



基於可預報度與尺度相依性之再中心化技術： 提升10至30天展期機器學習天氣預報能力

Recentring Based on Scale-Dependent Predictability:

Enhancing 10- to 30-Day Extended-Range Machine Learning Weather Prediction

莊美誼¹、蔣育真¹、王志嘉¹、蘇胤瑞¹、張惠玲¹、劉祉筠¹、劉邦彥²、楊舒芝³

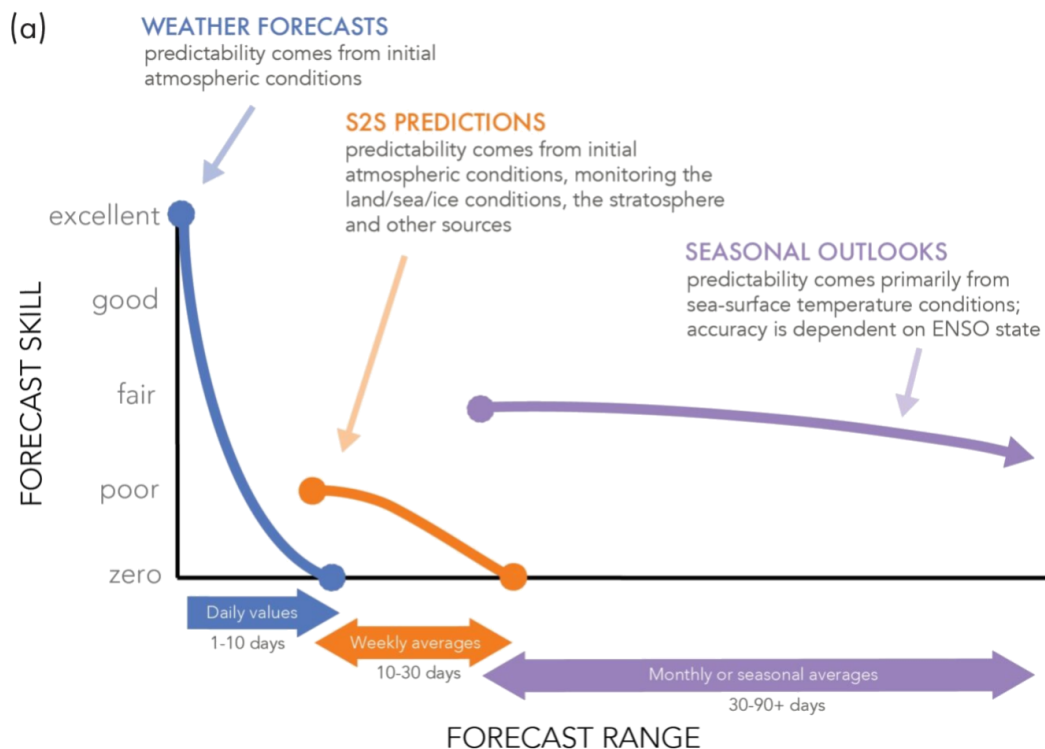
¹中央氣象署 海象氣候組

²中央氣象署 科技發展組

³國立中央大學 大氣科學學系



S2S 預報 位於大氣初始狀態所提供之可預報度快速衰減，而預報能力逐漸轉而依賴 MJO、ENSO 等大尺度氣候模態，以及 SST、土壤濕度與海冰等變化緩慢的地球系統成分的過渡時間尺度。

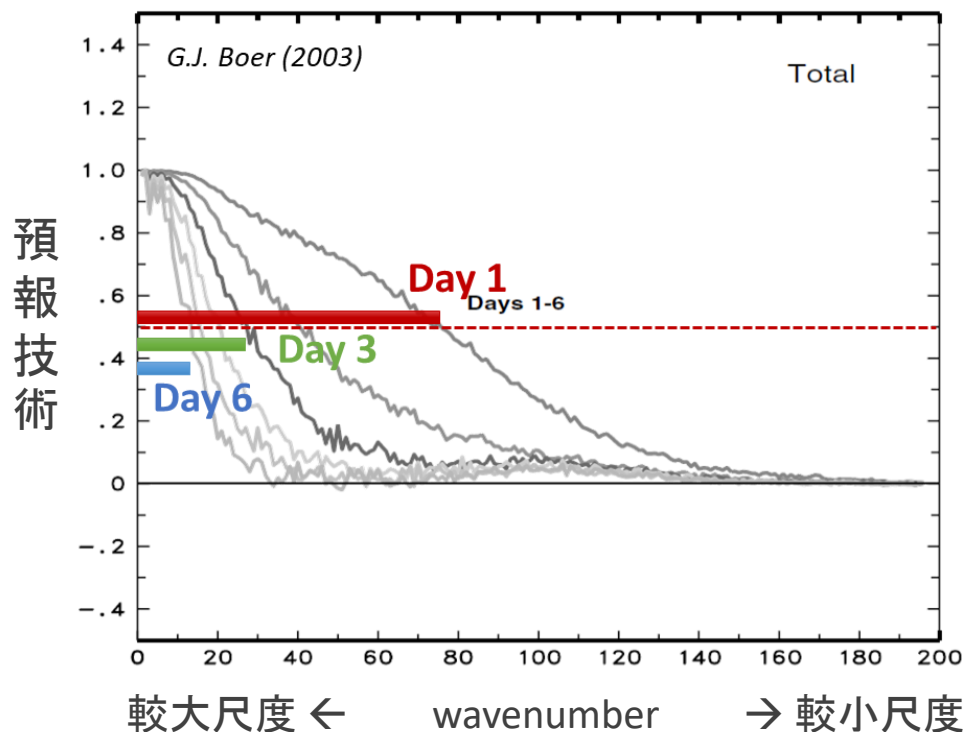


White, C. J., et al. (2017). Potential applications of subseasonal-to-seasonal (S2S) predictions. *Meteorological Applications*, 24(3), 315–325. <https://doi.org/10.1002/met.1654>



大氣可預報度具有尺度相依性

Z500 Correlation measure p



隨預報領先時間延長，較小尺度訊號逐漸失去預報技術，
具預報技術的尺度範圍也隨之往較大尺度移動。

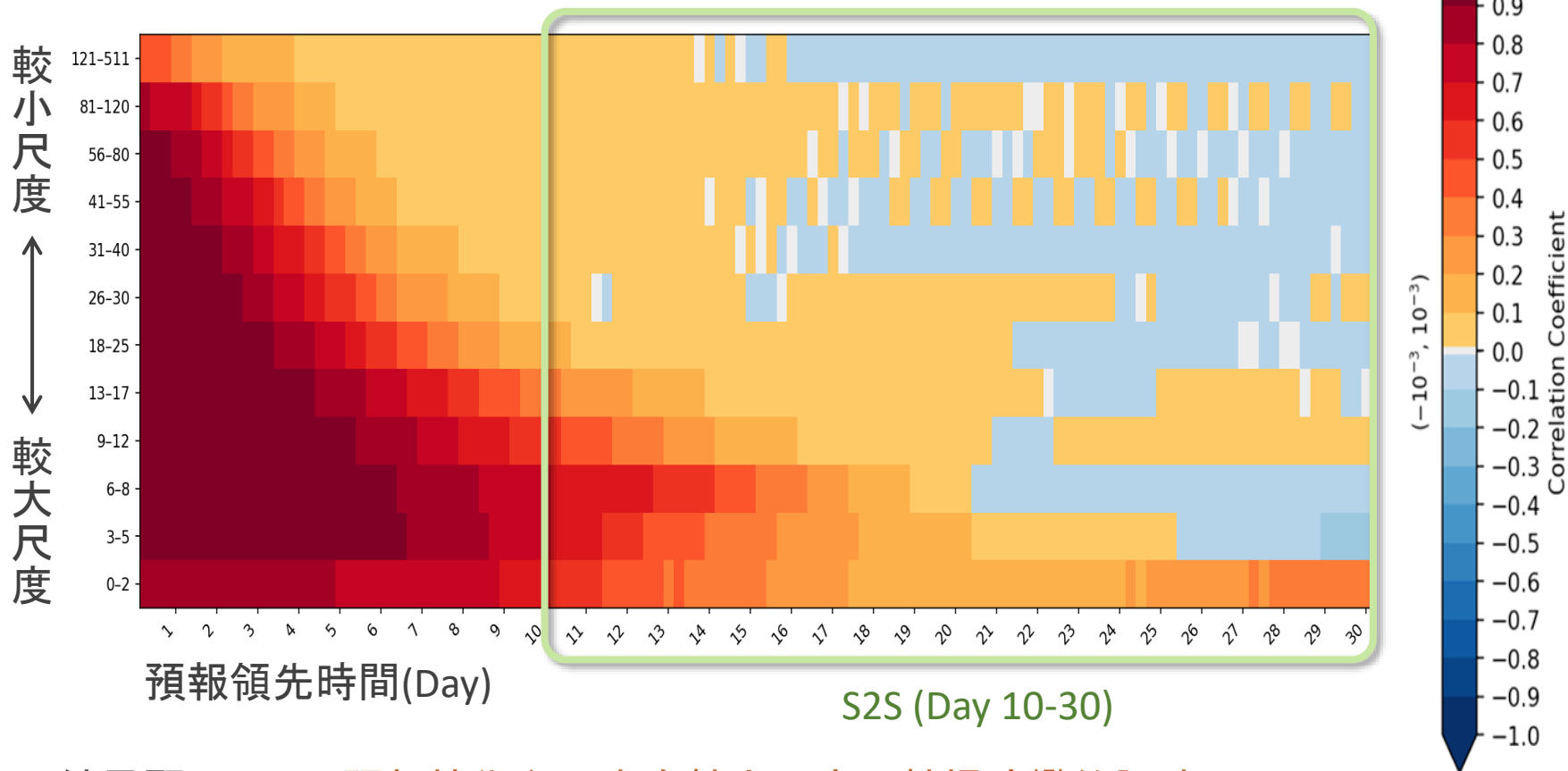
Boer, G. J. (2003). Predictability as a function of scale. *Atmosphere-Ocean*, 41(3), 203–215.
<https://doi.org/10.3137/ao.410302>



由此，團隊利用MLWP預報進行驗證：

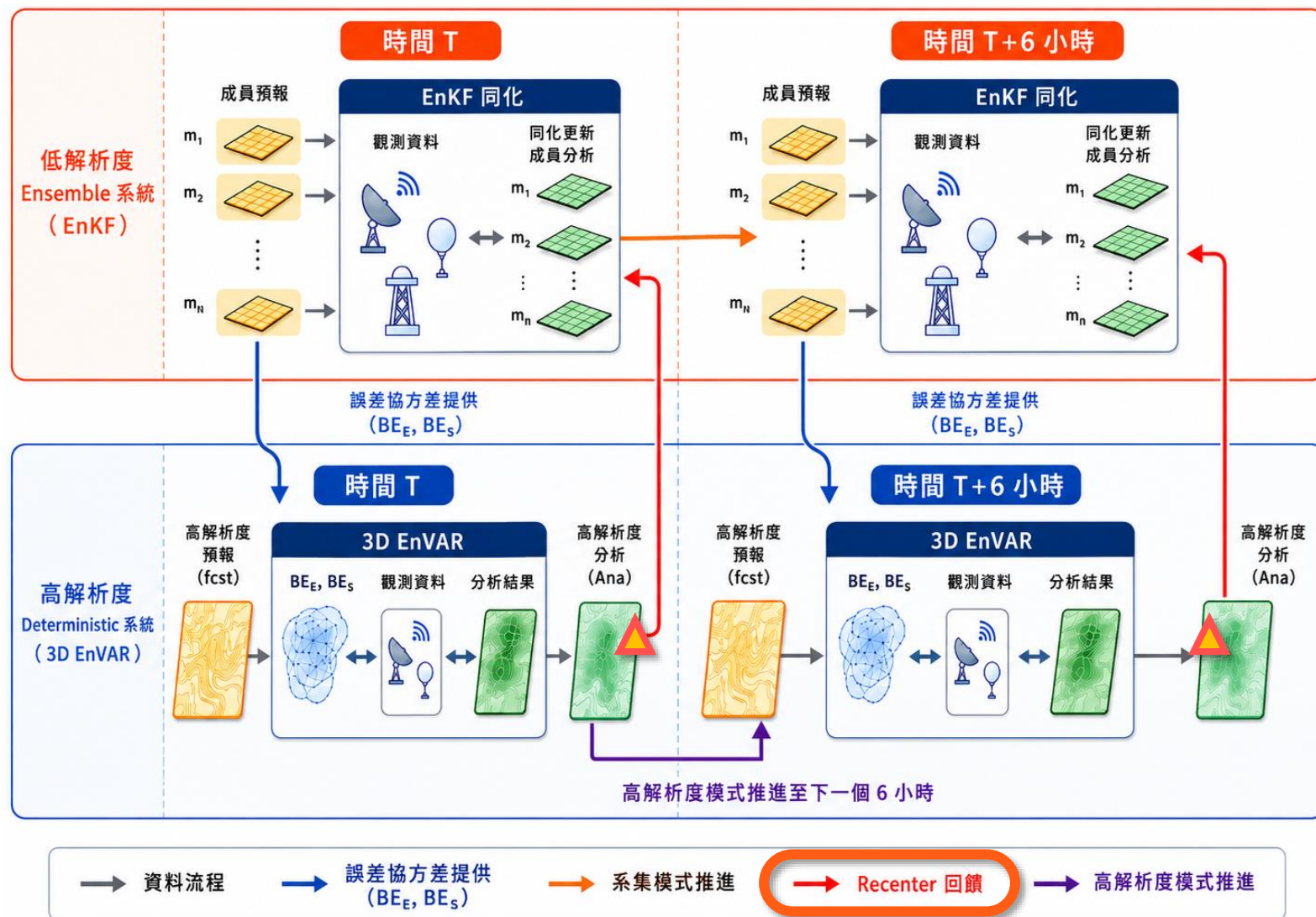
(FENGWU vs. ERA5 2024/08/01-31)

Z500 Spectral Anomaly Correlation (ACC): Forecast vs. Reanalysis



結果顯示：S2S 預報技術主要來自較大尺度、較慢演變的訊號，而較小尺度擾動因誤差快速成長與飽和，易提前失去預報技術轉為雜訊。

NWP 面對長時間積分導致模式飄移之解方



Recenter
再中心化



MLWP 屬於自迴歸模型



每一步的預報結果，會成為下一步的輸入



誤差逐步傳遞與放大

也可能存在類似模式飄移的現象



發想。。



遞與放大

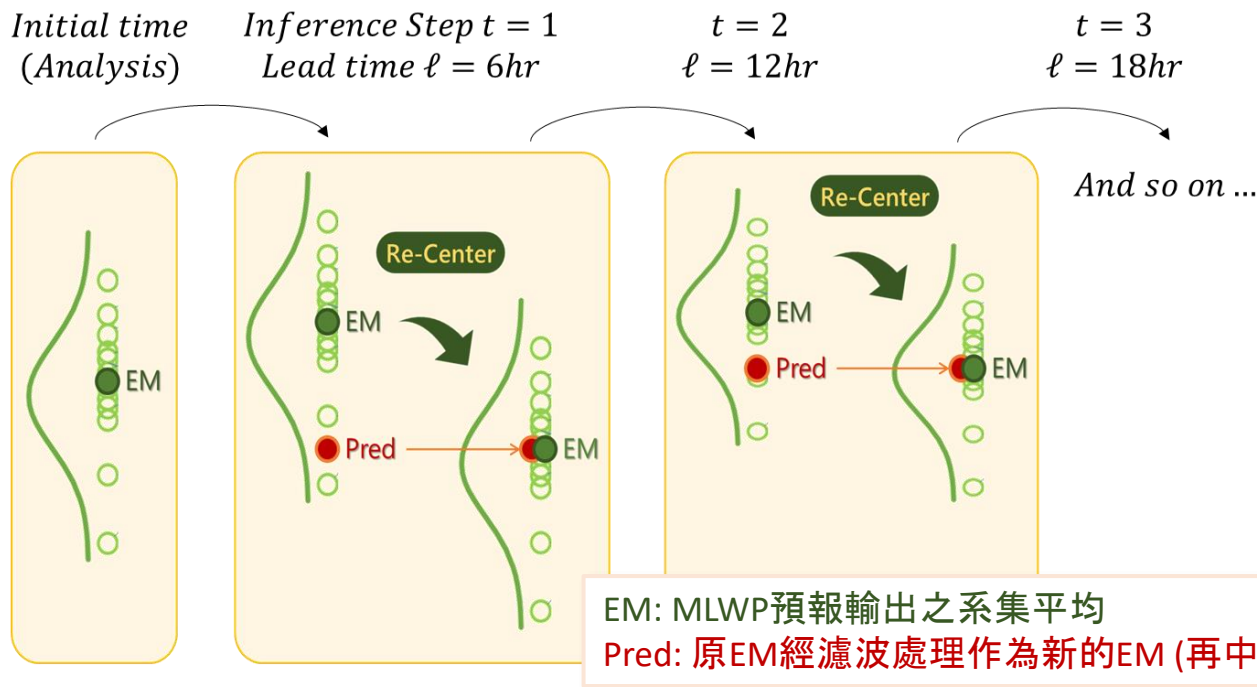
如何利用：

1. 大氣物理機制（可預報度限制 & 尺度相依性等）
 2. 長久以來 NWP 模式開發的寶貴經驗
- 提升MLWP在S2S時間尺度的預報能力？



再中心化技術

基於可預報度與尺度相依性且適用於MLWP模型

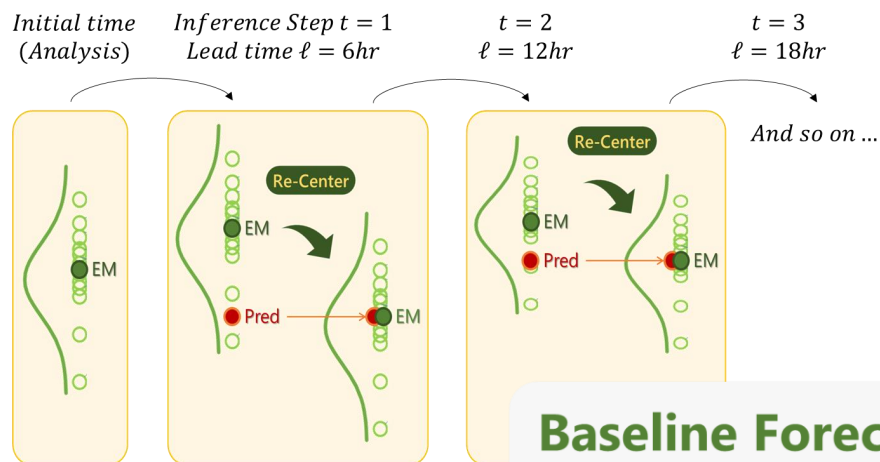


Primary goals are:

- (a) to **dynamically filter out smaller-scale noise** to sustain extended-range forecast performance.
- (b) to allow the forecast to **smoothly relax toward climatology** as model predictions approach the limit of predictability.



技術研發策略



Why
FengWu?

Baseline Forecast:

— FENGWU (without RC):

The original, uncorrected model output.

Experiment Forecasts:

— RC (Every Step):

RC applied at every inference step (6h) from the beginning.

— RC (Daily from Day 10):

RC applied once every 24 hours, starting from Day10.

RC 技術測試

Liu, CC., Hsu, K., Peng, M.S. et al. (2024). Evaluation of five global AI models for predicting weather in Eastern Asia and Western Pacific. npj Climate and Atmospheric Science 7, 221.
<https://doi.org/10.1038/s41612-024-00769-0>



U200 定量評估與個案分析

Baseline Forecast:

— FENGWU (without RC):

The original, uncorrected model output.

Experiment Forecasts:

— RC (Every Step):

RC applied at every inference step (6h) from the beginning.

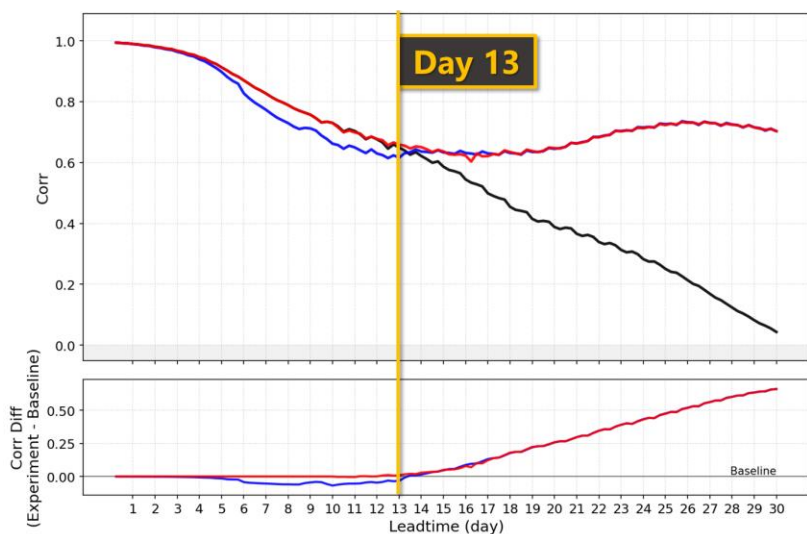
— RC (Daily from Day 10):

RC applied once every 24 hours, starting from Day10.

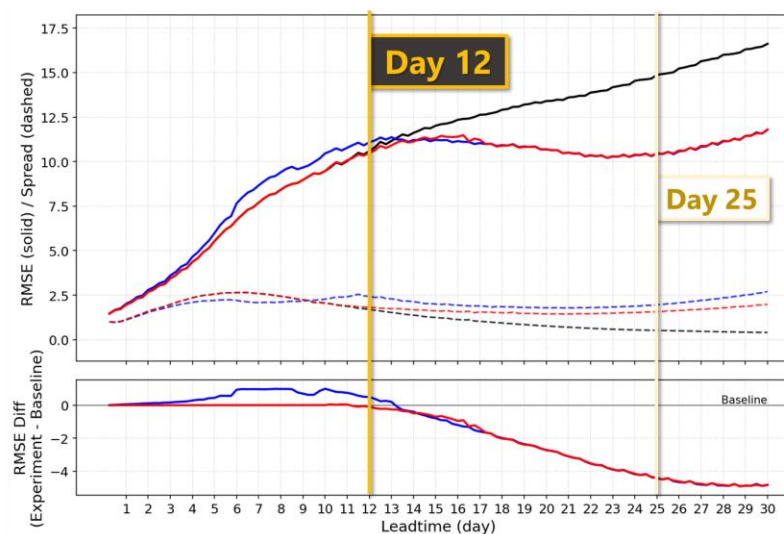
資料說明：

- 評估期間: 3–12 July 2025 (北半球), 初始時 0000 UTC
- MLWP (FENGWU) 初始場: ECMWF ENS 初始擾動場 (解析度0.25度; 考量計算資源有限, 測試將以50個系集中均勻抽取的子集合測試: 第1/12/25/37/50成員)
- 預報長度: 逐6小時預報至未來30天 (720小時)
- 真實場: ERA5

(A) Spatial Pattern Correlation
(Northern Hemisphere)



(B) Spread-skill Relationship
(Northern Hemisphere)



再中心化技術明顯減緩FENGWU預報在S2S期間
空間相關性(圖A)快速遞減且異常誤差快速增長(圖B)之現象。



U200 定量評估與個案分析

Baseline Forecast:

— FENGWU (without RC):

The original, uncorrected model output.

Experiment Forecasts:

— RC (Every Step):

RC applied at every inference step (6h) from the beginning.

— RC (Daily from Day 10):

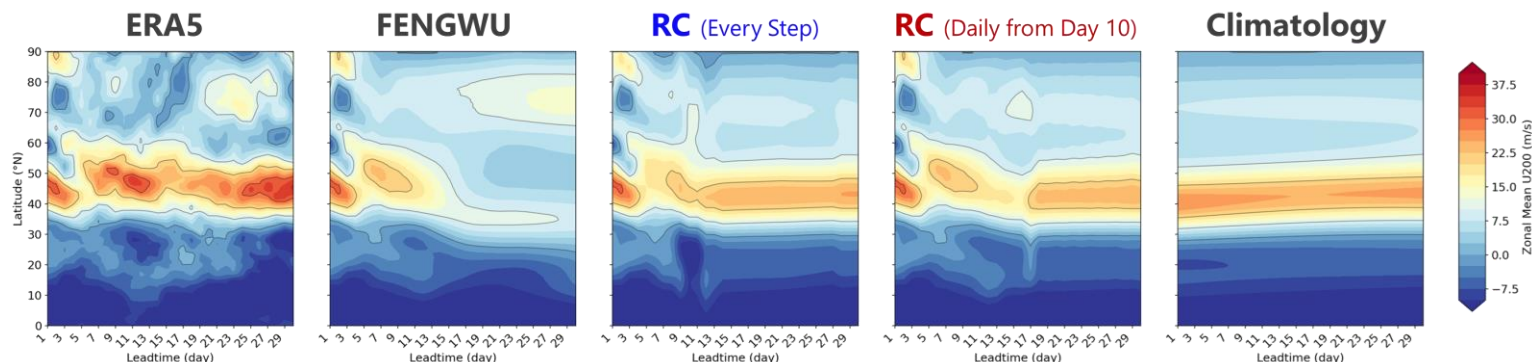
RC applied once every 24 hours, starting from Day10.

資料說明：

- 評估期間: 3–12 July 2025 (北半球), 初始時 0000 UTC
- MLWP (FENGWU) 初始場: ECMWF ENS 初始擾動場 (解析度0.25度; 考量計算資源有限, 測試將以50個系集中均勻抽取的子集合測試: 第1/12/25/37/50成員)
- 預報長度: 逐6小時預報至未來30天 (720小時)
- 真實場: ERA5

(C) Zonal-mean Hovmöller Diagram

Case: 7 July 2025 | Asia Pacific: 60-180°E



(圖C) 若關注夏季副熱帶噴流(約40-45度)的表現，可以發現：

1. FENGWU 預報於 S2S 期間逐漸過度平滑並偏離真實狀態。
2. RC 藉由趨近分析氣候場狀態，S2S期間仍能維持噴流的平均空間量值。



Take Home Message

- 針對展期預報 (10-30天) 面臨的可預報度極限，基於可預報度與尺度相依性提出適用於 MLWP 模型的「再中心化 (RC) 技術」。
- 核心目標有兩個：(a) 動態過濾較小尺度雜訊以維持展期預報表現；(b) 當預報技術逐漸消逝，讓預報平順地向「氣候平均狀態 (Climatology)」靠攏。
- 運用具輕量化架構的初階 MLWP 模型作為透明的測試平台，排除干擾變數，純粹且有效地驗證 RC 技術的真實成效。
- 北半球 U200 定量評估顯示 RC 可減緩空間相關性 (PCC) 衰退、降低誤差 (RMSE)，並有效維持如副熱帶噴流等動力空間特徵，避免過度平滑且嚴重偏離大氣真實狀態。
- RC 技術模組有潛力應用於其他 MLWP 模型上 (如FCN3模型)，期可提升展至長期 MLWP 模型之預報能力。
- 值得探討：如何在不同預報領先時間更加精準地進行濾波？



THANK YOU !!!

References:

White, C. J., et al. (2017). Potential applications of subseasonal-to-seasonal (S2S) predictions. Meteorological Applications, 24(3), 315–325. <https://doi.org/10.1002/met.1654>

Boer, G. J. (2003). Predictability as a function of scale. Atmosphere-Ocean, 41(3), 203–215. <https://doi.org/10.3137/ao.410302>

Liu, CC., Hsu, K., Peng, M.S. et al. (2024). Evaluation of five global AI models for predicting weather in Eastern Asia and Western Pacific. npj Climate and Atmospheric Science 7, 221. <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00769-0>