

中央氣象署全球展期天氣系集預報系統 隨機擾動項對OLR預報之調整測試

郭珮萱¹ 劉邦彥¹ 曾喜絃¹ 黃崇惟¹ 李崇璋¹ 邵允銓² 吳蔚琳¹ 吳佳瑩¹
曾于恒² 陳建河² 李明營¹ 林沛練³

¹中央氣象署海象氣候組

²國立臺灣大學海洋中心 ³國立中央大學大氣科學系

114年天氣分析與預報研討會

2025/9/2-4

➤ 報告大綱

- CWA全球系集預報系統(CWA/GEPS) 架構及擾動法簡介
- 隨機濕度擾動法在熱帶地區的調整測試
- 結論與未來工作

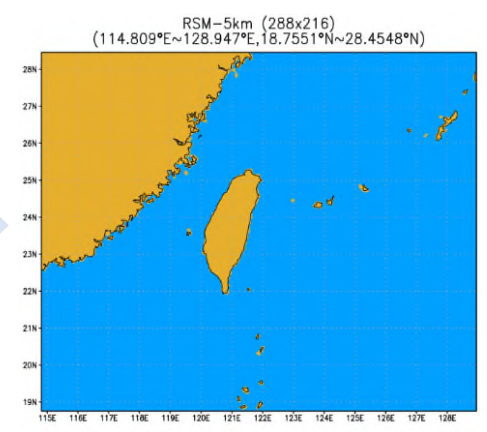
➤ CWAGEPS V3介紹-模式架構 (A3-9劉邦彥)

大氣模式



全球大氣模式
CWAGFS-T_{Co}383L72
(28 Km, 72 layers)

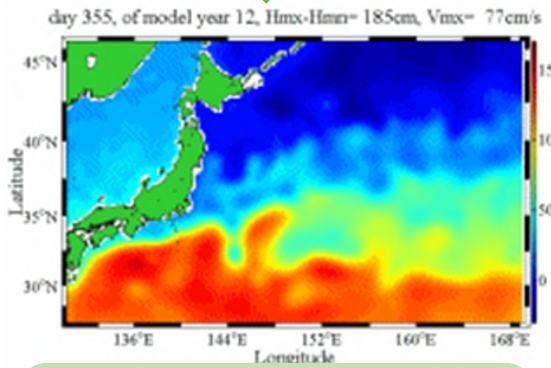
Every 6 hrs



動力降尺度系統
RSM
(5 Km, 72 layers)

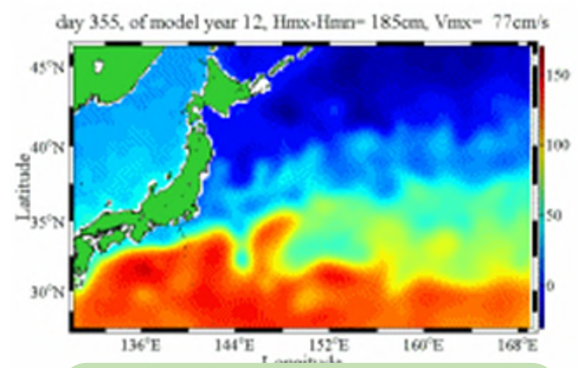
海洋模式

Every 2 hours



全球海洋模式 (TIMCOM)
解析度：25公里
垂直層：55層

Every 2 hours

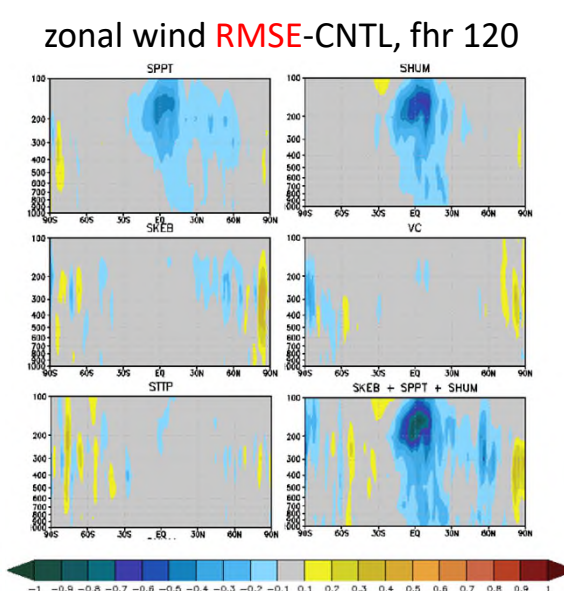
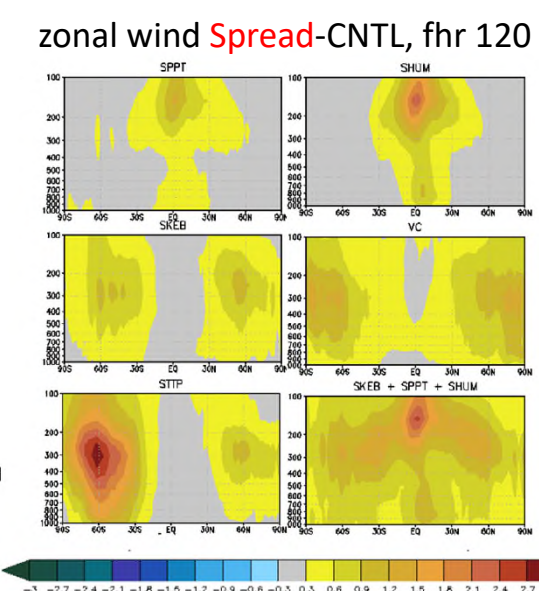
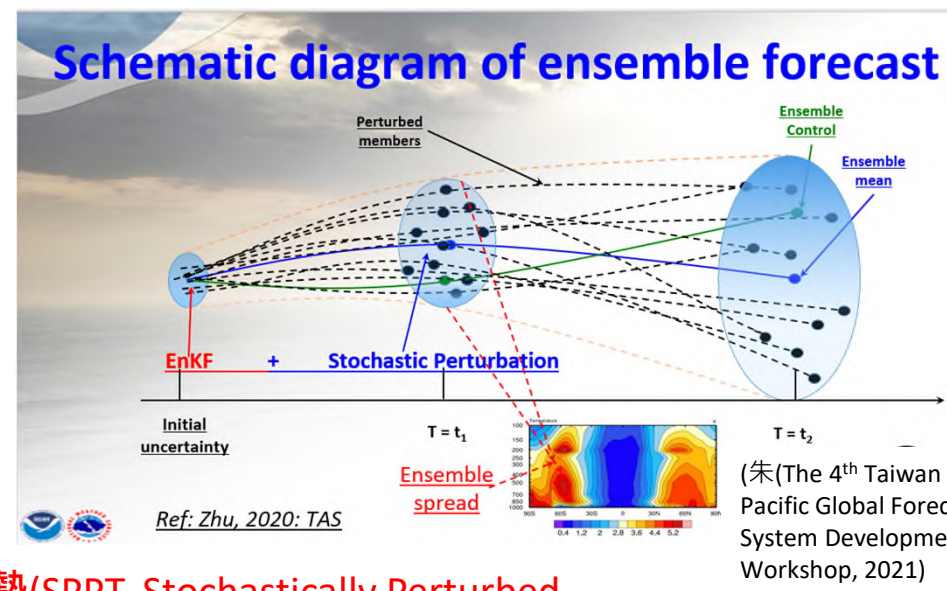


區域海洋模式 (TIMCOM)
解析度：5公里
垂直層：55層

		GEPS v2.1 (目前作業)	GEPS v3 (上線工作進行中)
模式	大氣	全球: T _{Co} 383 (28 km, 72 Layers) 區域: RSM (5 km, 72 layers)	
	海洋	全球: SIT (one column model)	全球: TIMCOM (25 km, 55 layers) 區域: TIMOM (5 km, 55 layers)
預報頻率		每日00Z, 12Z	每日00Z
成員數		00Z: 1個決定性+32個成員 12Z: 1個決定性+10個成員	00Z: 1個決定性+20個成員
預報長度		45day	45day
reforecast		2001-2020年	2006-2020年

➤ 隨機擾動

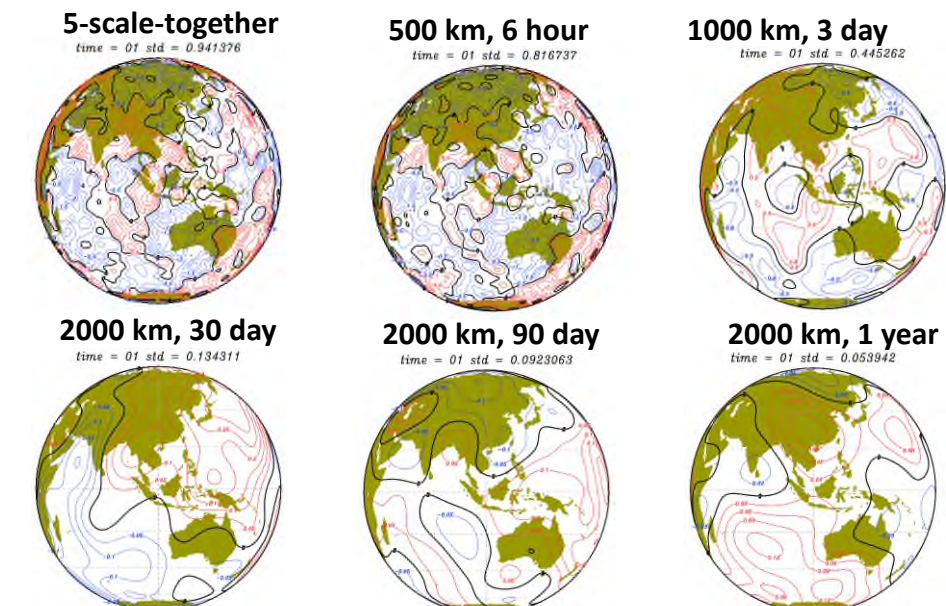
大氣(T_{Co}383)



Philip Peigon (GEFS)(Aug. 2012)
<https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2016/16741-stochastic-parameterization-development-noancep-global-forecast-system.pdf>

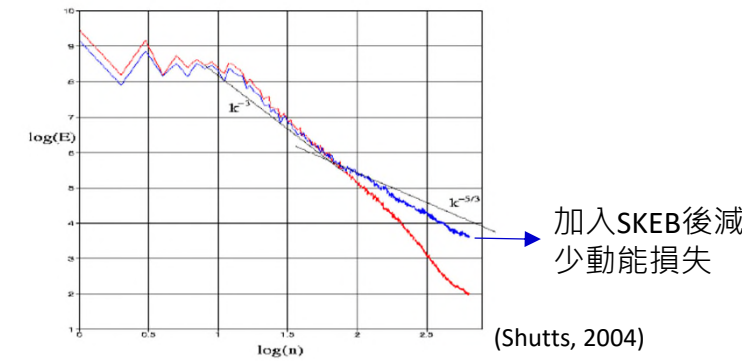
➤ 隨機擾動物理趨勢(SPPT, Stochastically Perturbed Parameterization Tendencies, SPPT)

=> 利用5個時間及空間的設定建立擾動係數，針對對物理過程所計算的趨勢項進行擾動(Palmer et al, 2009)，用來增加模式在物理過程的不確定性。



➤ 隨機動能後向散射 (Stochastic Kinetic Energy Backscatter, SKEB)

=> 主要用來彌補來自數值擴散、內插(numerical diffusion and interpolation)、山與地形的重力波拖曳(mountain and gravity wave drag)、以及深對流(deep convection)過程中所造成的能量損失(Duda et al., 2016)。

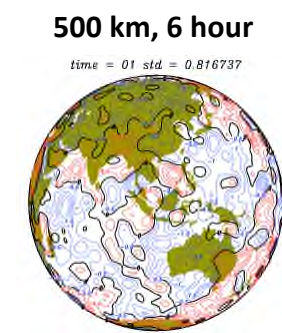


v3新增

➤ 隨機濕度擾動 (Stochastically Perturbed Humidity, SHUM)

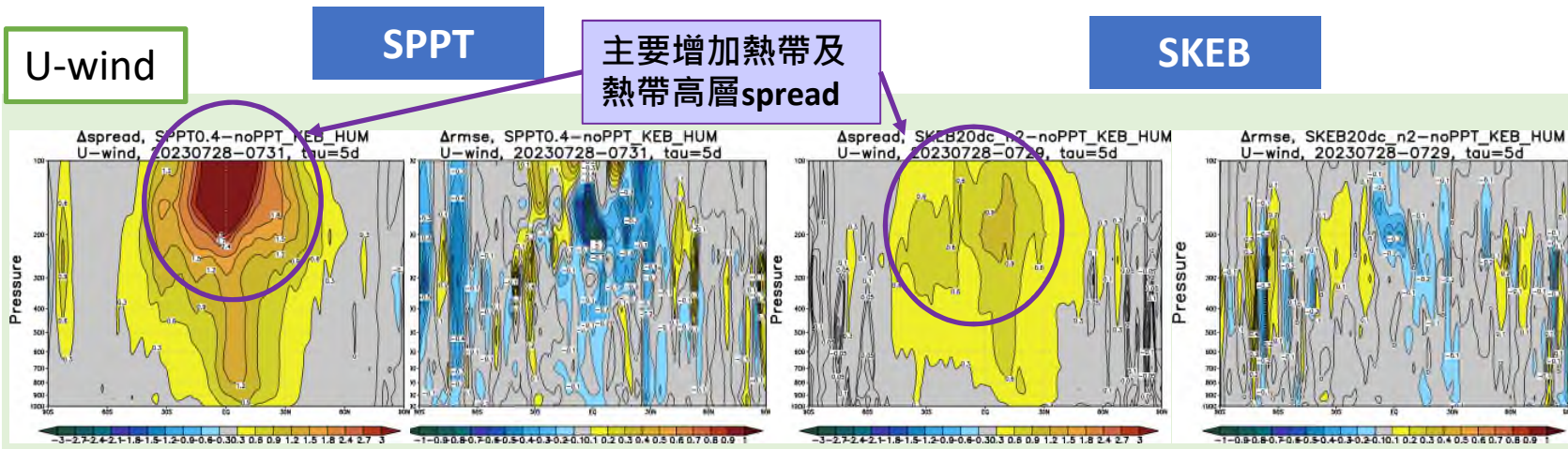
=> 提供網格空間上溼度的隨機擾動，希望提高模式對流的產生。

=> 隨機亂數擾動係數製造方式與SPPT法相同。

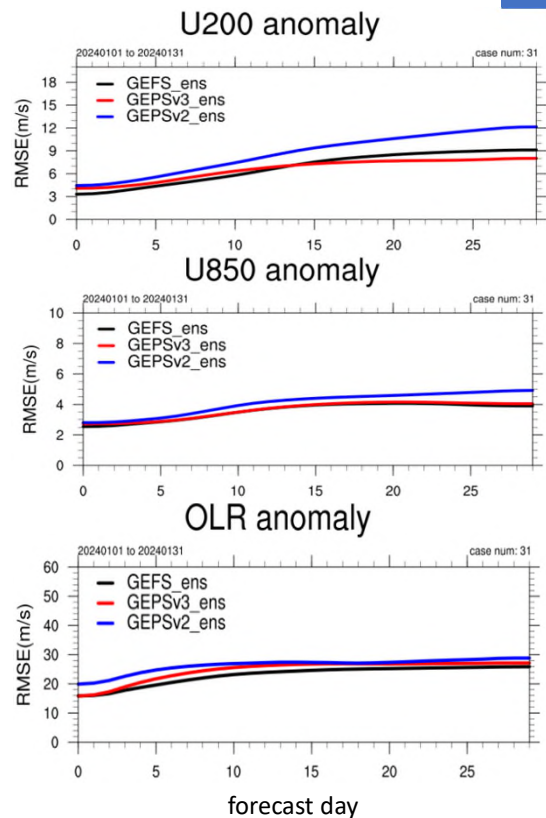


緣起

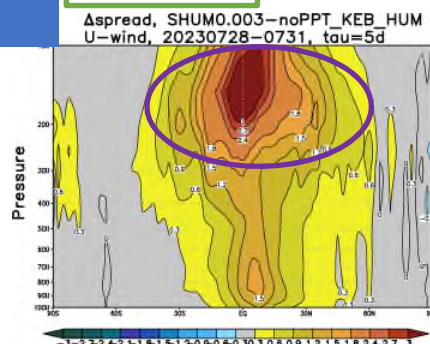
- 在GEPS v3系統建立測試過程中，擾動項加入在系集RMSE、離散度(Spread)有好的表現，且在測試結果上表現較目前作業GEPS v21改善。



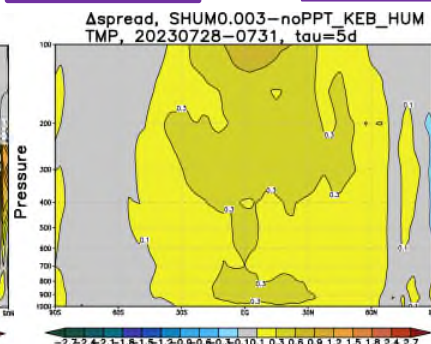
GEPS v3新增 SHUM



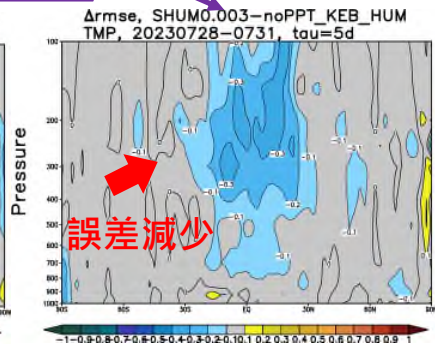
U-wind



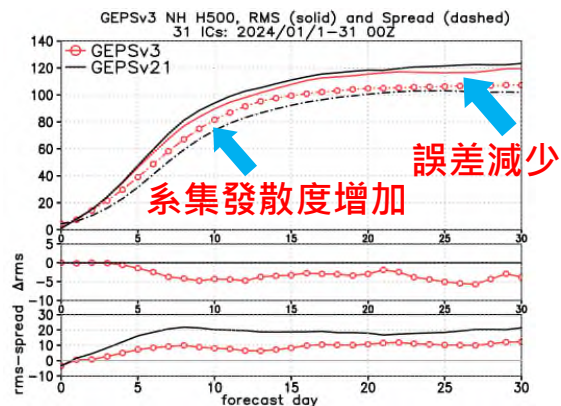
TMP



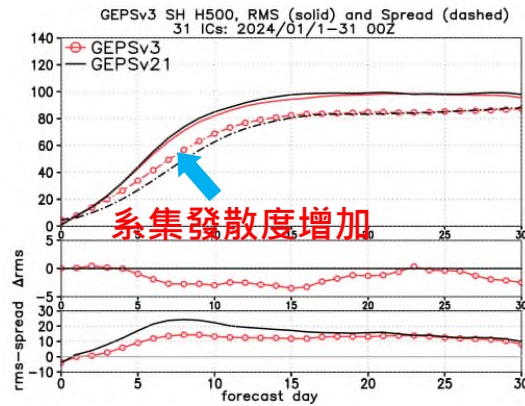
減少RMSE



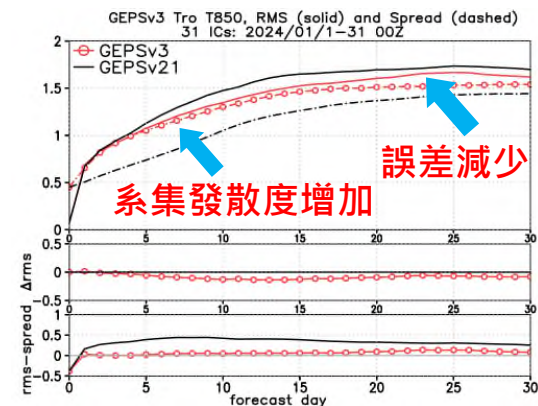
H500, NH



H500, SH



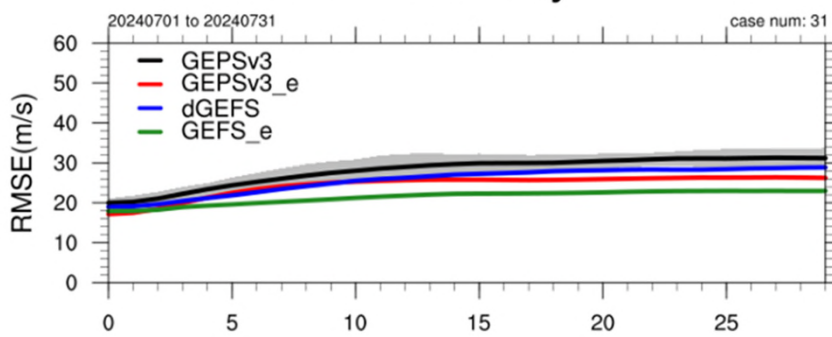
T850, TP



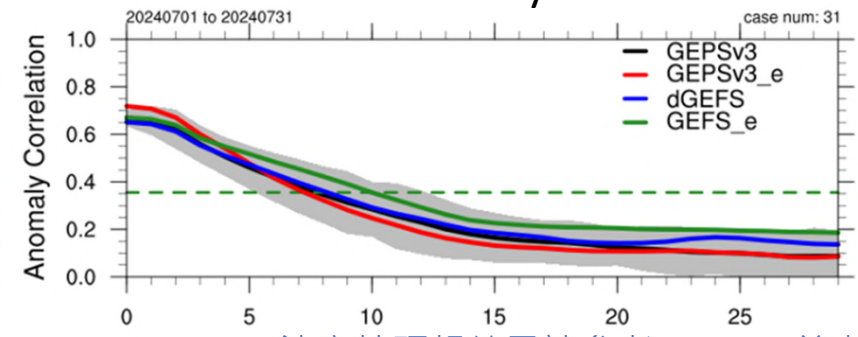
緣起

1. 但目前發現有熱帶OLR anomaly變大的問題，針對目前系統OLR過高的問題，嘗試進行調整與修改。
2. 檢查擾動項後發現，加入隨機擾動濕度 (SHUM) 擾動項後，OLR anomaly明顯增加，因此，需要進一步對SHUM擾動項進行調整測試。

OLR anomaly



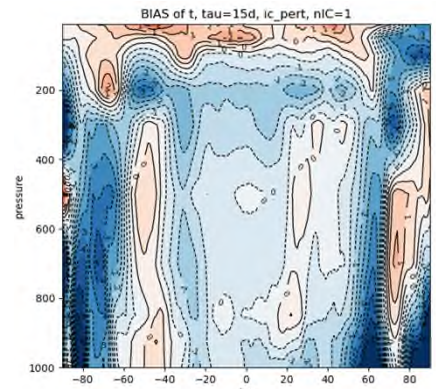
OLR anomaly



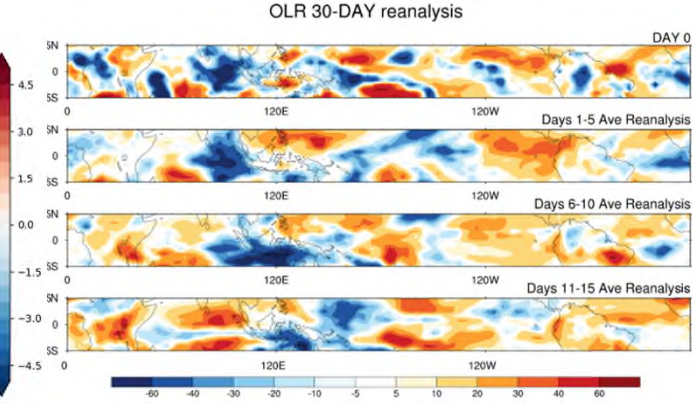
GEPS v3決定性預報結果請參考(A3-24，曾喜絃)

IC: 2024/3/2 00Z

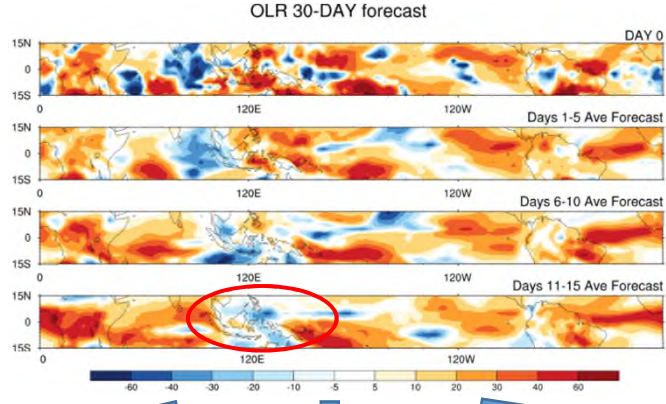
Bias of T 只有初始場擾動



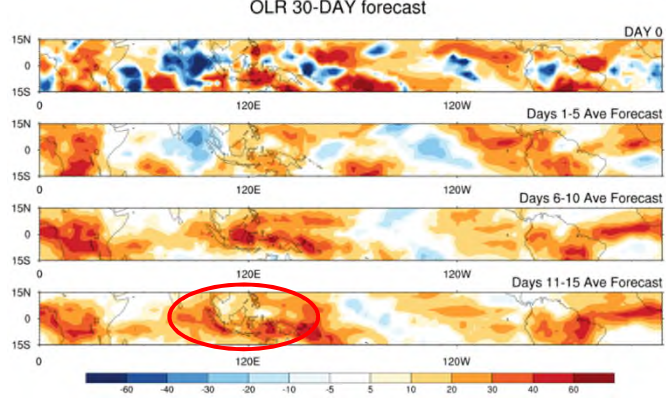
分析場anomaly



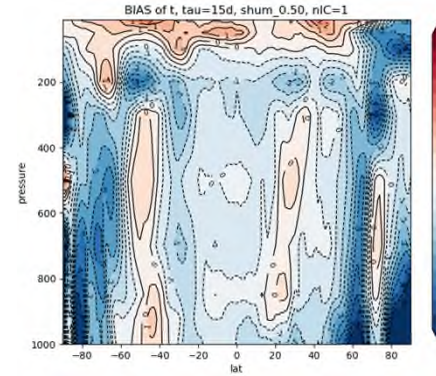
只有初始場擾動



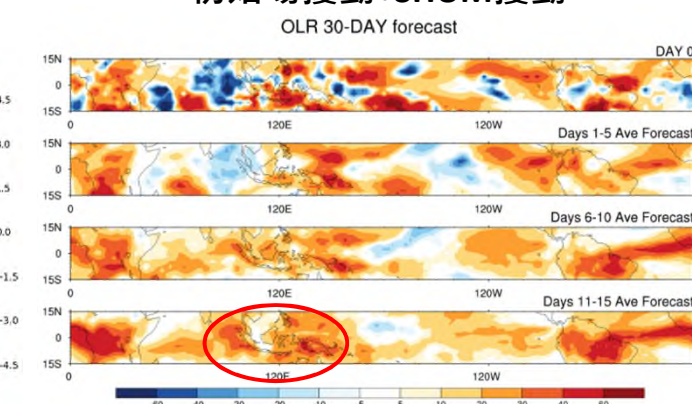
初始場擾動+SHUM+SPPT+SKEB擾動



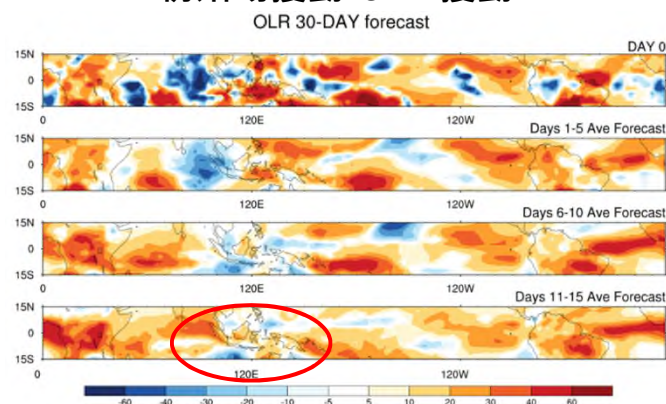
初始場擾動+SPPT擾動



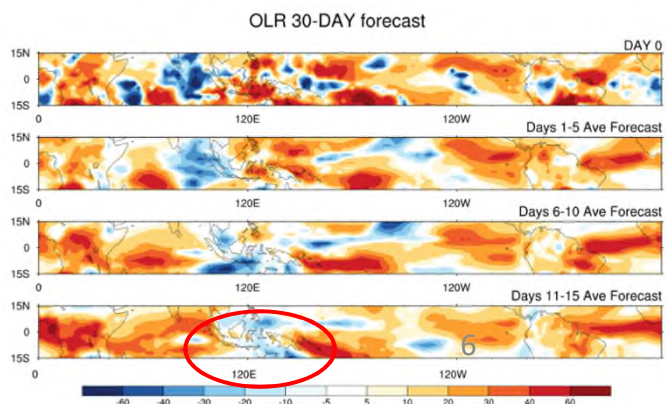
初始場擾動+SHUM擾動



初始場擾動+SPPT擾動



初始場擾動+SKEB擾動



調整方向1-積雲深對流雨水轉化常數調整測試

(1) 積雲深對流 C_0s 雨水轉化常數

MJO case IC: 2024/1/1, 2024/3/2, 2025/1/18 00Z			
實驗名稱	擾動項	Shum參數 σ	深對流參數 C_0s
IC_PERT	初始場(IC_PERT)	-	0.0025
IC_PERT_c0s	初始場(IC_PERT)	-	0.002

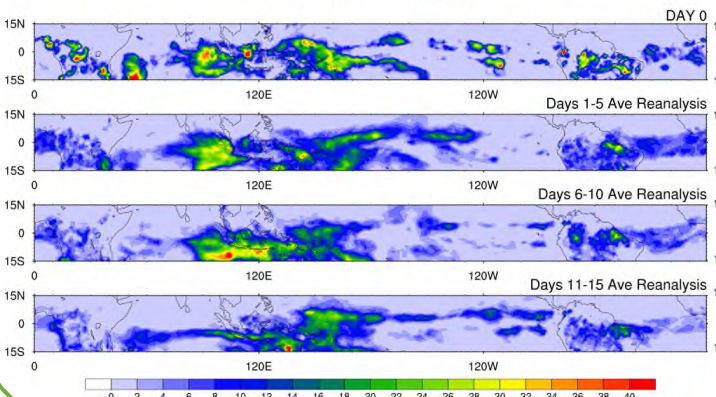
$$\begin{cases} c0 = C_0s * asolfacc & (\text{陸地上}) \\ c0 = C_0s & (\text{其他}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} d_0 = c0 * \exp[b(T - T_0)] & (\text{當氣溫 } T \leq T_0 \text{ (冰點)}) \\ d_0 = c0 & (\text{當氣溫 } T > T_0 \text{ (冰點)}) \end{cases}$$

C_0s 是雨水轉化常數(rain conversion parameter) · 雲中液態水與冰轉化為雨、雪和霰的轉化率 (模式預設= 0.0025 m⁻¹) (=0.002 m⁻¹, Han and Pan, 2011)

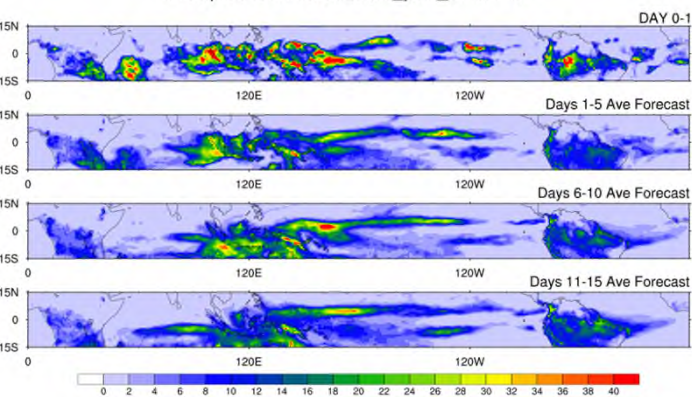
雨量, 分析場 (GPCP)

GPCP 30-DAY reanalysis



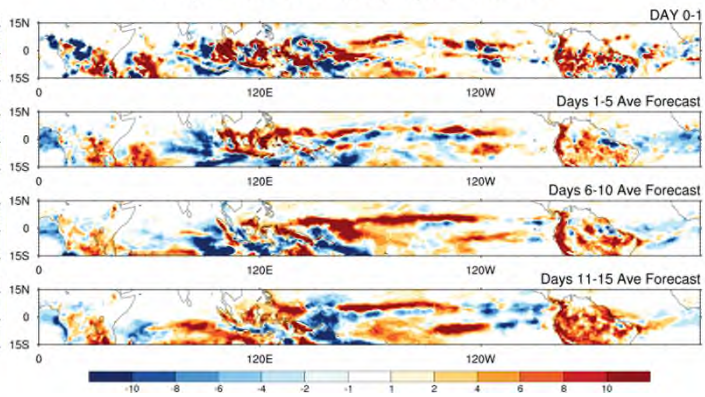
只有初始場擾動

Precip 30-DAY forecast, ic_pert_emem10



初始場擾動(IC_PERT)-GPCP

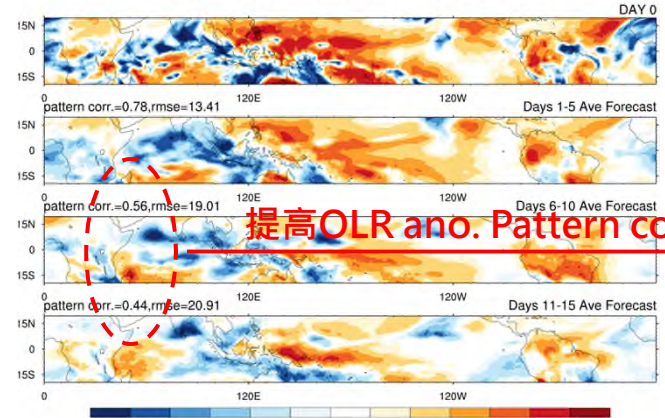
Precip 30-DAY forecast, ic_pert_emem10-GPCP



發現當只有初始場擾動時，模式在初期雨量明顯較GPCP大，顯示模式有過早下雨的現象。
=> 調整方向: 減小模式雨太早太快下問題。

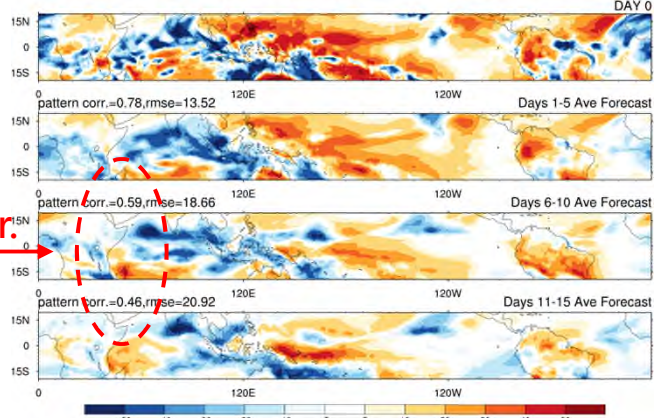
IC_PERT

OLR 30-DAY forecast, ic_pert_emem10, IC:20250118



IC_PERT_c0s

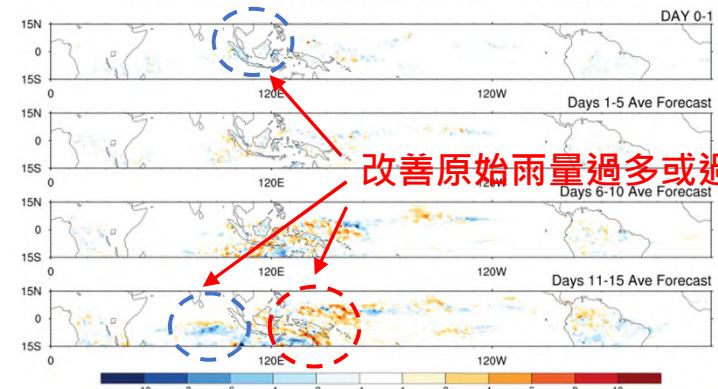
OLR 30-DAY forecast, ic_pert_c0s0.8ls_emem10, IC:20250118



提高OLR ano. Pattern corr.

IC_PERT_c0s-IC_pert

Precip 30-DAY forecast, ic_pert_c0s0.8ls_emem10-ic_pert

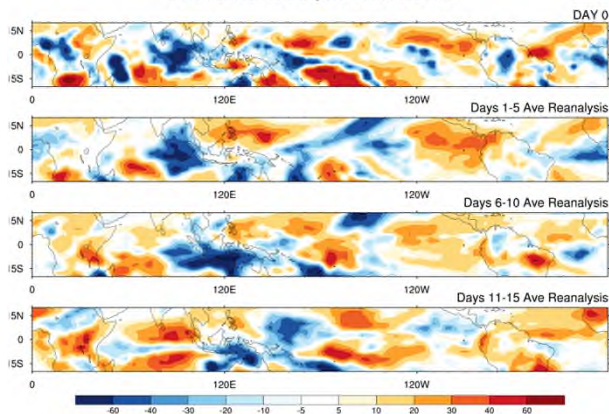


改善原始雨量過多或過少區域

調整方向2-SHUM擾動強度調整測試

OLR anomaly, 分析場(NOAA)

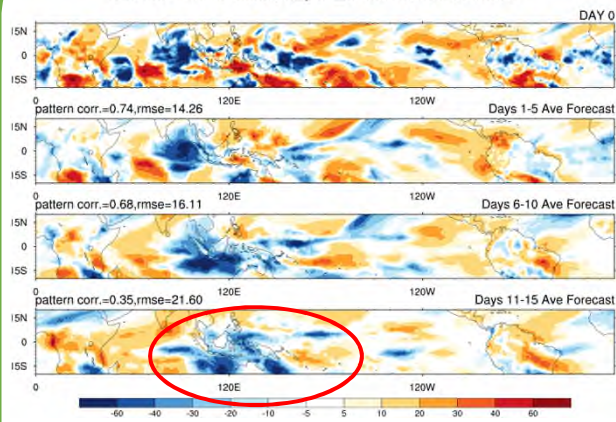
OLR 30-DAY reanalysis, IC:20240302



OLR anomaly < 0 => 對流較強的位置

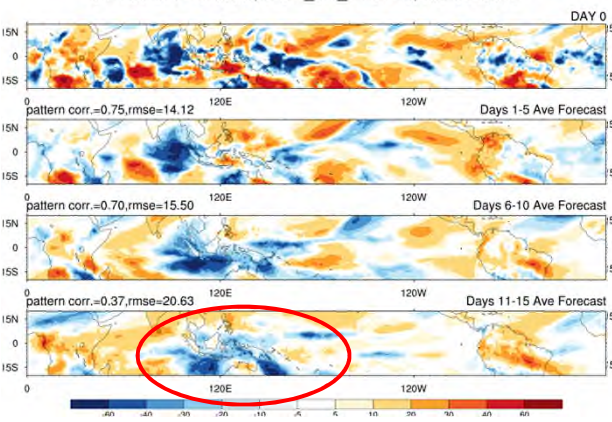
初始場擾動

OLR 30-DAY forecast, ic_pert_emem10, IC:20240302



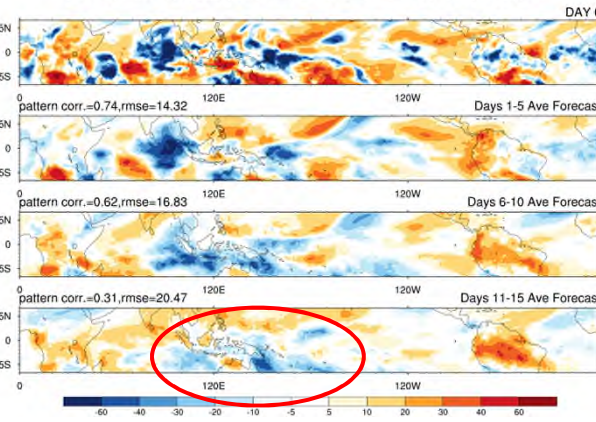
SHUM擾動量*0.4

OLR 30-DAY forecast, shum_0.4_emem10, IC:20240302



SHUM擾動量(GEPSv3設定)

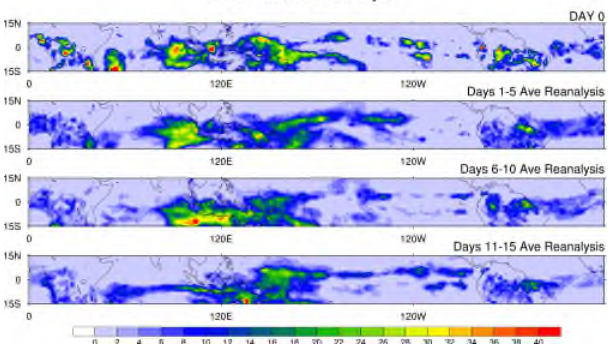
OLR 30-DAY forecast, shum_GEPSv3_emem10, IC:20240302



當SHUM擾動量越大，對流越弱
=> 調整方向: 減小SHUM擾動強度

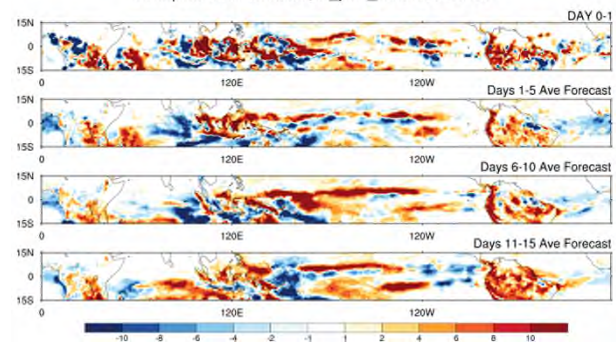
雨量, 分析場 (GPCP)

GPCP 30-DAY reanalysis



初始場擾動-GPCP

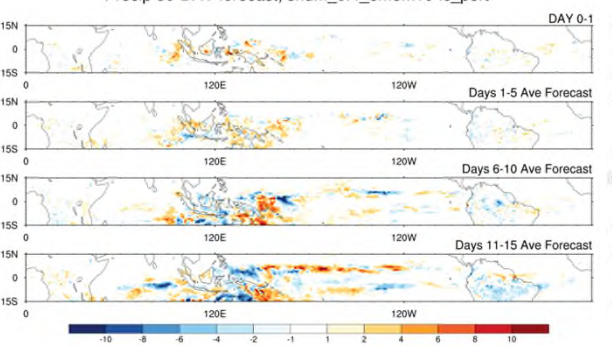
Precip 30-DAY forecast, ic_pert_emem10-GPCP



只有初始場擾動時，模式在
初期雨量明顯較GPCP大

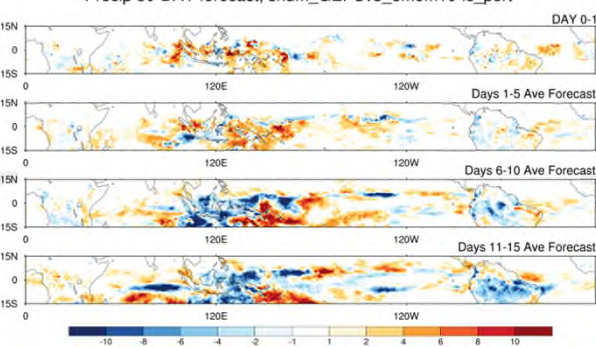
SHUM擾動量*0.4-ic_pert

Precip 30-DAY forecast, shum_0.4_emem10-ic_pert



SHUM擾動量(GEPSv3)-ic_pert

Precip 30-DAY forecast, shum_GEPSv3_emem10-ic_pert



當SHUM擾動強度越強，初期雨量越大
=> 調整方向: 減小模式雨太早太快下問題

調整方向2-SHUM擾動強度調整測試

(2) SHUM擾動量調整

$$q' = \max((1 + X)q, 1 * 10^{-20})$$

X: 網格上隨機擾動係數

$$q_{min} = 1. * 10^{-20}$$

$$F_0 = \left(\frac{\sigma_n^2 (1 - \phi^2)}{2 \sum_{n=1}^N (2(n-1) + 1) \exp(-\kappa T n(n-1))} \right)^{1/2}$$

F_0 可視為包含振幅之隨機擾動係數

n: 波譜空間的波數, σ_n 為擾動係數標準差.

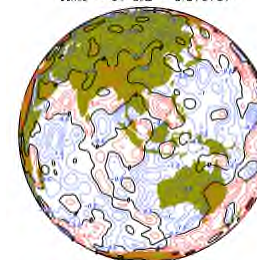
$\phi = \exp(-\Delta t / \tau)$, Δt 時步, τ 影響時間長度.

κT 為空間尺度衰減係數 $\kappa T = \frac{L^2}{4R_e^2}$, R_e 是地球半徑.

L是選取的影響水平長度, 可為 10 km-1500km

500 km, 6 hour

time = 01 std = 0.816737



MJO case IC: 2024/1/1, 2024/3/2, 2025/1/18 00Z			
實驗名稱	擾動項	Shum參數 σ	深對流參數 C_0s
GEPSv3	IC_PERT+SHUM	0.0015	0.0025
SHUMnew	IC_PERT+SHUM	0.001	0.002

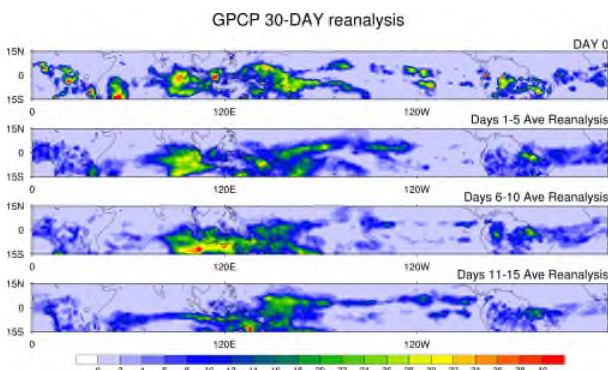
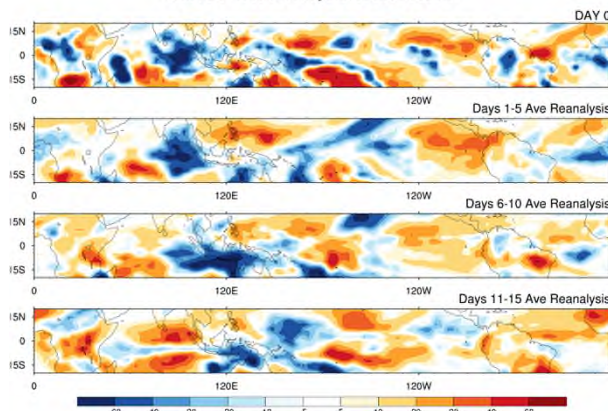
測試結果(3 ICs, 預報長度15天)=> (MJO案例期間, 3 ICs: 2024/1/1, 2024/3/2, 2025/1/18 00Z)

1. 減小SHUM擾動標準差 σ_n (=0.001)及調小 C_0s (=0.002, Han et al., 2017) 後, OLR anomaly顯示對流有增加, 對流的pattern correlation增加、RMSE減小, 且預報初期的雨量增加量減小。
2. 針對2024/1/1、2024/3/2、2025/1/18有相同的趨勢。

IC: 2024/3/2 00Z

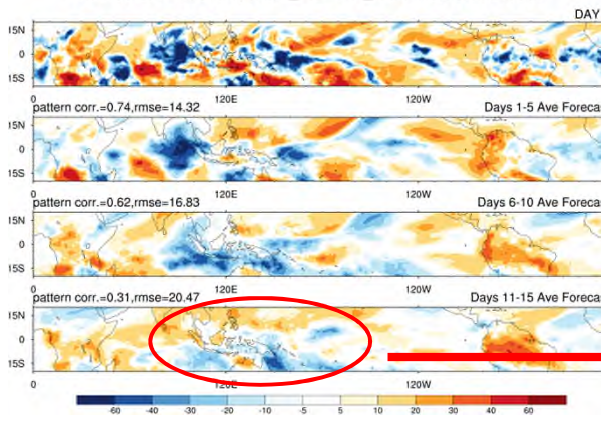
OLR anomaly,分析場(NOAA)

OLR 30-DAY reanalysis, IC:20240302



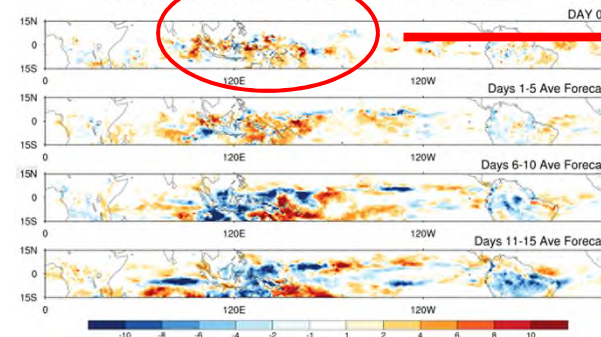
SHUM擾動(GEPSv3)

OLR 30-DAY forecast, shum_GEPSv3_emem10, IC:20240302



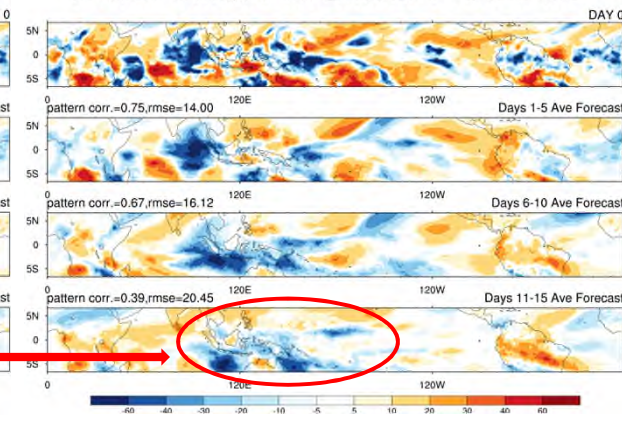
SHUM擾動(GEPSv3)-ic_pert

Precip 30-DAY forecast, shum_GEPSv3_emem10-ic_pert



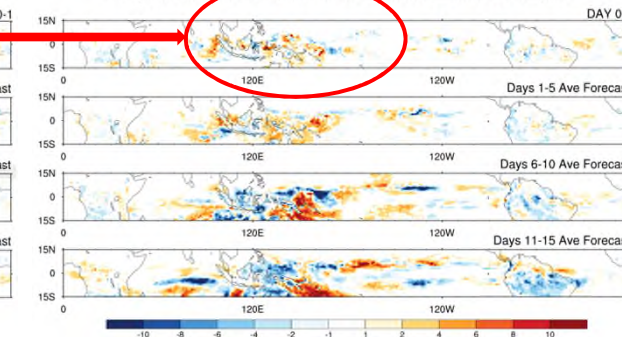
SHUM擾動new

OLR 30-DAY forecast, shum0.001_c0s0.8ls_emem10, IC:20240302



SHUM擾動new-ic_pert

Precip 30-DAY forecast, shum0.001_c0s0.8ls_emem10-ic_pert



更多案例測試 (7 ICs: 2025/4, 2025/5)

遭遇問題：

1. 使用新測試的SHUM及 C_0s 設定值(GEPSv3new, TGFSv2new實驗)進行2025/4-5月案例測試，雖然在OLR anomaly的pattern correlation都有明顯改善，但對熱帶H500 (500 mb高度場)，卻有明顯RMSE增加的情況。
2. 溫度場在850 mb附近有改善，但在500 mb以上負偏差增加，變得更冷。
3. 可能還是跟OLR、雲量、雨量有關，還需再進一步調整(SHUM參數或其他參數)。

實驗名稱	IC (初始場日期) (00Z)	Shum參數 σ	深對流參數 C_0s
GEPSv3	7 ICs: 2025/4/16, 21, 26	0.0015	0.0025
GEPSv3new	2025/5/1, 6, 11, 16	0.001	0.002

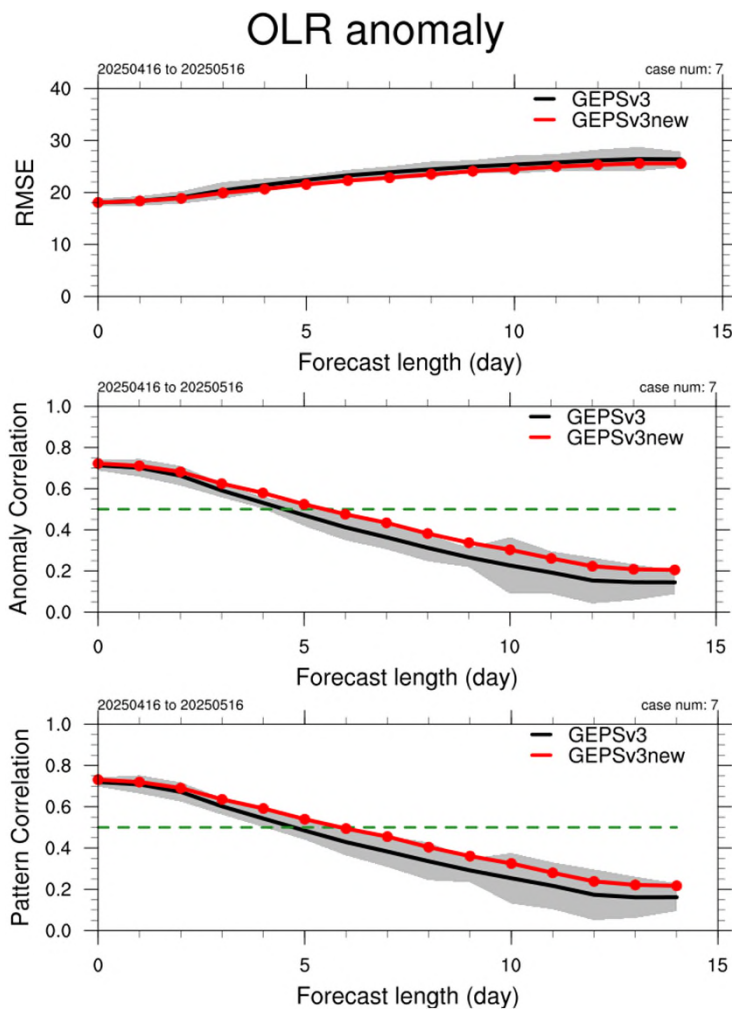
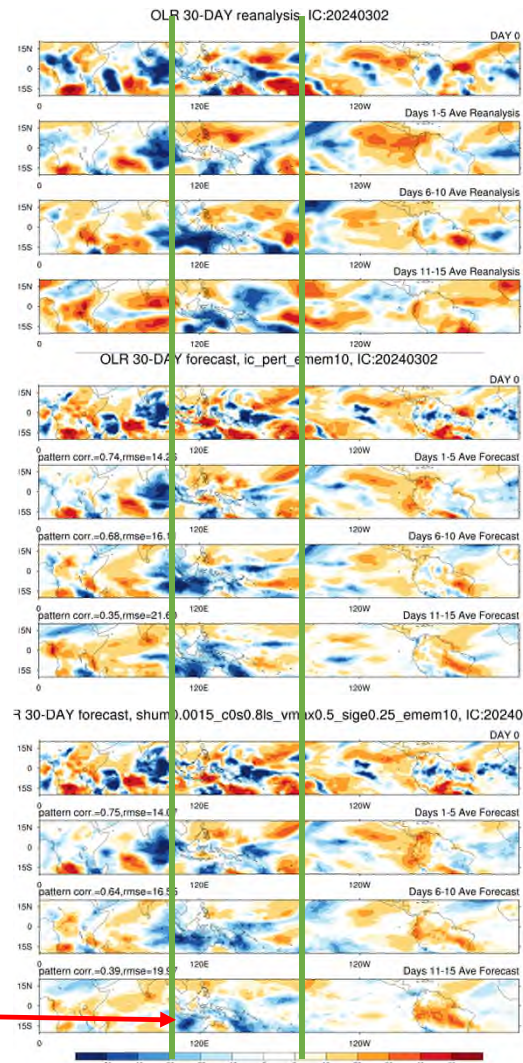
MJO case
(IC: 20240302)

OBS
(ERA5)

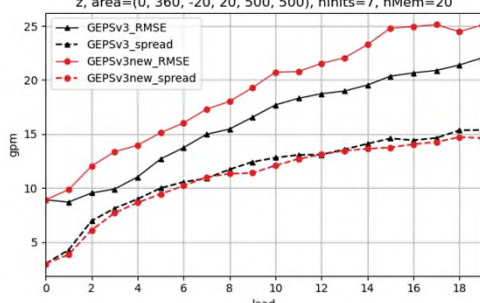
無SHUM
(IC_pert)

有SHUM
(GEPSv3new3)

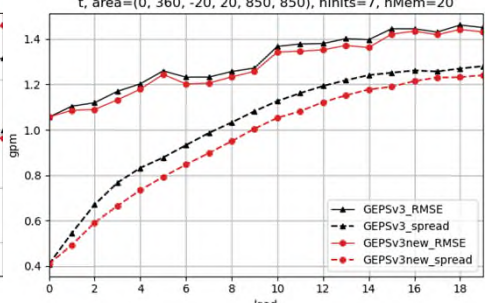
促進對流
向東移動



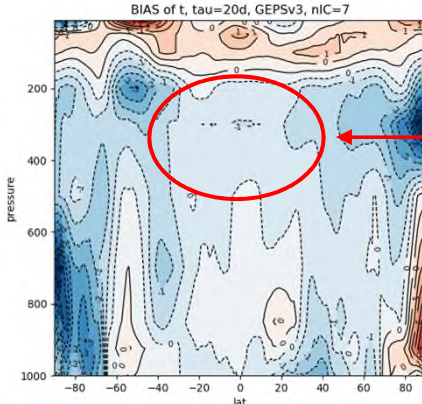
H500, TP



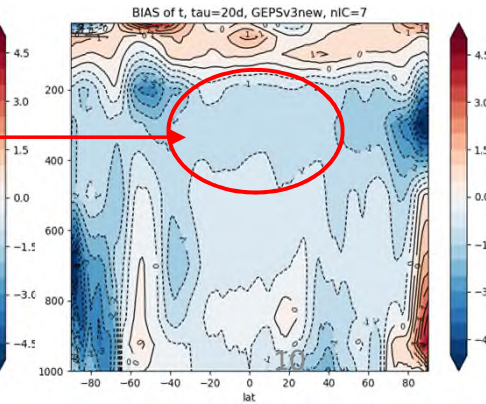
T850, TP



BIAS of T, GEPSv3 (原設定)



BIAS of T, GEPSv3new (新係數)

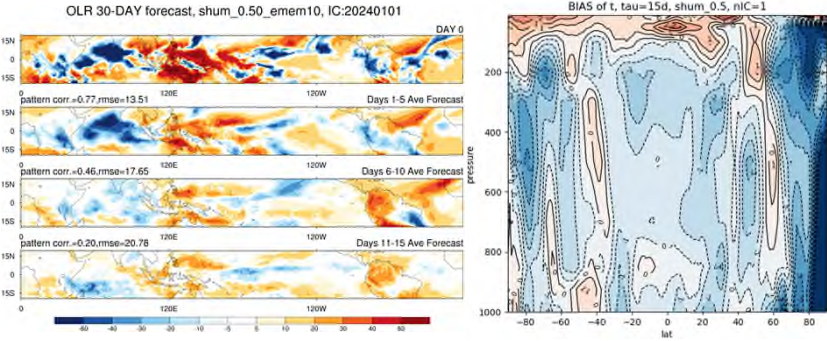


調整方向3-SHUM垂直剖面調整測試

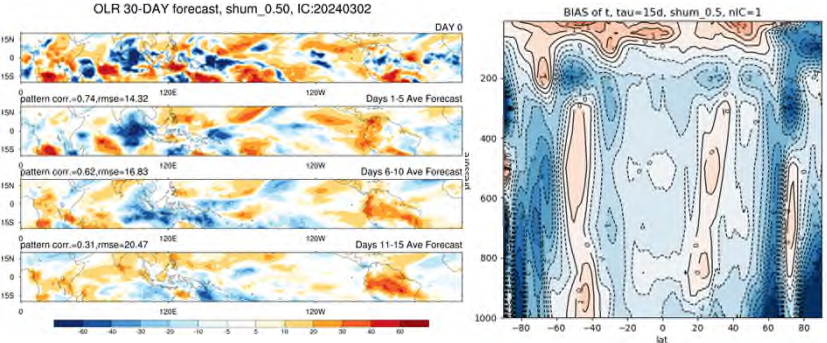
GEPSv3 原設定

shum0.0015
(emem=10)
(shum: sl>=0.4)

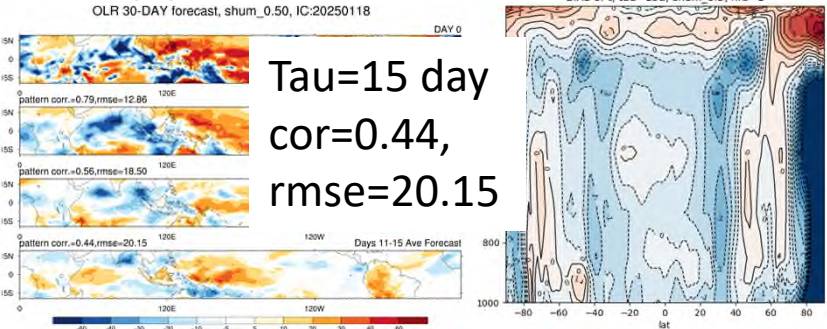
IC: 2024/1/1 00Z



IC: 2024/3/2 00Z

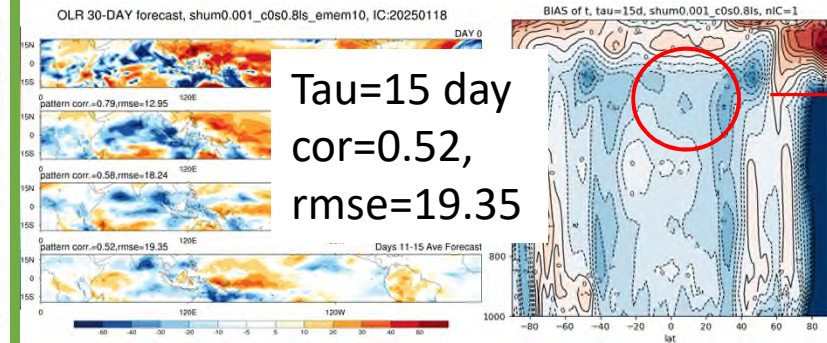
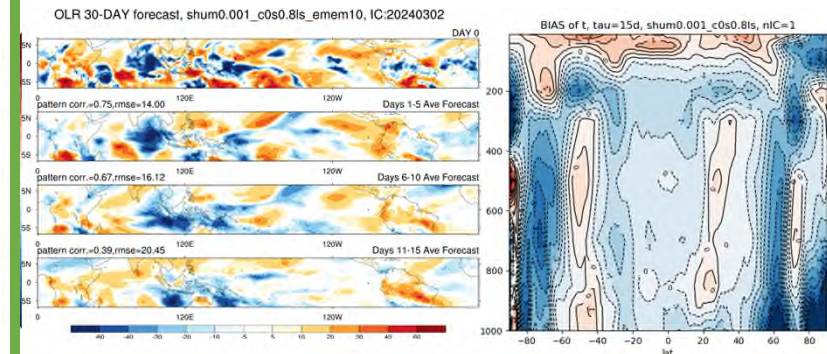
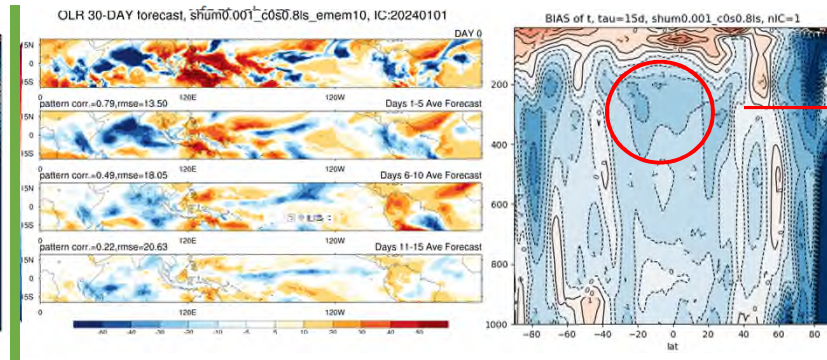
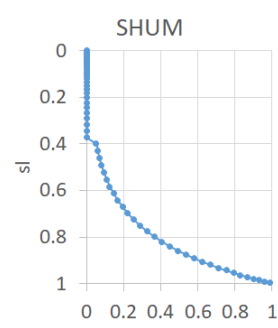


IC: 2025/1/18 00Z



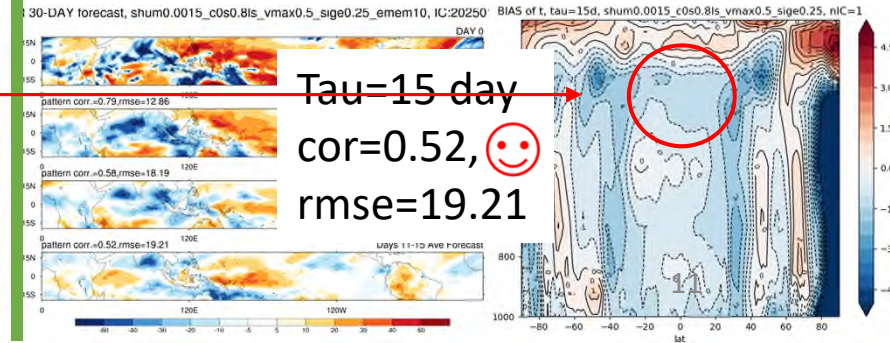
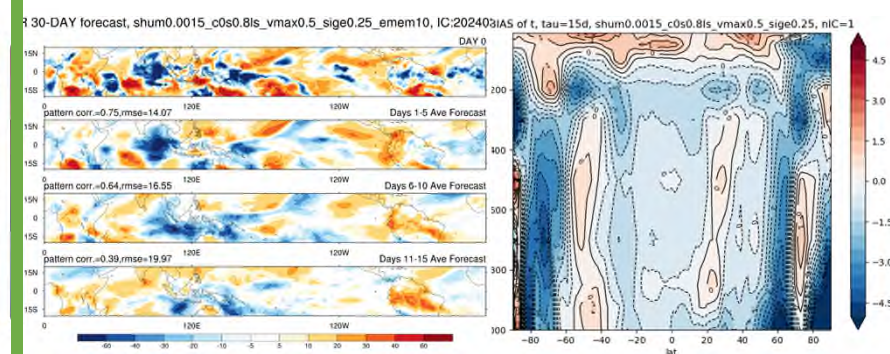
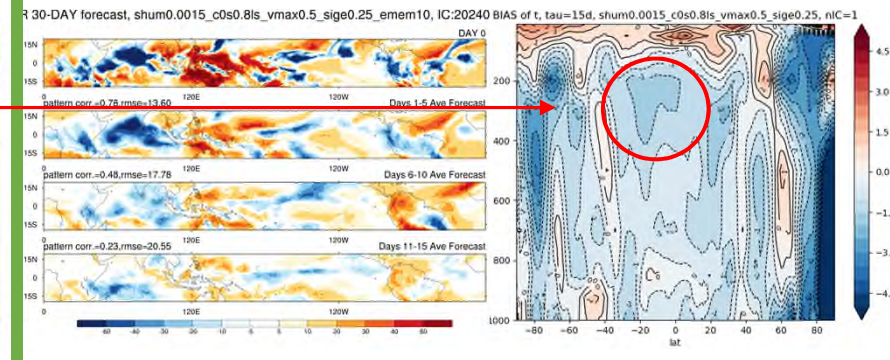
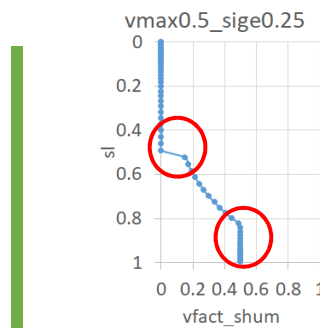
GEPSv3new設定

shum0.001_c0s0.8ls
(emem=10)
(shum: sl>=0.4)



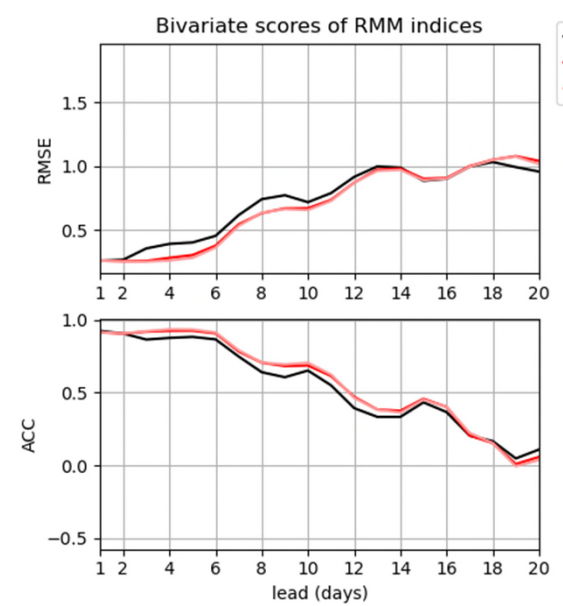
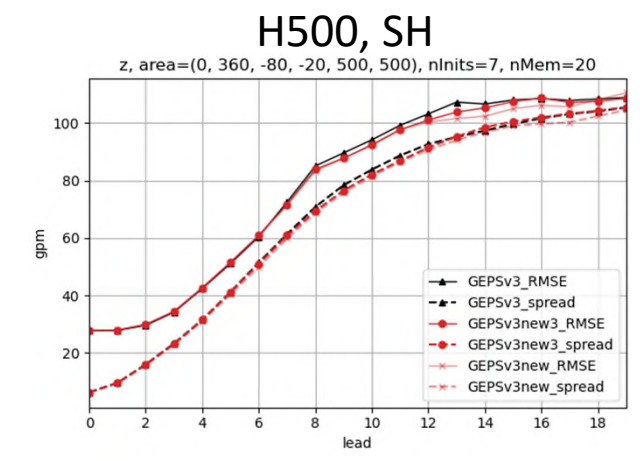
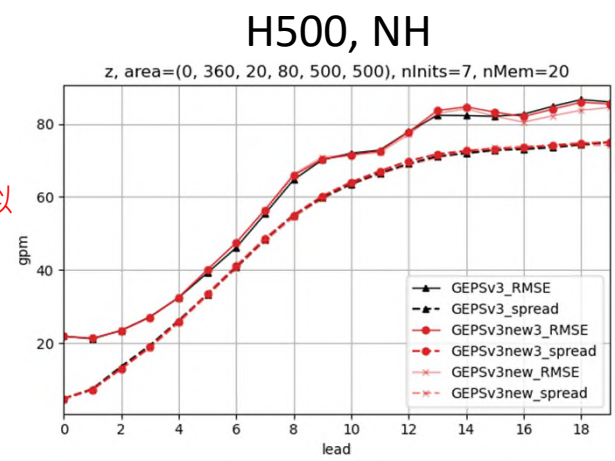
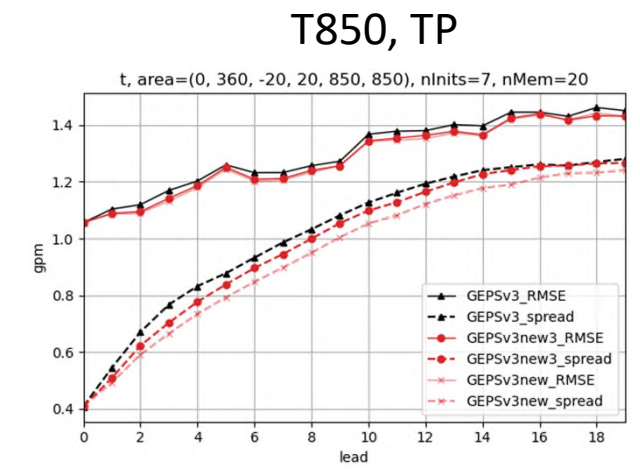
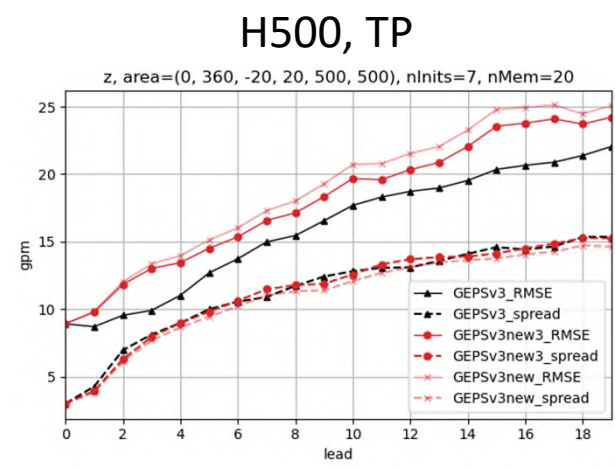
GEPSv3new3設定

shum0.0015_c0s0.8ls_vmax0.5_sige0.25
(emem=10)
(shum: sl>=0.4, vfact_shum max.=0.5)



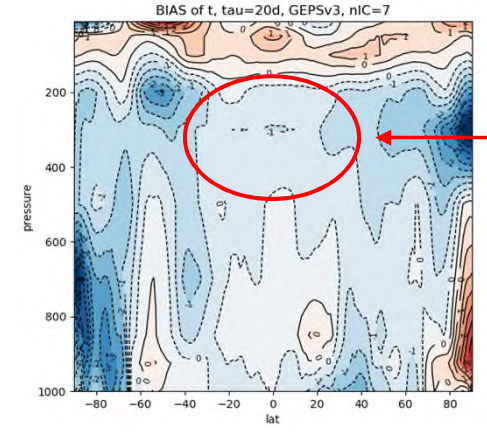
2025/4, 2025/5 案例測試

初始場日期 (00Z)	實驗名稱	Shum 參數 σ	深對流參數 C_0s	SHUM 垂直係數
7 lcs (2025年): 4/16, 21, 26 5/1, 6, 11, 16	GEPSv3	0.0015	0.0025	
	GEPSv3new	0.001	0.002	
	GEPSv3new3	0.0015	0.002	

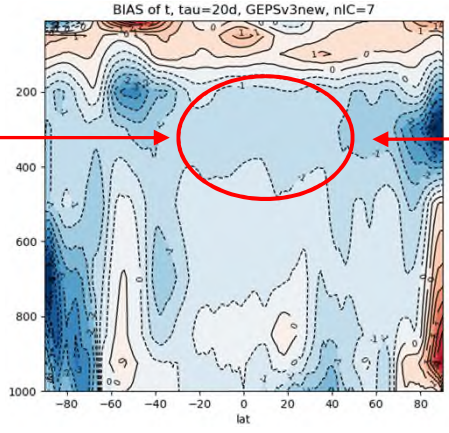


— GEPSv3, ensmn
— GEPSv3new3, ensmn
— GEPSv3new, ensmn

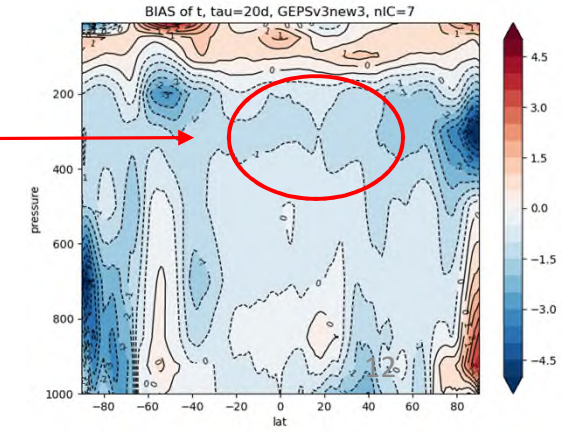
BIAS of T, GEPSv3 (原設定)



BIAS of T, GEPSv3new



BIAS of T, GEPSv3new3 (新係數)



結論

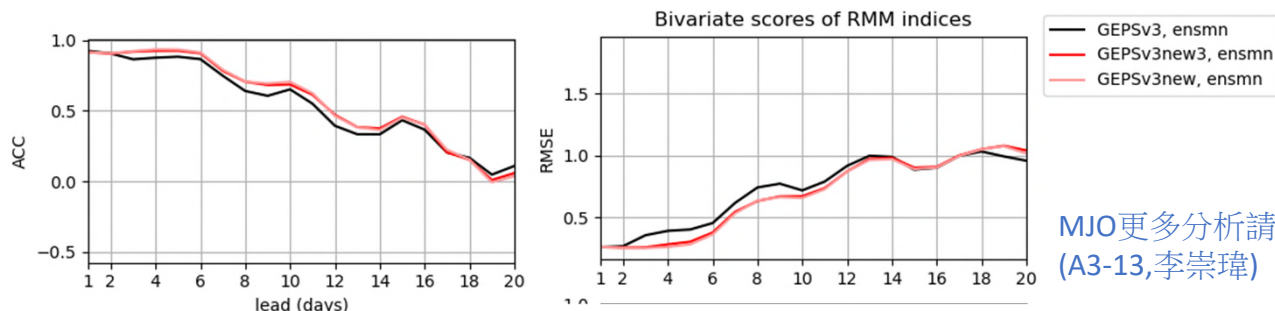
針對系集預報有對流減小的問題進行調整

1. 實驗結果顯示，熱帶地區向外長波輻射 (Outgoing Longwave Radiation, OLR) 對SHUM具高度敏感性，當擾動強度過大時，易造成系統在預報初期 (第0-5天) 出現過早且過量之對流降水，進一步導致邊界層水氣提前耗竭，進而造成 OLR 偏高之系統性誤差。
2. 調小SHUM擾動強度對OLR anomaly的pattern correlation有改善，RMM indices也有改善，但較正確的雲量估計使得熱帶的溫度回到應該有的負偏差，調整SHUM垂直分布範圍在500 mb以內後，可保持較正確的預報，且也可略減少溫度負偏差的問題。
3. 調整積雲參數(雨水轉化常數): 可有效減少模式在預報初期過早降雨的問題，讓水氣較能保留在空氣中，對之後降雨預報的位置及強度較能改善。

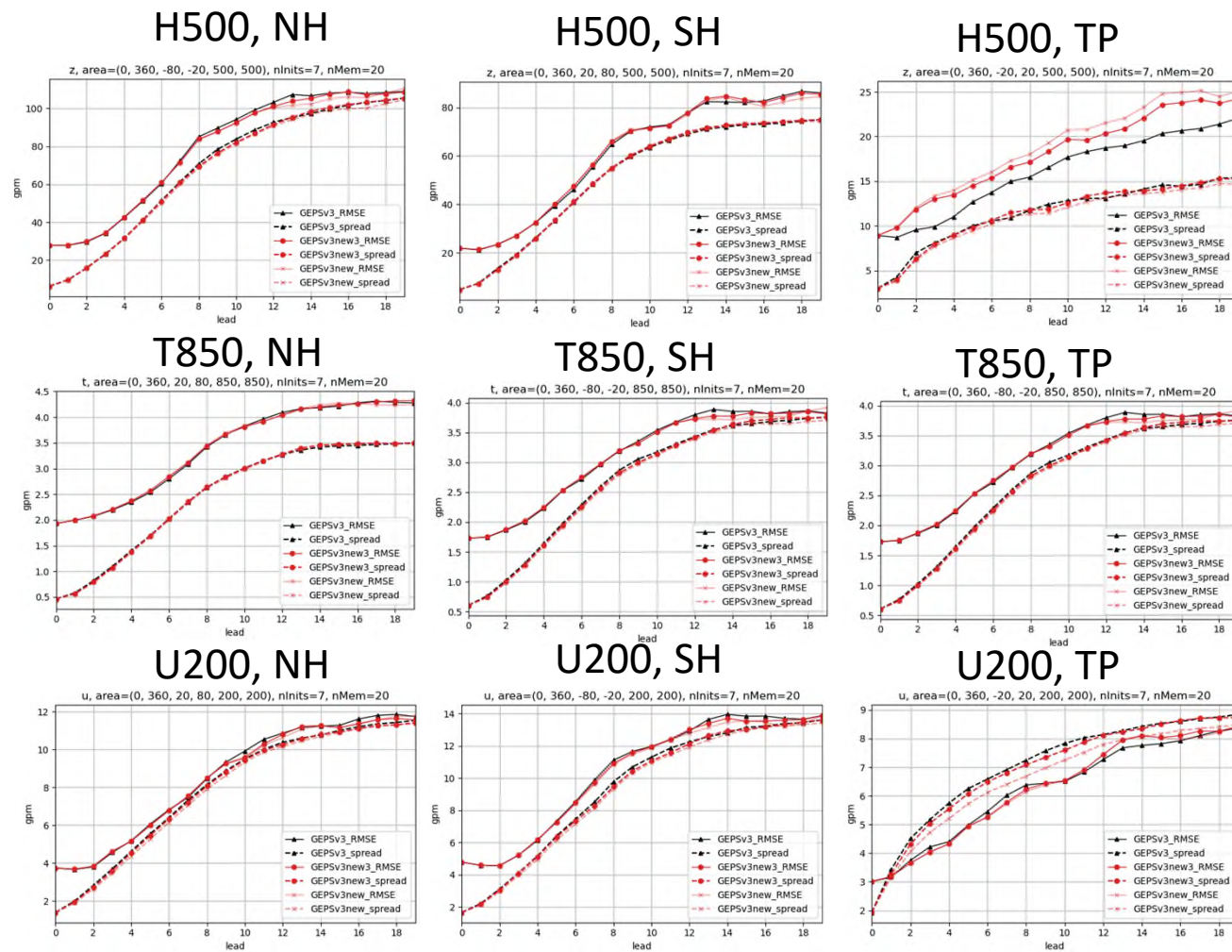
未來工作

1. GEPS v3上線工作正在進行，持續進行更多準作業平行化測試，收集案例量，確認目前測試結果，並希望可在GEPS v3 正式上線前確認問題改善狀況。
2. 持續針對GEPS v3系集結果進行其他指標檢查(ex. 季風指標、梅雨指標...)

MJO RMM indices

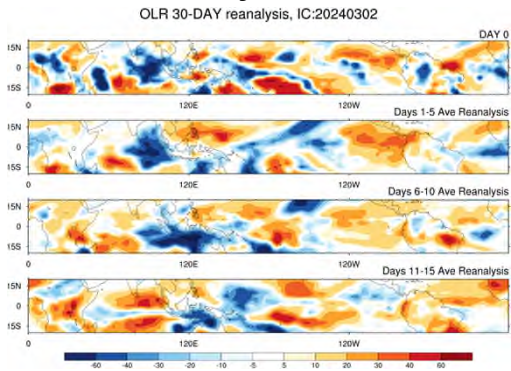


MJO更多分析請參考 (A3-13,李崇璋)



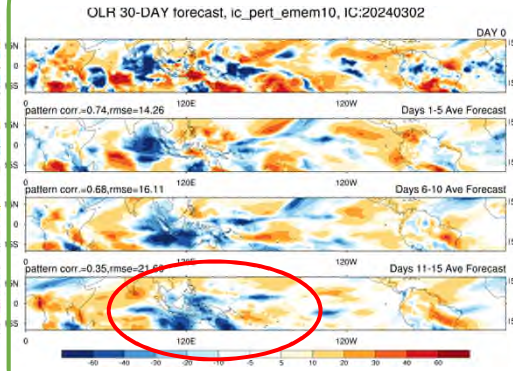
調整方向2-SHUM擾動強度調整測試

OLR anomaly,分析場(NOAA)

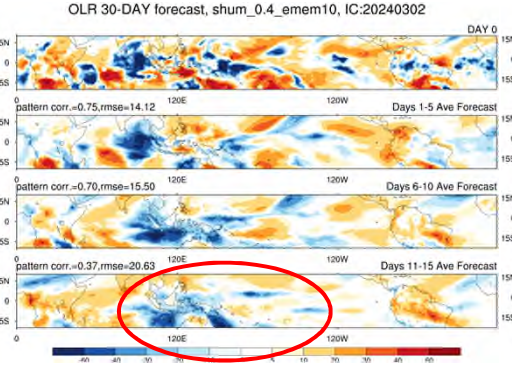


OLR anomaly < 0 => 對流較強的位置

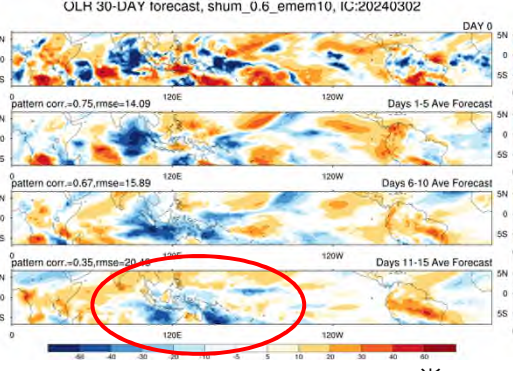
初始場擾動(SHUM*0)



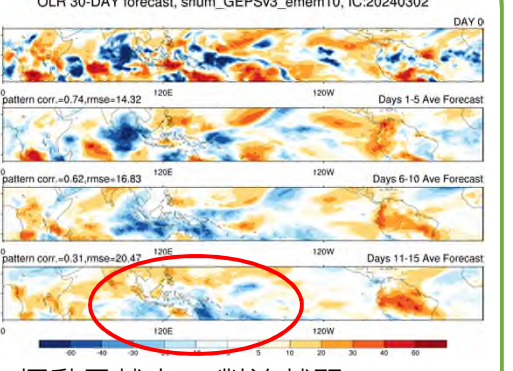
SHUM擾動強度*0.4



SHUM擾動強度*0.6



SHUM擾動強度*1(原設定)



當SHUM擾動量越大，對流越弱
=> 調整方向: 減小SHUM擾動強度