

臺灣降雨型態變遷與成因探討

黃婉如¹, 簡毓瑋^{1,2}, 魏曉蝶^{1,2}, 李正安^{1,2}

國立臺灣師範大學¹

國家災害防救科技中心²



指導單位

NSTC 國家科學及技術委員會
National Science and Technology Council
自然科學及永續研究發展處

計畫辦公室



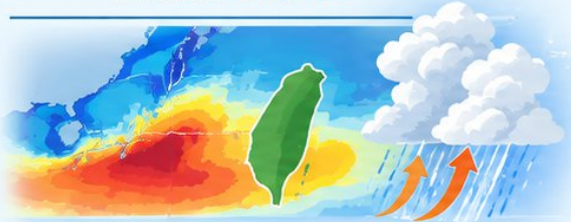
行政法人國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center
for Disaster Reduction



前言

- 臺灣降雨在不同季節與時間尺度下具有明顯差異。
- 本研究議題配合 TCCIP 資料建置時程逐步展開。

1 氣候變遷下海溫變化對臺灣夏季午後對流降雨的影響



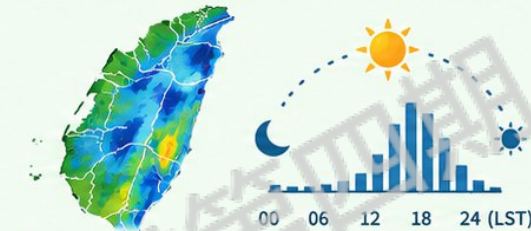
使用資料 / 模式

TCCIP × HiRAM × HiRAM-WRF

研究重點

探討未來暖化下，海溫變化如何影響臺灣夏季午後對流降雨（CAR）。

2 臺灣春季降雨的日變化特徵分析



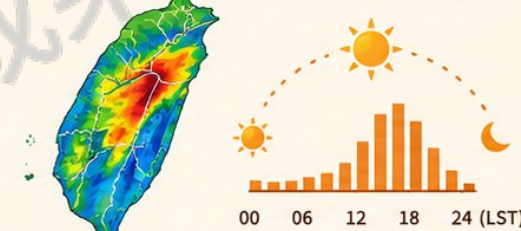
使用資料 / 模式

TCCIP × TReAD

研究重點

評估 TReAD 對臺灣春季降雨局地分布與日變化特徵的再現能力。

3 臺灣夏季降雨的日變化特徵分析



使用資料 / 模式

WRF-ERA5 × WRF-TaiESM1
× CORDEX-SEA

研究重點

比較不同模擬系統對臺灣夏季降雨日變化特徵的再現能力。

4 臺灣暖季極端降雨特徵與暖化變化



使用資料 / 模式

TCCIP × WRF-TaiESM1 3.5km
× TaiESM1

研究重點

- 1 定義並分析現今暖季極端降雨的空間特徵。
- 2 評估高解析度模擬能力，並探討 +2°C 與 +4°C 暖化下的變化。

本次報告著重在 1、4 成果作說明

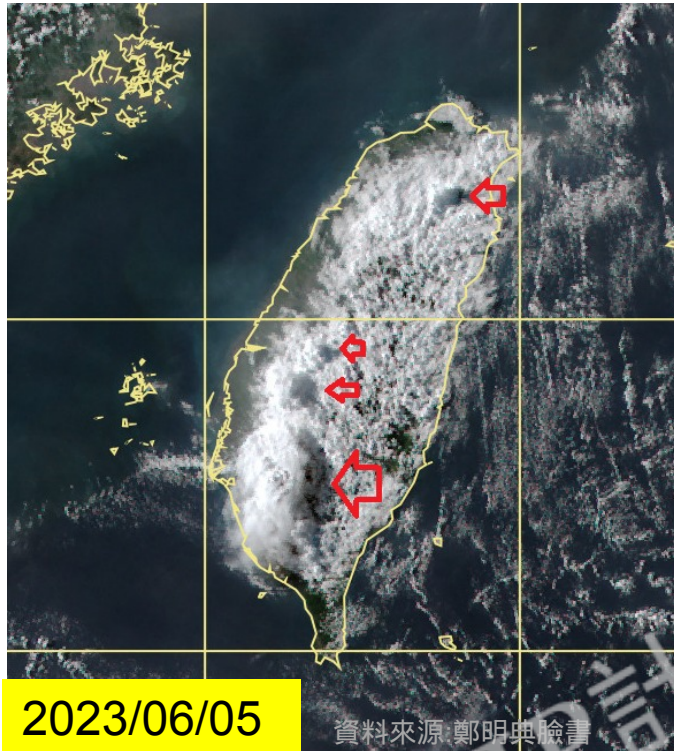


氣候變遷下，海溫變化對臺灣夏季午後對流降雨特徵的影響

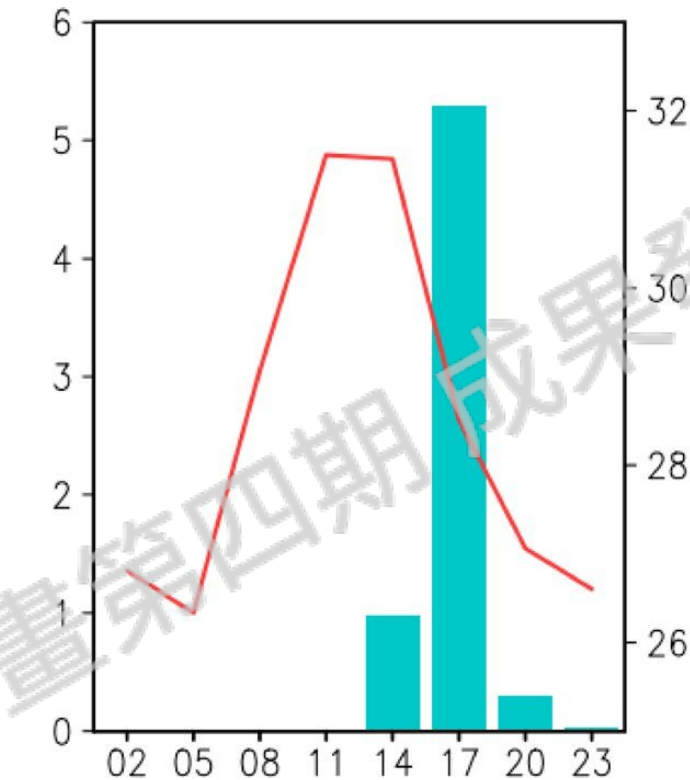
利用 TCCIP、HiRAM 與 HiRAM-WRF 資料
→ 探討未來暖化下海溫變化對夏季午後對流降雨的影響

Huang, W.-R., Chien, Y.-T., Cheng, C.-T. et al., 2023: The role of sea surface temperature in shaping the characteristics of future convective afternoon rainfall in Taiwan. npj Clim. Atmos. Sci. 6, 198.
<https://doi.org/10.1038/s41612-023-00528-7>

夏季午後對流降雨(Convection Afternoon Rainfall)



Real-time Satellite Image



Summer time (JJA)
Climate Average (1961-2012)

➤ 雨日定義：日降雨量 > 0.1 mm

➤ CAR 定義：

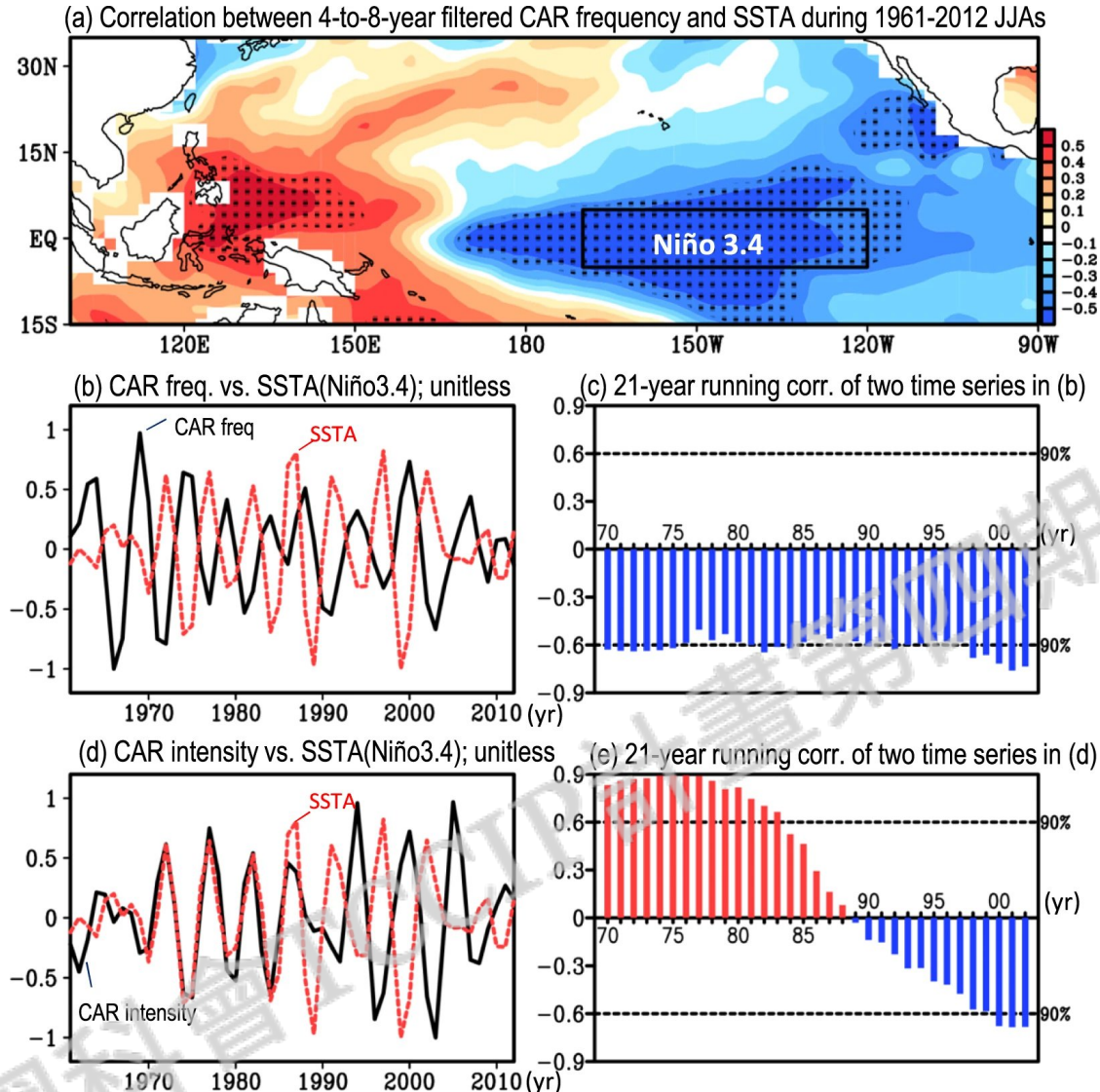
01-11 LST 降雨量 $\leq 10\%$ 日降雨量

12-22 LST 降雨量 $\geq 80\%$ 日降雨量

不受颱風或鋒面等天氣系統影響

Huang et al. 2019

CAR特徵與ENSO的關係



Huang et al. 2019

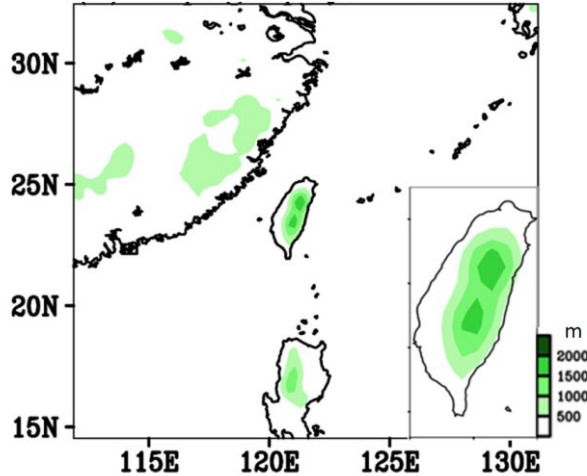
- CAR頻率與Niño 3.4呈負相關。
- CAR強度與Niño 3.4的相關性，在1990年前後，從正相關轉為負相關。

➤ 研究目標：

1. 未來暖化情境下，臺灣CAR特徵如何變化？
2. CAR特徵變化的可能物理機制？

TCCIP動力降尺度資料

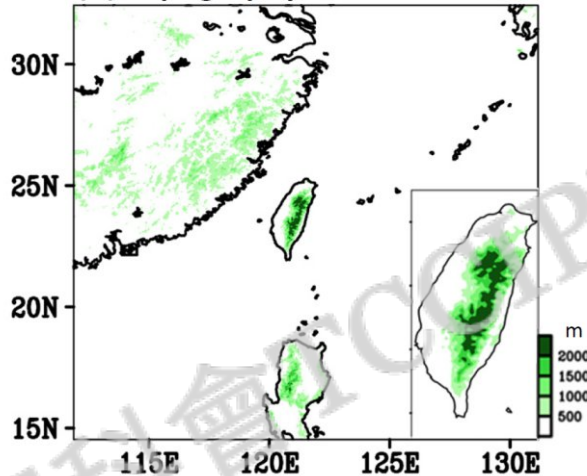
(a) Topography; HiRAM



HiRAM

- 水平解析度~25km
- 垂直32層

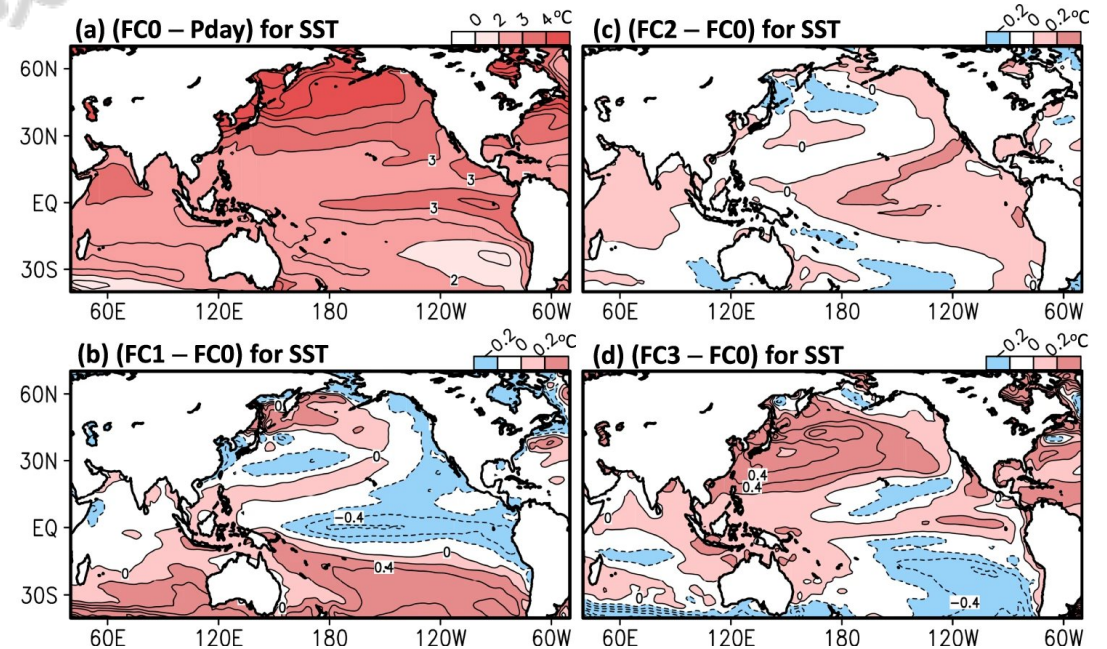
(b) Topography; WRF-HiRAM



HiRAM-WRF

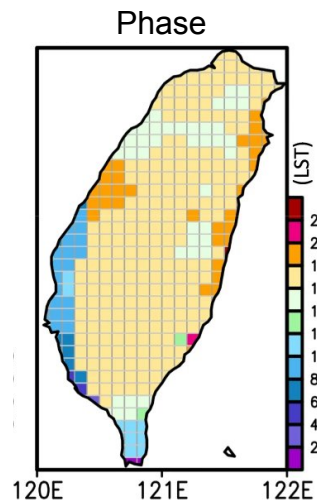
- 水平解析度~5km
- 垂直35層

- 現今時期 (1979~2003年JJA ; Pday)
- 世紀末 (2075~2099年JJA)
- 使用四組SST型態(FC0-FC3)作為邊界條件, 進行未來推估, 其中FC0為多模式系集平均

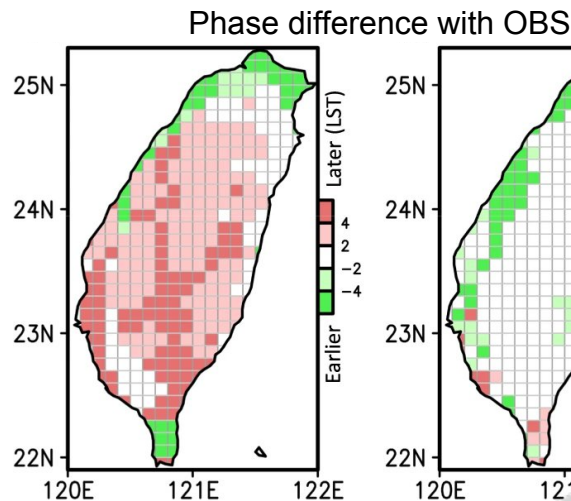


現今時期，CAR特徵的觀測與模擬

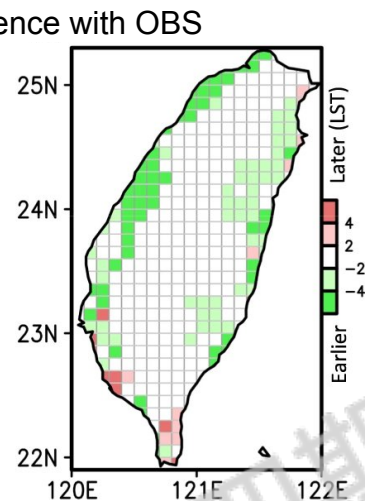
(a) TCCIP



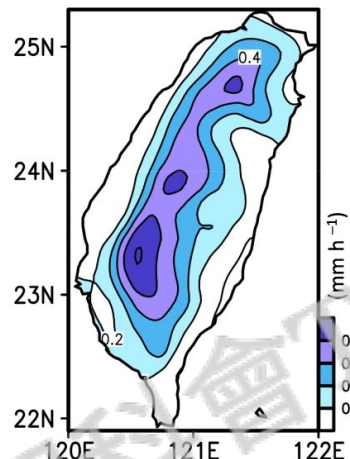
(b) HiRAM



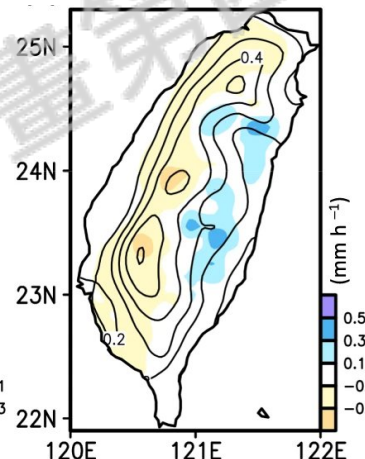
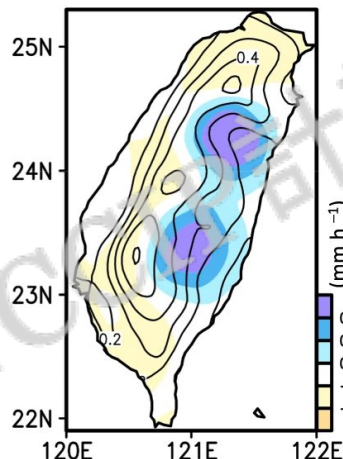
(c) HiRAM-WRF



DRV

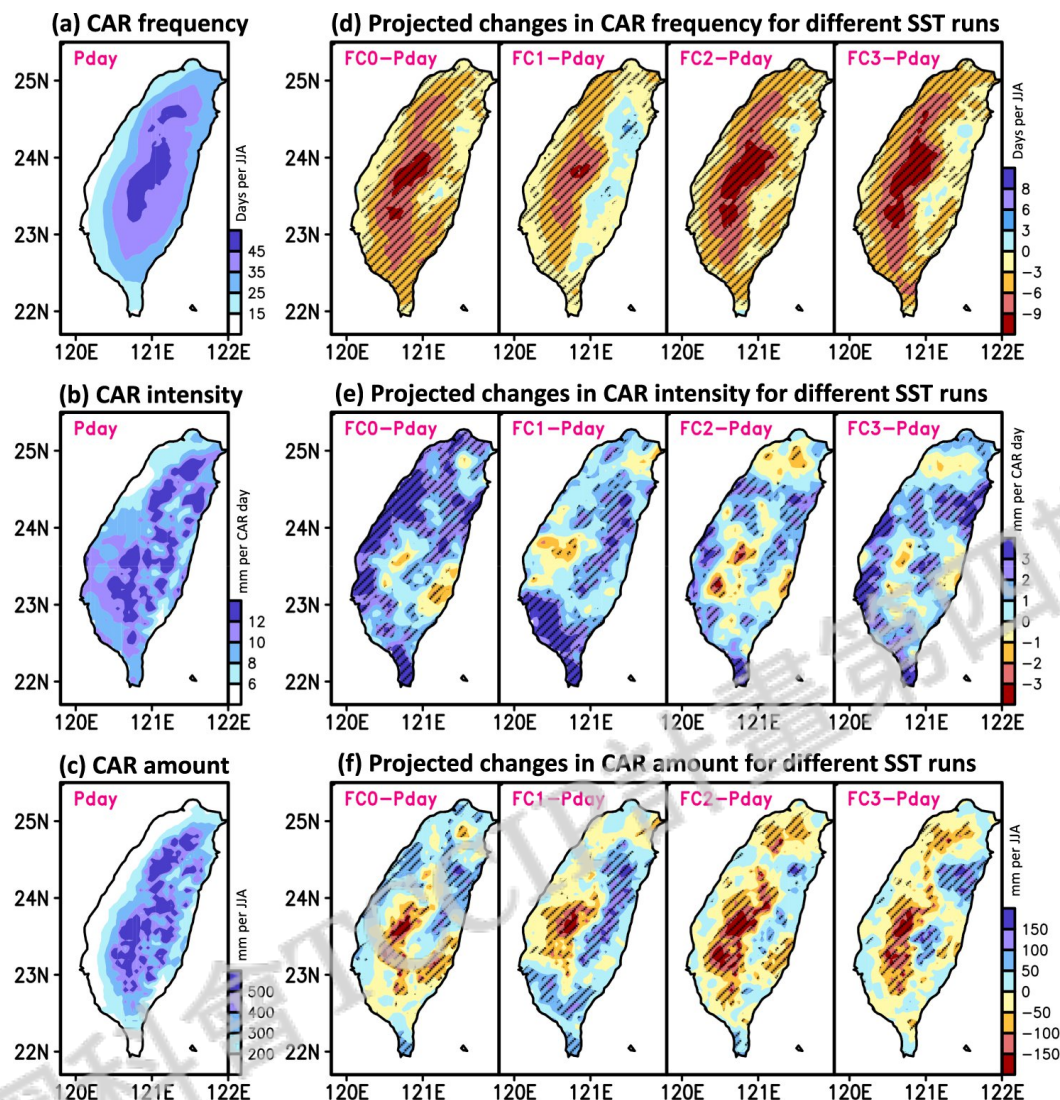


DRV difference with OBS

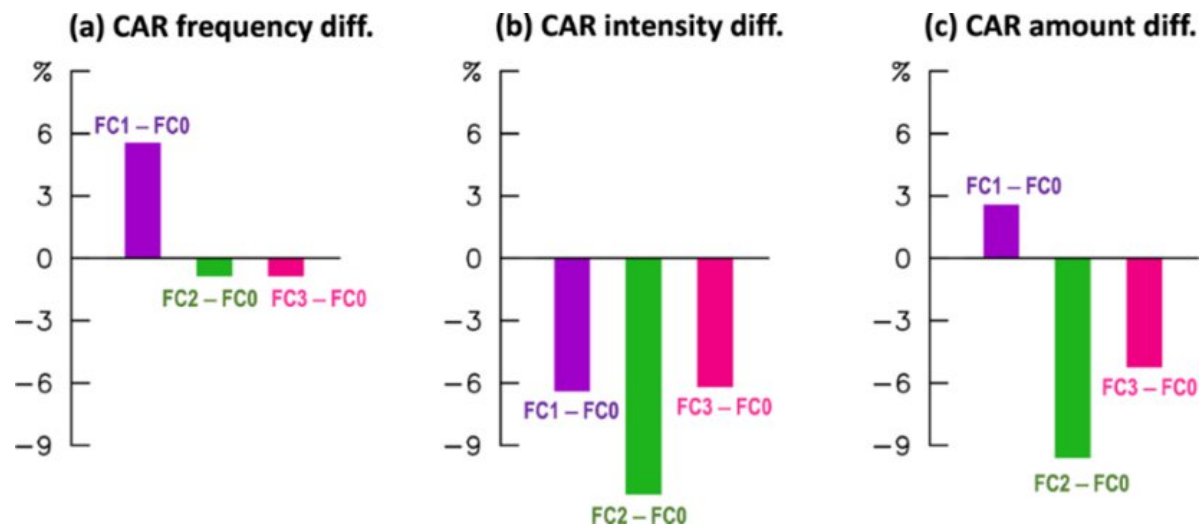


- 臺灣夏季降雨峰值出現在午後14–18時。
- HiRAM-WRF 在時間和空間分佈方面更接近觀測資料。
- 重點分析 HiRAM-WRF 在模擬和預測 CAR 的結果。

未來暖化情境下，臺灣CAR特徵如何變化？

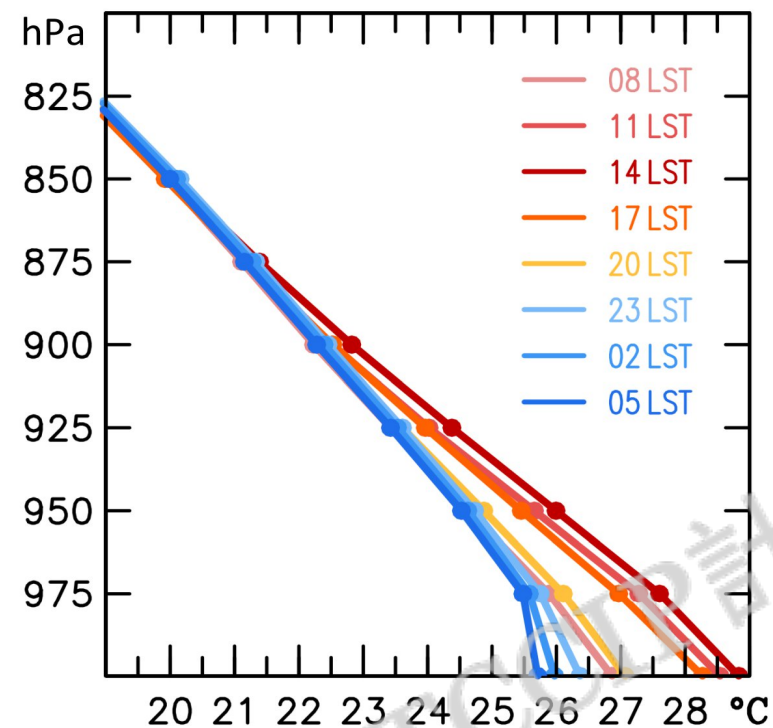


- 未來，CAR頻率減少、強度增加，而降雨量則呈現西部減少、東部增加的區域差異。
- FC1：CAR頻率增加最顯著，對應降雨量增加。
- FC2：CAR強度減少最明顯，導致降雨量減少。
- 不同SST型態會透過改變CAR的頻率和強度，進一步影響降雨量變化。

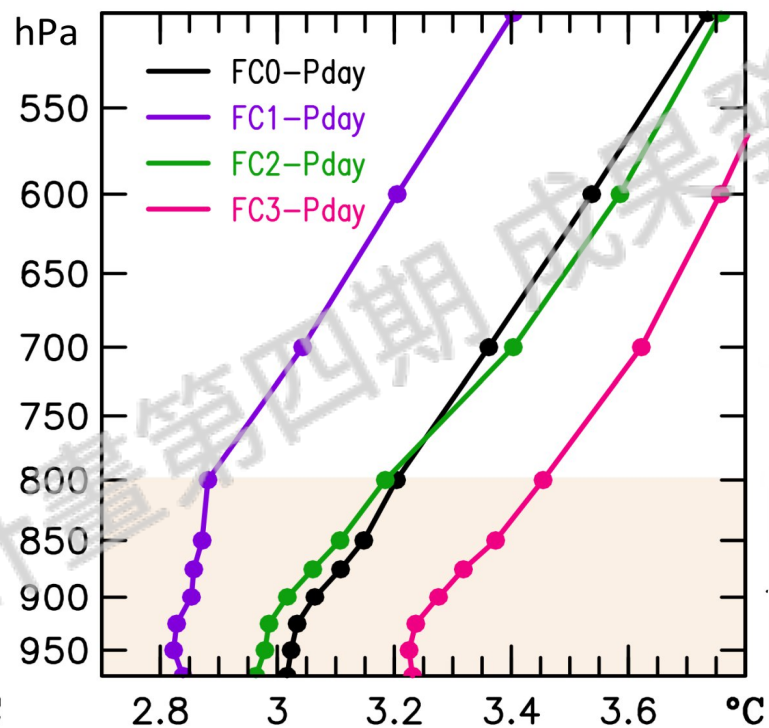


CAR特徵變化的可能物理機制

現今時期: 台灣溫度垂直分布



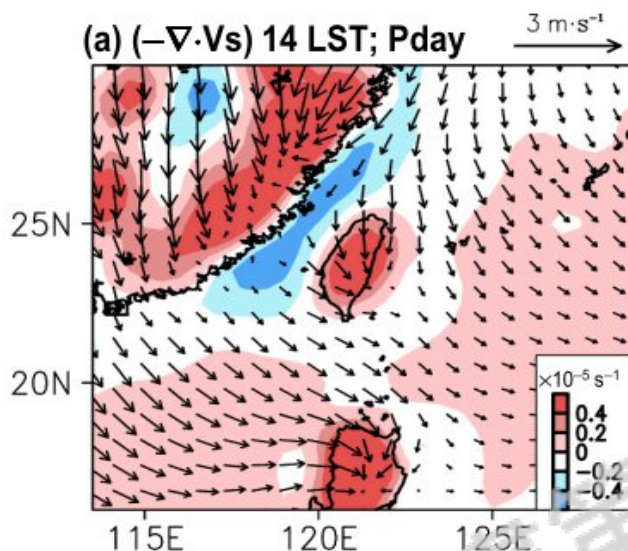
未來減去現在: 14 LST



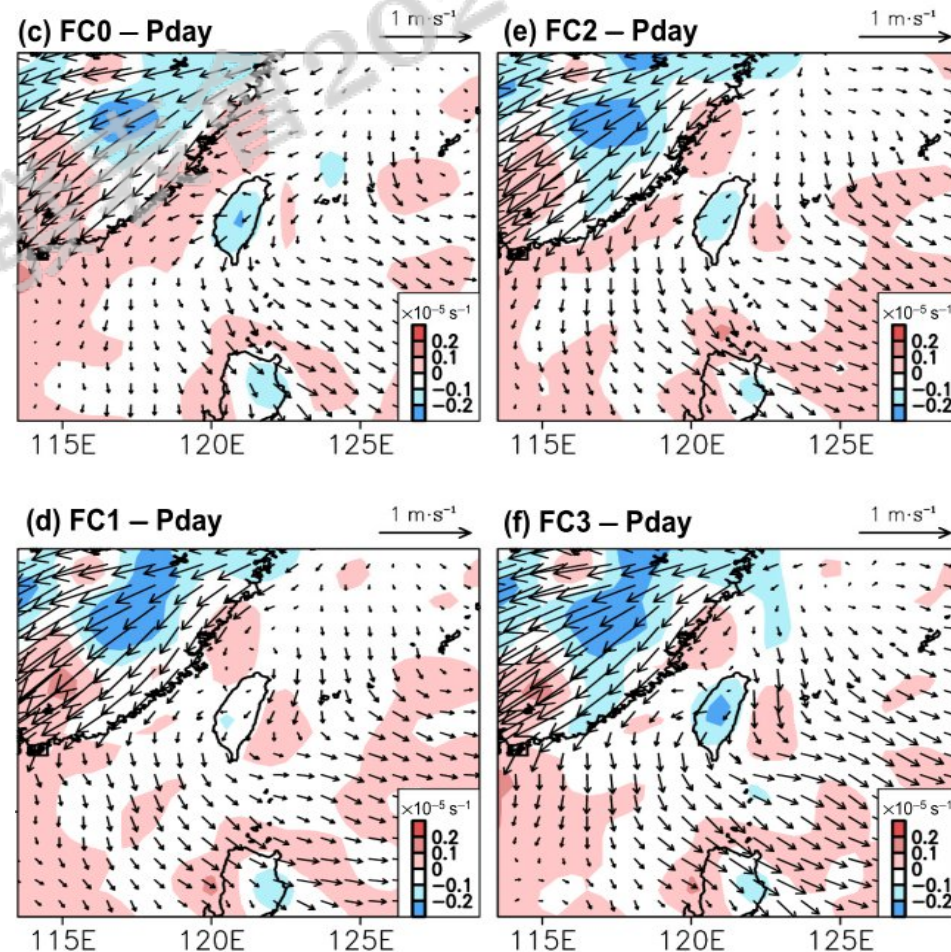
- 未來的垂直溫度都增溫，高層的增幅大於低層。
- FC1的垂直溫度梯度最小，顯示其熱穩定性較低。

CAR特徵變化的可能物理機制

現今時期: 14 LST 風場輻合



未來減去現在: 14 LST

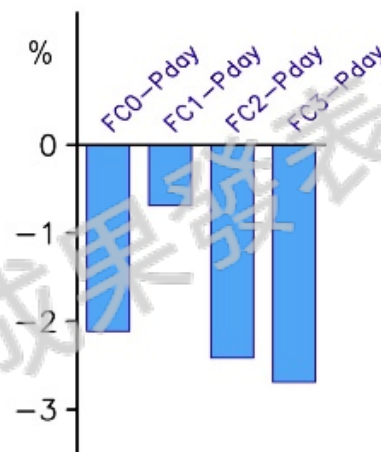


- 台灣在14時受到海風輻合影響，動力抬升促進對流。
- 未來，白天地表風輻合將受到抑制，反映出環境穩定。
- FC1預測輻合減弱幅度較小，顯示動力抬升作用較強。

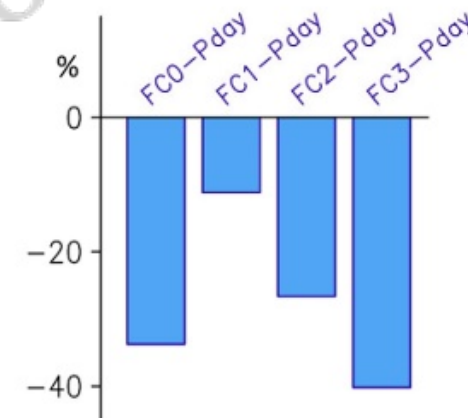
CAR特徵變化的可能物理機制

- FC1：熱力不穩定和動力舉升減弱幅度都最小，代表大氣條件較不穩定且動力舉升較強，對應其較高的CAR頻率。
- FC2：熱力不穩定減弱幅度較大、但動力舉升減弱幅度較小，代表其CAR頻率降低主要與熱力條件變化有關。
- FC3：熱力與動力條件上都呈現明顯減弱，但其對CAR頻率的影響較小。
- FC0有最強水氣輻合，而FC2則是最弱，對應CAR強度在FC0較強、在FC2較弱。

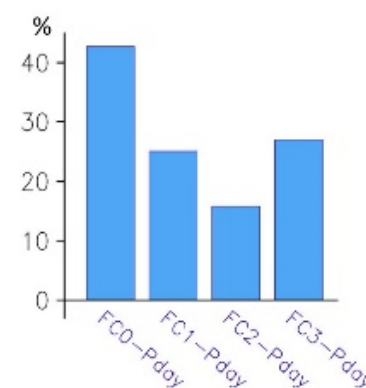
(a) Thermal instability



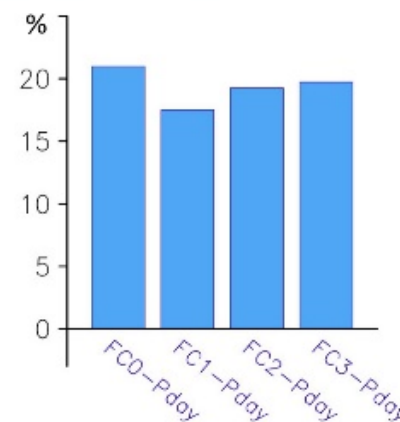
(b) Dynamic lifting



(c) Moisture flux



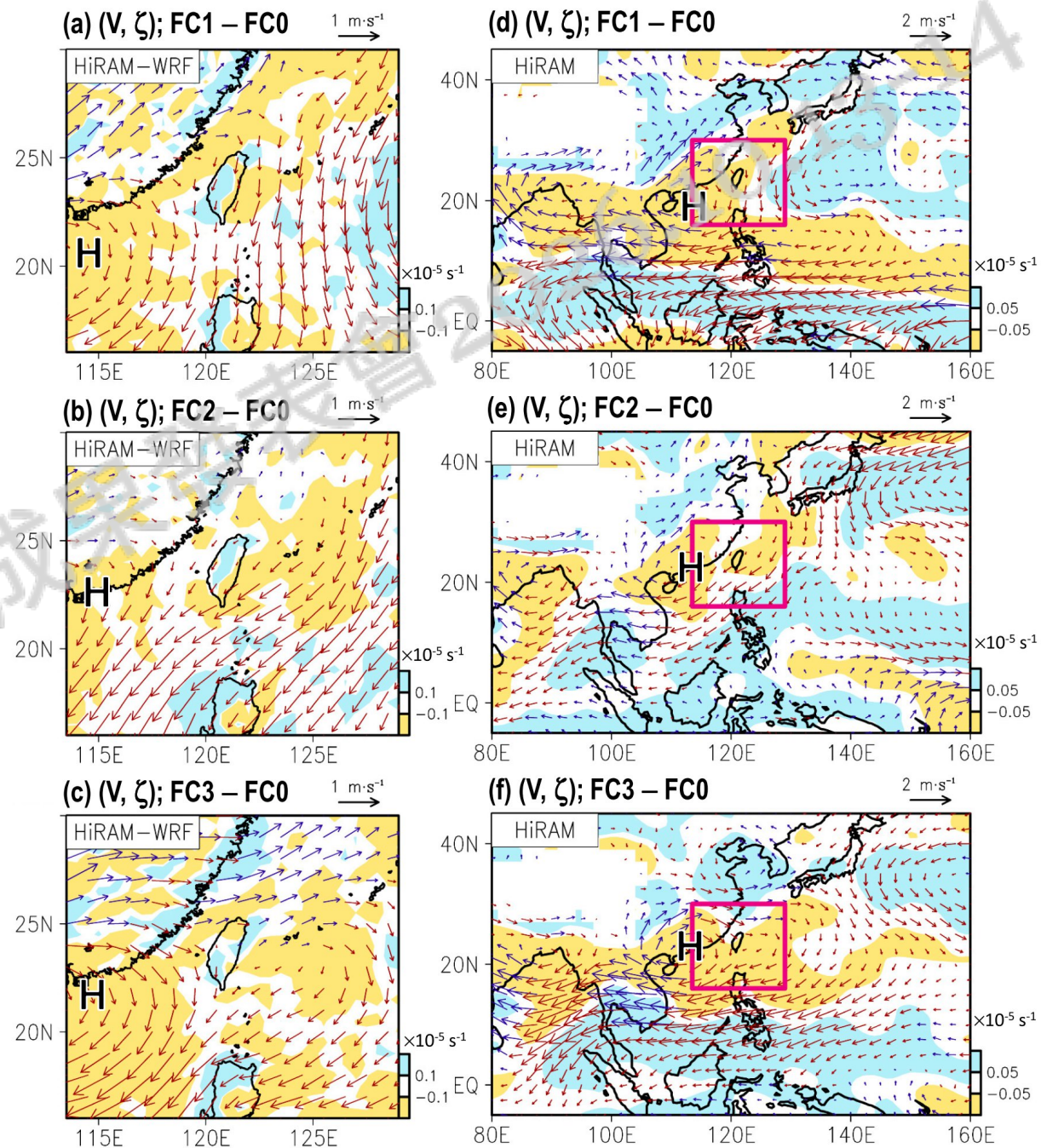
(d) Integrated Q



局地與區域環流變化之間的關聯

JJA 平均 850-hPa環流場

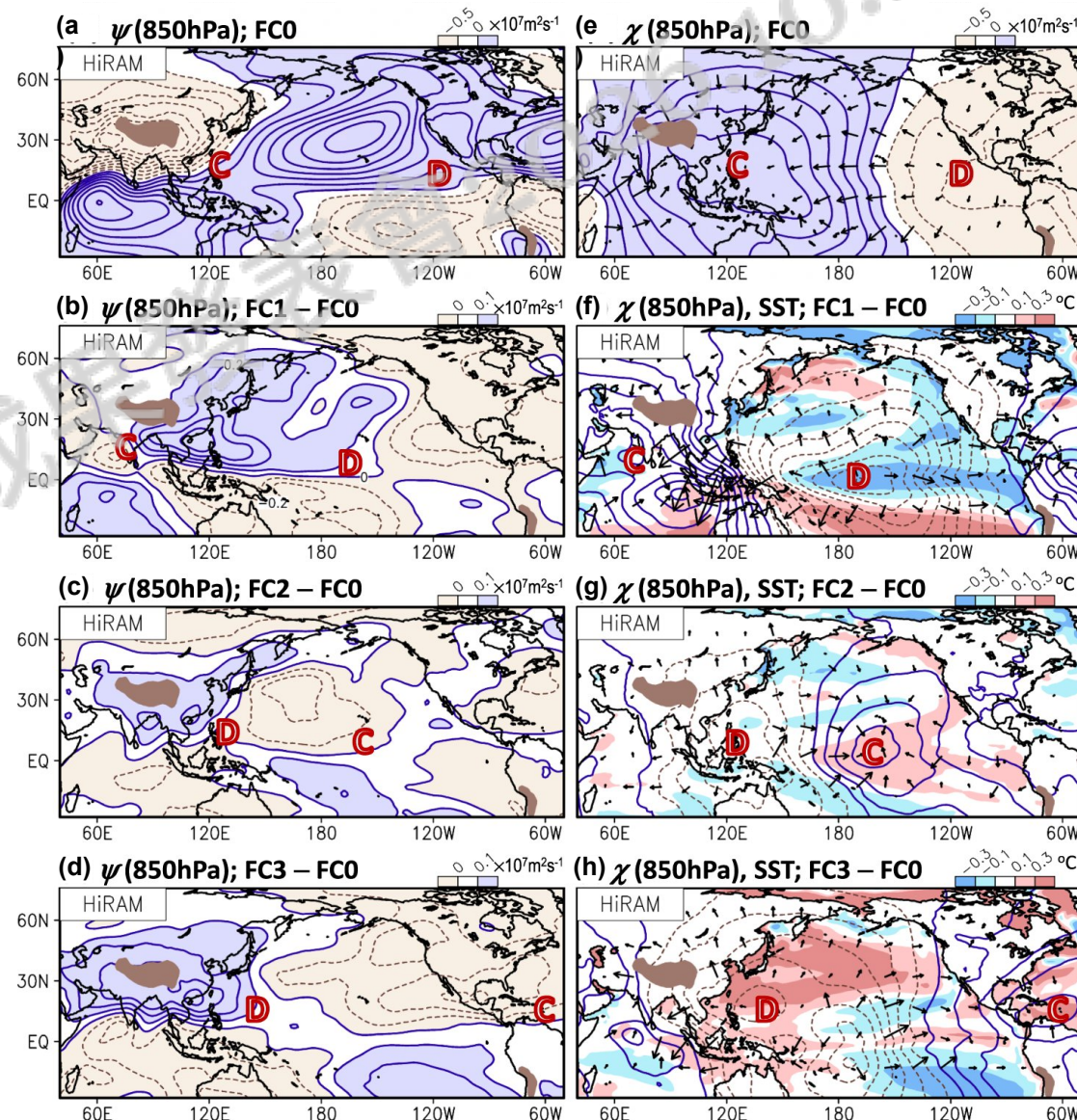
- 與FC0相比，FC1、FC2和FC3都表現出更強的北風分量，代表南海北部的西南氣流減弱。
- HiRAM-WRF (小區域)看到的現象沒辦法連結到ENSO。
- HiRAM (大區域)可以看到與HiRAM-WRF (小區域)相同的特徵，與ENSO相關的大尺度環流配置會影響到西北太平洋及台灣地區。



海表面溫度變化的影響

- FC0：中國附近存在東亞季風低壓，北太平洋存在副熱帶高壓。
- FC1(La Niña-like)：中東太平洋SST冷距平，驅動低層大氣輻散距平，籠罩臺灣附近的副熱帶高壓增強，使臺灣CAR頻率增加。
- FC2(El Niño-like)：SST與大氣環流距平呈現相反結構，西太平洋的副熱帶高壓和水氣輸送都減弱，因此臺灣CAR強度減少。
- FC3：SST在西北太平洋呈現暖距平，東亞季風低壓和太平洋副熱帶高壓都減弱，因此臺灣CAR頻率減少。

小結：未來臺灣午後對流降雨預計將呈現發生頻率降低、降雨強度增加的變化，而其變化幅度會受到太平洋海溫增暖程度的顯著調控，並透過局地大氣不穩定度、輻合及水氣輸送的改變而影響降雨。





臺灣暖季極端降雨特徵

TCCIP vs. WRF-TaiESM1 3.5km vs. TaiESM1

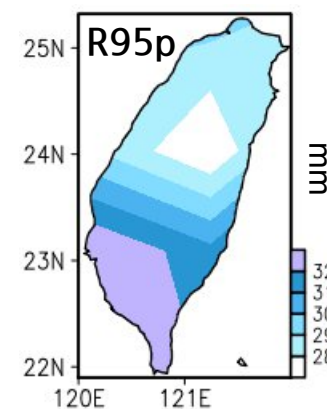
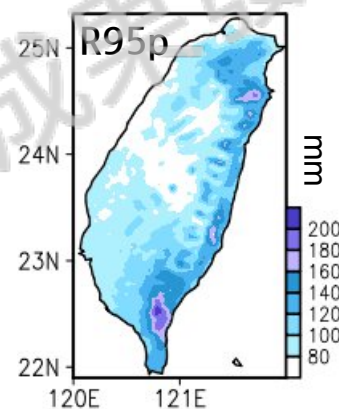
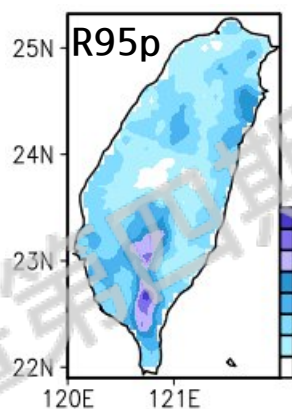
Ⓟ 定義與分析現今時期極端降雨空間特徵

è 評估高解析度模擬能力 & 比較 +2°C 與 +4°C 暖化情境

臺灣暖季極端降雨(EP)

- 極端降雨事件(EP)：針對每個網格點，計算分析時間內日降水量的第95百分位(R95p)作為閾值。當該網格點的日降水量 $\geq$ 閾值時，該日即為EP。

降水資料	TCCIP	WRF-TaiESM1-3.5	TaiESM1
空間解析度	0.05°	3.5 km $\approx$ 0.035°	1.25°

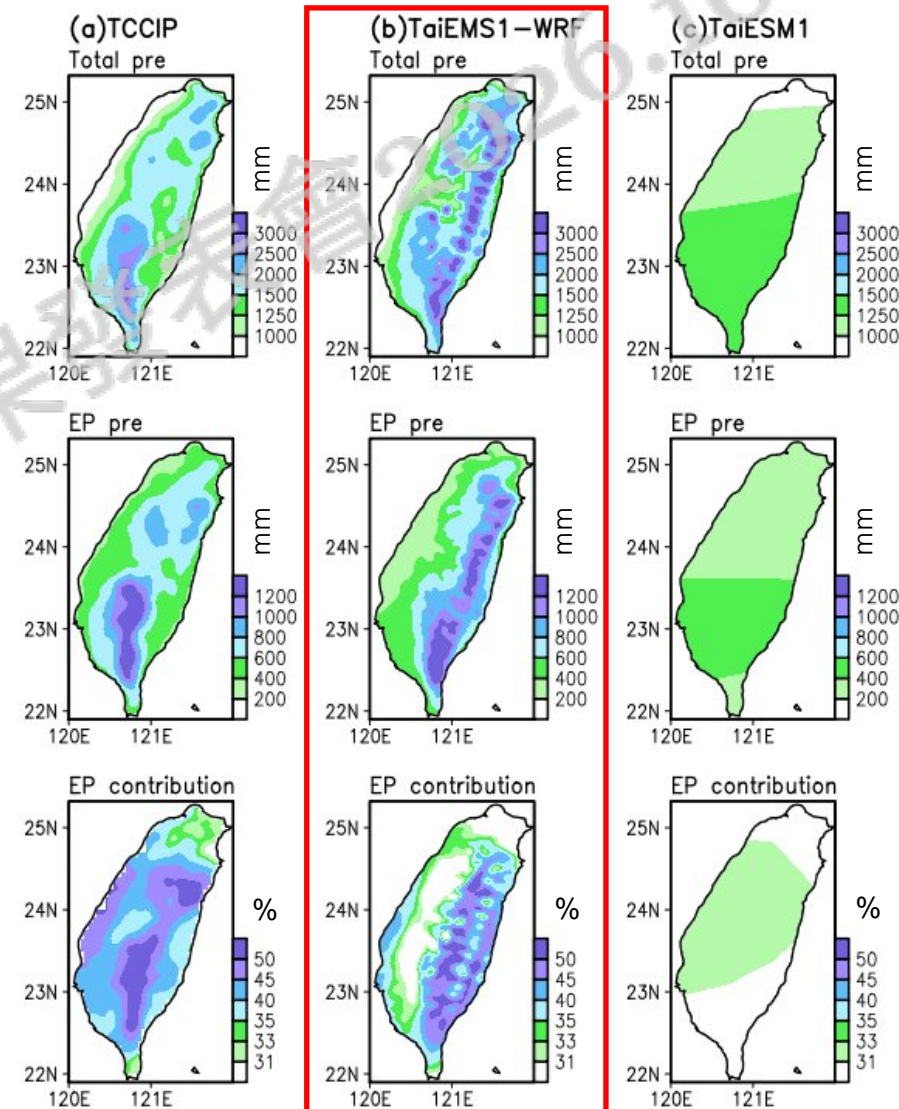


- 模擬現今時期與未來預測
- ssp585 增溫2度、4度的情境

TaiESM1 ssp585		
historical	2°C	4°C
1995-2014	2027-2046	2058-2077

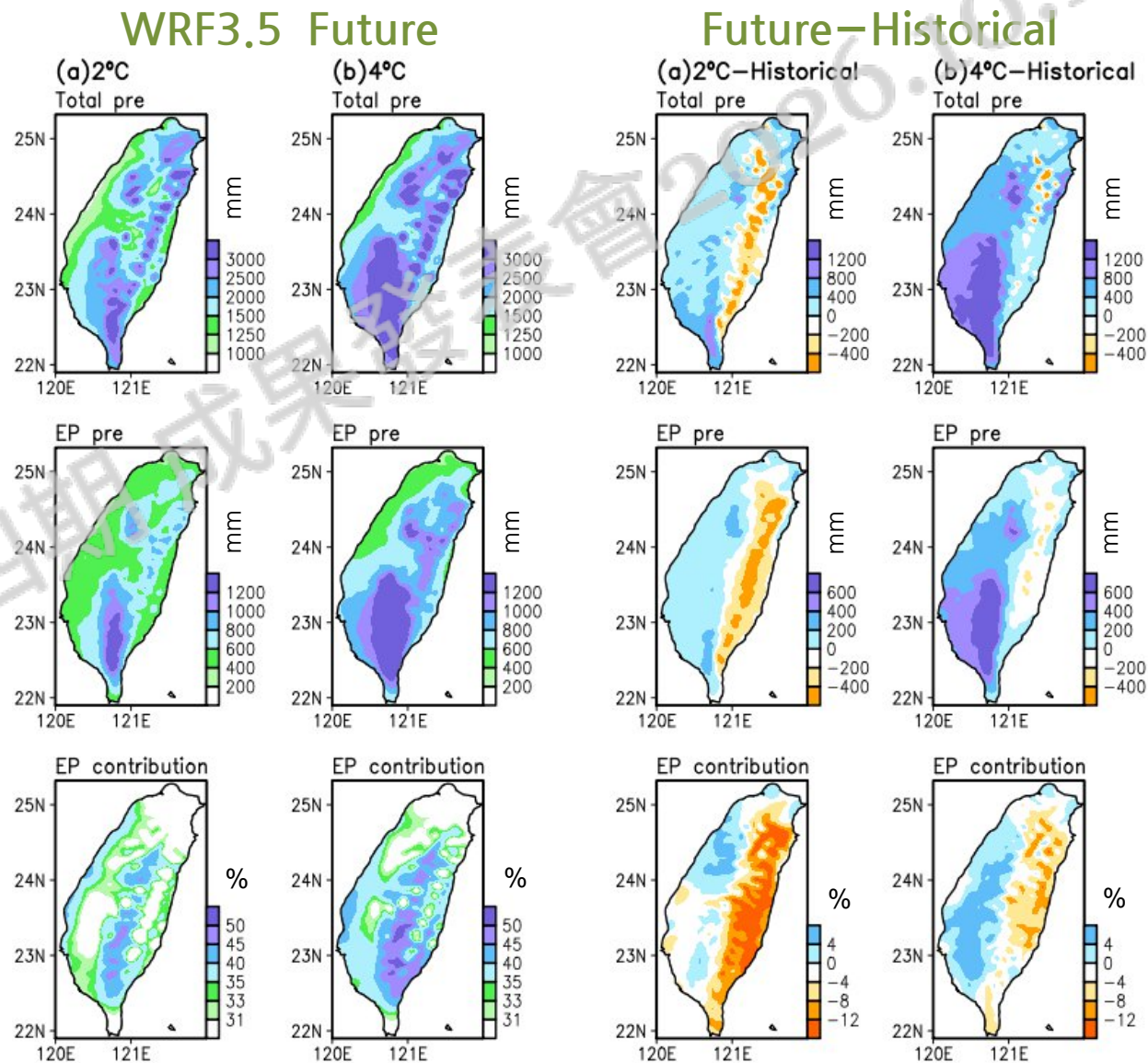
現今時期，台灣暖季EP空間分布

- 臺灣暖季(MJJASO)的總降雨和EP集中在西南部山區和東北部。
- EP貢獻度較大的區域，除了西南部山區和東北部，西部沿岸也將近40%。
- WRF-TaESM1能夠捕捉到與觀測相似的降雨特徵，但東部山區會高估。
- TaiESM1只能捕捉到南北差異。



未來預測，台灣暖季EP空間分布

- 未來時期的降雨空間分布與歷史時期相似。
- 未來變化，總降雨、EP都有明顯的東西差異，西部增加、東部減少。
- 增溫 2°C 的變化，在東部減少較多。
- 增溫 4°C 的變化，在西南部山區增加較顯著。



台灣區域平均暖季極端降雨

每個MJJASO季節

Historical	TCCIP	WRF-TaiESM1	TaiESM1
RR1天數 (day)	154.5	167.9	177.8
RR1降雨量 (mm)	1643.3	1818.7	1200.3
RR1降雨強度 (mm/day)	10.6	10.8	6.8
R95p (mm/day)	46.4	34.3	23.9
EP降雨量 (mm)	749.7 (46%)	674.0 (37%)	390.4 (33%)

小結：未來變化，總降雨、EP都有明顯的東西差異，西部增加、東部減少。增溫2°C的變化，在東部減少較多。增溫4°C的變化，在西南部山區增加較顯著。相對成因仍待探討。

WRF-TaiESM1	2°C	4°C
RR1天數 (day)	168.6 (0.7)	169.0 (1.1)
RR1降雨量 (mm)	1977.5 (158.8)	2502.7 (684.0)
RR1降雨強度 (mm/day)	11.7 (0.9)	14.8 (4.0)
R95p (mm/day)	41.3 (7.0)	54.9 (20.6)
EP降雨量 (mm)	633.2 (-40.8)	910.8 (236.8)
對總降雨貢獻度 (%)	(32%)	(36%)

紅色代表未來增加，藍色代表未來減少

謝謝聆聽
敬請指教

TCCiP 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台
Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform

NSTC 國家科學及技術委員會
National Science and Technology Council

NCDR 國家災害防救科技中心
National Science and Technology Center
for Disaster Reduction