

中央氣象署TGFS全球預報系統發展現況 與其在人工智慧氣象預報下的角色

林宗翰, 鄧雯心, 沙聖浩, 黃子茂, 趙子瑩, 劉正欽, 連國淵, 蕭玲鳳

中央氣象署科技發展組

114年天氣分析與預報研討會

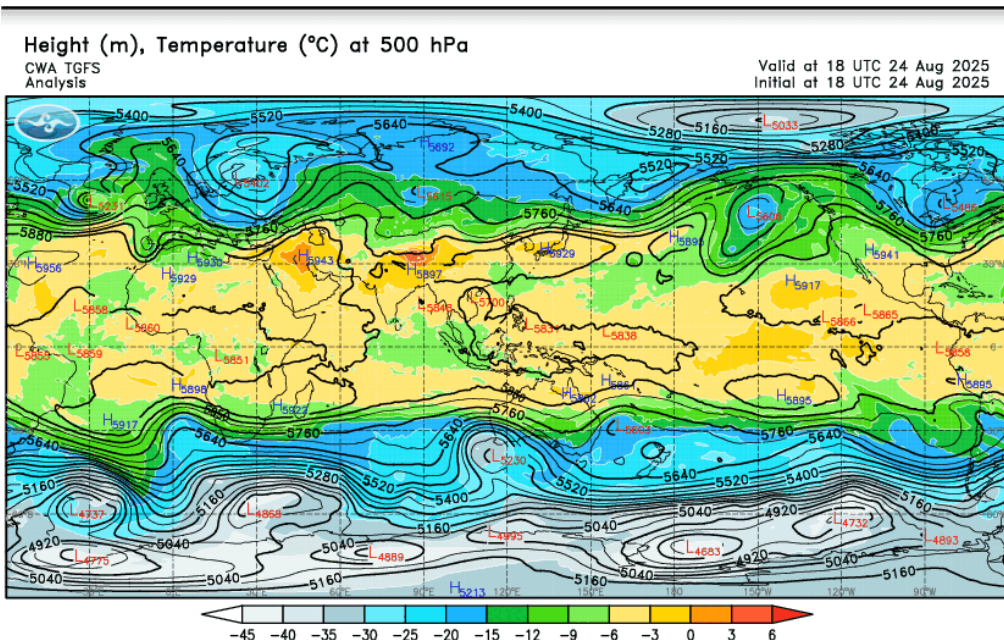
2025/9/3



大綱

- CWA全球模式發展歷史、現況與更新期程
- TGFS V1.5 與 V2 (規畫) 更新說明
- 人工智慧/機器學習(AI/ML)氣象預報 (WP)
- 以 TGFS 提供 MLWP 之輸入資料
- 未來展望：TGFS 與 MLWP 之共同發展

History of CWA global NWP



2023/9月 TGFS V1 上線

模式由TCo更改為FV3、GSI hybrid 4DEnVar

2024/5月 TGFS V1.1上線

調整模式PBL、積雲參數化，改善nested domain降水預報

2025/8月 TGFS V1.5上線

同化系統GSI版本更新、新增觀測資料

預計2026年更新為TGFS V2

水平解析度由25公里提升至13公里



CWB Global Forecast System (CWBGFS)

Year	System Name	Horizontal Resolution
2023	V1	
2024	V1.1	
2025	V1.5	

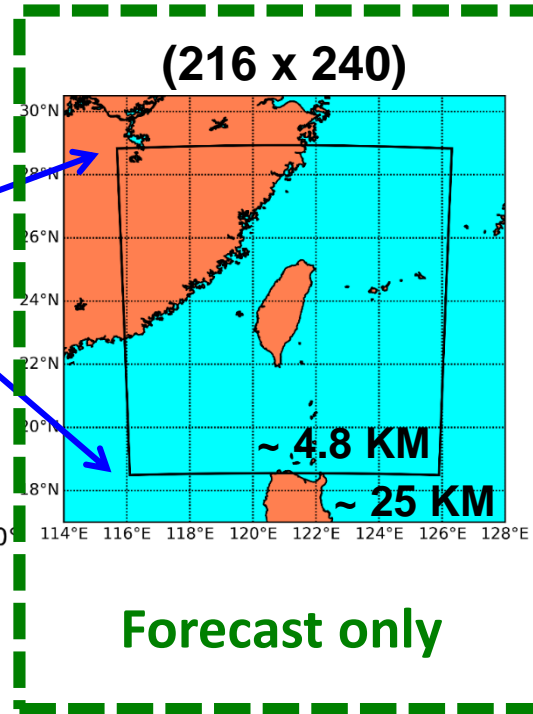
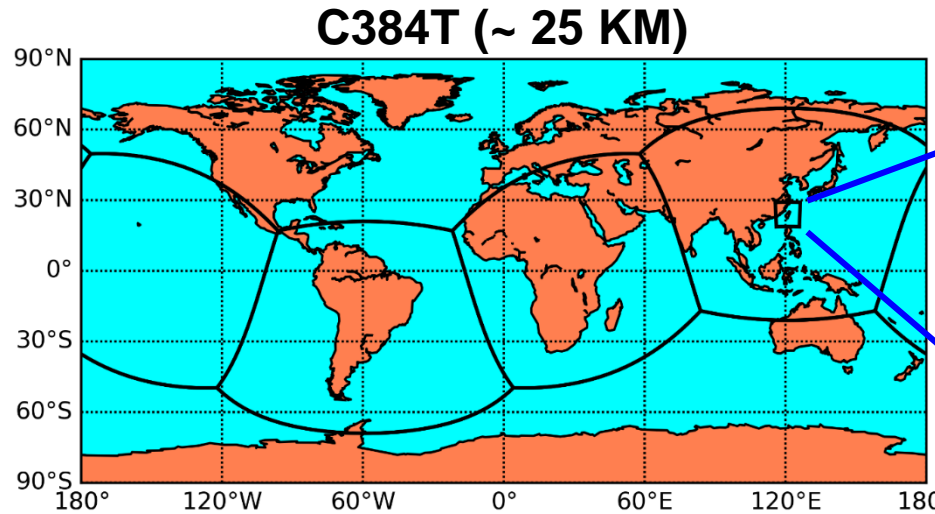
TGFS
(FV3 C384L64)
水平解析度25公里

Taiwan Global Forecast System (TGFS) v1.5

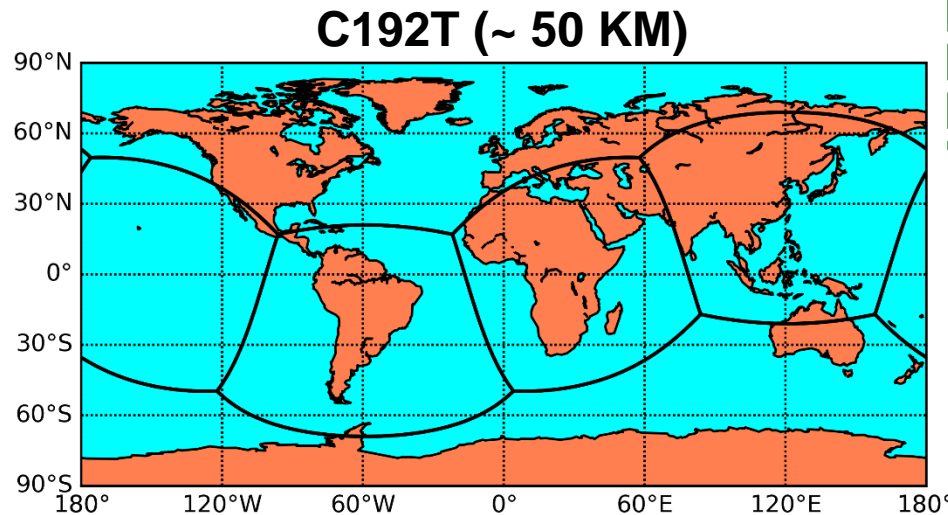


Finite-Volume Cubed-Sphere (FV3) Dynamical Core

Deterministic system
hybrid 4DEnVar
using time-lagged ensemble
(global domains)



Ensemble system
EnKF
(32 members)



TGFS V1.5設定



水平解析度	25 公里
垂直解析度	S-P hybrid座標; 64層
模式層頂	0.2 hPa
動力核心	FV3 (Finite-Volume Cubed-Sphere Dynamical Core)
輻射參數化	RRTMG
積雲參數法	CWB modified New SAS
雲微物理參數法	GFDL 6-class microphysics
邊界層參數化	Hybrid eddy-diffusivity mass-flux (EDMF)
地表模式	Noah land surface model
地表資料	Land-use, soil type from WRF/MODIS, vegetation fraction from EUMETSAT
資料同化	GSI hybrid 4DEnVar (32 members + 32 time-lagged members) GSI v16.3.12
觀測資料	傳統觀測, 掩星觀測, 繞極衛星輻射觀測, 同步衛星輻射觀測, 臭氧觀測

TGFS V1.1 → V1.5 更新說明



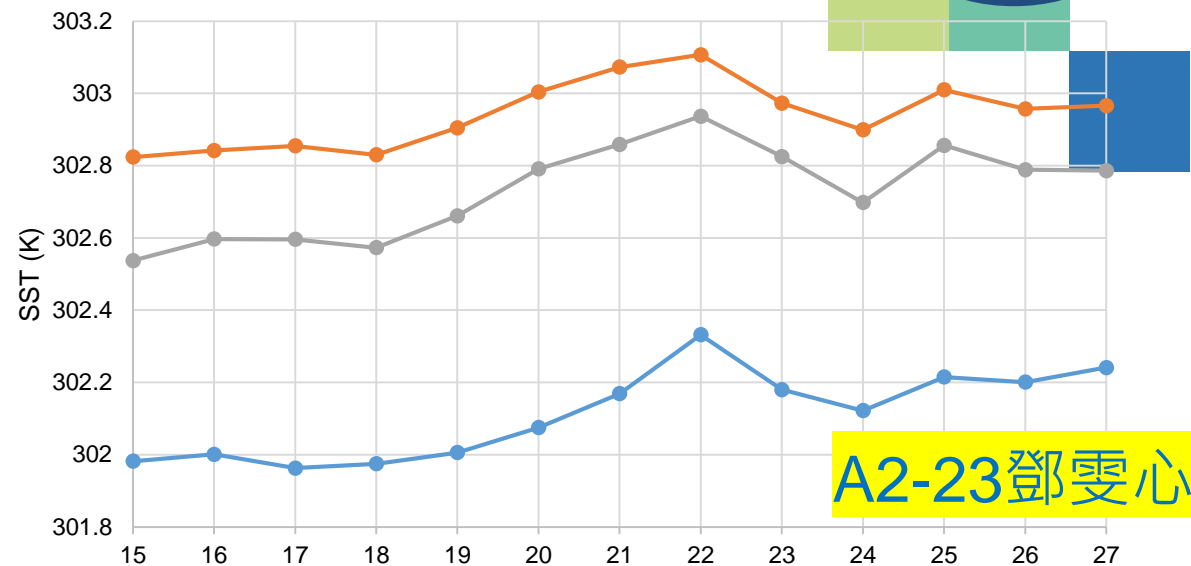
- 同化方法及設定調整
 - 決定性同化增加考慮衛星頻道間觀測誤差相關
 - 系集同化方法改為LETKF調變系集
 - 系集同化中使用線性化觀測算符
 - 調整傳統觀測、衛星資料等使用設定
- 程式及函式庫版本更新
 - GSI同化系統v16.3.12
 - BUFR library v11.7
 - CRTM v2.4.0.3及使用GFDL cloud table
- 新增觀測資料
 - AMSUA, MHS, IASI (Metop-C)
 - AHI (Himawari-9)
 - ABI (g16, g18)
 - AVHRR (n18, n19, Metop-B, Metop-C)
 - OMI (aura), OMPS (npp, n20)
- 產品新增
 - 輸出變數頻率加密(大氣可降水量、對流可降水量)。
 - 因應台電需求，新增台灣地區等經緯網格grib2資料。

新增同化觀測資料(AVHRR、臭氧)

- OSE實驗 (同化各項資料與各自 CTRL 比較)
- 實驗期間 2024/06/11 00Z – 2024/07/14 00Z
- 同化衛星輻射計資料：**AVHRR (n18, n19, Metop-B, Metop-C)**
 - 改善南半球及熱帶部分變數的整體預報表現
 - 改善熱帶區域海表溫度過高問題
- 同化臭氧資料：**OMI (aura) + OMPS (npp, n20)**
 - 改善高層臭氧分布及溫度場暖偏差

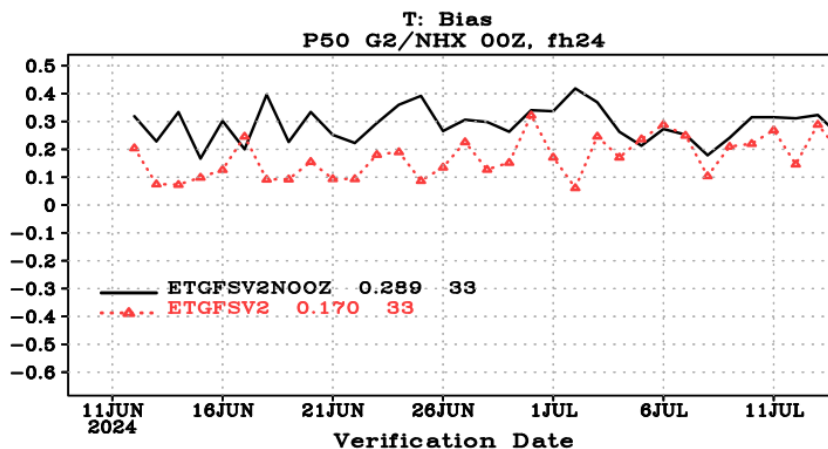
50 hPa 24h 預報的溫度偏差
 沒有同化臭氧
 有同化臭氧

SST average region (lon=160-220, lat=-15-0)
 SST Mar. 13-27, 2025 (00Z)



TGFSv1.1 TGFSv1.5 NCEP

和NCEP的差異可減少約 **25%**



TGFS V1.5與V1.1之比較



綜觀校驗結果

2025-01-29 ~ 2025-04-24 scorecard
against ERA5 and Anomaly
 Correlation at 500hPa (NH, SH) [85
 dtg]

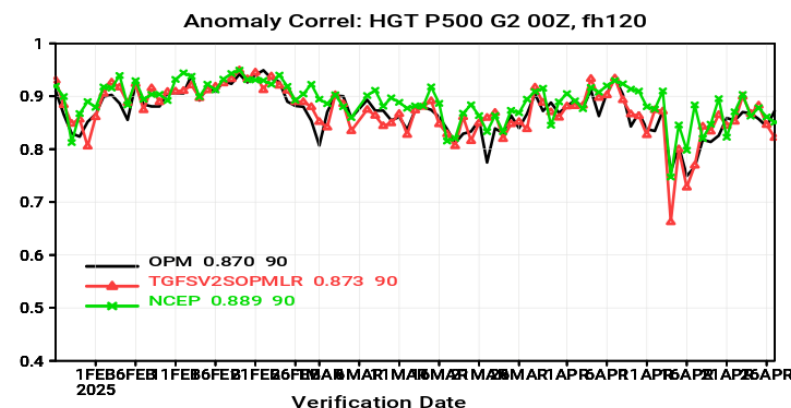
TGFS v1.5 is **better** / **worse** than
 TGFS v1.1 (OP)

AC (HGT 500hPa 5-day forecast)		
TGFS (00Z)	NH	SH
v1.1	0.887	0.847
v1.5	0.892	0.849
NCEP	0.900	0.877

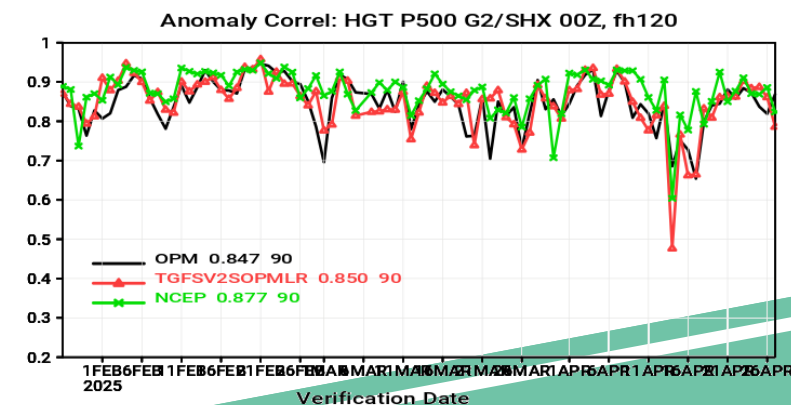
00Z

		Globe		N. Hemisphere			S. Hemisphere			Tropics			N. American			Asia				
		Day 1	Day 3	Day 5	Day 1	Day 3	Day 5	Day 1	Day 3	Day 5	Day 1	Day 3	Day 5	Day 1	Day 3	Day 5	Day 1	Day 3	Day 5	
Anomaly Correlation	Heights	250hPa	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
		500hPa	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		700hPa	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		1000hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
	Vector Wind	250hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
		500hPa	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		850hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
		1000hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
	Temp	250hPa	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
		500hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
850hPa		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
1000hPa		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
U-Wind	250hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
	500hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
	850hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
	1000hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
MSLP	MSL																			
RMSE	Heights	10hPa	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	
		20hPa	▼	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		50hPa	▼	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
		100hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
	Vector Wind	200hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
		500hPa	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		700hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
		850hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
	Temp	1000hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
		10hPa	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20hPa		▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	
50hPa		○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
Temp	100hPa	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
	200hPa	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	500hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
	700hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
Temp	850hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
	1000hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	
	1000hPa	▲	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	1000hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	

500 N.H. hPa AC score

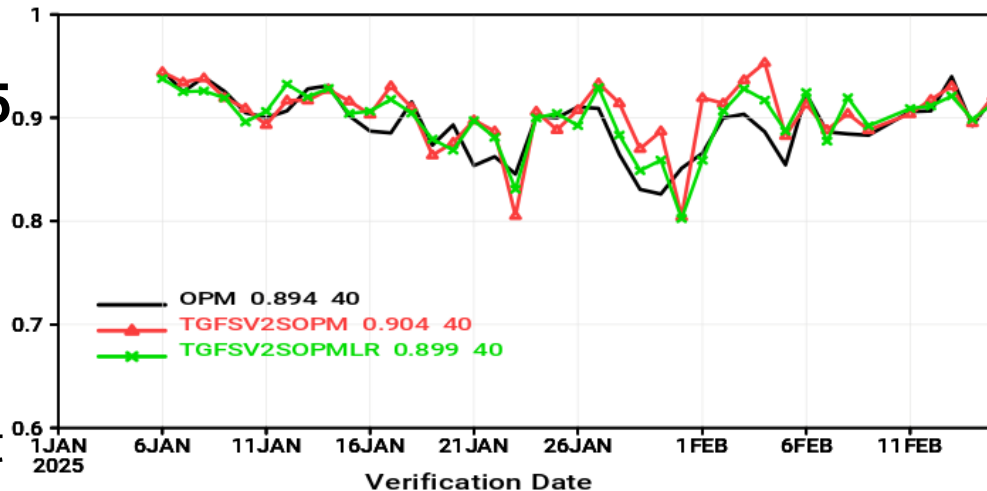


500 S.H. hPa AC score



TGFS V2 與 V1.1之比較

Anomaly Correl: HGT P500 G2 00Z, fh120



2025-01-01 – 2025-02-15 (00Z)

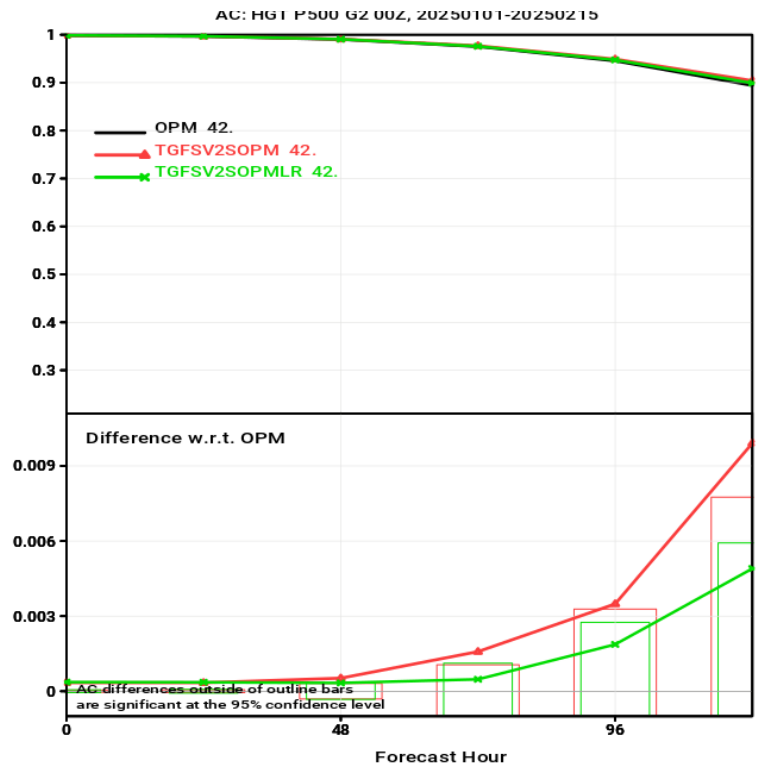
- TGFSv1.1 (C384)
- TGFSv2.0 (C768)
- TGFSv1.5 (C384)

• Anomaly Correlation at 500hPa (Global)

• 0.894/0.904/0.899

- scorecard against ERA5
- TGFS v2.0 is better/worse than TGFS v1.1

預計2026年更新為TGFS V2
水平解析度由25公里
提升至13公里



		Globe					N. Hemisphere					S. Hemisphere					Tropics					N. American					Asia				
		Day 1	Day 3	Day 5	Day 1	Day 3	Day 5	Day 1	Day 3	Day 5	Day 1	Day 3	Day 5	Day 1	Day 3	Day 5	Day 1	Day 3	Day 5	Day 1	Day 3	Day 5	Day 1	Day 3	Day 5	Day 1	Day 3	Day 5			
Anomaly Correlation	Heights	250hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
		500hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
		700hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		
		1000hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		
	Vector Wind	250hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
		500hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
		850hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
		Temp	250hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		
	U-Wind	250hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
		500hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
850hPa		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲				
MSLP		MSL	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲				
RMSE	Heights	10hPa	▼	▼	○	▼	○	○	▼	▼	▼	▼	○	▼	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
		20hPa	○	▲	▲	○	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
		50hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
		100hPa	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
	Temp	20hPa	○	▲	▲	○	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
		50hPa	○	▲	▲	○	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
		100hPa	○	▲	▲	○	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
		200hPa	○	▲	▲	○	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
	Bias	Heights	10hPa	▼	▼	○	▼	○	○	▼	▼	▼	▼	○	▼	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
			20hPa	▼	▼	○	▼	○	○	▼	▼	▼	▼	○	▼	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
50hPa			▼	▼	○	▼	○	○	▼	▼	▼	▼	○	▼	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
100hPa			○	▲	▲	○	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
Wind Speed		10hPa	▼	▼	○	▼	○	○	▼	▼	▼	▼	○	▼	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
		20hPa	▼	▼	○	▼	○	○	▼	▼	▼	▼	○	▼	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
		50hPa	▼	▼	○	▼	○	○	▼	▼	▼	▼	○	▼	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
		100hPa	○	▲	▲	○	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
Temp		10hPa	▼	▼	○	▼	○	○	▼	▼	▼	▼	○	▼	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
		20hPa	▼	▼	○	▼	○	○	▼	▼	▼	▼	○	▼	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	50hPa	▼	▼	○	▼	○	○	▼	▼	▼	▼	○	▼	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
	100hPa	○	▲	▲	○	▲	○	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲				

ML weather prediction models



- Remarkable achievements of machine learning (ML)-based weather prediction models:

- **FourCastNet** (NVIDIA)
- **Pangu-Weather** (Huawei, Bi et al. 2023)
- **GraphCast** (Google DeepMind, Lam et al. 2023)
- **FengWu** (Shanghai AI Lab., Chen et al. 2023)
- **FuXi** (Fudan Univ., Chen et al. 2023)
- **AIFS** (ECMWF, Lang et al. 2024)
- **Aurora** (Microsoft Research, Bodnar et al. 2025)
- **NeuralGCM** (Google, Kochkov et al. 2024)
- **GenCast** (Google DeepMind, Price et al. 2024)
- **AIFS ENS** (ECMWF)
- ...

TC track forecast errors (2-year average)

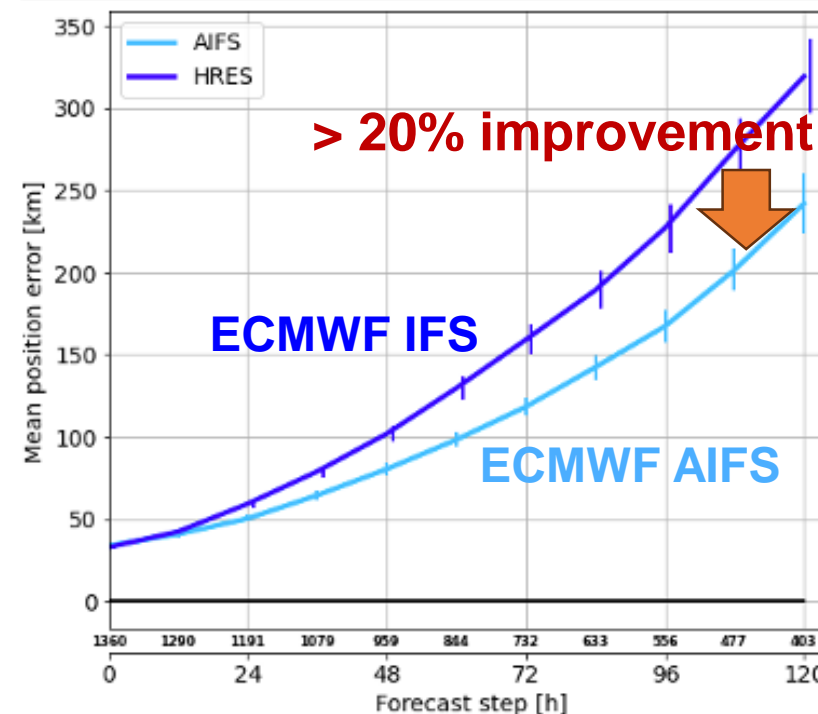
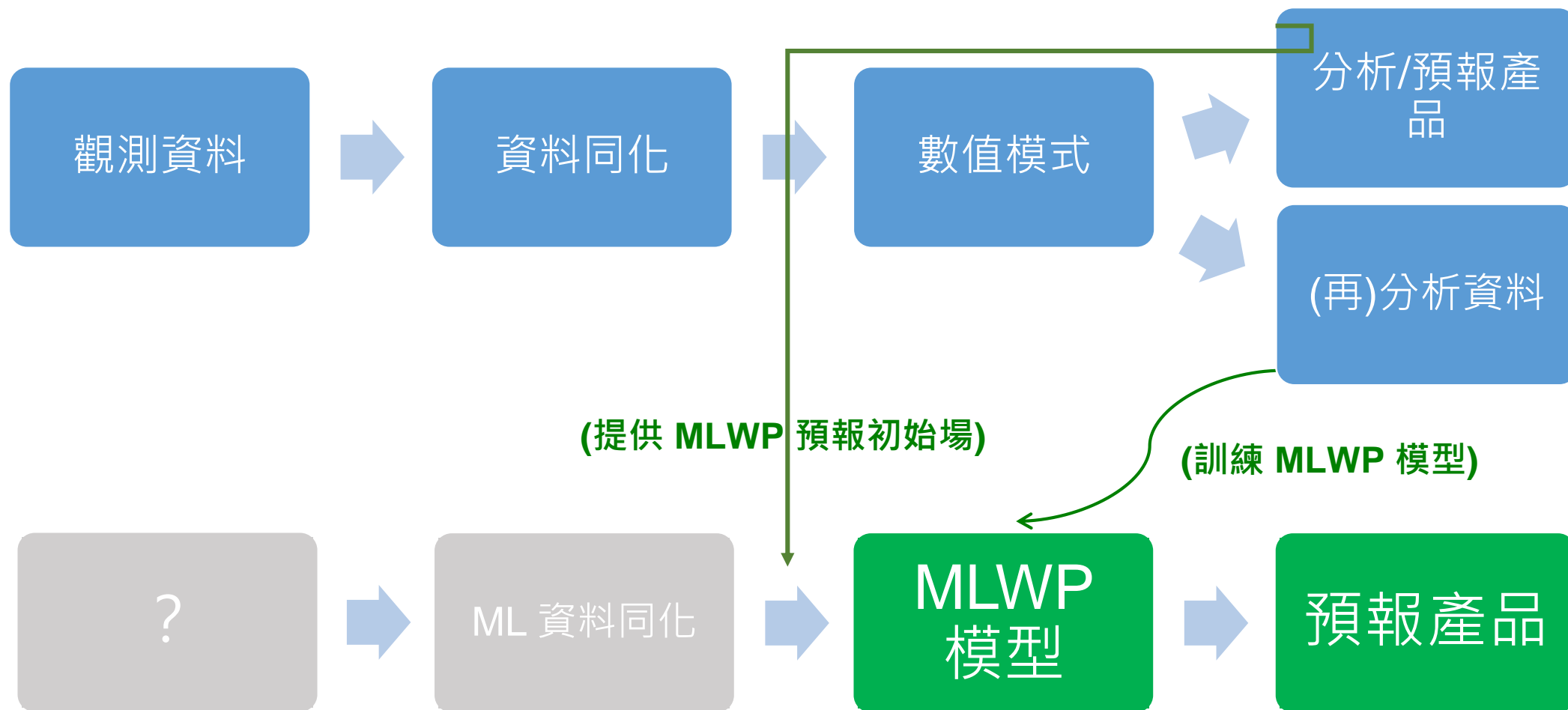


Figure 9 of Lang et al. (2024, arXiv)

數值天氣預報 vs. ML 天氣預報

- MLWP 模型基於再分析資料 (由傳統數值天氣預報產製) 訓練而來。
- MLWP 模型僅取代模式部份，資料同化的部份仍在發展。



資料同化仍在探索發展

Realtime multi-MLWP model forecasts



Started realtime semi-operation since May 2024,
Transferred to the TGFS team (for maintenance) since July 2025

6 different MLWP global models
(GraphCast, FourCastNet v2, Aurora, Pangu, Fengwu, Fuxi)

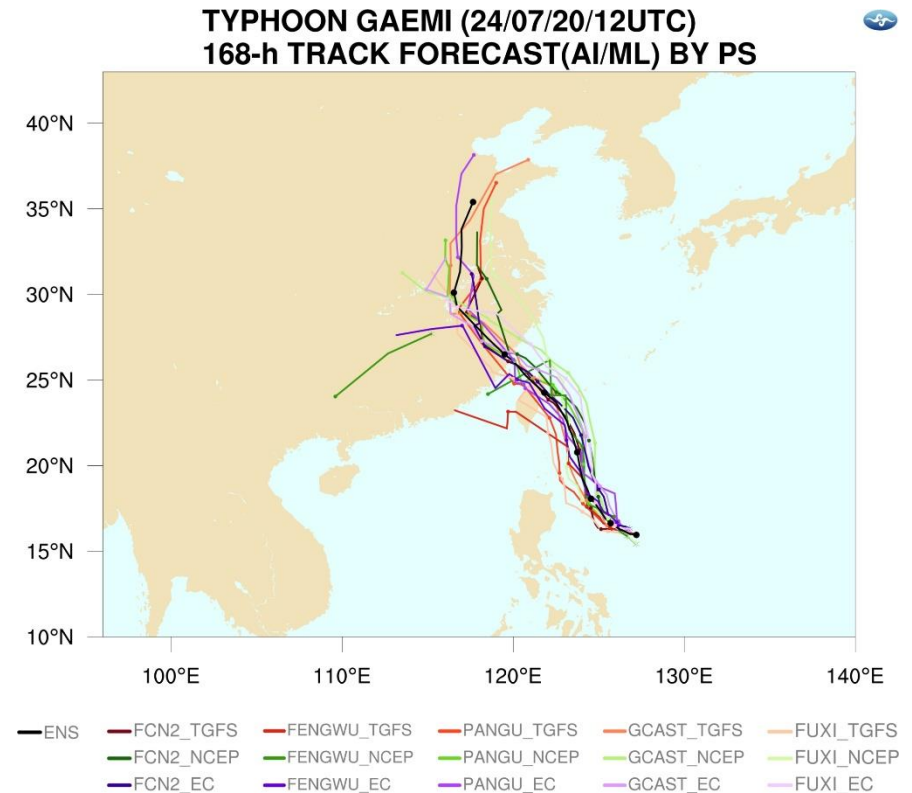
×

3 different NWP initial conditions
(CWA TGFS, NCEP GFS, ECMWF IFS)

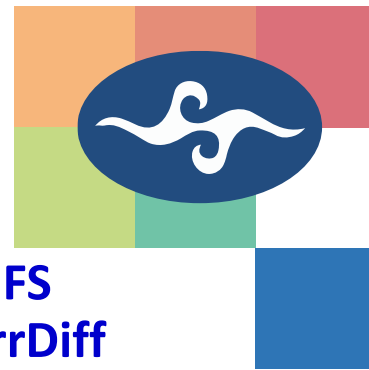
=

18 different MLWP model tracks

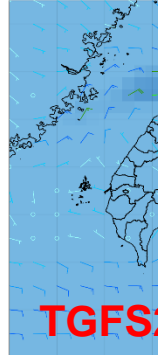
於西北太平洋區域生成TD與颱風時
提供路徑預報



CorrDiff - 由TGFS 全球預報產品至台灣區域

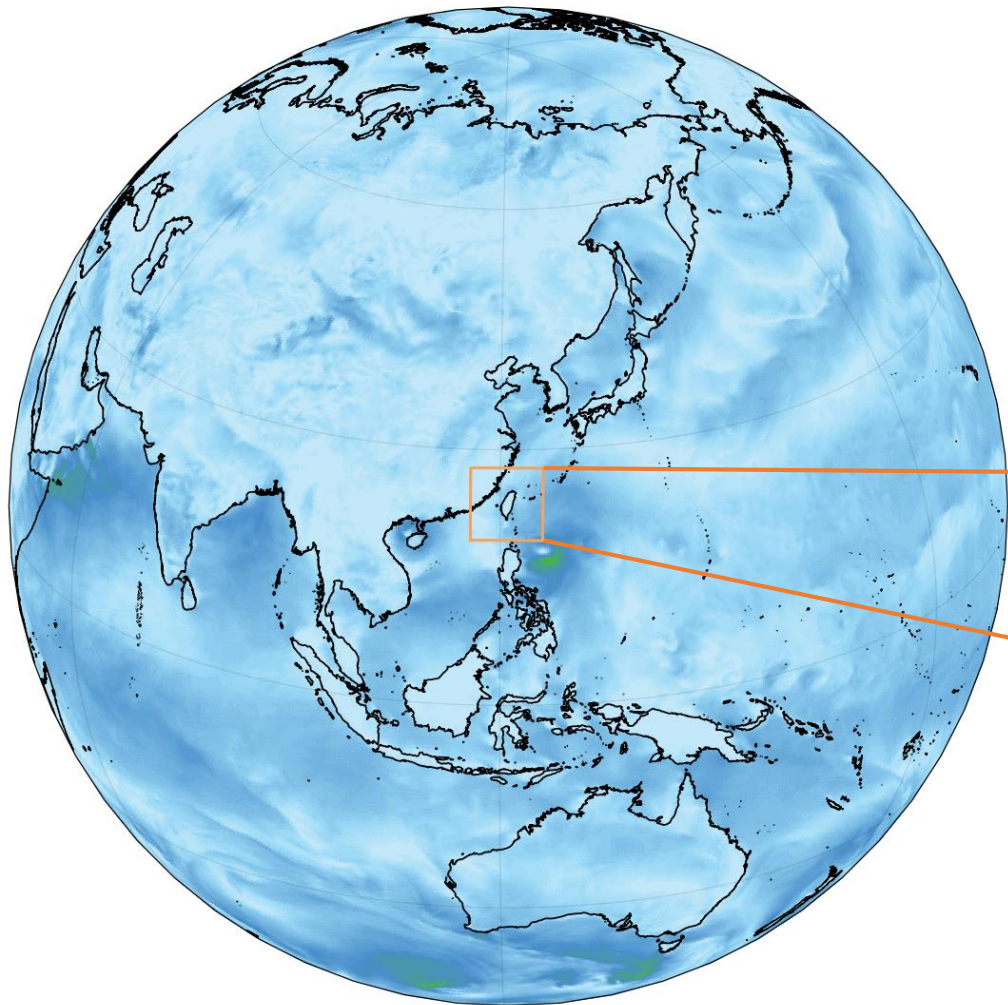


Wind field and speed at 10 meter
Initial at 1200 UTC 25 Aug 2021
Valid at 1200 UTC 25 Aug 2021

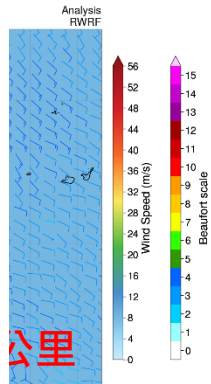


Wind field and speed at 10 meter

10-m Wind Speed (TGFS and CorrDiff downscale TGFS)
Initial Time:2024072206 Forecast Hour: 000



Wind field and speed at 10 meter



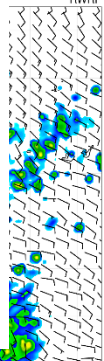
Wind field at 10 meter

Analysis RWRP



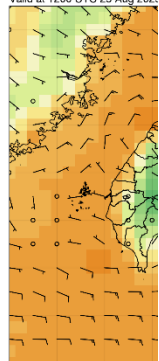
Temperature at 10 meter

Analysis RWRP



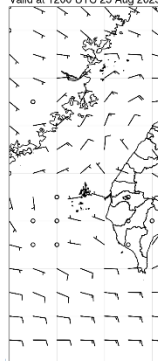
Temperature at 2 meter

Initial at 1200 UTC 25 Aug 2021
Valid at 1200 UTC 25 Aug 2021



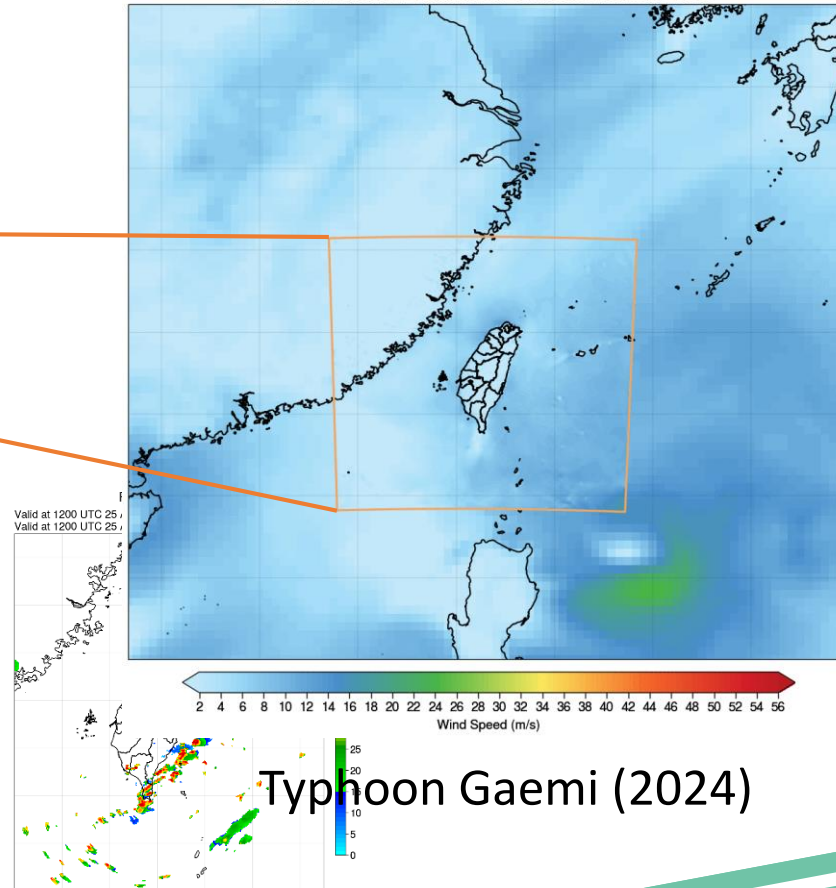
Radar Reflectivity and

Initial at 1200 UTC 25 Aug 2021
Valid at 1200 UTC 25 Aug 2021



Surface wind speed,
downscaled from CWA TGFS
global model forecast by CorrDiff

10-m Wind Speed (TGFS and CorrDiff downscale TGFS)
Initial Time:2024072206 Forecast Hour: 000



Typhoon Gaemi (2024)

未來展望：TGFS 與 MLWP 之共同發展

- 全球NWP模式及資料同化技術為各模式預報技術（含MLWP）的根源。
- 目前MLWP作業預報仍完全仰賴傳統全球NWP模式及資料同化技術提供其預報初始場。
- TGFS現況
 - 解析度全球25公里/臺灣網格5公里，皆提供16天預報。
 - 提供初始場：MLWP預報 A7-5趙子瑩、GEPS展期預報(45天預報)、及WRF區域預報(M06)。
 - 基於全球模式及資料同化系統與技術，參與國內外相關合作（例：ROMEX）。 A2-25黃子茂
- TGFS未來發展策略
 - 解析度提升到全球13公里/臺灣網格3公里後，降低模式研發量能。
 - 持續投入必要資料同化技術的發展，以支持署內MLWP、GEPS的發展，並維持與國內外單位在相關議題的合作。
→ 在MLWP發展趨勢下，全球資料同化系統更顯得重要。
 - **MLWP整合**：發展以TGFS決定性及系集初始場，驅動全球MLWP決定性及系集預報，並可進一步由全球MLWP預報驅動MPAS及區域MLWP預報。



Thanks for listening!