

國家氣候變遷科學報告2024

現象、衝擊與調適

第一至三章科學重點(兩大主題：溫度和降雨)

報告人：王嘉琪教授、鄭兆尊博士

第一至三章7大科學重點

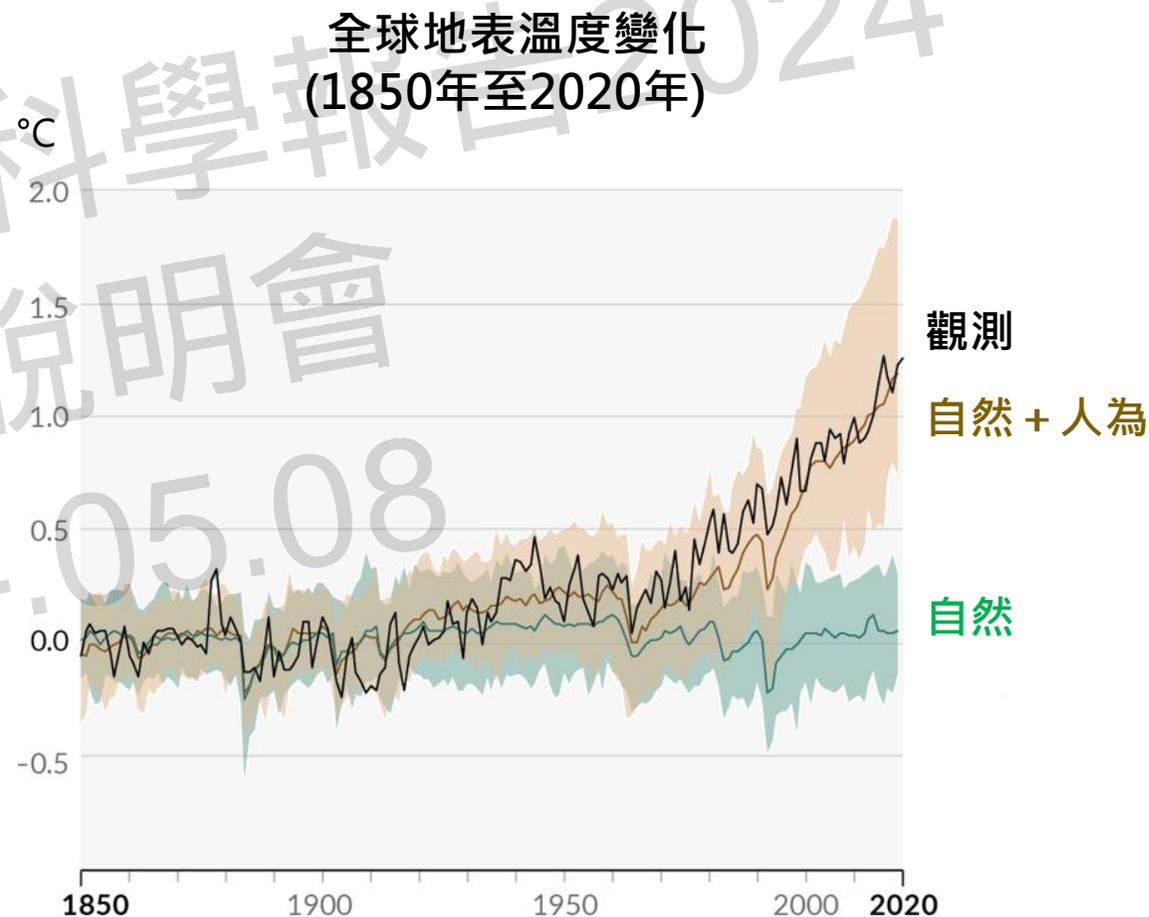


第一至三章7大科學重點



暖化的主要原因

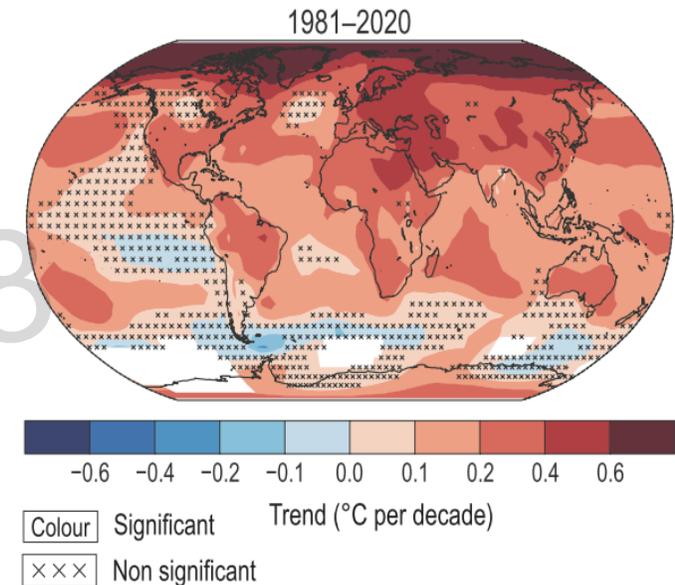
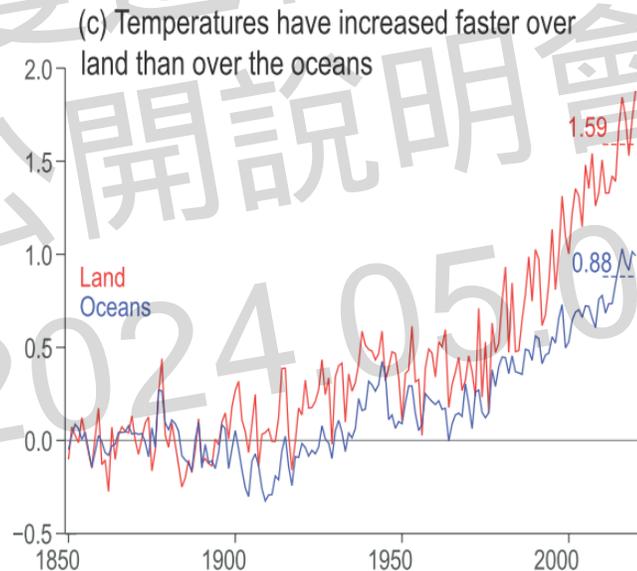
- 人為排放的溫室氣體對氣候暖化的貢獻證據越來越充分，是極端溫度事件變化的主要驅動因素



資料來源：IPCC AR6, WGI, SPM Figure 1

暖化的區域特性

- 1980年代後，全球地表溫度持續上升，但在各地仍有不同的暖化區域特性：
- 陸地的增溫高於海洋
- 極區增溫又比中低緯度更為顯著



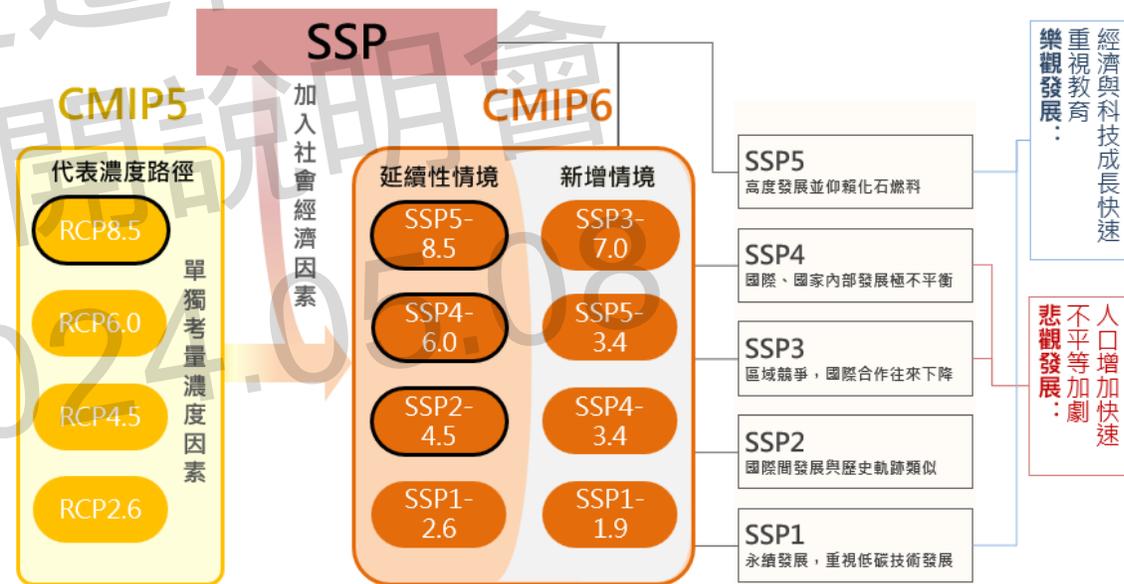
資料來源：IPCC AR6, Cross-Section Box TS.1, Figure 1

科學報告 圖1.2.2

共享社會經濟路徑(SSP)

- CMIP6暖化情境(SSP)最主要特徵，即加入氣候政策之後以落實不同減緩目標，所導致的溫室氣體排放濃度，以及相對應的輻射強迫力

SSP情境說明與其對應的RCP情境



*黑框為無氣候政策介入的基線情境

資料來源：Riahi et al., 2017；
本報告產製

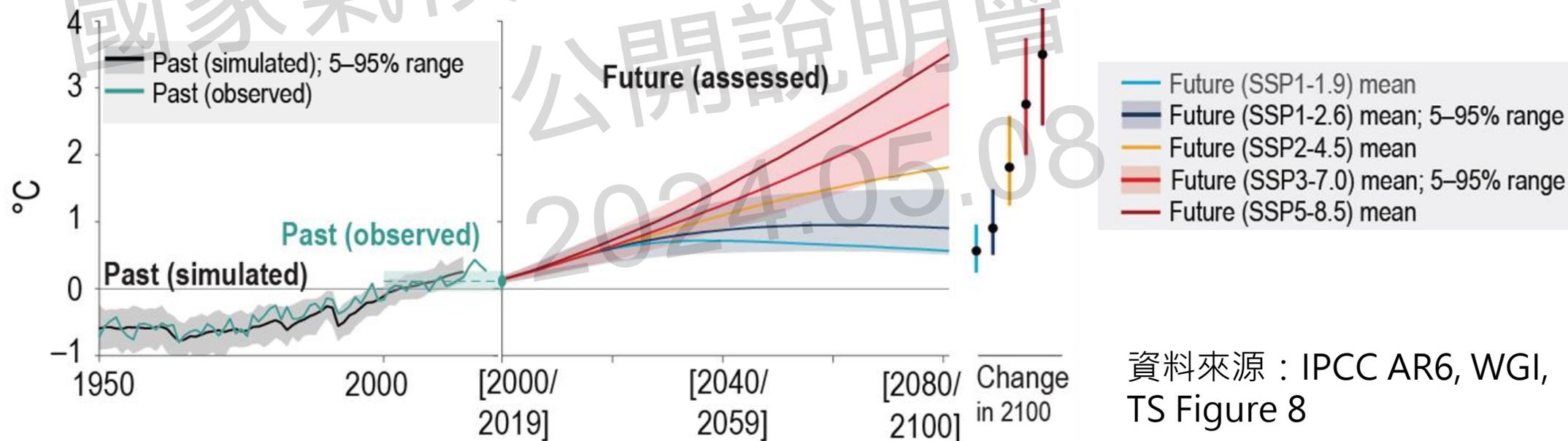
科學報告 圖BOX 1.2.1

摘自文字框 1

全球表面溫度 – 未來推估

- 不同SSP情境下，全球表面溫度至少持續增溫到本世紀中葉

全球表面溫度歷史模擬與未來推估(1950年至2100年)

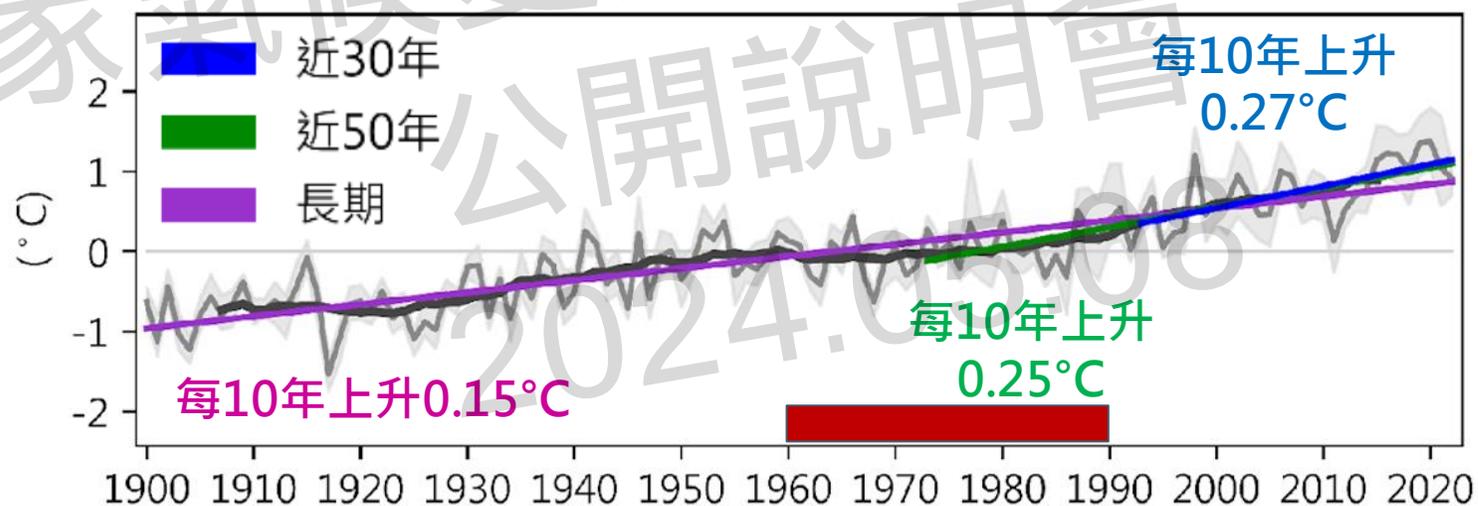


資料來源：IPCC AR6, WGI, TS Figure 8

臺灣平均溫度 – 歷史觀測

- 溫度的長期變化趨勢一致，逐年暖化。增溫趨勢漸趨明顯，且有數十年的低頻振盪訊號

全年平均溫距平值



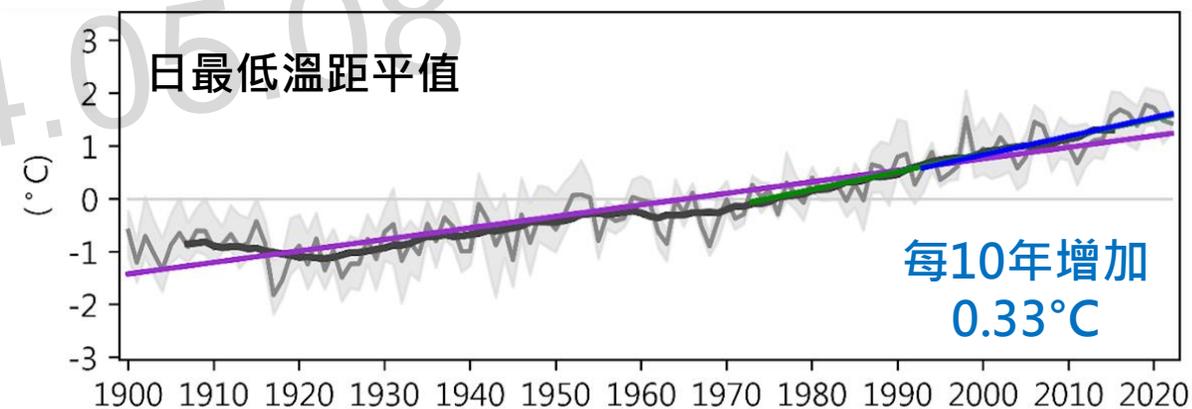
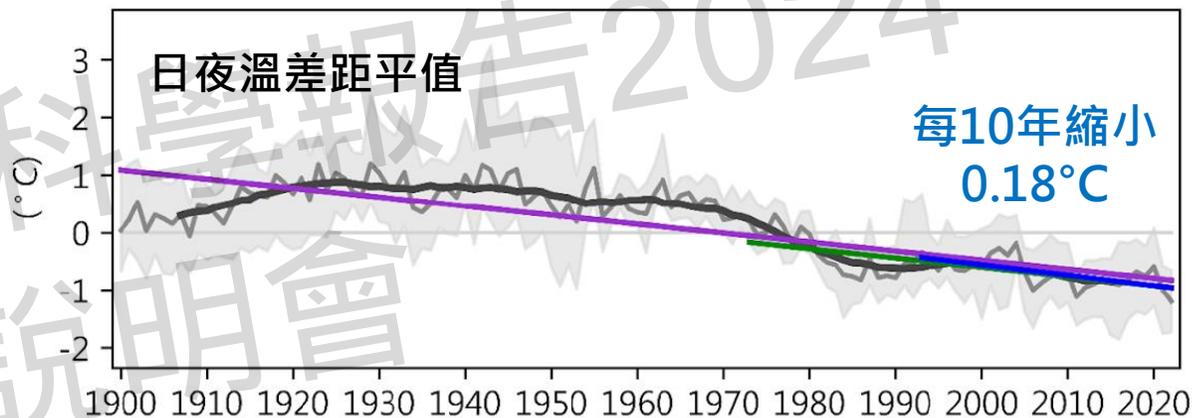
科學報告 圖2.2.1a

資料來源：中央氣象署。本報告產製(使用中央氣象署6個百年測站1900–2022年資料，氣候值為1961–1990年平均(紅色橫條)。距平值是年均溫與氣候值的差值。原圖另有夏半年與冬半年結果

臺灣日夜溫差 – 歷史觀測

- 日夜溫差逐年縮小，主要受到日最低溫的增溫趨勢影響

■ 近30年
■ 近50年
■ 長期



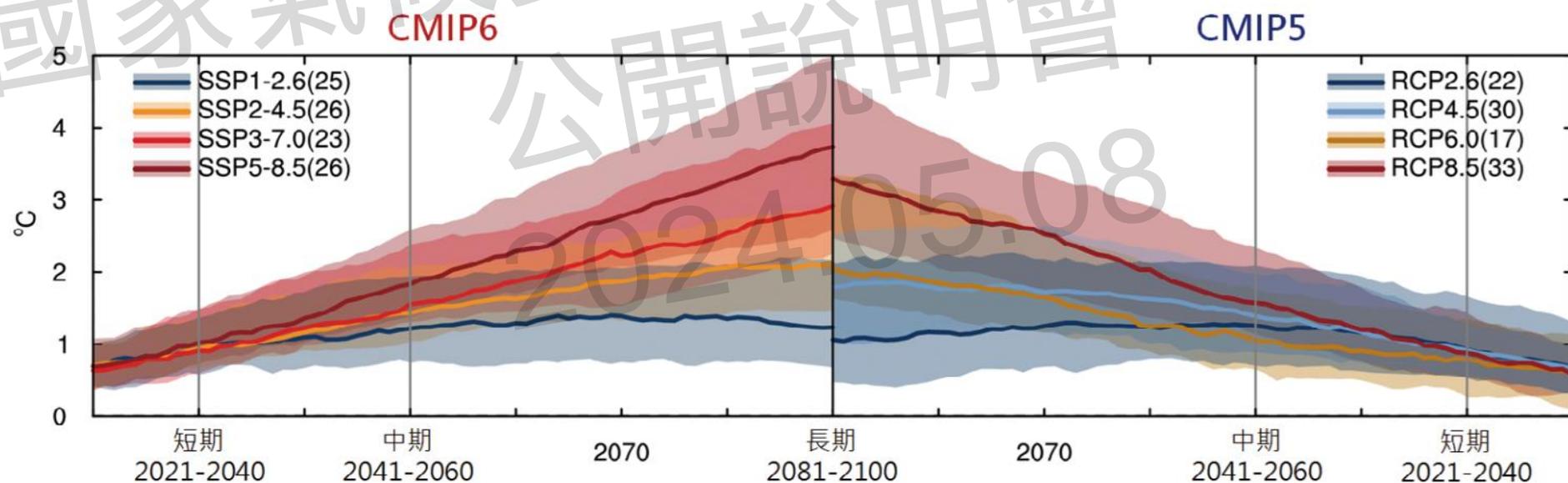
資料來源：中央氣象署。本報告產製(使用中央氣象署6個百年測站1900–2022年資料，氣候值為1961–1990年平均。距平值是日夜溫差/日最低溫與氣候值的差值)

* 藍字為近30年趨勢

科學報告 圖2.2.4a; 2.2.3a

臺灣地表溫度 – 未來推估

- 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)



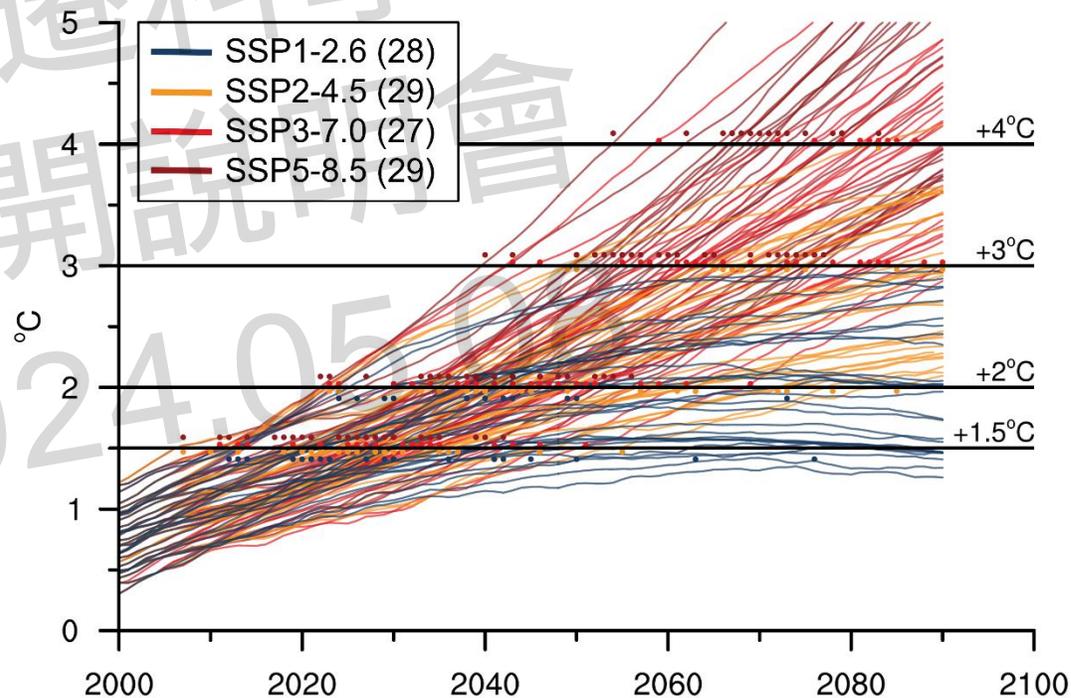
科學報告 圖BOX 3.1.3

實線：20年移動平均中位數
陰影：5-95%非常可能範圍

全球暖化程度(Global Warming Level, GWL)

- 使用CMIP6全球模式未來推估資料
- 以工業革命前(1850-1900)為基準
- 計算模式升溫達1.5°C、2°C、3°C、4°C的20年氣候資料

全球平均溫度變化(相對於1850年至1900年)

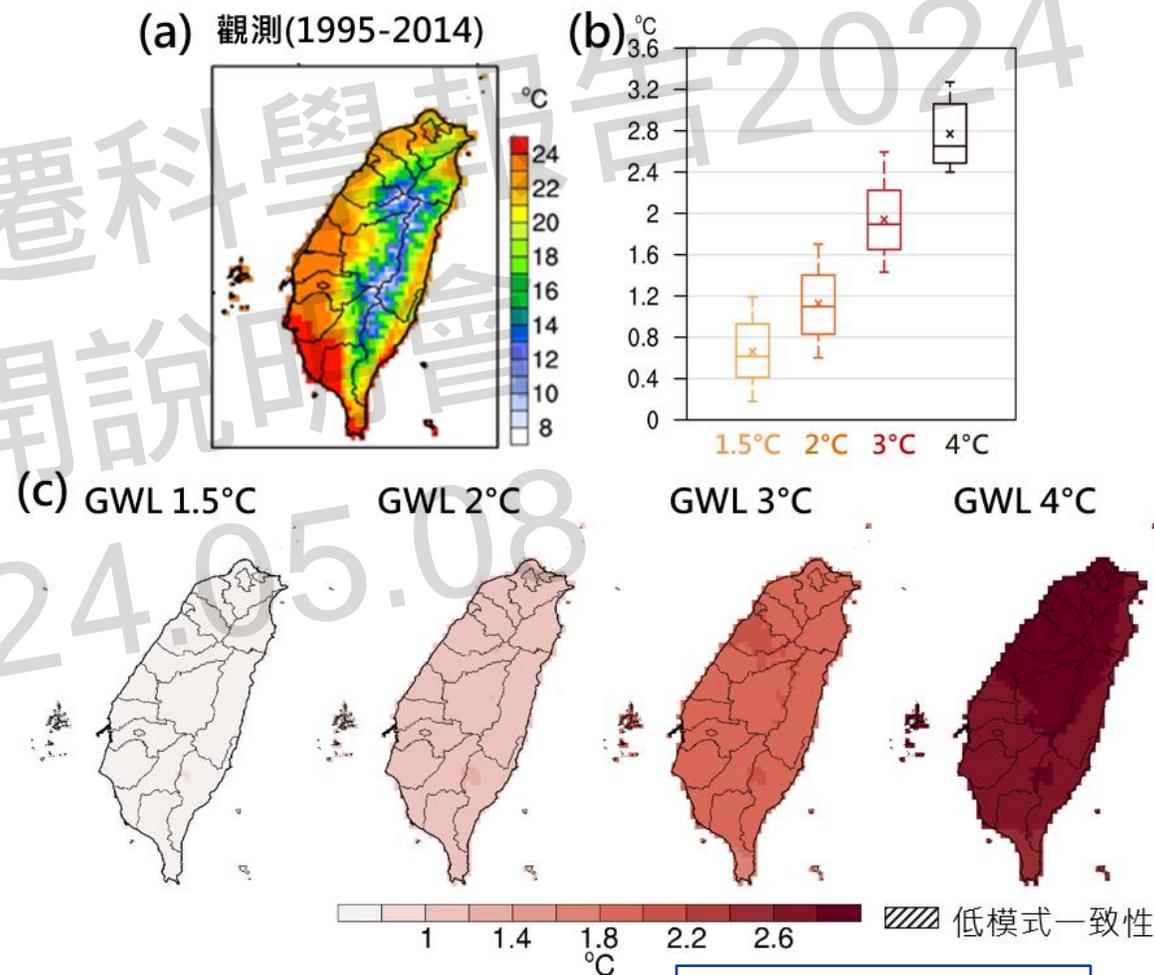


資料來源：臺灣氣候變遷關鍵指標圖集：AR6統計降尺度版(2023)

科學報告 圖BOX 1.2.5 摘自文字框 2

臺灣地表溫度 – 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

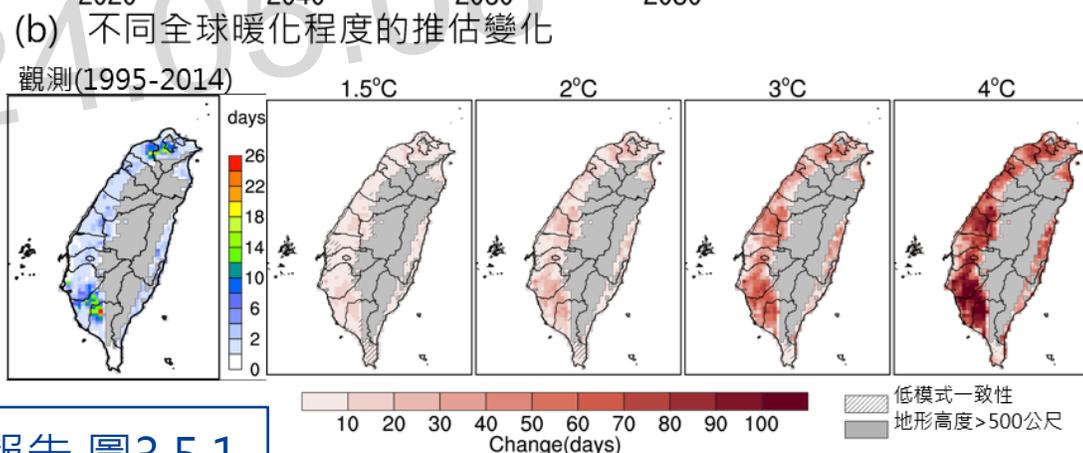
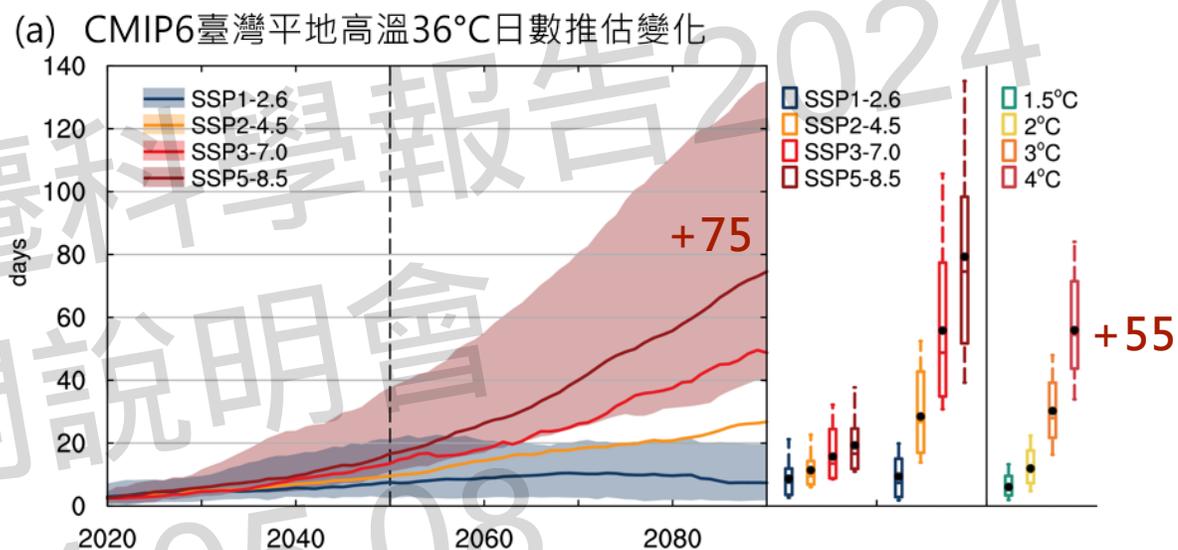


資料來源：TCCIP CMIP6統計降尺度資料，本報告產製(基期為1995年至2014年)

臺灣高溫日數 – 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75天
- GWL 4°C下增加55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)



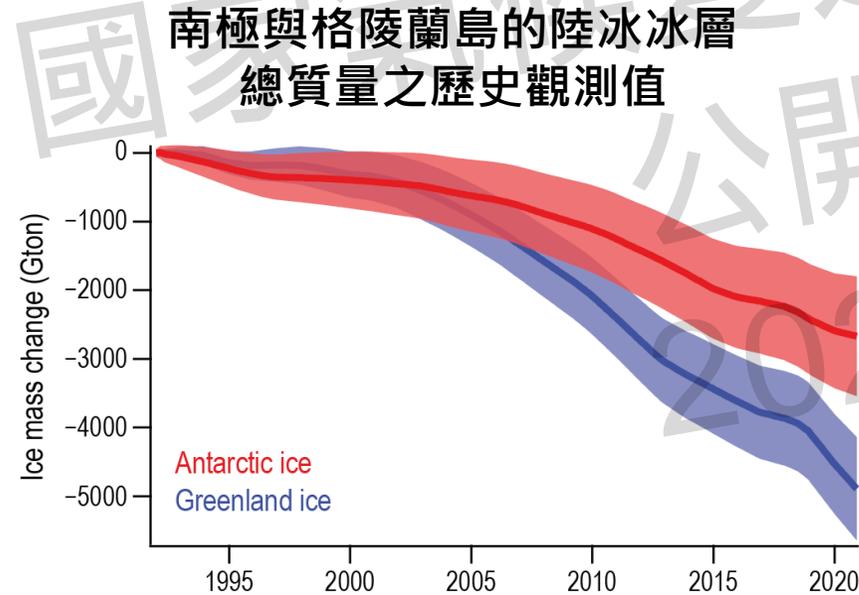
科學報告 圖3.5.1

第一至三章7大科學重點



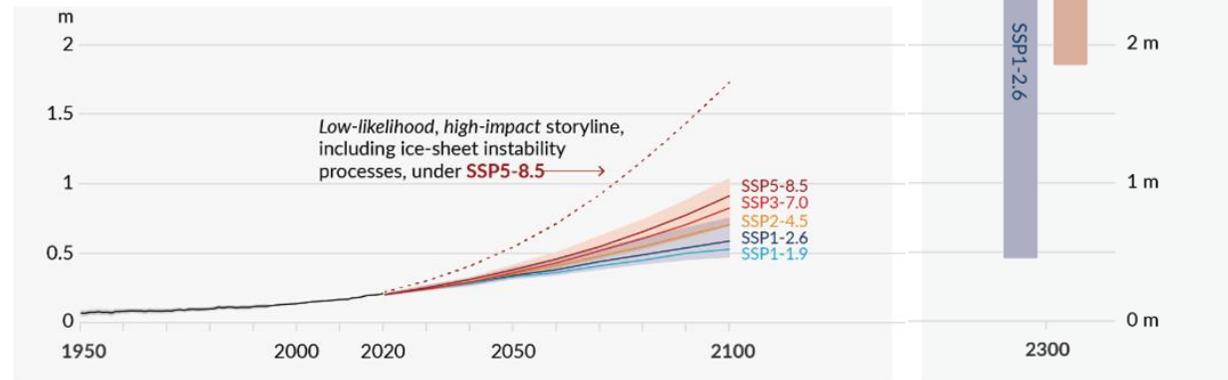
全球海洋變遷

- 海洋溫度與熱含量的增加，冰川、陸冰的融化，未來推估至2300年，海平面將會持續升高



科學報告 圖1.3.8; 圖1.3.1

1950-2300全球平均海面高
相對於1900年變化(單位：米)

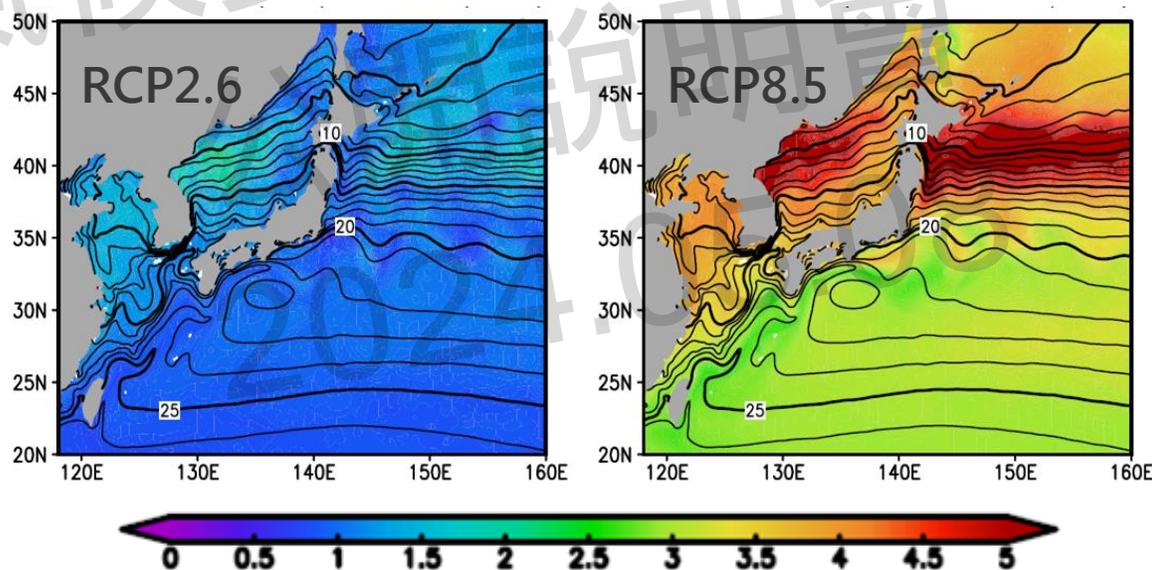


資料來源：IPCC AR6, WGI Figure 2-24；
IPCC AR6, WGI, SPM Figure 8

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



科學報告 圖1.3.11

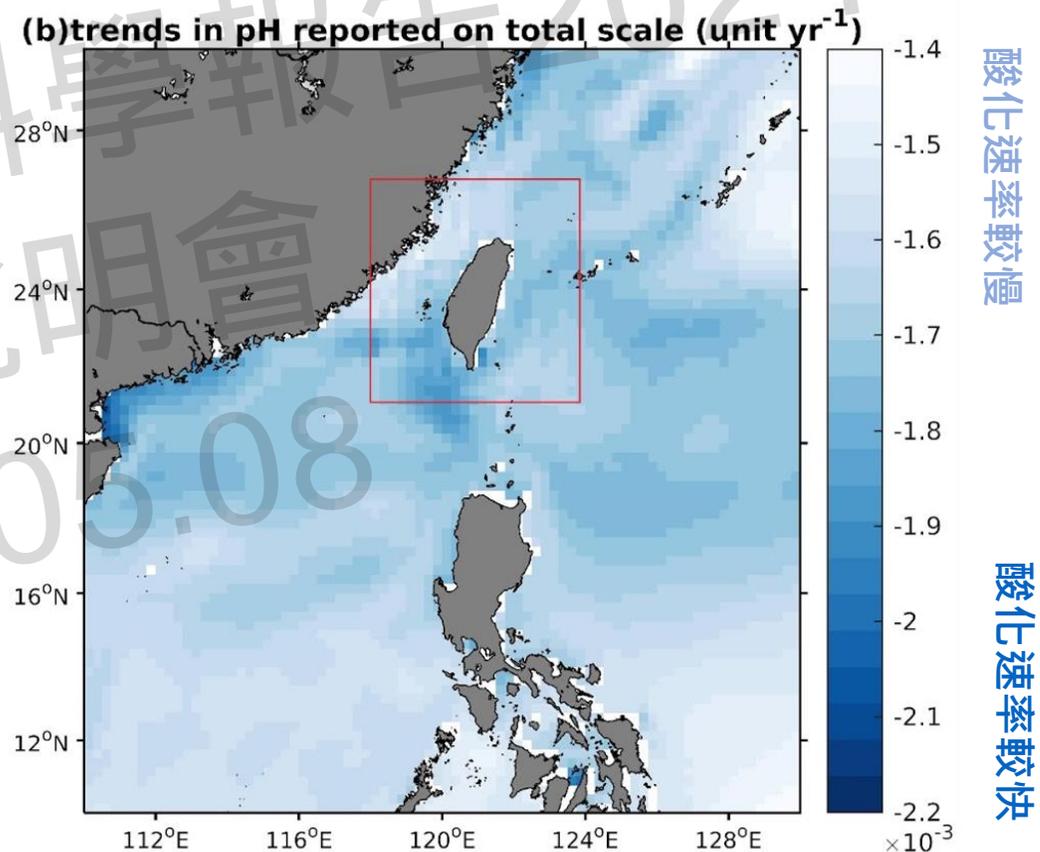
資料來源：Yamanaka et al (2021)。

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

海洋酸化 – 歷史模擬

- 全球海洋模式模擬結果顯示，於1993年至2020年間，臺灣附近海域(紅色框範圍)有海洋酸化的趨勢

資料來源：Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) (<http://marine.copernicus.eu/>) Global Ocean Biogeochemistry Hindcast (GLOBAL_MULTIYEAR_BGC_001_029)，本報告產製(紅色框範圍為21°N至27°N，118°E至124°E)

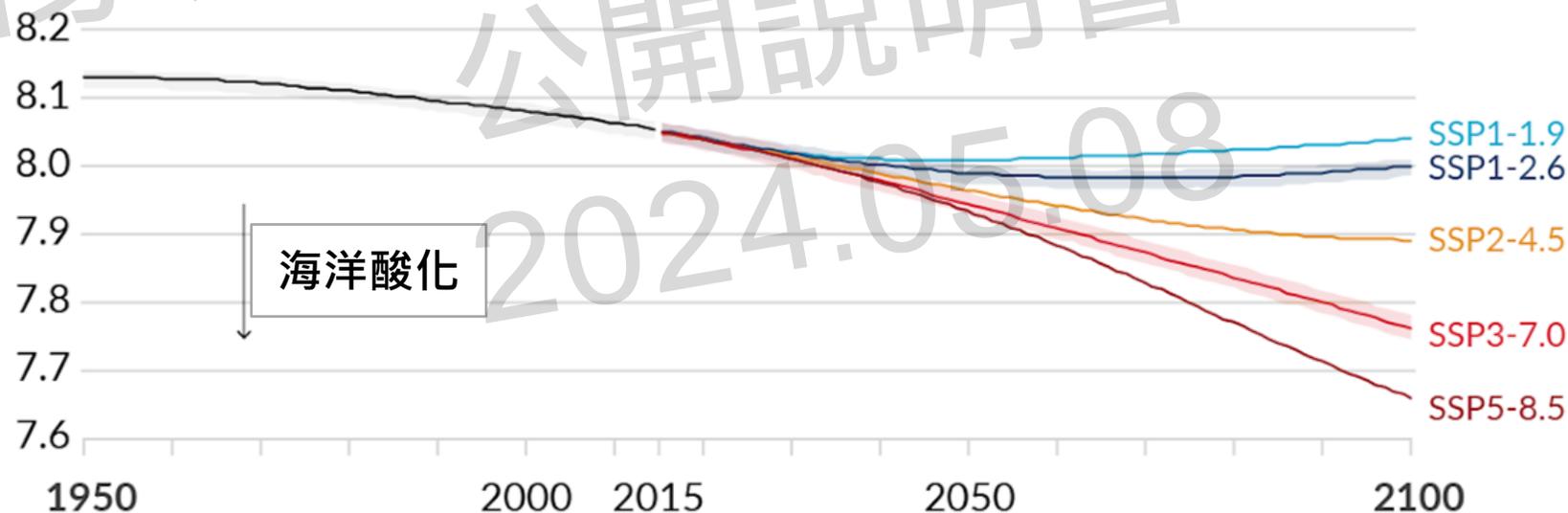


科學報告 圖2.5.8

海洋酸化 – 未來推估

- 觀測發現全球海洋pH值從1950年起便逐漸降低，隨暖化情境加劇更是逐漸遞減。可能導致碳酸鈣礦物的溶解，威脅以碳酸鈣為外骨骼或外殼的生物

1950年至2100年全球海洋表面pH值變化

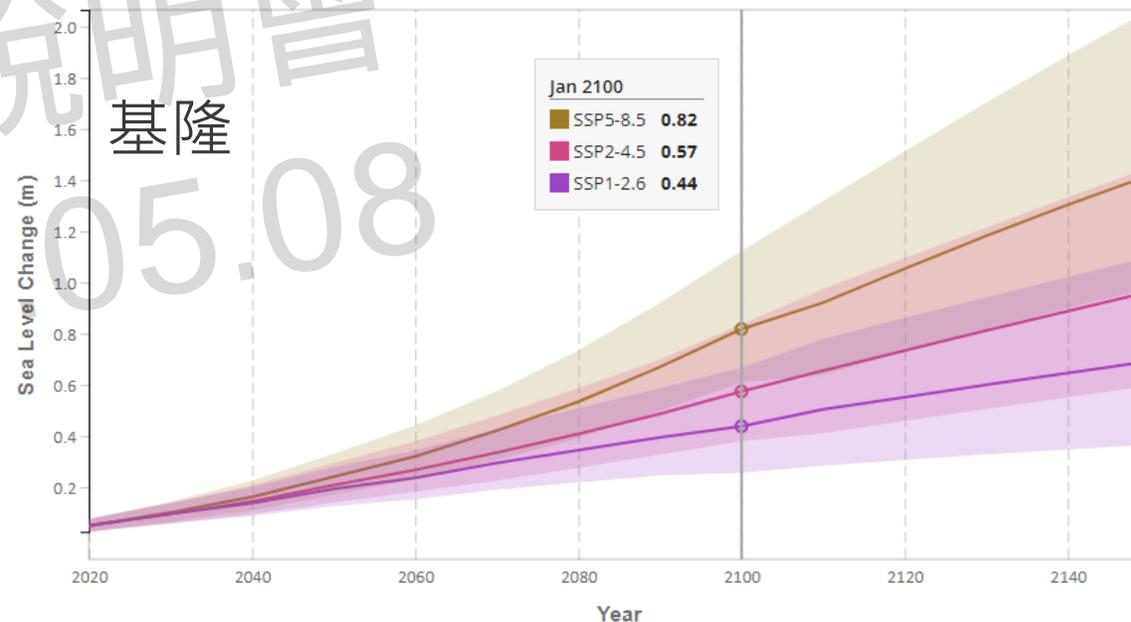
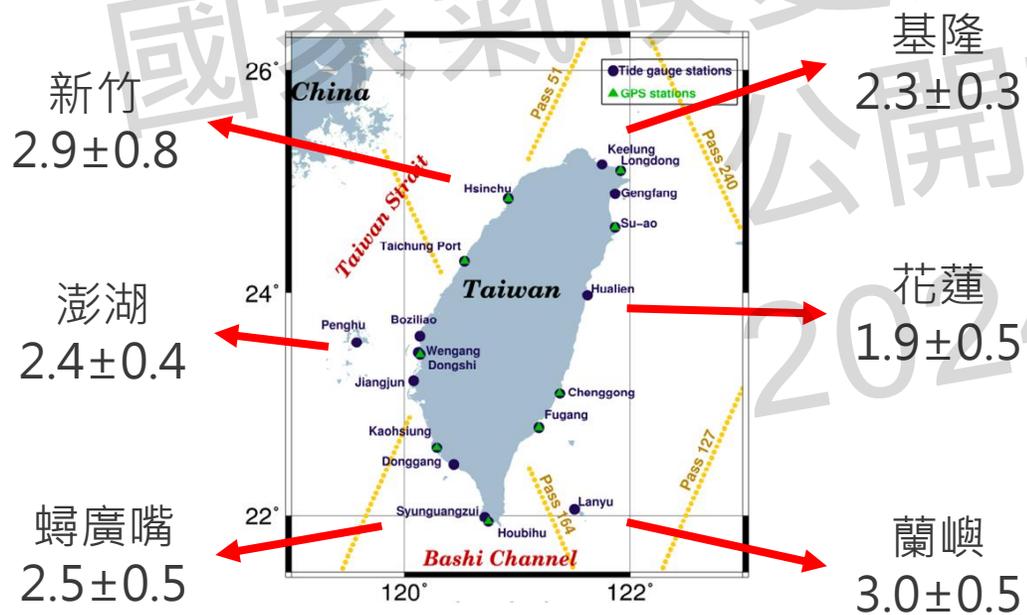


資料來源：IPCC AR6, WGI, SPM Figure 8

科學報告 圖1.3.1c

臺灣周遭海面高 – 歷史與未來

- 1993–2015年間，臺灣周遭海平面每年上升約2.2 毫米(全球平均值 3.2 毫米)
- 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)

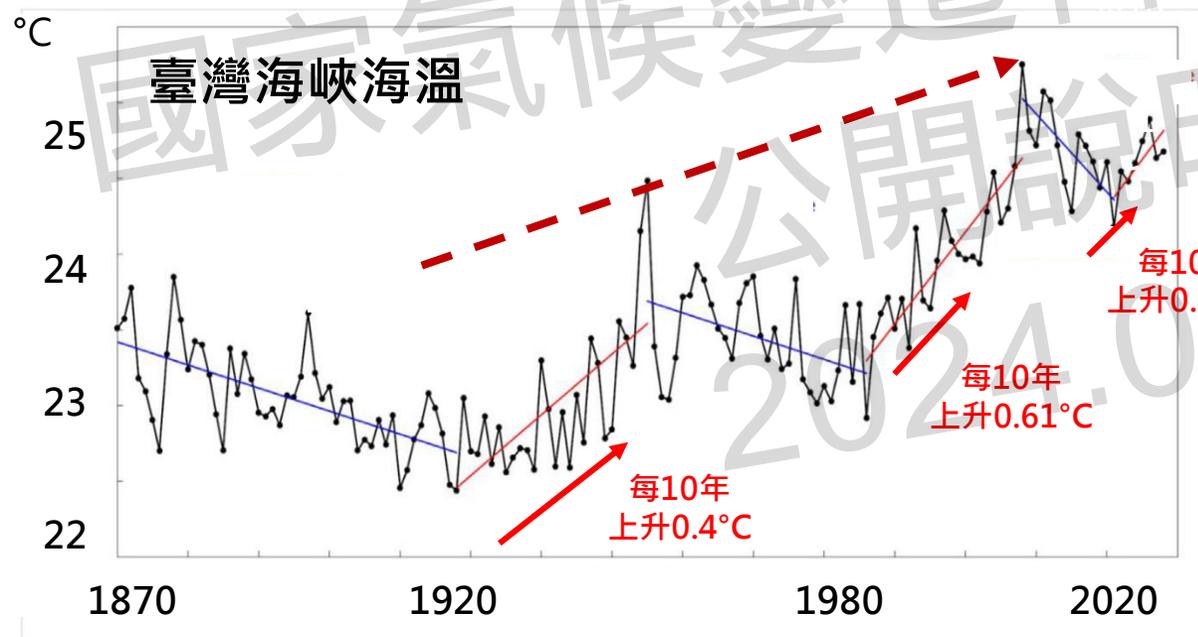


科學報告 表2.5.1

資料來源：臺灣沿海潮位站 (Lan et al., 2017) ;
<https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool> (基隆與高雄的推估結果)¹⁹

臺灣周遭海表溫 – 歷史與未來

- 臺灣海峽海溫過去百年呈現增溫趨勢，且臺灣周遭海域海表溫將持續上升至本世紀末

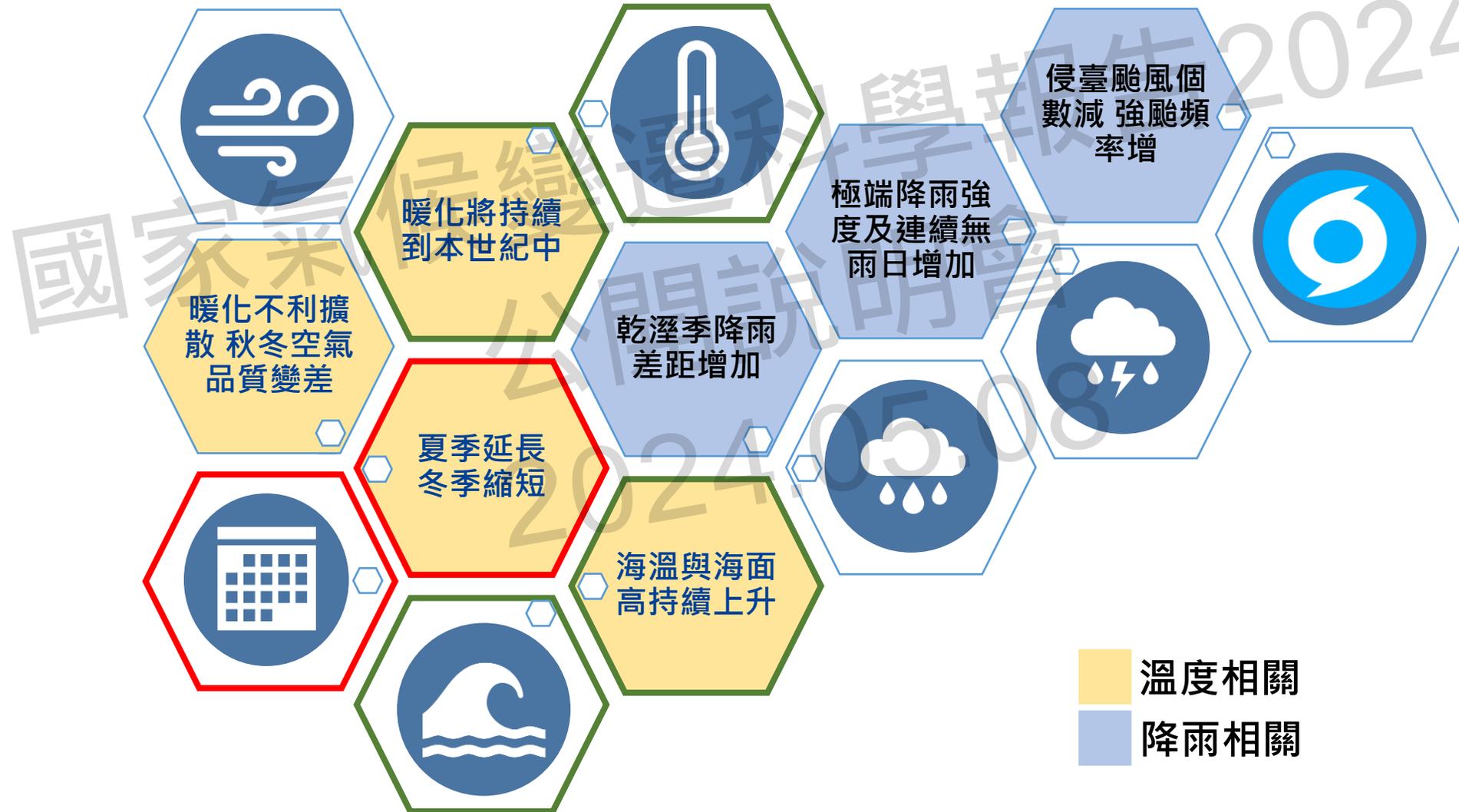


情境	臺灣周遭海域至本世紀末海表溫
低排放 (RCP2.6)	上升0.7-1°C
高排放 (RCP8.5)	上升2.5-3°C

資料來源：觀測海溫 (Lee et al., 2021)；CMIP5海表溫推估 (Yamanaka et al., 2021)

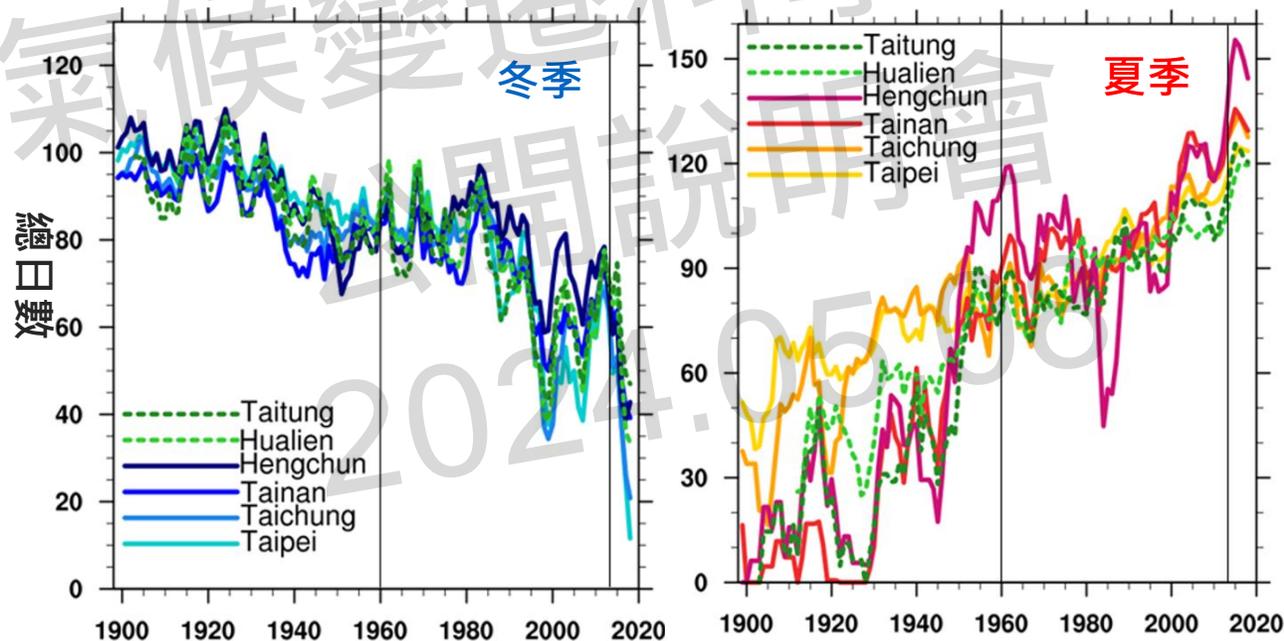
科學報告 圖2.5.1

第一至三章7大科學重點



臺灣季節變遷 – 歷史觀測

- 臺灣在過去120年間，冬季從3個多月逐漸減短至1、2個月，夏季從2個月逐漸增加至4、5個月



科學報告 圖2.2.6

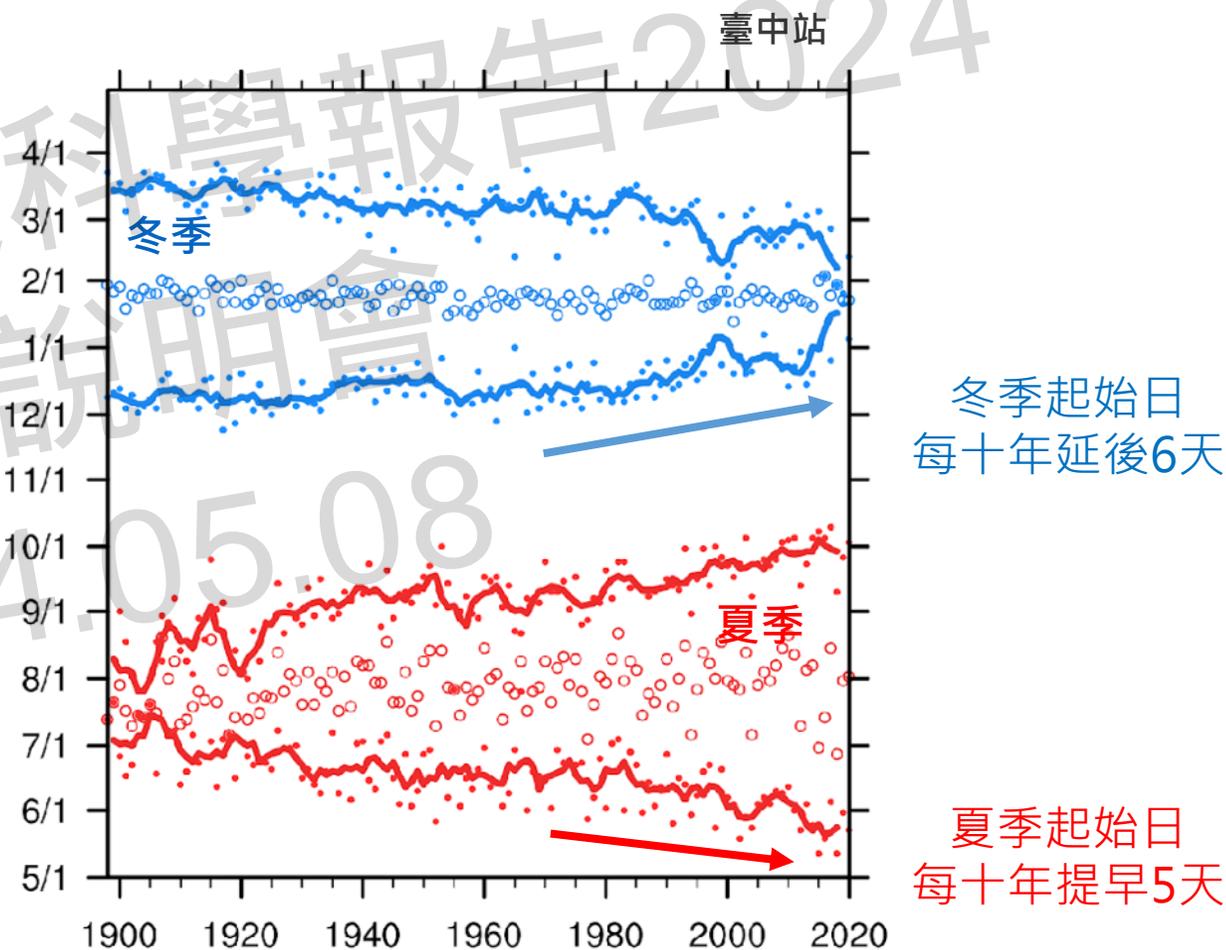
資料來源：中央氣象署。本報告產製(使用中央氣象署6個百年測站1900–2022年資料，顏色由淺至深色為地理位置，由北至南的測站，虛線為東部測站)

臺灣季節變遷 – 歷史觀測

- 冬季延後開始、提早結束
- 夏季提早開始、延後結束
- 最高溫每十年上升至少 0.2°C (近50年趨勢)

最高溫上升	
冬季	夏季
0.4°C	0.2°C

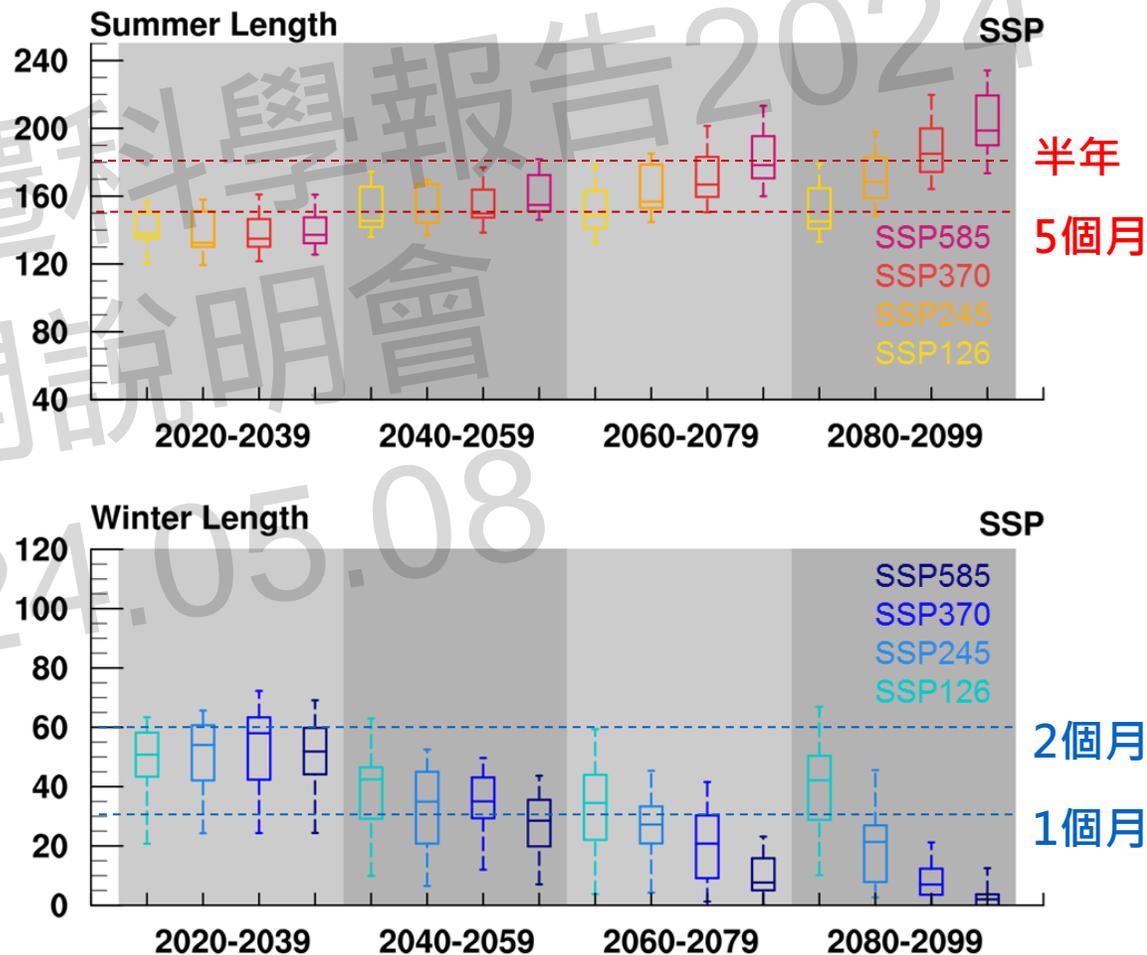
資料來源：中央氣象署，
本報告產製(使用中央氣象署6個百年測站1900–2022年資料，以台中站為例。近50年趨勢代表1971–2020年)



科學報告 圖2.2.5b

臺灣季節變遷 – 未來推估

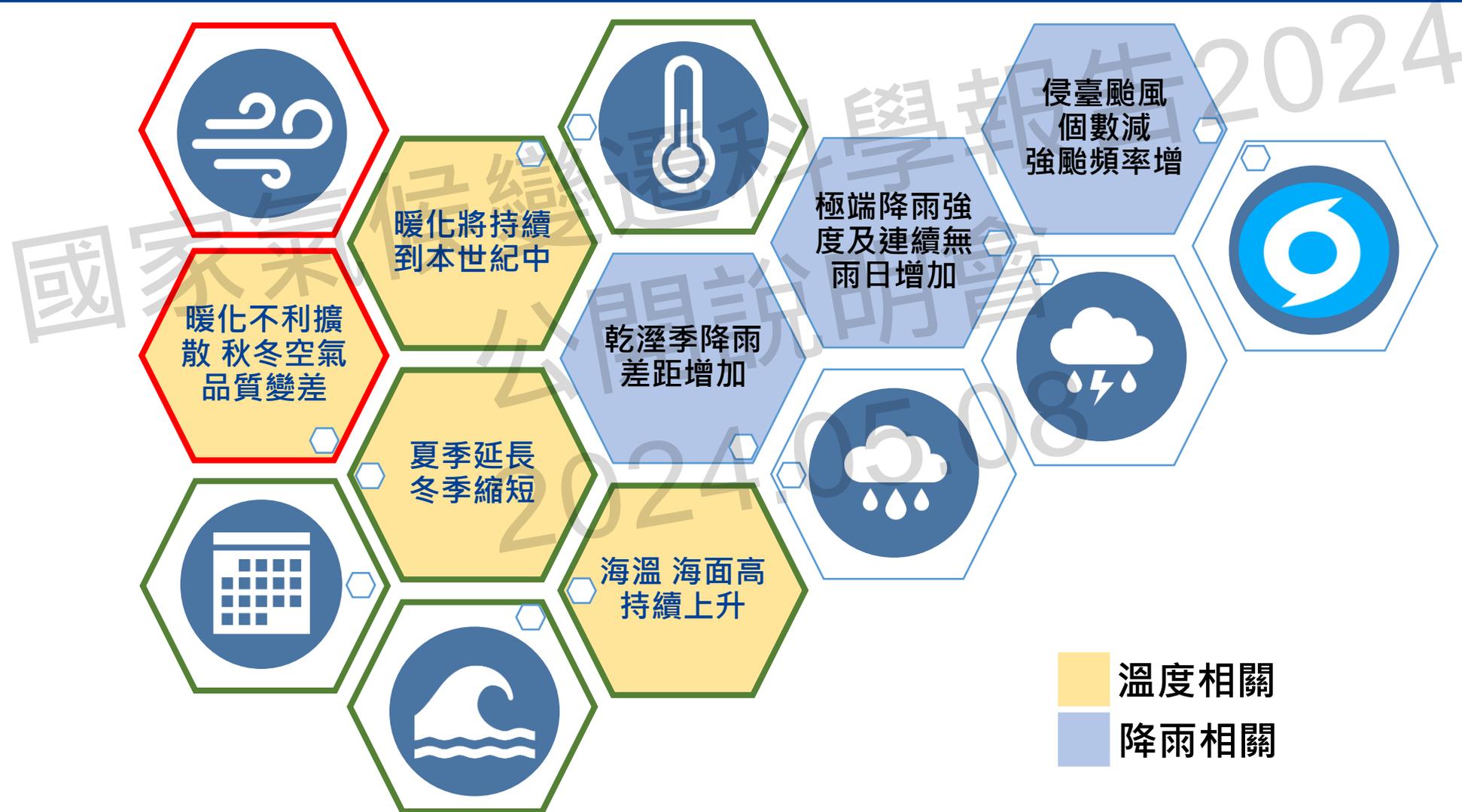
- 季節長度在過去觀測與未來推估呈現相同變化趨勢，未來冬季更縮短，夏季更延長



科學報告 圖3.2.6

資料來源：TCCIP CMIP6統計降尺度資料

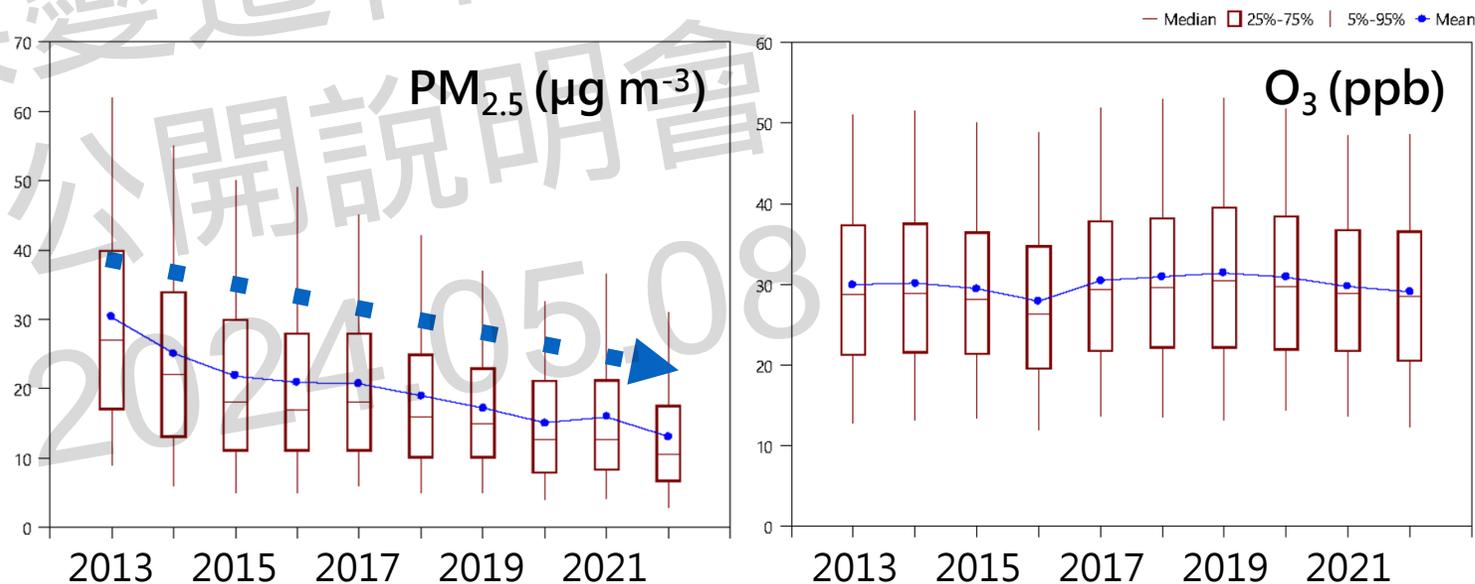
第一至三章7大科學重點



空氣品質 – 歷史觀測

- 各類污染物平均濃度在過去10年間呈現下降趨勢，惟臭氧濃度持平
- 北部降低的趨勢大於南部，這是因為南部位在東北季風背風面，且冬季地表風速減少，抵銷了控制排放的效果

臺灣空氣污染物濃度變化趨勢



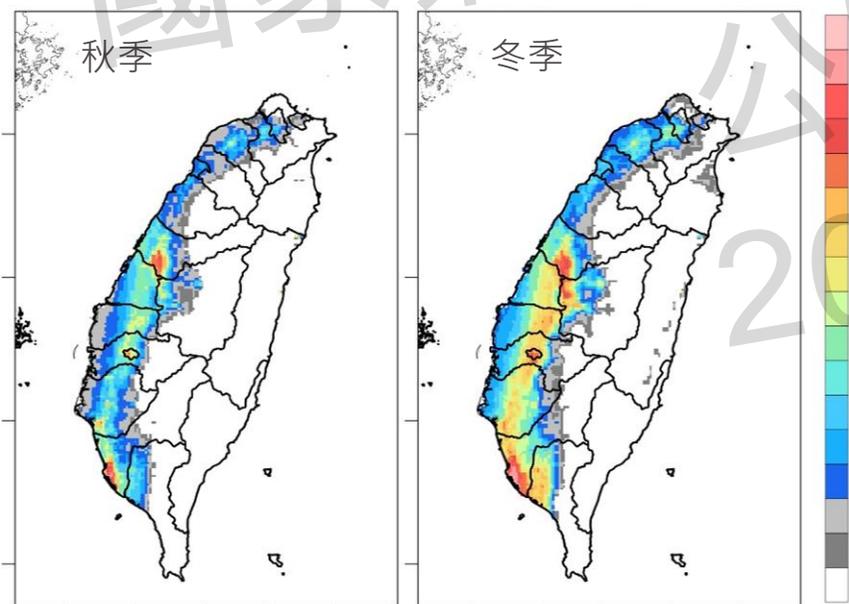
科學報告 圖2.7.1b; 圖2.7.1h

資料來源：環保署年報。原圖包含6種不同污染物。

空氣品質 – 未來推估(PM_{2.5})

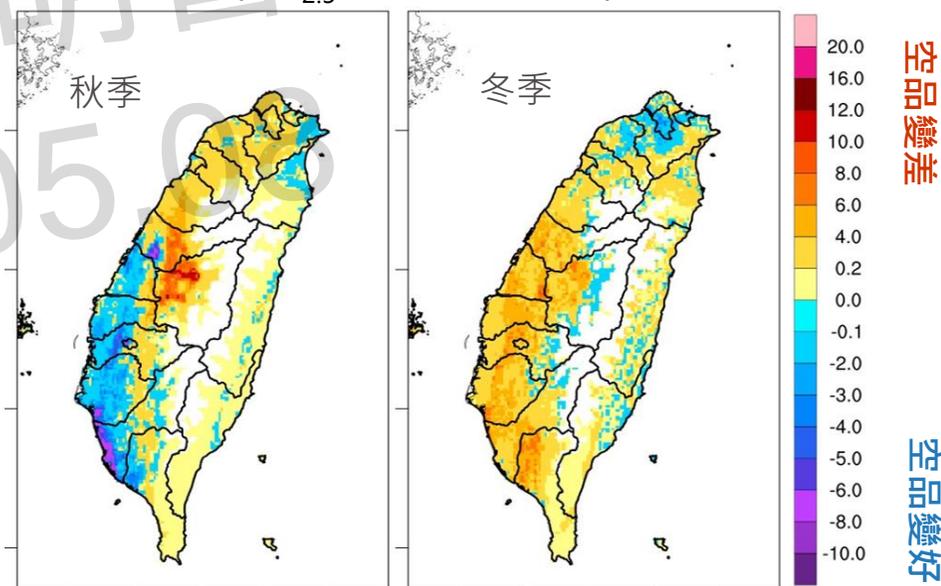
- 2011-2015期間，中部區域的空品不良日數(PM_{2.5})較高
- 暖化下秋季PM_{2.5}空氣品質不良日數呈現西南部減少、中北部增加的情況
- 冬季空氣品質變差(除了北部少數地區)

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

暖化下空品不良日數變化
(PM_{2.5}/GWL 4°C 模擬)



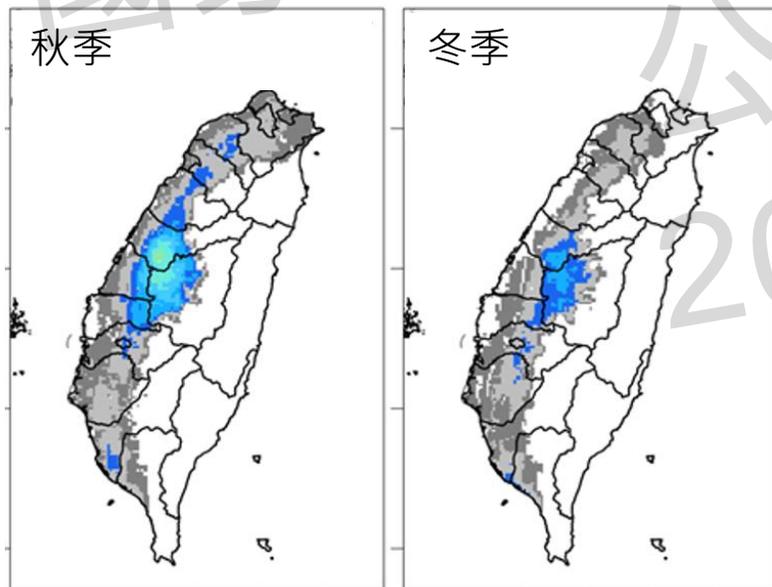
科學報告 圖3.6.1c

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

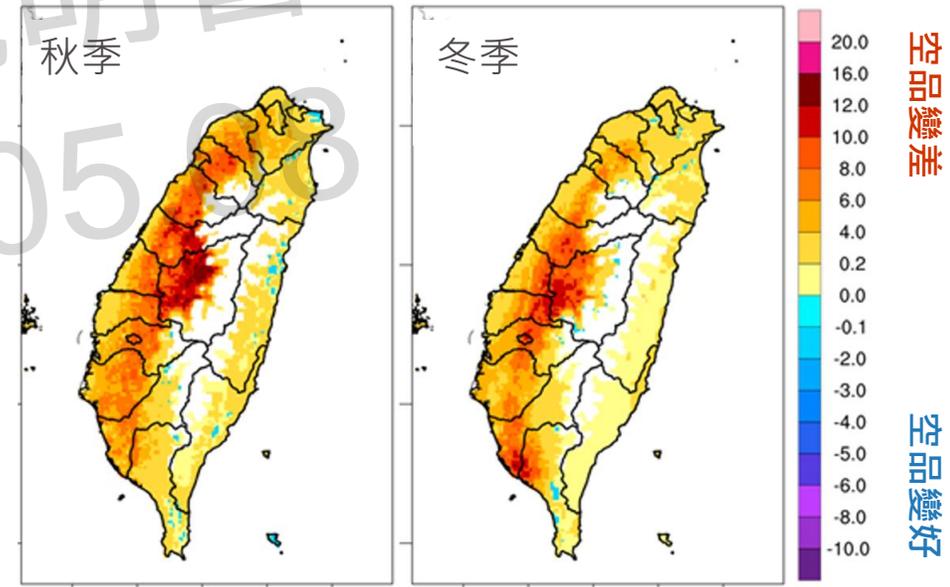
(臭氧/2011-2015模擬)



科學報告 圖3.6.1d

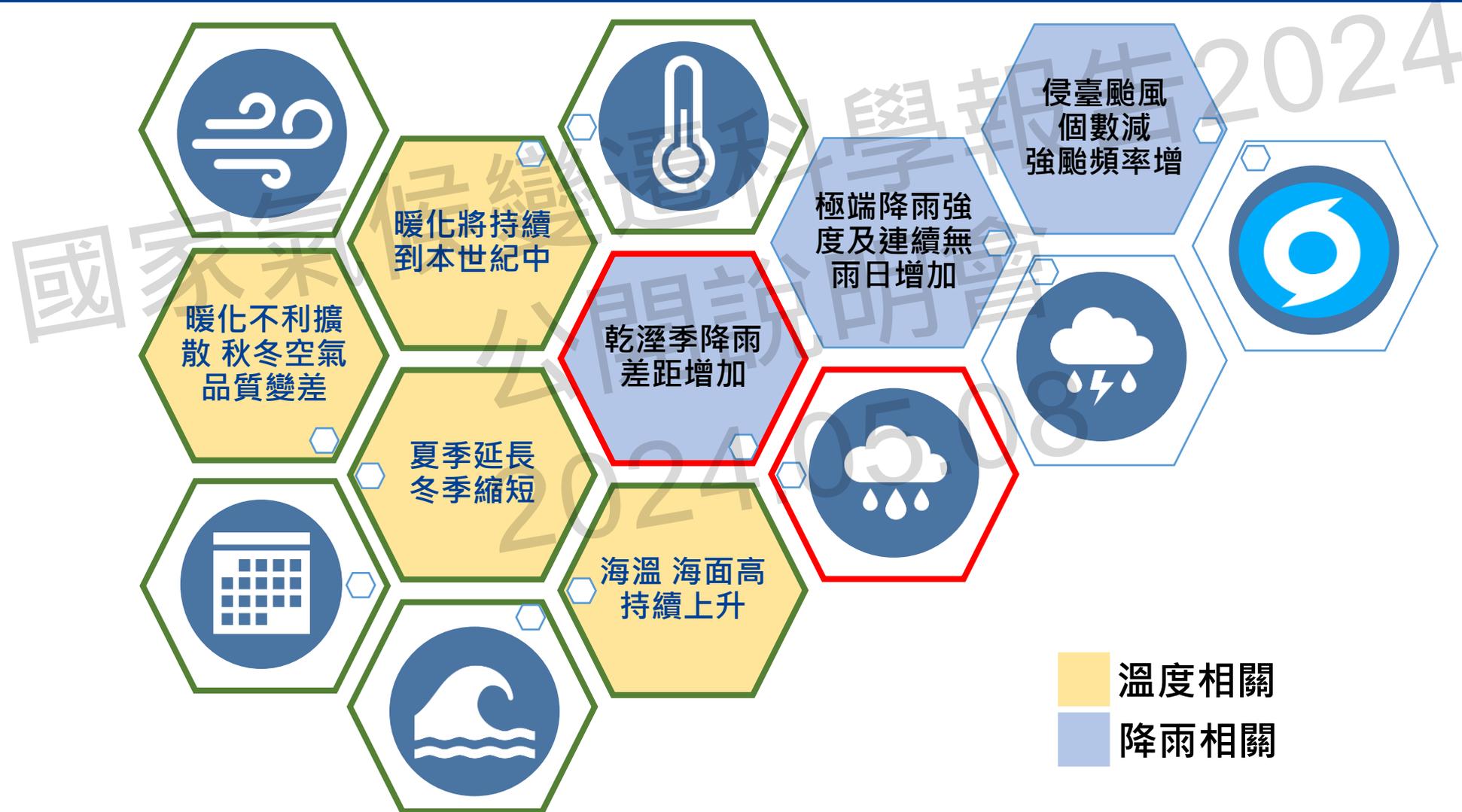
暖化下空品不良日數變化

(臭氧/GWL 4°C情境)



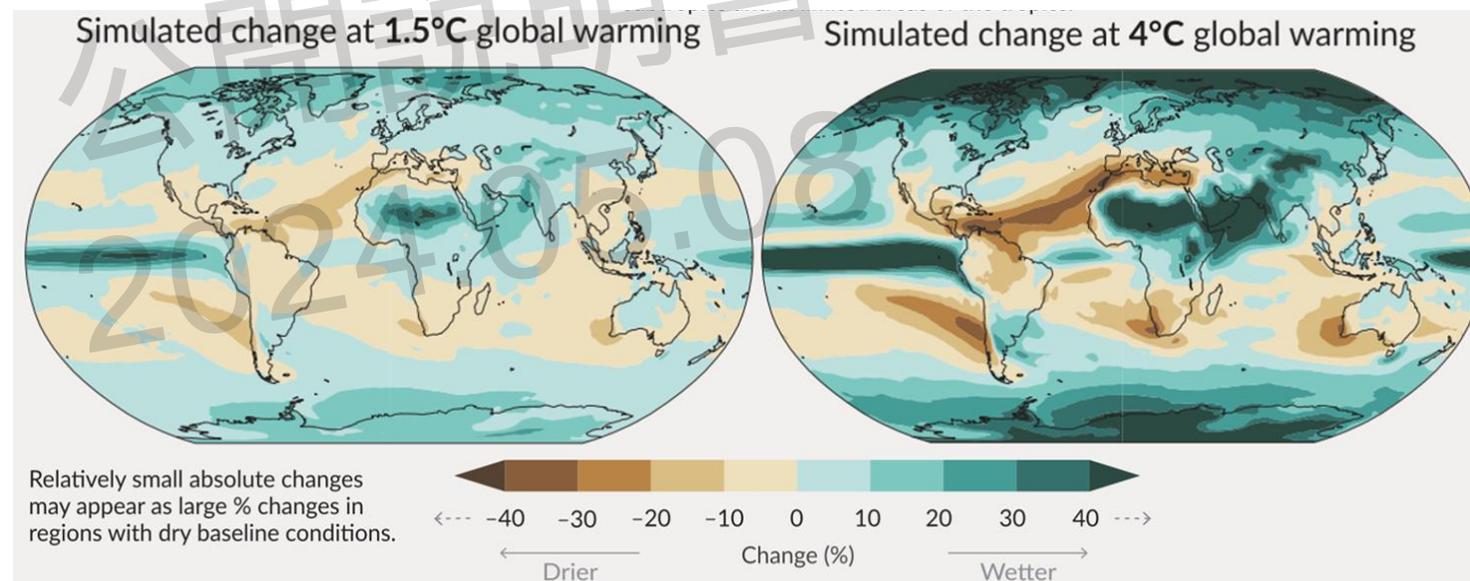
科學報告 圖3.6.1f

第一至三章7大科學重點



全球降雨 – 歷史觀測與未來推估

- 觀測降水：變化趨勢在不同地區有增有減，差異大。整體而言，陸地降水有些微增加的趨勢
- 未來推估：全球平均降水量逐漸增加，陸地降水增加最明顯。每增暖 1°C ，全球平均降雨量可增加 2% 至 3%

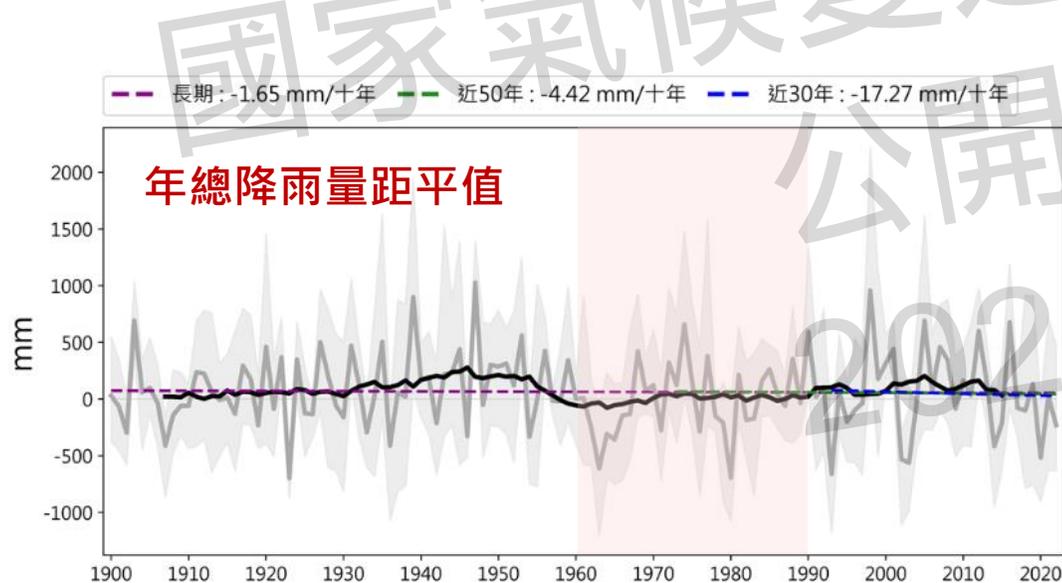


資料來源：IPCC AR6, WGI, Figure SPM.5

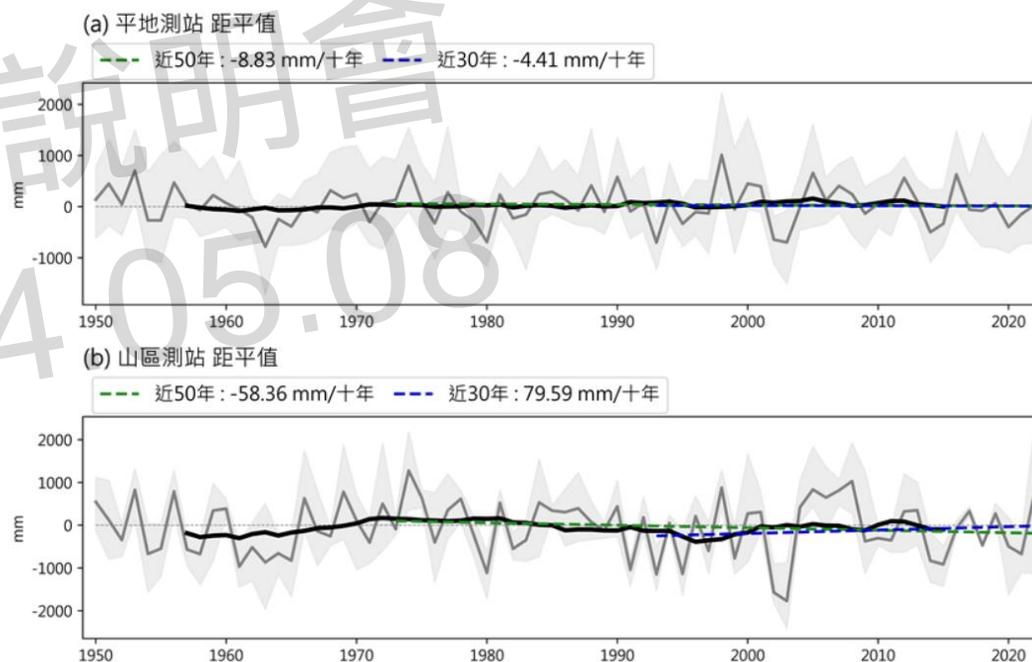
科學報告 圖1.2.6

臺灣降雨 – 歷史觀測

- 年總降雨量沒有顯著的長期趨勢
- 平地測站有較大的雨量差異 (灰色陰影)，山區雨量有較大的年際變化

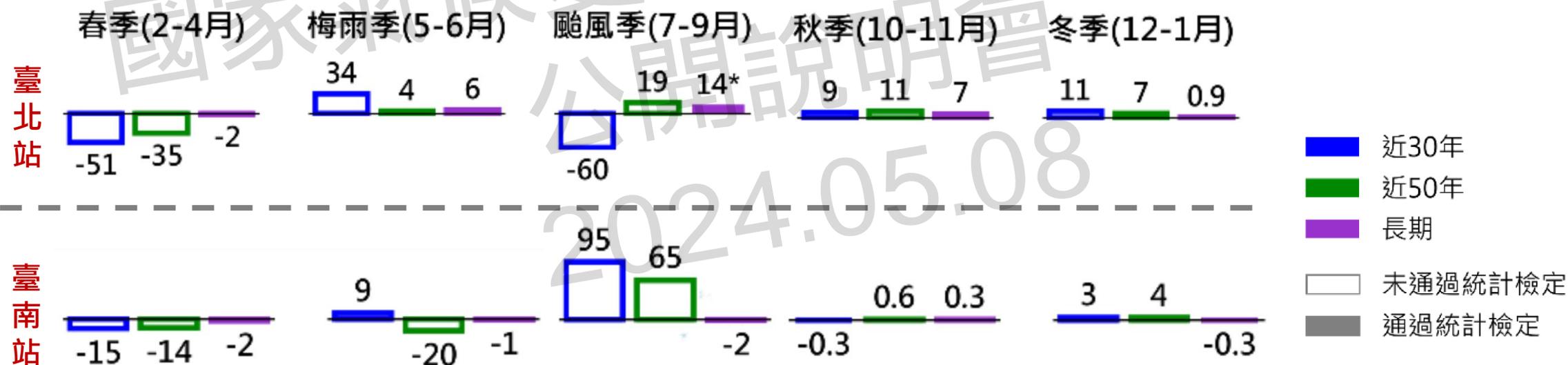


科學報告 圖2.3.1; 圖2.3.2a; 圖2.3.2b



各季節降雨趨勢變化 – 歷史觀測

- 各測站在不同季節的降雨量趨勢的變化不一，普遍未通過顯著性檢定

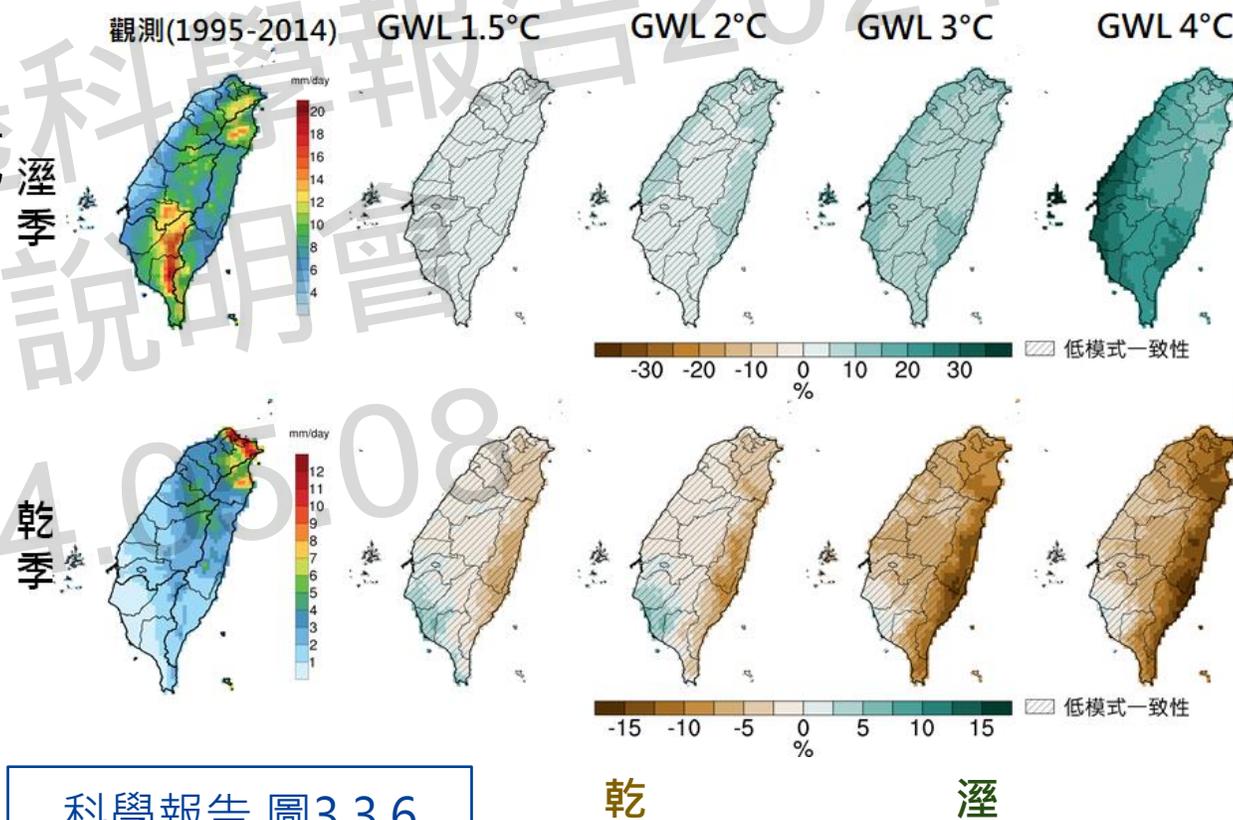


資料來源：中央氣象署。本報告產製(使用中央氣象署6個百年測站1900-2022年資料，以臺北站與臺南站為例)，單位：毫米/十年。

科學報告 圖2.3.3

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



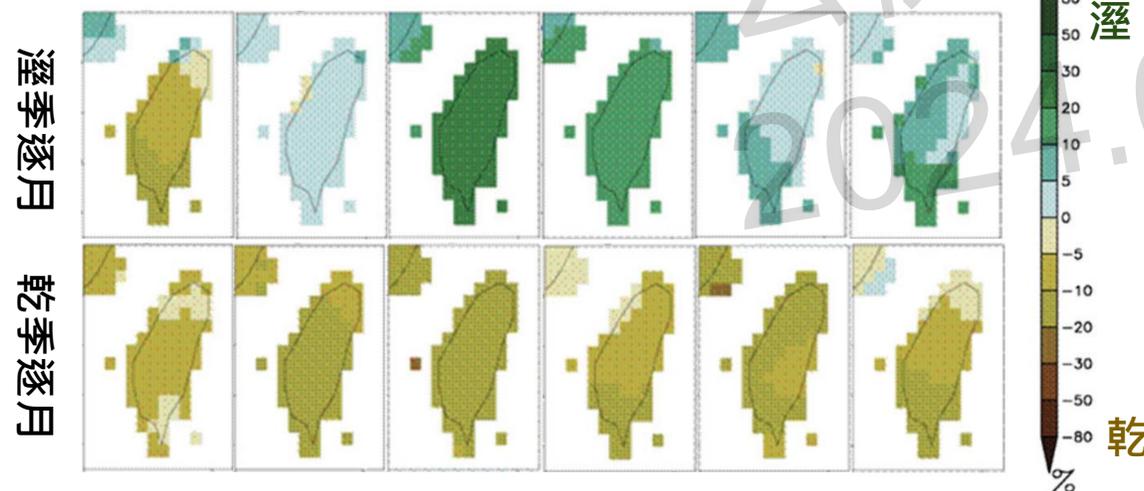
資料來源：TCCIP CMIP6統計降尺度資料，
本報告產製，溼季為5-10月。

科學報告 圖3.3.6

乾溼季降雨變化推估 – 與2011年版比較

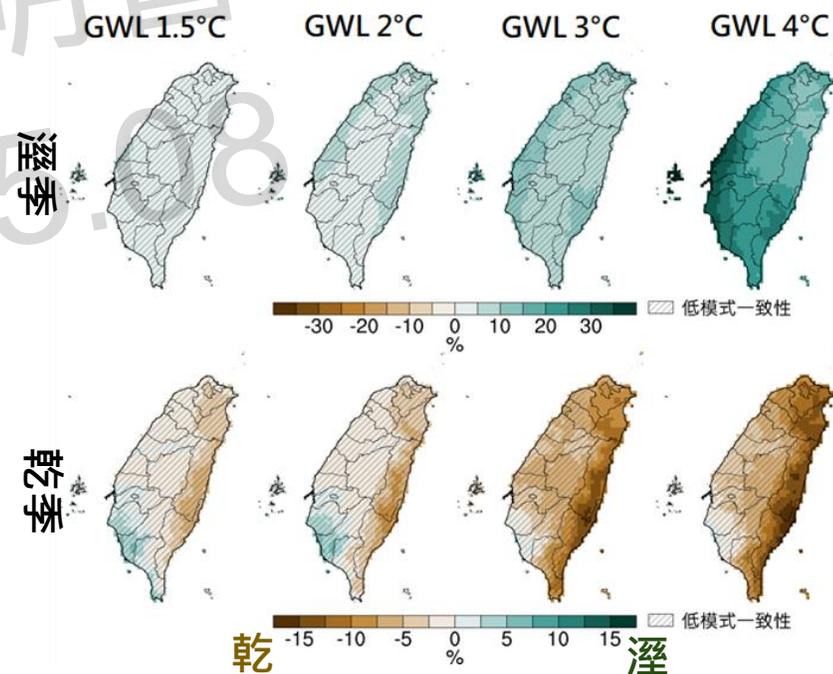
- 乾溼季降雨變化的推估一致：乾季越乾、溼季越溼
- 空間解析度的提高，提供了臺灣不同區域乾溼季降雨改變的細節

臺灣月降雨量變化世紀末推估
(2011年版科學報告)



*2080-2099相對於1980-1999

臺灣降雨量變化推估(2024年版科學報告)



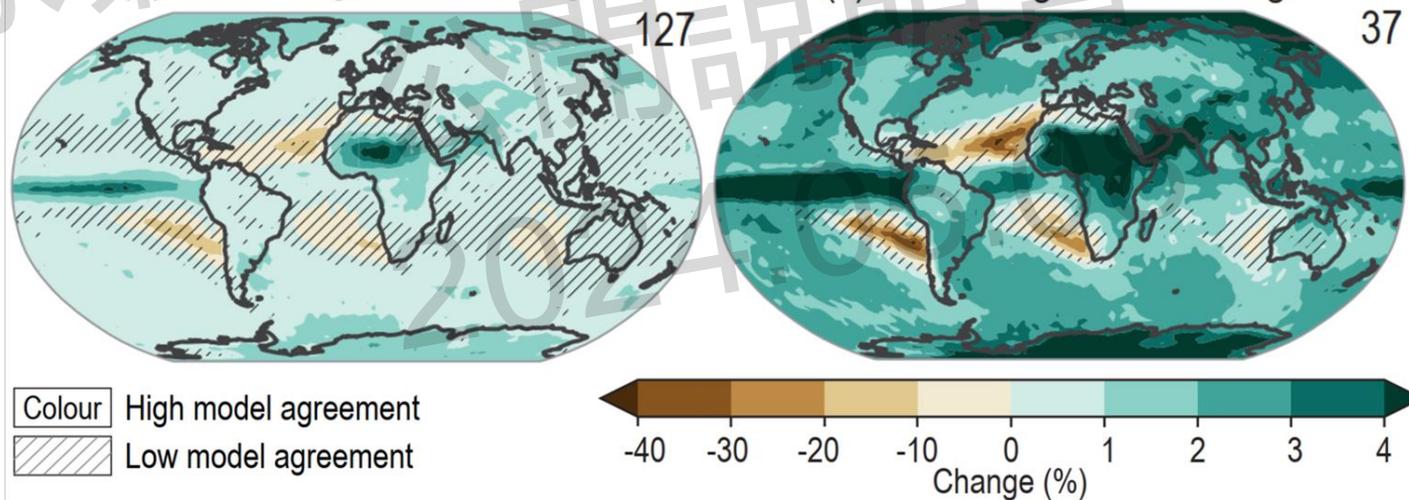
全球極端降水 – 未來推估

- 極端降雨事件更加頻繁發生也變得更強。每增加 1°C ，全球極端降雨事件頻率和強度會增加約7%

Annual maximum daily precipitation change (Rx1day) - median

(a) At 1.5°C global warming

(c) At 4.0°C global warming



資料來源：IPCC AR6, Figure 11.16

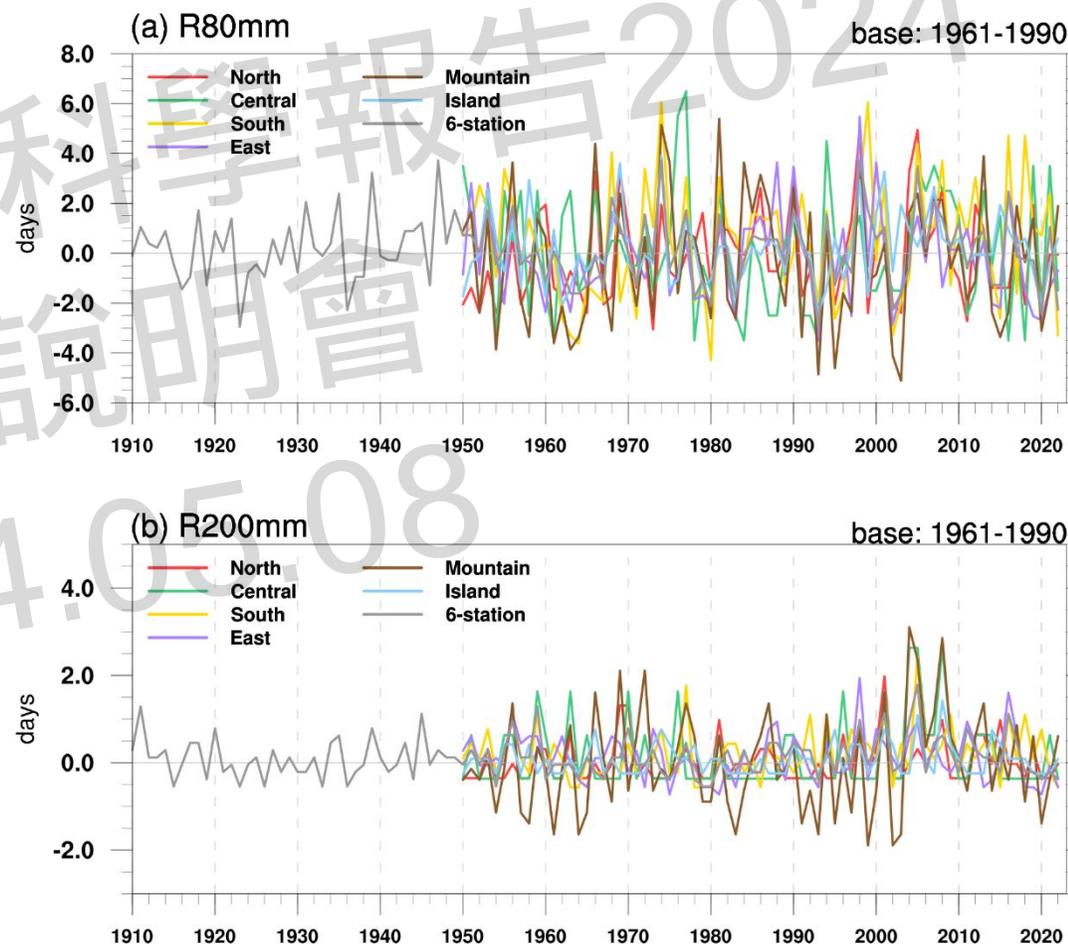
科學報告 圖1.4.6

臺灣極端降水 – 歷史觀測

- 極端降雨日數，大雨、豪雨 (及大豪雨)，皆沒有顯著趨勢

資料來源：中央氣象署。本報告產製(使用中央氣象署署屬測站年資料，氣候值為1961年至1990年平均)。註：大雨 (R80mm)、豪雨 (R200mm)

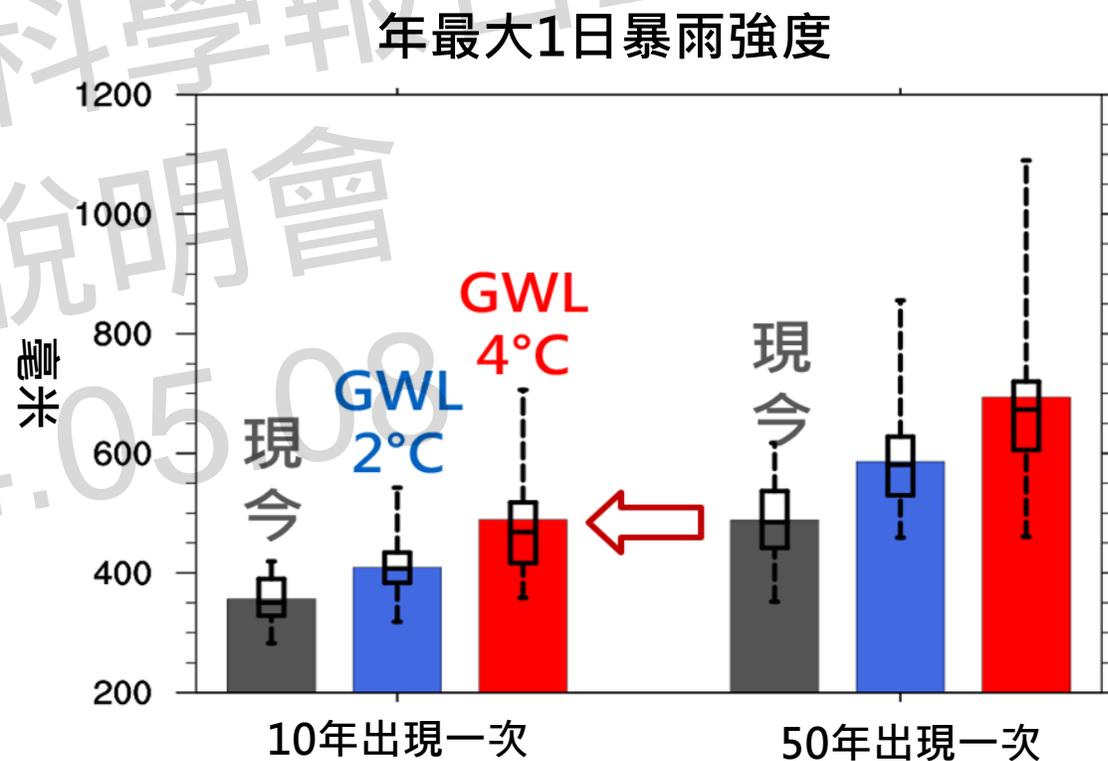
科學報告 圖2.6.2a; 圖2.6.2b



極端降水 – 未來推估(年最大1日降水)

- 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

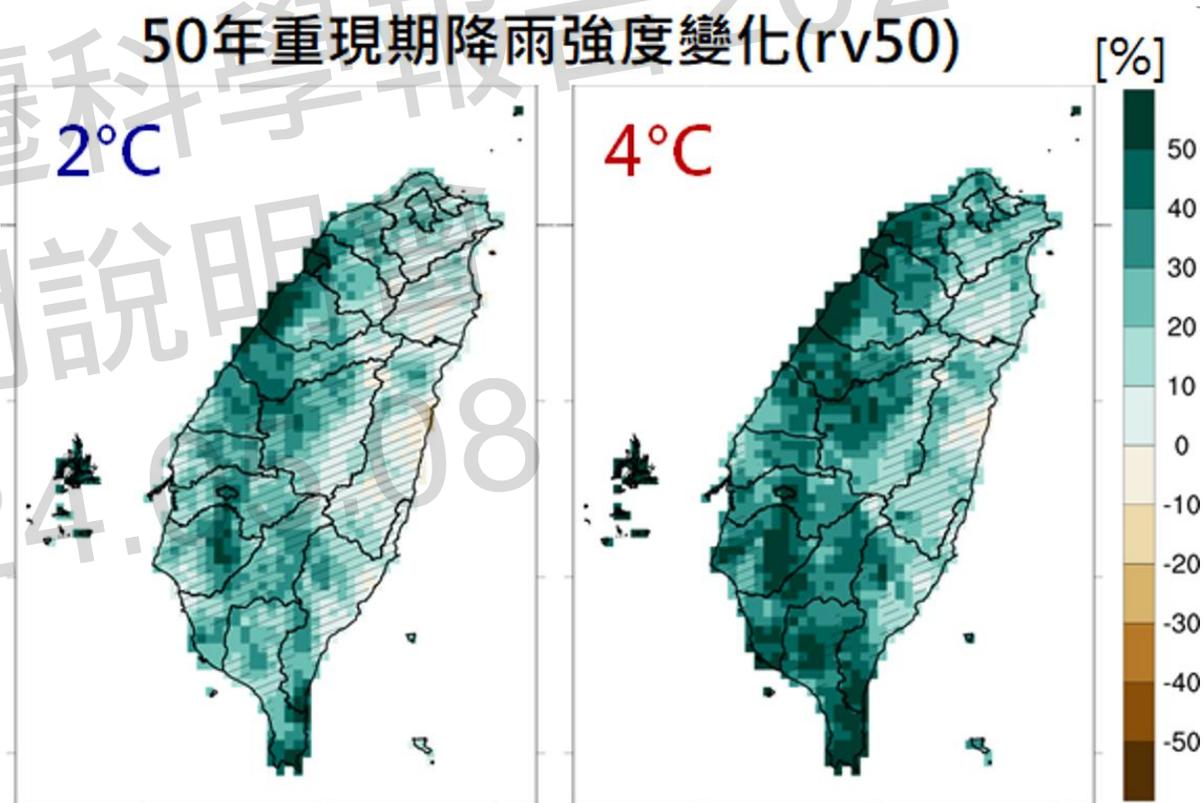


科學報告 圖3.5.17

極端降水 – 未來推估(年最大1日降水)

- 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)

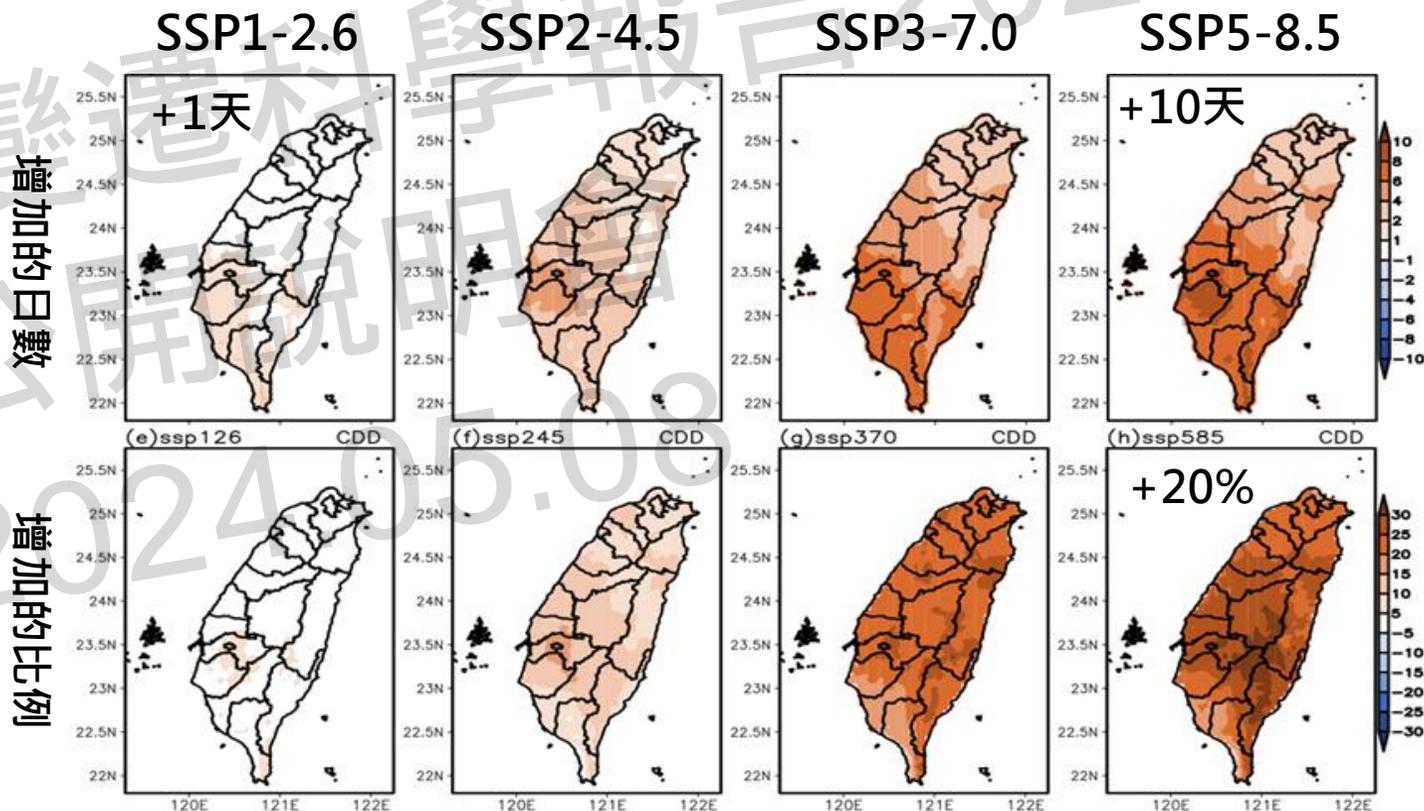


科學報告 圖3.5.16e; 圖3.5.16f

極端降水 – 未來推估(春季CDD)

- 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，本報告產製(CDD：年最長連續不降雨日數，以基期1995年至2014年為比較基準)



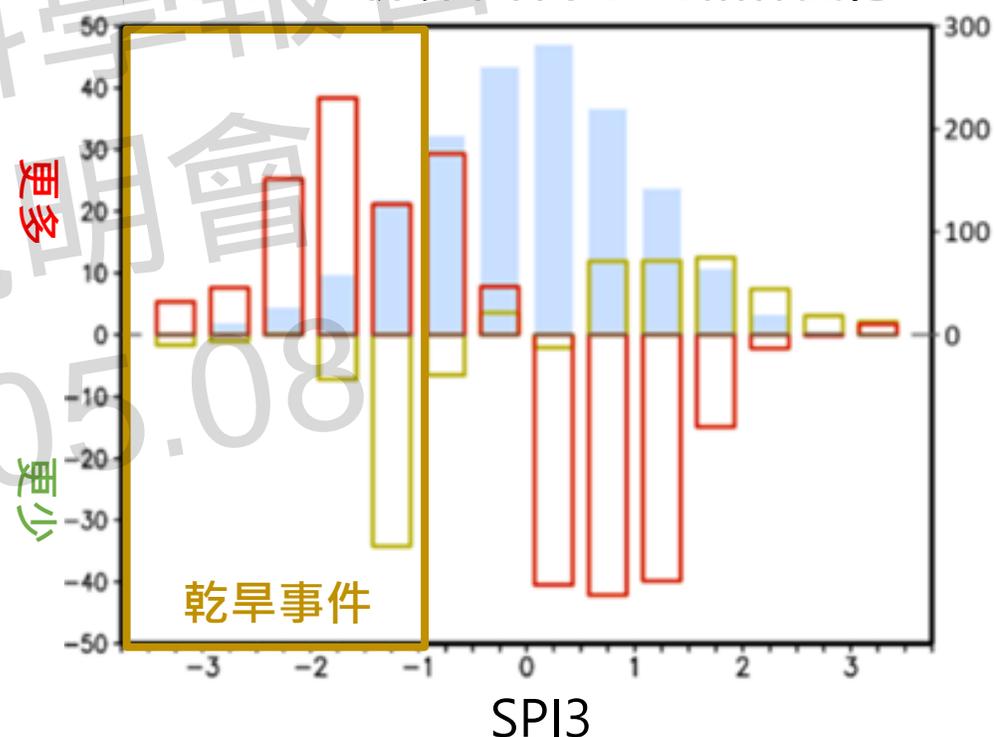
科學報告 圖3.5.18

極端降水 – 未來推估(SPI乾旱事件)

- SSP5-8.5情境下，春季乾旱事件於世紀末(紅色空心直條)增多

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

SSP5-8.5情境下春季SPI3指標變化



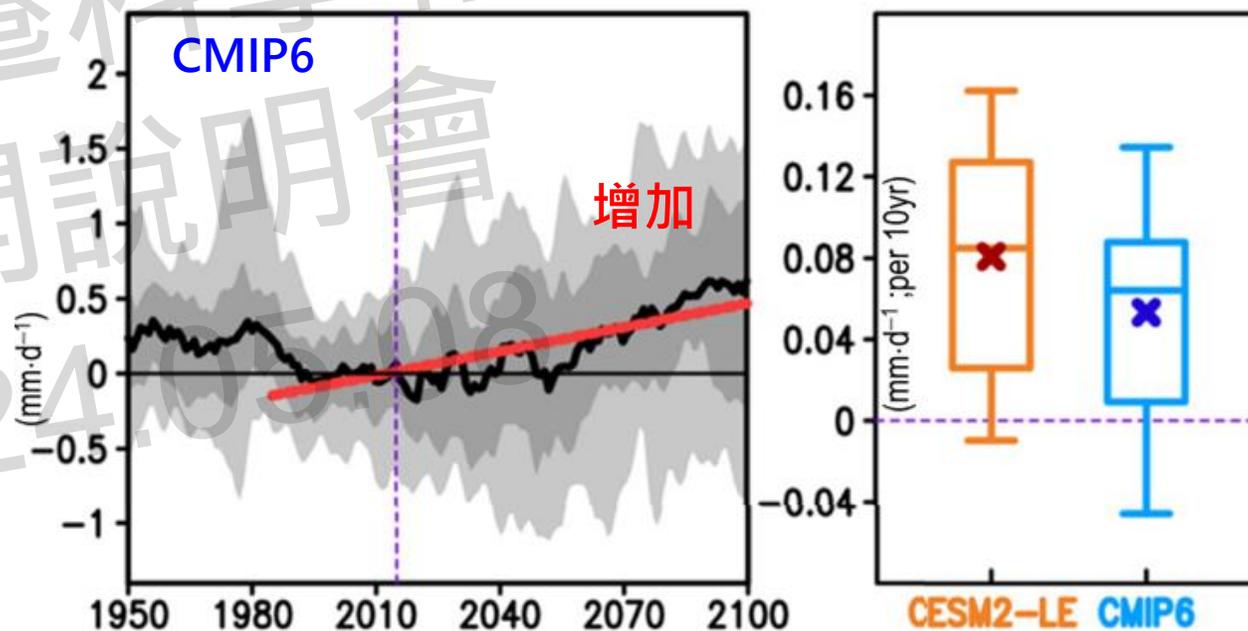
綠色直條代表世紀中，紅色直條代表世紀末

極端降雨 – 未來推估(梅雨季)

梅雨季(5-6月)降雨峰值強度 (SSP3-7.0情境下)

- 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

資料來源：Huang et al. (2022)



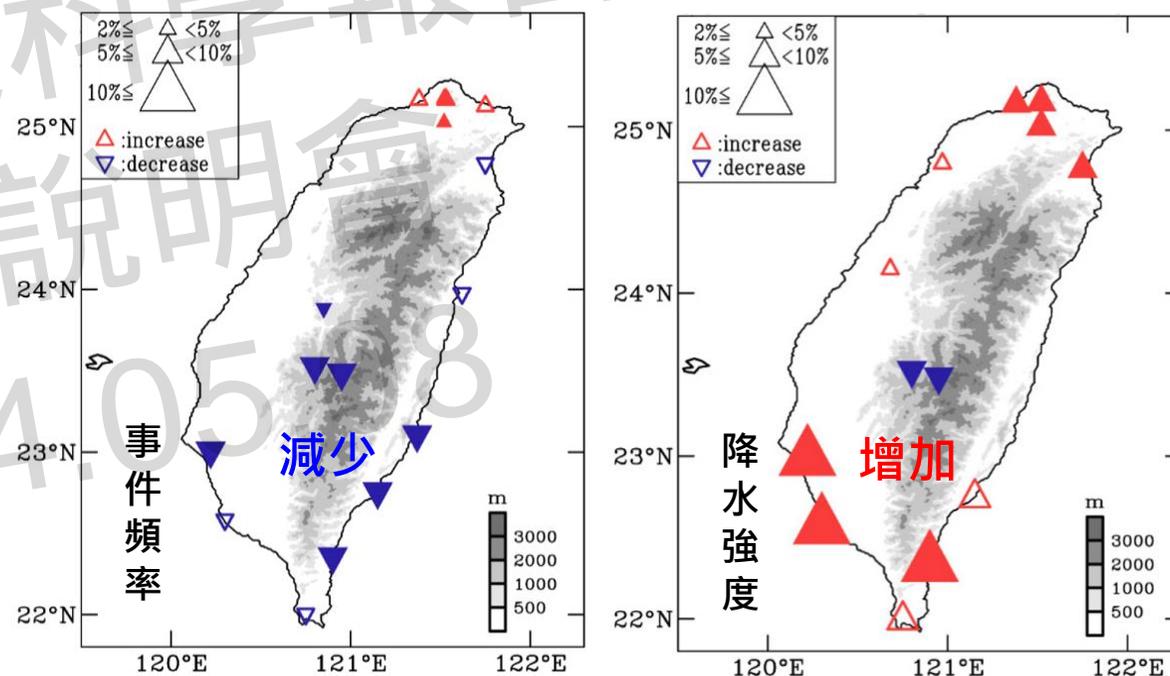
科學報告 圖3.5.12b; 圖3.5.12c

劇烈降雨 – 歷史觀測(夏季午後對流)

• 夏季(6-8月)午後對流降雨：

- ◆ 頻率：除了北部地區增加，大部分地區呈現減少趨勢
- ◆ 強度：除了山區減弱，大部分地區呈現增加趨勢

夏季午後對流降雨頻率與強度的趨勢變化



資料來源：Huang et al. (2015)分析1961-2012年間地面測站資料

科學報告 圖2.6.10b; 圖2.6.10d

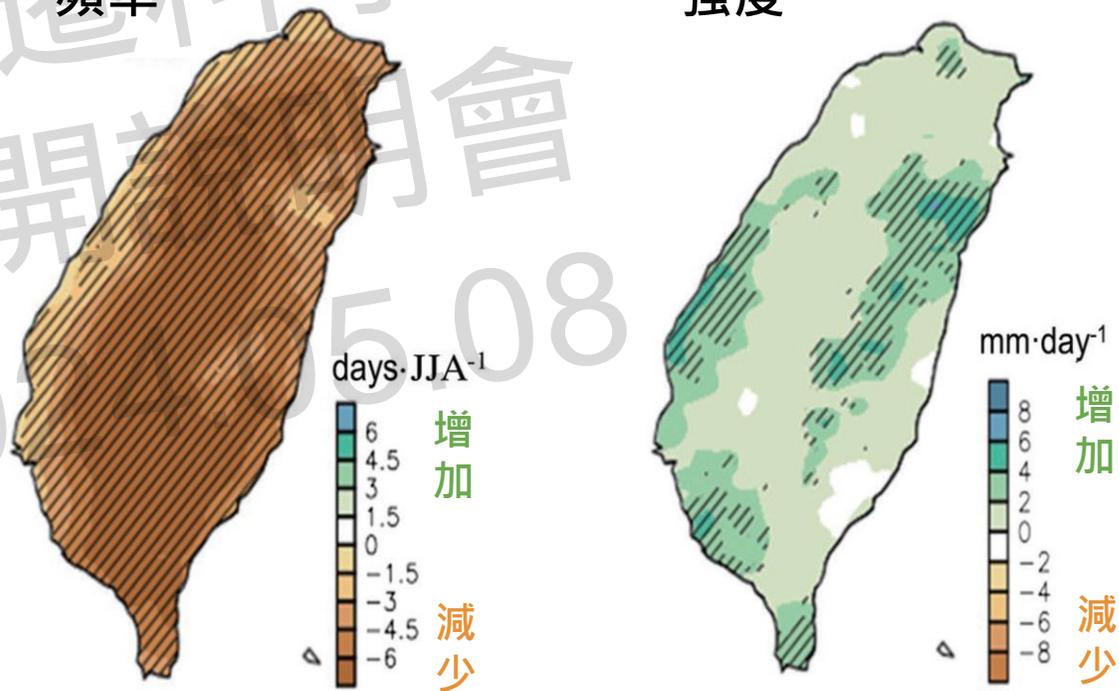
劇烈降雨 – 未來推估(夏季午後對流)

- 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

頻率

強度



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

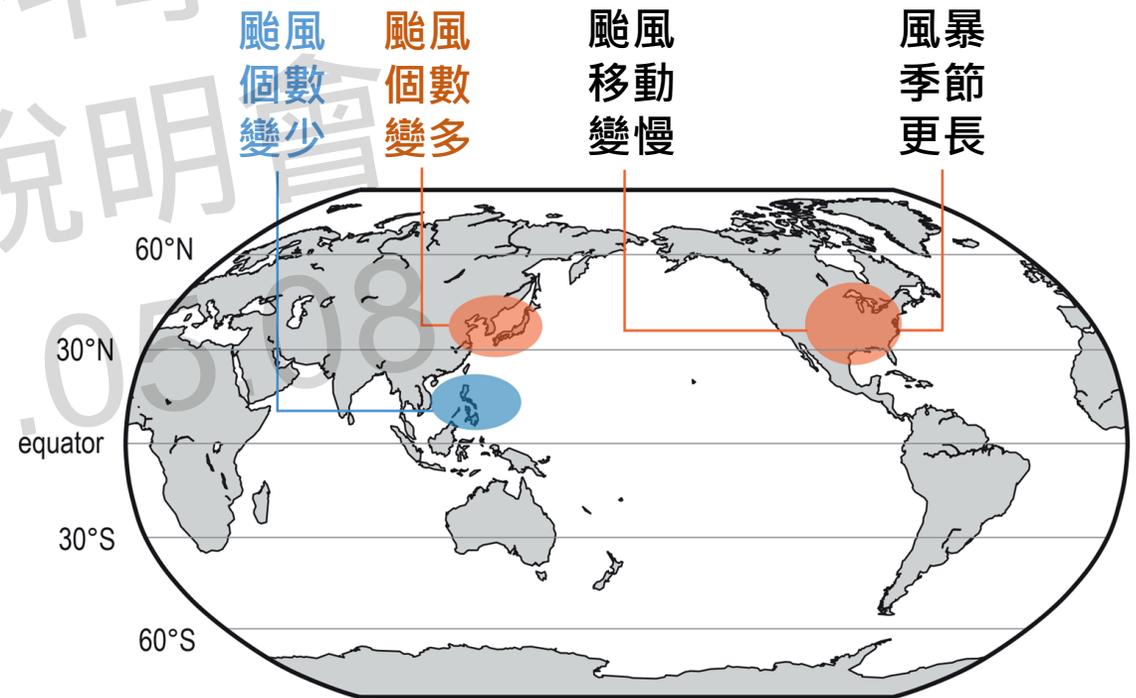
第一至三章7大科學重點



全球熱帶氣旋 – 未來推估

- 暖化導致熱帶氣旋降雨量、強度與強氣旋比例增加
- 世紀末西北太平洋颱風生成數量減少且生命期縮短，活動範圍往北延伸

全球颱風與風暴的未來變化

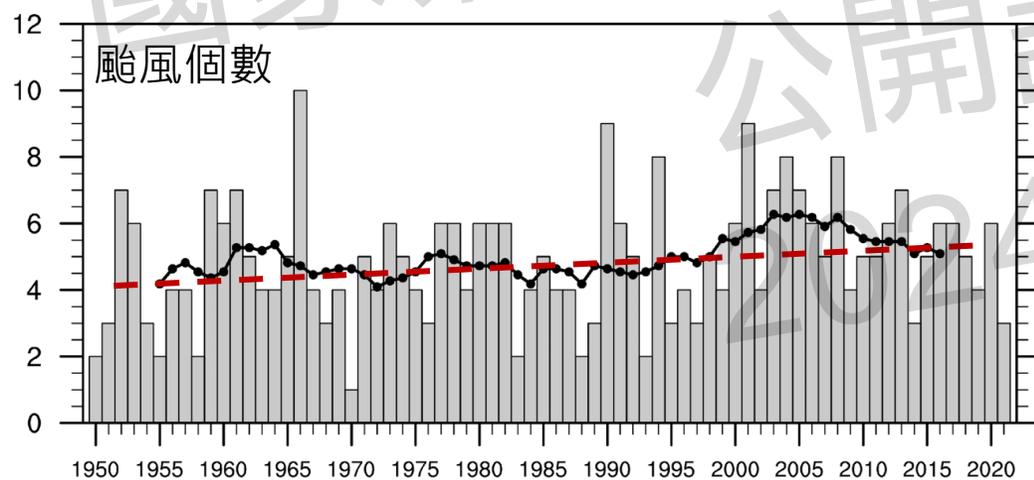


資料來源：IPCC AR6, WGI, Figure 11.20

科學報告 圖1.4.9

影響臺灣颱風－歷史觀測

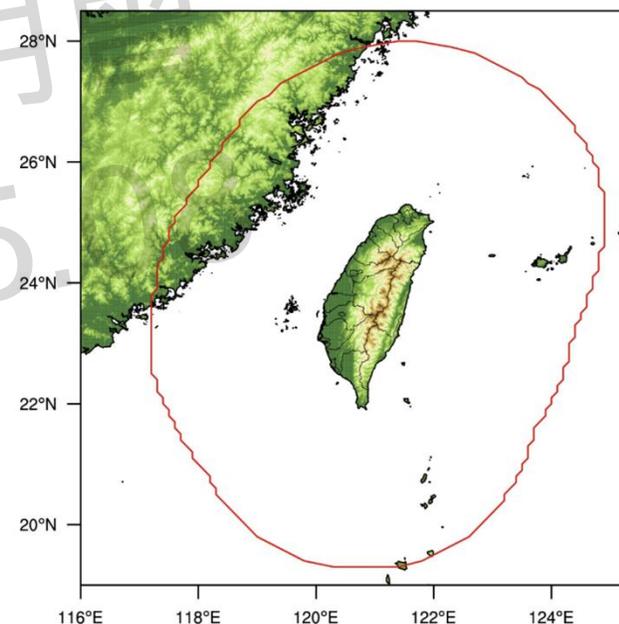
- 颱風個數的長期變化趨勢不顯著



資料來源：跟據JTWC路徑資料，依李與盧(2012)之定義重繪，本報告產製。

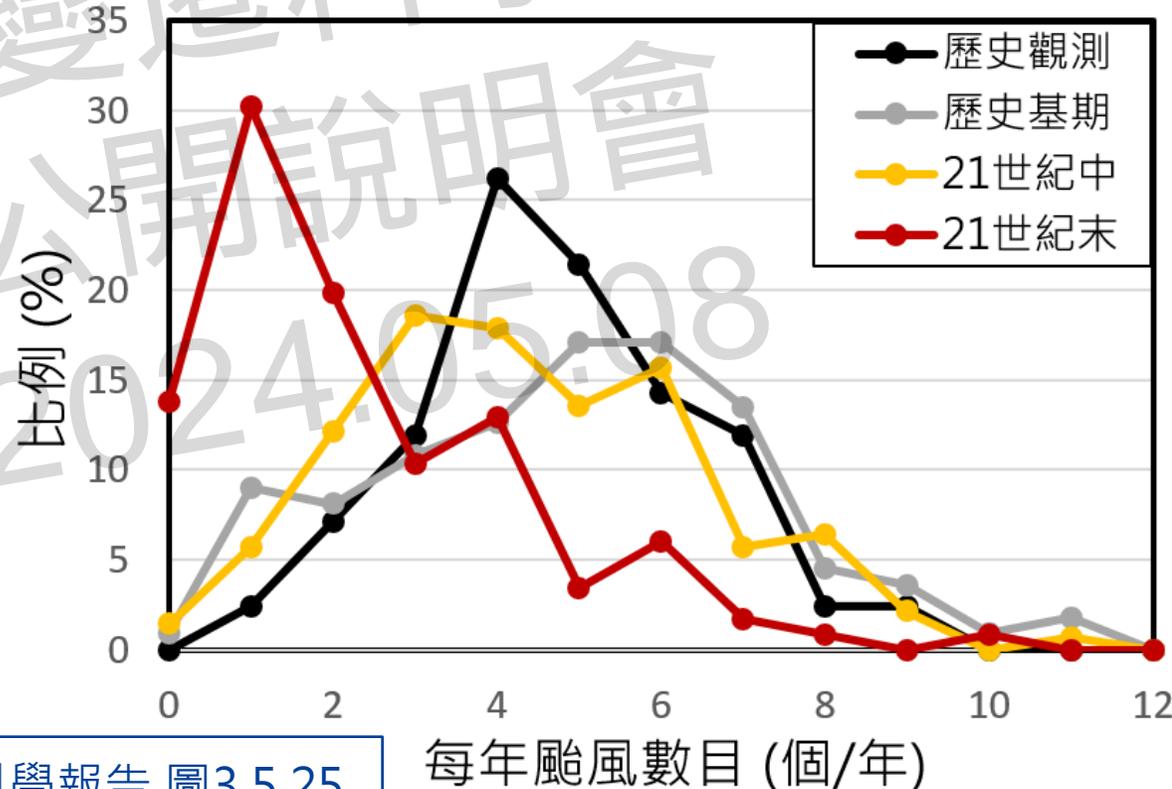
科學報告 圖2.6.7

侵臺颱風定義：颱風中心離岸300km內，停留12小時以上，近中心平均最大風速34海浬以上。(沿用自2017年版科學報告)



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



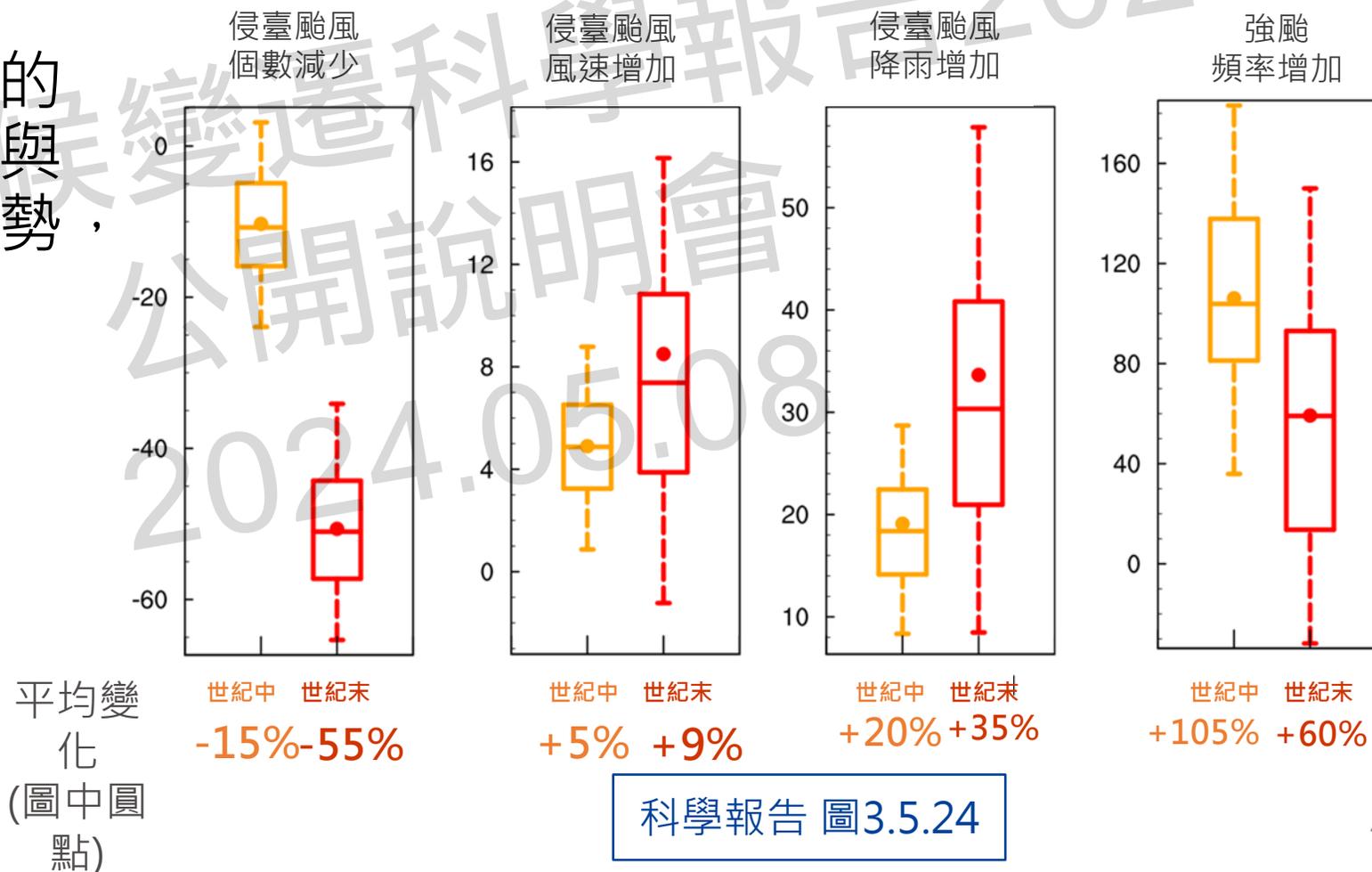
資料來源：跟據JTWC路徑資料與TCCIP CMIP5動力降尺度資料(RCP8.5情境)繪製，鄭兆尊等人，2024

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

未來颱風變化(相對於基期)



科學報告 圖3.5.24

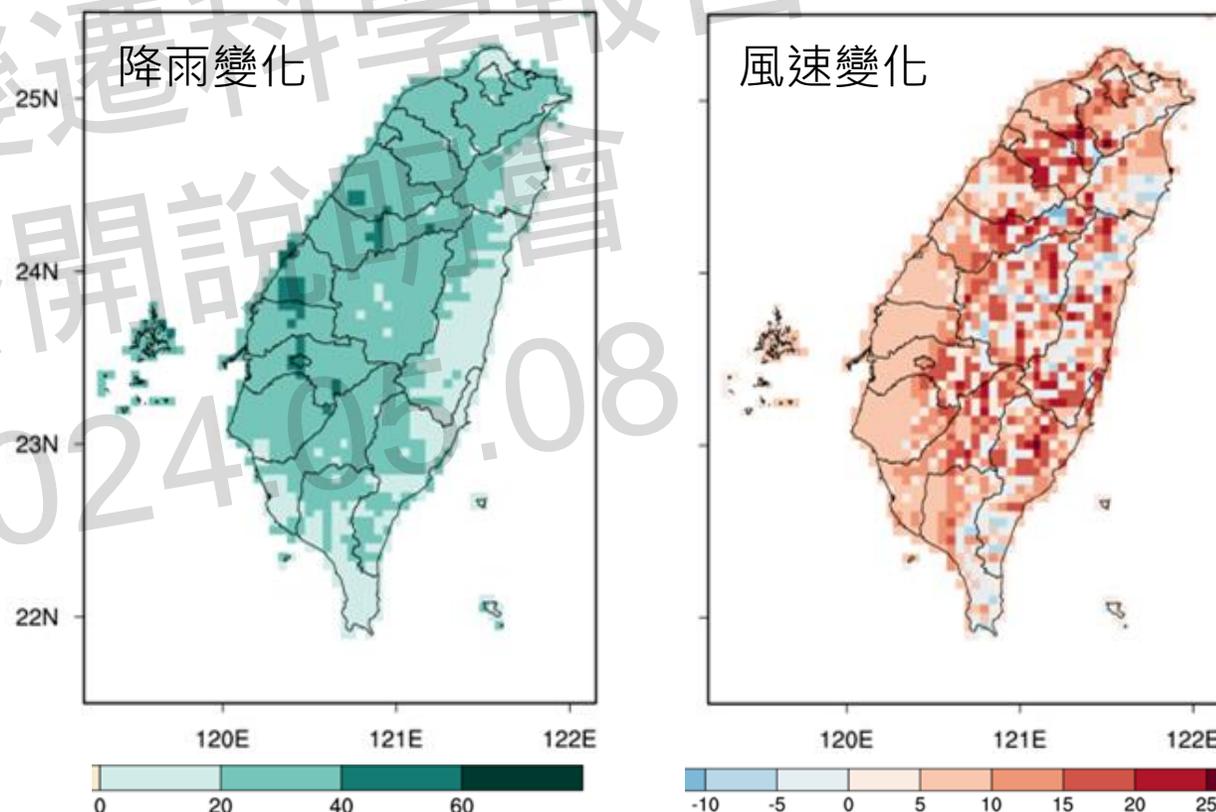
資料來源：TCCIP CMIP5 動力降尺度資料(RCP8.5情境)，鄭兆尊等人，2024

影響臺灣颱風 – 未來推估

本世紀中(2039-2060)影響臺灣颱風的平均風雨變化趨勢 (單位：%)

- 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



第一至三章7大科學重點

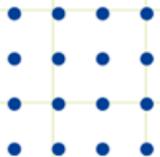




國家氣候變遷科學報告2024

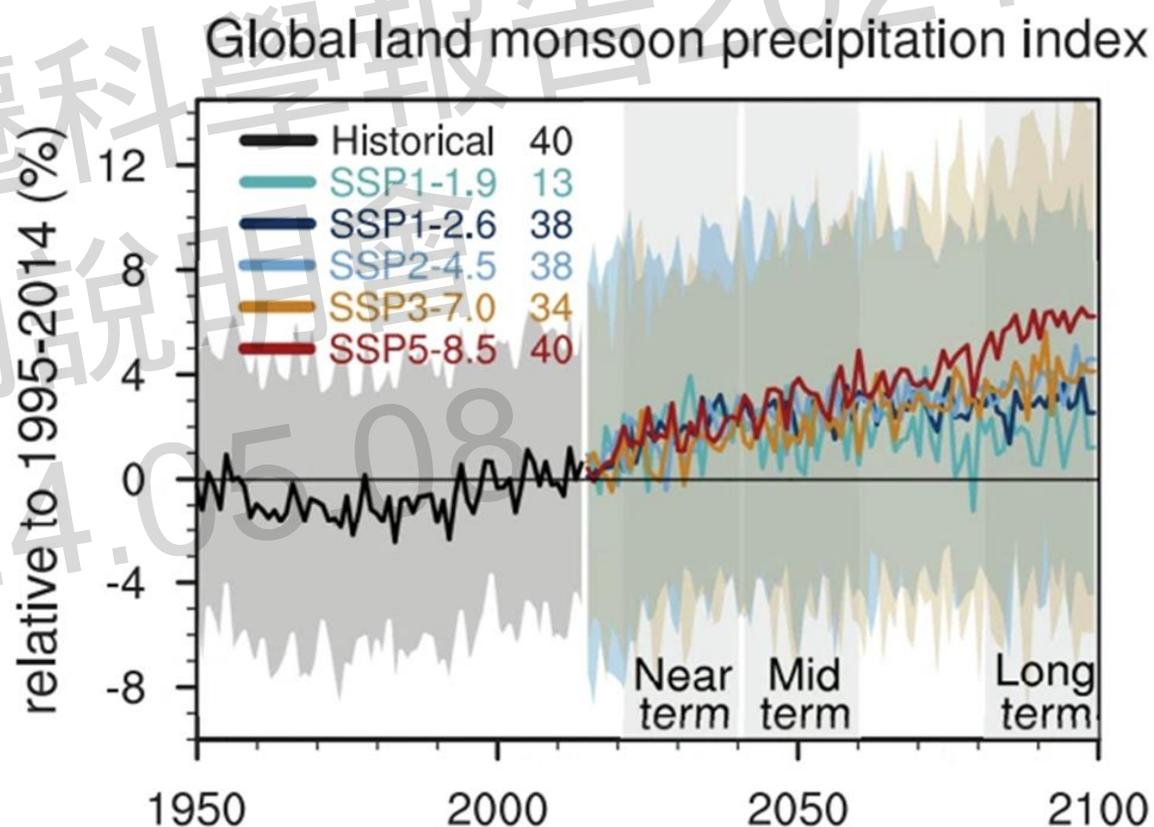
謝謝聆聽 敬請指教

公開說明會
2024.05.08



全球季風區降雨

- 過去觀測呈現年際、年代際變化與區域間差異，整體無顯著趨勢
- 未來推估全球季風區降水在21世紀可能增強



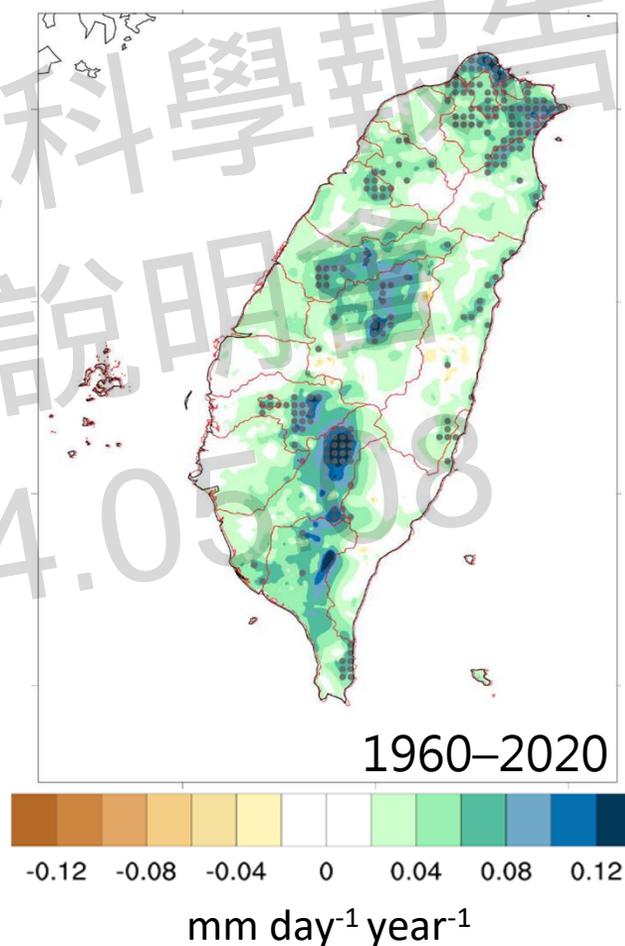
資料來源：IPCC AR6, WGI, Figure 4.14

科學報告 圖1.5.2

極端降雨 – 歷史觀測(梅雨季)

- 梅雨季全臺平均雨量的長期趨勢及極端降雨強度變化：
- 5月份全台皆呈現增加的趨勢，集中在北部、中部及南部山區
- 6月份沒有顯著變化趨勢

5月平均日雨量趨勢



梅雨季極端降雨強度 (PR90) (單位：毫米)		
時期	5月	6月
1960-1980	16	29
2000-2020	22	28

資料來源：TCCIP 網格化觀測資料。本報告產製(使用1960-2020年間的月平均日雨量計算趨勢)。黑點代表通過顯著性檢定。PR90代表日雨量第90百分位

科學報告 圖2.6.12