

第二章 氣候變遷衝擊情形

一、整體氣候變遷趨勢及衝擊

(一) 全球氣候變遷趨勢

2024 年人類活動導致的氣候變遷的明顯跡象達到了新的高度，這是第一個比工業化前時代高出 1.5°C 以上的日曆年，全球近地表平均溫度比 1850-1900 年的平均值高出 $1.55 \pm 0.13^{\circ}\text{C}$ 。世界氣象組織於2026年3月發布的《2025年全球氣候狀況報告》證實，2015年至2025年是有記錄以來最熱的11年。海洋持續變暖並吸收二氧化碳。過去二十年來，海洋每年吸收的二氧化碳量相當於人類年能源消耗量的約十八倍。報告指出，北極海冰面積已達到或接近歷史最低水平，南極海冰面積為歷史第三低，冰川融化仍在持續。該報告也指出全球範圍內的極端事件，包括酷熱、暴雨和熱帶氣旋，造成了破壞和損失，凸顯了我們相互關聯的經濟和社會的脆弱性。

根據聯合國政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)20年發布的第六次評估報告(AR6)顯示，自1950年代以來，全球大多數地區的極端高溫事件的強度和發生頻率增加，而極端低溫的強度和發生頻率則減少。這些變化主要由人為活動造成的溫室氣體增加所驅動。人類活動對大氣、海洋及陸地暖化的影響已無庸置疑。大氣、海洋、冰雪圈與生物圈的變遷程度在過去數世紀至數千年來前所未有。人為氣候變遷已影響全球各地的極端天氣與氣候事件，如熱浪、豪雨、乾旱及熱帶氣旋等，相關觀測及其受人為影響的證據更加顯著。

AR6報告顯示，20世紀後期的暖化主要由人為溫室氣體排放驅動，自然因素的影響相對較小。AR6報告針對不同的溫室氣體排放情境(SSP)模擬顯示，全球表面溫度將至少持續增溫至21世紀中葉。低排放情境(SSP1-1.9)預測21世紀末全球地表平均溫度上升約 1.0°C 至 1.8°C ，而高排放情境(SSP5-8.5)則可能高達 3.3°C 至 5.7°C 。在 SSP5-8.5 情境下，增溫超過 2°C 極可能在2041年至2060年間發生。AR6報告指出，無論何種排放與社會經濟發展情境的假設，即使在未來幾十年內大幅減少溫室氣體排放或增加碳吸收，全球溫度仍將持續增溫至少到本世紀中，並可能超過工業革命時期的 1.5°C 至 2.0°C 。唯有全球在2050年達到淨零排放，全球暖化程度才有機會於21世紀末降回 1.5°C 。

全球暖化將導致氣候系統多方面的變遷，包括極端高溫、海洋熱浪、豪雨、區域農業與生態乾旱的發生頻率與強度增加；熱帶氣旋數量減少，但強烈熱帶氣旋比例增加；北極海冰、雪蓋與永凍土的減少等。暖化將進一步改變全球水循環，導致水循環變異度、全球季風降雨、乾濕事件的嚴重程度增加，並對海洋、冰層及全球海平面等造成不可逆轉的影響。

在亞洲地區，IPCC 報告指出未來氣候變遷的趨勢包括：

- 溫度：極端高溫事件將增加，冷事件減少。
- 降水：極端降水、平均降水及洪水事件將增加。
- 風場：地面風速下降，熱帶氣旋數量減少但強度增加。
- 海岸與海洋：海平面上升將導致沿岸地區洪水增加，海岸線倒退，海洋熱浪增加。

（二）臺灣氣候變遷趨勢

國家科學及技術委員會與環境部於2024年發布《國家氣候變遷科學報告2024：現象、衝擊與調適》（以下簡稱科學報告2024），彙整近年國內外氣候變遷觀測、推估與衝擊研究相關進展，以下內容以摘錄自科學報告2024為主。

1. 氣溫

根據臺灣各測站的長期觀測資料，顯示出明顯的逐年暖化趨勢。以中央氣象署六個百年測站(臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮及臺東)觀測結果顯示，由近30年、近50年及長期(1900年至2022年)的趨勢值來看，平均氣溫升溫趨勢由每10年約0.15°C至0.27°C，可以發現近年的溫度上升趨勢越來越明顯。平均氣溫於1920年至1940年緩慢上升，1940年至1980年持平，但1980年後開始有較大幅度的增溫，此增溫幅度明顯高於其他時段，如圖2.1。根據測站百年資料，夏季開始提早、結束延後，近50年來每10年夏季延長約6.31天至12.88天，冬季縮短約6.19天至12.20天。

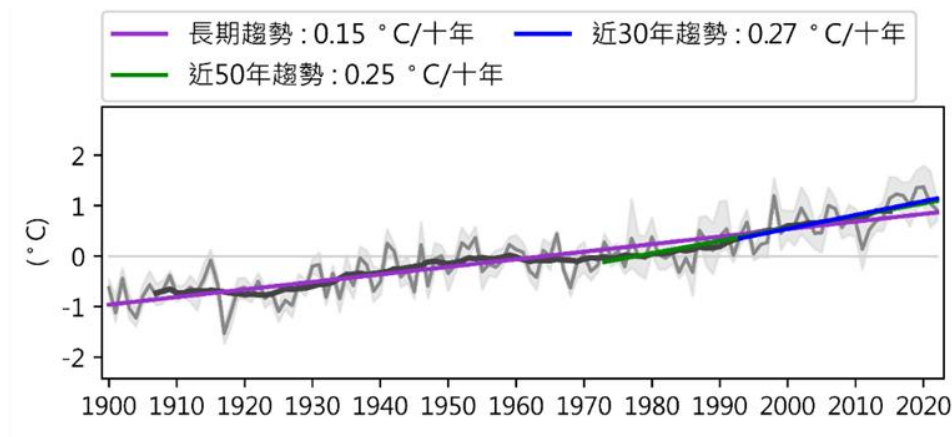


圖 2.1 臺灣全年平均氣溫平均值變化趨勢(6 個百年測站)

資料來源：國科會與環境部(2024)，「國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適」

根據 AR6氣候模擬中不同的共享社會經濟路徑(SSPs)情境，臺灣的未來氣溫變化預測如下(圖2.2)：

- (1) 短期(2021 年至 2040 年)：在此期間，臺灣的區域平均氣溫上升幅度差異不明顯，預計增溫 0.6°C 至 0.8°C 。
- (2) 中期(2041 年至 2060 年)：不同情境下的氣溫變化開始顯現差異。在低排放情境(SSP1-2.6)下，預計增溫 1°C ；而在極高排放情境(SSP5-8.5)下，增溫幅度達到 1.6°C 。
- (3) 長期(2081 年至 2100 年)：在世紀末，氣溫增暖的情境差異更加明顯。在低排放情境下，增溫幅度可維持在中期的 1°C ；然而，在極高排放情境下，暖化程度可能增長至 3.4°C 至 3.5°C 。這將導致臺灣的氣候狀態更接近熱帶國家的特性，全年幾乎都是溫暖至炎熱的情況，夏季長達近 7 個月，幾乎無冬季存在。

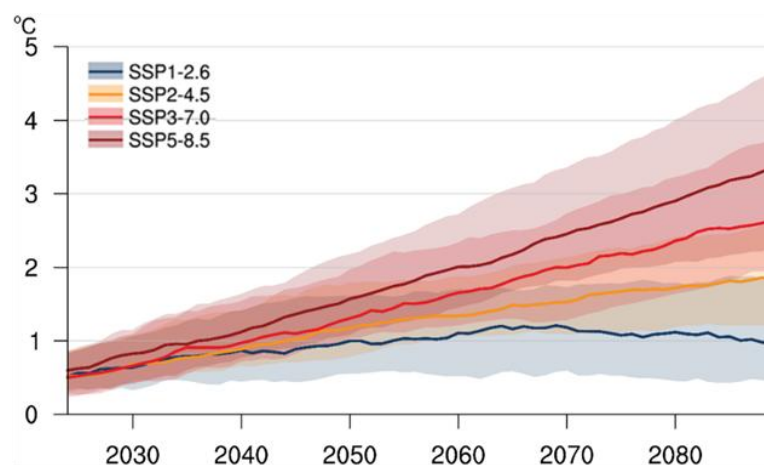


圖 2.2 臺灣全年平均氣溫距平值的未來變化趨勢(CMIP6 氣候模式)

資料來源：國科會與環境部(2024)，「國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適」

2. 降雨

臺灣降雨趨勢在過去百年觀測紀錄中不明顯，過去嚴重乾旱事件最常發生的區域為中、南部，其次是北部。最常發生的季節為春季，其次是秋、冬季。氣象乾旱發生的頻率具有明顯區域特性及低頻振盪特徵，造成雨量偏低的原因皆與大尺度環流條件相關。

未來暖化情境推估的降雨變化不明顯(模式間差異較大，不確定性高)，但乾溼季(乾季為11月至4月；溼季為5月至10月)差距隨暖化程度增強而增加。以乾季為例，全臺多數區域降雨減少，特別是東北部與東部地區。隨著全球暖化程度越高，臺灣的降雨變化趨勢為乾季越乾、溼季越越來越明顯，如圖2.3。在暖化情境下，臺灣極端降雨變化趨勢主要為「降水兩極化」：連續不降雨日數呈現增加趨勢，但水文頻率年降雨量也呈現更加嚴重的趨勢。

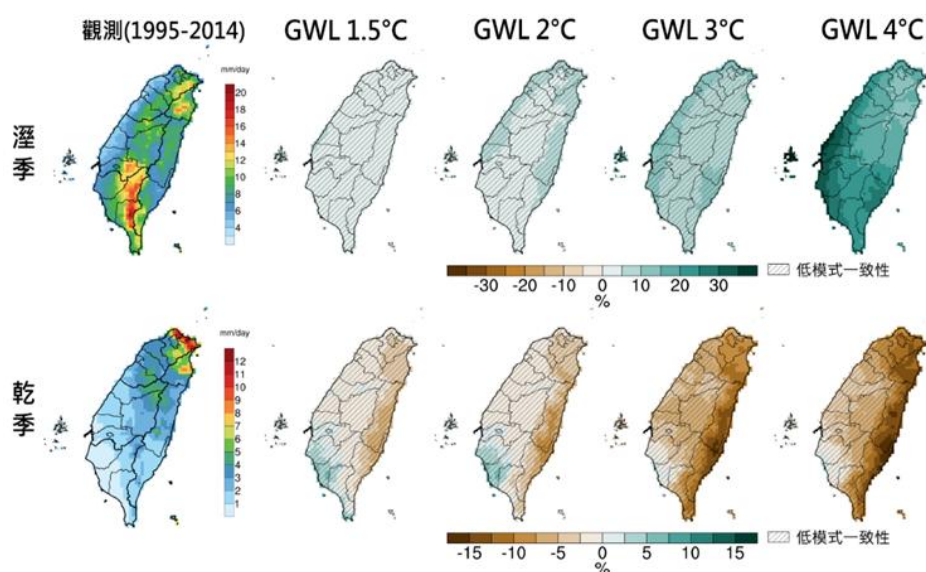


圖2.3 歷史與不同 GWL 下臺灣平均(上)溼季與(下)乾季的降雨空間變化

資料來源：國科會與環境部(2024)，「國家氣候變遷科學報告2024：現象、衝擊與調適」

3. 海溫與海平面

全球暖化所伴隨的區域海溫與海平面變化對於海洋生態與海洋或海岸相關產業相當重要。以臺灣海峽為例，根據觀測資料顯示，海溫過去百年呈現增溫趨勢。在近30年間，1998年至2012年暖化停滯期間伴隨的海表增溫停滯的現象在2012年後已再次被增溫取代，2012年至2018增溫趨勢約為每10年0.63°C。

在海平面方面，臺灣周遭海平面變化趨勢受到聖嬰現象與太平洋年代際振盪影響，1993年至2015年平均價值約為每年升高 $2.2(\text{Lan et al., 2017})\pm 0.3$ 毫米，略低於全球平均值的每年 3.2 ± 0.1 毫米，可能與2013年後臺灣周遭平均海平面上升較全球平均高，且臺灣東岸的變化較西岸大，此空間分布特性與海水熱膨脹效應及受大氣風場驅動之海洋環流改變有關，至本世紀末：低排放與極高排放情境下將分別上升約0.4與0.8米。

4. 颱風

過去影響臺灣的颱風個數及強烈颱風個數，長期變化趨勢不明顯，且呈現年代際變化特徵，同時颱風路徑的變化受到大尺度環流影響，與全球溫度上升的關聯性不顯著。隨著暖化未來將持續，影響臺灣颱風的未來推估結果呈現「個數減少、強度增加」，此與西北太平洋颱風的變遷趨勢一致。以 RCP8.5情境下的結果為例，21世紀中、末的颱風個數分別減少約10%、50%。但強颱風出現的頻率則分別增加約105%、60%。風速與降雨也皆呈現增加趨勢，近颱風中心最大風速增加約9%，這對於海岸評估暴潮及相關衝擊具重要性。前述的增減代表平均結果，但由於模式使用的海溫暖化空間分布會影響颱風頻率變化，故盒鬚圖中的範圍都是可能發生的，如圖2.4。

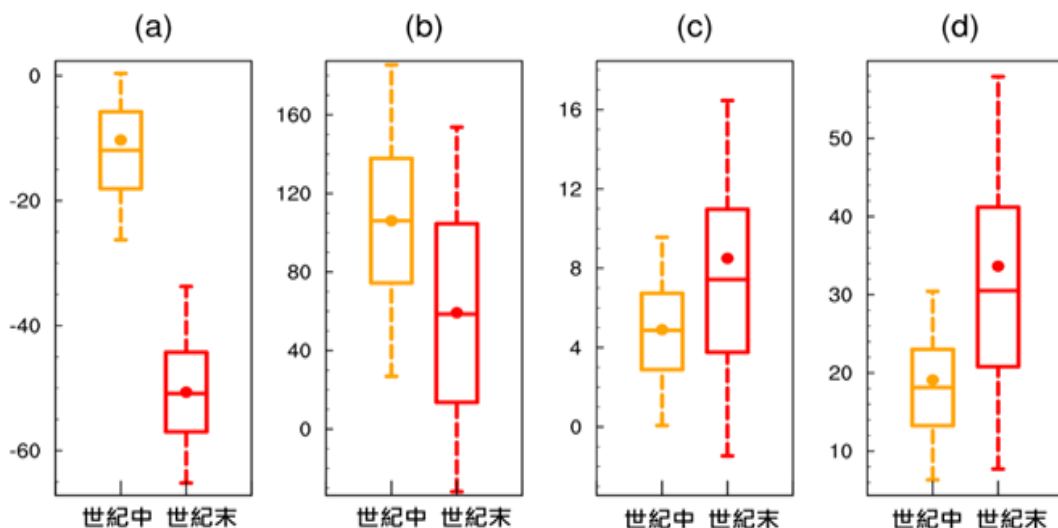


圖2.4 RCP8.5情境下，21世紀中(黃色)與世紀末(紅色)的(a)影響臺灣颱風頻率、(b)強颱風頻率、(c)近中心最大風速、(d)距中心200km 內平均雨量的模擬結果

資料來源：國科會與環境部(2024)，「國家氣候變遷科學報告2024：現象、衝擊與調適」

5.極端事件

(1) 極端高溫

暖化趨勢及夏季長度持續增加，預期將衝擊農作物、生態、健康等領域。極端溫度的變化趨勢呈現高溫天數增加，低溫天數減少，夜晚氣溫降低的幅度越來越小。

根據 CMIP6 未來推估結果，以每年日最高溫超過 36°C 的天數代表高溫事件的指標，臺灣平地(只考慮海拔高度 500 米以下區域)高溫日數將持續增加，短期(2021 年至 2040 年)增加約 14 天至 17 天，增加並不明顯；至中期(2041 年至 2060 年)則開始出現不同暖化情境的差異，排放情境最嚴重 SSP5-8.5 增加 41 天，相對的 SSP1-2.6 高溫天數增加則不明顯；長期(2081 年至 2100 年)差異更大，溫室氣體排放最嚴重(SSP5-8.5)與減排(SSP1-2.6)的情境，高溫天數差別有 87 天(模式高度一致性)。在極高排放情境下，世紀末全臺平均增加 75 天。若以 GWL 評估(即全球平均溫度相對於工業革命 (1850-1900) 前的升溫程度)，GWL 4°C 下高溫日數將增加 55 天。高溫空間分布方面，增加較多的區域包括臺北盆地、中部近山區與高屏近山區，同時包含山谷(河谷與縱谷)。此與該區域缺乏海風調節、地形封閉等因素有關，如圖 2.5。

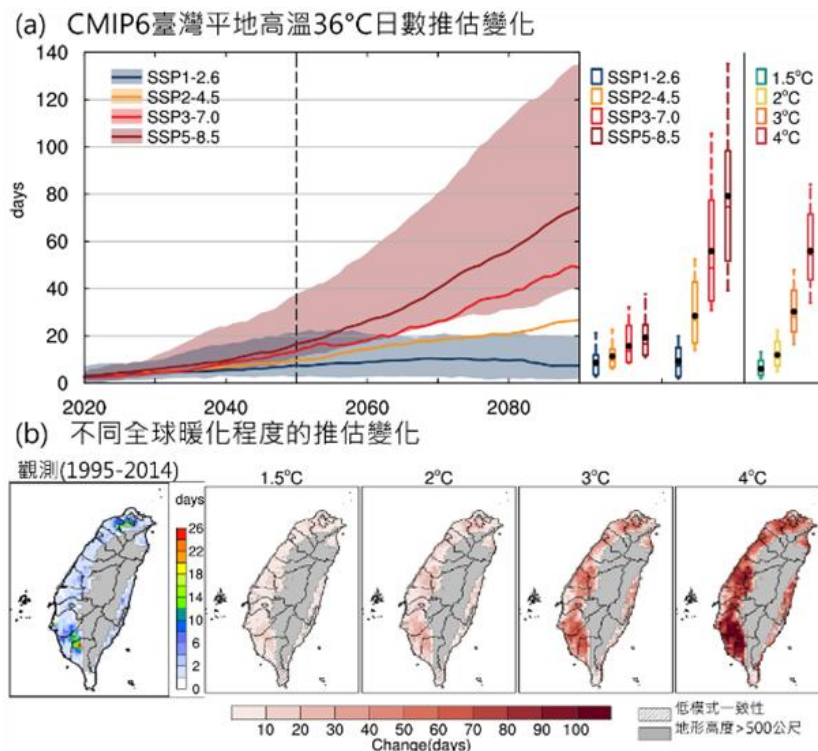


圖2.5 臺灣平地高溫超過 36°C 日數未來推估變化(CMIP6模式)

資料來源：國科會與環境部(2024)，「國家氣候變遷科學報告2024：現象、衝擊與調適」

隨著全球暖化與都市化進程加速，臺灣主要都會區的熱島現象日益嚴峻。臺北市在 2020 年連續打破紀錄，6 月 29 日測得 38.9°C，7 月 24 日更測得 39.7°C，創下臺北測站 124 年來的最高氣溫紀錄。過去臺灣都市熱島強度約在 2°C 至 2.5°C 之間，但由於盆地地形易蓄熱，加上高度都市化造成環境失衡，市中心氣溫比郊區高出 3°C，調節溫度能力顯著下降。隨著暖化程度提高，生理等效溫度(PET) 也逐不同氣候情境上升(圖 2.6)，戶外熱環境對人體健康的威脅將日益嚴峻。

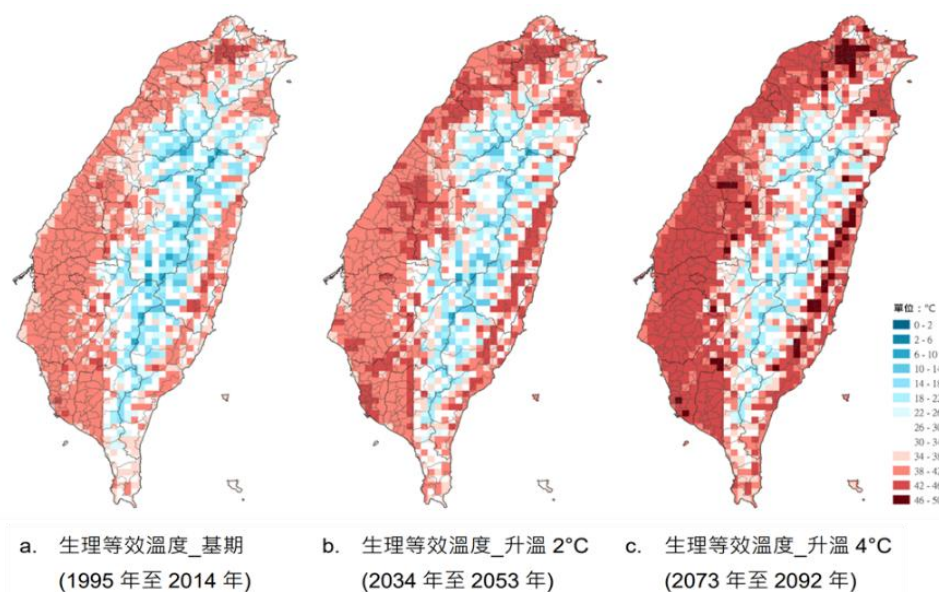


圖 2.6 台灣 PET 分佈圖(7 月 14:00 平均值)

資料來源：國科會與環境部，「國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適」圖 4.7.2.4。2024 年。

(2) 極端降雨

根據中央氣象署署屬測站的大雨、豪雨及大豪雨日數資料，自 1950 年至今各地皆沒有顯著的長期變化趨勢。只有山區的年紀變化幅度在 2000 年後較大。臺灣夏季(6-8 月)午後對流降雨為重要的水資源來源，但也容易造成積淹水的災害。1961 年至 2012 年間測站資料發現，北部夏季午後對流的發生頻率有增加的趨勢，但在其他區域卻是減少的趨勢。在夏季午後對流強度變化方面，多數區域有增強。

在未來極端降雨變化部分，動力降尺度資料 (HiRAM-WRF) 在 RCP8.5 情境下，21 世紀末夏季午後對流降雨，呈現頻率減少，強度增加(圖 2.7)。

夏季午後對流降雨頻率與強度的趨勢變化

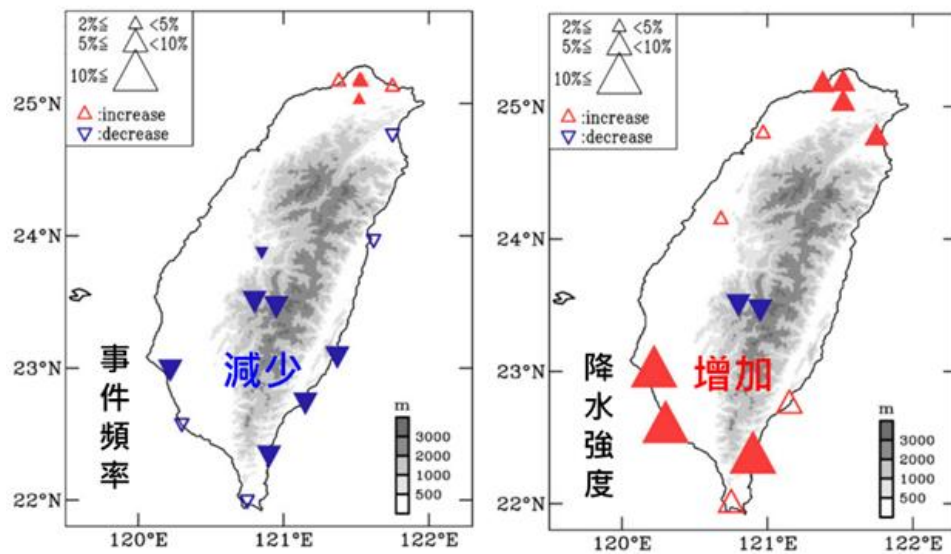


圖 2.7 夏季午後對流發生頻率及降水強度特徵，使用臺灣地面測站資料(1961 年至 2012 年間)

資料來源：Huang et al., 2015。

「連續不降雨日數」通常用於評估長期的乾早期(無雨日)，並作為氣象乾旱的指標，北部、中部及南部的連續不降雨日數可能分別增加 16.9%、11.1% 及 13.7%，導致未來不降雨的期間將變得更長(圖 2.8)。

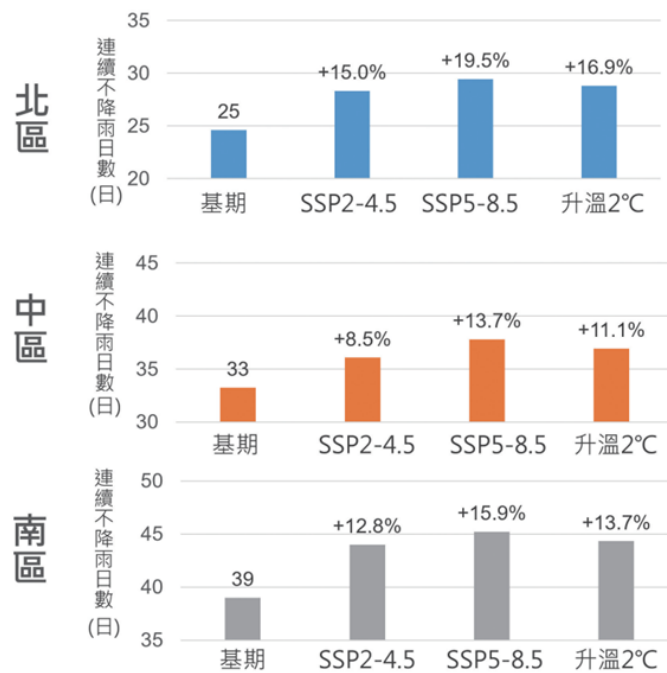


圖2.8 不同氣候變遷情境下連續不降雨日數增減情

二、本領域之氣候變遷衝擊

(一) 危害類型篩選

根據 AR6 定義，氣候影響驅動因素 (CID) 是指在特定時間與空間尺度下，可能對人類社會或自然生態系統造成影響的氣候系統條件，包括氣候的平均狀態、事件和極端現象。AR6 將 CID 分為 7 大類別，包含冷熱、乾溼、風、冰雪、海岸、海洋及其他，其中涵蓋 33 個氣候因子，構成評估氣候變遷影響的完整框架。考量臺灣地理環境與氣候特性，本領域聚焦於「與土地利用相關性較高」之 4 項 CID，分別為「冷熱、乾溼、風、海岸」，另外 3 項則基於冰雪類主要影響高海拔地區，臺灣受影響範圍相對較小，海洋類將主要對應至「海洋及海岸領域」之調適工作，而其他類(空污生成氣象、陸地二氧化碳濃度、地表輻射)對土地利用屬間接性影響，暫不列入探討範疇。

首先，從「冷熱、乾溼、風、海岸」4 項 CID 類型，本領域參採「科學報告 2024」歷史數據與統計成果，蒐集 6 個超過百年署屬測站(臺北、臺中、臺南、恆春、花蓮及臺東)之溫度長期變化趨勢、季節變遷、降雨量長期變化趨勢、風速長期變化趨勢，以及臺灣沿海海平面上升、颱風暴潮與風浪趨勢進行「必要性評估」。評估結果顯示，「熱浪、淹水、坡地災害、乾旱、海平面上升及暴潮溢淹」等氣候危害類型對土地利用之衝擊程度較高。各項目說明如下：

1. 溫度變化

- (1) 熱浪：歷史數據顯示，平均溫度、最高溫與最低溫皆呈現顯著上升趨勢，日夜溫差逐漸縮小，夏季延長、冬季縮短。極端高溫事件頻率增加，對人居環境與土地使用型態(如都市熱島、綠地需求等)影響深遠，故其必要性評估為高。
- (2) 寒流：由於冬季縮短，極端低溫的頻率明顯減少，影響範圍和強度亦減弱降低，對土地使用的威脅降低，因此必要性評估為低。

2. 降雨變化

- (1) 淹水與坡地災害：根據淹水潛勢圖、土石流潛勢溪流、大規模崩塌潛勢區，可見淹水潛勢區主要分布於河川下游平原地

帶。土石流潛勢溪流數量自 98 年之 1,503 條增加至 114 年之 1,745 條，其中以南投縣最多（263 條）；大規模崩塌潛勢區亦由 111 年之 36 處增至 114 年之 79 處。雖年平均降雨量變化不顯著，但觀測資料顯示季節雨量差異及空間分布差異呈擴大趨勢。且豪雨與大豪雨事件次數呈明顯上升趨勢，對低窪地區與山坡地構成高度風險，特別是在都市發展邊界及不當開發區域。綜合判斷，其必要性評估為高。

- (2) 乾旱：由於季節性降雨不均，加上水資源調度壓力升高，缺水風險日益明顯，對農業區與相關土地利用造成直接影響，故其必要性亦評估為高。

3.海岸變化：

歷史觀測與模擬資料顯示，海平面持續上升，颱風暴潮與沿岸風浪之頻率與強度亦逐年提高，對沿海地區土地使用、人口聚落及基礎設施安全構成重大威脅，因此本類氣候危害類型之必要性評估為高。

4.風變化：

雖然年平均風速與最大風速呈現下降趨勢，年侵台颱風數亦無明顯變化，但仍有部分強颱事件對建築物與基礎設施造成災損，惟影響具地域性與不確定性，故必要性評估為中等。

(二) 本期關注衝擊議題

針對上述篩選具較高必要性之「熱浪、淹水、坡地災害、乾旱、海平面上升及暴潮溢淹」等氣候危害類型，本領域檢視國內現有科學資料與模型資源是否足以支持該氣候危害類型之氣候風險量化評估，其中主要檢視「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫(TCCIP)」及「NCDR 氣候變遷災害風險圖臺」供給資料。

經整理可得「淹水、坡地災害、乾旱、熱浪」等4項議題具備相對完整的氣候科學資料，包含 AR6 危害度、脆弱度、危害－脆弱度等不同空間尺度之圖資，爰本領域本期計畫擇定以此4項衝擊進行量化分析；就「海平面上升」及「暴潮溢淹」部分，經查 TCCIP 已提供氣候變遷情境海平面上升高度，惟海平面上升高度對沿海地區淹水情況之影響仍需建模分析，目前 TCCIP 與 Dr.A 皆屬測試

資料，「風災」部分目前亦較無未來氣候變遷情境相關資料，故此3項衝擊將暫不納入評估範疇。