運用AI技術深化農業領域氣候服務

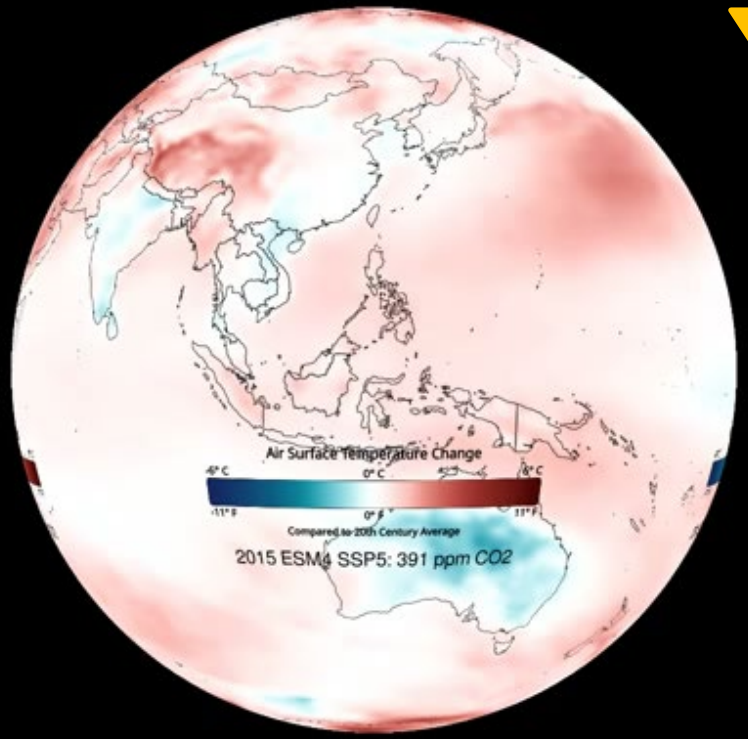
洪 景 山，氣象署同仁

中 央 氣 象 署

流體的本性：

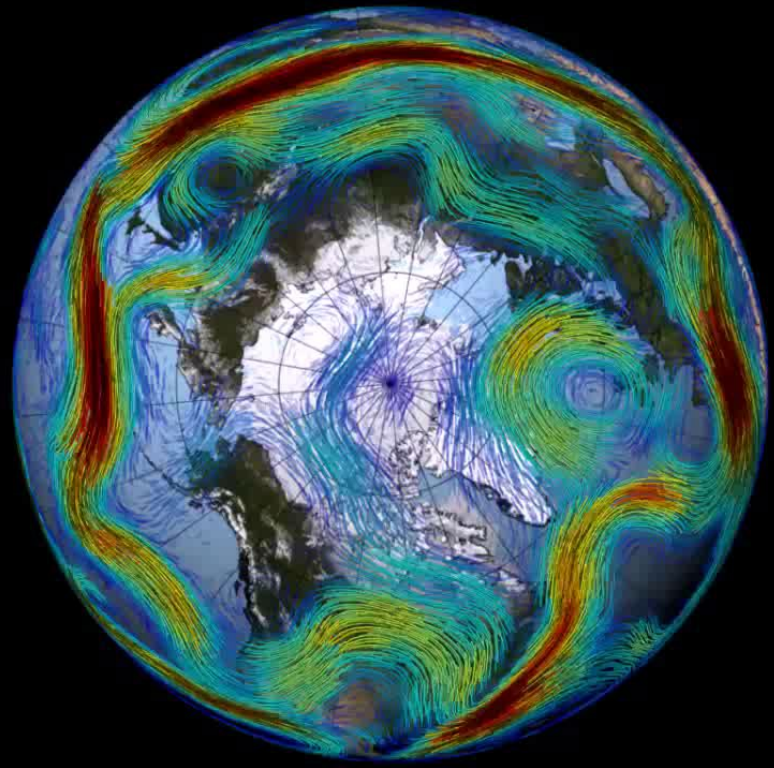
- 具空間和時間的連續性
  - 現在，是過去的累積，也連接未來的發展
  - 本地和遠方有密切的相關
- 時間和空間多重尺度互相影響
  - 小尺度衝擊大，導致極端事件
  - 大尺度造成難以察覺的變化，趨勢影響幽暗不明

氣候變遷下，極端天氣/氣候的衝擊



IPCC 氣候推估 2015-2100

- 氣候，長時間天氣的平均，通常是**30年**
- **氣候變遷**，因**人為因素**導致的氣候變化，是一個**長期趨勢**
- **氣候變異**是自然的現象，氣候變異往往連結**極端氣候**事件
  - 乾旱、高溫、豪雨、颱風的強度及頻率…
- **全球暖化**下的**極端氣候**，連結到**極端天氣**，是各領域所面對的**氣候威脅**

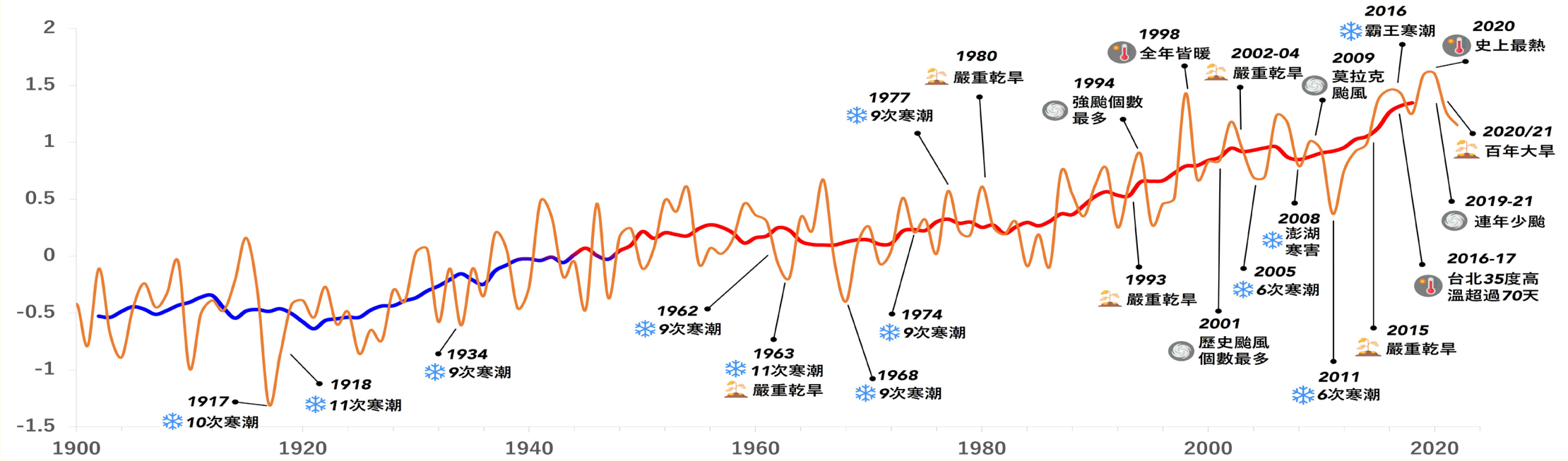


極端天氣/氣候

“Climate is what you expect, Weather is what you get”

--- American science fiction author Robert Heinlein

影響生活的是極端天氣及極端氣候



2020 極端高溫

2020年6、7月

1. 臺北站6月及7月各有連續16天以上氣溫超過36度
2. 臺北站單日最高溫達39.7度
3. 12個局屬測站平均最高溫度創1951年來新高

2016 霸王寒潮

2016年1月24-27日

1. 新竹站首次下霰
2. 臺北站和嘉義站首次降冰珠
3. 8個測站最低溫創1951年來新低
4. 預估農漁業損失約41億元

2020-2021 百年大旱

2020年5月-2021年6月

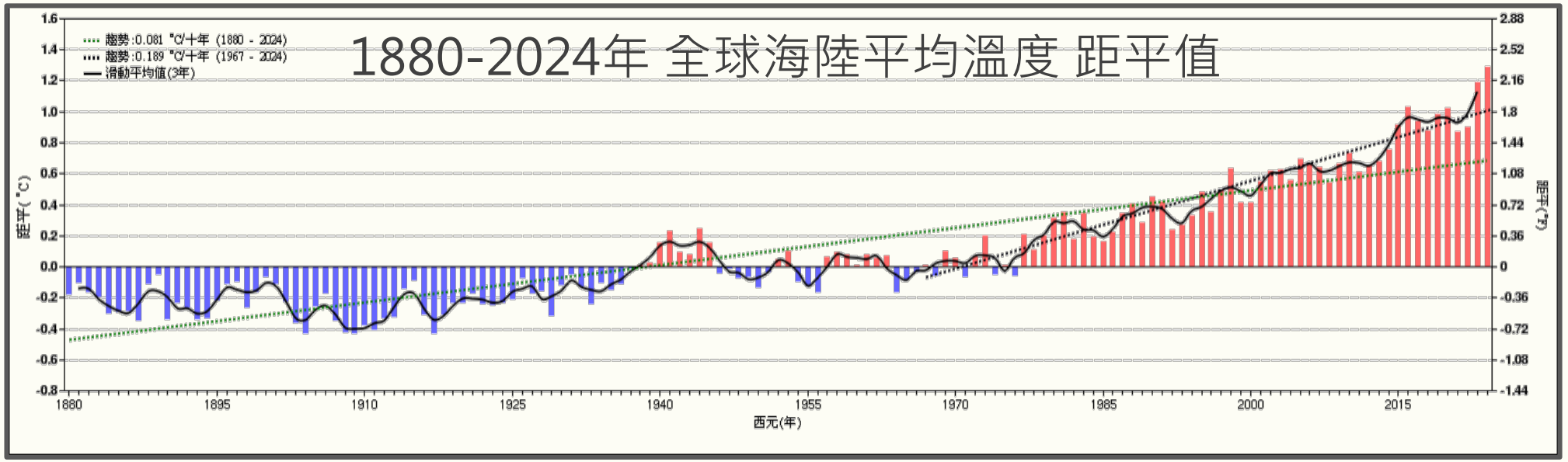
1. 雨量創1910年有紀錄以來同期最少
2. 造成臺灣史上首次二期稻作及隔(2021)年一期稻作同時停灌，農業損失共計約達16.5億元

2024 凱米颱風

2024年7月23-26日

1. 宜蘭、花蓮發布4次強風告警，為發布最多的一次
2. 首次於發布風雨預報的第一報預估雨量就達1800毫米，為歷史首報預估最多
3. 單日累積雨量近逼莫拉克
4. 預估農業產物及民間設施損失計36億元

全球暖化之農業威脅


1880-2024年 全球海陸平均溫度 距平值
趨勢:0.081 °C/十年 (1880 - 2024)
趨勢:0.189 °C/十年 (1967 - 2024)
滑動平均值(3年)
距平(°C)
距平(°F)
西元(年)


暴雨


高溫
乾旱


2025 年 07 月 16 日 上水所 時事、政策
https://www.newsmarket.com.tw/blog/224481/
攝影/楊諺芸
颱風


寒潮

如何面對氣候變遷的威脅？

從氣候科學

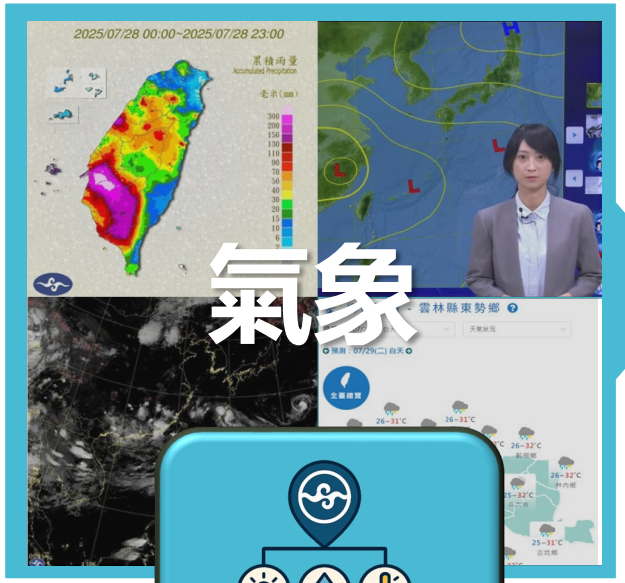
到

氣候行動

氣候服務

Climate Service is

- **WMO, 2009**
  - The provision and use of climate data, information and knowledge to assist **decision-making**.
- **AMS council 2012**
  - Scientifically based information and products that enhance users' knowledge and understanding about the impacts of climate on their **decisions and actions**.
- **A Federal Framework and Action Plan for Climate Services, 2023**
  - Scientifically-based, usable information and products that enhance knowledge and understanding about the impacts of climate change on **potential decisions and actions**.
- 使用以科學為依據的**氣候資料**、資訊和知識，以協助**決策行動**



農業氣候服務

中央氣象署

氣象資料供應

農業使用者
農會/農民

中央氣象署

中央/地方
農業公部門夥伴

資源投入

回饋

提出需求

交流

本土化 參與式
農業氣候服務

支援決策管理

回饋

資源投入

加值服務

回饋

私部門
加值服務產業

農業使用者
農會/農民

在地、有感

觀測+預報➔氣候服務基礎

33
署屬氣象站

27
光學式雨滴譜儀

504
自動氣象站

147
自動雨量站

25
閃電觀測

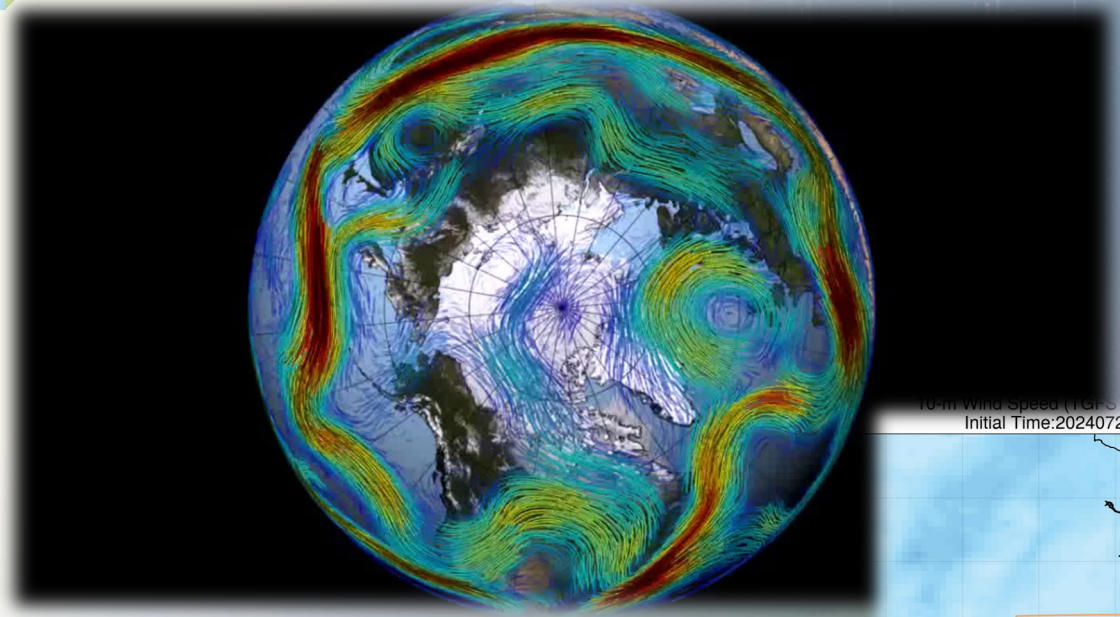
3
探空觀測

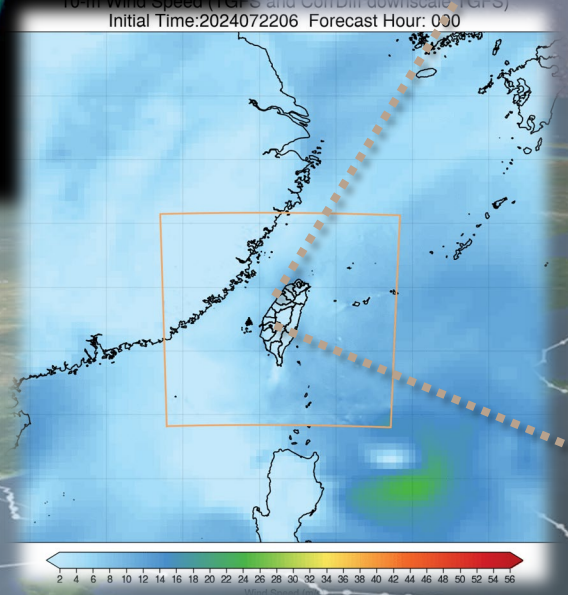
133
農業氣象站

全臺近5年測站數

掌握在地觀測

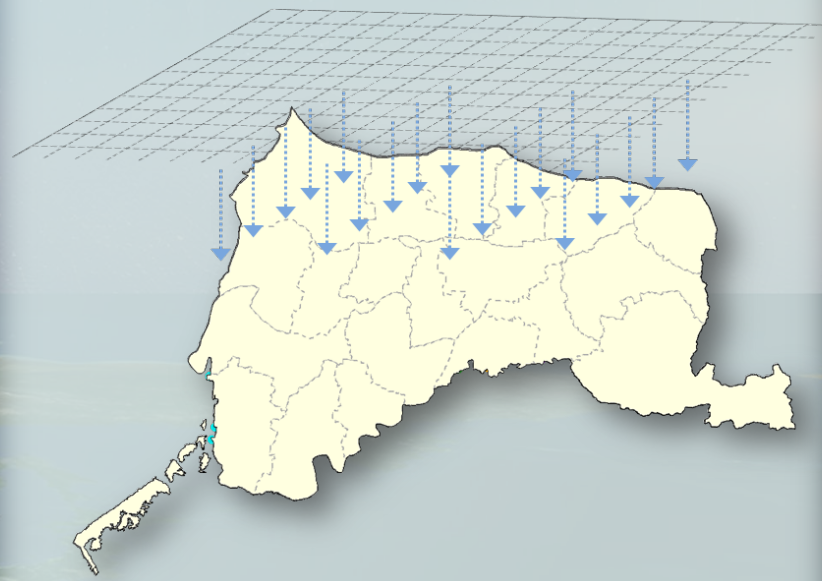
全球到區域預報





區域到當地

1 公里 預報網格



氣候服務：高解析度預報 是關鍵

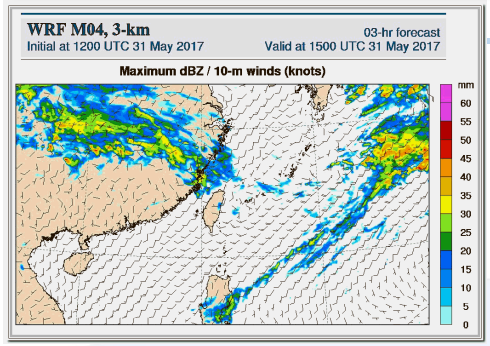
中央氣象署
Central Weather Administration

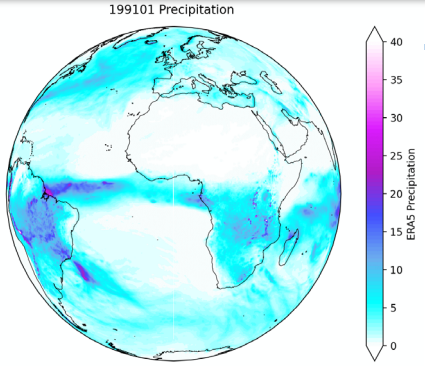
Machine Learning Weather Prediction Model (MLWP)

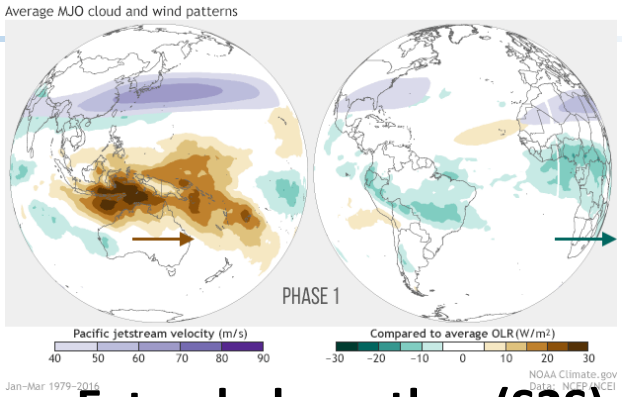
天氣預報的新契機

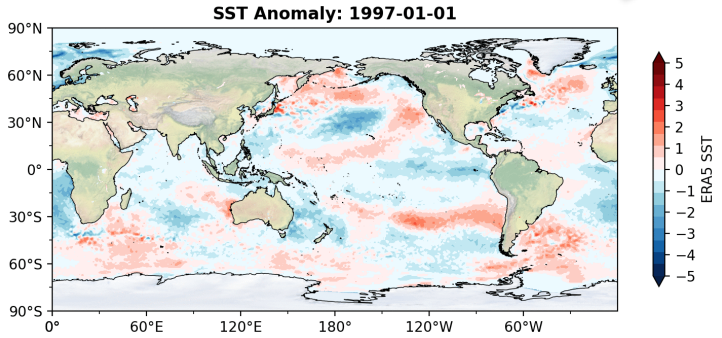
目前CWA天氣/氣候預報作業現況

0~5day　16day　45day　9month









Regional weather

- CWA RWRF (13 hours)
- CWA CEPS (13 hours)
- CWA WRFD (5 days)
- CWA TWRF (5 days)
- CWA WEPS (5 days)

Global weather

- CWA TGFS (16 days) (Global-25km)

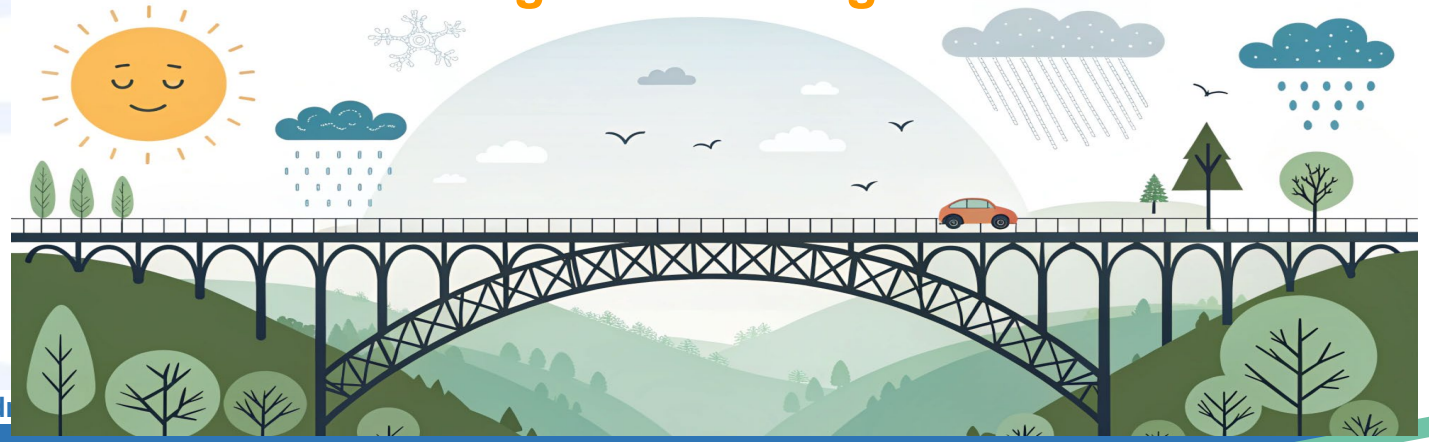
Extended weather (S2S)

- CWA GEPSv2 (45 days) (Global-28km + RSM-5km)
- 21 members

Short-term climate

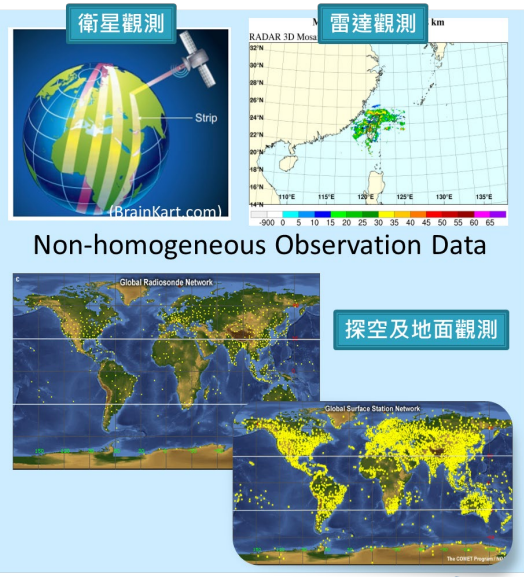
- CWACFSv2 (9 months) (Global-55km + RSM-12km)
- 30 members/month

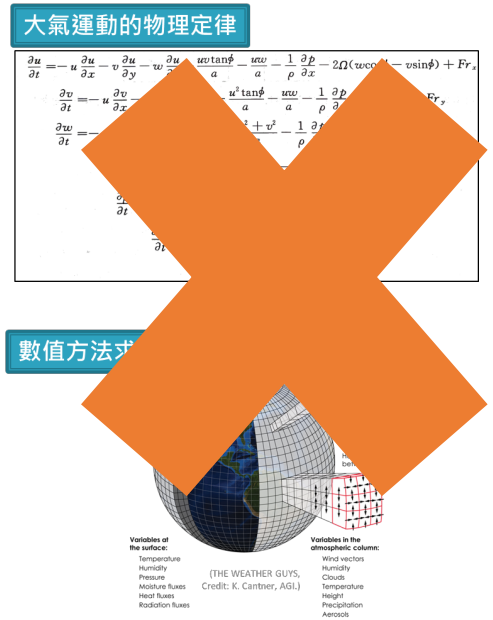
Seamless forecast guidance ranges to seasonal outlook



傳統數值天氣預報 邁入 AI天氣預報

傳統基於流體力學和物理過程的數值預報模式

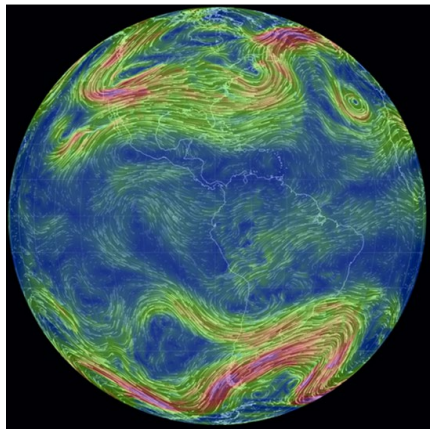




- 嚴謹物理過程，對大氣變化具可解釋性
- 具高解析度之氣象預報變數

超級電腦運算

得出大氣變化的資料



基於資料科學的AI預報模型

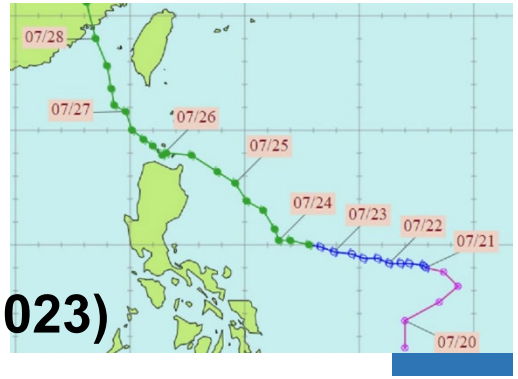
從資料中學習 —

- 用歷史天氣記錄或再分析資料訓練機器學習模型
- 讓模型透過資料的經驗規律，預測未來的天氣狀態

- 速度快、運算資源低
- 預報更準
- 物理一致性和可解釋性不足

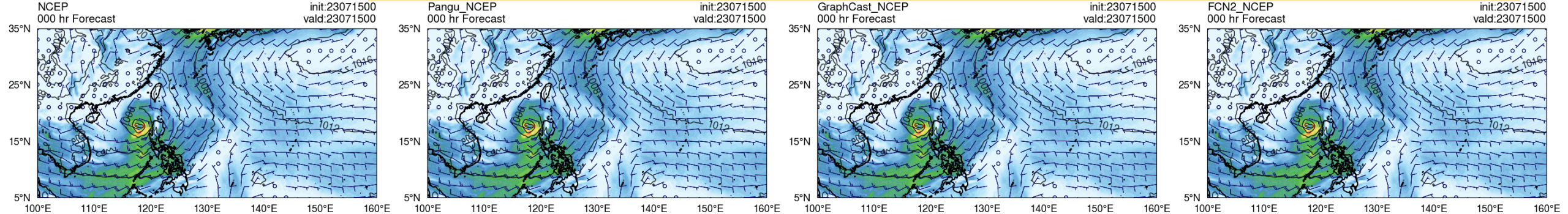
Looking at the MLWP model forecasts

- All the MLWP models can predict the **genesis** of Typhoon Doksuri with **~5 days lead time** *!!*

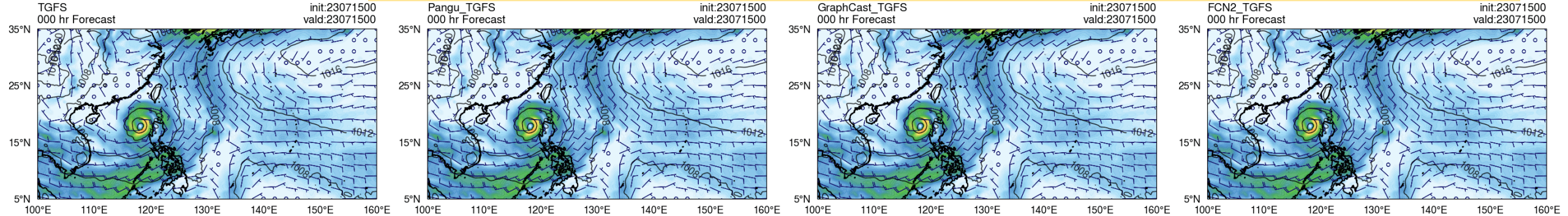


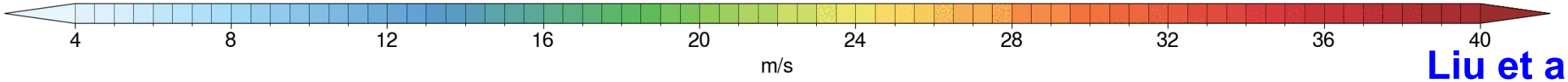
Typhoon Doksuri (2023)

NCEP GFS forecast | GFS IC ; Pangu-Weather, GraphCast, FourCastNet 2



CWA TGFS forecast | TGFS IC ; Pangu-Weather, GraphCast, FourCastNet 2





Liu et al. (2024)

全球AI模型在氣象署的落地應用

113年凱米颱風

人工智慧與物理模型預報路徑 (7月20日8時)

全球AI模型

（共18個）

開源模型

（6種）

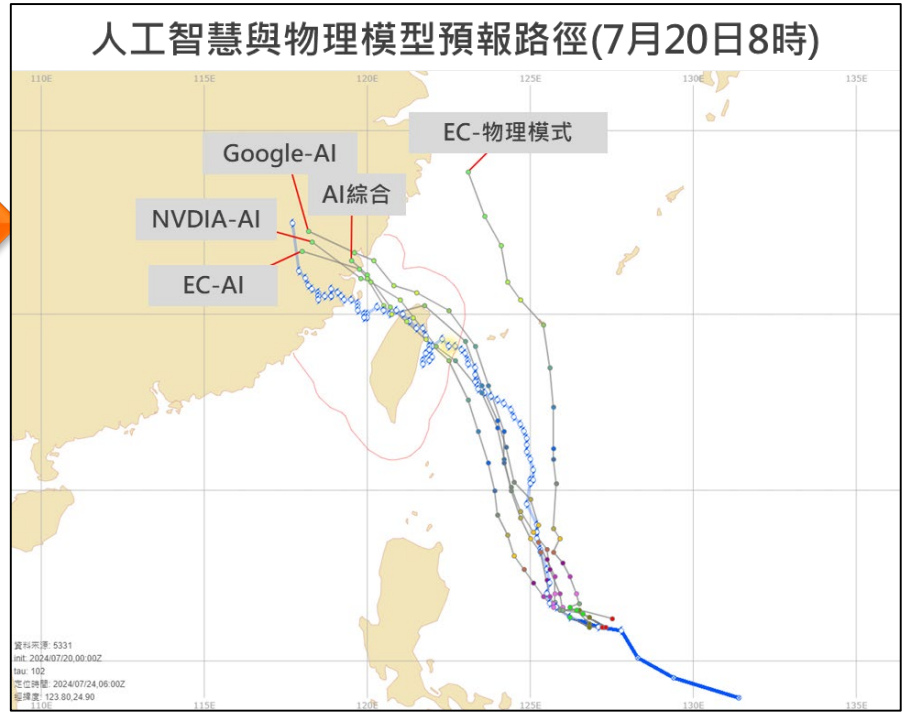
包含google, NVIDIA, Microsoft…等

初始輸入資料

（3個）

- 美國全球模式
- 歐洲全球模式
- 氣象署全球模式

113年
平行作業

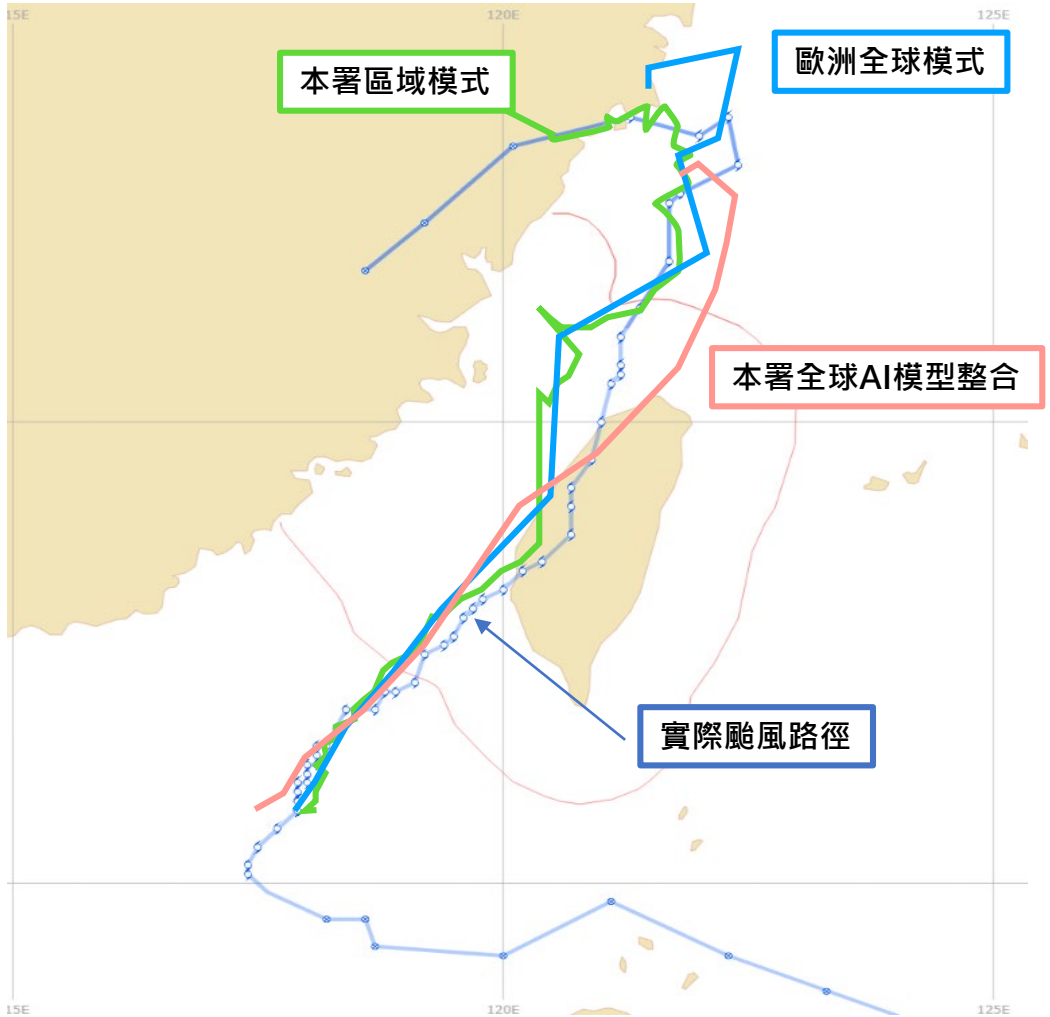


- 首創使用本署全球數值作業模式結合AI模型的創新想法
- 於113年**凱米颱風首次導入**AI模型颱風路徑預報，提升颱風預報作業應用效能

丹娜絲颱風路徑應用及誤差校驗評估

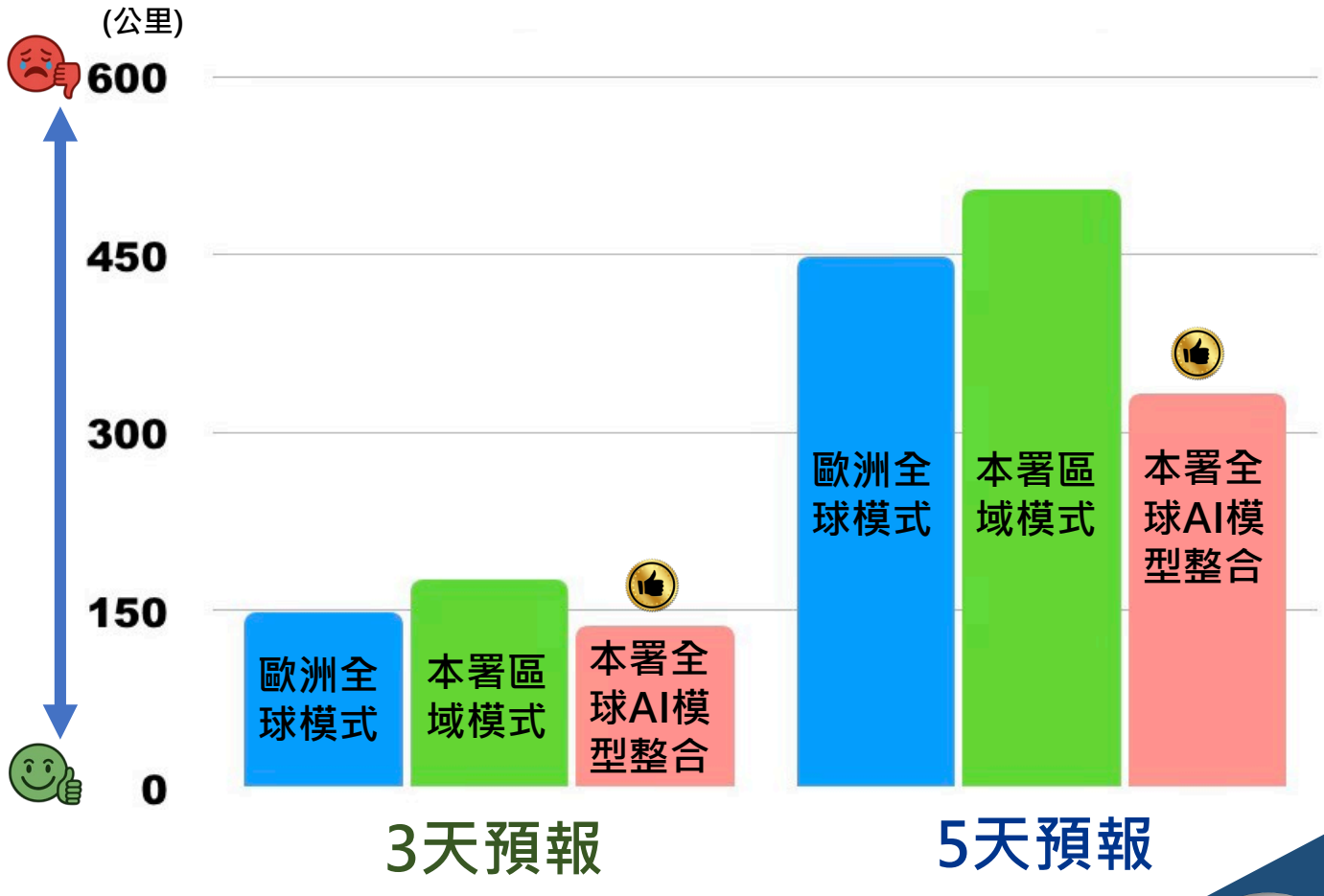
114年丹娜絲颱風

人工智慧與物理模型預報路徑 (7月5日20時)



113~114年至今西北太平洋颱風個案

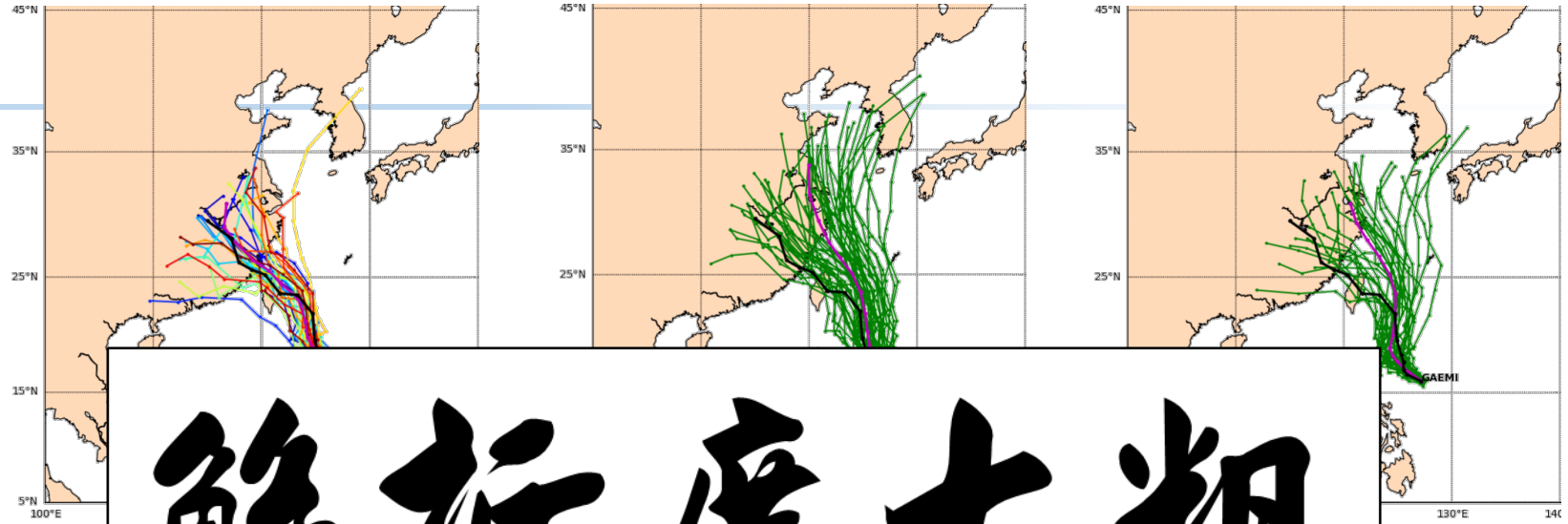
預報路徑誤差校驗



大系集AI預報

初始時間

0720
12Z

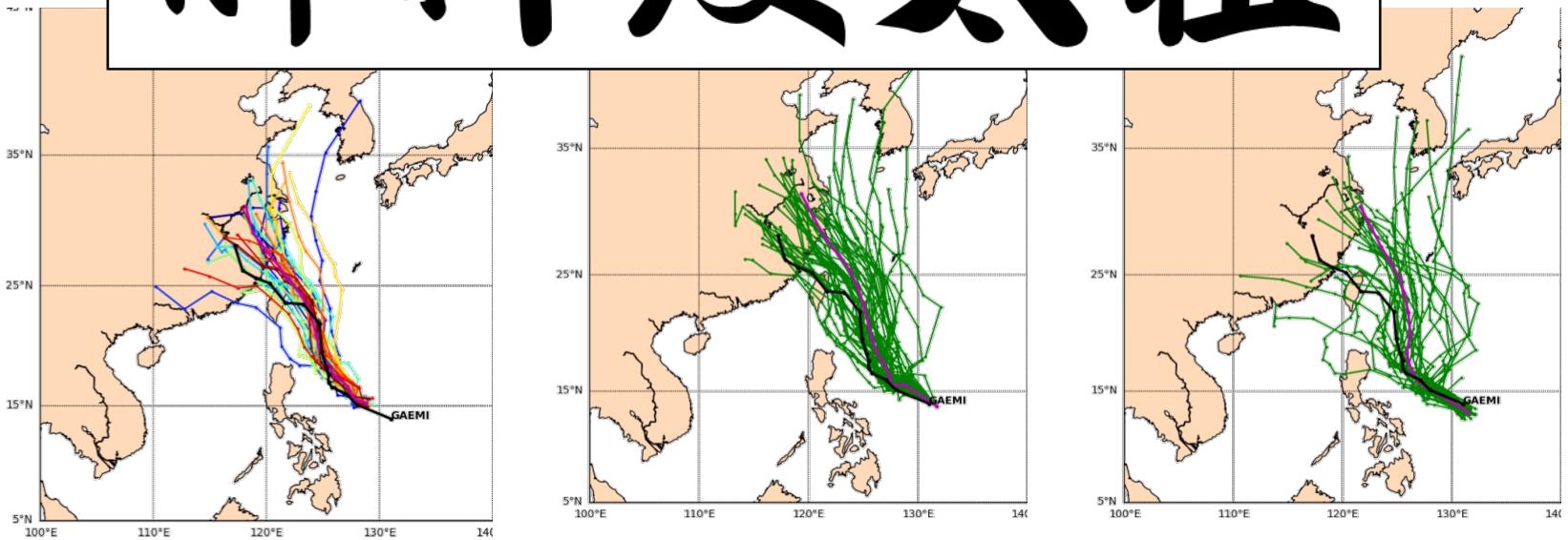


解析度太粗

統模式]

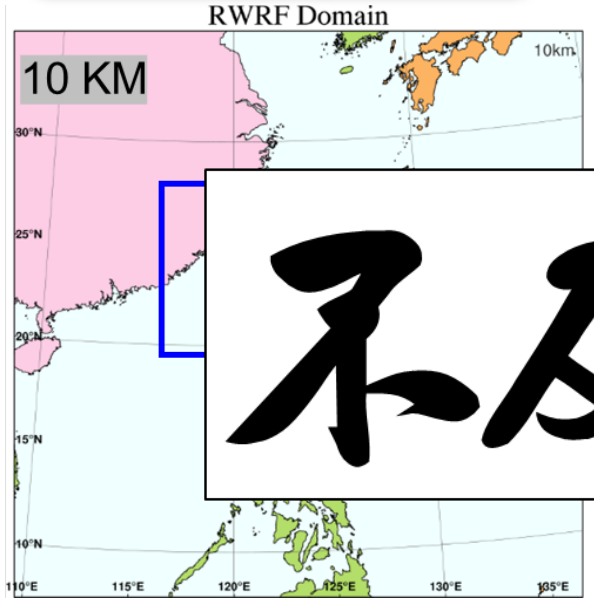
初始時間

0719
12Z



Prototype Development of AI Models for Taiwan Region

Training set



Time Period	2017, 2020–2022 (4 years) Jun.–Oct. (5 months)
Train:Valid:Test	8109:2703:2703≈3:1:1
Time Resolution	1 hr
Spacial Resolution	2 km ⊠ 4 km
I/O	input: t=0, output: t+1 hr
25 Variables	U, V, T, Z @ 200, 500, 700, 850 ,925,1000
	radar @ surface

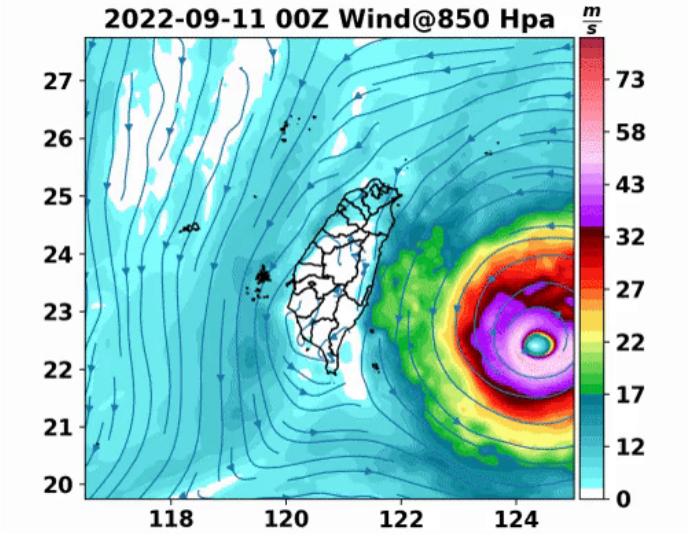
Motivation and Objectives

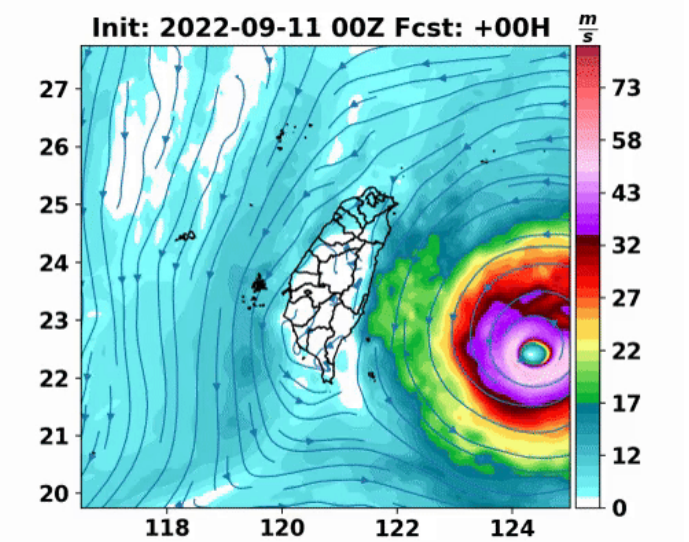
- **High-resolution MLWP model for Taiwan** based on RWRF data.
- Addressing the limitations of global MLWP models in predicting rainfall and severe weather intensity.

不及於氣候應用

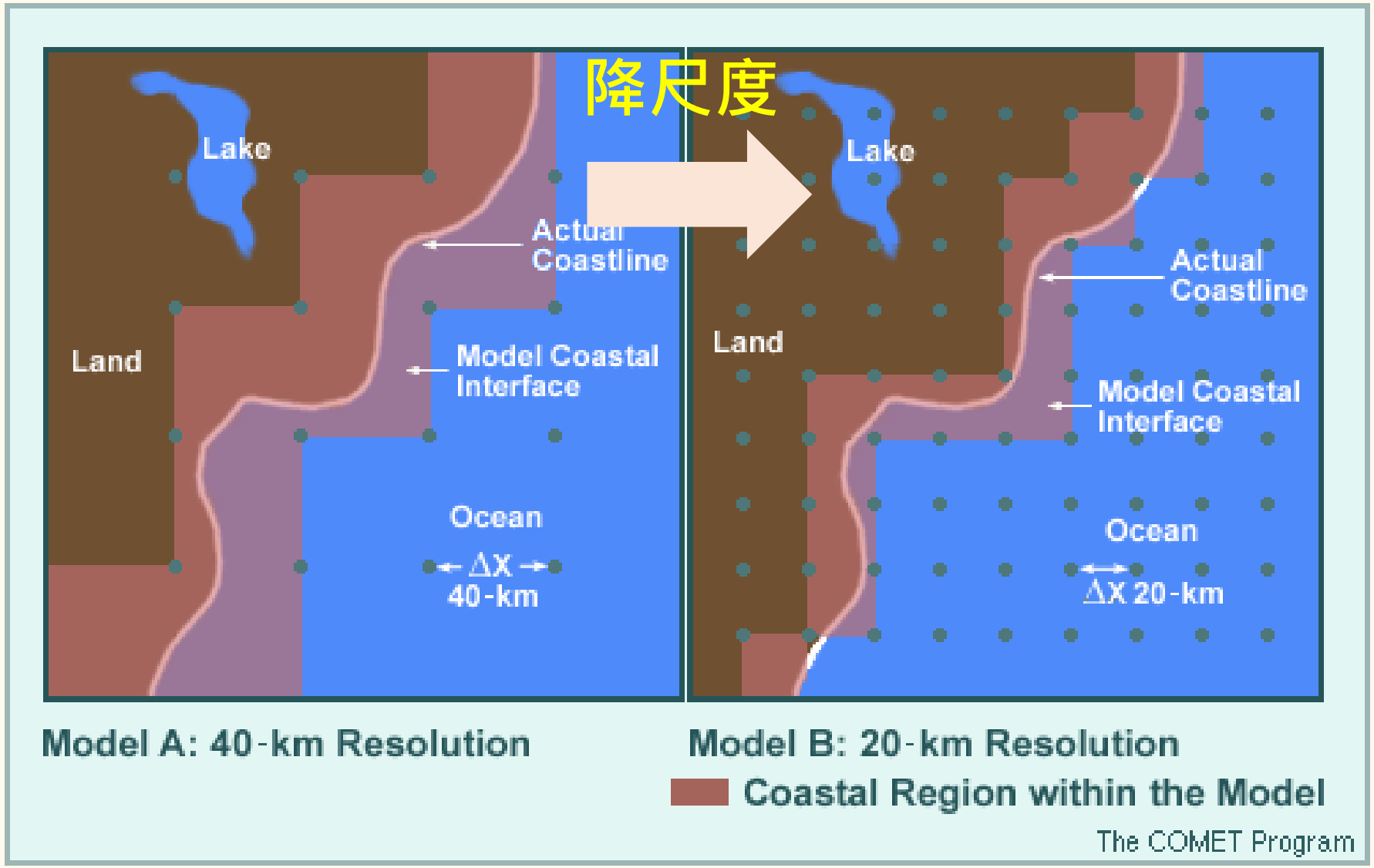
n, NTU)

ution)

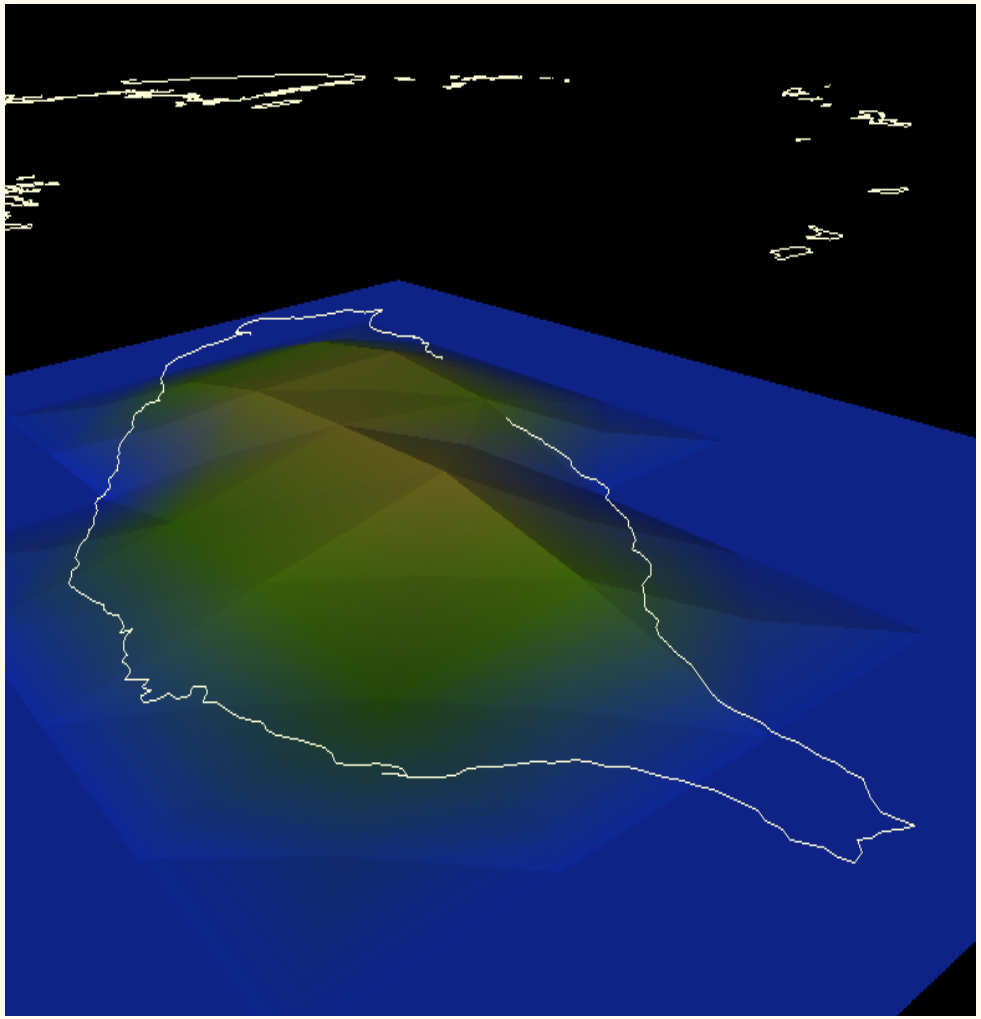




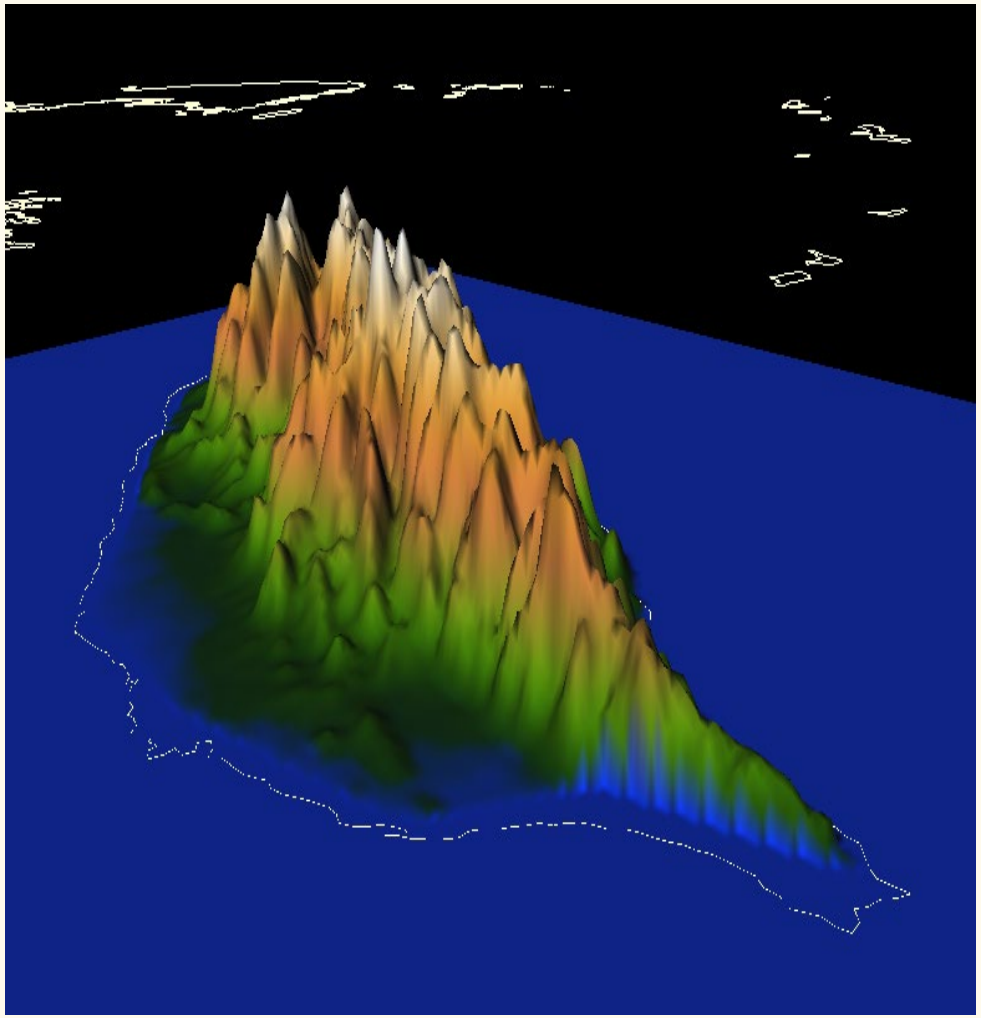
降足度的挑戰



模式的網格間距，讓我們的視野受限



降尺度



45-km

5-km

模式的網格間距，讓我們的視野受限

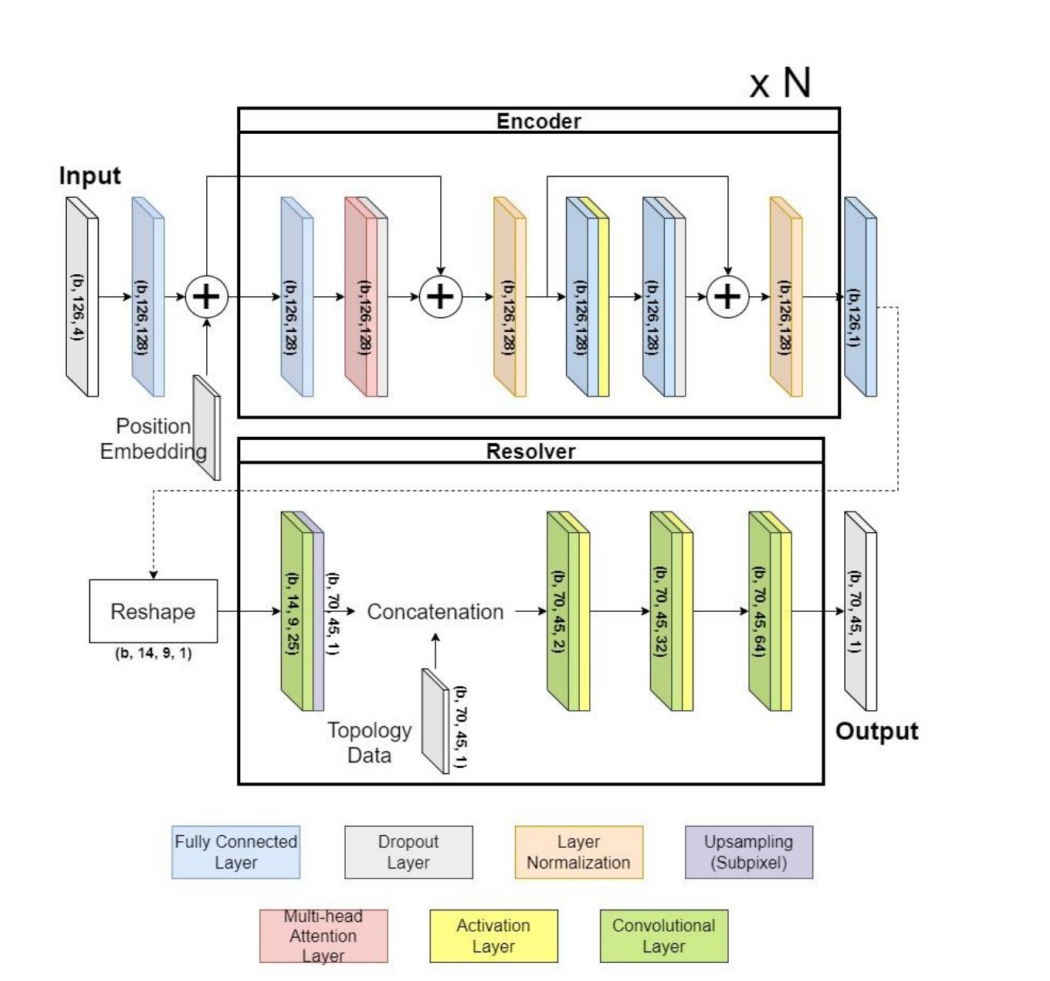
降尺度方法比較

降尺度方法	動力降尺度	統計降尺度	AI/ML
方法簡介	大尺度資料作為邊界條件 透過物理及動力方程求解	可同時進行偏差修正	
		描述線性關係，且多數有分佈假設	可描述非線性關係
計算資源需求(建模)	無	低	高
計算資源需求(作業)	非常高	低	低
不同變數間物理關聯	高	低	(可能有)
降尺度精細度	精細	平滑	精細
物理可解釋性	高	高	低
長期觀測數據需求	無	高	非常高

Encoder-Decoder with multi-head Attention for auxiliary channels (EDA) model

Input

ERA5
Rainfall
U10
V10
at 25 km



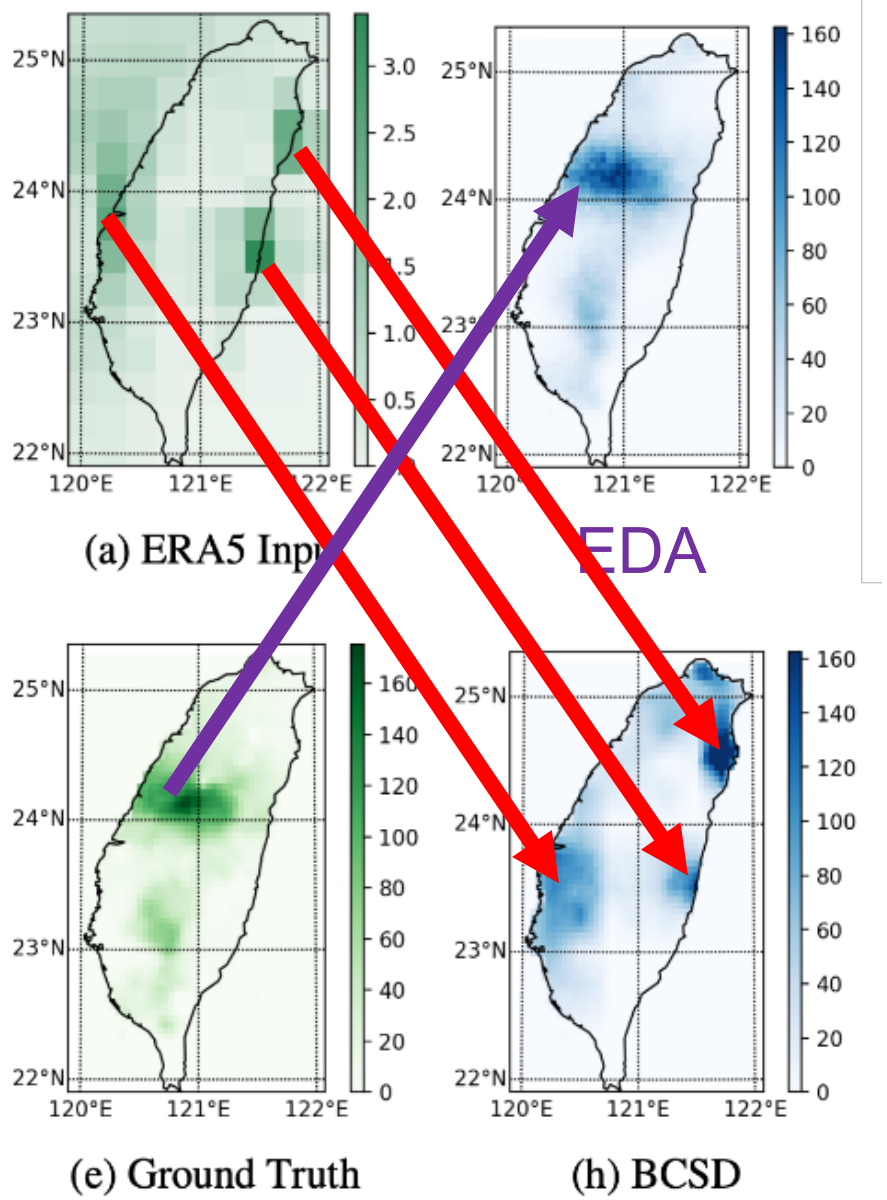
Output

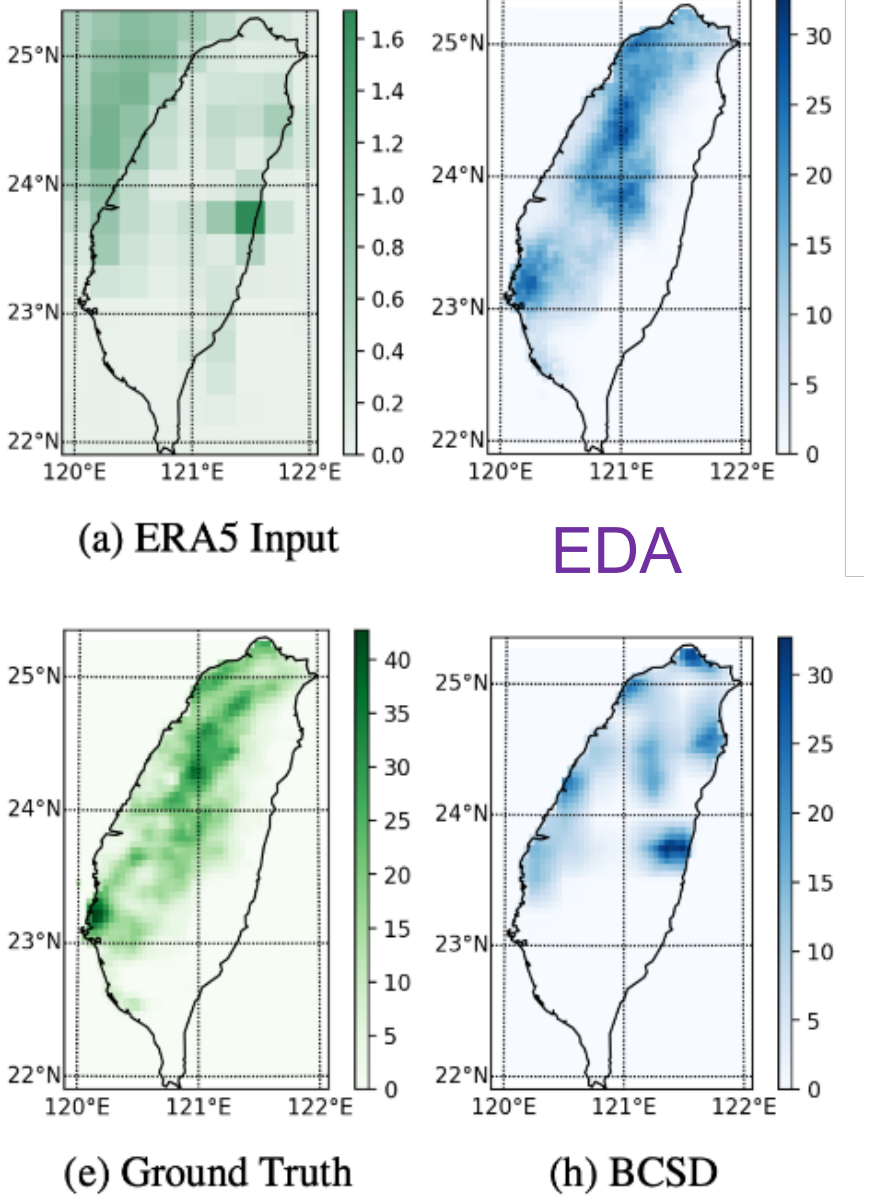
Rainfall
at 5 km

Truth:
Gridded rainfall at 5km

Wang, Y.-C., Chiang, C.-H., Su, C.-J., Wang, K.-C., Tseng, W.-L., Chen, C.-T., and Liang, H.-C.: Using Multi-Head Attention Deep Neural Network for Bias Correction and Downscaling for Daily Rainfall Pattern of a Subtropical Island, EGUsphere [preprint], https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-1022, 2024.

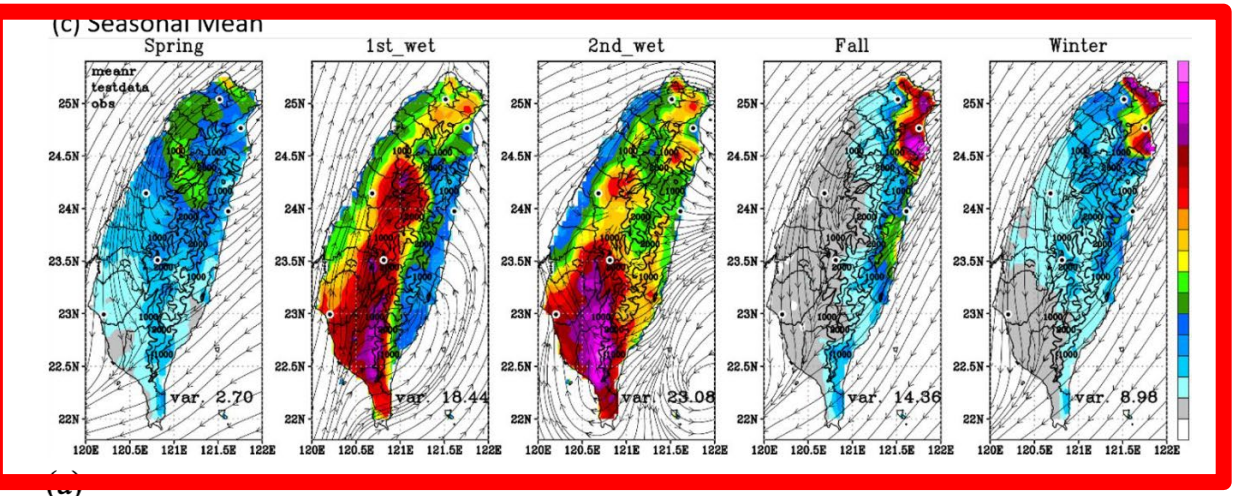
EDA is better than BCSD both in magnitude and distribution

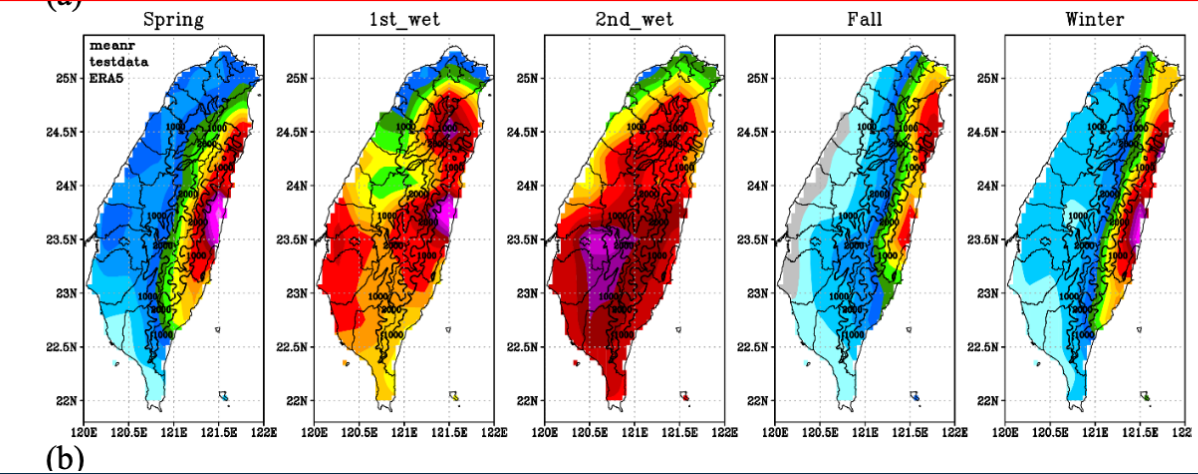


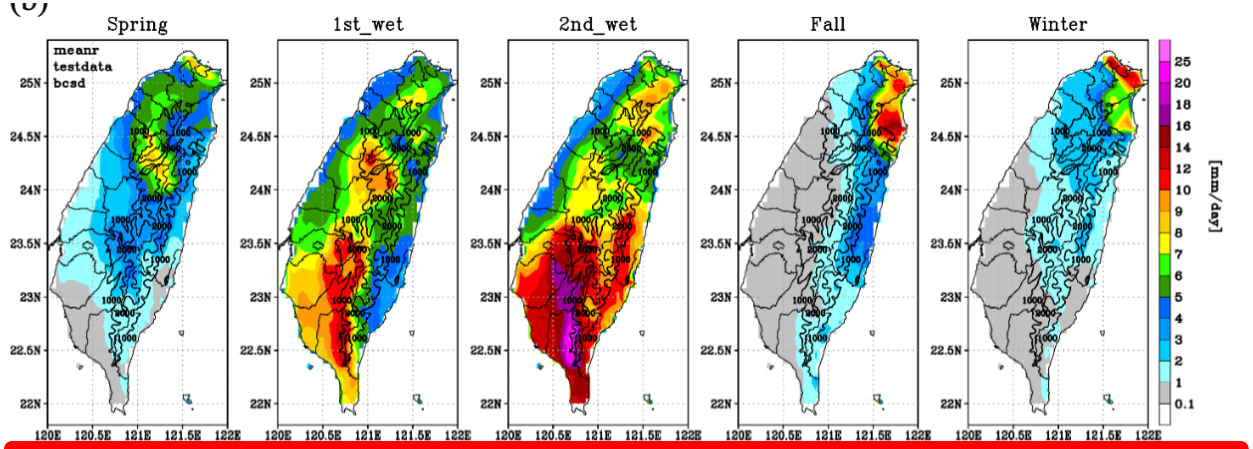


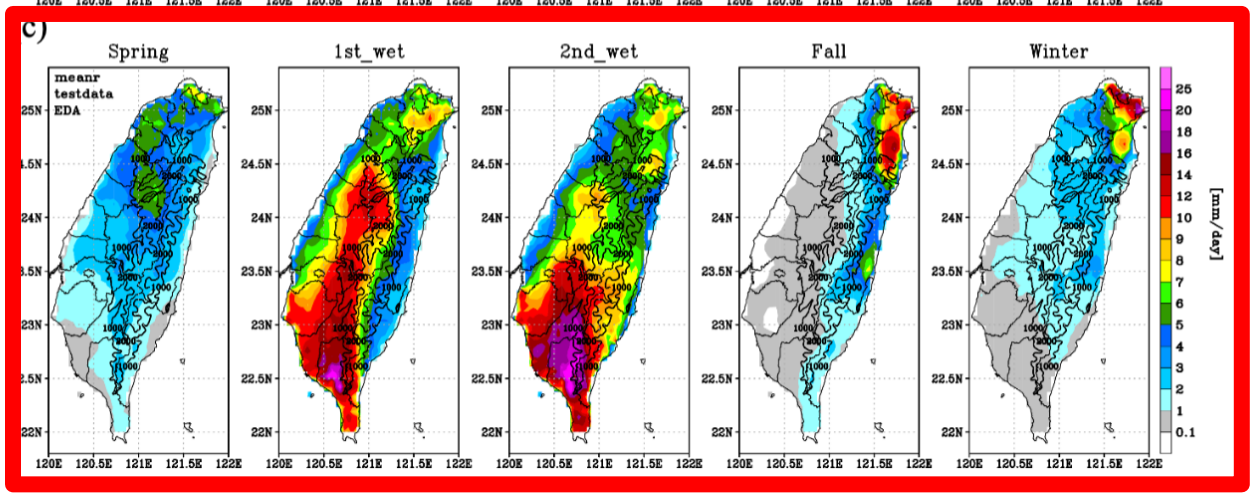
BCSD, Bias Correction Spatial Disaggregation method

OBS Rainfall seasonal Mean BCSD





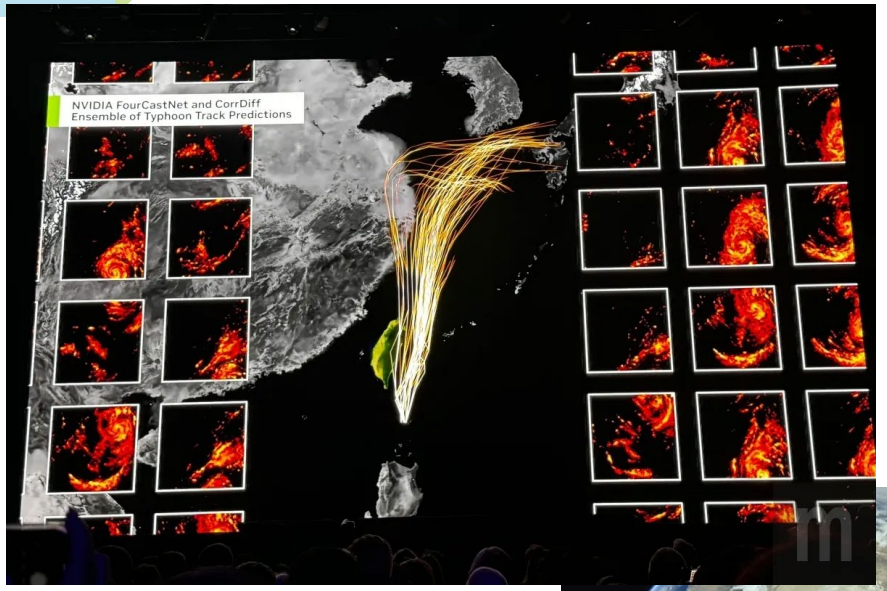


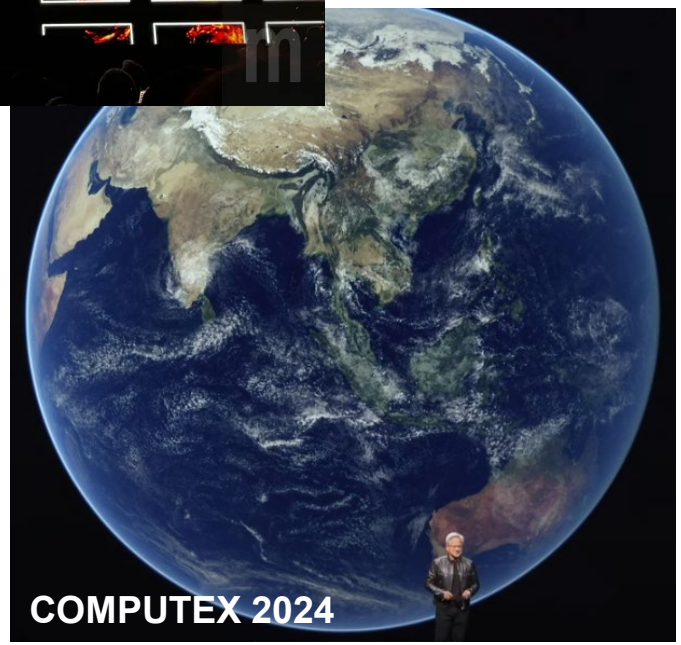


ERA5 EDA

Wang et al. 2024; Chiang et al. 2024

Corrector Diffusion (CorrDiff, Cooperate with NVIDIA)





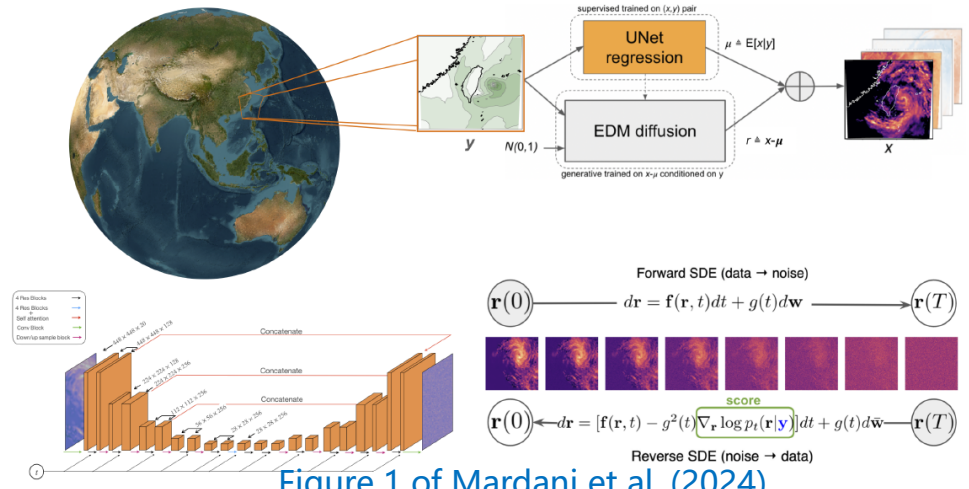
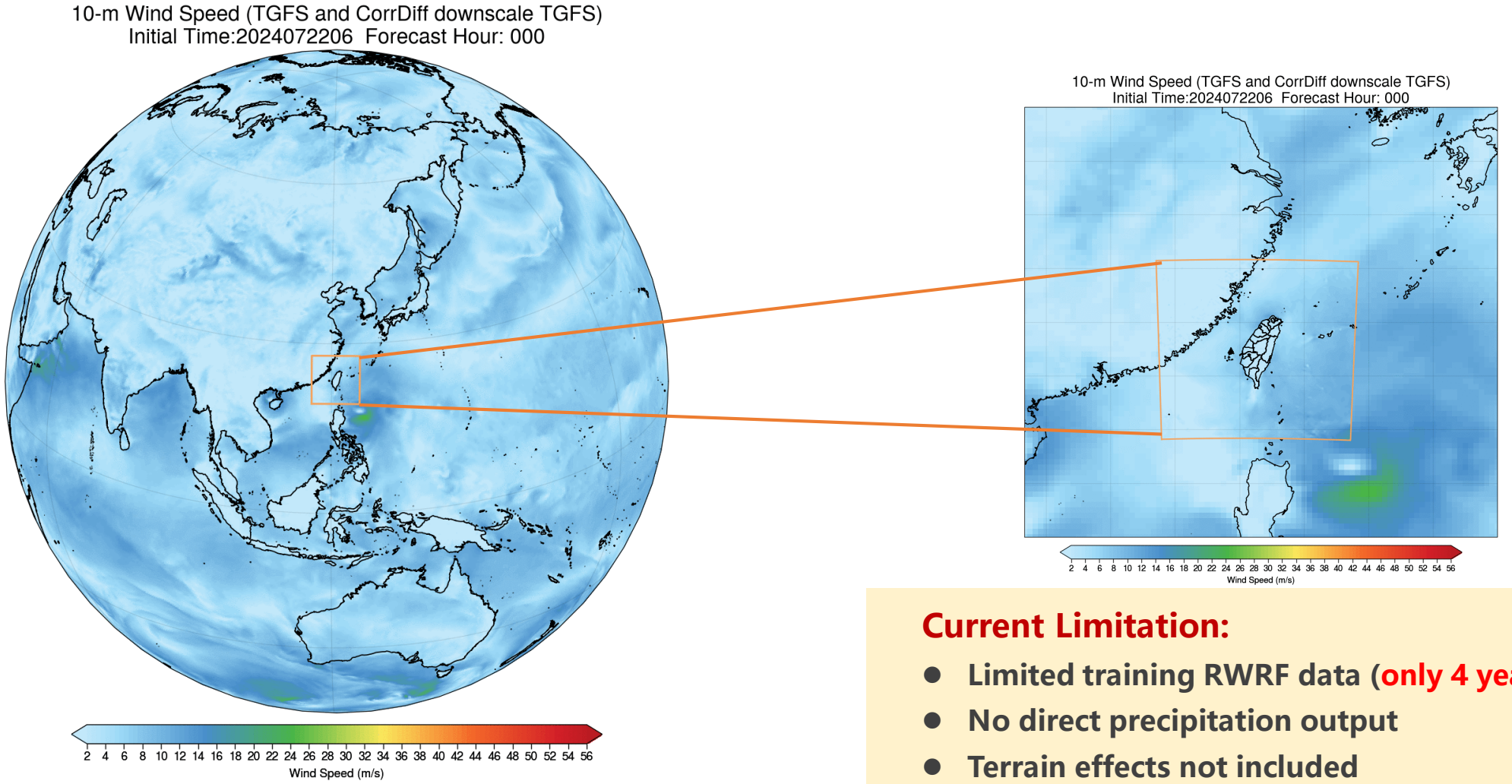


Figure 1 of Mardani et al. (2024)

- 多變數深度學習
- **Global data: ERA5 reanalysis**
  - 25-km resolution
  - 850-hPa and 500 hPa U, V, T, height,
  - U10, V10, T2, column water vapor
- **Regional data: CWA RWRF analysis**
  - 2-km resolution
  - U10, V10, T2, maximum radar reflectivity

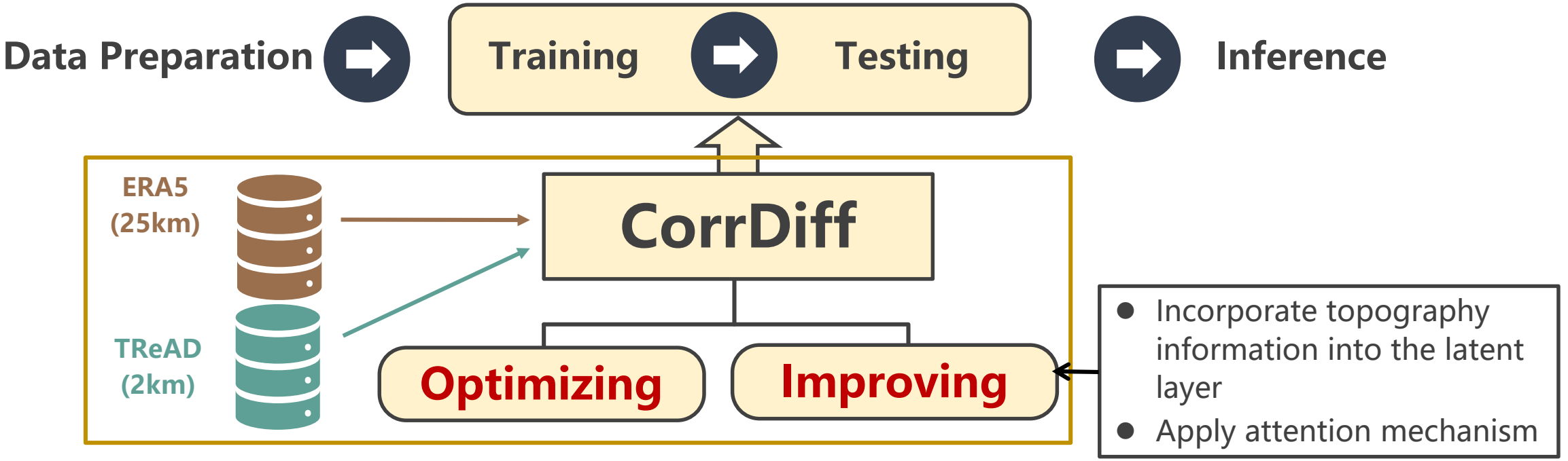
Generative Correction Diffusion Model (CorrDiff, NVIDIA)



Current Limitation:

- Limited training RWRF data (**only 4 years**)
- No direct precipitation output
- Terrain effects not included

Experimental Design



Training Data	Resolution	Training	Testing	P2P	SF2P	3D2ALL
ERA5	25 km	1991-2015 **(24-years)**	2016-2023 **(8-years)**	PRECIP	PRECIP, T2M, U10M, V10M	PRECIP, T2M, U10M, V10M, MSLP, T / Z / U / V (850 / 925 / 1000 hPa), Q850
TReAD	2 km	1991-2015	2016-2023	PRECIP	PRECIP	PRECIP, T2M, U10M, V10M, RH2M, SLP, TMAX2M, TMIN2M

Dynamically downscaling using WRF model from ERA5 re-analysis

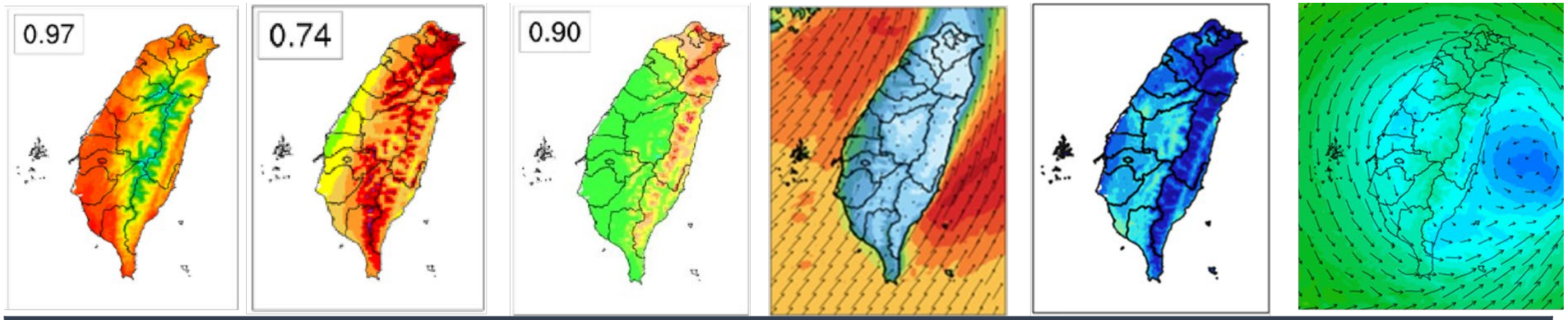
Taiwan Re-Analysis Downscaling (TReAD) Data

Dynamically downscaling using WRF model from ERA5 re-analysis

- **2-kilometer resolution, hourly output**
- **Period: 1979 - 2023. (45 years)**

https://data.depositar.io/en/dataset/tread

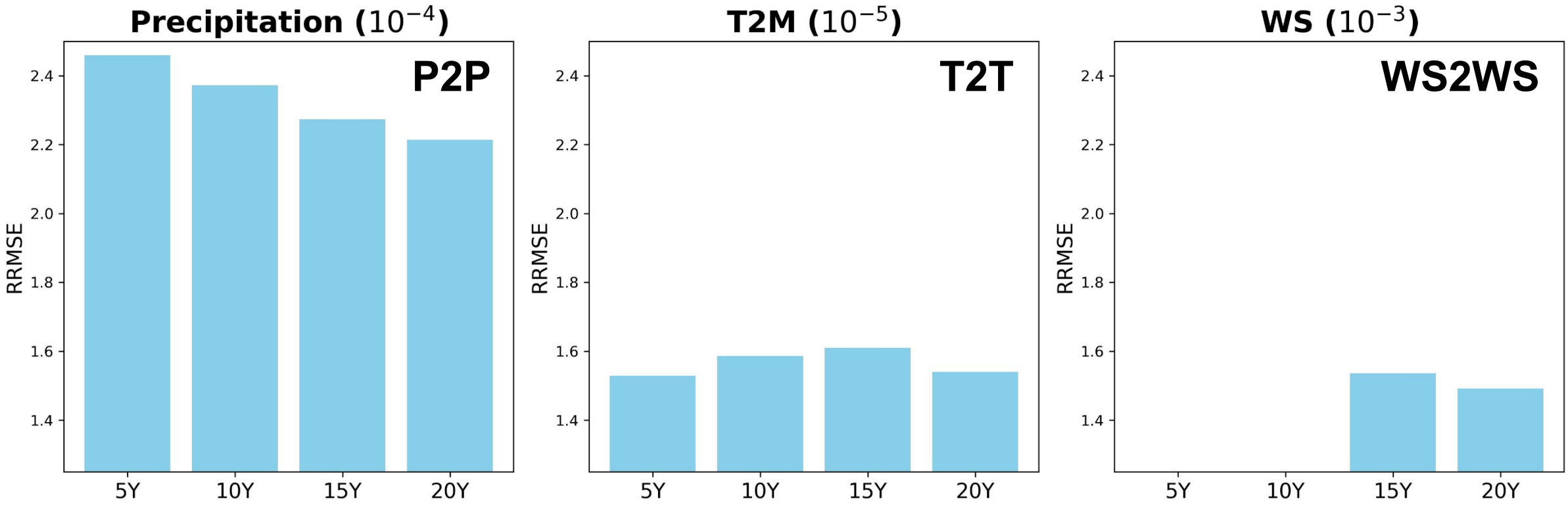
T2M | RPCP | Radiation | Wind | RH | SLP

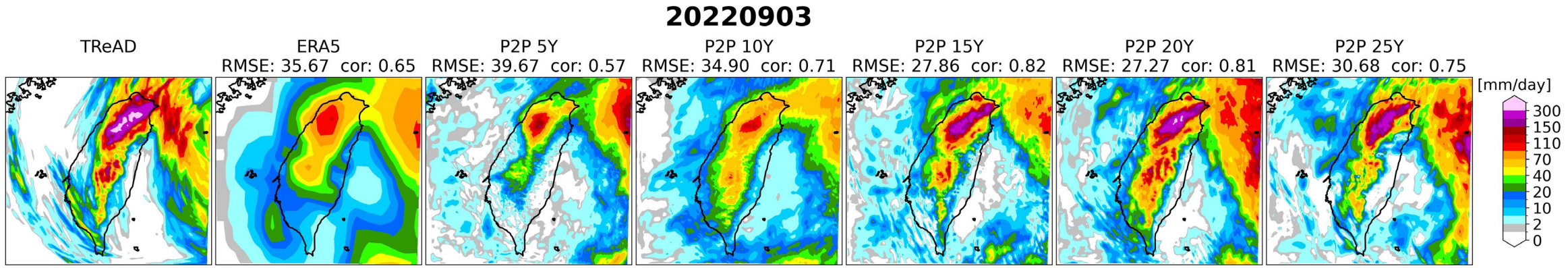


TReAD Data	
Strengths	• Dynamic consistent with model state variables • Well resolve the impact of high resolution terrain over 45 years
Limitations	• WRF dynamic downscale, not ground truth

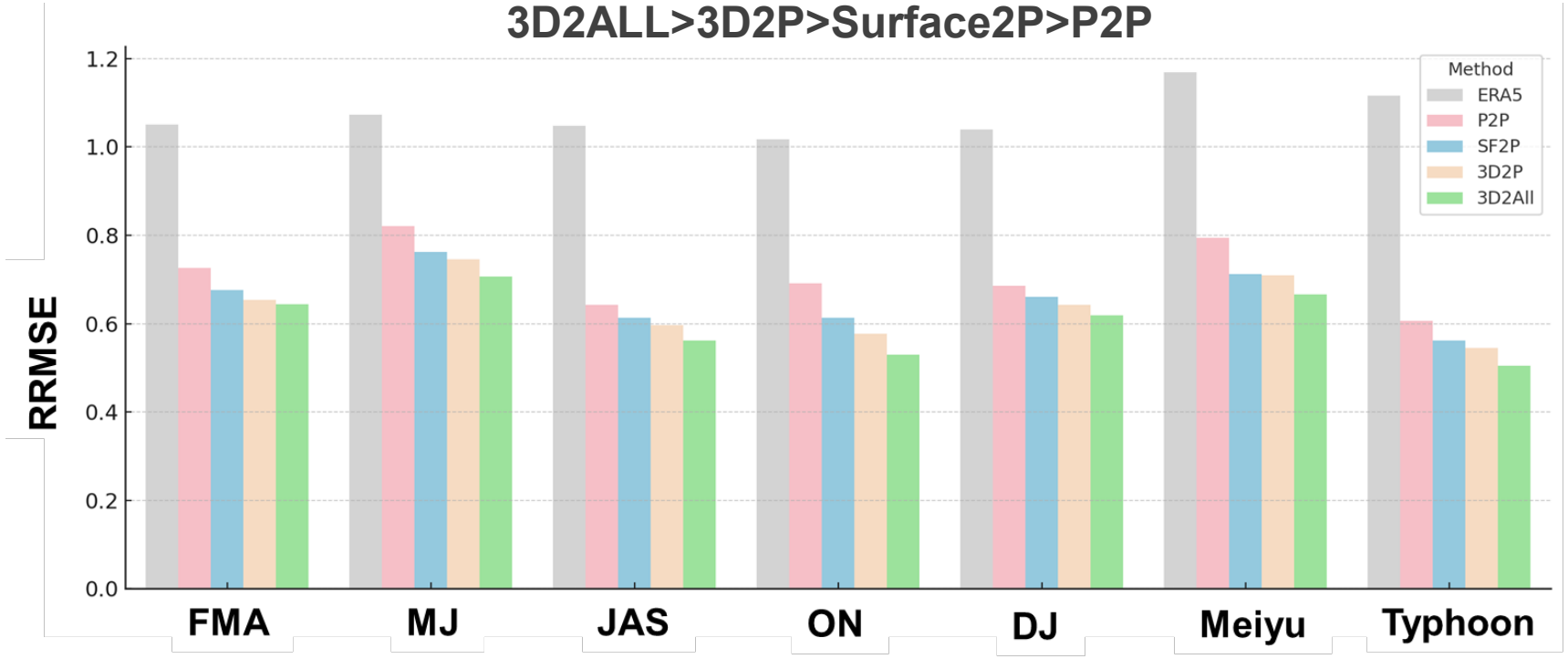
L.-Y. Lin, et al, 2022:The taiwan climate change projection information and adaptation knowledge platform (TCCIP): A decade of climate research. Water, 14(358)

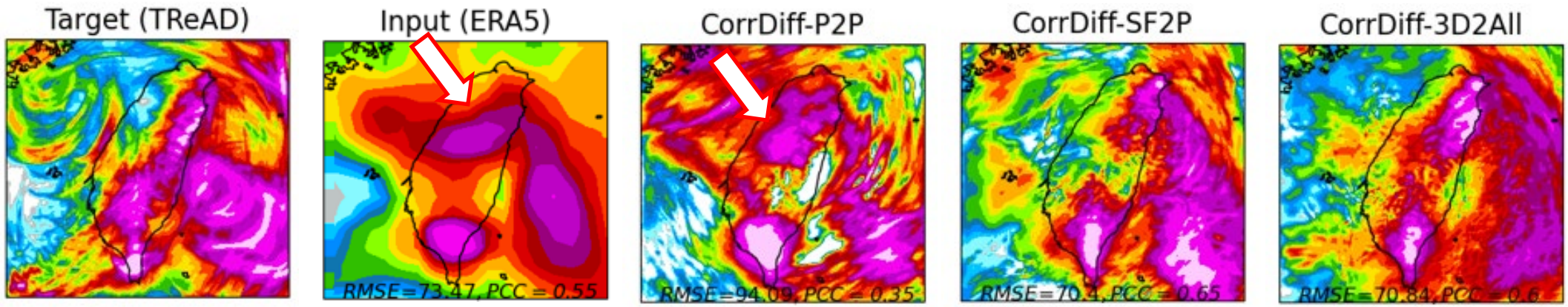
Error (RRMSE) decreases with training cycle



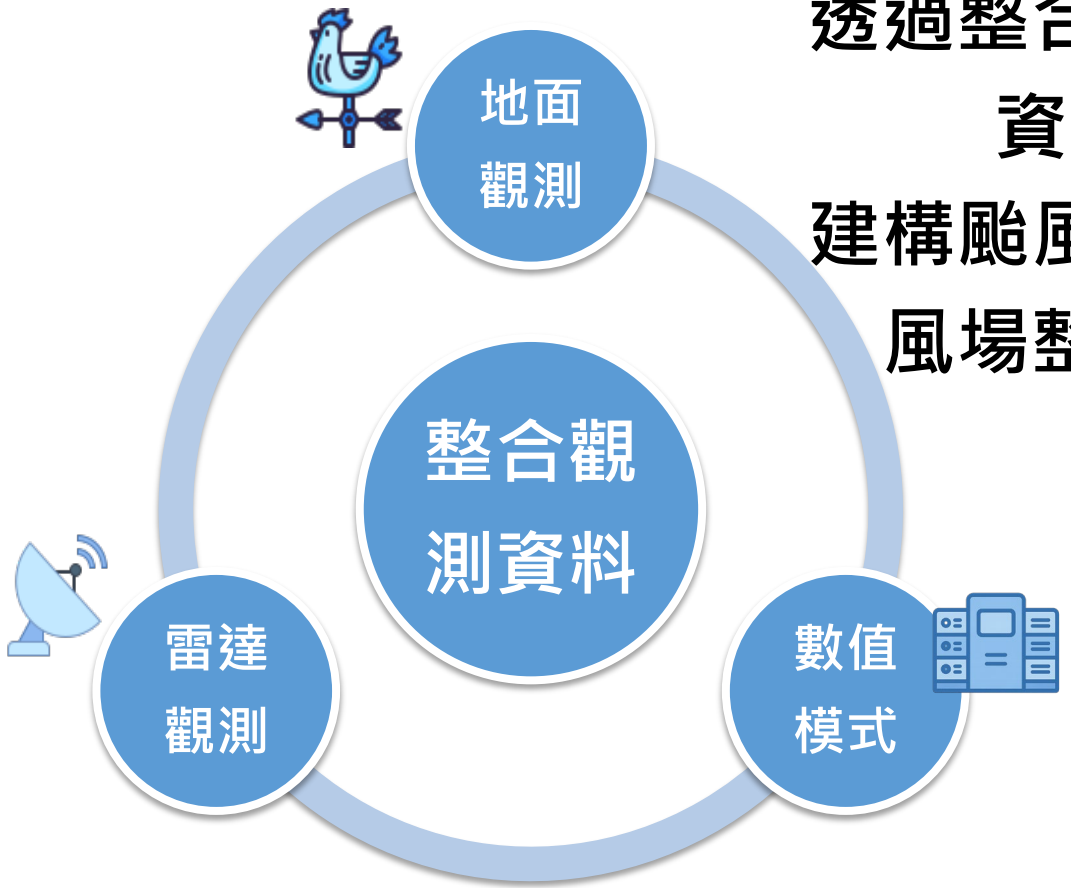


CorrDiff Precipitation Downscaling

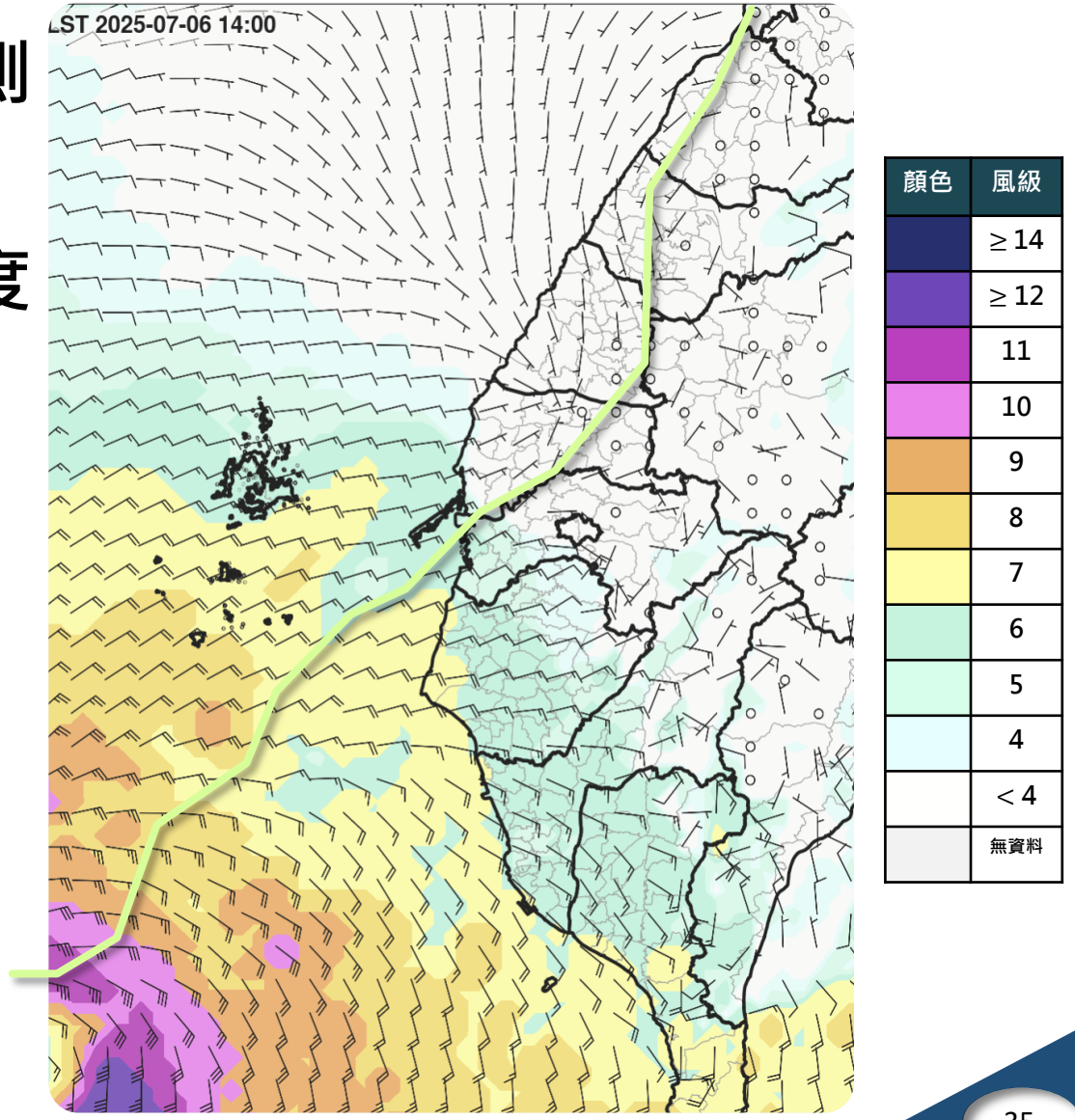




高解析度數值模式風場預報➔丹娜絲颱風

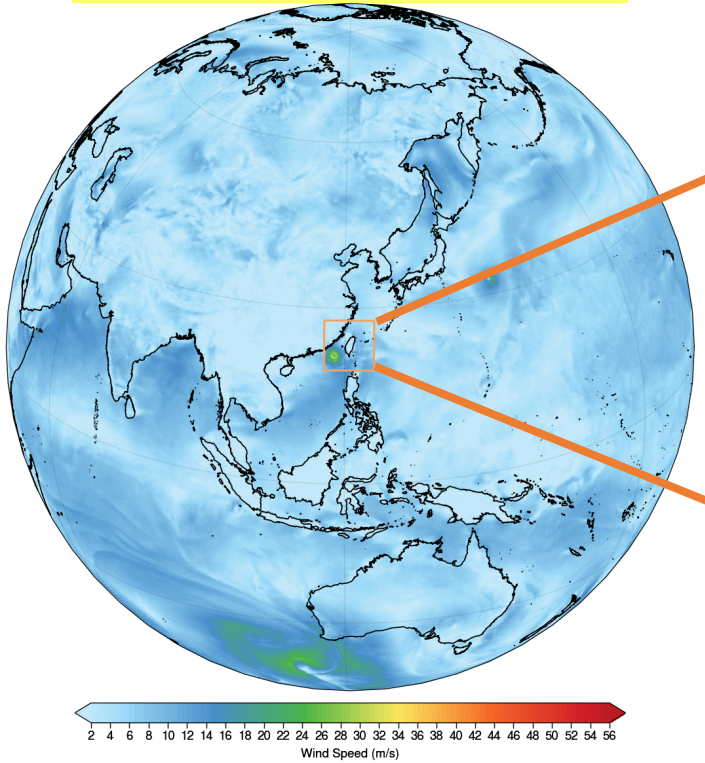


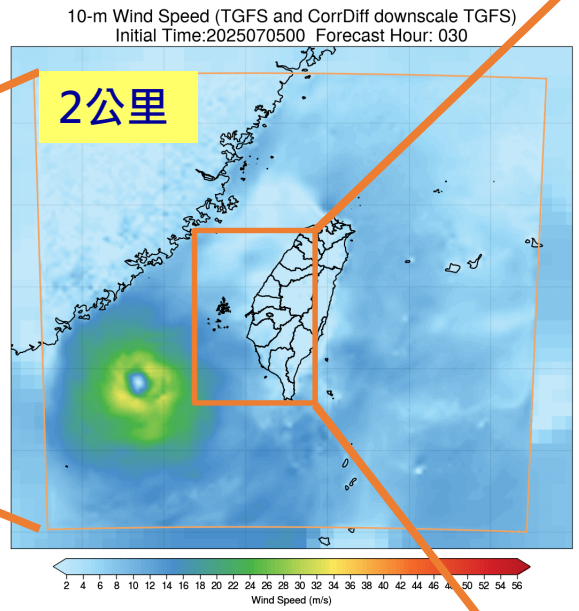
透過整合各式觀測資料，
建構颱風高解析度
風場整合分析



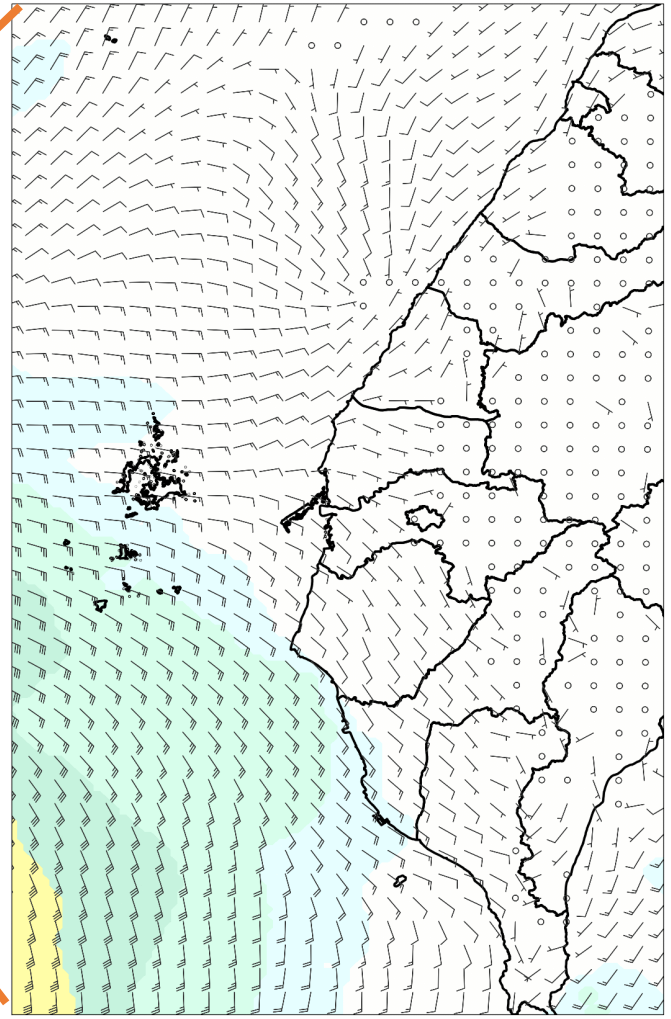
AI降尺度 風場預報➔丹娜絲颱風

25公里全球模式資料



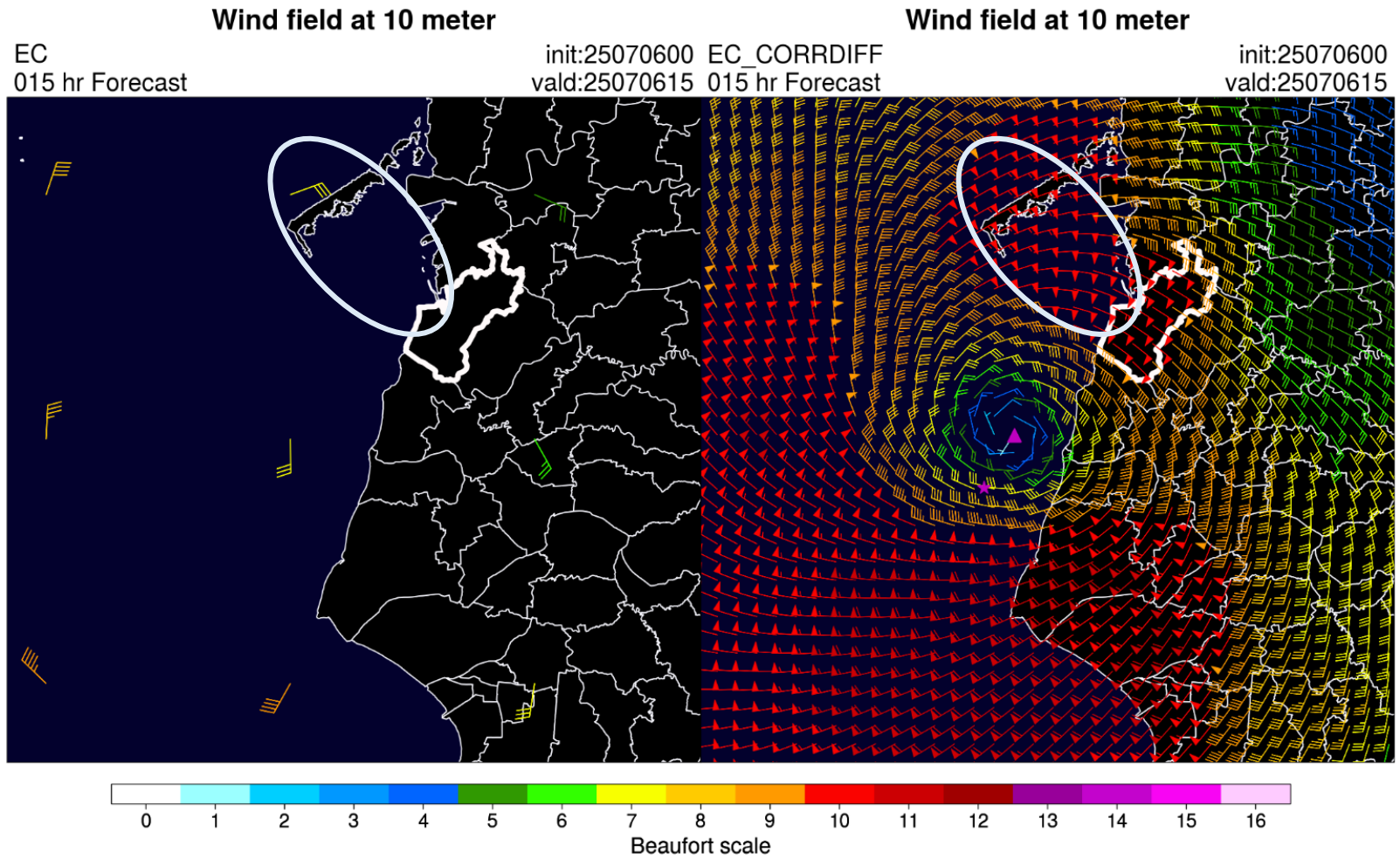


應用AI降尺度技術結果



顏色	風級
	≥ 14
	≥ 12
	11
	10
	9
	8
	7
	6
	5
	4
	< 4
	無資料

經AI技術提升平均風速達11級，接近觀測12級風



▲ 降尺度後的颱風中心位置(23:00)

★ 氣象署定位的颱風中心位置(23:30)

- 降尺度可以得到精細的颱風中心
- 風速由7級提升至10級。

無縫隙的天氣-氣候服務

轉變中的專有名詞

- 氣候服務內容擴大到包含天氣，成為天氣-氣候服務（Weather & Climate Service）
- 全模式天氣資訊決策模式（Weather-informed decision-making for all mode）概念，與環境永續領域接軌，包括淨零、能源安全、早期預警、氣候韌性等領域

Early Warnings for All initiative 全民早期預警倡議

Launched in 2022 by United Nations Secretary-General, António Guterres

確保在2027年底前，透過早期預警系統，讓地球上的
每個人都能免受災變天氣、水資源或氣候事件的影響。

全民早期預警➔

- 對氣候變遷而言，是極端氣候
- 對短期氣候而言，是極端天氣

小結

- 氣候➔氣候變遷➔極端氣候➔極端天氣
  - 極端氣候下的極端天氣，是氣候變遷下的全新威脅
  - 因應長期氣候變遷調適的轉型作為，要考慮短期的實體風險
  - 應對短期的實體風險，要考慮長期氣候變遷調適的轉型佈局
  - 無縫隙的天氣-氣候服務，是對治天氣及氣候威脅的重要解方

- AI/ML在天氣-氣候服務的應用正方興未艾
  - 無縫隙（天氣到氣候）AI/ML預報模式的發展與應用
  - 降尺度技術的精進與應用➔支持國家氣候變遷調適的科學資料
  - 運用AI/ML資料跨越資料鴻溝，介接氣象資料與農業需求


Thank you for the listening