

國家氣候變遷科學報告2024

第一至三章工作坊

許晃雄、王嘉琪、陳正達

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



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

指導單位



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

第三章 臺灣未來氣候變遷推估

文字框7 統計與動力降尺度特性說明

文字框8 暖化情境模擬比較



統計與動力降尺度

摘自文字框 7

▶ 統計降尺度：使用CMIP6全球模式日資料，同時要使用網格化觀測日資料進行偏差修正，因此降尺度的資料也設定在網格化觀測資料最早時間點1960年、結束時間為全球模式歷史模擬最終年2014。

科學報告 表BOX 3.1.1

	統計降尺度	WRF動力降尺度
使用全球模式	地球系統模式	HiRAM全球氣候模式
暖化情境	CMIP6 SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0、SSP5-8.5	CMIP5 RCP8.5 世紀中 (2041年至2065年) 世紀末 (2075年至2099年)
全球暖化程度	1°C、1.5°C、2°C、3°C、4°C	1°C、2°C、4°C
時間解析度	日	小時
降尺度方法	統計演算法 (QDM)	大氣物理熱力與動力方程
產製花費時間	產製快速	耗時、需要大量運算資源
變數	溫度 (最高、最低、平均)、雨量	颱風雨量、風場、氣壓、輻射、相對濕度等
應用層面	平均或極端氣候變化趨勢	極端事件分析及衝擊模擬，以及其他應用，例如能源、淹水等

統計與動力降尺度

摘自文字框 7

	統計降尺度	WRF動力降尺度
使用全球模式	地球系統模式	HiRAM全球氣候模式
暖化情境	CMIP6 SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0、SSP5-8.5	CMIP5 RCP8.5 世紀中 (2041年至2065年) 世紀末 (2075年至2099年)
全球暖化程度	1°C、1.5°C、2°C、3°C、4°C	1°C、2°C、4°C
時間解析度	日	小時
降尺度方法	統計演算法 (QDM)	大氣物理熱力與動力方程
產製花費時間	產製快速	耗時、需要大量運算資源
變數	溫度 (最高、最低、平均)、雨量	颱風雨量、風場、氣壓、輻射、相對濕度等
應用層面	平均或極端氣候變化趨勢	極端事件分析及衝擊模擬，以及其他應用，例如能源、淹水等

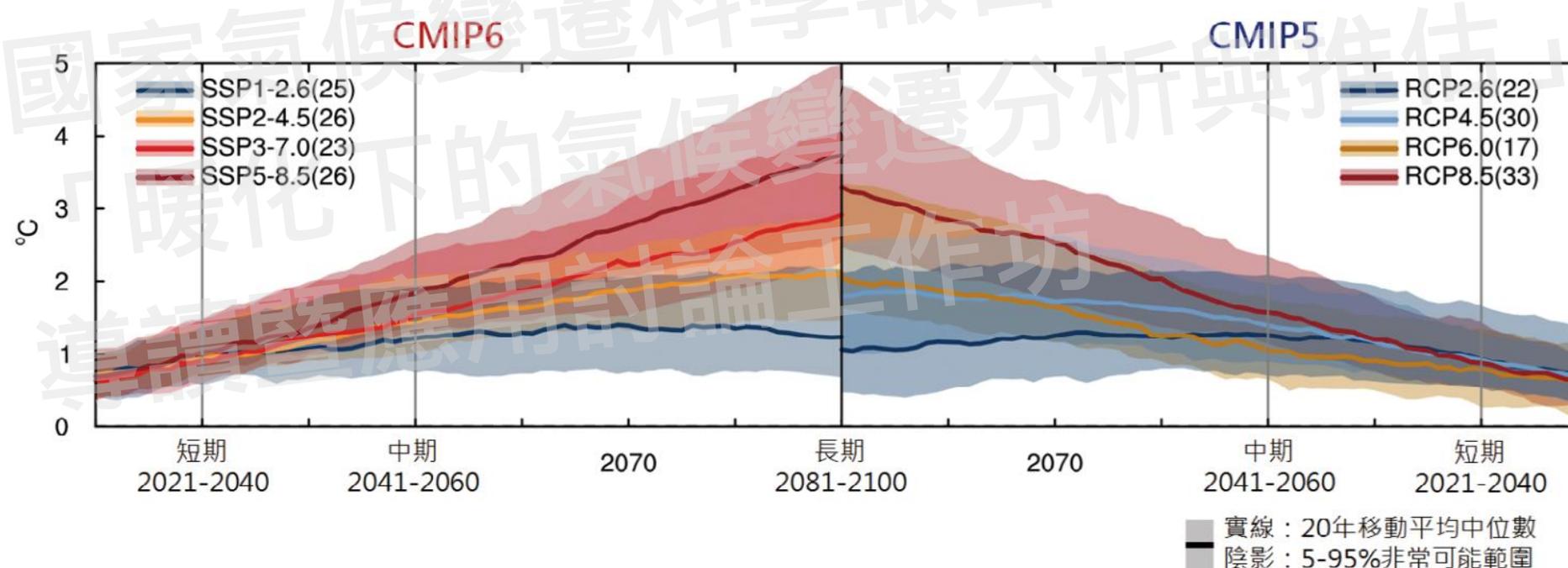
▶ 動力降尺度：應用GFDL-HiRAM全球模式，使用4組代表CMIP5暖化最嚴重RCP8.5情境下的海溫，進行高解析度全球氣候模擬，應用WRF針對臺灣範圍提高空間解析度至5km

科學報告 表BOX 3.1.1

暖化情境模擬比較 - 地表氣溫

摘自文字框 8

- 增溫趨勢與全球一致，至少至本世紀中葉
- CMIP6相對於CMIP5，增溫幅度往上修正(推估增溫範圍由0.5-4.6°C上升為0.6-5°C)



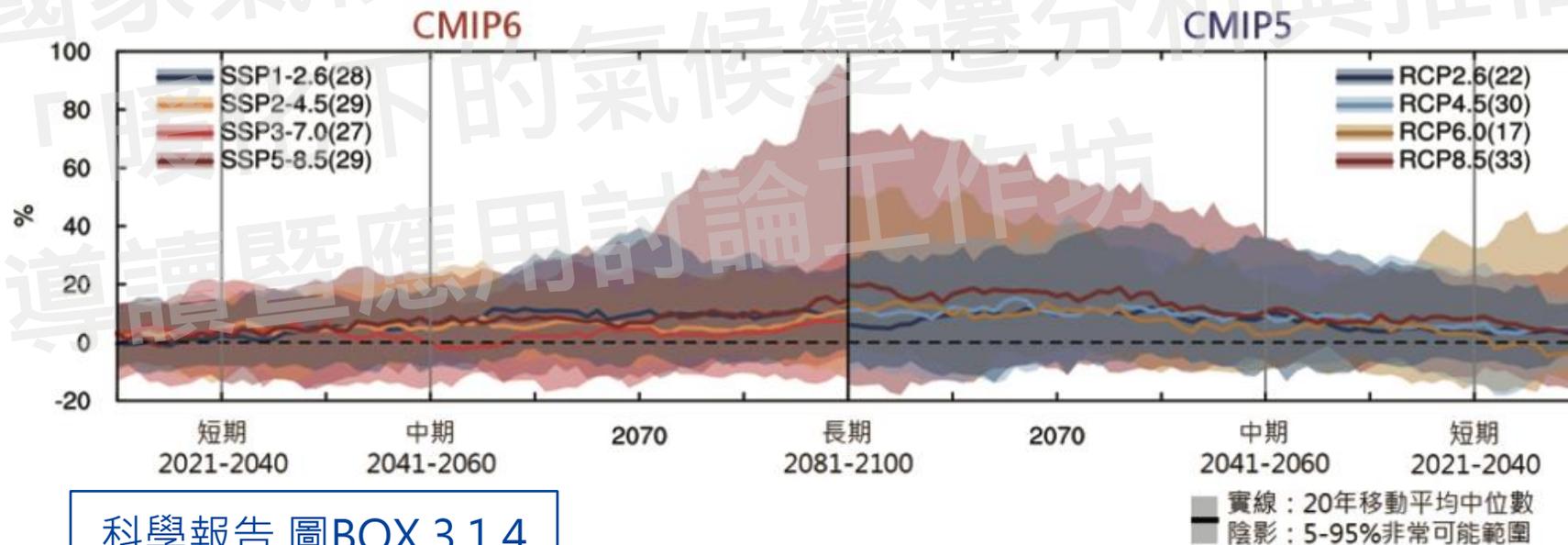
資料來源：TCCIP CMIP6統計降尺度資料，本報告產製

科學報告 圖BOX 3.1.3

暖化情境模擬比較 - 平均降雨

摘自文字框 8

- 降雨部分，由於模擬的不確定性高，使得個別模式差異明顯，不似溫度推估變化趨勢穩定
- CMIP5與CMIP6，於未來長期 (2081年至2100年) 推估降雨分別上升約19.8%與14.6%

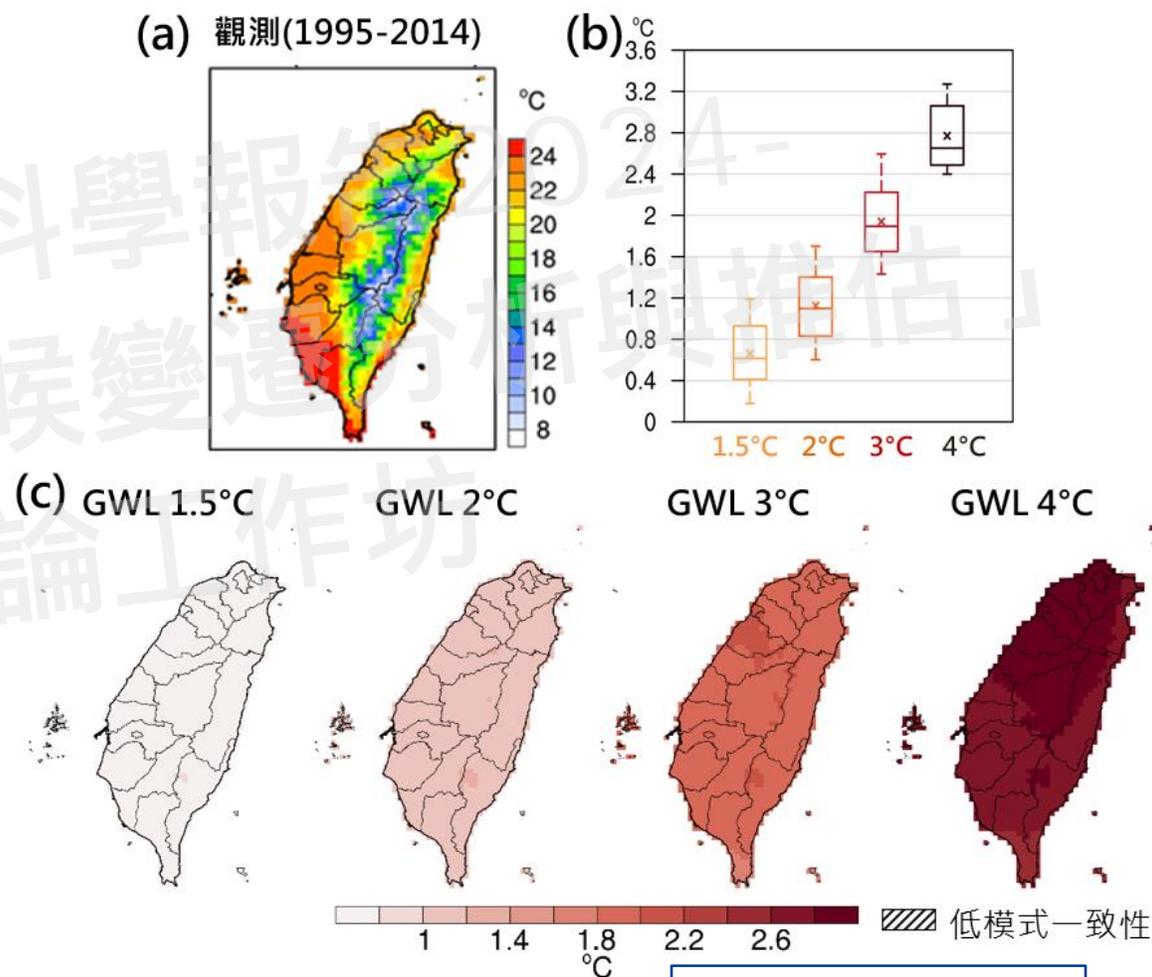


科學報告 圖BOX 3.1.4

資料來源：TCCIP CMIP6統計降尺度資料，本報告產製

地表溫度 (未來推估)

- 臺灣相對升溫在GWL 1.5°C、GWL 2°C時段較全球地表溫度平均暖化幅度大
- 但是在GWL 3°C、GWL 4°C時段，全球暖化幅度反而略大於臺灣



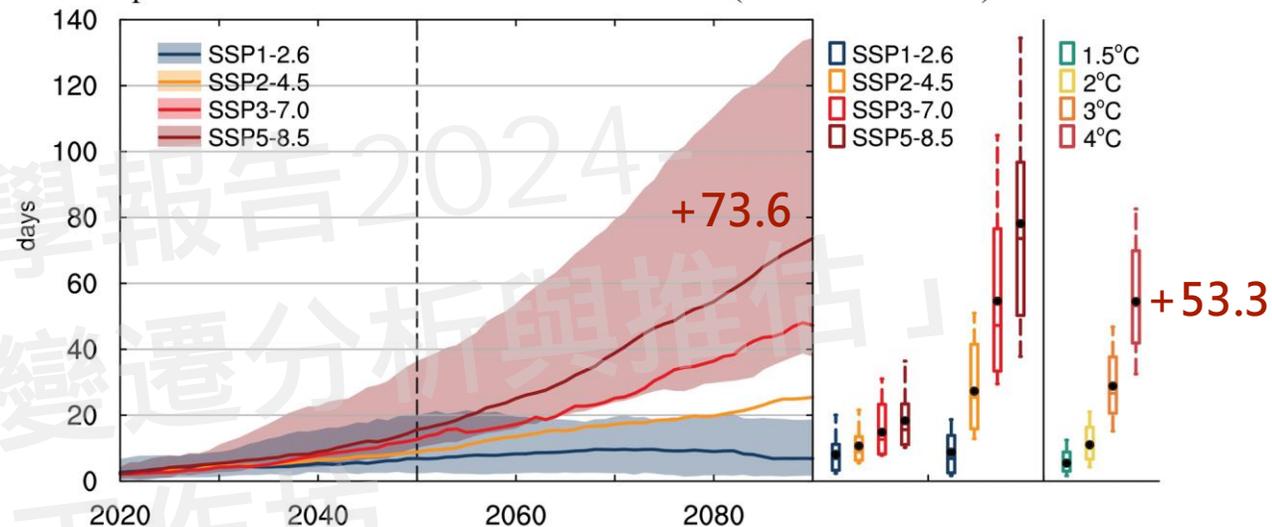
資料來源：TCCIP CMIP6統計降尺度資料，本報告產製(基期為1995年至2014年，約GWL 1°C)

高溫日數 (未來推估)

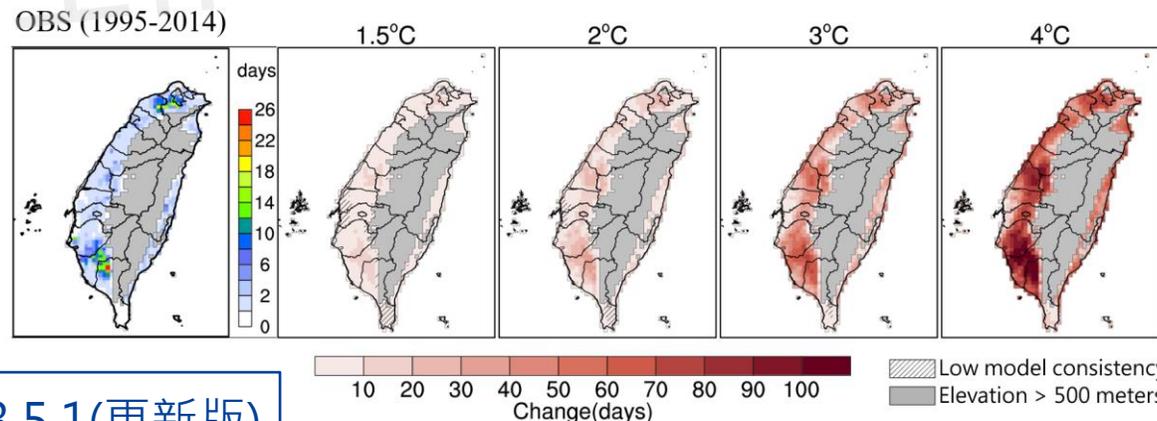
- 高溫日數未來推估將持續增加：
- SSP5-8.5情境下，全臺平均增加73.6天
- GWL 4°C下增加53.3天
- 增加較多的區域包括臺北盆地、中部近山區與高屏近山區

資料來源：TCCIP CMIP6統計降尺度資料，本報告產製(計算高溫36°C日數使用的門檻值經測站與網格資料比較分析後調整)

(a) CMIP6 projections of the number of days with daily maximum temperatures equal to or above 36°C in low-elevation areas (below 500 meters)



(b) Spatial pattern for observations and GWL projections

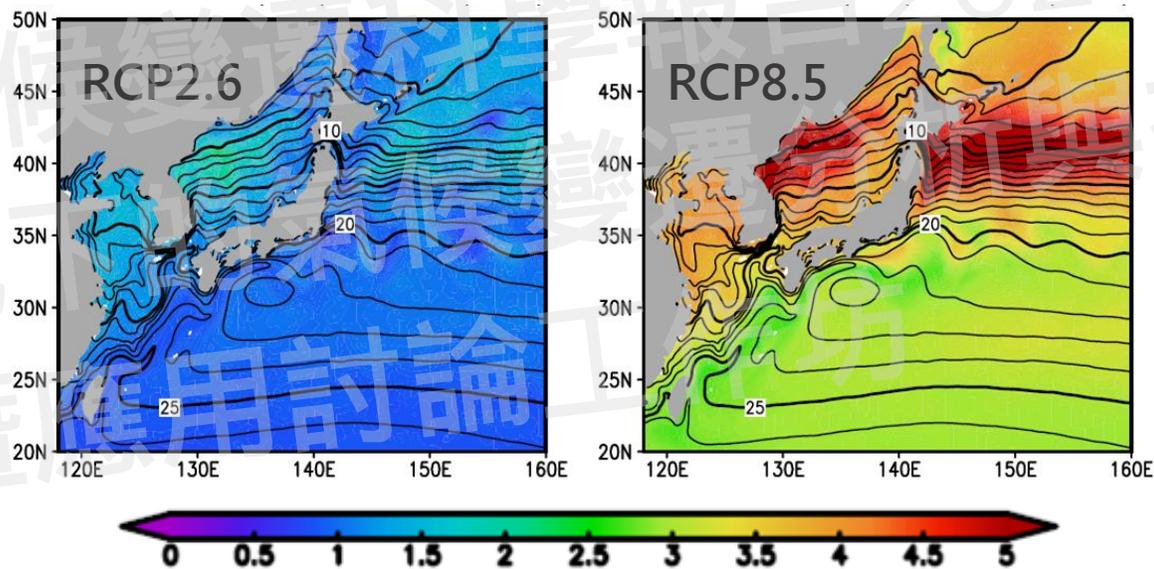


科學報告 圖3.5.1(更新版)

臺灣東側海溫 (未來推估)

- CMIP5推估結果顯示，RCP2.6與RCP8.5情境下，臺灣東側海溫在世紀末分別上升約為 1°C 和 3°C

世紀末海表面溫度推估



資料來源：Yamanaka et al (2021)。

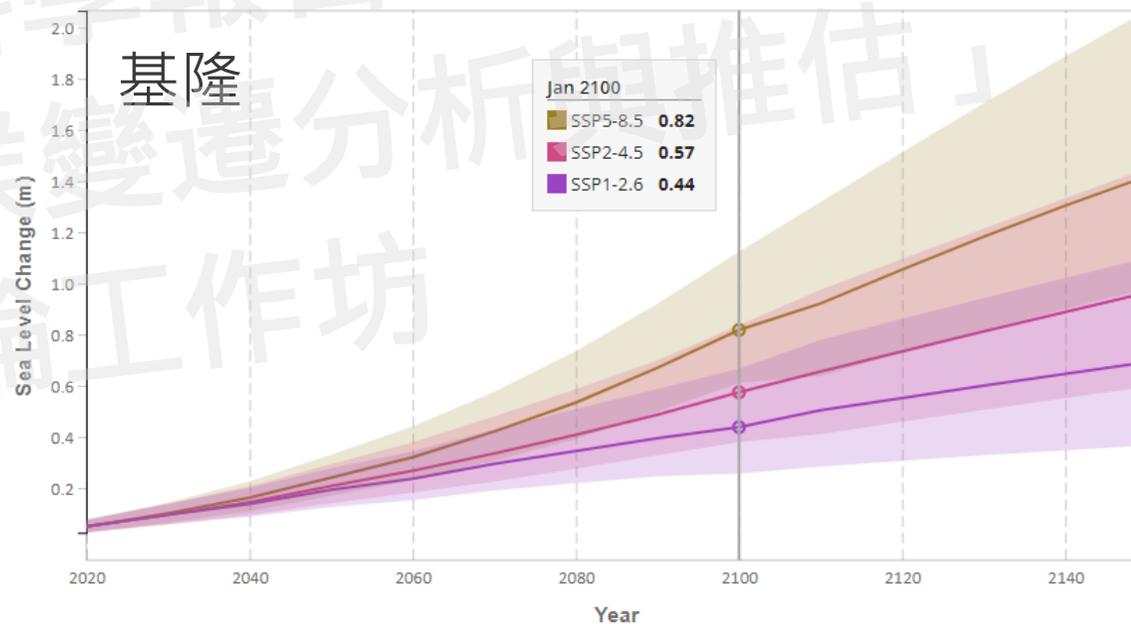
變化量為2081年至2100年平均與1986年至2005年歷史模擬平均之差異

科學報告 圖1.3.11

臺灣周遭海表溫與海面高 (未來推估)

- 臺灣周遭海域海表溫將持續上升至本世紀末，最高可能上升3°C
- 台灣周遭海平面高度，相對於1995–2014年，本世紀末推估將上升0.44至0.82米)

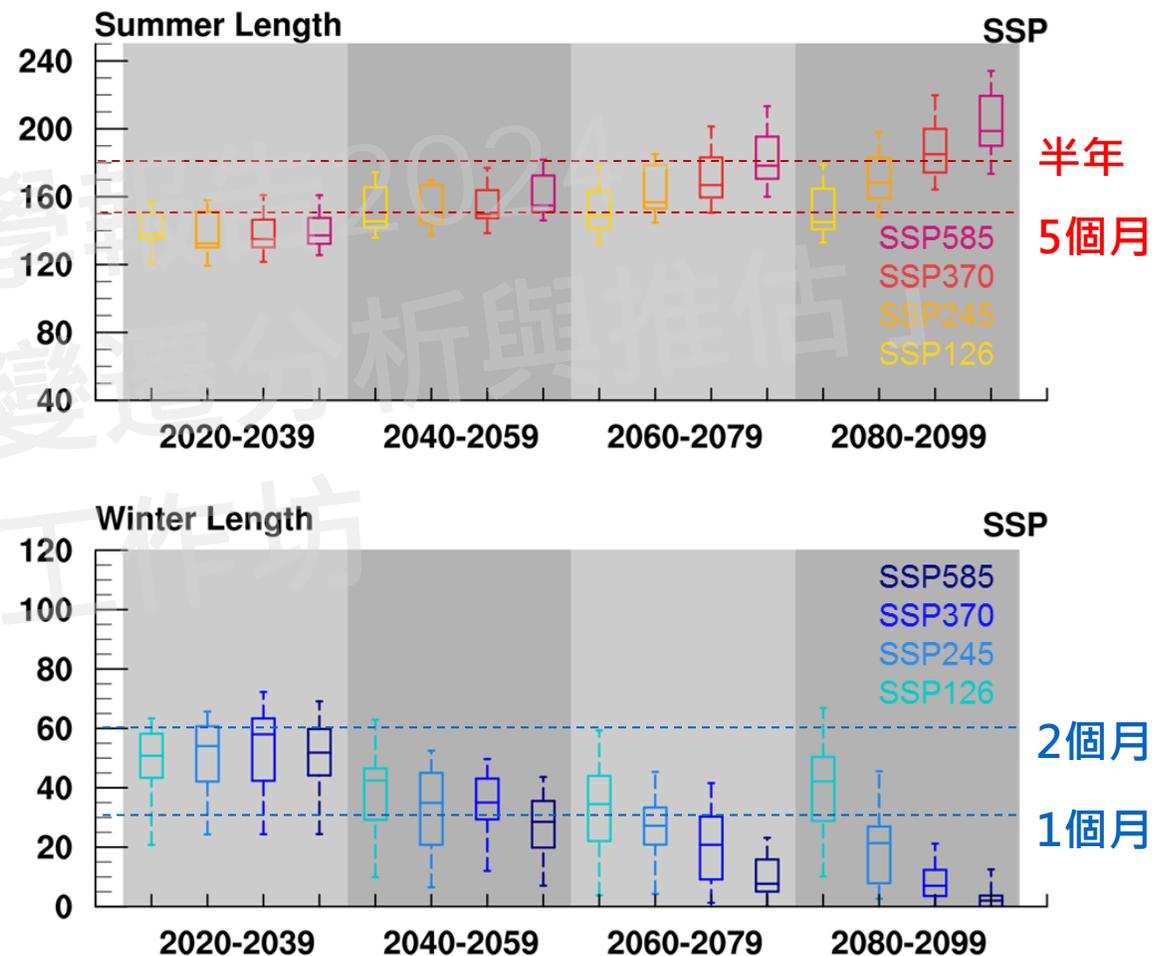
情境	臺灣周遭海域 至本世紀末海表溫
低排放 (RCP2.6)	上升0.7-1°C
高排放 (RCP8.5)	上升2.5-3°C



資料來源：CMIP5海表溫推估 (Yamanaka et al., 2021) ；
<https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool> (基隆與高雄的推估結果)

季節變遷 (未來推估)

- 季節長度在過去觀測與未來推估呈現相同變化趨勢，未來冬季更縮短，夏季更延長



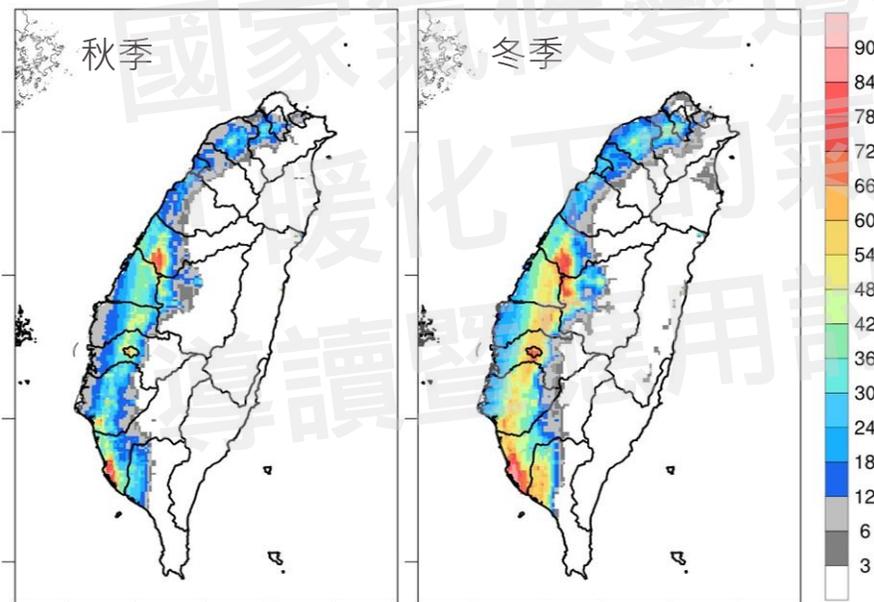
科學報告 圖3.2.6

資料來源：TCCIP CMIP6統計降尺度資料

空氣品質 (未來推估 PM_{2.5})

- 2011-2015期間，中部區域的空品不良日數 (PM_{2.5})較高
- 暖化下秋季PM_{2.5}空氣品質不良日數呈現西南部減少、中北部增加的情況
- 冬季空氣品質變差(除了北部少數地區)

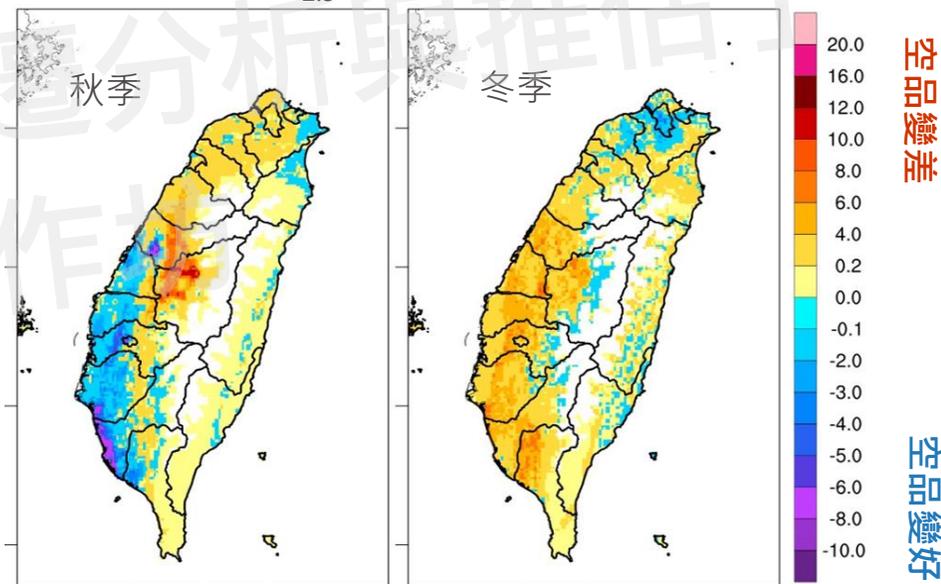
模擬現況空品不良日數
(PM_{2.5}/2011-2015模擬)



科學報告 圖3.6.1a

資料來源：Tsai et. al. (2024)

暖化下空品不良日數變化
(PM_{2.5}/GWL 4°C 模擬)



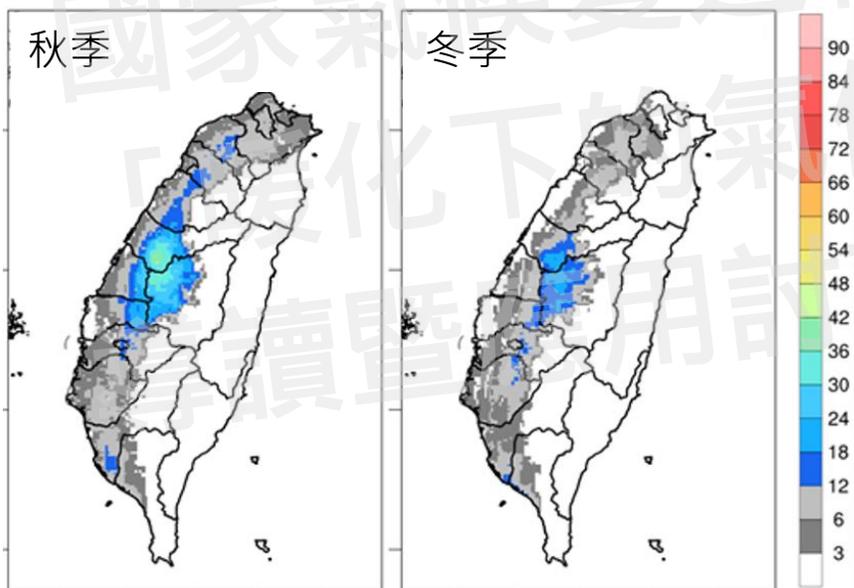
科學報告 圖3.6.1c

空氣品質 (未來推估 O₃)

- 2011-2015期間，中部區域的空品不良日數(臭氧)較高
- 暖化造成臺灣秋冬季擴散不易、臭氧生成增加、空氣品質變差

模擬現況空品不良日數

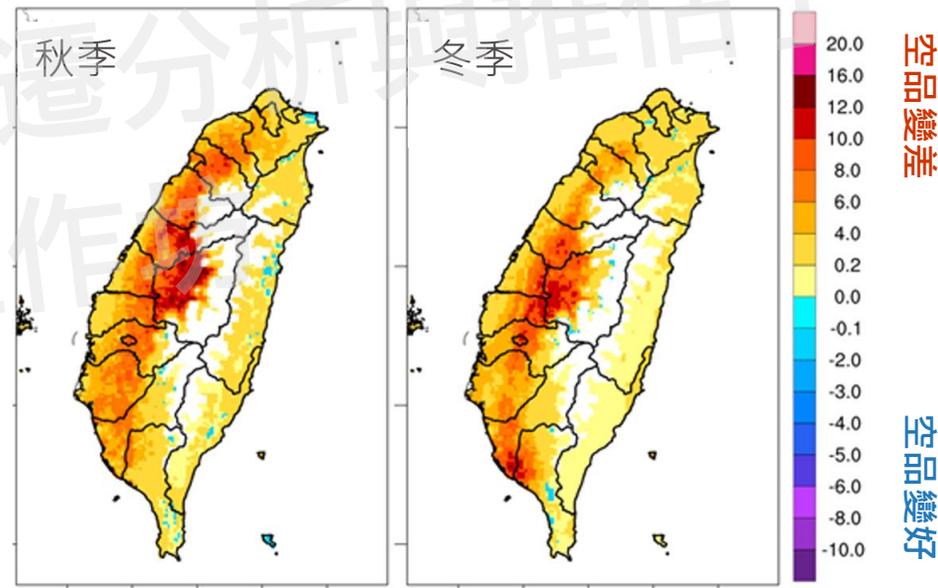
(臭氧/2011-2015模擬)



科學報告 圖3.6.1d

暖化下空品不良日數變化

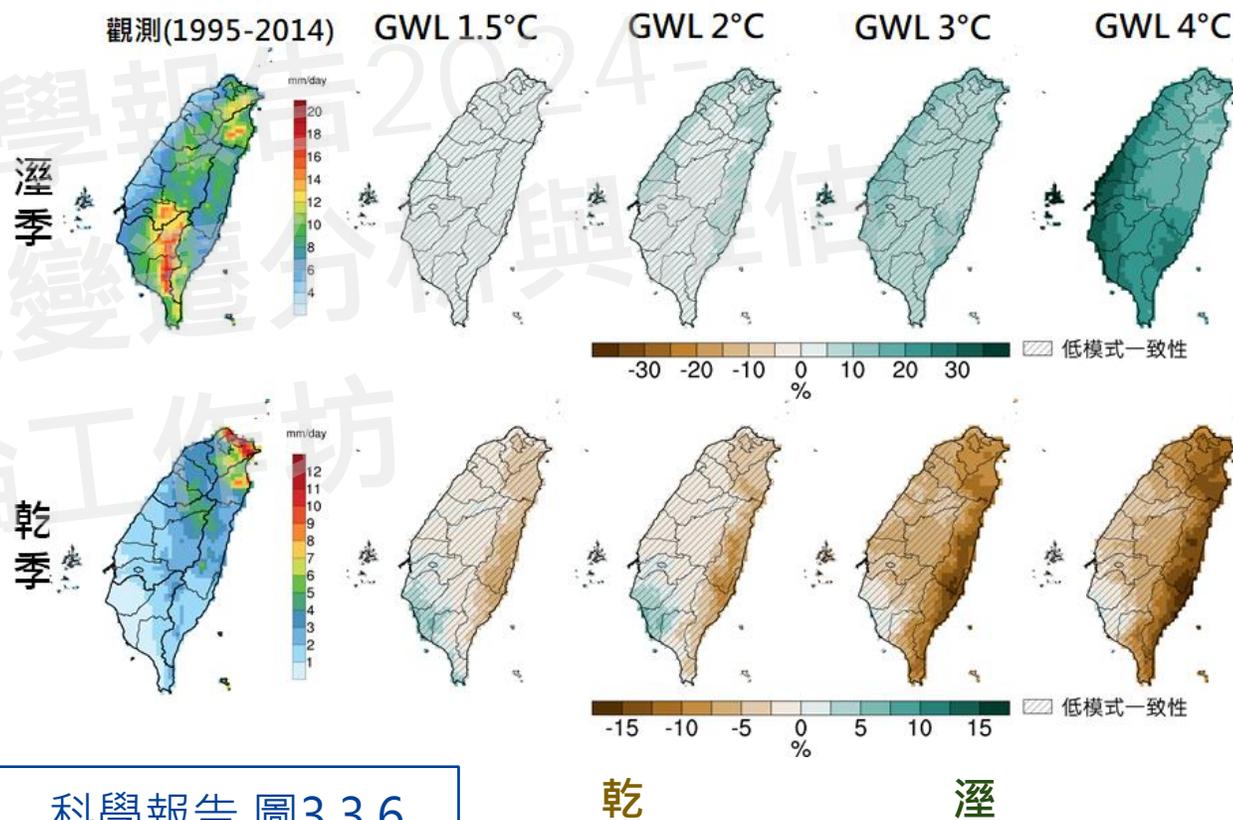
(臭氧/GWL 4°C情境)



科學報告 圖3.6.1f

乾溼季降雨變化 (未來推估)

- 未來推估：溼季越溼、乾季越乾
- 降雨率改變較大區域：
 - ◆ 溼季：中、南部沿海與台東
 - ◆ 乾季：東北部與東部

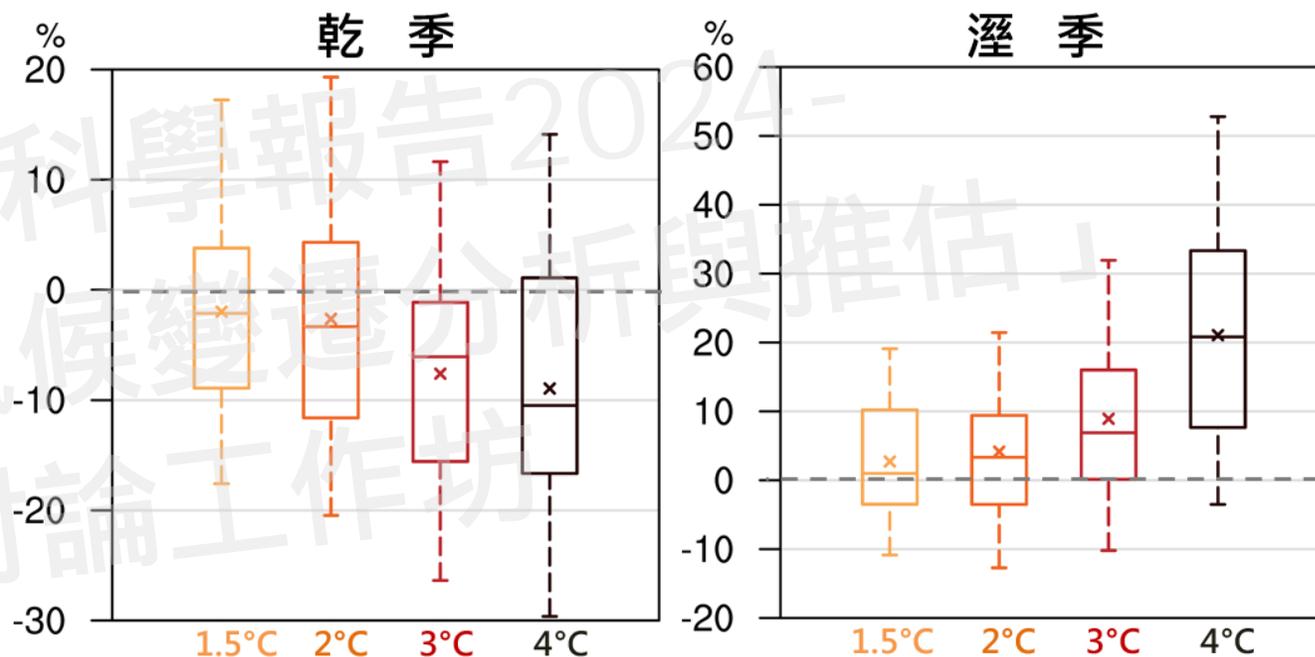


資料來源：TCCIP CMIP6統計降尺度資料，
本報告產製，溼季為5-10月。

科學報告 圖3.3.6

乾溼季降雨變化 (未來推估)

- 先前所陳述的臺灣乾、濕季降雨變化特徵，隨著全球暖化程度上升越高，「乾季越乾、濕季越濕」的趨勢將越來越明顯
- 需注意不同模式推估的差異，但是在當GWL上升到3°C以上時，有75%以上的模式呈現同樣的季節降雨增減特徵

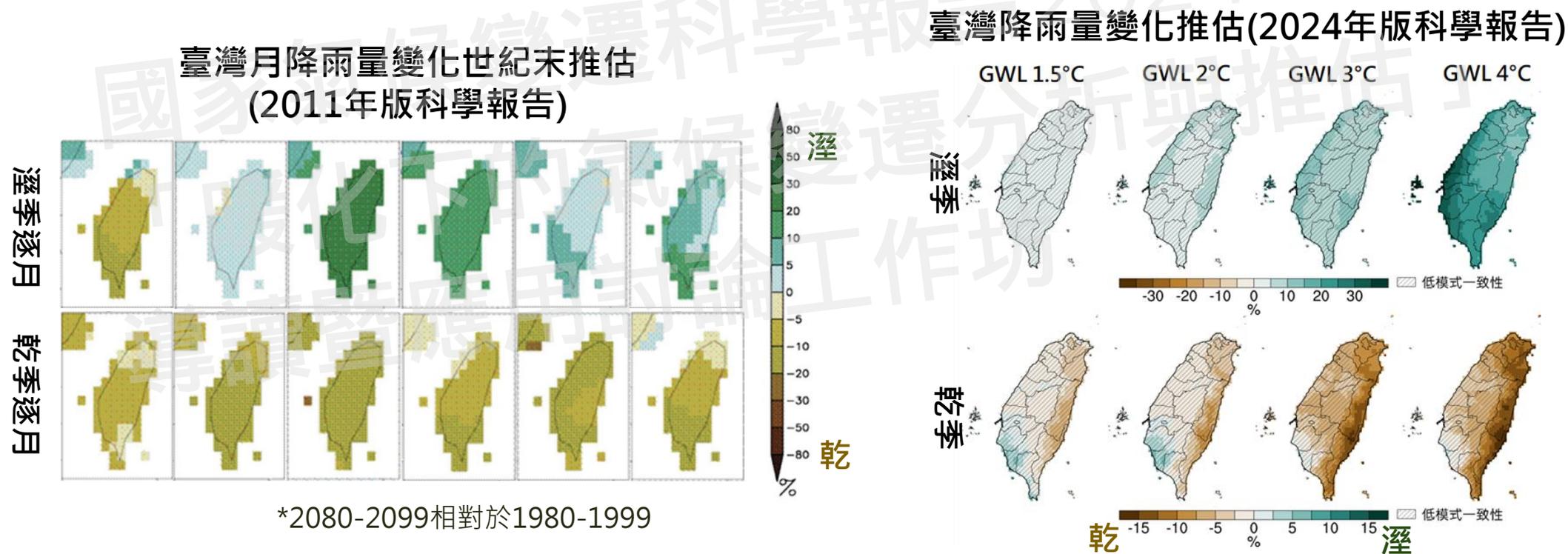


資料來源：TCCIP CMIP6統計降尺度資料，本報告產製，溼季為5-10月。

科學報告 圖3.3.7

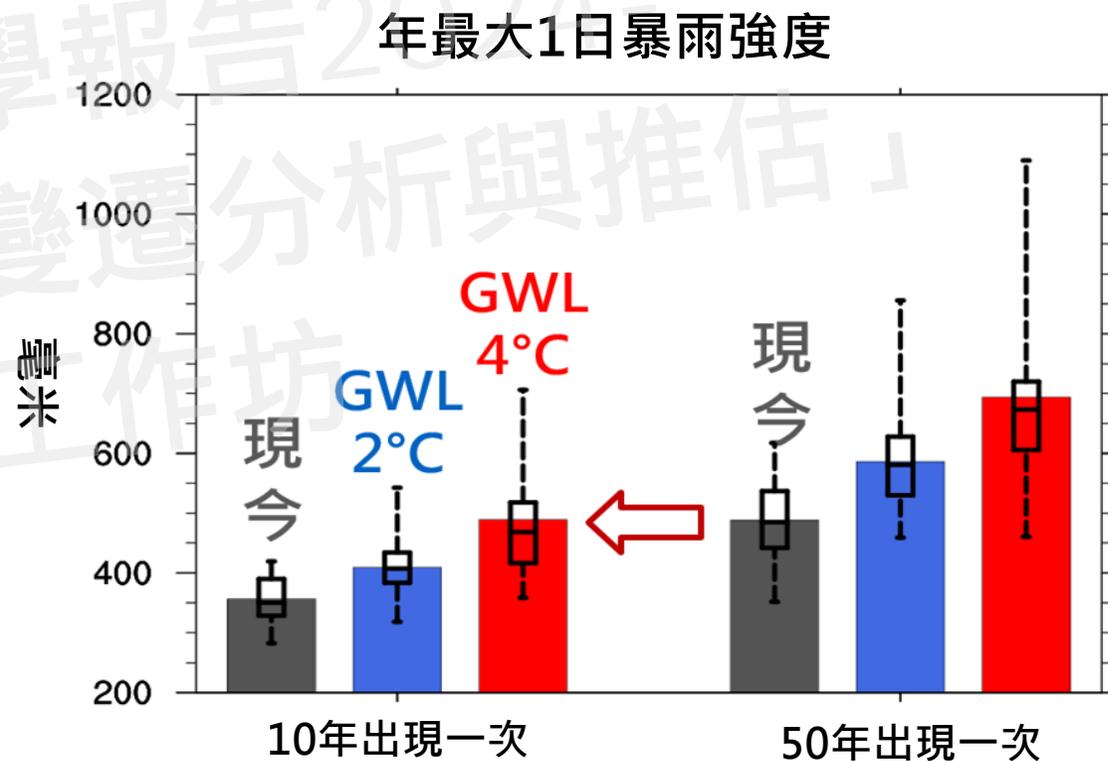
乾溼季降雨變化推估 – 與2011年版比較

- 乾溼季降雨變化的推估一致：乾季越乾、溼季越溼
- 空間解析度的提高，提供了臺灣不同區域乾溼季降雨改變的細節



年最大1日降水 (未來推估)

- 極端降雨強度增強、頻率增加
- 現今每50年才會發生一次的極端事件，在GWL 4°C情境下每10年就可能發生一次

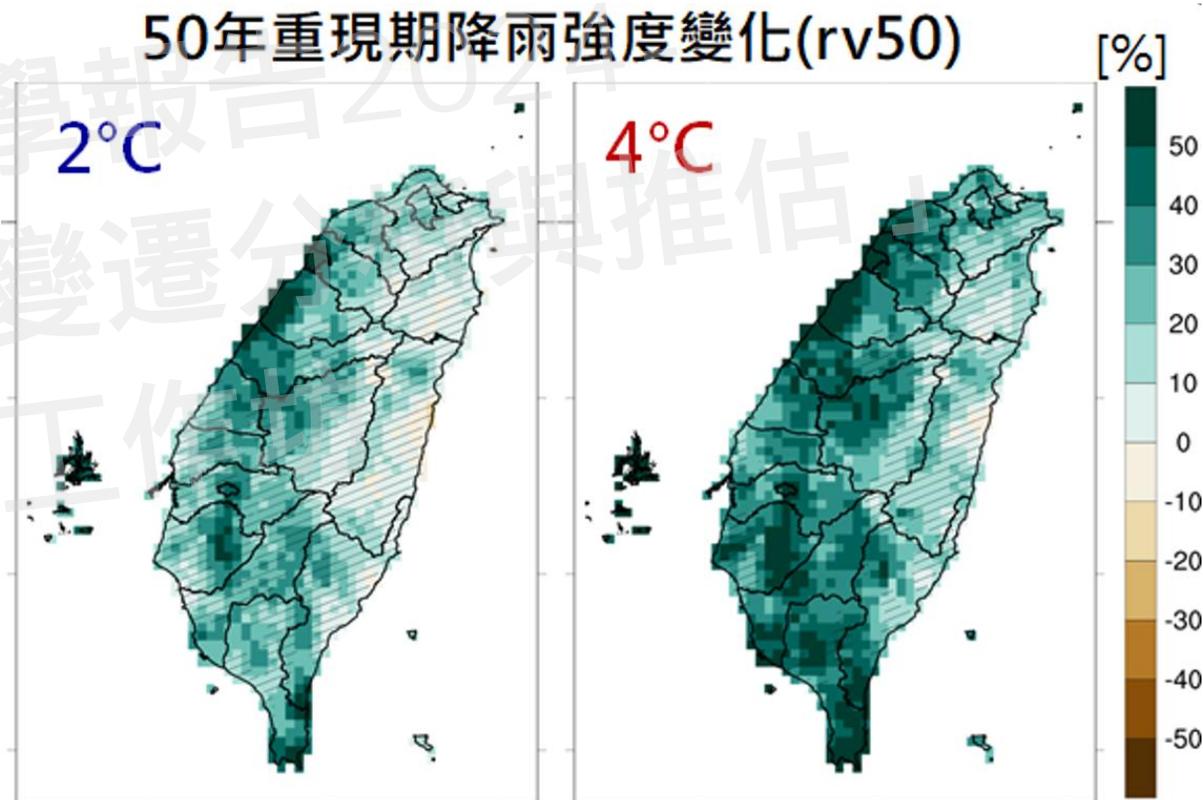


資料來源：TCCIP CMIP6統計降尺度資料，
本報告產製

科學報告 圖3.5.17

年最大1日降水 (未來推估)

- 50年重現期的極端降水強度在臺灣西部普遍增加
- GWL 4°C下強度平均增加40%



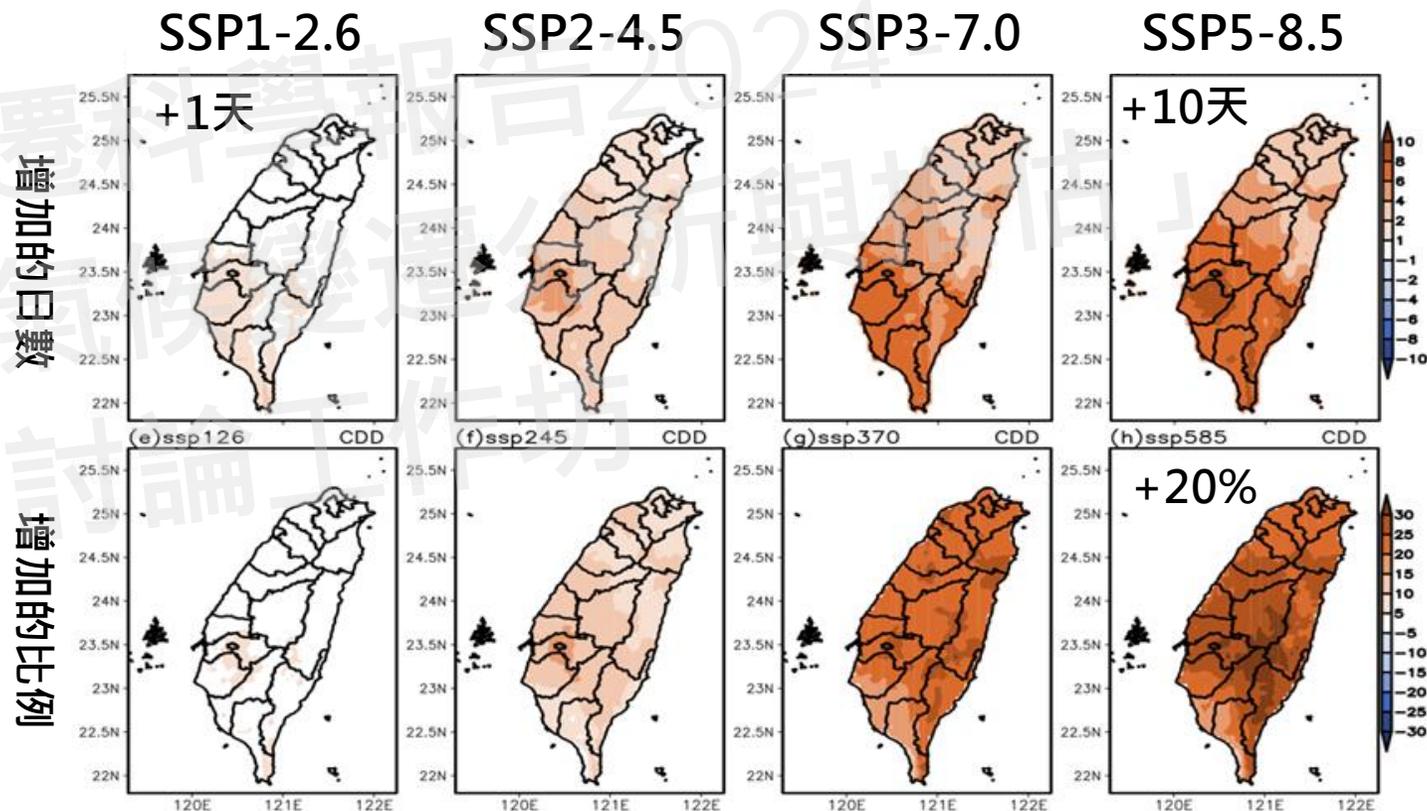
資料來源：TCCIP CMIP6統計降尺度資料，
本報告產製(斜線區代表模式一致性低)

科學報告 圖3.5.16e; 圖3.5.16f

春季最長連續不降雨日數 (未來推估)

- 春季最長連續不降雨日數(CDD)在世紀末增加1-10天，增幅隨暖化強度增加，且南部多於北部
- 變化率可達+20% (SSP5-8.5)

資料來源：TCCIP CMIP6統計降尺度資料；陳昭安等人(2023) (CDD：年最長連續不降雨日數，以基期1995年至2014年為比較基準)

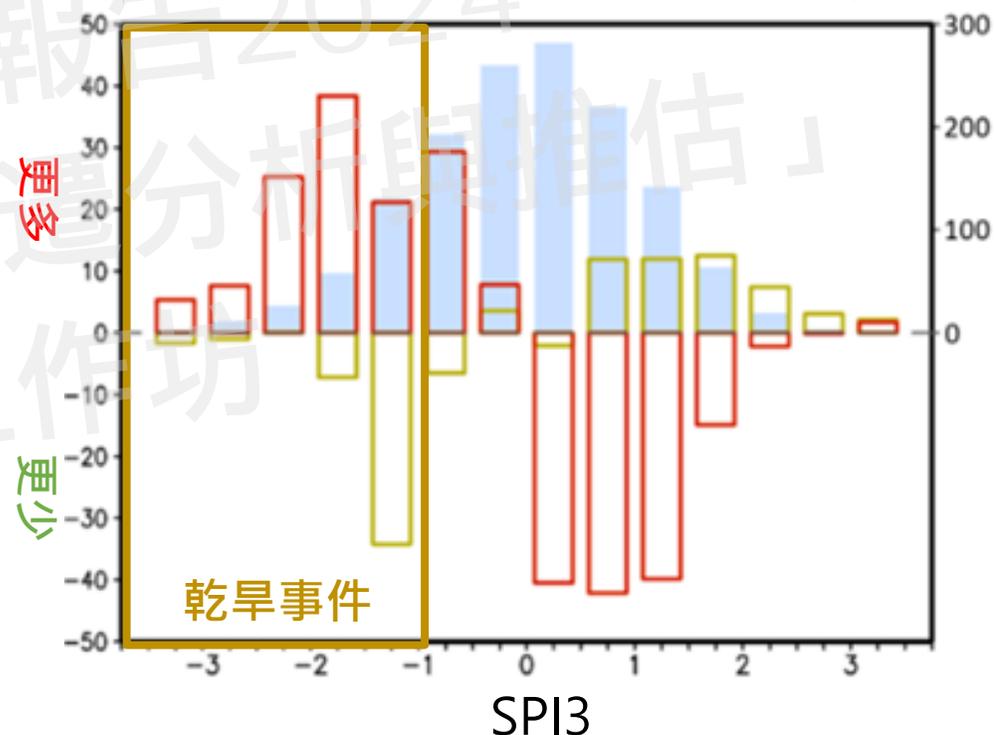


科學報告 圖3.5.18

乾旱事件 (未來推估)

- SSP5-8.5情境下，春季乾旱事件於世紀末(紅色空心直條)增多

SSP5-8.5情境下春季SPI3指標變化



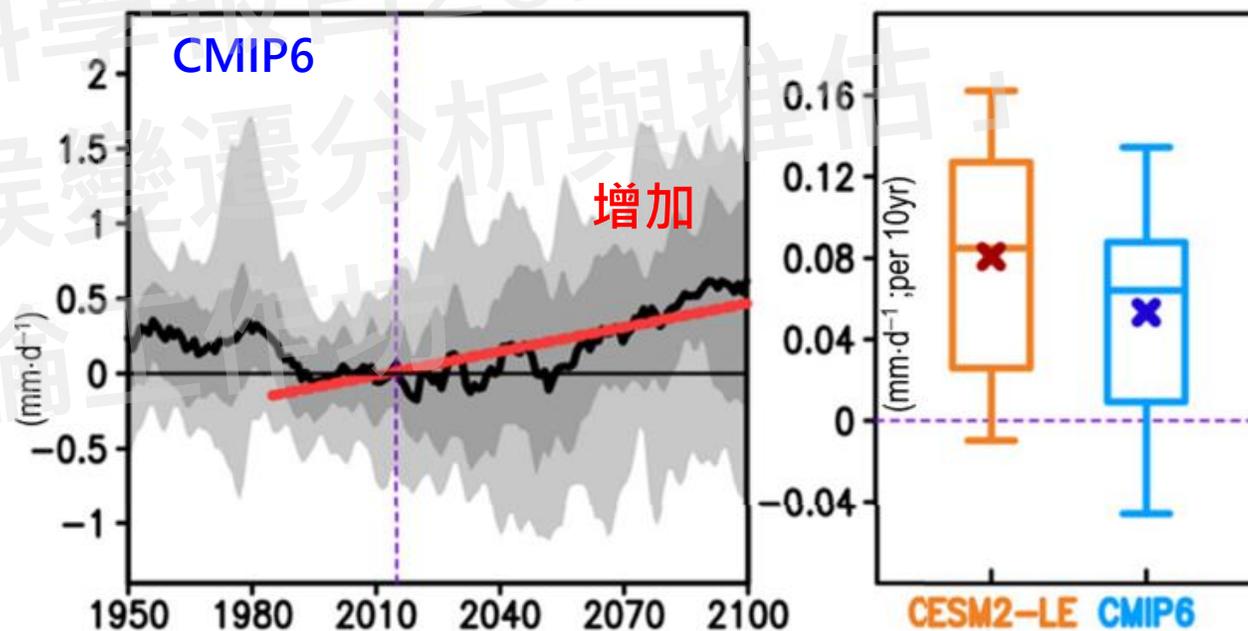
註：以春季(2-4月) SPI3標準化降雨指標小於-1來定義乾旱事件。資料來源：本報告產製

綠色直條代表世紀中，紅色直條代表世紀末

梅雨季極端降雨 (未來推估)

- SSP3-7.0情境下，21世紀中後期，梅雨季降雨峰值的強度增加，且延遲出現

梅雨季(5-6月)降雨峰值強度 (SSP3-7.0情境下)



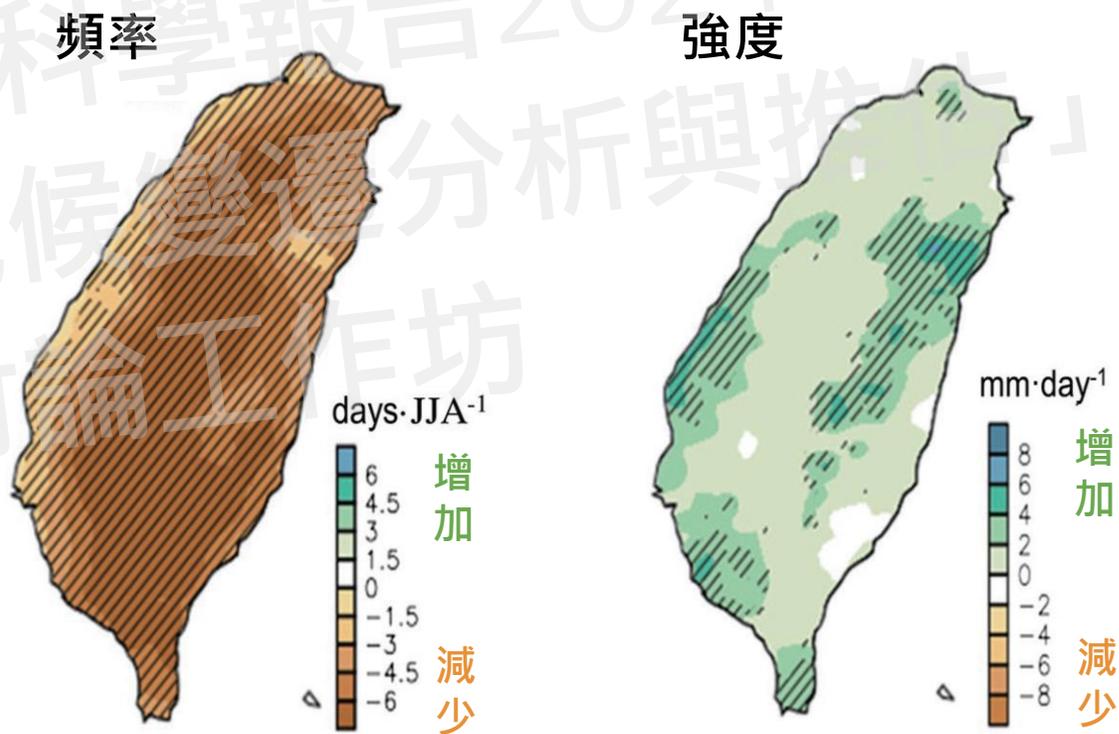
資料來源：Huang et al. (2022)

科學報告 圖3.5.12b; 圖3.5.12c

夏季午後對流 (未來推估)

- 世紀末夏季午後對流降雨，呈現頻率減少，強度增加

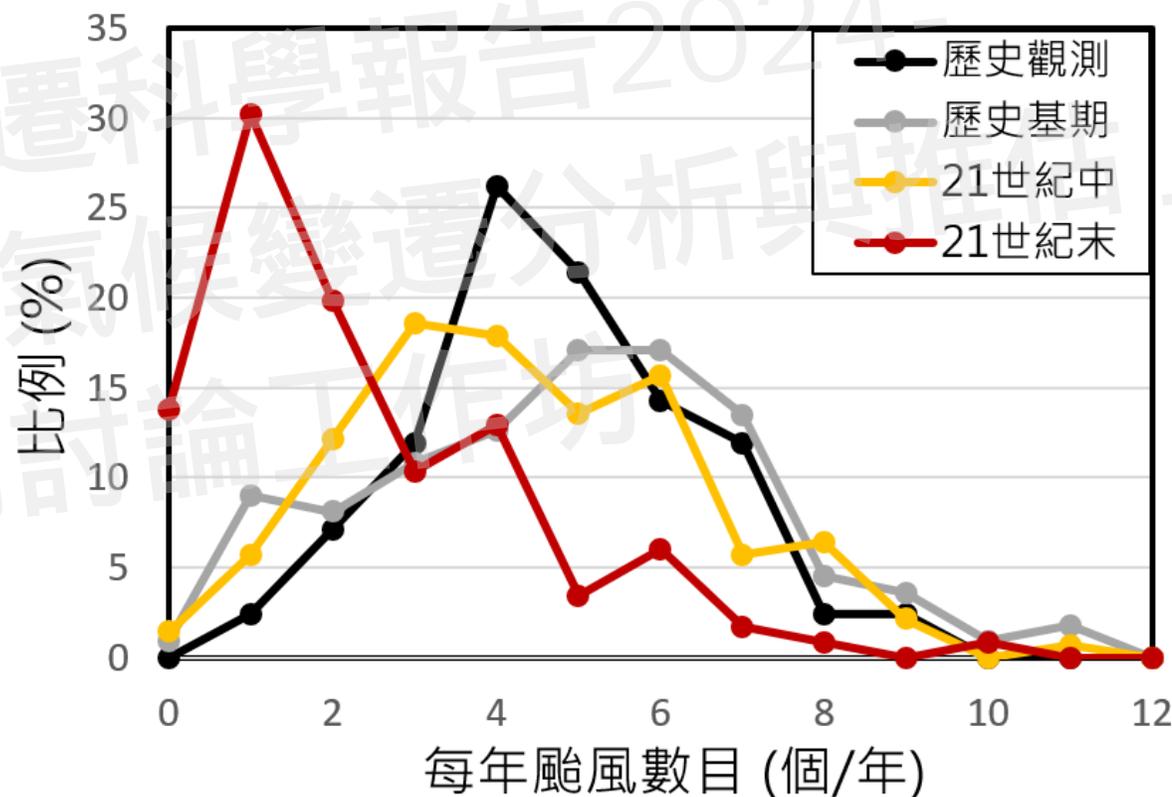
世紀末夏季午後對流降雨變化推估



資料來源：Huang et al. (2016)，使用 RCP8.5 情境下 HiRAM-WRF 動力降尺度資料

影響臺灣颱風個數 – 歷史觀測與未來推估

- 未來每年影響臺灣颱風的數目可能減少，最常見每年4至5個，世紀中變為3至4個、21世紀末變為1至2個



資料來源：跟據JTWC路徑資料與TCCIP CMIP5動力降尺度資料(RCP8.5情境)繪製，鄭兆尊等人，2024

科學報告 圖3.5.25

影響臺灣颱風 (未來推估)

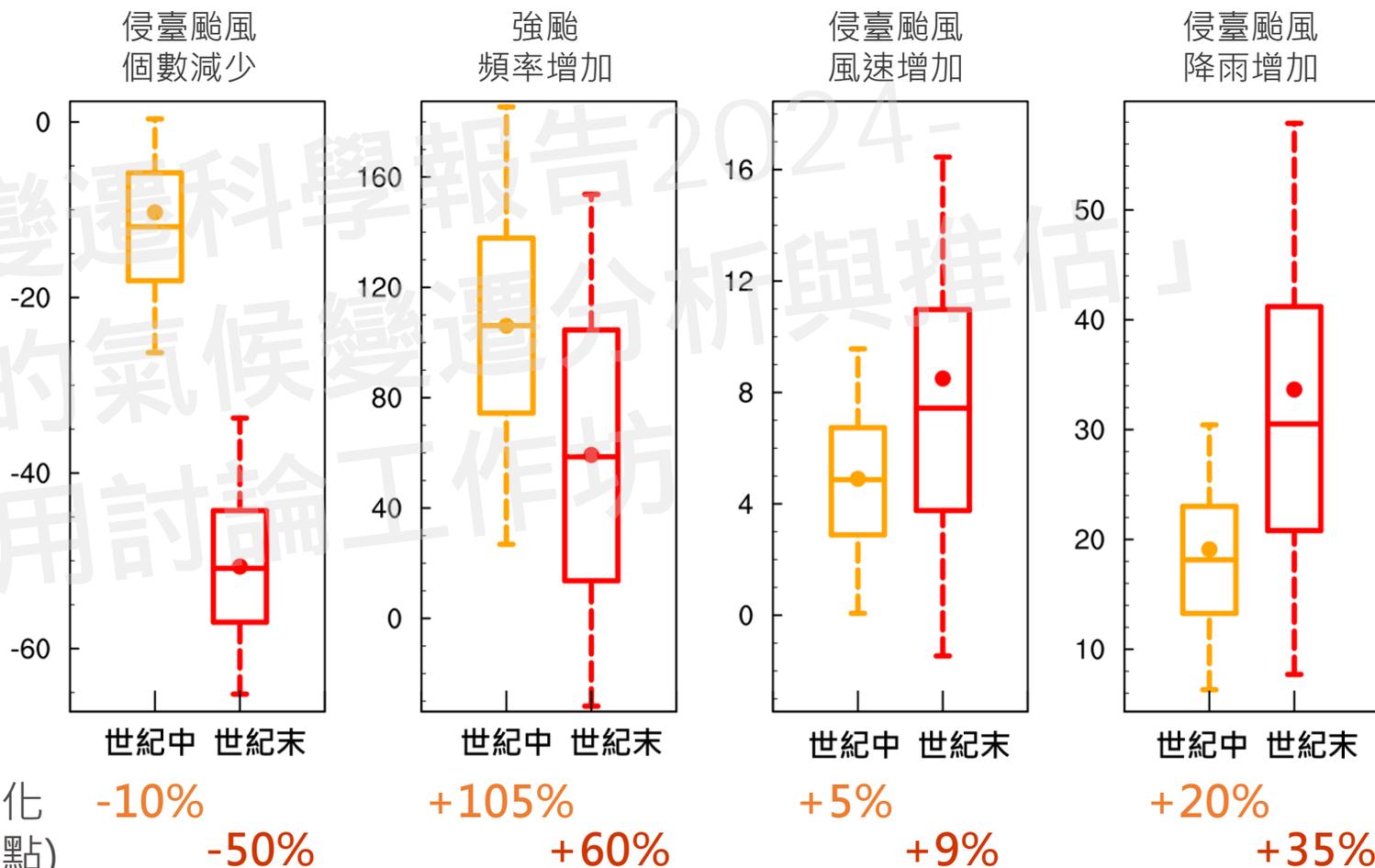
- 未來影響臺灣颱風的個數減少，但風速與降雨皆呈現增加趨勢，強颱風頻率亦增加

資料來源：TCCIP CMIP5 動力降尺度資料(RCP8.5情境)，鄭兆尊等人，2024

科學報告 圖3.5.24

平均變化
(圖中圓點)

未來颱風變化(相對於基期)

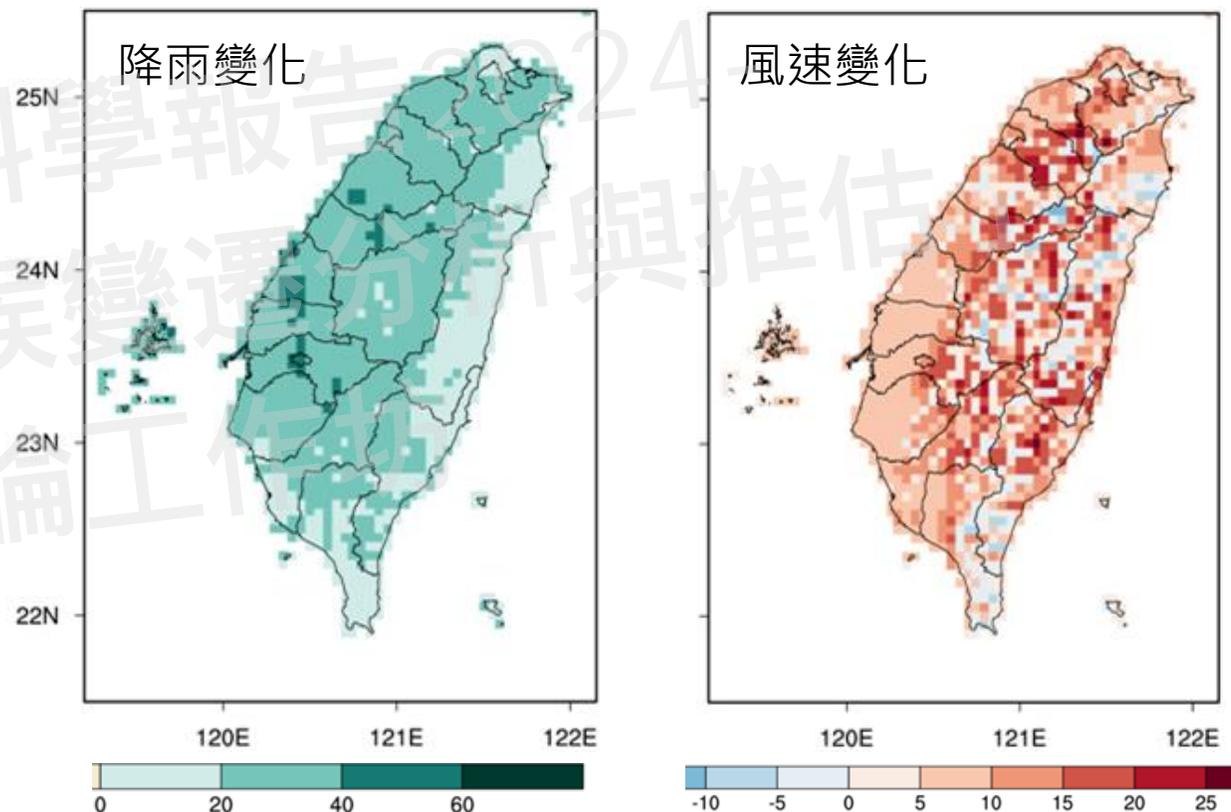


影響臺灣颱風 (未來推估)

- 世紀中臺灣陸地颱風的風、雨強度多呈現增加趨勢
- 降雨強度在世紀中增加約20% (世紀末40%)，西部地區增加較多
- 風速在世紀中約增加8% (世紀末約10%)

資料來源：TCCIP CMIP5動力降尺度資料 (RCP8.5情境)，鄭兆尊等人，2024

本世紀中(2039-2060)影響臺灣颱風的平均風雨變化趨勢 (單位：%)



科學報告 圖3.5.26a; 3.5.26d

謝謝聆聽 敬請指教

