



氣象署TGFS全球模式溫度偏差之探討

鄧雯心, 林宗翰, 連國淵
中央氣象署科技發展組

2025/09/03

大綱

- TGFS 版本更新概況
- TGFS 溫度偏差探討動機
 - 海表面溫度偏差
 - 高層溫度偏差
- 原因探討及實驗測試
- 總結

TGFS 版本更新概況

■ TGFSv1 2023 年 9 月上線

■ TGFSv1.1 2024 年 5 月更新

- 模式物理修改/RO bug fix/產品輸出

■ TGFSv1.5 2025 年 8 月更新 (參照NCEP GFS v16) (113年天氣分析研討會,A2-20, 鄧雯心)

- 更新 GSI 資料同化系統版本 (搭配新版 BUFR/CRTM)
- 決定性同化：改變衛星資料同化設定、考慮頻道間誤差相關及 NSST 同化修改等
- 系集同化：由 EnSRF 改成 LETKF 搭配模式空間局地化及線性觀測算子
- 新增使用 NCEP 新釋出的觀測資料，包括 AMSUA, MHS, IASI (Metop-C); AHI (Himawari-9); ABI (g16, g18); AVHRR (n18, n19, Metop-B, Metop-C); OMI (aura), OMPS (npp, n20)
- 新增可降水量輸出

TGFS 溫度偏差探討動機

■ 海表面溫度偏差

- 存在於 TGFSv1.x 的情形
- 下游使用者 WRFM06、GEPS分別使用 TGFS 決定性及系集分析作為其初始場，反應 TGFS 初始場相較於 NCEP、EC 在熱帶地區有較高海表面溫度 [[NCEP-TGFS \(TMPsfc\) 2023 ~ 2024](#)]
- TGFS 初始場較高的海表面溫度對 GEPS 預報造成負面影響

■ 高層溫度偏差

- 存在於從 TGFSv1.1 至 TGFSv1.5 的版本更新
- 從 TGFSv1.1 更新至 TGFSv1.5 的整體綜觀校驗結果都有統計顯著的改善，但在大約 20hPa 以上，TGFSv1.5 相較於TGFSv1.1 在高度場及溫度場有較大 RMSE 及 Bias [[GVER - TGFSv1.5 comp. to TGFSv1.1](#)]

■ 目標：改善高層及海表面溫度的偏差情形

TGFS 溫度偏差探討動機

■ 海表面溫度偏差

- 存在於 TGFSv1.x 的情形
- 下游使用者 WRFM06、GEPS分別使用 TGFS 決定性及系集分析作為其初始場，反應 TGFS 初始場相較於 NCEP、EC 在熱帶地區有較高海表面溫度 [[NCEP-TGFS \(TMPsfc\) 2023 ~ 2024](#)]
- TGFS 初始場較高的海表面溫度對 GEPS 預報造成負面影響

■ 高層溫度偏差

- 存在於從 TGFSv1.1 至 TGFSv1.5 的版本更新
- 從 TGFSv1.1 更新至 TGFSv1.5 的整體綜觀校驗結果都有統計顯著的改善，但在大約 20hPa 以上，TGFSv1.5 相較於TGFSv1.1 在高度場及溫度場有較大 RMSE 及 Bias [[GVER - TGFSv1.5 comp. to TGFSv1.1](#)]

■ 目標：改善高層及海表面溫度的偏差情形



■ 2023.09 ~ 2024.04 初始場海表面溫度差異 (NCEP – TGFS)

- 比較 TGFS 與 NCEP 自 2023/09 至 2024/04 的二維海表面溫度，顯示 TGFS 的海表面溫度在熱帶地區有明顯的暖偏差

TMPsfc difference (NCEP – TGFS)

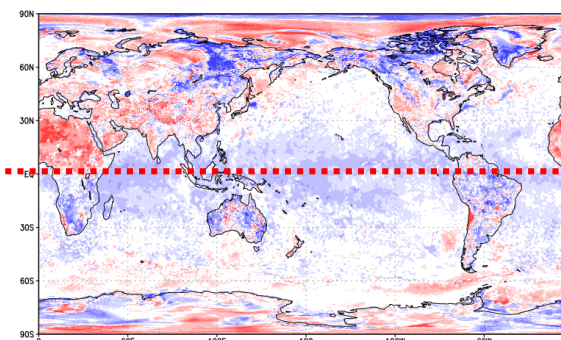
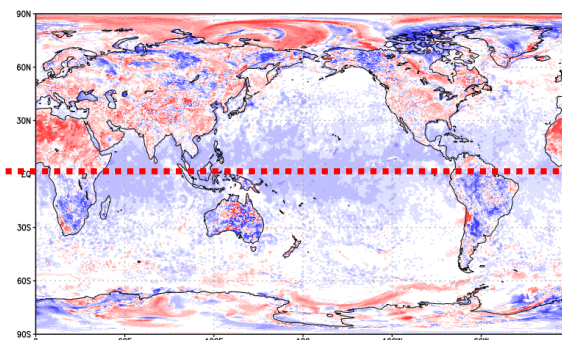
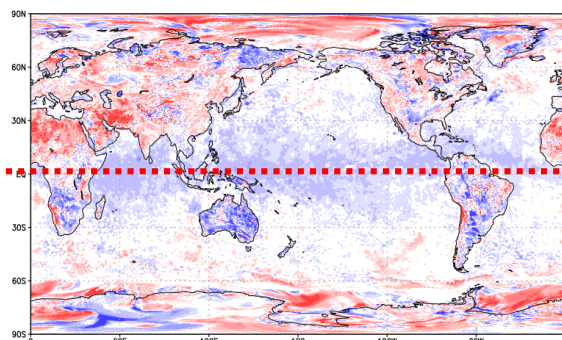
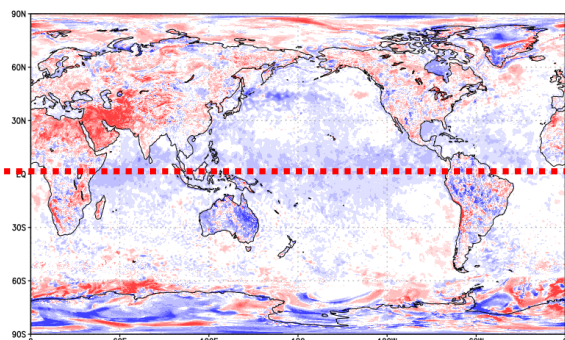
2023/09/30

2023/10/30

2023/11/30

2023/12/30

EQ



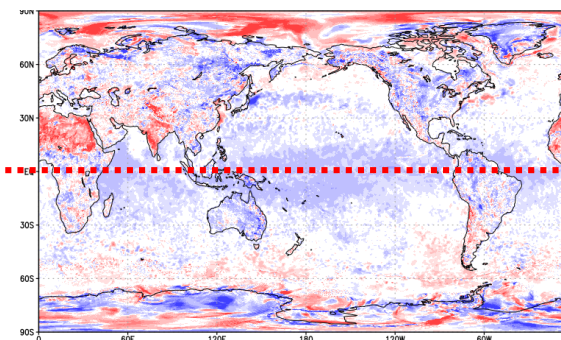
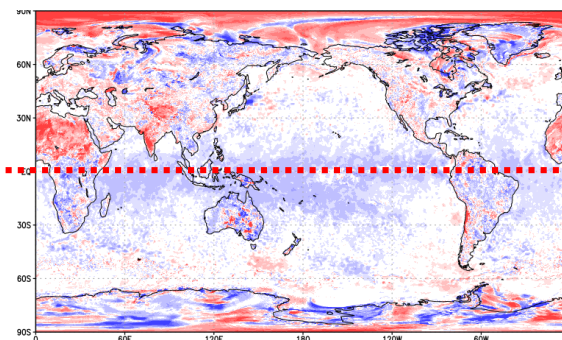
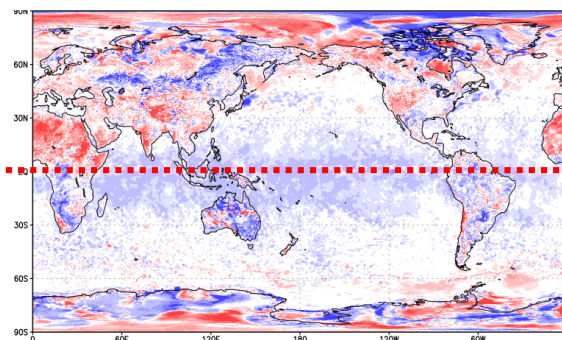
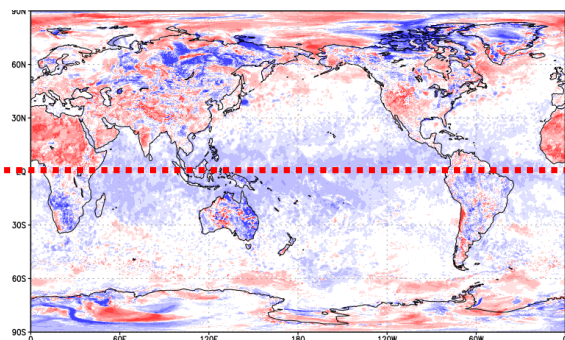
2024/01/30

2024/02/29

2024/03/30

2024/04/30

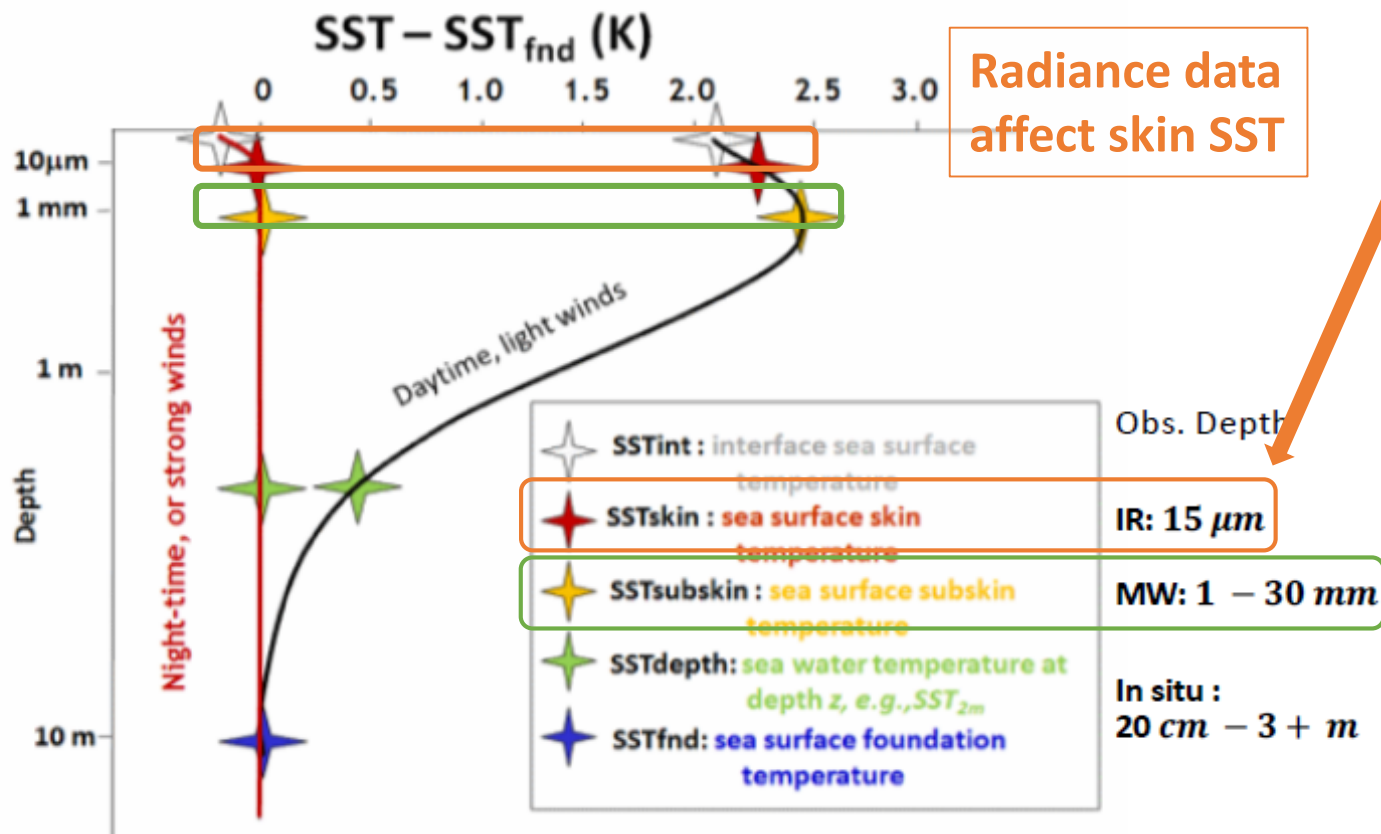
EQ



■ Near Sea Surface Temperatures (NSST) 分析



SST definition (GHRSSST)



Depth and observation errors used in NSST

Satellite radiances			In Situ sea water temperature		
Satellite instrument	Skin-depth	Obs. error	Platform	depth	Obs. error
AVHRR	0.015 mm	0.65	Fixed buoy (TAO ...)	1.0 m	0.5 K
CRIS	0.015 mm	0.80	Triton	1.5 m	0.4 K
AIRS	0.015 mm	0.80	Drifting buoy	0.2 m	0.6 K
IASI	0.015 mm	2.30	COMPS moored buoy	1.2 m	0.5 K
AMSUA	1.0 mm	2.20	SCRIPPS moored buoy	0.45 m	1.5 K
ATMS	1.0 mm	5.0	Moored buoy with 3-m discus	0.6 m	1.5 K
AMSR2, GMI	30 mm	0.70	Coast moored buoys	1.0 m	2.0 K
			Other moored buoy	1.0 m	1.0 K
			BATHY (XBT)	1.0 to 5.0 m	0.5 K
			TESAC (ARGO)	1.0 to 5.0 m	2.5 K
			Ships (Bucket)	1.0 m	2.0 K
			Ships (known types)	1.0 to 30.0 m	2.5 K
			Ships (unknown types)	2.0 to 3.0 m	3.0 K

Radiance data affect sub-skin SST

Hypothetical vertical profiles of temperature for the upper 10m of the ocean surface in high wind speed conditions or during the night (red) and for low wind speed during the day (black).

Slide from 'Sea Surface Temperature analysis within the NCEP GFS, 19th GHRSSST Science Team Meeting, Darmstadt, Germany, June 05, 2018'

■ SST experiment on TGFSv1.1

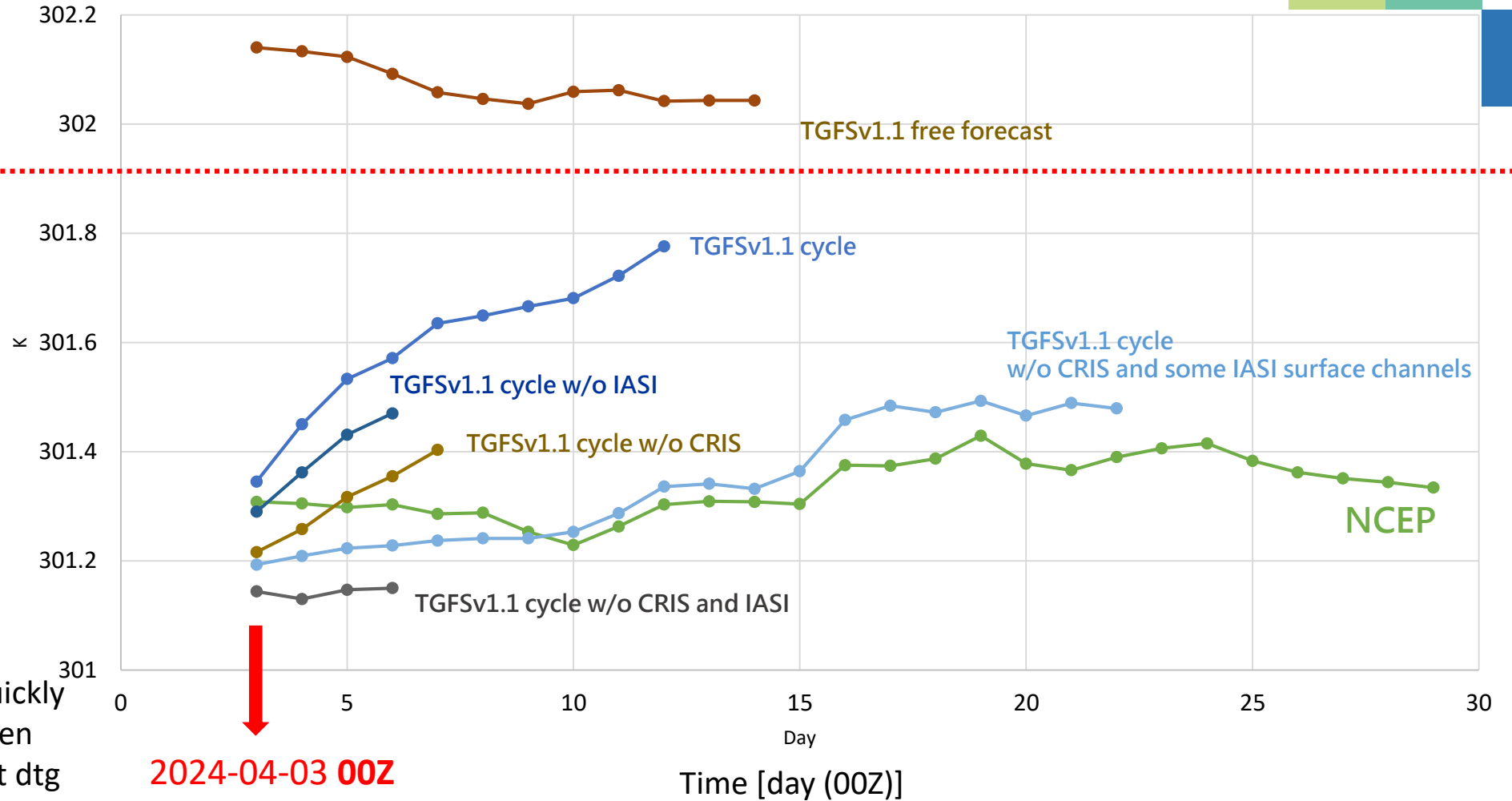


TMPsfc (sea only) lat.=20S-20N, lon.=0-360 [pgrb2.anl] Apr. 03-29, 2024

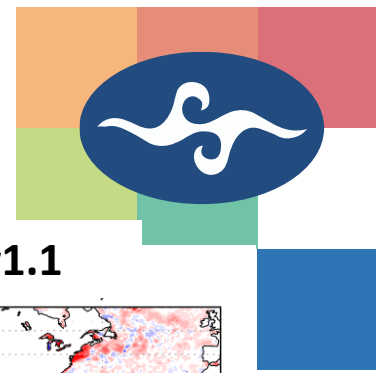
TGFSv1.1
Start from
2024-04-02 00Z

TGFSv1.1
replace NCEP SST at
first dtg, then starts
cycling from
2024-04-02 06Z

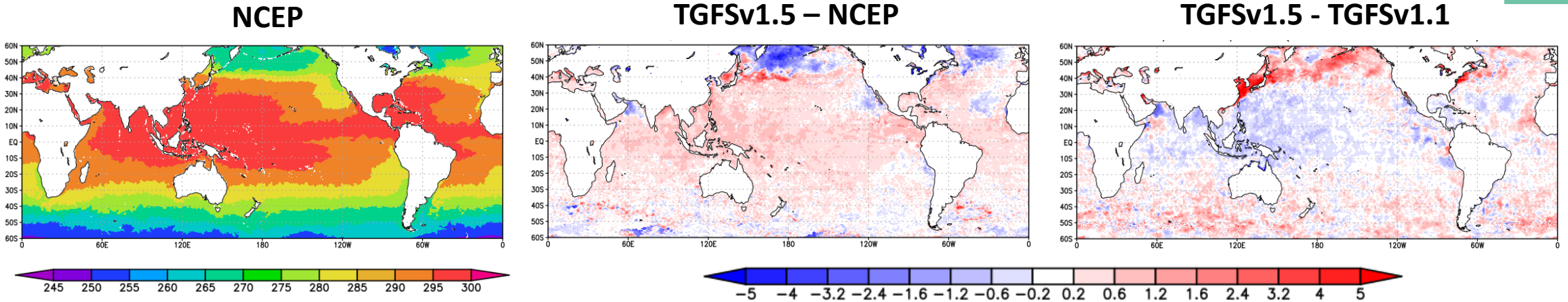
- The right panel shows experiments with different settings of IASI and CrIS assimilation.
- Surface temperature will quickly get back to original state even when we replace SST at first dtg



Evaluation on TGFSv.1.5

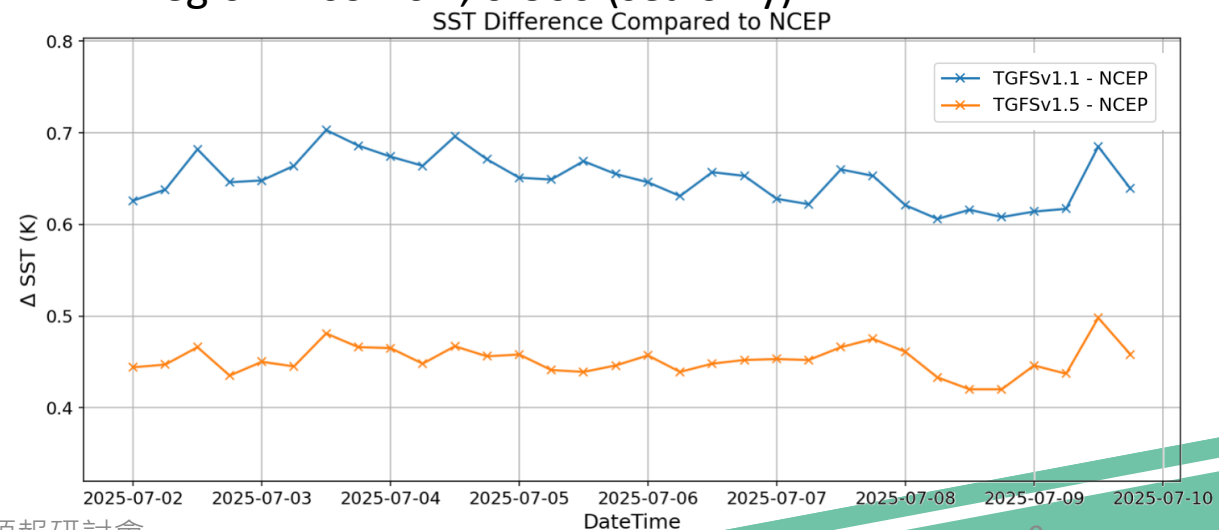


- 2025-07-08 (00Z) Surface Temperature differences



- TGFSv1.5 和 NCEP 相比：**
 - TGFSv1.5 在緯度 30 度內偏暖
- TGFSv1.5 和 TGFSv1.1 相比：**
 - TGFSv1.5 在緯度 30 度以內偏冷，以外偏暖
 - 從 TGFSv1.1 到 TGFSv1.5 趨向接近 NCEP
 - TGFSv1.5 新增與海表面溫度相關資料包含：
AVHRR (N18, N19, MetOp-B, MetOp-C)
IASI (MetOp-C)

- Surface Temperature in 2nd-9th Jul. 2025
region: 20S-20N, 0-360 (sea only)



Infrared satellite radiance for SST

TGFSv1.1

✓ TGFSv1.5 AVHRR experiment

O-B w/ bias correction

- [20250708 (12Z)]

----- **TGFSv1.1** -----

- 1) IASI (MetOp-B)
- 2) CrIS

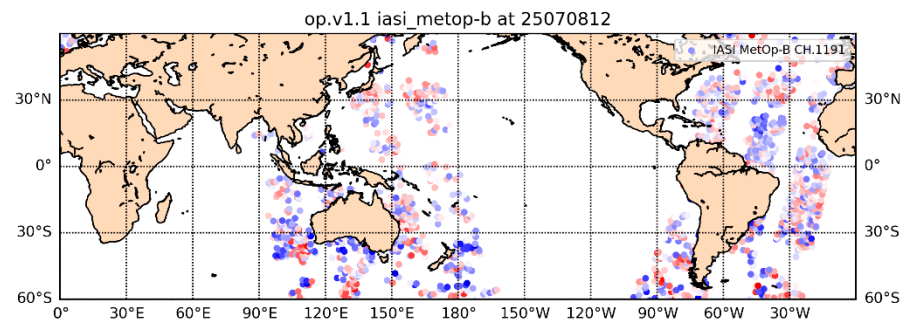
----- **TGFSv1.5** -----

- 1) IASI (MetOp-B, C)
- 2) CrIS
- 3) AVHRR (MetOp-B, C)

• 增加同化衛星觀測，可改善海表面溫度暖偏差，顯示部份衛星觀測資料的缺乏是造成偏暖的原因之一

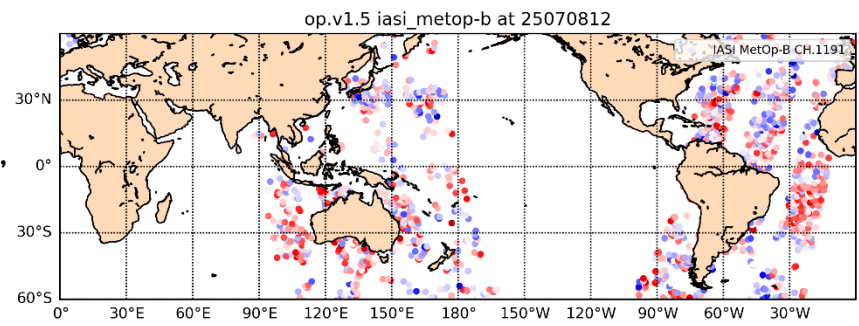
• NCEP 有額外同化對海表面溫度有改善效果的 VIIRS 觀測資料 (TGFS 尚未取得此項資料)

IASI MetOp-B CH.1191 (2,190)

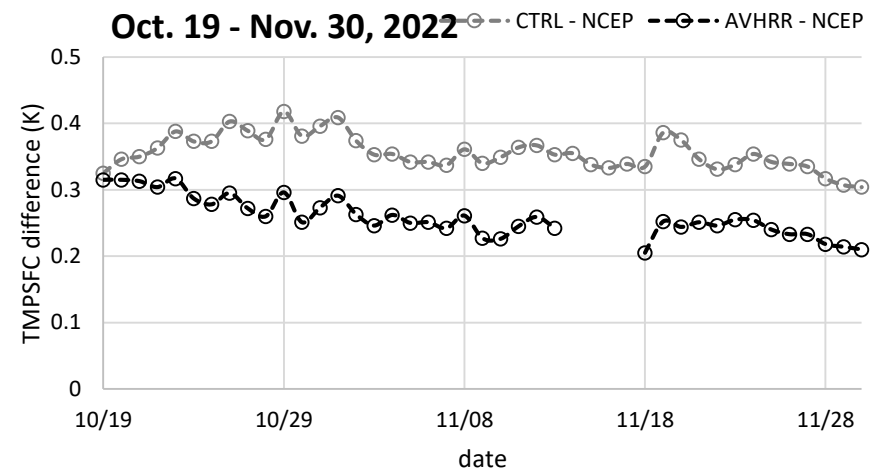
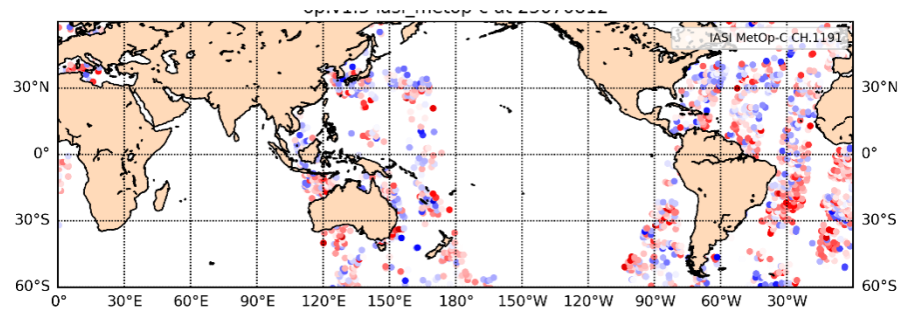


TGFSv1.5

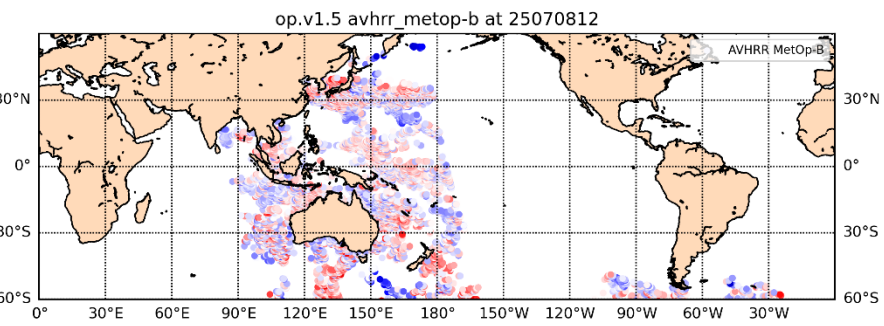
IASI MetOp-B CH.1191 (1,884)



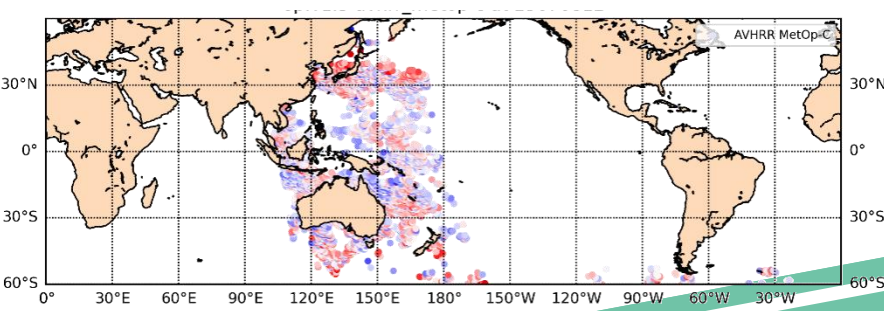
IASI MetOp-C CH.1191 (2,008)



AVHRR MetOp-B CH.3 (7,901)



AVHRR MetOp-C CH.3 (6,504)



TGFS 溫度偏差探討動機

■ 海表面溫度偏差

- 存在於 TGFSv1.x 的情形
- 下游使用者 WRFM06、GEPS分別使用 TGFS 決定性及系集分析作為其初始場，反應 TGFS 初始場相較於 NCEP、EC 在熱帶地區有較高海表面溫度 [[NCEP-TGFS \(TMPsfc\) 2023 ~ 2024](#)]
- TGFS 初始場較高的海表面溫度對 GEPS 預報造成負面影響

■ 高層溫度偏差

- 存在於從 TGFSv1.1 至 TGFSv1.5 的版本更新
- 從 TGFSv1.1 更新至 TGFSv1.5 的整體綜觀校驗結果都有統計顯著的改善，但在大約 20hPa 以上，TGFSv1.5 相較於TGFSv1.1 在高度場及溫度場有較大 RMSE 及 Bias [[GVER - TGFSv1.5 comp. to TGFSv1.1](#)]

■ 目標：改善高層及海表面溫度的偏差情形



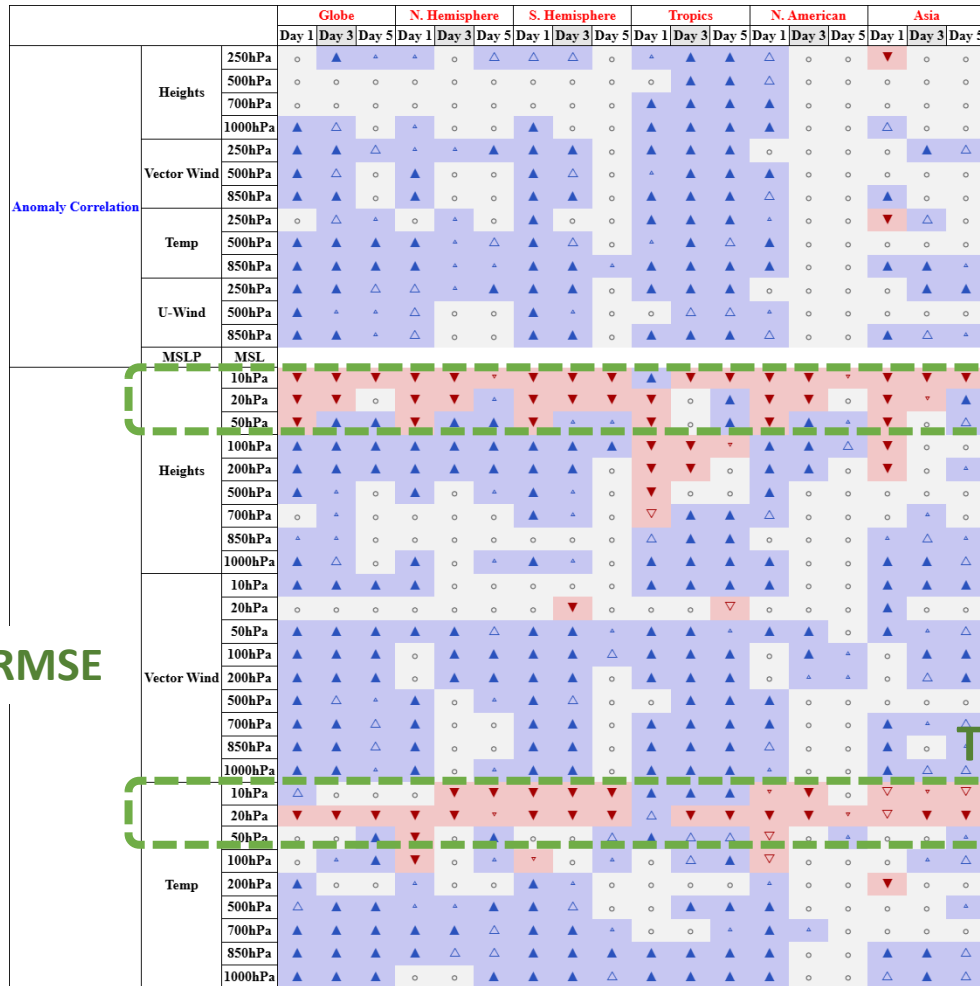
■ TGFSv1.5 與 TGFSv1.1 的綜觀校驗比較結果

- 高層溫度：TGFS 從 v1.1 至 v1.5，10hPa, 20hPa 有 Bias 跟 RMSE 變大的情形

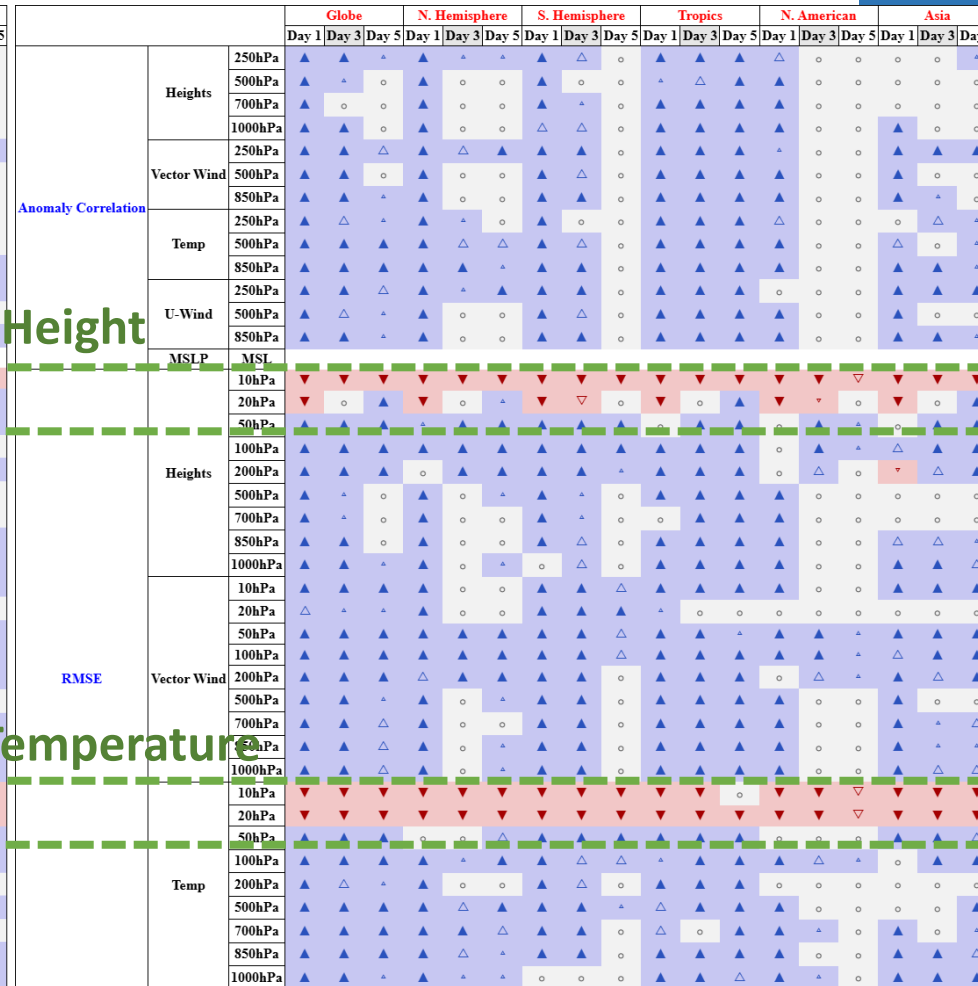
- 2025-01-06 ~ 2025-04-11 (00Z)
- TGFS v1.5 is better /worse than TGFS v1.1

- TGFSv1.5 相較於 TGFSv1.1 整體都有統計顯著的改善，但大約 20hPa 以上，TGFSv1.5 相較於 TGFSv1.1 在高度場及溫度場有較大 RMSE

scorecard against ERA5



scorecard against NCEP



■ 2025-01-06 ~ 2025-04-11
(00Z) 時間序列變化
against ERA5

- 10hPa, 20hPa 預報24h之 Bias 及 RMSE 時間序列

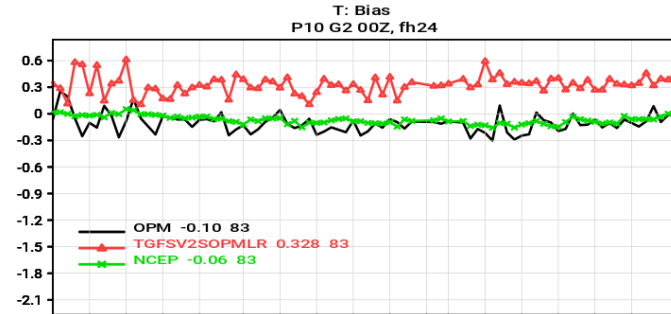
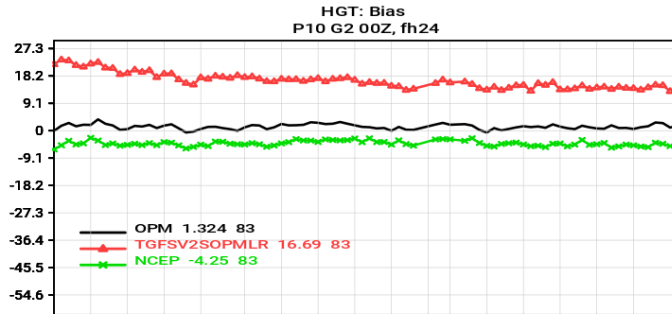
(左) 高度場 (HGT)
(右) 溫度 (T)

- TGFSv1.1
- **TGFSv1.5**
- NCEP (for reference)

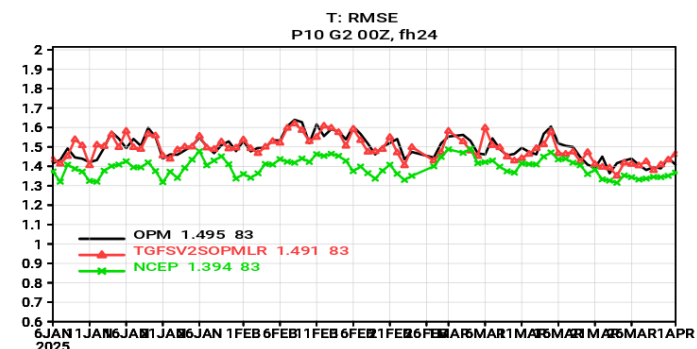
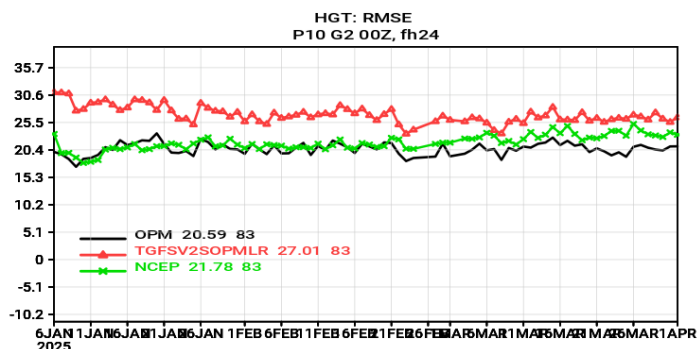
■ 在 10hPa, 20hPa 之全球平均顯示，**TGFSv1.5** 有明顯的高度場及溫度偏差 (bias)；並且在高度場有較大的 RMSE

10hPa

BIAS

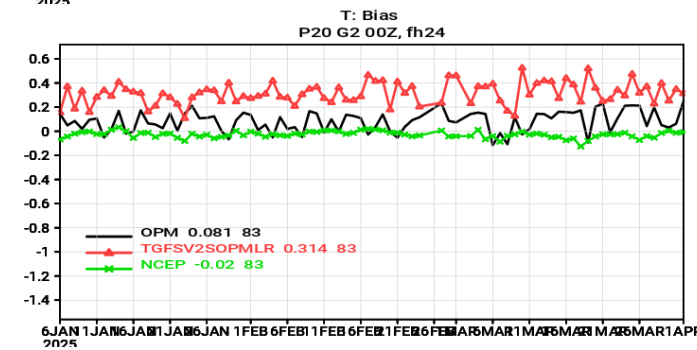
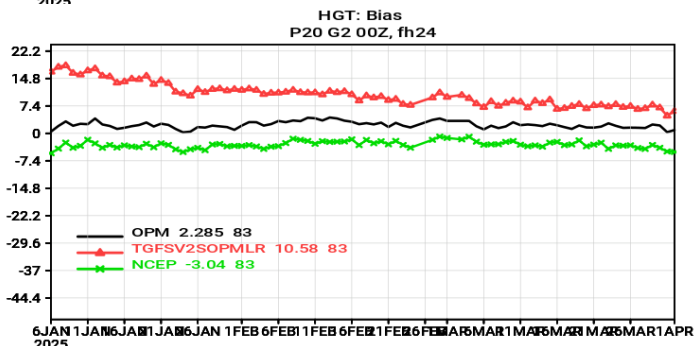


RMSE



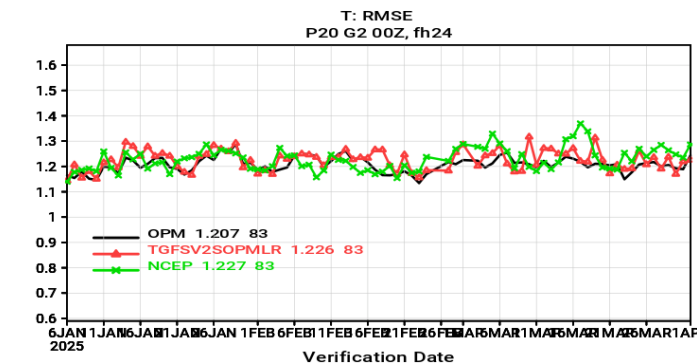
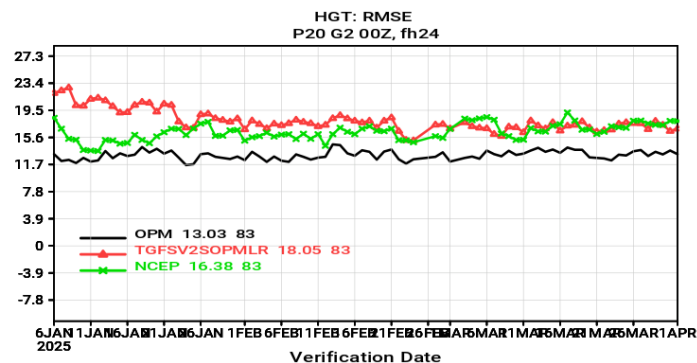
Global region

BIAS



20hPa

RMSE



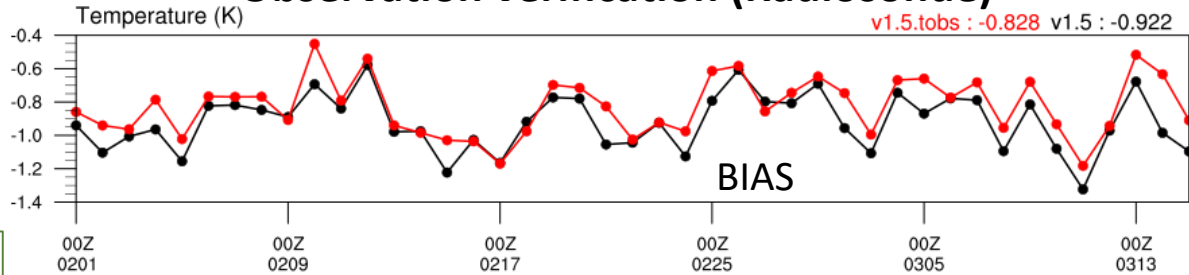
■ 推測 TGFSv1.1 至 TGFSv1.5 模式高層偏差增加的可能原因

- TGFSv1.5 增加了高層可同化之衛星資料
 - AMSUA, MHS (Metop-C), IASI (Metop-C), OMI (aura, npp), OMPS (npp, n20) (113年天氣分析研討會,A2-18, 林宗翰)
- TGFSv1.5 與 NCEP 設定上差異：(因 TGFSv1.5 模式垂直層及高度與 NCEP 不同而未採用的更新)
 - 增加同化高層頻道衛星 (AMSUA CH.14, ATMS CH.15 w/o bias correction)
- 在模式近頂層缺乏足夠錨點 (anchor) 觀測的情況下，高層衛星觀測的同化在動態偏差訂正的同化循環可能造成飄移，因此以 TGFSv1.5 進行以下實驗：
 - ① 減少高層同化觀測：同化較少觀測資料 (v1.1觀測設定) 觀察上層偏差是否減緩 [TGFSv1.5.obsv1.1]
 - ② 以高層特定衛星作為錨點觀測：AMSUA CH.12, 13, 14 [TGFSv1.5.amsuabc]
 - Dong et al. (2024) 利用衛星高層頻道 (AMSU-A CH.12 - 14，高度約10 - 2hPa) 作為錨點以最小化模式高層的系統性偏差，減少了模式層頂附近的偏差及高層溫度、高度場誤差

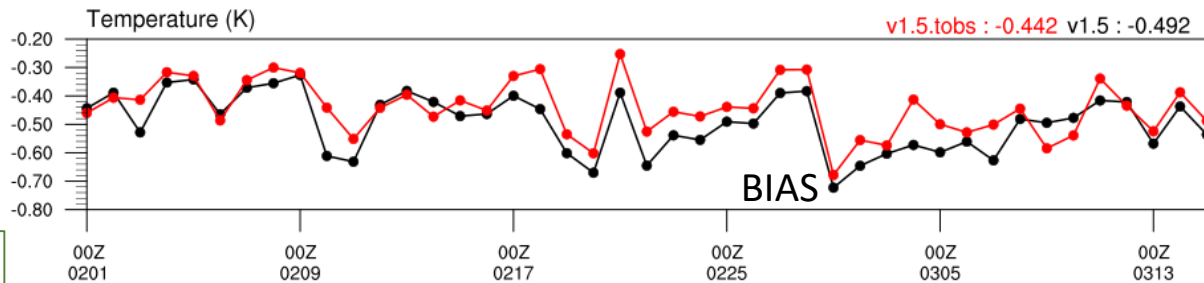
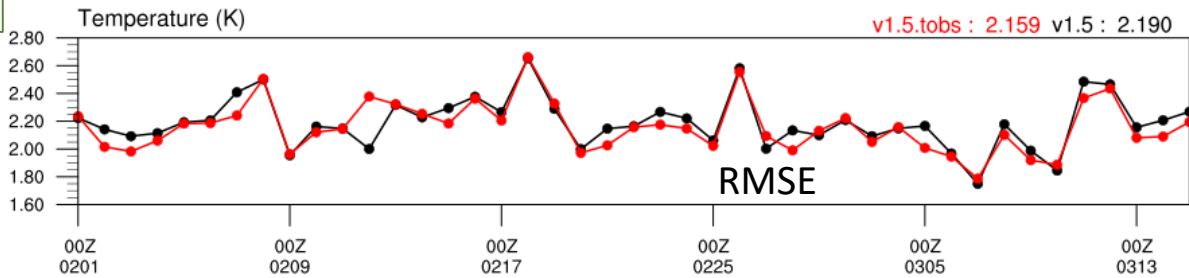
TGFSv1.5 & TGFSv1.5.obsv1.1 (減少高層同化觀測)

- TGFSv1.5.obsv1.1 的單日同化總觀測數量較 TGFSv1.5 少約 33% (其中以衛星觀測佔比最高)

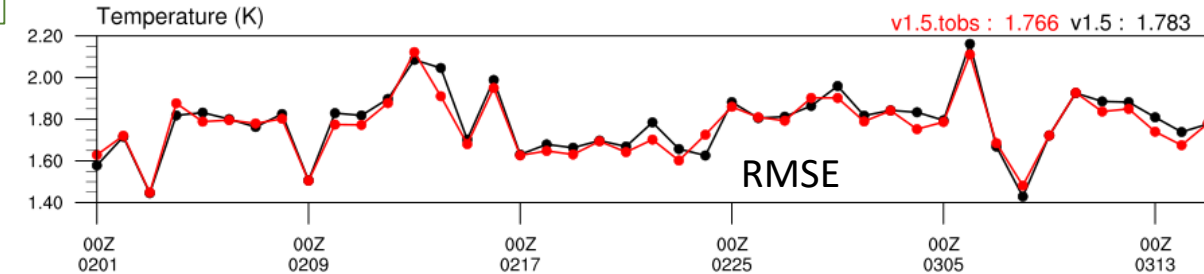
Observation verification (Radiosonde)



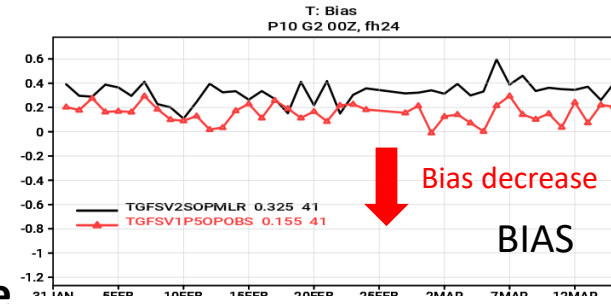
10hPa



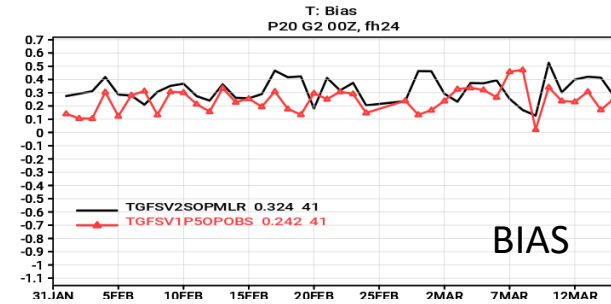
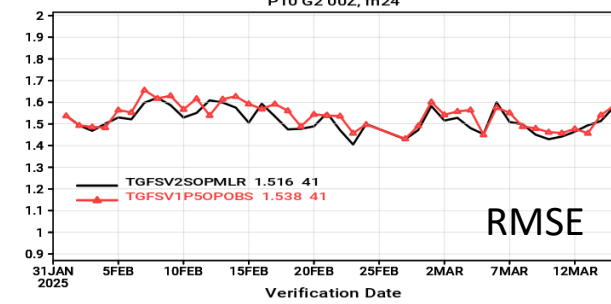
20hPa



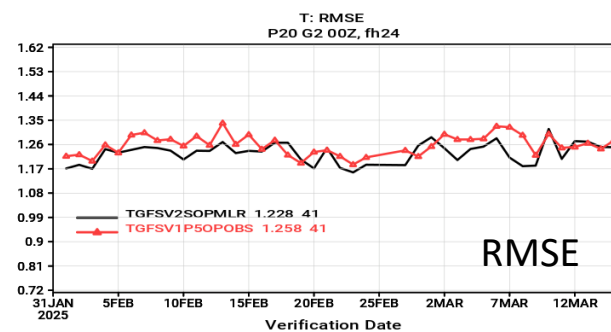
Synoptic Verification (GVER) against ERA5



10hPa



20hPa



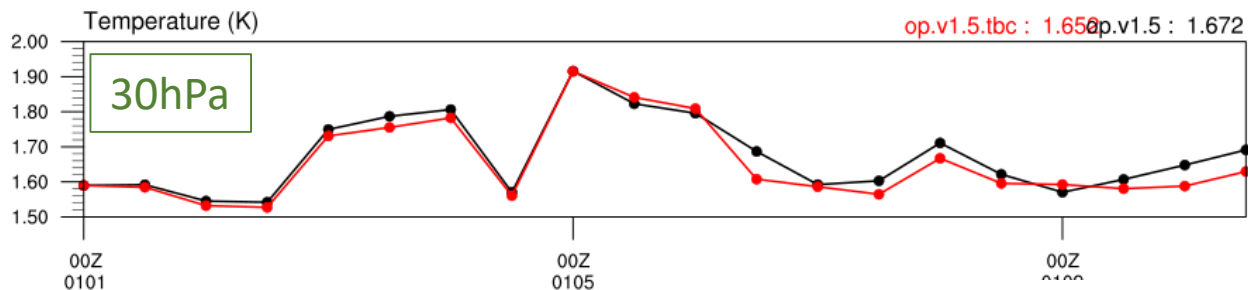
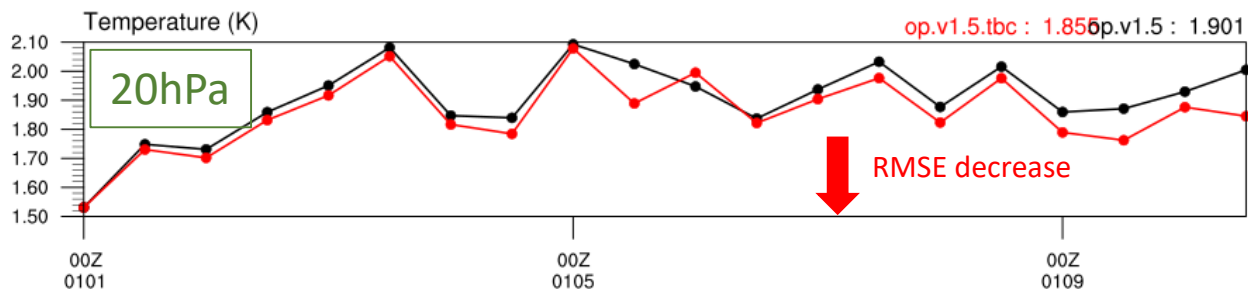
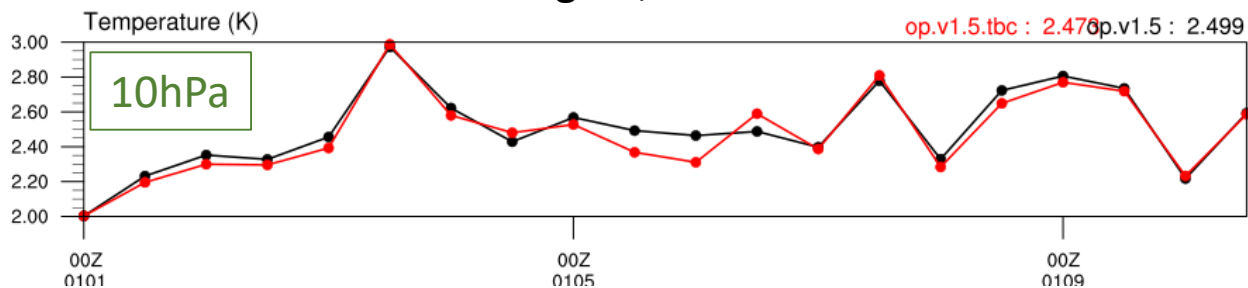


■ TGFSv1.5 & TGFSv1.5.amsuabc (以 AMSUA CH.12-14 作為錨點觀測)

- **TGFSv1.5.amsuabc** 在 10hPa 的溫度差異不大；在 20hPa, 30hPa 的溫度偏差有下降的情形，RMSE 稍微下降，但仍需要較長時間的循環同化確認整體影響

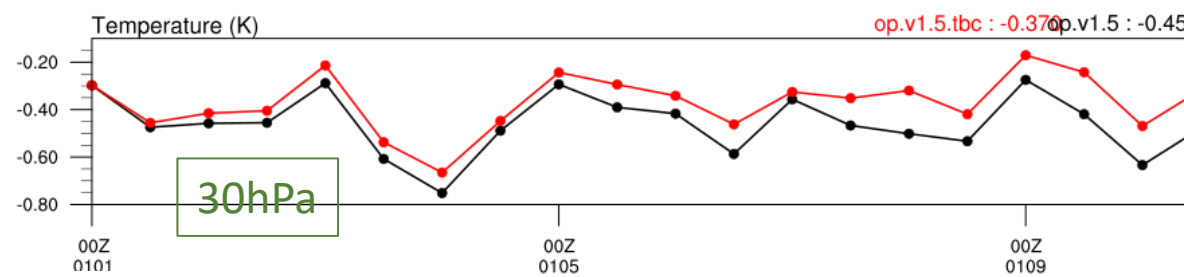
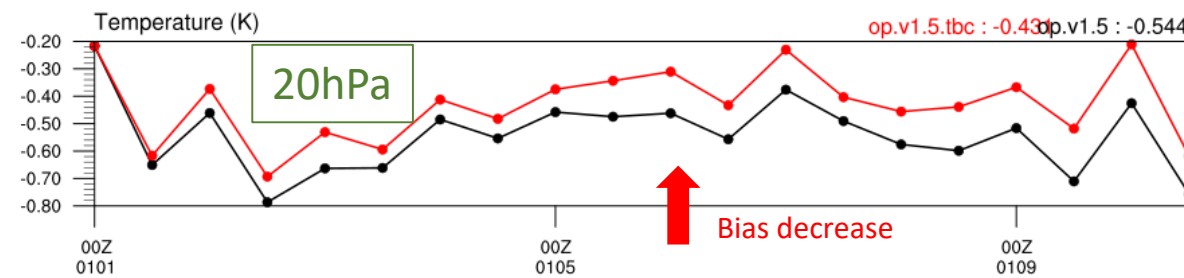
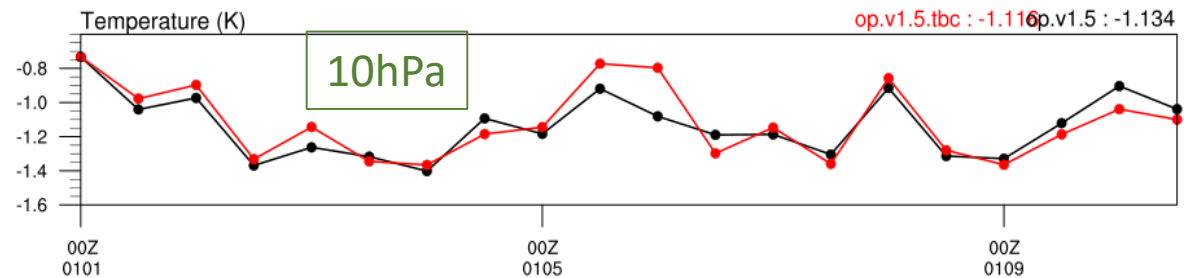
Time series of RMSE ; Date: 2025010100-2025011012

Global region, increment 12h



Time series of BIAS ; Date: 2025010100-2025011012

Global region, increment 12h



總結

■ TGFS 海表面溫度偏差：

- TGFS 初始分析場之海表面溫度在熱帶地區相較於 NCEP、EC 有暖偏差情形
- 比較 TGFSv1.5 與 TGFSv1.1 的海表面溫度分布及其熱帶地區平均結果，推測於 TGFSv1.5 新增同化之衛星觀測資料 AVHRR 是改善熱帶海表溫度之暖偏差的重要因素。另外，NCEP 也額外同化對海表面溫度有改善效果的 VIIRS 觀測資料，但目前 CWA TGFS 未能取得此項資料

■ TGFS 高層溫度偏差：

- 從 TGFSv1.1 更新至 TGFSv1.5 的綜觀校驗顯示大部分為統計顯著的改善，但 TGFSv1.5 在高層的高度場、溫度場有較大 RMSE 及 Bias
- 利用減少同化高層觀測數量、以衛星高層頻道做為錨點觀測的初步結果顯示，高層溫度偏差的確有下降的趨勢，顯示增加高層的衛星觀測同化需要額外的處理。而利用衛星高層頻道做為錨點觀測的實驗需要更長期間的測試，以完整評估其影響

- 如果 VarBC 中存在模型偏差，則觀測資料將根據模型偏差進行修正，因為系統難以區分偏差源 (Talagrand, [1998](#))。