

第二章 氣候變遷衝擊情形

2.1 整體氣候變遷趨勢及衝擊

一、全球氣候變遷趨勢

依據聯合國政府間氣候變遷專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）2021年8月公布之氣候變遷第六次評估報告（IPCC AR6）第一工作小組報告「氣候變遷物理科學」顯示：人類對大氣、海洋及陸地暖化的影響乃無庸置疑。大氣、海洋、冰雪圈與生物圈已發生廣泛且快速的變遷，且近期的地球氣候系統與其各面向的變遷程度是過去數世紀至數千年來前所未有的，人為氣候變遷已影響世界各地許多極端天氣與氣候事件（如熱浪、豪雨、乾旱、熱帶氣旋），相關觀測及其受人為影響的證據更加顯著。

依據 IPCC 評估，無論何種排放與社會經濟發展情境的假設，各國氣候模式模擬推估結果顯示，即使幾十年內大幅減少溫室氣體排放或增加碳吸收，全球朝向 2050 淨零目標邁進，全球溫度亦將持續增溫至少到本世紀中，和工業革命時期相比全球將增溫 1.5°C，甚至到 2.0°C。唯有全球在 2050 年確實達到淨零排放，全球暖化程度才有機會於 21 世紀末降回 1.5°C（和工業革命時期相比）。

全球暖化下將造成氣候系統諸多面向的變遷，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（颱風）減少但強烈熱帶氣旋比例增加、以及北極海冰、雪蓋與永凍土的減少等。暖化將進一步改變全球水循環，其中包括水循環變異度、全球季風降雨、乾濕事件的嚴重程度，且會導致其他的現象的變遷，尤其是海洋、冰層以及全球海平面等，在未來數世紀至數千年皆為不可逆轉過程。伴隨著全球暖化加劇，各區域預計將更頻繁面臨複雜氣候衝擊驅動因子及複合性變遷。且不能排除冰層崩解、海洋環流劇變、複合性極端事件之可能性及影響。

IPCC 報告亦提供各區域的關鍵氣候資訊，針對亞洲地區的氣候變遷未來變遷趨勢評估摘錄如下：

- 溫度：極端高溫事件將會增加、冷事件減少
- 降水：極端降水、平均降水、洪水事件將會增加
- 風場：地面風速下降；熱帶氣旋的數量減少但強度增加
- 海岸與海洋：推估海平面上升造成沿岸地區洪水增加、海岸線倒

退；海洋熱浪增加

二、臺灣氣候變遷趨勢及衝擊

國家科學委員會氣候變遷科研團隊依據 IPCC AR6 報告與國內最新資料進行之臺灣氣候變遷變遷趨勢與本地氣候變遷衝擊評估情形 (https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ipcc_ar6.aspx)，摘錄重點如下：

根據中央氣象局觀測資料分析顯示，臺灣年平均氣溫於過去 110 年 (1911-2020 年) 上升約 1.6°C，近 50 年及近 30 年增溫呈現加速趨勢 (如圖 2-1)。在四季分布方面，21 世紀初夏季長度已增加至約 120-150 天，冬季長度則縮短約 70 天，且近年來冬季甚至縮短至約 20-40 天 (如圖 2-2)。

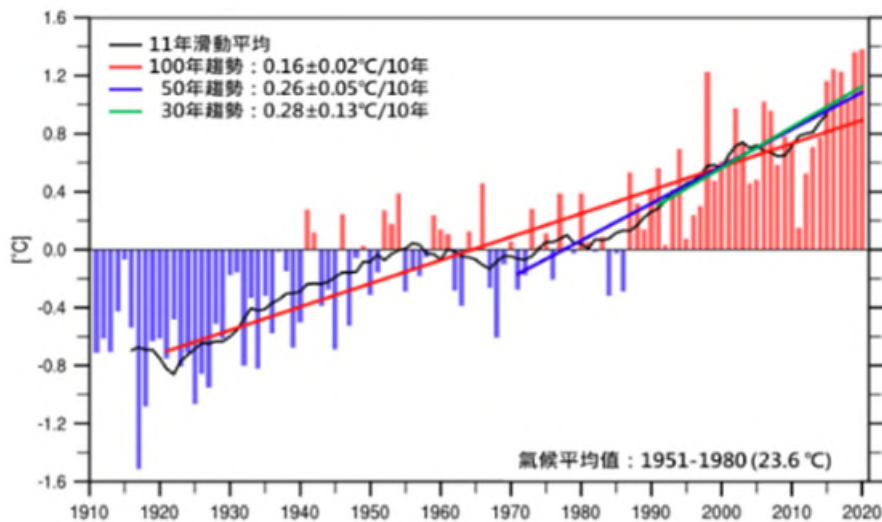


圖 2-1、臺灣年平均氣溫變化趨勢

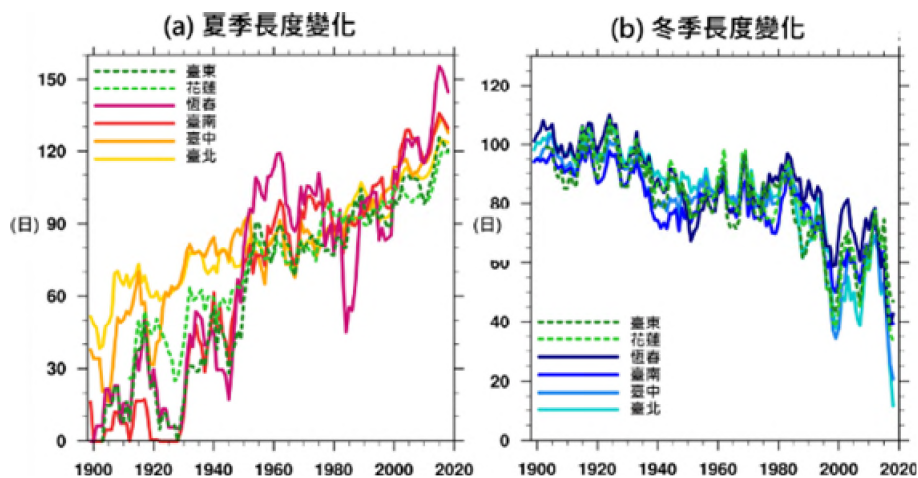


圖 2-2、臺灣冬夏兩季長期變遷趨勢

在降雨方面，年總降雨量趨勢變化不明顯，但 1961-2020 年間少雨年發生次數明顯比 1960 年前時期增加，其中年最大 1 日暴雨強度在 1990-2015 年間，強度與頻率均呈現明顯增加趨勢（如圖 2-3）；另與乾旱有關之年最大連續不降雨日數趨勢變化明顯，過去 110 年增加約 5.3 日最大連續不降雨日數（如圖 2-4）。

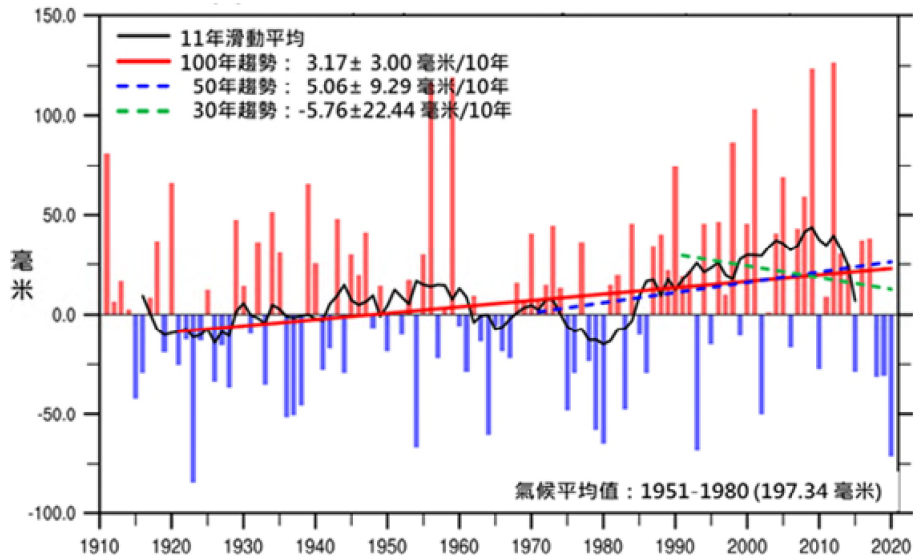


圖 2-3、臺灣年最大 1 日暴雨變化趨勢

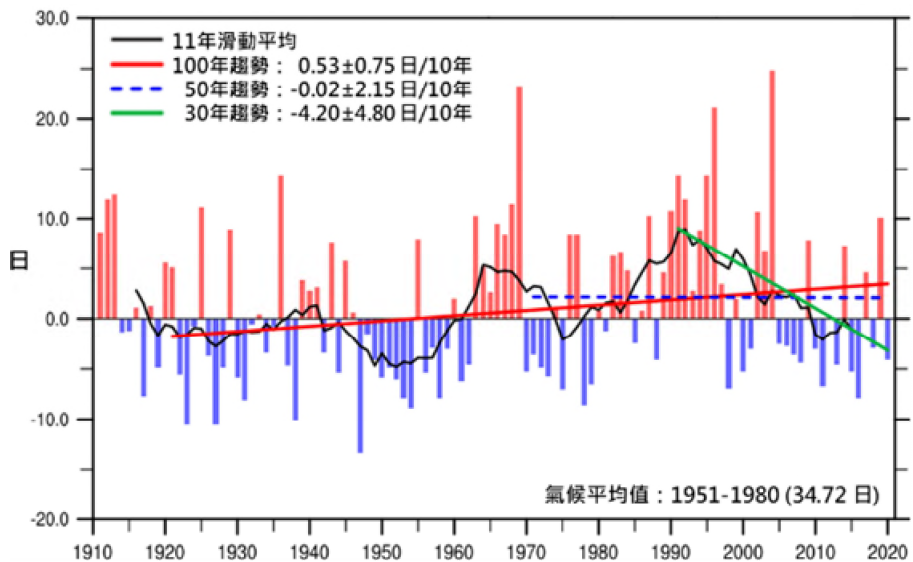


圖 2-4、臺灣年最大連續不降雨日數變化趨勢

依據本土氣候變遷模擬與未來推估分析，依據 IPCC AR6 的最新資料顯示，全球高度排放溫室氣體的最劣暖化情境（SSP5-8.5）與理想減緩情境（SSP1-2.6）相比較，前者對我國衝擊程度將明顯大於後者。

在氣溫方面，最劣情境下，於本世紀末高溫達 36°C 以上日數將較基期增加約 48 天；理想減緩情境下，增加天數降為 6.6 天（如圖 2-5）；於四季分布方面，夏季長度從約 130 天增長至 155-210 天，冬季長度從約 70 天減少至 0-50 天，變遷趨勢於最劣暖化情境下顯著，理想減緩情境下則相對緩和（如圖 2-6）；

與災害衝擊有關之「年最大 1 日暴雨強度」方面，在最劣情境下之 21 世紀末強度增加約 41.3%，理想減緩情境下，暴雨強度增加幅度約為 15.3%（如圖 2-7）。最劣情境（AR5 RCP8.5 暖化情境）下於本世紀中及本世紀末，影響臺灣地區颱風個數將減少約 15%、55%，但強颱風比例將增加 100%、50%，颱風降雨改變率將增加約 20%、35%，（如圖 2-8）。未來最劣暖化情境（AR5 RCP8.5 暖化情境）下，本世紀末颱風風速約增強 2%~12%，平均增強 8%。因其先天地理環境，臺灣沿岸地區颱風風浪衝擊以東北及東南部海岸衝擊較大，颱風暴潮衝擊則以北部、東北部及中部海岸衝擊較大，故於升溫情境下，其衝擊皆高於其他地區。據 IPCC AR6 升溫 2°C 情境顯示，臺灣周邊海域海平面上升約 0.5 公尺，於升溫 4°C 情境將導致海平面上升 1.2 公尺。

與乾旱水資源有關的部分，年最大連續不降雨日數各地有增加的趨勢，最劣情境 (SSP5-8.5) 下，21 世紀中、末平均增加幅度約為 5.5%、12.4%；理想減緩情境 (SSP1-2.6) 下，21 世紀中、末減少幅度約為 1.8%、0.4%。（如圖 2-9）

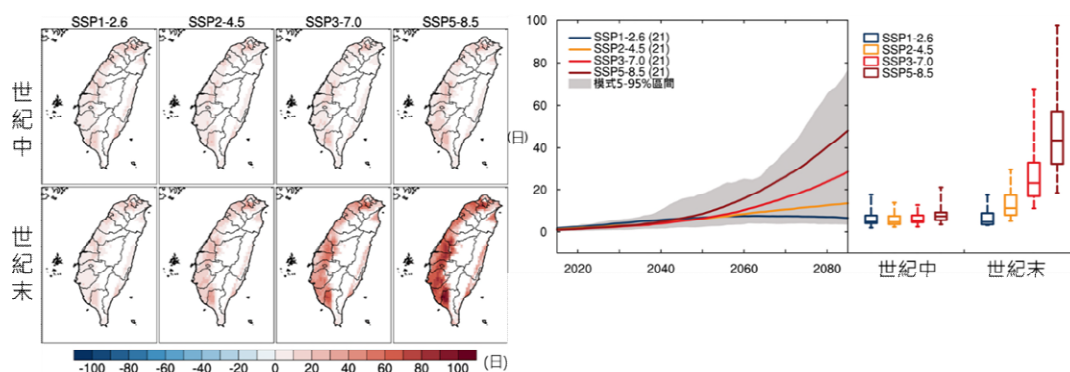


圖 2-5、臺灣未來高溫超過 36°C 空間分布與年高溫日數推估

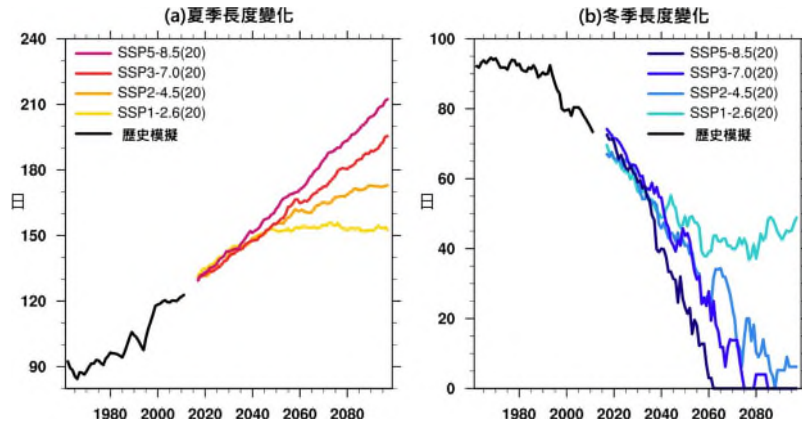


圖 2-6、臺灣未來季節長度推估

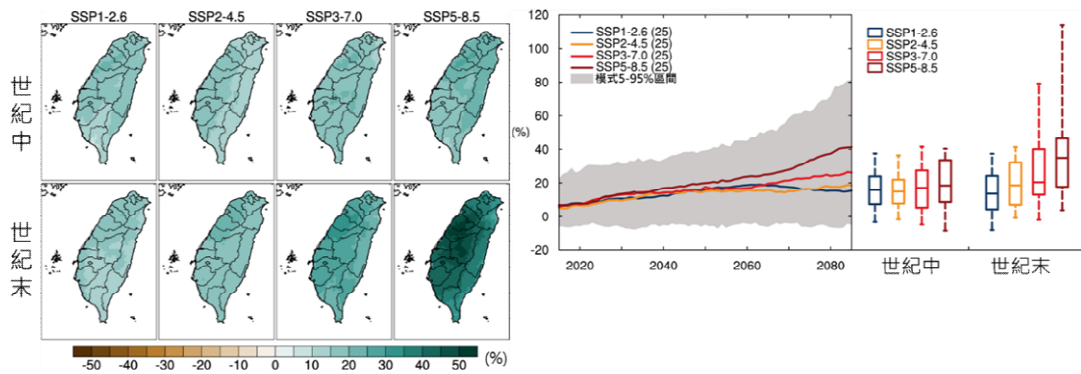


圖 2-7、臺灣未來年最大 1 日暴雨空間分布與強度推估

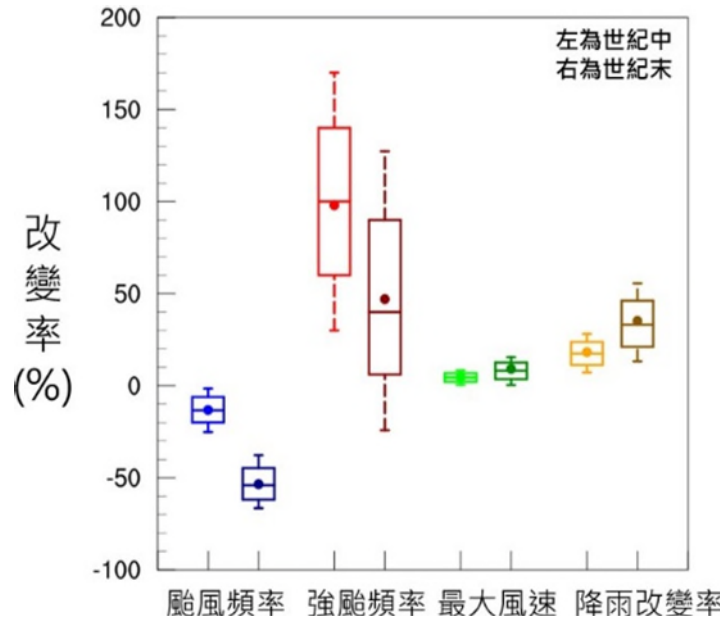


圖 2-8、臺灣未來颱風特性變化趨勢推估

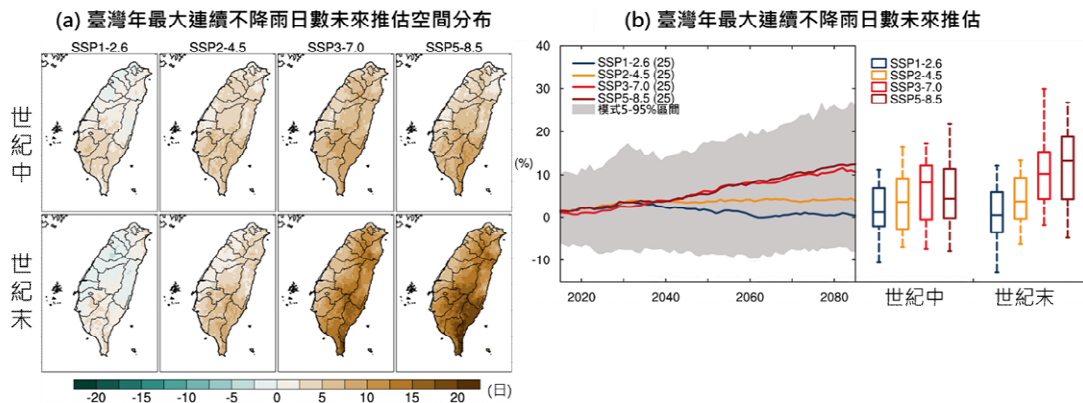


圖 2-9、臺灣未來連續不降雨變化趨勢推估

2.2 本領域之氣候變遷衝擊

極端天氣事件往往伴隨維生基礎設施之系統服務功能失靈的風險，近年來的科學研究證明，全球暖化的全面衝擊正在持續發生，在氣候變遷的環境下，極端天氣事件發生的頻率更頻繁，事件的時間可能拉長、縮短與驟變，強度也可能增加或加速，如強降雨、強風與高溫的強度增加以及海平面上升的速度加快。氣候條件的變化導致基礎設施及系統面臨更複雜且嚴峻的氣候風險，如何掌握氣候變遷風險，進一步妥適調適因應氣候衝擊，已成為當前及未來基礎設施規劃、設計、營運、維護以及管理的重要議題。

本領域屬維生基礎設施領域，易受高溫、極端降雨及海平面上升之氣候衝擊因子(同氣候壓力因素)影響。依據交通部運輸研究所 111 年《公路系統規劃階段強化調適能力之探討》期末報告，針對國內運輸系統的氣候變遷衝擊資訊，分為公路、鐵路、空運和海運四個子系統，列舉說明如下：

● 公路系統

依據《國家氣候變遷調適政策綱領》，國內較易受氣候變遷影響之山區公路建設多沿河谷開鑿構築，在暴雨作用下，容易受到邊坡滑動崩塌的威脅；亦常因河谷沖蝕加劇而危及道路路基，中斷公路系統；若河川上游發生洪水、土石流等，則沖刷裸露基礎之橋梁；下游橋梁之橋墩、橋面也易遭洪水、土石流沖毀或掩埋；如降雨量超過排水設計，則會面臨道路淹水的問題；而高溫引發的熱空氣與高水溫除容易腐蝕橋墩，也造成公路鋪面軟化與損壞，如圖 2-10 所示。

以下將公路系統區分為路段、路廊及路網3種不同的尺度，分別說明其在氣候變遷環境下面臨的潛在氣候衝擊，參見表2-1。

表 2-1 公路系統面臨的潛在氣候衝擊綜理表

公路系統尺度	公路系統組成	氣候壓力因素	對於公路系統的直接衝擊
路段	結構（包含橋梁及隧道）	強降雨	土壤含水量過高影響道路邊坡、隧道口的結構強度 強降雨沖刷橋梁基礎
		強風	強風影響橋梁結構
		暴潮/風浪	暴潮/風浪加劇橋墩的沖刷
	基礎/地表下	強降雨	路基受沖蝕掏空
		海平面上升	加劇路基的沖刷
	排水	強降雨	排水不良造成淹水
	橫斷面	強降雨	道路的橫斷面，面臨強風暴雨沖刷等影響
材料	高溫	鋪面材料軟化與標線變形	
路廊	周邊環境	強降雨	路廊因地表逕流溢淹，影響周邊排水系統與生態環境
		強風	路樹傾倒造成道路中斷
		高溫	引發邊坡野火
路網	替代道路	強降雨	替代道路數量低，強降雨時可能面臨運輸中斷
		暴潮/風浪	海浪越堤溢淹災害，海岸線退縮，淘刷公路底部基座
		海平面上升	替代道路被淹沒
	交通場站	強降雨	交通場站聯外道路淹水，造成運輸中斷
		暴潮/風浪	交通場站聯外道路淹水，造成運輸中斷

參考資料：公路系統規劃階段強化調適能力之探討，交通部運輸研究所，110年、本計畫彙整。



資料來源：交通部公路總局、蘋果新聞網。最後檢視日期：2022.11.01。

圖 2-10 氣候變遷對公路系統的衝擊

● **鐵路系統**

高溫、海平面上升、強降雨、颱風氣旋等劇烈天氣現象發生頻率與強度的提高，將對鐵路系統營運帶來衝擊。

以鐵路系統而言，氣候變遷將可能造成下列影響：(1)溫度上升、熱脹效應致軌道擠壓變形、挫屈，影響列車行車安全、(2)強降雨引發的坡地災害、淹水潛勢與風險增加、(3)強降雨造成軌道或隧道淹水、(4)強降雨造成邊坡或隧道落石、坍方、(5)路基、橋梁因地表逕流沖蝕、洪水沖刷受損、(6)車站或其聯外道路因強降雨淹水或受坡災衝擊、(7)架空電車線因高溫、強風受損、(8)列車因強降雨、強風而無法正常行駛、(9)臨海設施因暴潮/風浪或海平面上升而淹水或淹沒，如圖 2-11 所示。

高速鐵路系統則可能面臨：(1)強降雨引發的坡地災害、淹水潛勢與風險增加、(2)路基、橋梁因地表逕流沖蝕、洪水沖刷受損、(3)車站或其聯外道路因強降雨淹水或受坡災衝擊、(4)架空電車線因高溫、強風受損、(5)列車因強降雨、強風而無法正常行駛。

以下摘錄前期計畫之研究成果，將鐵路系統組成概分為軌道構造（包含橋梁、軌道、隧道）、場站及設施等分別說明，參見表 2-2。

表 2-2 鐵路系統面臨的潛在氣候衝擊綜理表

鐵路系統組成	氣候壓力因素	對於鐵路系統的直接衝擊
軌道構造（包含橋梁、軌道、隧道）	強降雨	橋梁鋼鐵結構腐蝕
		橋梁及基樁沖刷
		橋面板變位或傾倒
		橋墩及橋面板結構破壞
		隧道排水系統設施阻塞沖蝕
		隧道路路基流失

鐵路系統組成	氣候壓力因素	對於鐵路系統的直接衝擊
		鐵軌腐蝕
		軌道破壞或淤積
		軌道路基破壞及流失
	高溫	軌道彎曲變形
車站或其聯外道路	強降雨	車站淹水，乘客無法進出車站
調車場、維修設施、支援設備和其他	強降雨	列車無法正常行駛
	強風	列車無法正常行駛
		架空電車線受損
	高溫	架空電車線受損
	暴潮/風浪	臨海設施淹水或淹沒
海平面上升	臨海設施淹水或淹沒	

資料來源：重大鐵公路建設氣候變遷調適策略與脆弱度評估指標之研究，交通部運輸研究所，102年、本計畫彙整。



資料來源：ETtoday 新聞雲、今日新聞。最後檢視日期：2022.03.30。

圖 2-11 氣候變遷對鐵路系統的衝擊

● 空運系統

氣候變遷對空運系統可能造成的影響包括：(1) 陸側設施及客貨運業務因淹水、強風、雨水或暴潮/風浪沖刷及沖擊而受損或無法作業、(2) 空側設施因淹水、強風、雨水、暴潮/風浪沖刷及沖擊、高溫等而受損或無法作業、(3) 航機因強降雨、跑道積淹水、強風、高溫而無法正常起降、(4) 航機因強降雨、強風而損壞、(5) 機場聯外道路因強降雨淹水或落石、坍方、(6) 臨海設施因暴潮/風浪沖刷及沖擊而受損，如圖 2-12 所示。

根據《臺灣氣候變遷科學報告 2017》及《IPCC 氣候變遷第六次評估報告 (AR6) 之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷評析更新報告》，全球暖化可能導致 21 世紀末颱風侵臺比例約增 50%，且發展為強烈颱風的機率增加，降雨強度亦呈現增加的趨勢（在最劣排放情境下，豪

雨強度約增 41.3%)，高溫超過 36°C 日數約增 48.1 日，上述變化意味著空運系統將受到更強烈的衝擊。

以下將航空系統組成分為空側設施、航站和陸側設施、支援設備和其他分別說明，請參見表 2-3。

表 2-3 空運系統面臨的潛在氣候衝擊綜理表

航空系統組成	氣候壓力因素	對於航空系統的直接衝擊
空側設施	強降雨	鋪面結構的損壞和惡化
		鋪面表面毀損
		排水能力負荷
	高溫 強風	電力照明系統負荷
航站 和陸側設施	強降雨	阻礙聯外運輸、流通、裝載和停車
		地面基礎破壞
		建築物和結構受損
高溫	建築物和結構受損	
支援設備 和其他	強降雨	機場聯外道路因淹水或落石、坍方阻斷
		航機因強降雨、跑道積淹水而無法正常起降
	高溫	電氣系統故障或短缺
		火災風險增加
	高溫	導航和衛星信號失真
	強風	通信系統故障提高
暴潮/風浪	臨海設施因暴潮/風浪沖刷及沖擊而受損	
備註：「空側」泛指機場內供航空器起飛、降落及地面活動區域，相較於供旅客使用區域「陸側」而言。		

資料來源：公路系統規劃階段強化調適能力之探討，交通部運輸研究所，111 年、本計畫彙整。



空側設施受損



聯外道路淹水

資料來源：中時新聞網、ETtoday 新聞雲。最後檢視日期：2022.03.30。

圖 2-12 氣候變遷對空運系統的影響

● 海運系統

氣候變遷對海運系統產生的衝擊包含多種面向，強降雨會導致聯外功能受損，造成交通受阻；強風則影響設備操作、航班停駛、設施設備損壞；海平面上升或暴潮/風浪會導致港區設備損毀淹沒、碼頭受損、船舶無法靠泊作業等影響，如圖 2-13 所示。

由歷史天氣事件顯示，我國港口主要常因颱風來襲，造成暴潮/風浪、強風、強降雨等情形，迫使航班停駛及造成碼頭與設備損壞及聯外道路淹水中斷營運，請參見表 2-4。

表 2-4 海運系統面臨的潛在氣候衝擊綜理表

海運系統組成	氣候壓力因素	對於海運系統的直接衝擊
港口	強降雨	聯外道路淹水中斷營運
	強風	影響設備操作、航班停駛
	暴潮/風浪	碼頭與設備損壞
	海平面上升	船舶無法靠泊

資料來源：公路系統規劃階段強化調適能力之探討，交通部運輸研究所，111 年、本計畫彙整。



船舶斷纜設施受損



暴潮造成路面淹水

資料來源：中時新聞網、蘋果即時。最後檢視日期：2022.03.30。

圖 2-13 氣候變遷對海運系統的衝擊