



-115年天氣分析與預報研討會-

年代際預報模式對 ENSO 及其遙相關預報能力之比較

曾翊涵 羅資婷 李清滕

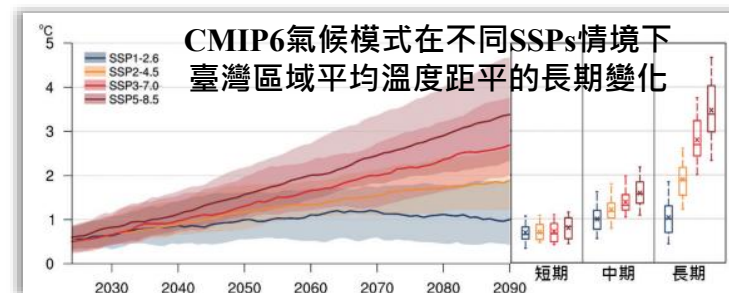
中央氣象署 海象氣候組

2026/09/02

年際至年代際氣候預報的重要性

氣象署任務

- 防災、減災，提升極端天氣風險因應能力
- 支援決策，強化氣候風險管理與氣候資訊應用，因應氣候變遷衝擊
- 促進產業應用，創造經濟與社會效益



TCCiP任務

- 氣候變遷(數十年、百年尺度)
情境分析、衝擊及風險辨識、
調適因應

日

週

月

季

年

十年

百年

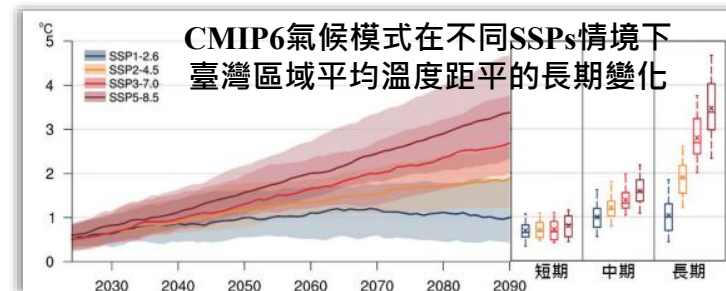
年際至年代際氣候預報的重要性

氣象署任務

- 防災、減災，提升極端天氣風險因應能力
- 支援決策，強化氣候風險管理與氣候資訊應用，因應氣候變遷衝擊
- 促進產業應用，創造經濟與社會效益

CWA's next step

- 發展年際至年代際預報
- 針對極端氣候事件(乾旱、暴雨、極端高、低溫等)



TCCiP任務

- 氣候變遷(數十年、百年尺度)情境分析、衝擊及風險辨識、調適因應

日

週

月

季

年

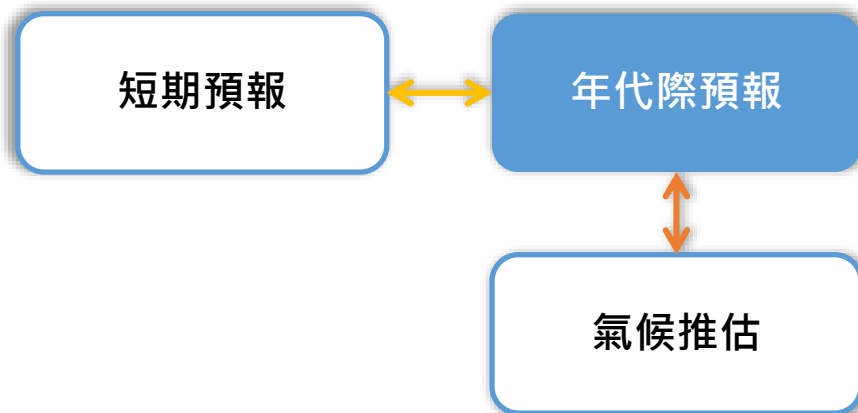
十年

百年

➤ 全球暖化趨勢下，極端氣候事件的頻率與強度日益提升，年際至年代際預測已成為國際發展趨勢，也是本署未來的重點發展方向。

年代際預報及其國際趨勢

年代際預報：短期預報與長期氣候推估之橋梁

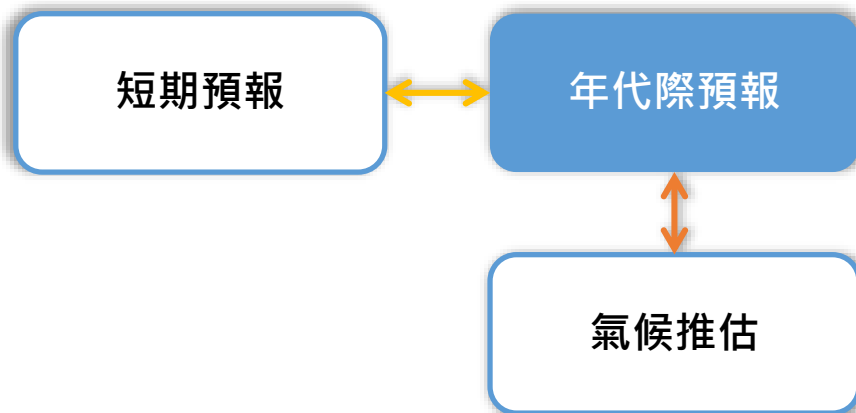


- 差異：預報時間尺度、初始化方法與可預報度來源
- 相較於短期預報，年際至年代際預報更依賴海洋初始狀態所提供的長期記憶。

- 差異：是否以觀測氣候狀態進行初始化
- 氣候推估主要根據不同外部強迫情境來推估長期氣候變化；年代際預報則加入初始化資訊，提供未來數年至十年的氣候預測，朝向用於實際預報及氣候服務。
- 透過比較initialized 與 uninitialized simulations，可評估初始化的對預報表現的貢獻。

年代際預報及其國際趨勢

年代際預報：短期預報與長期氣候推估之橋梁



- 差異：預報時間尺度、初始化方法與可預報度來源
- 相較於短期預報，年際至年代際預報更依賴海洋初始狀態所提供的長期記憶。

- 差異：是否以觀測氣候狀態進行初始化
- 氣候推估主要根據不同外部強迫情境來推估長期氣候變化；年代際預報則加入初始化資訊，提供未來數年至十年的氣候預測，朝向用於實際預報及氣候服務。
- 透過比較initialized 與 uninitialized simulations，可評估初始化的對預報表現的貢獻。

Decadal Climate Prediction Project (DCPP)

多模式年代際預報資料，用以評估氣候預報結果的預報能力、可預報度、氣候變異表現等。

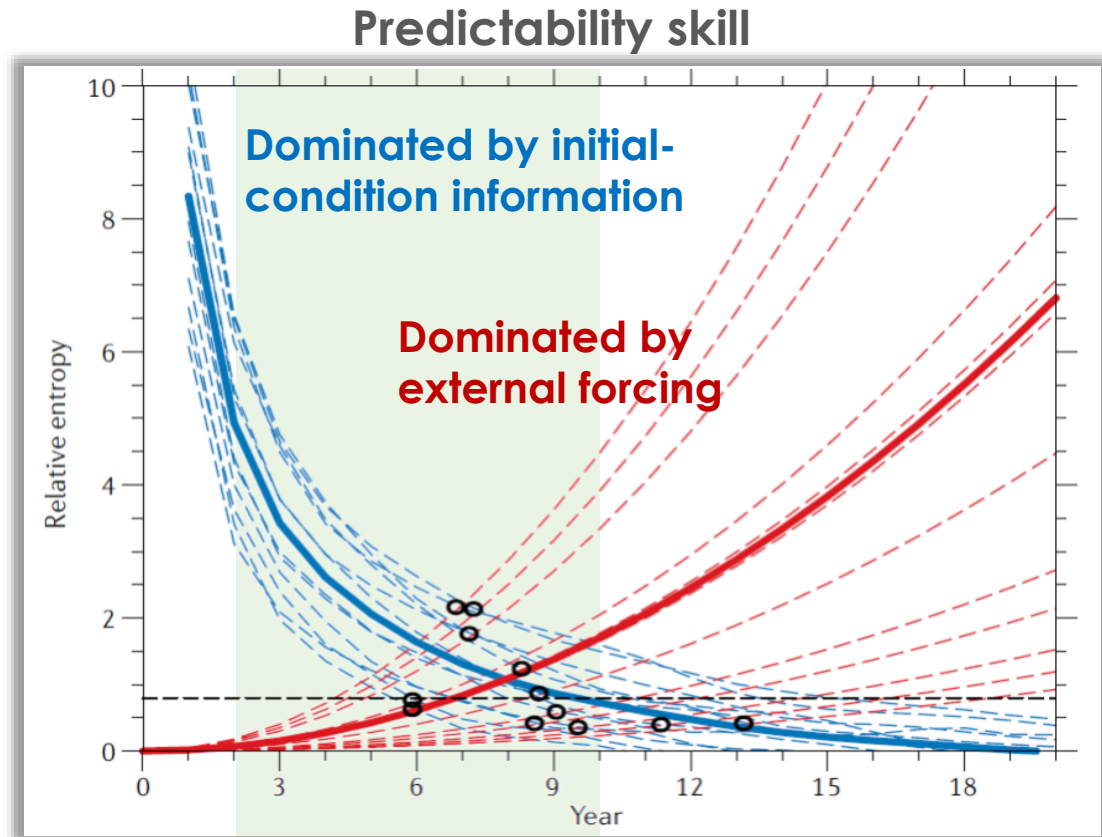
資料分為3類：

- **Hindcasts**：大量的回顧性預報資料，藉以評估、了解並改善年代際預測的技術，作為年代際預報作業的基礎。
- **Forecasts**：持續產製的準實時多模式預報，以作為潛在預報作業產品的基礎。
- **Predictability, mechanisms, and case studies**：針對特定的氣候變化(自然以及非自然)，研究造成這些變化的機制以及模式的預測能力。(e.g. ENSO、AMO、火山爆發事件等)

目前有數十個模式中心參與在計畫中，其中亦包含 NCAR、EC、...等。

年際至年代際預報技術來源與挑戰

年代際預報技術主要來源：外部強迫、海洋初始條件

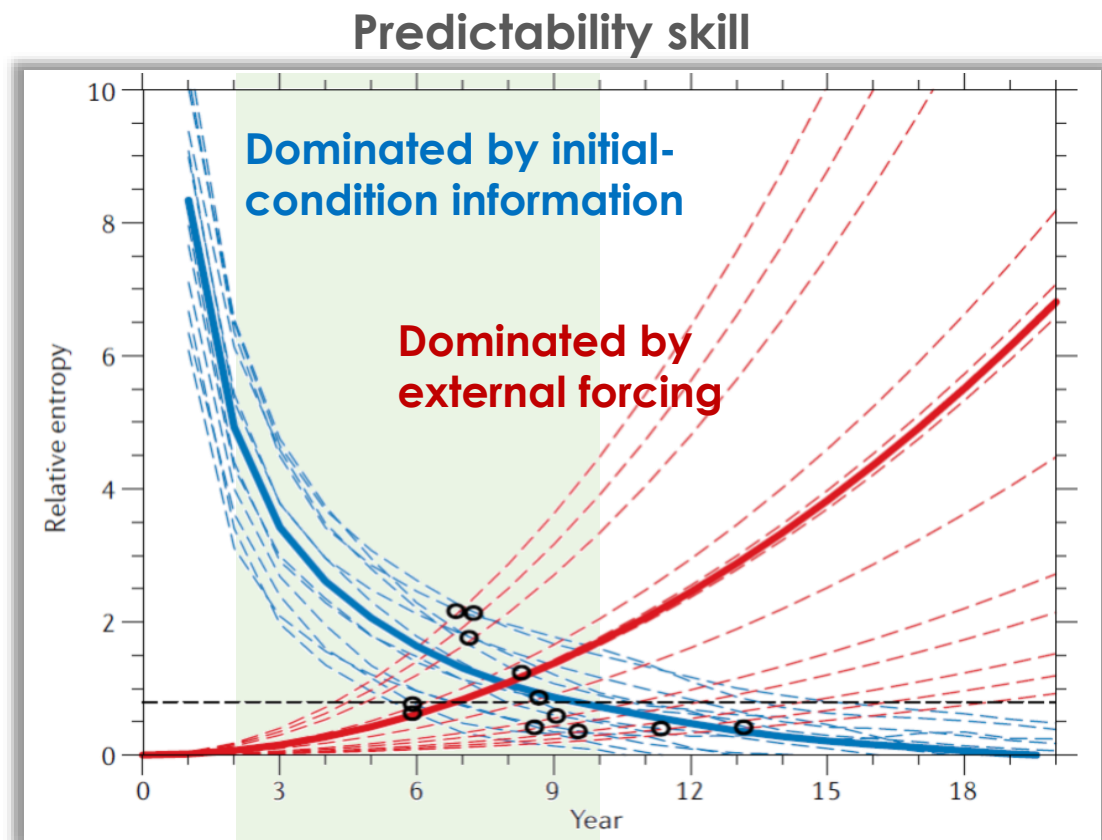


(Meehl et al. 2021)

年際至年代際預報技術來源與挑戰

年代際預報技術主要來源：外部強迫、海洋初始條件

Model Drift：隨著預報時間增加，模式會傾向本身的系統性偏差



(Meehl et al. 2021)

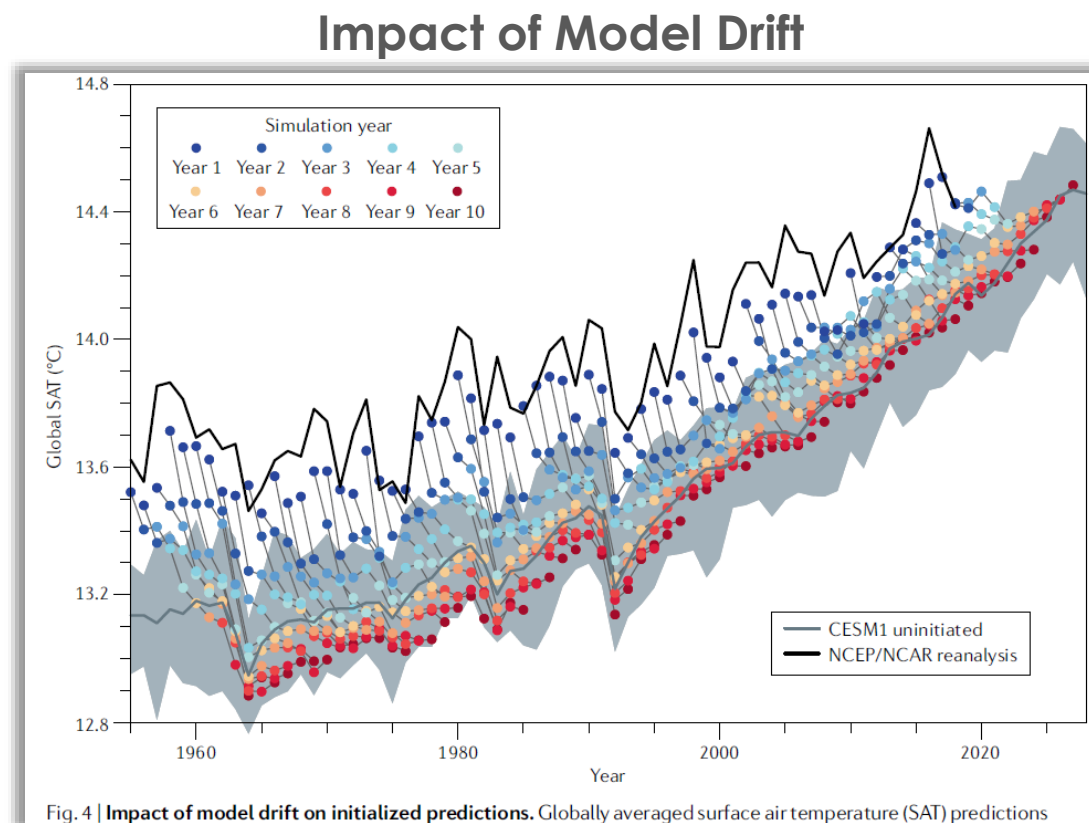


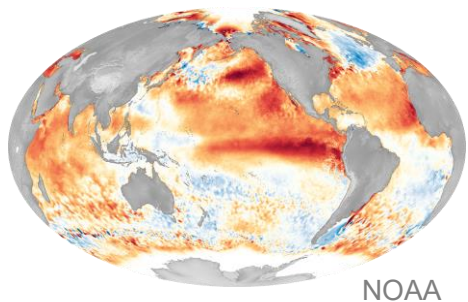
Fig. 4 | Impact of model drift on initialized predictions. Globally averaged surface air temperature (SAT) predictions

(Meehl et al. 2021)

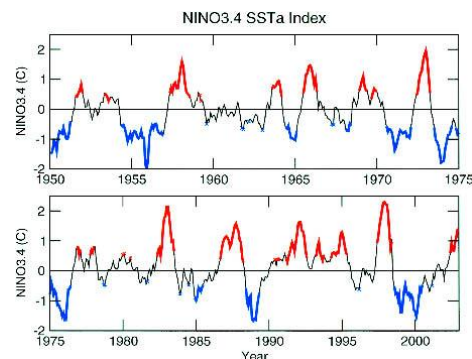
- Reanalysis
- Uninitialized Exps
- Initialized Exps (Colors in different simulation years)

Why ENSO for Decadal Prediction?

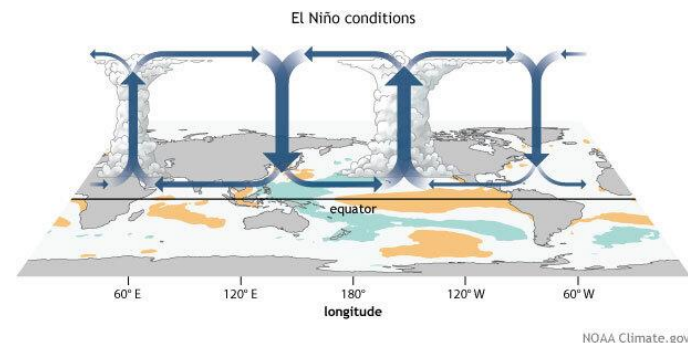
Tropical
Pacific SST



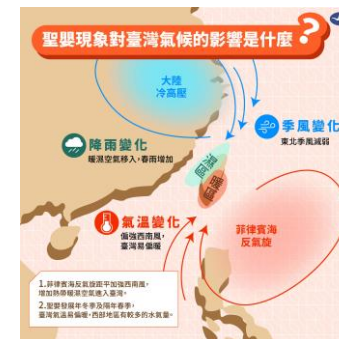
ENSO



Large-Scale
circulation

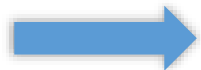
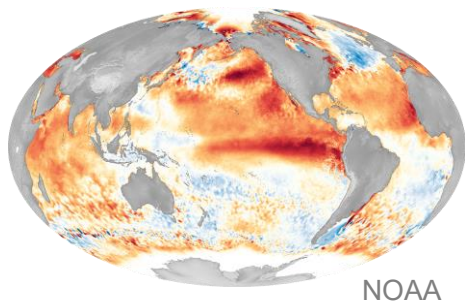


Taiwan/
East Asia

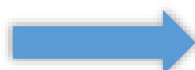
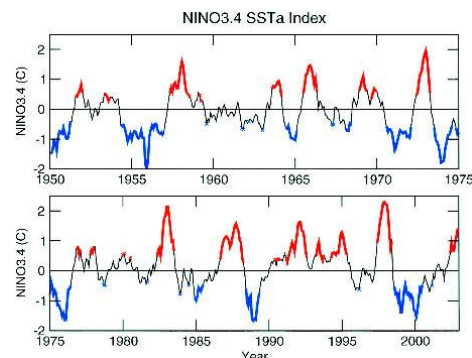


Why ENSO for Decadal Prediction?

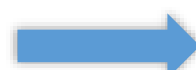
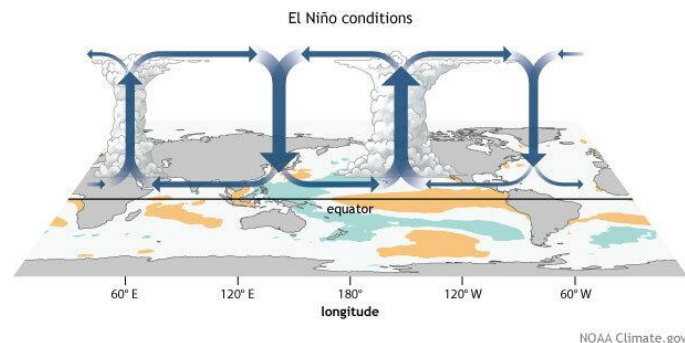
Tropical Pacific SST



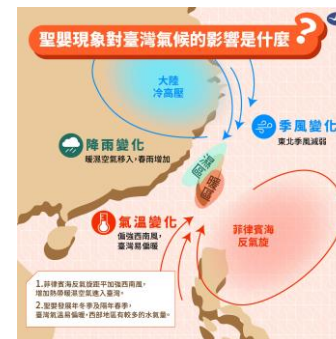
ENSO



Large-Scale circulation



Taiwan/
East Asia

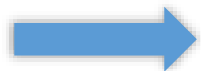
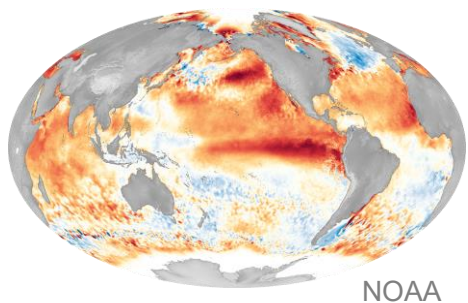


Questions:

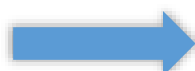
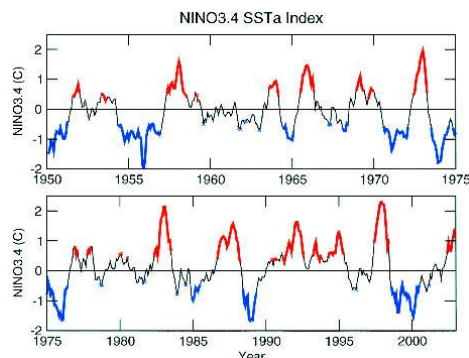
1. **SST Prediction:** How well do the models predict SST?
2. **ENSO Prediction:** How well do the models predict ENSO?
3. **ENSO Dynamics:** How well do the models represent ENSO-related atmospheric circulation?

Why ENSO for Decadal Prediction?

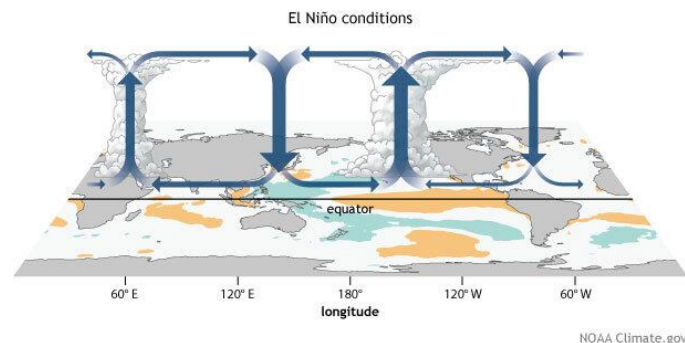
Tropical Pacific SST



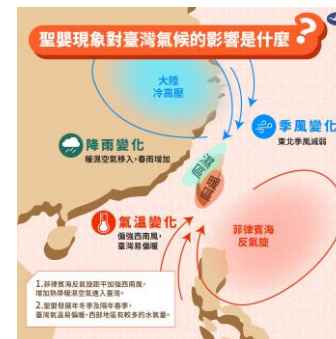
ENSO



Large-Scale circulation



Taiwan/
East Asia



Questions:

1. **SST Prediction:** How well do the models predict SST?
2. **ENSO Prediction:** How well do the models predict ENSO?
3. **ENSO Dynamics:** How well do the models represent ENSO-related atmospheric circulation?

ENSO is primarily internal variability → prediction skill is expected to decline rapidly beyond the interannual timescale.

Decadal Prediction Datasets

DCPP climate models

CESM1 (Yeager et al. 2018)	• Decadal prediction Large Ensemble (CESM1) • 初始時間：1954~2017，每年11月1日 • 預報時間長度：122個月 (約10年) • 系集成員：40個 • 網格：約1.25*1度
NorCPM1 (Bethke et al. 2021)	• The Norwegian Climate Prediction Model version 1 • 初始時間：1960~2021，每年11月1日 • 預報時間長度：123個月 (約10年) • 系集成員：10個 • 網格：約2.5*2度
TaiESM1 (conducted following the DCPP hindcast protocol)	• Taiwan earth system model version 1 • 初始時間：1960~2014，每年11月1日 • 預報時間長度：約64個月 (約5年) • 系集成員：10個 • 網格：約1.25*1度

Decadal Prediction Datasets

DCPP climate models

CESM1 (Yeager et al. 2018)	- Decadal prediction Large Ensemble (CESM1) - 初始時間：1954~2017，每年11月1日 - 預報時間長度：122個月 (約10年) - 系集成員：40個 - 網格：約1.25*1度
NorCPM1 (Bethke et al. 2021)	- The Norwegian Climate Prediction Model version 1 - 初始時間：1960~2021，每年11月1日 - 預報時間長度：123個月 (約10年) - 系集成員：10個 - 網格：約2.5*2度
TaiESM1 (conducted following the DCPP hindcast protocol)	- Taiwan earth system model version 1 - 初始時間：1960~2014，每年11月1日 - 預報時間長度：約64個月 (約5年) - 系集成員：10個 - 網格：約1.25*1度

	lead 1	lead 2	...	lead 9	lead 10
Initialized month	Year 1	Year 2	...	Year 9	Year 10
1960-11	1961	1962	...	1969	1970
1961-11	1962	1963	...	1970	1971
...	...	...	...	...	...
2000-11	2001	2002	...	2009	2010
...	...	...	...	...	...
2021-11	2022	2023	...	2030	2031

Analysis period: 1971–2011

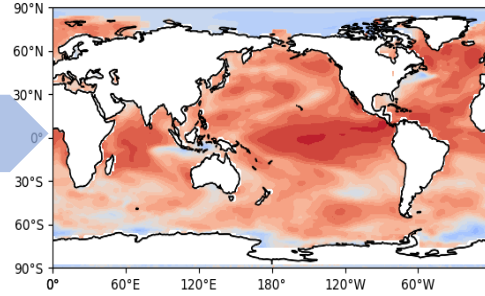
ACC of SST is highest over the tropical oceans at LY1 and declines rapidly

Truth: ERSSTv5

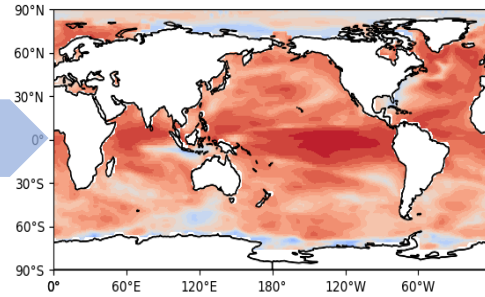
Lead Year 1

ACC

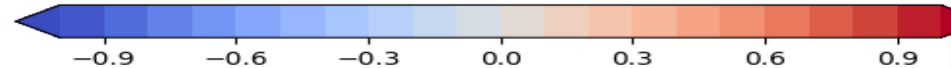
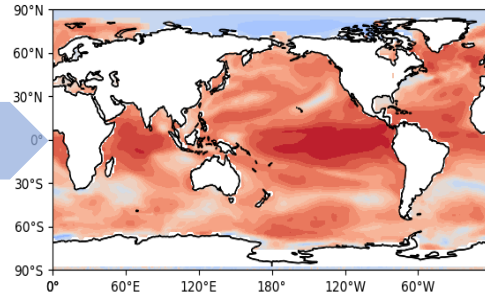
CESM1



NorCPM1



TaiESM1



- LY1 : 熱帶太平洋、熱帶及北大西洋、印度洋skill較高。

ACC of SST is highest over the tropical oceans at LY1 and declines rapidly

Truth: ERSSTv5

ACC

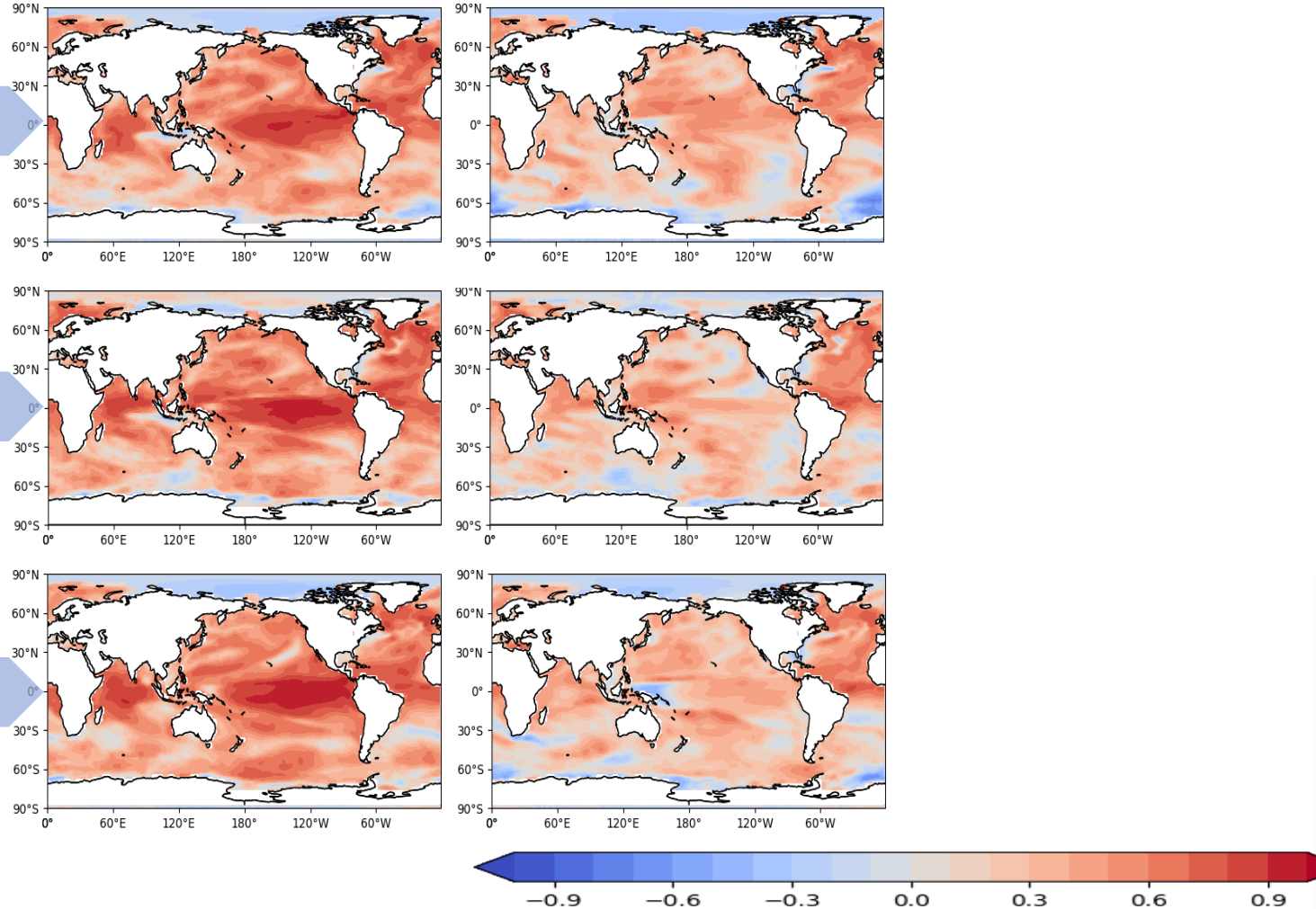
CESM1

NorCPM1

TaiESM1

Lead Year 1

Lead Year 2



- LY1：熱帶太平洋、熱帶及北大西洋、印度洋skill較高。
- 熱帶太平洋的skill隨時間快速下降。

ACC of SST is highest over the tropical oceans at LY1 and declines rapidly

Truth: ERSSTv5

ACC

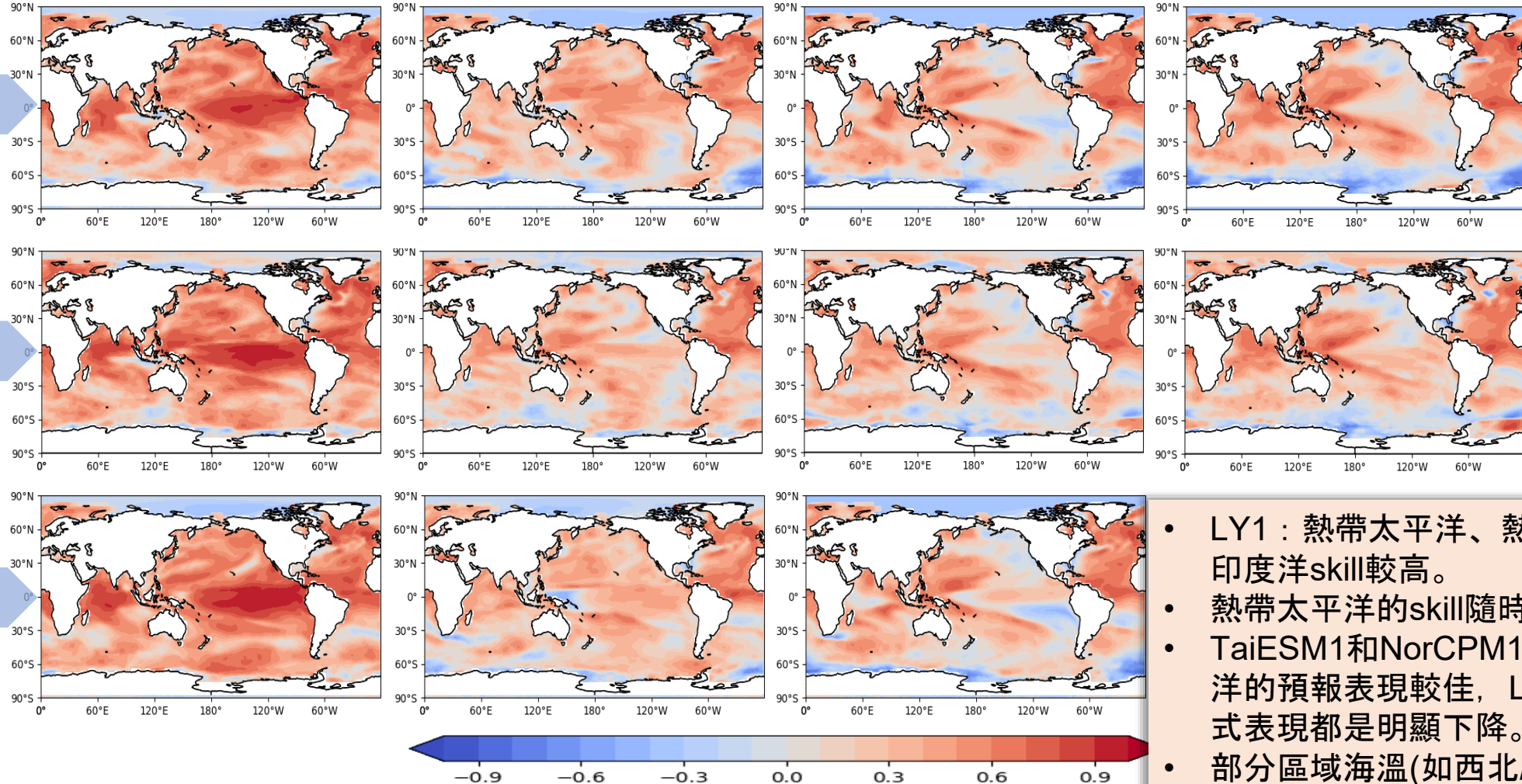
CESM1

Lead Year 1

Lead Year 2

Lead Year 3~5

Lead Year 6~10



NorCPM1

TaiESM1

- LY1：熱帶太平洋、熱帶及北大西洋、印度洋skill較高。
- 熱帶太平洋的skill隨時間快速下降。
- TaiESM1和NorCPM1在LY1熱帶太平洋的預報表現較佳，LY2之後三組模式表現都是明顯下降。
- 部分區域海溫(如西北/西南太平洋)在LY6~10 仍有較高 ACC，可能反映隨 lead time 增加之外部強迫訊號貢獻。

SST MSSS is highest over the tropical oceans at Lead Year 1 and declines rapidly

Truth: ERSSTv5

MSSS

CESM1

NorCPM1

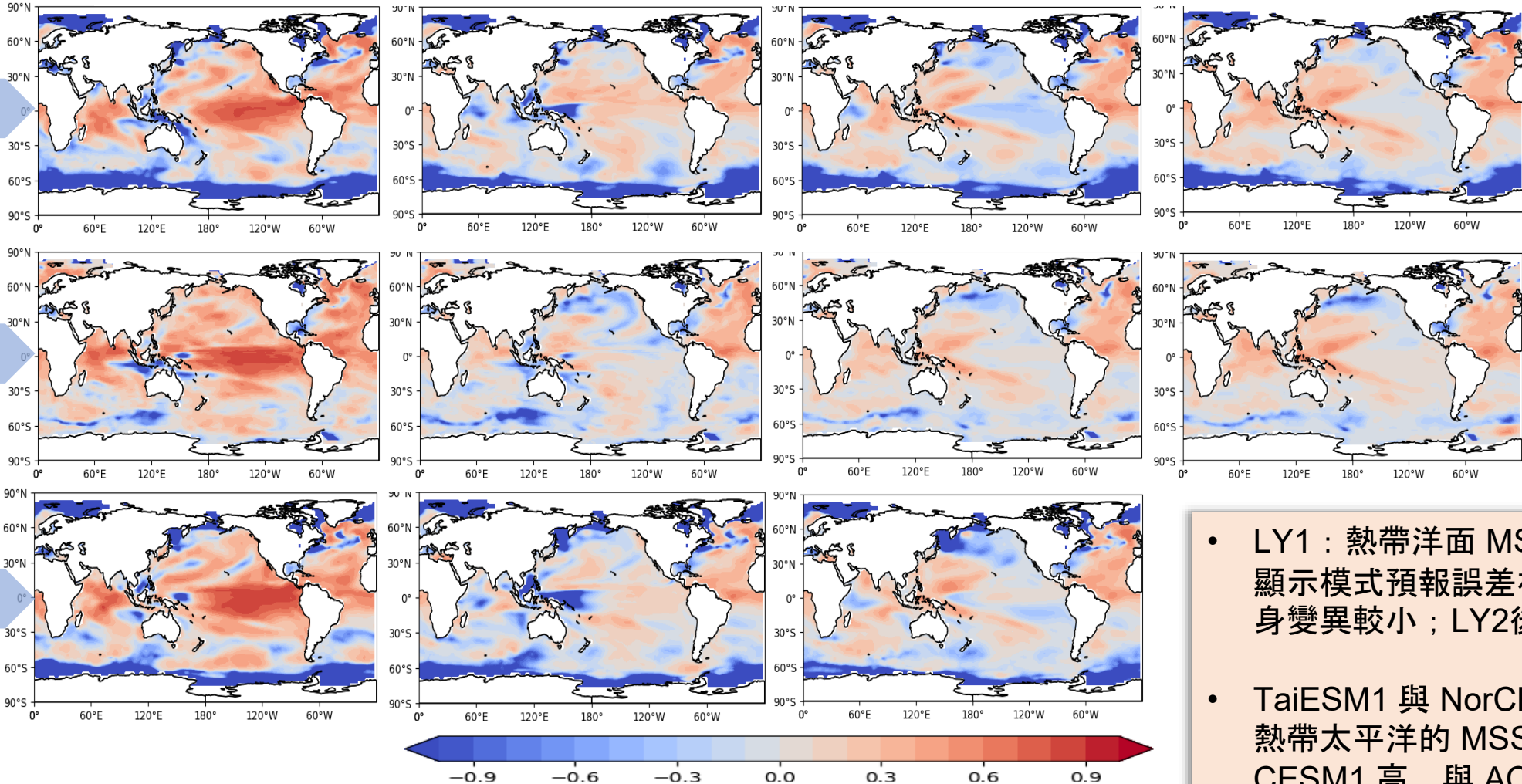
TaiESM1

Lead Year 1

Lead Year 2

Lead Year 3~5

Lead Year 6~10



- LY1：熱帶洋面 MSSS 較高，顯示模式預報誤差相對於觀測自身變異較小；LY2後則明顯下降。
- TaiESM1 與 NorCPM1 在 LY1 熱帶太平洋的 MSSS 較 CESM1 高，與 ACC 結果一致。

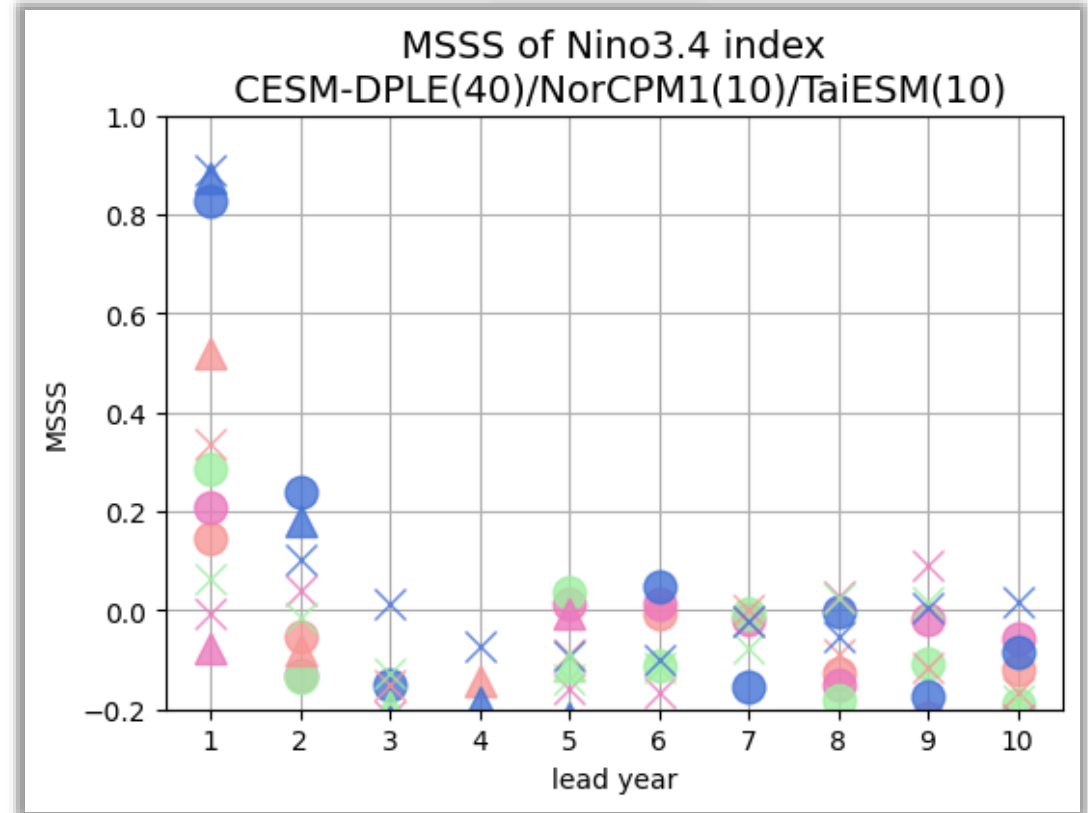
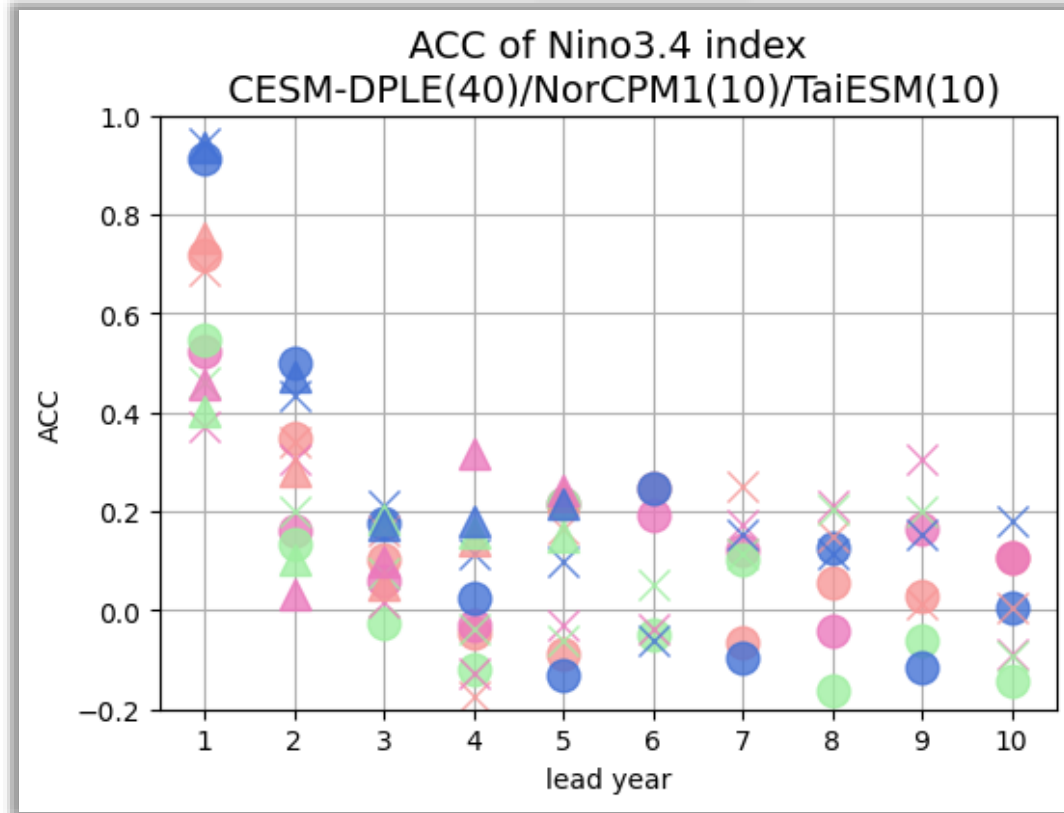
Mean Squared Skill Score (MSSS) 衡量模式預報誤差相對於觀測變異的大小；MSSS 越高表示預報誤差相對較小，預報表現越佳；MSSS > 0 表示模式預報誤差小於觀測距平本身的變異。

Useful ENSO prediction skill mainly shown within the first 1–2 lead years.

Niño 3.4 Index

ACC

MSSS



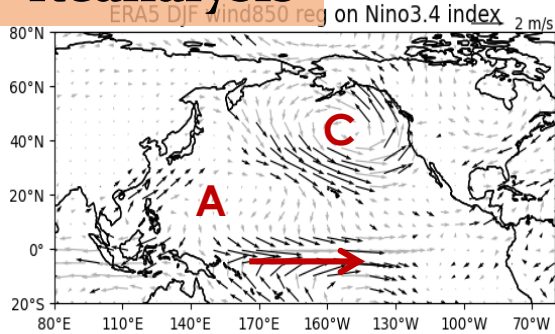
- CESM1
- X NorCPM1
- ▲ TaiESM1

Blue: DJF
Orange: MAM
Pink: JJA
Green: SON

ENSO-related atmospheric circulation patterns remain recognizable at longer lead years

Wind850 regress
on Niño 3.4 index

Reanalysis



→ 95% confidence level

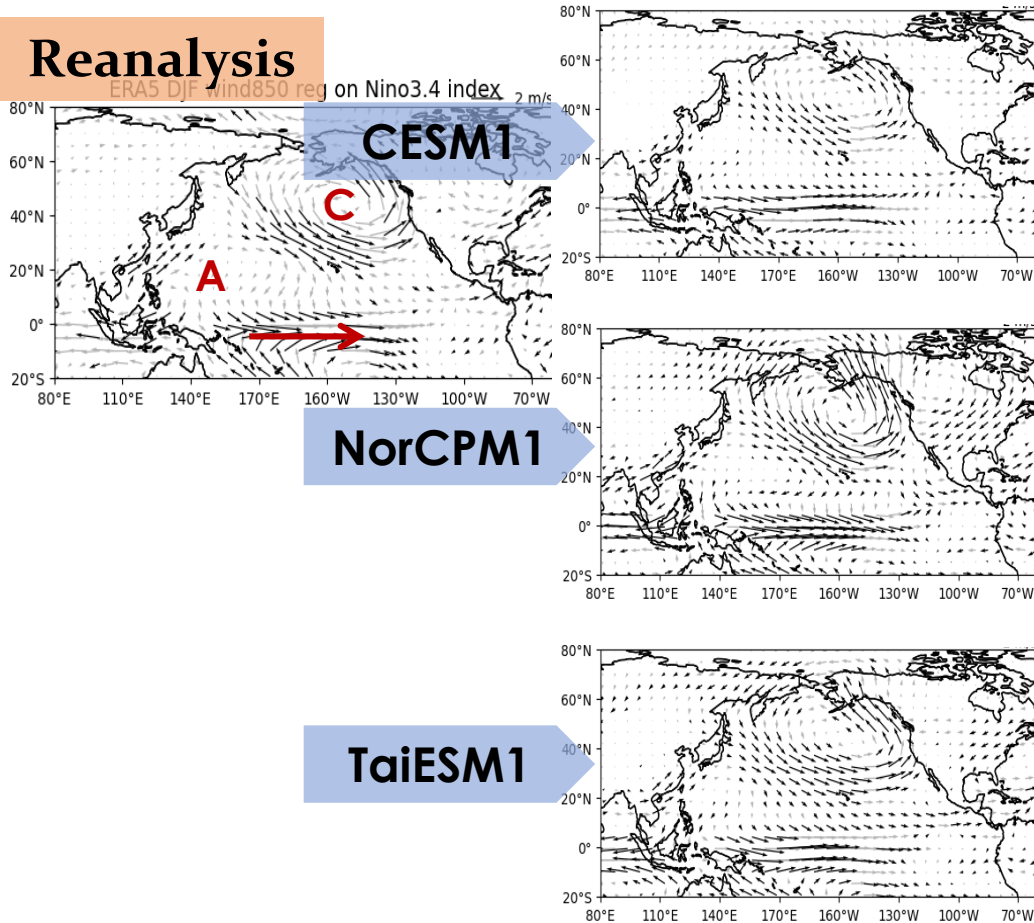
ENSO-related atmospheric circulation patterns remain recognizable at longer lead years

Wind850 regress
on Niño 3.4 index

Lead Year 1

Reanalysis

ERA5 DJF Wind850 reg on Nino3.4 index



→ 95% confidence level

ENSO-related atmospheric circulation patterns remain recognizable at longer lead years

Wind850 regress
on Niño 3.4 index

Lead Year 1

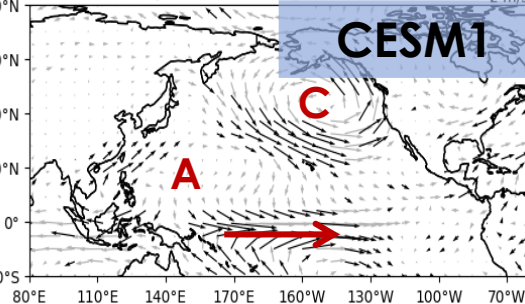
Lead Year 2

Lead Year 3~5

Lead Year 6~10

Reanalysis

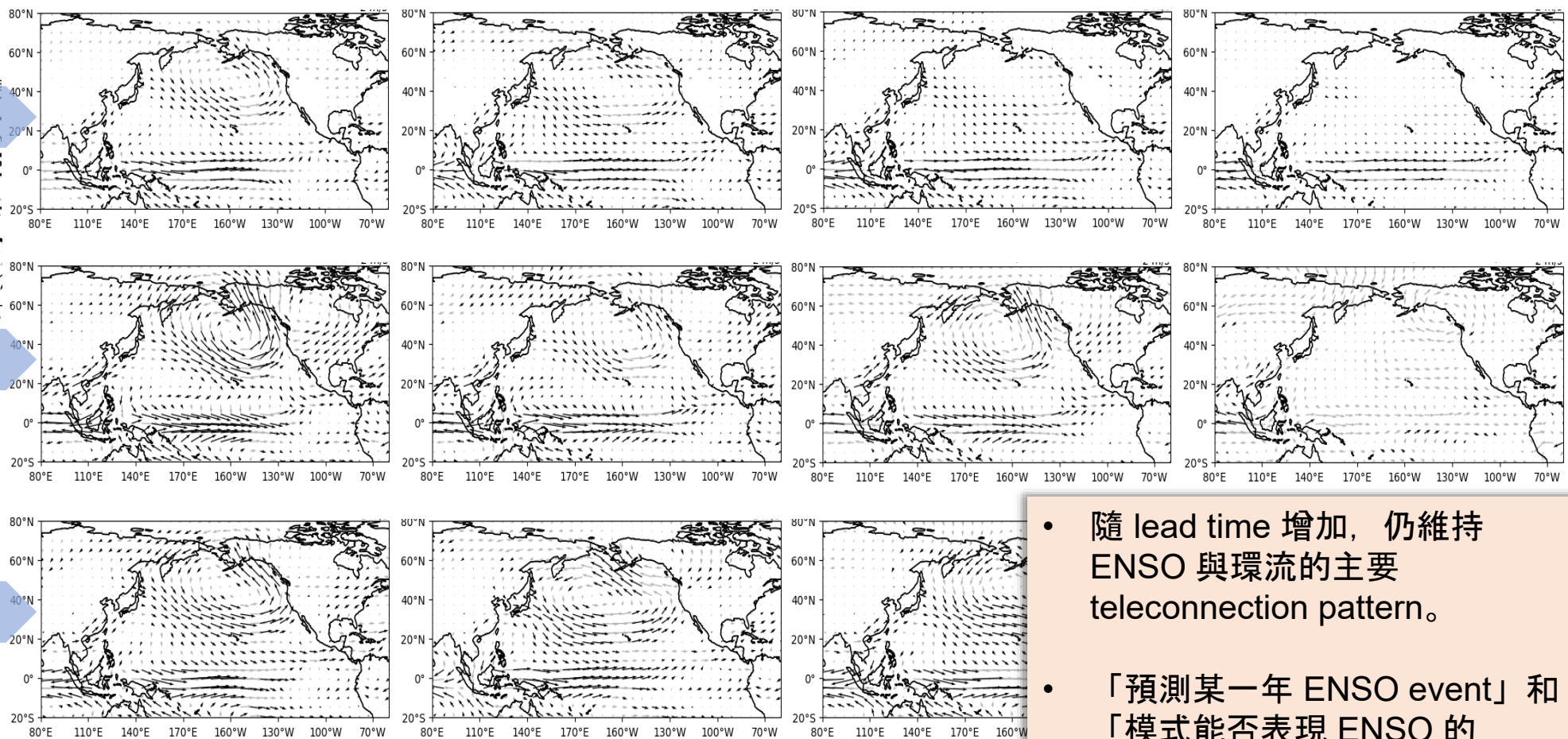
ERA5 DJF Wind850 reg on Nino3.4 index 2 m/s



CESM1

NorCPM1

TaiESM1



→ 95% confidence level

- 隨 lead time 增加，仍維持 ENSO 與環流的主要 teleconnection pattern。
- 「預測某一年 ENSO event」和「模式能否表現 ENSO 的 dynamical relationship」不是同一件事。

ENSO-related atmospheric circulation patterns remain recognizable at longer lead years

Wind850 regress
on Niño 3.4 index

Lead Year 1

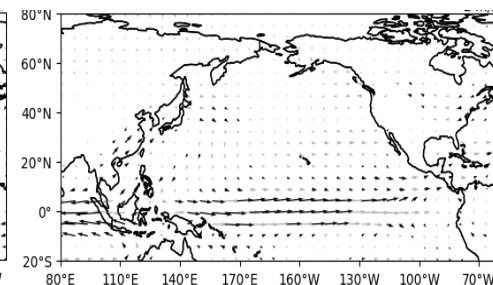
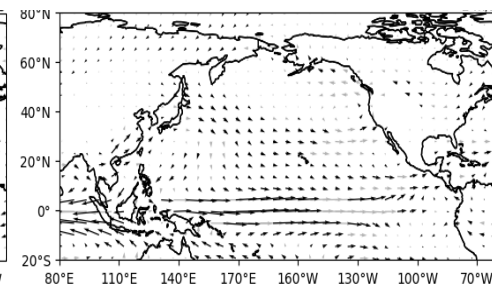
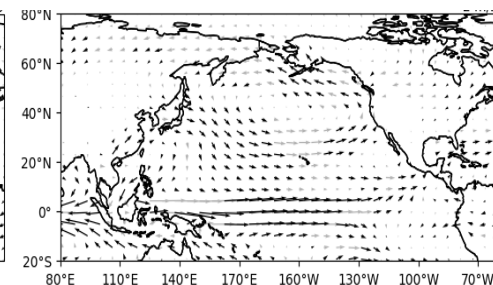
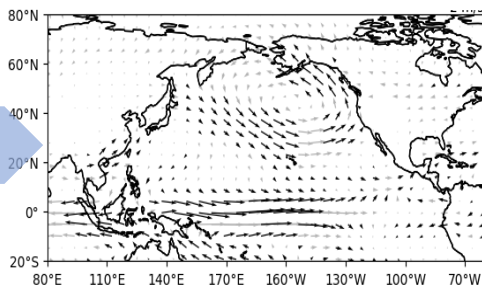
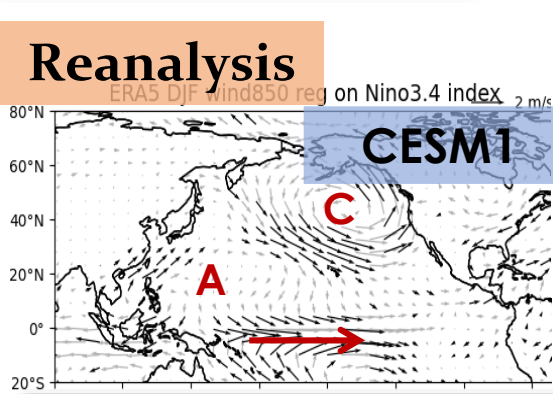
Lead Year 2

Lead Year 3~5

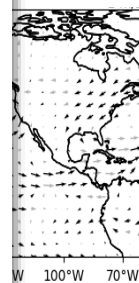
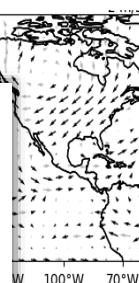
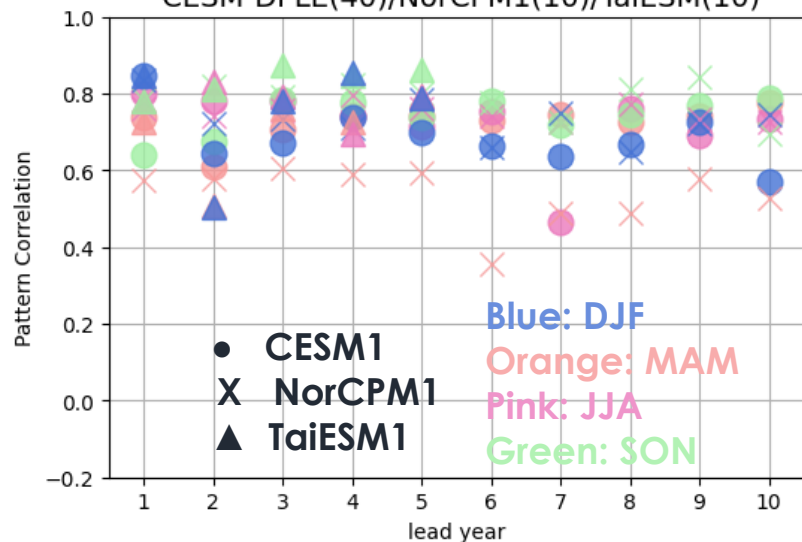
Lead Year 6~10

Reanalysis

ERA5 DJF wind850 reg on Nino3.4 index



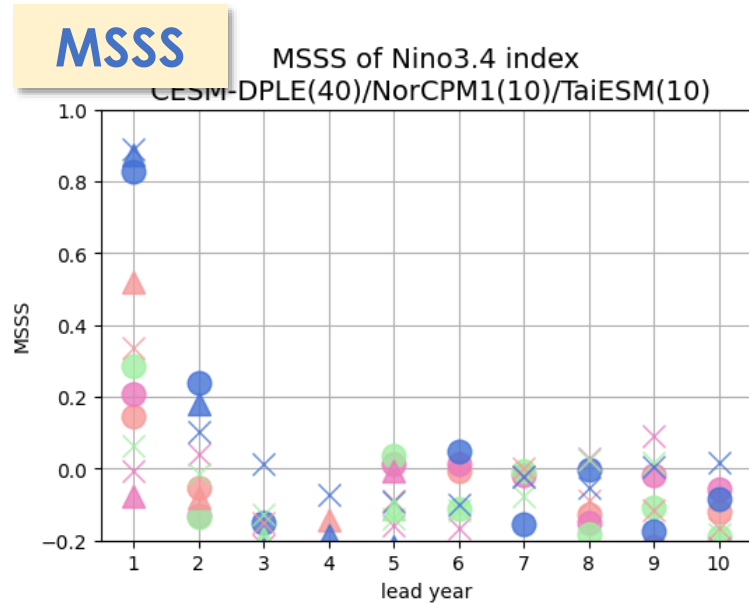
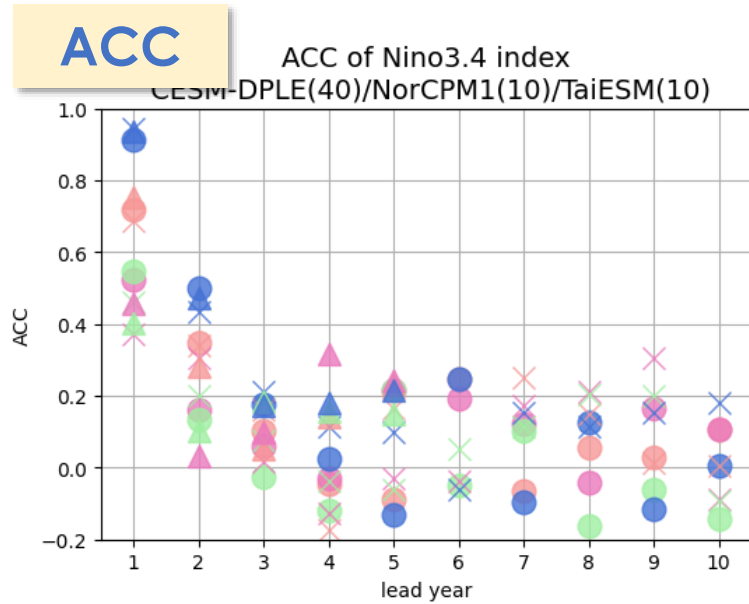
Correlation of wind850 (NP) regressed on Nino3.4 index
CESM-DPLE(40)/NorCPM1(10)/TaiESM(10)



ce level

- 隨 lead time 增加，仍維持 ENSO 與環流的主要 teleconnection pattern。
- 「預測某一年 ENSO event」和「模式能否表現 ENSO 的 dynamical relationship」不是同一件事。

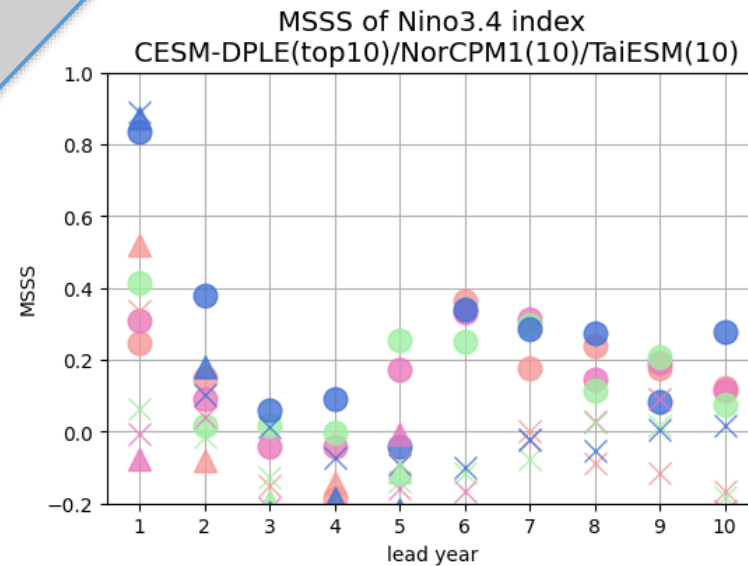
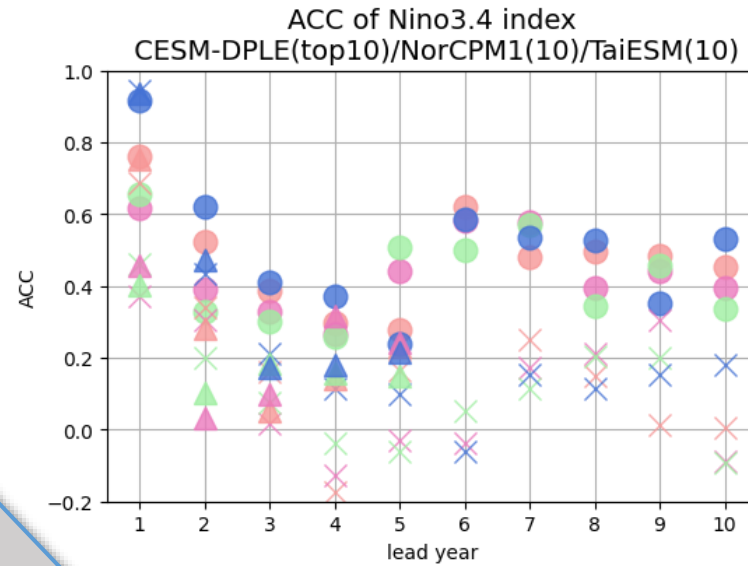
ENSO skill is sensitive to ensemble composition.



• CESM1
X NorCPM1
▲ TaiESM1

Blue: DJF
Orange: MAM
Pink: JJA
Green: SON

Sensitivity test:
CESM1 skill varies
with ensemble
composition



- 系集成員數量、組成，會影響模式的預報表現。
- 建立挑選成員的方法有機會提高預報表現，亦是未來的目標之一。

Summary

- 海溫、ENSO：在預報第1~2年，3組年代際預報模式在熱帶洋面(包含太平洋、大西洋、北印度洋)有較好的表現，其中 TaiESM1 與 NorCPM1 在熱帶太平洋的表現較佳；後隨預報時間增加而下降。
- ENSO-related circulation：雖然Niño 3.4 index預報表現隨時間下降明顯，但模式仍然掌握 ENSO 相關熱帶大氣環流的主要空間特徵。
- 評估年代際預報模式時，除了氣候指數本身的預報能力，也應考量模式是否能合理呈現重要氣候變異及其相關的大尺度環流特徵，有機會作為連結大尺度氣候變異與東亞、臺灣區域氣候預測的基礎。

Future Work

- 建立系集成員挑選方法，提升大尺度氣候變異的預報資訊表現。
- 由 ENSO、PMM、NAO 等大尺度氣候變異及其遙相關，進一步連結至東亞及臺灣區域氣候預測。

Thank you for your attention!