



中央氣象署114年第三十九屆天氣分析與預報研討會

# GenCast 系集天氣預報模型初步測試 –

## 以 2024 凱米颱風路徑預報為例

交通部中央氣象署 科技發展組 凌文海 (Ling W.-H.) 劉正欽 (Liu C.-C.) 陳郁涵 (Chen Y.-H.)  
連國淵 (Lien G.-Y.) 楊榮瑜 (Yang R.-Y.) 陳新淦 (Chen S.-G.)



# • 大綱

- 全球 AI/ML 天氣預報 (MLWP) 模型發展及應用
- GenCast 模型簡介
- GenCast 表現評估 - 以 2024 凱米颱風路徑分析為例
- GenCast 運算效能評估
- GenCast 其他議題 - 預報後期雜訊影響
- 結論

# 全球 AI/ML 天氣預報 (MLWP) 模型發展及應用



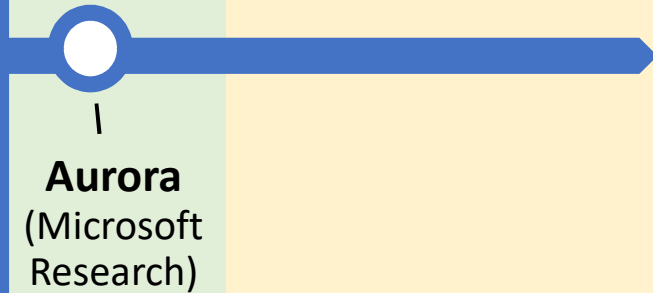
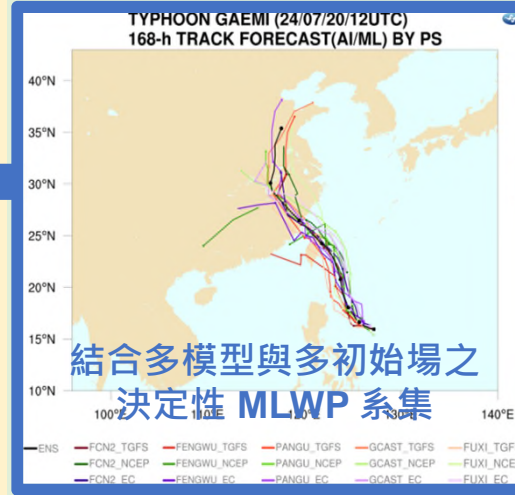
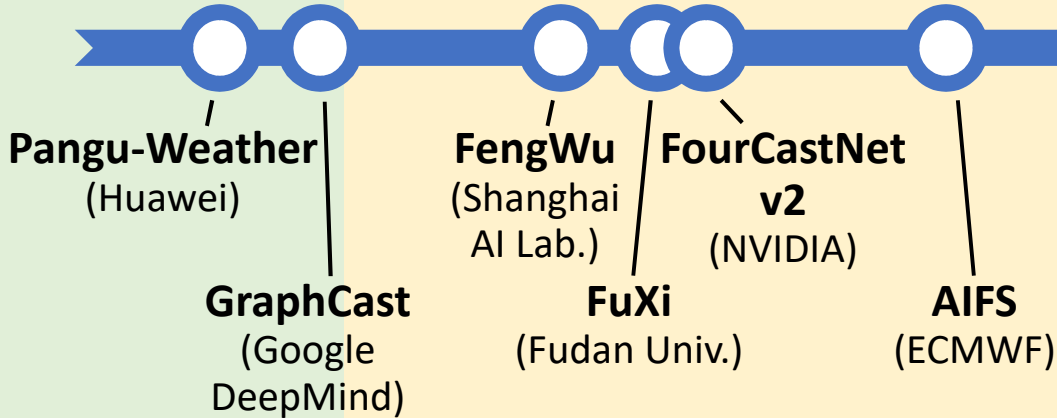
2022 年

2023 年

2024 年

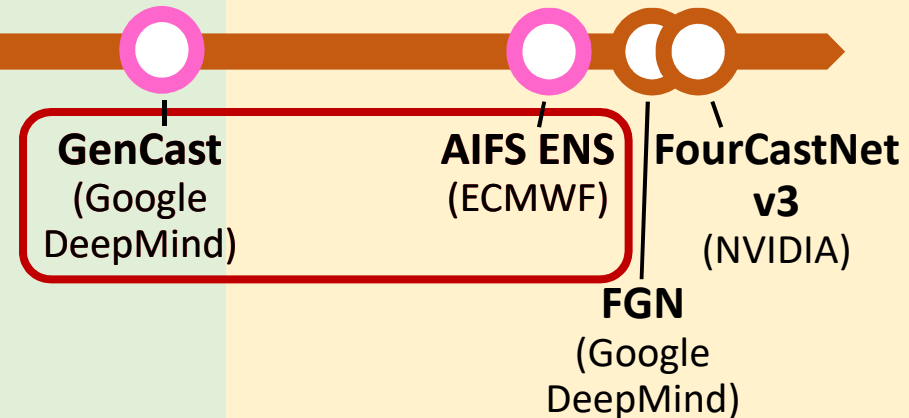
2025 年

## 第 1 代模型 (單一 / 決定性預報模型)



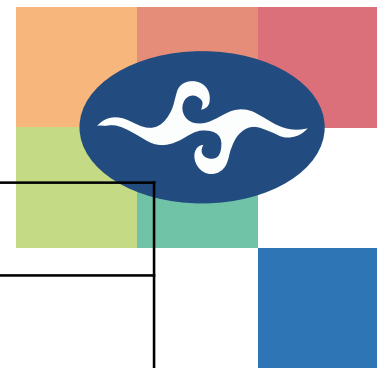
## 第 2 代模型

(系集 / 機率性預報模型 / 有展期預報潛力)  
(部份參考 WMO AI for Weather Task Team 定義)



※ 當今的 MLWP 作業預報仍完全仰賴傳統 NWP 模式及資料同化技術提供其訓練資料及預報初始場。

# 第 1、2 代全球 MLWP 模型比較



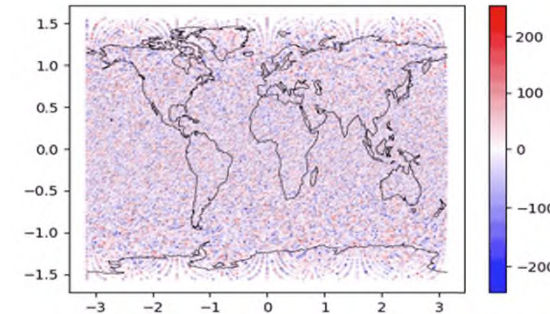
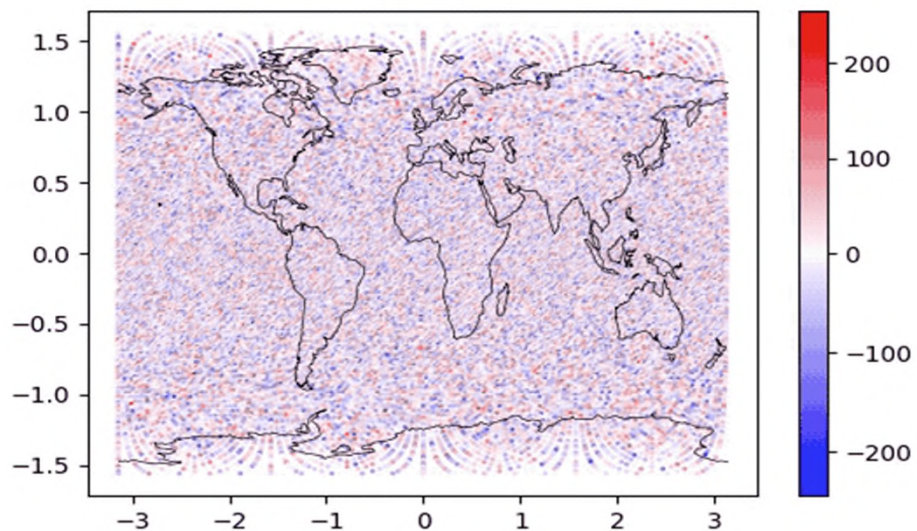
	第 1 代模型	第 2 代模型
範例模型	GraphCast (Google) 、 AIFS (ECMWF)	GenCast (Google) 、 AIFS ENS (ECMWF)
目標用途	單一 / 決定性預報 *	<b>系集 / 機率性預報</b> → 有展期預報潛力 (但現有模型尚未對展期預報 優化，仍存在一些問題)
有無模式擾動？	無	<b>有</b>
預報長時間後的特性	預報場 <u>越來越平滑</u>	(在單一成員中) 預報場 得以 <b>維持合理天氣系統結構</b>
訓練優化標的	決定性預報指標 (如 RMSE 等)	系集預報指標 (如系集離散度、CRPS 等)

\* 去年我們嘗試過用第 1 代模型 (GraphCast 等) 介接 TGFS 系集初始場做系集預報，  
結果顯示系集離散度不足，無法產製品質良好的系集預報。

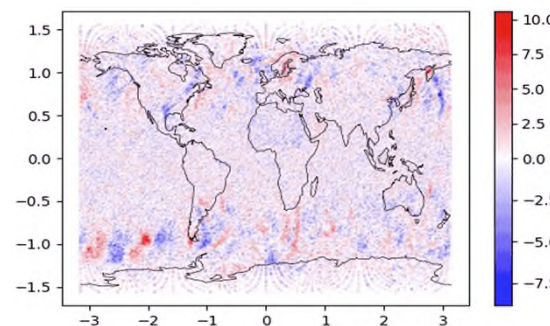
趙子瑩等人：以氣象署全球模式系集資料同化分析場初始化人工智慧天氣預報模型之系集預報評估。113年天氣分析與預報研討會。

# GenCast 模型簡介

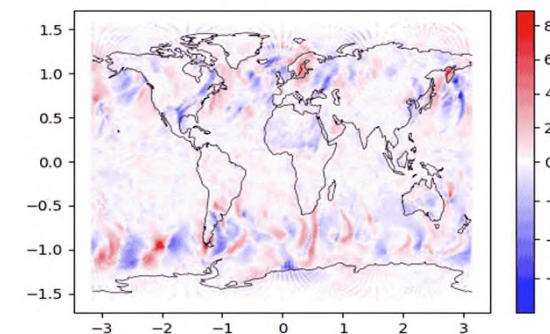
- 擴散模型從雜訊還原成大氣狀態過程示意動畫
- 觀察到模型能從雜訊還原成天氣系統分布



雜訊  $Z_{Diffusion Step 0}^{m_1}$



雜訊  $Z_{Diffusion Step N}^{m_1}$



結果  $X^{1,m_1}$

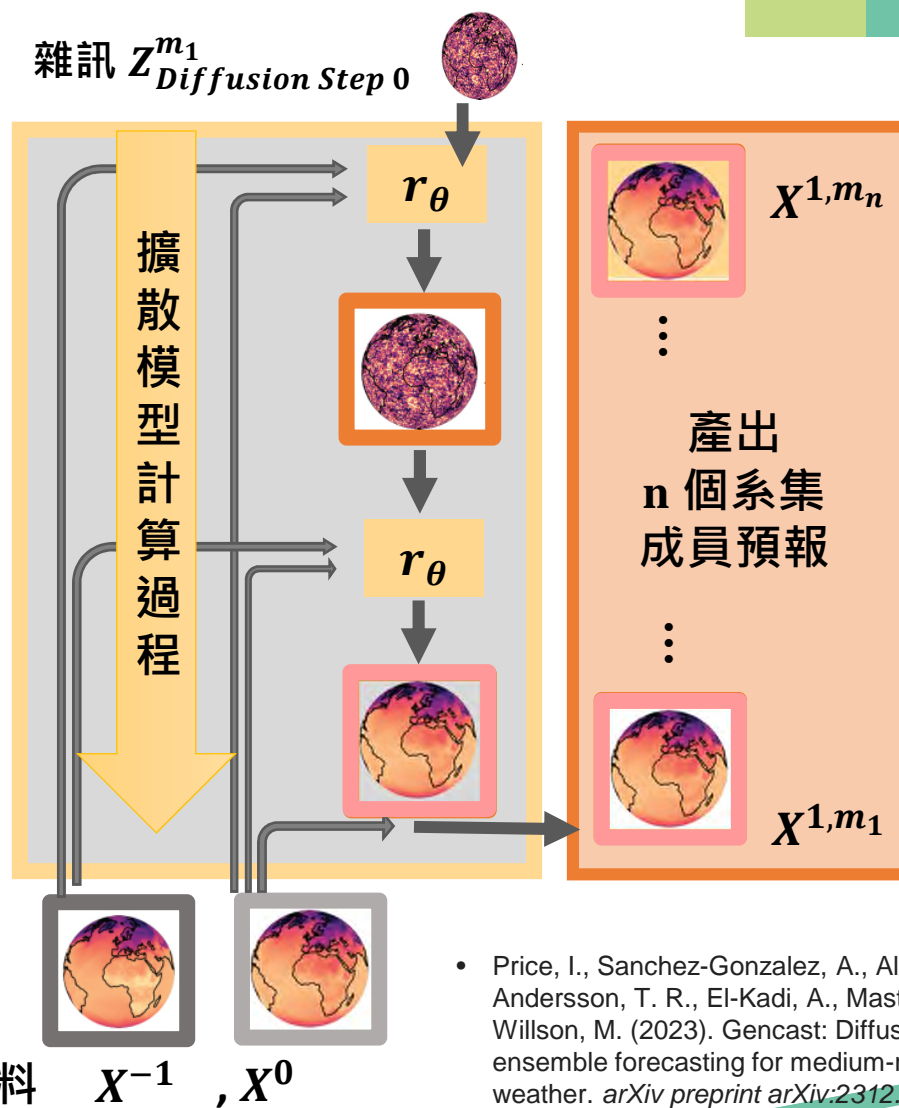
擴散模型計算過程

# GenCast 模型簡介

- 以兩筆不同時間資料  $X^{-1}, X^0$  及生成雜訊  $Z$
- 透過擴散模型來預報下一個時步  $X^1$
- $X^{-1}, X^0$  分別代表 12 小時前以及當下資料
- $X^{1,m_1}$  代表第一個成員的 12 小時後預報
- 下方列表為模型使用變數

Type	Variable name	Short name	ECMWF Parameter ID	Role (accumulation period, if applicable)
Atmospheric	Geopotential	z	129	Input/Predicted
Atmospheric	Specific humidity	q	133	Input/Predicted
Atmospheric	Temperature	t	130	Input/Predicted
Atmospheric	U component of wind	u	131	Input/Predicted
Atmospheric	V component of wind	v	132	Input/Predicted
Atmospheric	Vertical velocity	w	135	Input/Predicted
Single	2 metre temperature	2t	167	Input/Predicted
Single	10 metre u wind component	10u	165	Input/Predicted
Single	10 metre v wind component	10v	166	Input/Predicted
Single	Mean sea level pressure	msl	151	Input/Predicted
Single	Sea Surface Temperature	sst	34	Input/Predicted
Single	Total precipitation	tp	228	Predicted (12h)
Static	Geopotential at surface	z	129	Input
Static	Land-sea mask	lsm	172	Input
Static	Latitude	n/a	n/a	Input
Static	Longitude	n/a	n/a	Input
Clock	Local time of day	n/a	n/a	Input
Clock	Elapsed year progress	n/a	n/a	Input

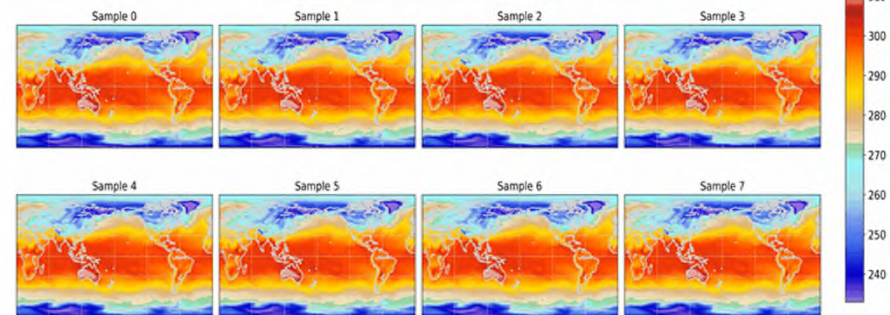
## 模型流程圖



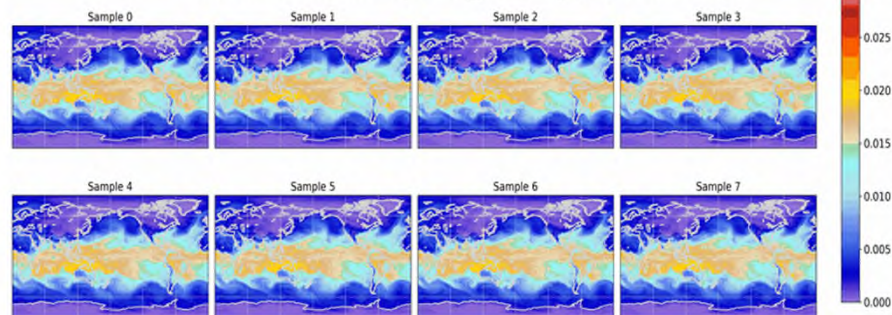
# GenCast 預報結果展示

- 以下為 模型預報 14 天、8 個成員示意動畫
- 初始場依 Price et al. (2023) 使用 EC 決定性初始場。
- 繪製變數：比濕、重力位高度、2米溫度、海平面氣壓、12 小時累積降雨

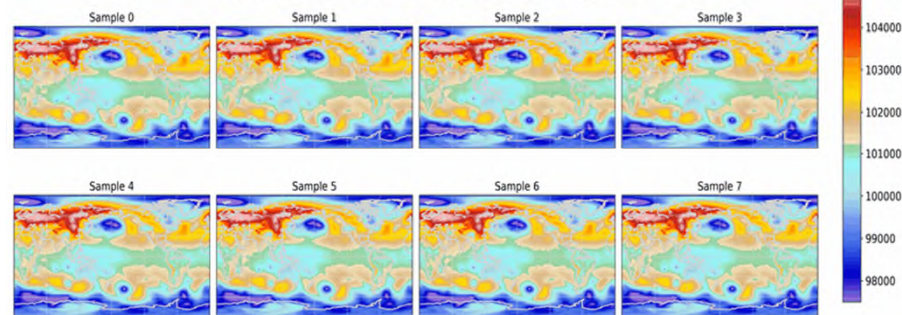
2025-02-07 06:00Z 2m\_temperature @



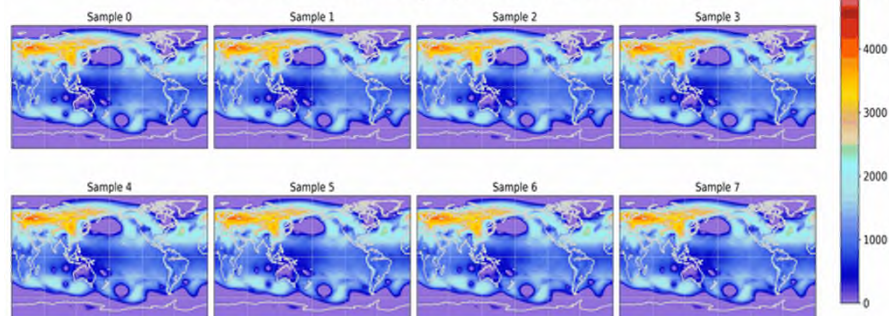
2025-02-07 06:00Z specific\_humidity @ (Level 1000)



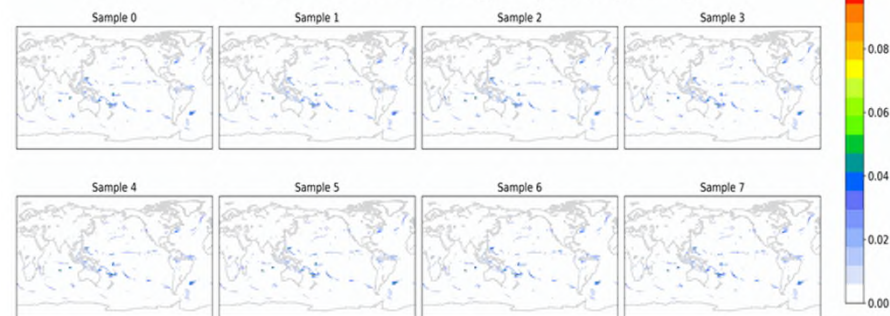
2025-02-07 06:00Z mean\_sea\_level\_pressure @



2025-02-07 06:00Z geopotential @ (Level 1000)



2025-02-07 06:00Z total\_precipitation\_12hr @



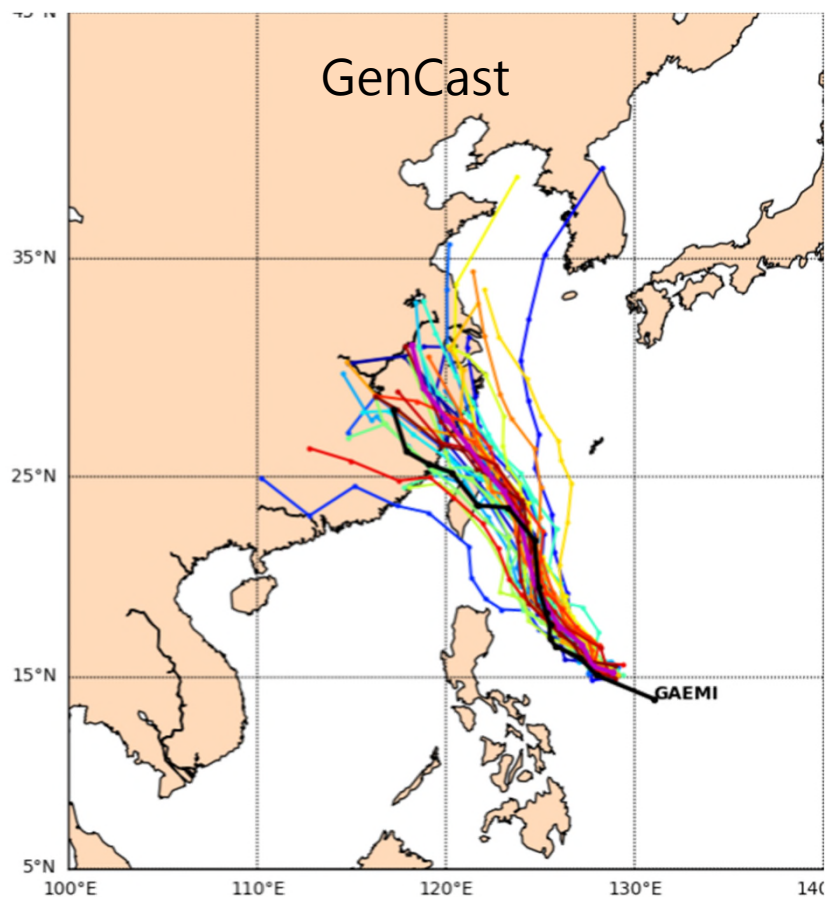
# GenCast 表現評估



- 圖中**黑色實線**為氣象署 Best Track 路徑，其他色彩路線為 GenCast 各成員路徑
- 颱風中心定位方法與氣象署全球模式作業評估一致
- **桃紅色實線**為系集平均路徑

初始時間

0719  
12Z



# GenCast 表現評估

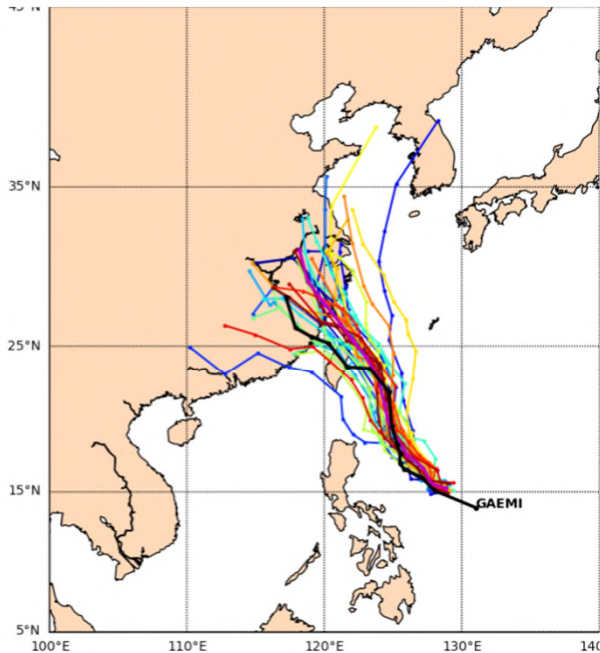


- 以此 0719 12Z 初始時間與 EC、NCEP 傳統模式系集路徑比較：
  - GenCast 預測路徑發散程度較 EC、NCEP 路徑略為收斂
  - GenCast 系集平均路徑為三者中與真值最接近

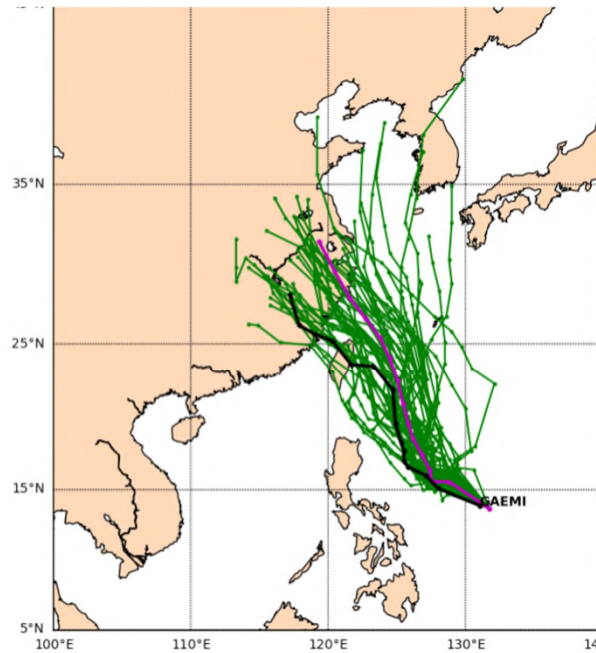
初始時間

0719  
12Z

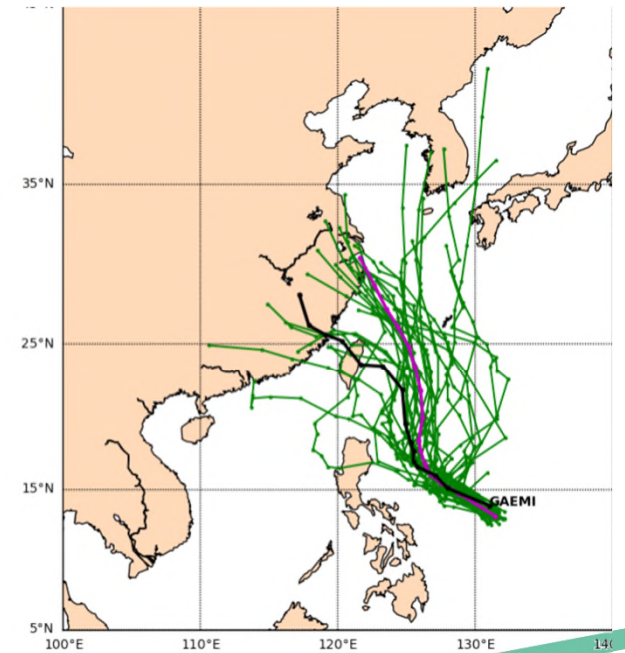
GenCast



EC [傳統模式]



NCEP [傳統模式]



# GenCast 表現評估



- 以此 0720 12Z 為初始場為例：
  - GenCast 系集平均路徑 已預測颱風將會登陸臺灣
  - 而 EC 及 NCEP 系集平均路徑 仍預測中心距離臺灣東北海岸稍遠通過

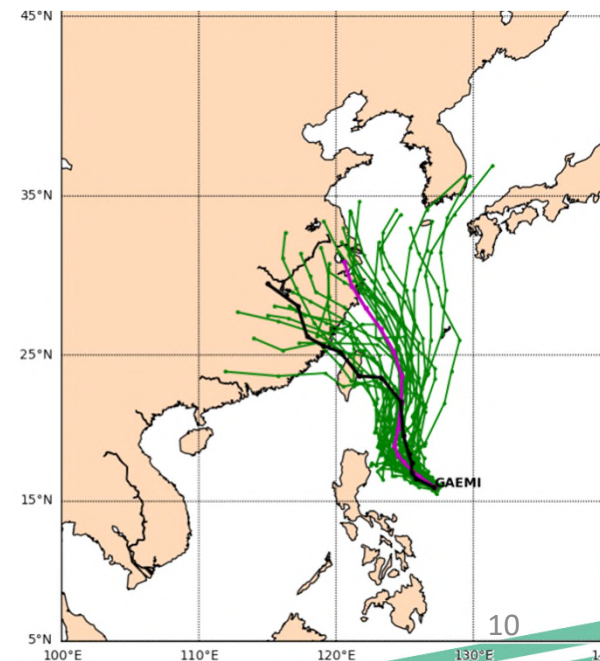
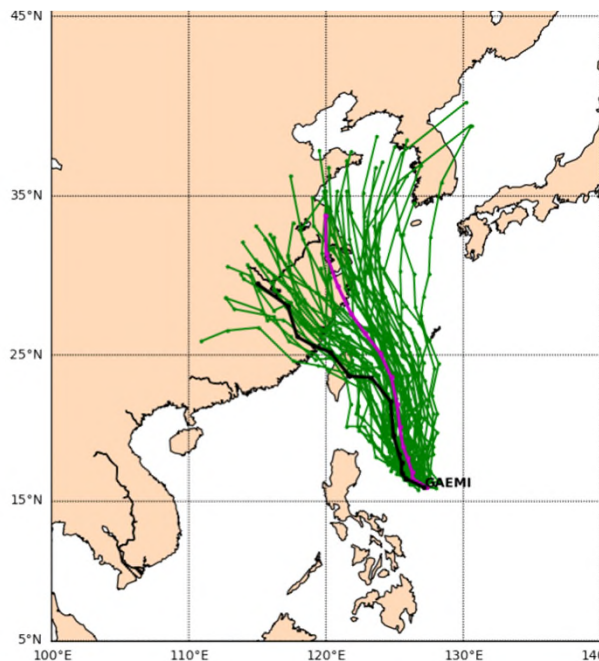
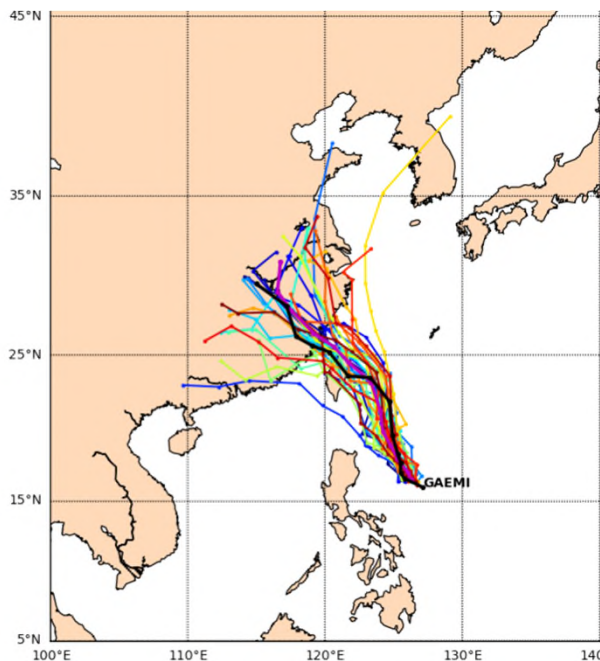
GenCast

EC [傳統模式]

NCEP [傳統模式]

初始時間

0720  
12Z

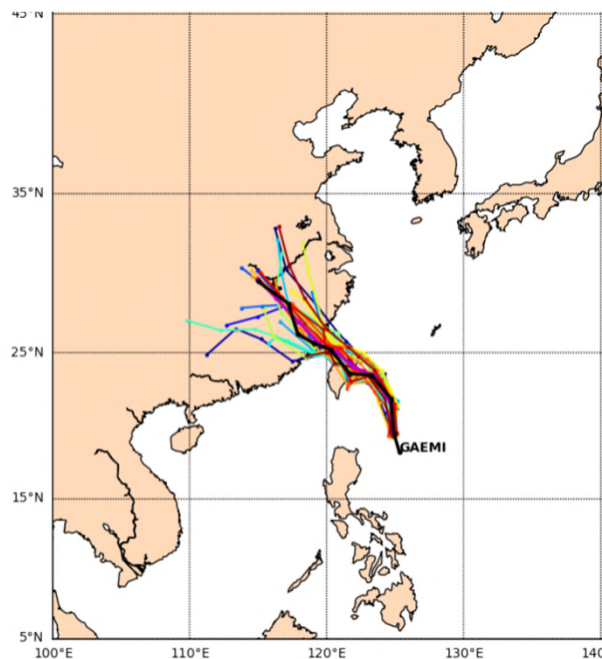


# GenCast 表現評估

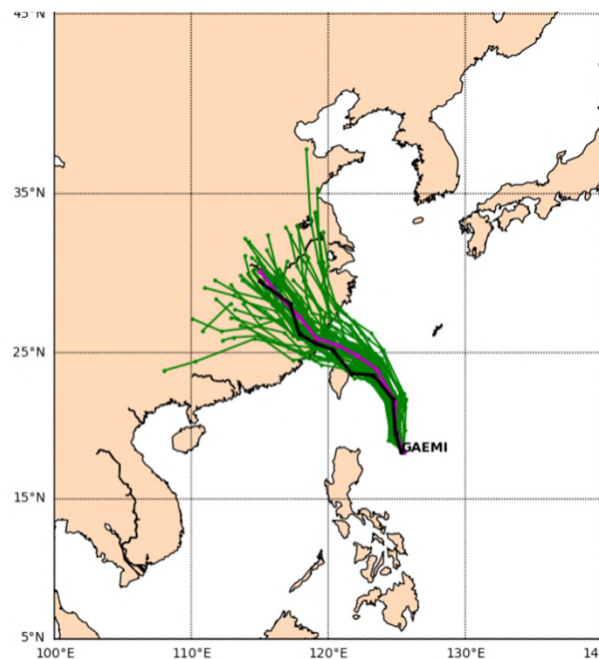


- 以此 0722 12Z 為初始場為例：
  - 三者預報皆顯示颱風侵襲臺灣機率高
  - GenCast 系集路徑最為收斂

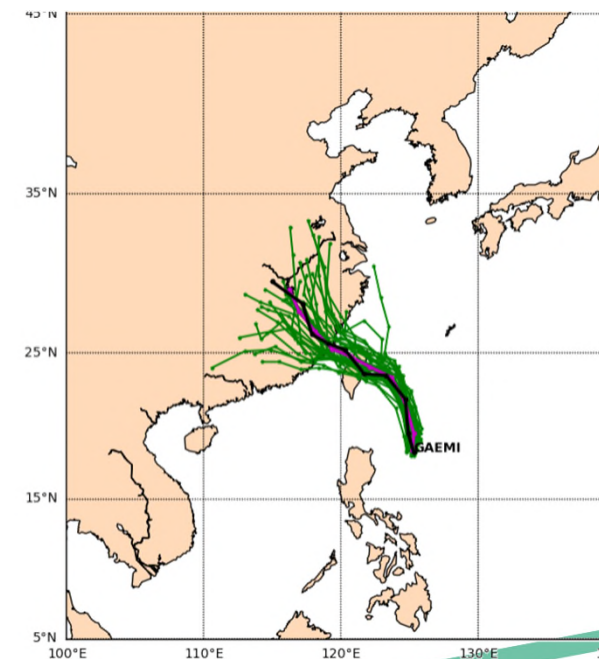
GenCast



EC [傳統模式]



NCEP [傳統模式]



初始時間

0722  
12Z

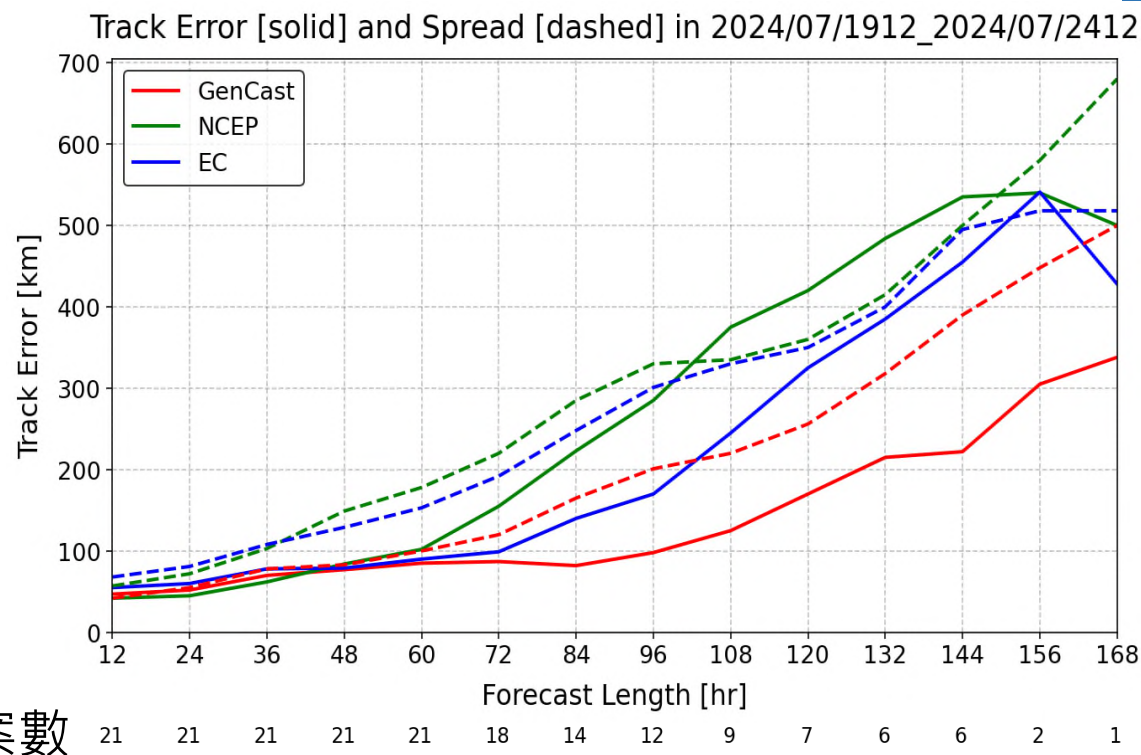
# GenCast 表現評估



- 蒐集自 2024/07/19 12Z 至 07/24 12 Z 為初始

時間逐 12 小時預報作中心定位誤差分析

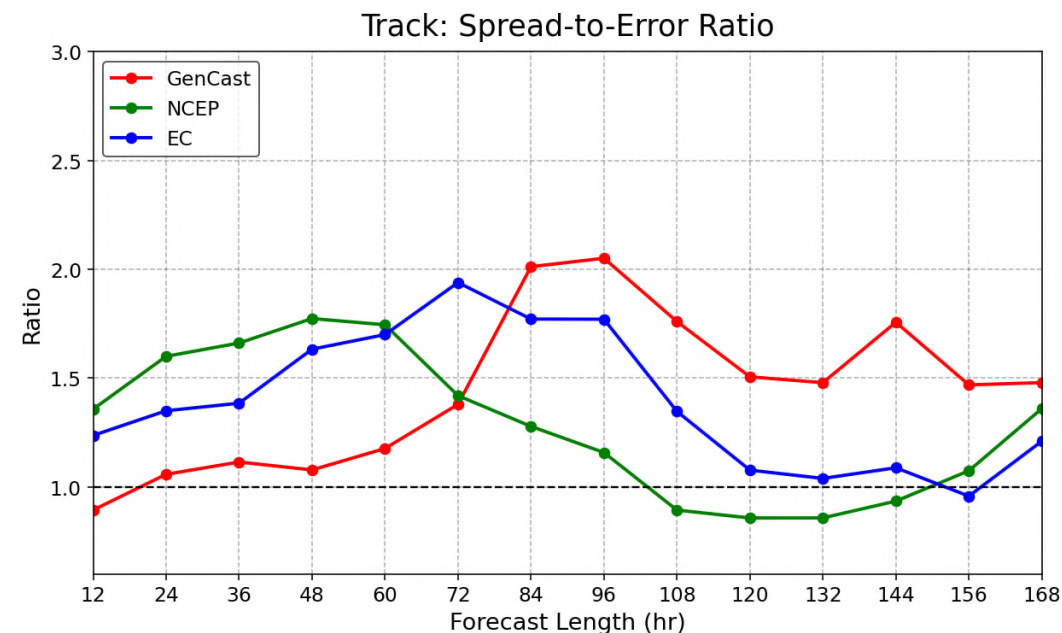
- 三者之中，GenCast 於 84 小時預報後系集平均預報誤差較小
- 大部分時間段誤差皆小於 NCEP、EC



# GenCast 表現評估



- 由前頁各自時間計算 Spread/Error 比值
  - 72 小時以前，GenCast Ratio 表現最佳
  - 84 小時以後，GenCast 系集的離散度偏大
  - EC 及 NCEP 在 84 小時以後 Ratio 表現較好



- $\approx 1$  表系集成員間分散程度與實際預報誤差相當

# GenCast 運算效能評估



- 藍底為 HPC 測試之結果，綠底為 Github <sup>1</sup>他人數據，橘底為 google 團隊於文章中宣稱
- 該模型於 GPU 上運行效率遠低於 TPU，Google DeepMind 團隊亦有發現此情況
- 推論因其函式有對 TPU 進行改善，並不完全適合於 GPU

模型解析度 0.25°

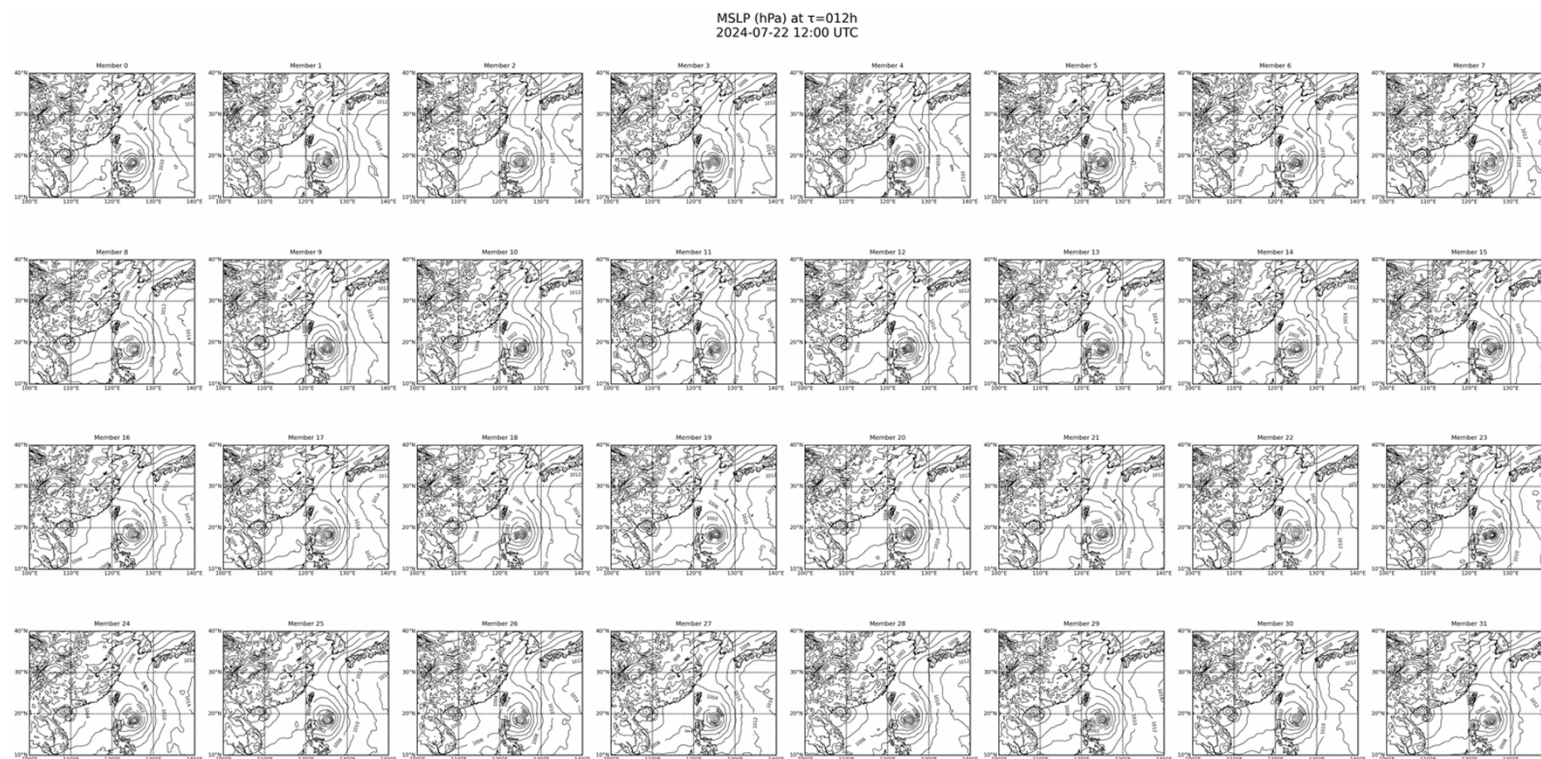
	NVIDIA 8 x A100			NVIDIA 8 x H100	Google TPU v5
系集成員數	8	32	32	8	8
預報步數 [12hr / 步]	30	20	30	30	30
耗費時間 [second]	3875	9600	14254	2100	500
FP 32 Performance	78			480	

<sup>1</sup> [https://github.com/google-deepmind/graphcast/issues/106?utm\\_source=chatgpt.com](https://github.com/google-deepmind/graphcast/issues/106?utm_source=chatgpt.com)

# GenCast 預報後期雜訊影響



- 相較於決定性 AI 天氣預報模型預報後期會逐漸平滑
- 於預報後期會出現雜訊無法被還原之現象 → 尚難以應用至展期預報



後期雜訊示意動畫

# GenCast 預報後期雜訊影響

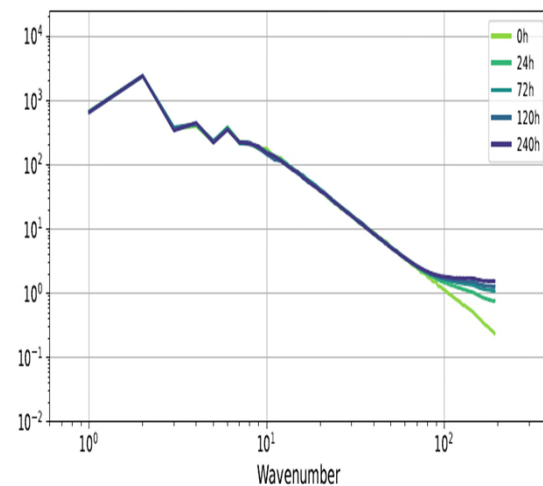
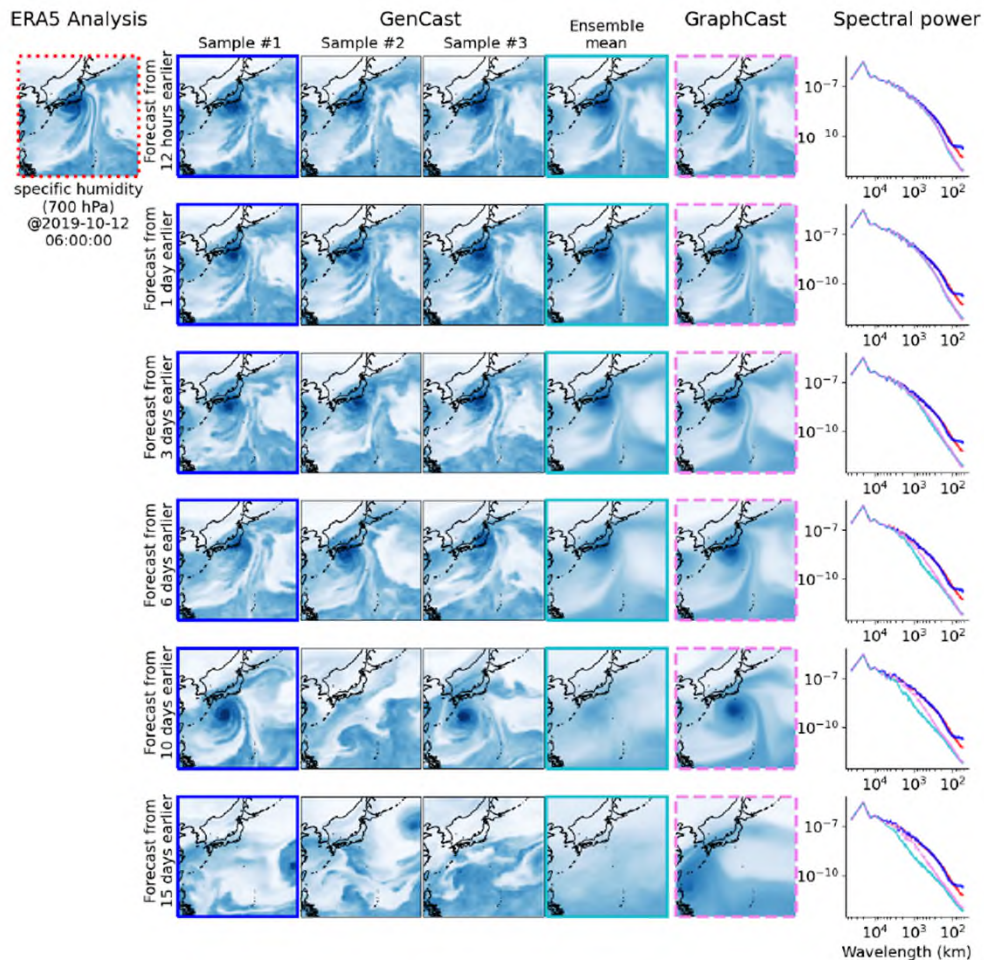


- GenCast 文章<sup>1</sup>亦顯示出其小尺度能譜偏大
- EC AIFS ENS<sup>2</sup>中為了降低小尺度擾動隨著時間

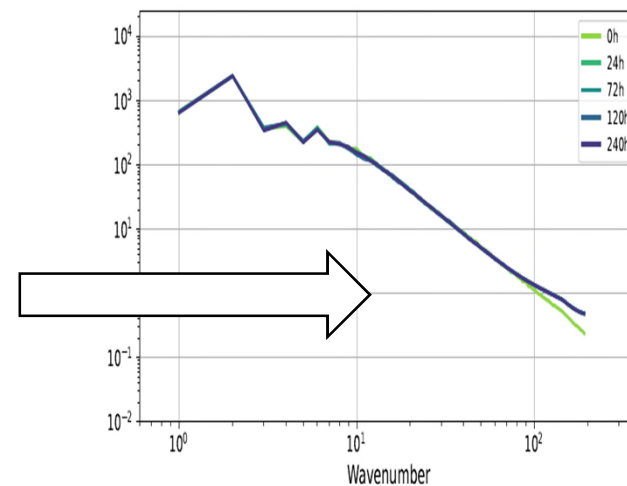
(藍線)

過度增長，於預報過程中採用了升、降解析度

過程 [詳 Lang *et al.* (2024) Section 2.1, 5.1]



未加入修正過程



加入修正過程

- <sup>1</sup>Price, I., Sanchez-Gonzalez, A., Alet, F., Andersson, T. R., El-Kadi, A., Masters, D., ... & Willson, M. (2023). Gencast: Diffusion-based ensemble forecasting for medium-range weather. *arXiv preprint arXiv:2312.15796*.
- <sup>2</sup>Lang, S., Alexe, M., Clare, M. C., Roberts, C., Adewoyin, R., Bouallègue, Z. B., ... & Leutbecher, M. (2024). AIFS-CRPS: ensemble forecasting using a model trained with a loss function based on the continuous ranked probability score. *arXiv preprint arXiv:2412.15832*.

# 結論



- GenCast 於 2024 年凱米颱風個案中顯示出相比於傳統模式( EC、NCEP) , 能更早掌握出更接近真實情況的颱風中心路徑預測。
- 此個案中 , 系集預報誤差/離散度比值顯示 GenCast 在預報 84 小時內表現較 EC、NCEP 好
- 但**運算成本相較偏高**、且有其應用限制 , 難以用於展期尺度預報。
- 因效率較高且更適合作業使用之 AIFS ENS 系集 AI 天氣預報模型已發布 , 其具備與 GenCast 相近的應用面向 , 經評估後未來建議以 AIFS ENS 的應用作為主要發展方向。



- 感謝大家的聆聽！