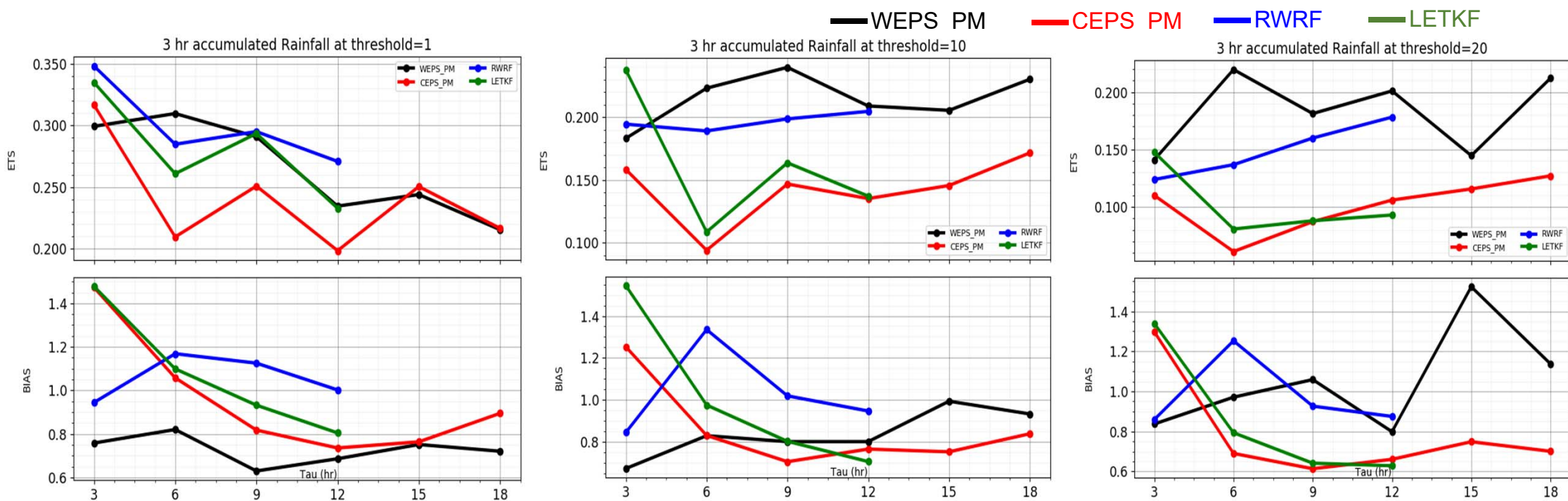


3 hr accumulated Rainfall at threshold=20



- 前期CEPS、RWRF、LETKF都有較佳的表現，尤其以RWRF最好。 降雨預報表現：**RWRF**>**CEPS**=**LETKF**>**WEPS**
- WEPS可能受到spin up影響，預報初期預報表現較差，但在12小時後，預報表現有所提升。

ETS及BIAS圖(TD)



降雨預報表現：WEPS>RWRF>LETKF>CEPS

- WEPS有較佳的降雨預報，推測是因為WEPS domain較大，且使用NCEP分析場進行預報，對於颱風駛流有較好的預報能力

結論與未來

- 中央氣象署為了短延時強降水事件，發展對流尺度預報系統。本年度完成對流尺度系集預報系統（CEPS）之發展，於2月正式上線作業。此系統每3小時執行一次，每次預報18小時。
- 根據個案結果指出，CEPS之地面預報表現優於決定性預報，但離散度仍不足，未來需要持續優化；降雨預報顯示，CEPS對於午後對流個案之預報表現最佳，符合對流尺度發展之期待；而對於熱帶氣旋的預報能力，區域模式則優於對流尺度預報模式。

Thanks for your attention!!

小結

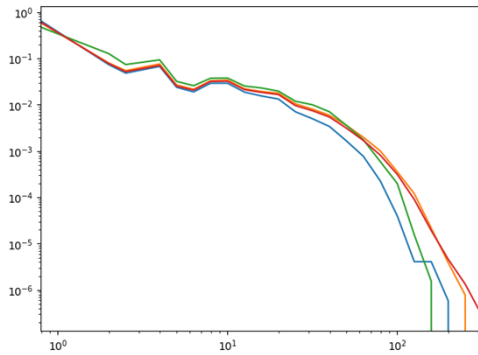
- 在午後對流個案中，CEPS和LETKF的ETS分數最好，RWRF次之，顯示CEPS對午後對流有較佳的預報能力，但BIAS較大且隨門檻值提高而增大，顯示有過報問題
- 鋒面降雨預報方面，RWRF對小雨掌握較好，CEPS對大雨掌握較好，TD降雨則是WEPS表現最好
- 這是針對2025年5月6月的降雨個案統計，未來可再進行更多年的統計來驗證結論是否正確

實驗設計

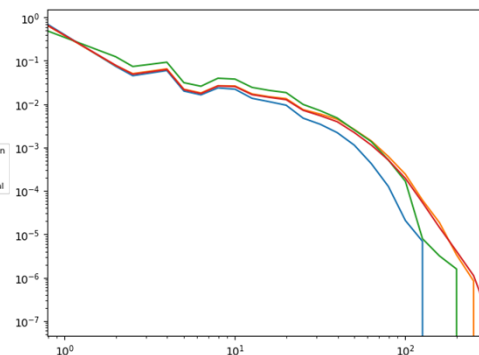
- 時間：25050300~25063012
- 起始時間：00 06 12 18UTC
- Output：每3小時

CEPS PDF圖

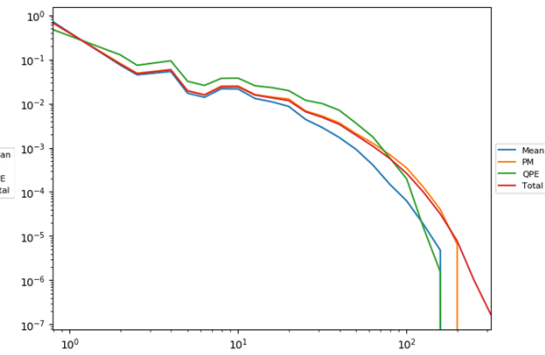
tau=0-3



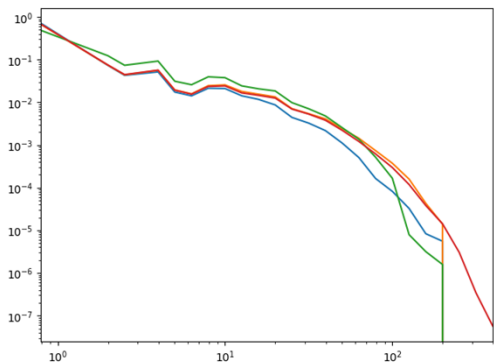
tau=3-6



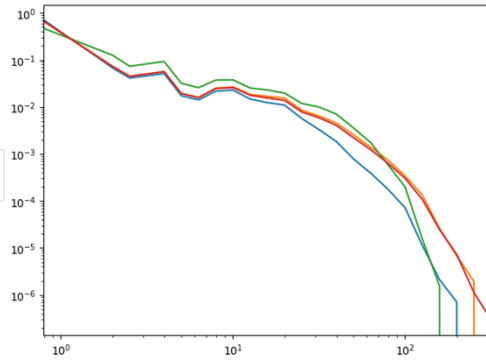
tau=6-9



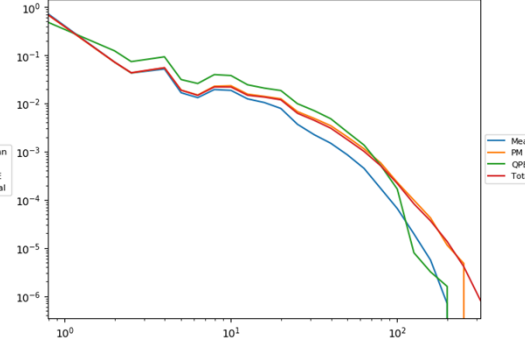
tau=9-12



tau=12-15



tau=15-18

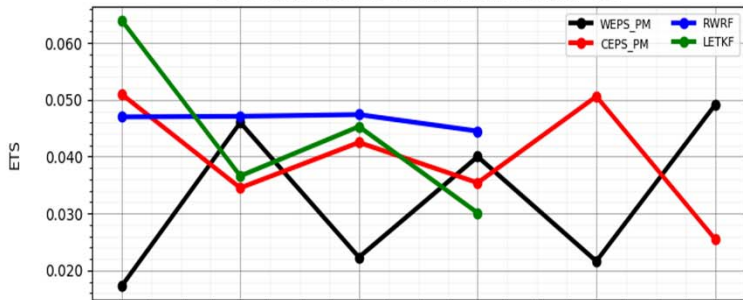


1. 整體來說，PM和total降雨型態大致和觀測符合，小雨略為低報，大雨高報

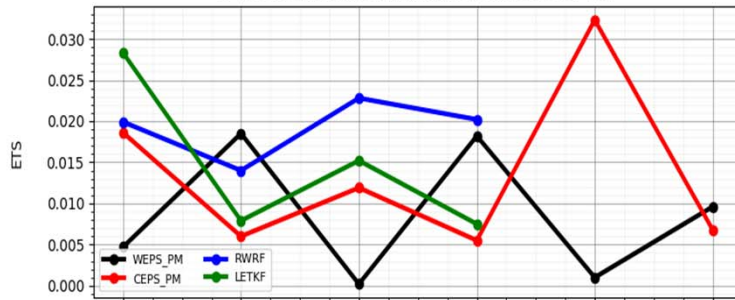
2. Ensemble Mean在小雨和PM、total差異不大，大雨低報，但豪雨以上(3hr>100mm)似乎反而比較準

ETS及BIAS圖

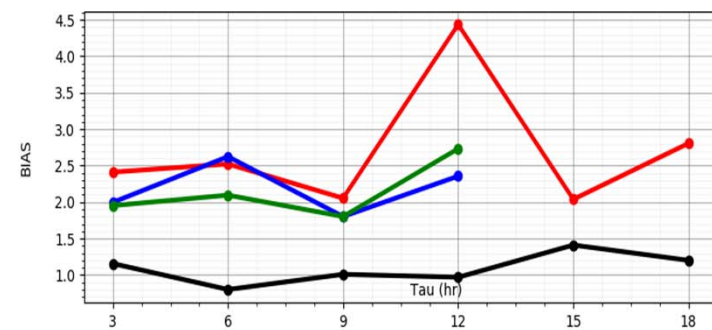
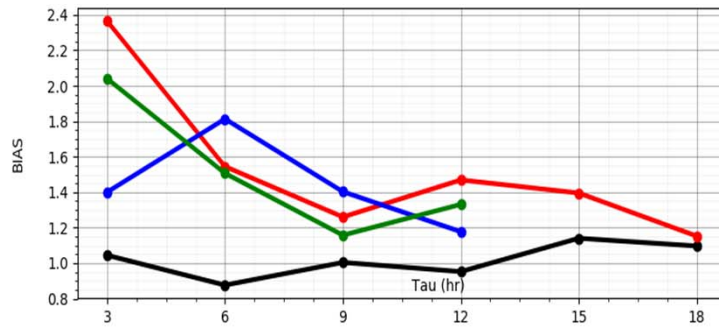
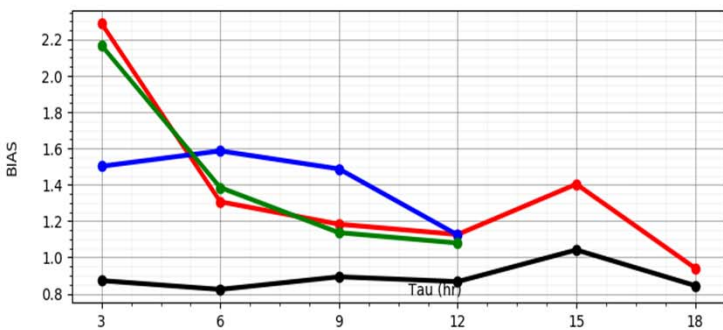
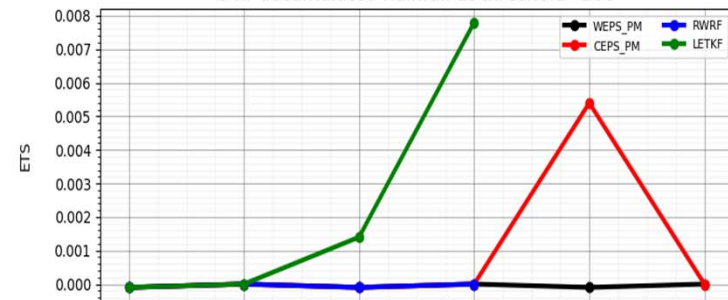
3 hr accumulated Rainfall at threshold=30



3 hr accumulated Rainfall at threshold=50



3 hr accumulated Rainfall at threshold=100



2025年5月降雨分類

日期	降雨類型	日期	降雨類型
5/1		5/16	-
5/2		5/17	-
5/3		5/18	鋒面靠近+午後
5/4	鋒面靠近	5/19	
5/5		5/20	午後
5/6	梅雨鋒面	5/21	
5/7	-	5/22	午後
5/8	-	5/23	
5/9	梅雨鋒面	5/24	鋒面+東北季風
5/10	-	5/25	-
5/11	-	5/26	-
5/12	-	5/27	-
5/13		5/28	鋒面
5/14	午後	5/29	-
5/15	-	5/30	-
		5/31	

2025年6月降雨分類

日期	降雨類型	日期	降雨類型
6/1	午後+西南季風	6/16	午後+西南風
6/2	西南季風	6/17	午後
6/3	鋒面	6/18	-
6/4	-	6/19	-
6/5	-	6/20	-
6/6	午後	6/21	
6/7	-	6/22	
6/8	-	6/23	
6/9	鋒前+午後	6/24	
6/10	-	6/25	午後
6/11	-	6/26	-
6/12	TD	6/27	-
6/13	-	6/28	
6/14	西南風	6/29	午後
6/15		6/30	

Summary of operational convection-allowing ensemble prediction systems

Center	Model	Horizontal resolution (km)	Forecast range (h)	Members	Initial perturbations	Lateral boundary conditions	Model uncertainty
DWD	COSMO-DE-EPS	2.8	27	20	Downscaled and recentered perturbations from IFS, GFS, ICON, GSM	Downscaled from IFS, GFS, ICON, GSM	Multi-parameter
Met Office	MOGREPS-UK	2.2	54	12	Downscaled and recentered perturbations from MOGREPS-G	Downscaled from MOGREPS-G	RP
Météo-France	AROME-EPS	2.5	45	12	Downscaled and recentered perturbations from PEARP	Downscaled from PEARP	SPPT
RHMC	COSMO-Ru2-EPS	2.2	48	10	Downscaled from COSMO-S14-EPS	Downscaled from COSMO-S14-EPS	–
KMA	LENS	3	45	12	Downscaled from EFSG	Downscaled from EFSG	RP
CAPS	SSEF	3	60	20	Downscaled from SREF	Downscaled from SREF	Multi-model multi-physics
NCAR	EnKF-based EPS	3	48	10	EAKF analysis	Downscaled from GFS+ random draws	–
CWA	WEPS	3.0	108	20	EAKF analysis + GEFS	Downscaled from GEFS	Multi-physics SKEB, SPPT

各國對流尺度系集預報的作業模式，解析度多在2~3公里，主要預報多在2天內的預報，初始場擾動多來自系集同化系統或是粗網格模式降尺度，BC多來自粗網格模式降尺度。部分系統則使用了模式擾動。

對流尺度系集預報系統—模式設定

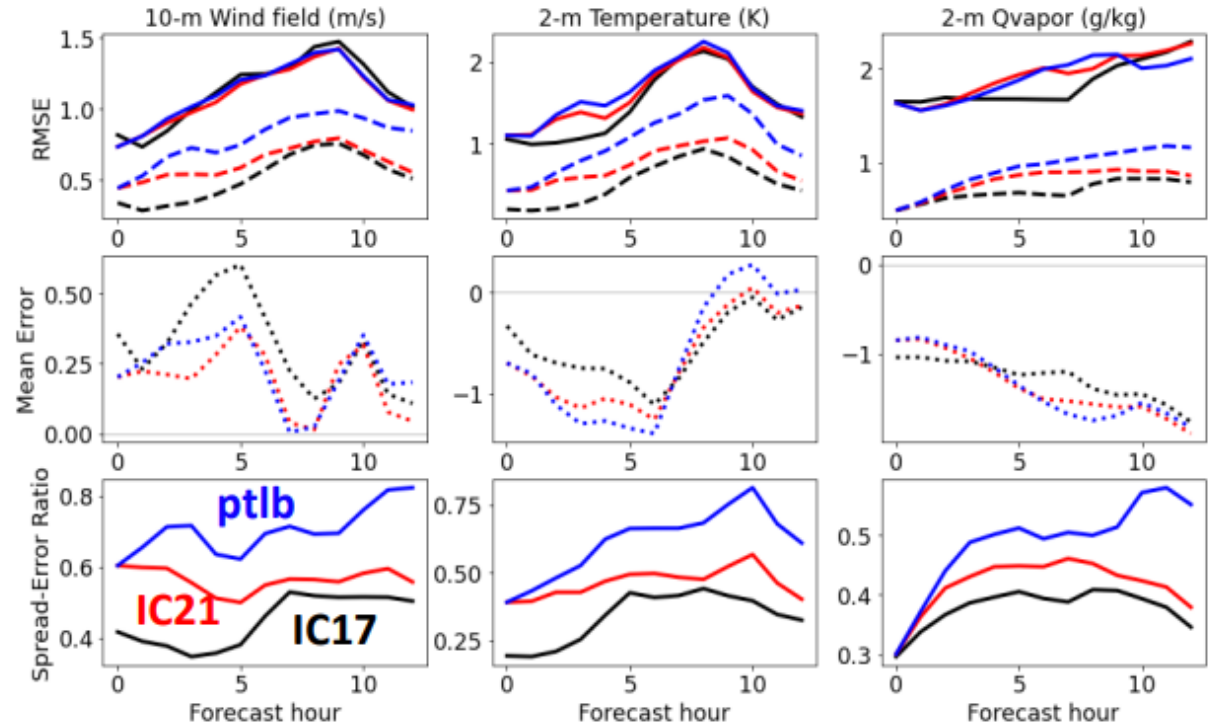
(Convective-scale Ensemble Prediction System, CEPS)

- 模式設定：(WRF模式)
 - 水平解析度：2公里 (範圍如右圖紅框)
 - 垂直解析度：52層
- 系集預報設定：
 - 16 個系集成員
 - 預報長度：18小時
- 快速更新策略：
 - LETKF逐時更新，同化雷達+地面觀測資料



Improve IC perturbations and add LBC perturbations

	IC	LBC
Ctrl (IC17)	LETKF w/o inflation	X
IC21	LETKF with inflation	X
ptlb	LETKF with inflation	From WEPS



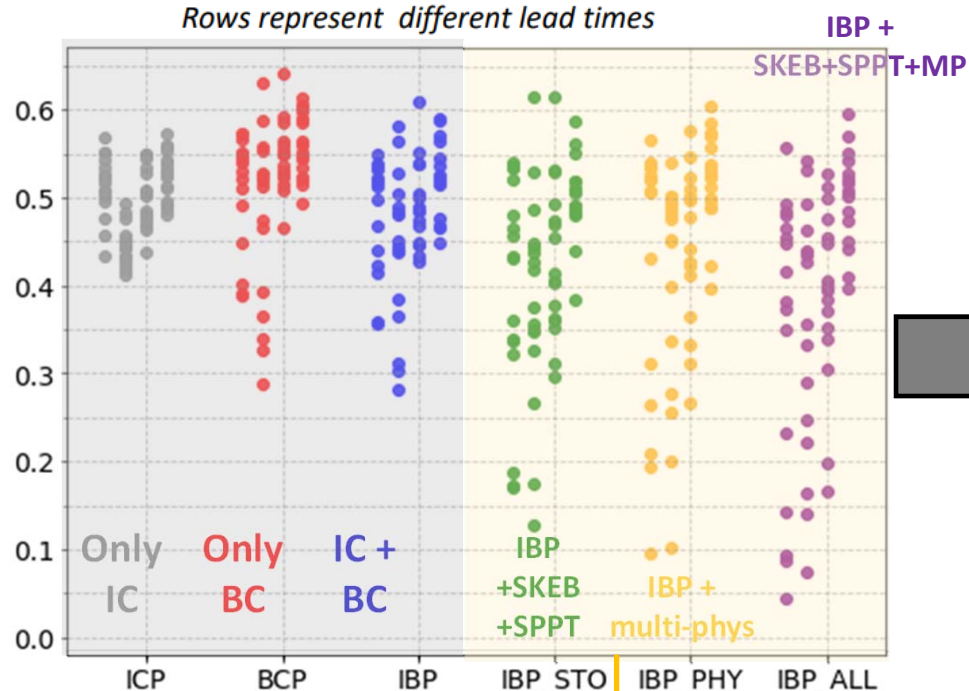
- **LBC of ptlb:** Mean from NCEP downscale 10 km (f7-12h)+ Perturbations from WEPS (f13-18h)

IC and LBC perturbations are very important for CEPS.

- IC21 can more large perturbations in the initial time, and LBC perturbations can keep increasing spread.

Model perturbations of CEPS

Fig.FSS of ensemble members
Rows represent different lead times



1. Need more study for physic suites
2. Exclude stochastic perturbation

→ The first operational version of CEPS will include those modifications (including LBC), and will build testbed in HPC.

1. SKEB and SPPT need more study in CEPS.
2. Some members would be outlier.

參考文獻

Chen, I-H., Y.-J. Su, H.-W. Lai, J.-S. Hong, C.-H. Li, P.-L. Chang, Y.-J. Wu, 2023: Performance of Convective-scale Ensemble Prediction System on 2017 Warm-season Afternoon Thunderstorms over Taiwan. *Wea. Forecast.*, **38(4)**, 517–538

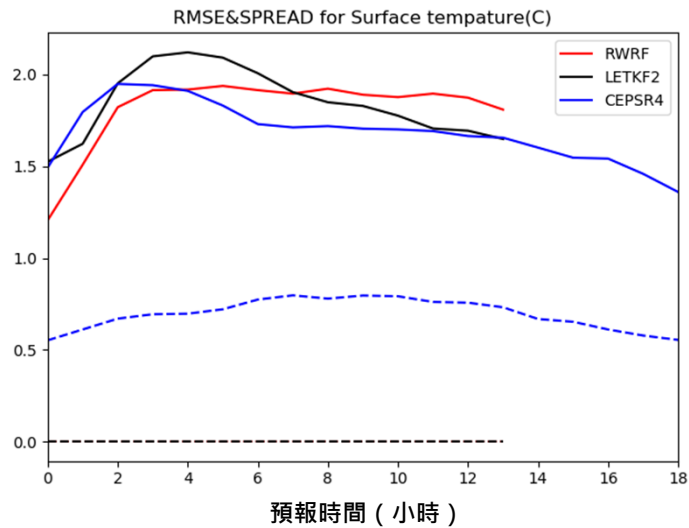
小結

對流尺度系集預報和WEPS發展的策略不同，經過多年努力，包含研發策略和技術細節，完成第一個版本。也學到一些重要的概念：

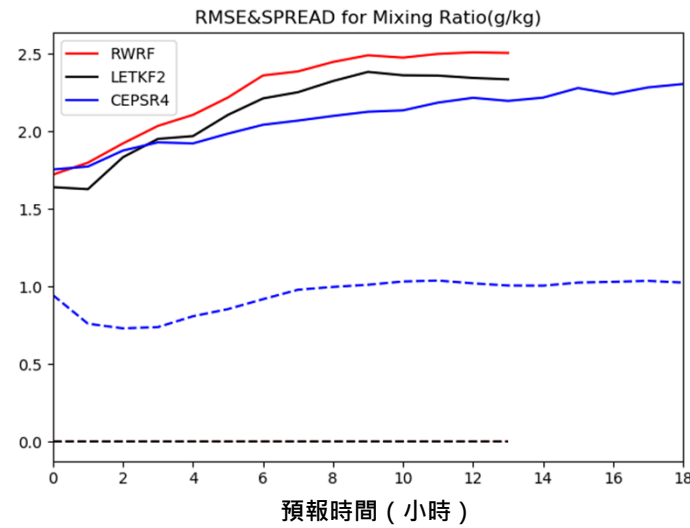
1. CEPS由於預報長度較短，且模式範圍較小。初始場擾動和側邊界擾動，對於CEPS之預報表現扮演重要角色。
2. LETKF作為CEPS之初始場擾動來源，強化LETKF將有助於改善CEPS。因此，CEPS之研究結果可與LETKF交流，同時可改善LETKF預報和CEPS預報表現。例如：LETKF加入側邊界擾動，確實改善LETKF和CEPS預報 → LETKF側邊界擾動已於2024年正式上線作業。

臺灣陸地之地面校驗結果

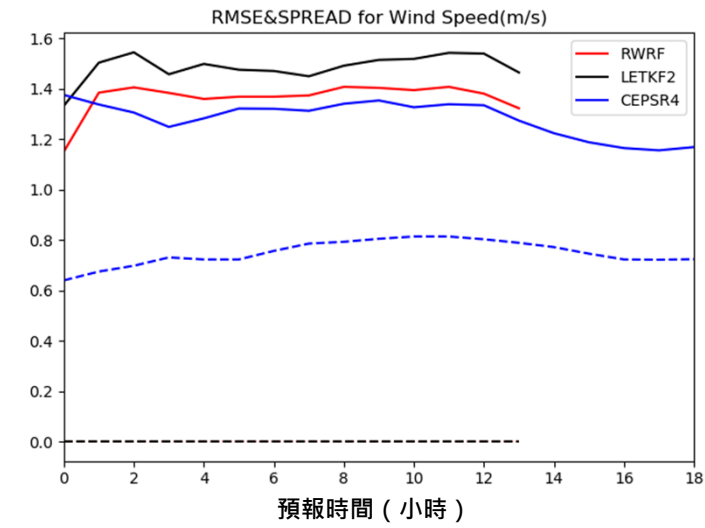
兩米溫度



兩米混合比



十米風速



— LETKF

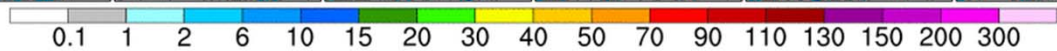
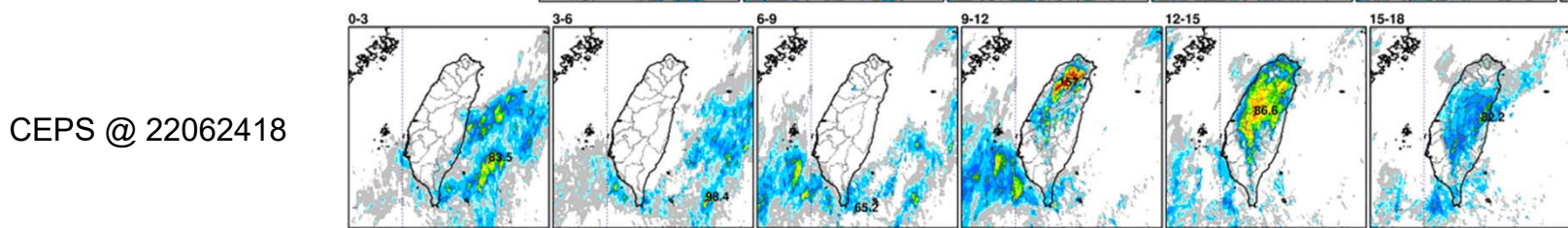
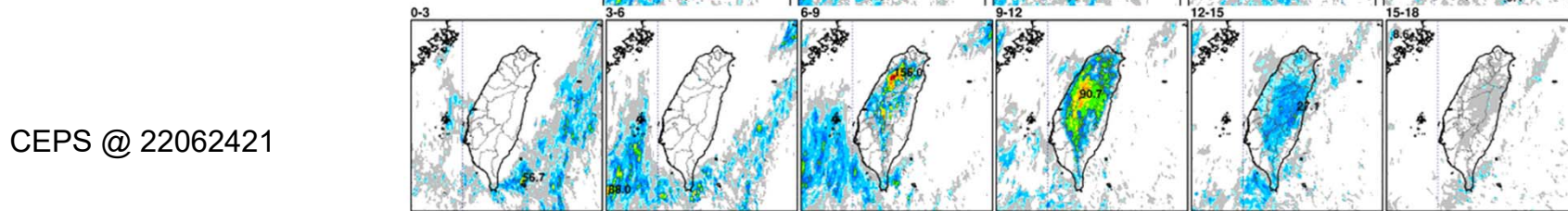
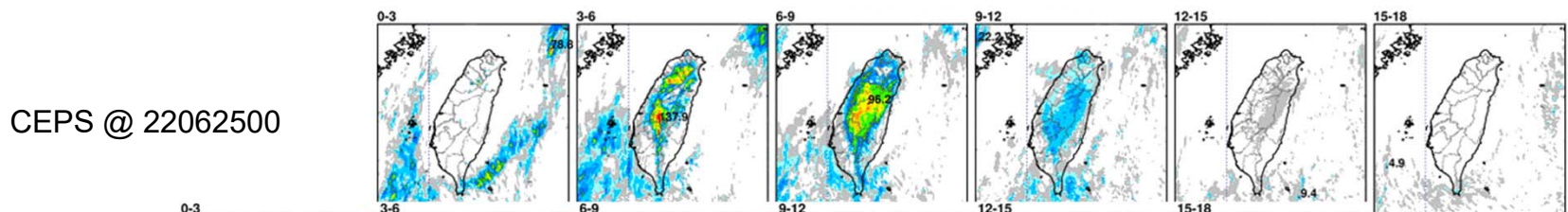
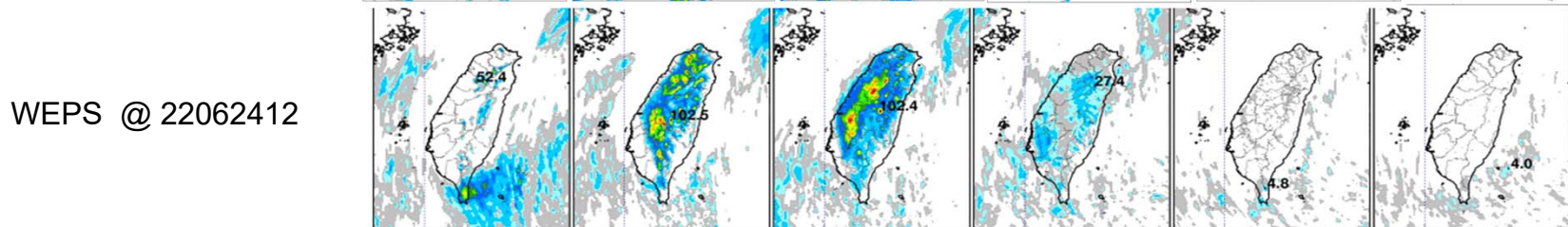
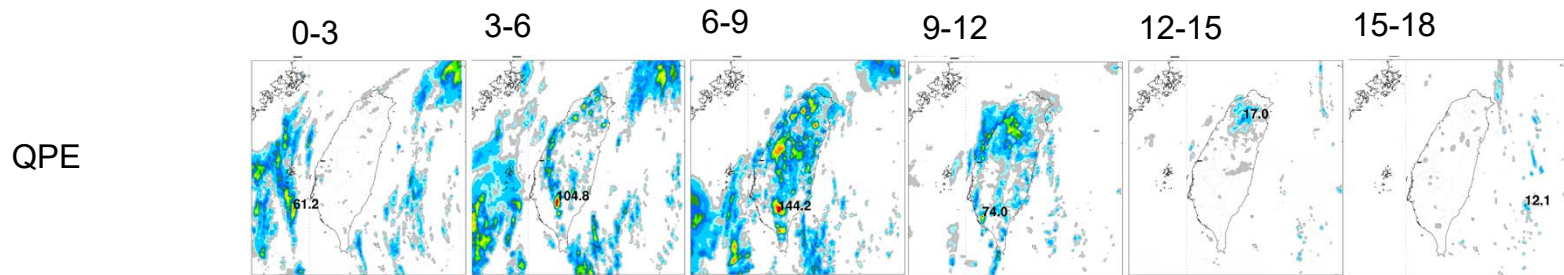
— RWRP

— CEPS_MEAN

實線 → 誤差

虛線 → 離散度

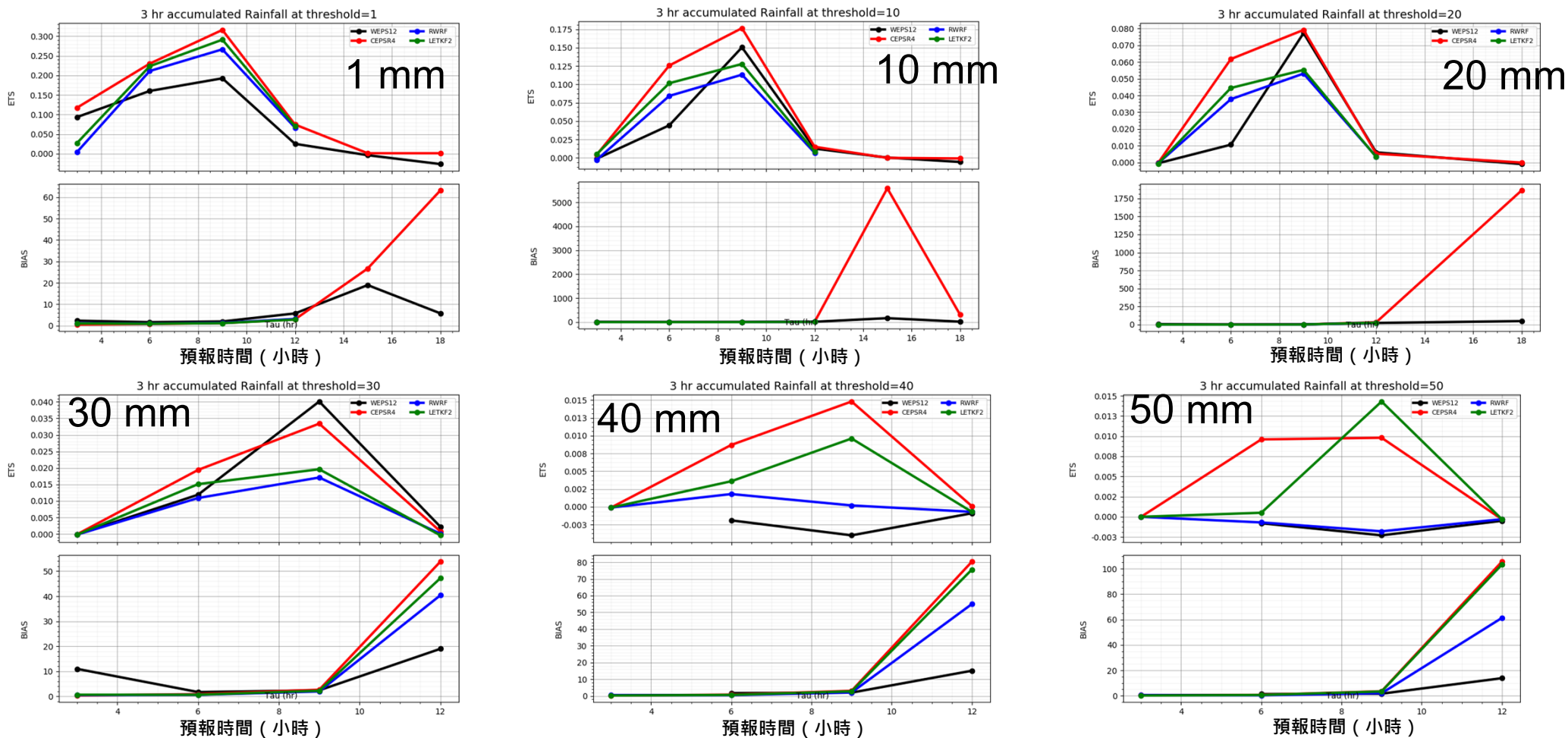
CEPS MEAN之預報誤差長時間統計上小於RWRP和LETKF，符合系集預報之優勢，**MEAN預報表現統計上會優於單一預報**。但**MEAN的極值會被平滑**，需特別注意。



此個案中，CEPS降雨分布跟WEPS相近，能補足此時WEPS前12小時沒有即時預報的問題。

PMM預報校驗

— WEPS_PM — CEPS_PM — RWRP — LETKF

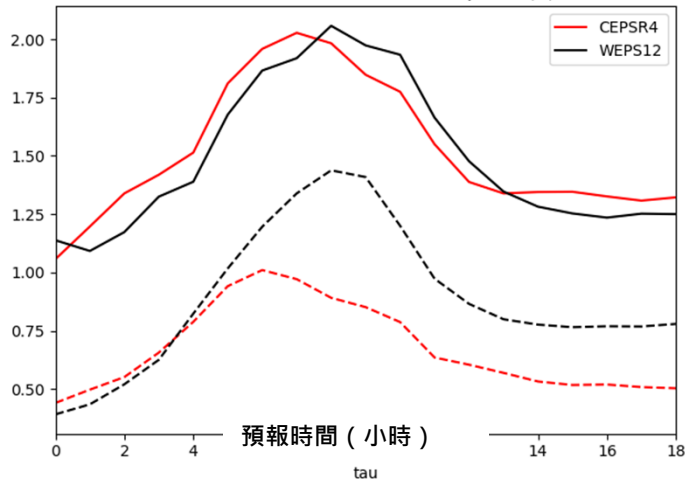


比較WEPS和CEPS，CEPS在午後對流個案預報表現優於WEPS；相對於決定性預報，CEPS_PM也有較佳的表現。

臺灣陸地之地面校驗結果

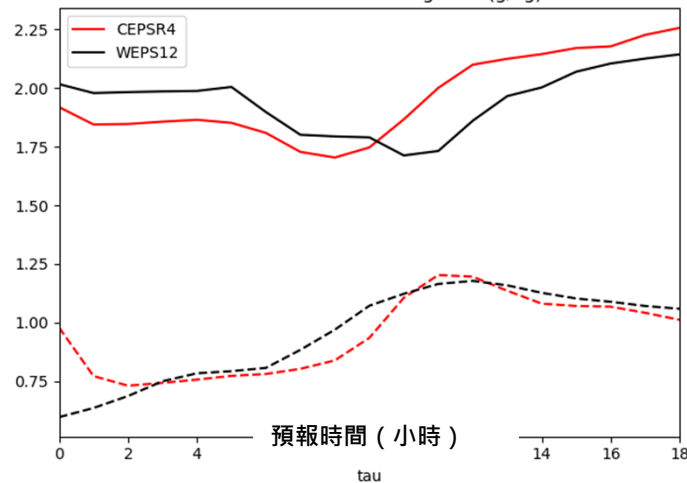
兩米溫度

RMSE&SPREAD for Surface temperature(C)



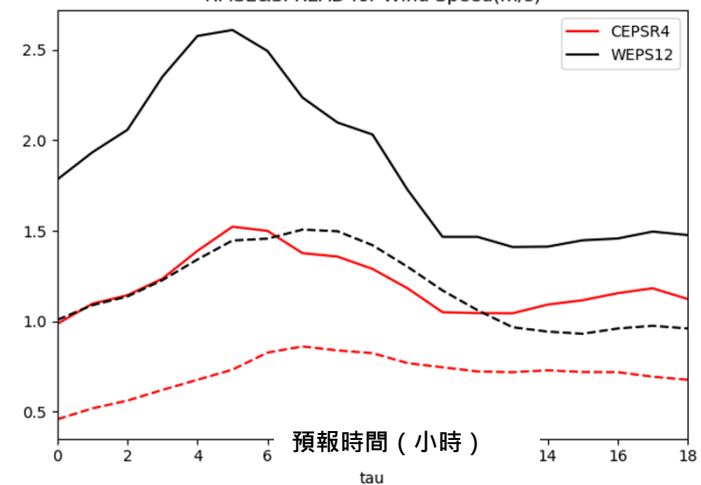
兩米混合比

RMSE&SPREAD for Mixing Ratio(g/kg)



十米風速

RMSE&SPREAD for Wind Speed(m/s)



— WEPS

— CEPS

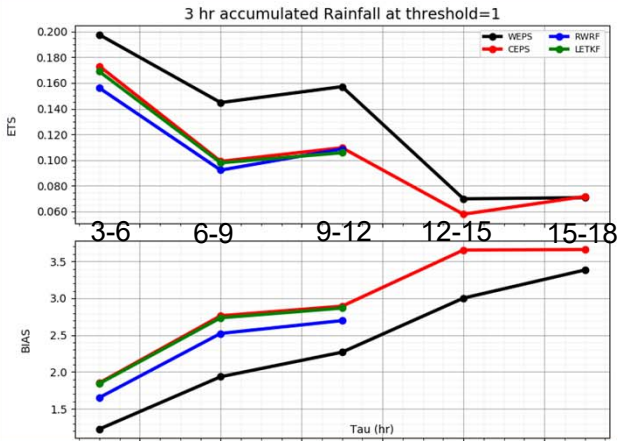
實線 → 誤差

虛線 → 離散度

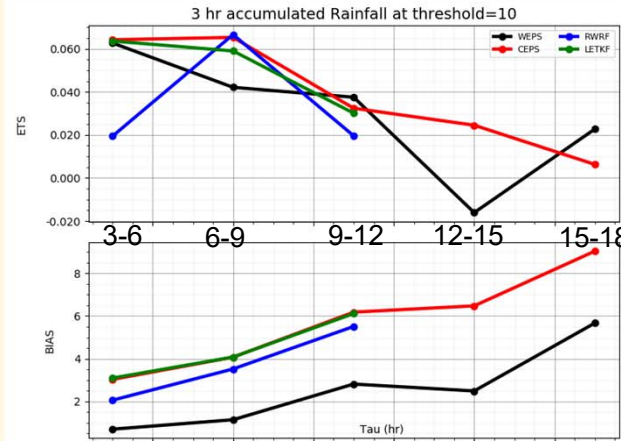
比較WEPS和CEPS之近地面預報表現，在兩米溫度和兩米混合比表現差不多，但CEPS之十米風速預報表現較佳。CEPS離散度仍較小，未來將持續強化離散度。

個案:25031318-25031618，共25個個案

— WEPS_PM — CEPS_PM — RWRP — LETKF



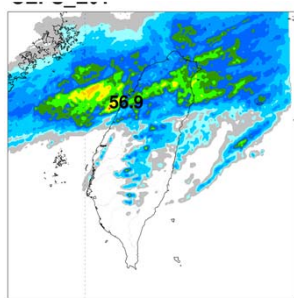
預報時間 (小時)



預報時間 (小時)

校驗結果：

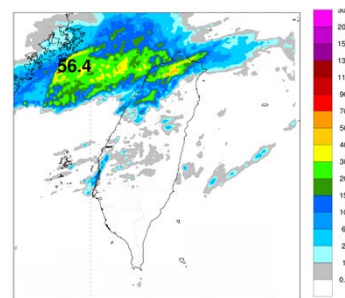
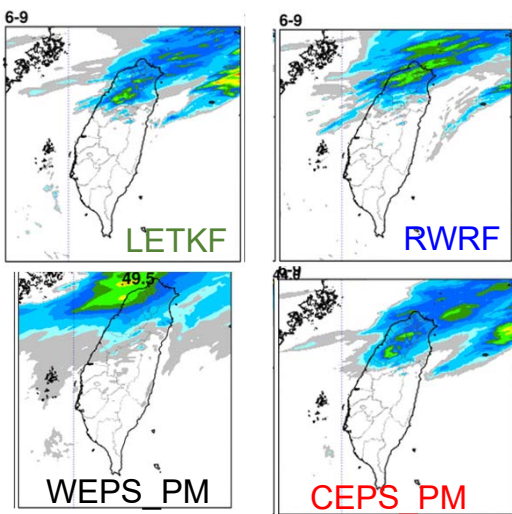
1. CEPS_PM預報得分與LETKF相近，優於RWRP。
2. CEPS_PM和WEPS_PM各有優劣，和午後對流個案結果不同。根據RWRP經驗指出，當雷達觀測範圍不足時，例如鋒面系統自北方或華南移入的情況，因無法有效修正模式誤差，因此對於鋒面的掌握較不穩定。因此，鋒面個案建議需參考WRFD/ TWRF/ WEPS等模式。



25031500-25031503

CEPS和LETKF相似；WEPS降雨位置較差。

25031418 UTC之預報第6-9小時



25031503-25031506

WEPS小雨雨量預報與觀測較為相似，CEPS小雨範圍較小

25031418 UTC之預報第9-12小時

