

IPCC 氣候變遷第六次評估報告 「衝擊、調適與脆弱度」之科學重點摘錄 與臺灣氣候變遷衝擊評析更新報告

科技部

2022.03.01

聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 繼 2021 年 8 月 9 日所公布氣候變遷第六次評估報告 (IPCC AR6) 第一工作小組 (WGI) 報告後，於 2022 年 2 月 28 日公開第二工作小組「衝擊、調適與脆弱度」報告 (AR6 WGII) 。科技部「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫 (TCCIP) 」科學團隊在國家氣候變遷調適分工上扮演提供科學資訊的重要角色，因應 WGII 報告的公布，彙整國內外科研資訊並發布『IPCC 氣候變遷第六次評估報告「衝擊、調適與脆弱度」之科學重點摘錄與臺灣氣候變遷衝擊評析更新報告』。

本次報告針對 IPCC AR6 WGII 報告進行重點摘錄與整理，並同步提供臺灣氣候變遷衝擊的初步推估結果，以協助國人快速且全面性掌握全球氣候變遷可能性影響，與本地氣候變遷衝擊評估情形。

一. AR6 第二工作小組報告 重點摘錄

1.1 觀察到的及推估的衝擊及風險

- 人為導致的氣候變遷，包括更頻繁且更高強度的極端事件，將導致廣泛的負面衝擊，對自然及人類所產生的損失與損害將超越自然氣候變異的影響。部分發展及調適作為已減少脆弱度。在各領域及區域，最脆弱的族群及系統所受到的影響有所差異。天氣及氣候極端事件的增加將使自然及人類系統超過其所能調適的能力，造成部分無法逆轉的衝擊（高信心）。
- 面對氣候變遷，生態系統及人類的脆弱度在不同區域間及區域內，有明顯的差異（極高信心），差異的主要驅動因素為社會經濟發展、非永續海洋及土地利用、不平等、邊緣化、歷史與現行的不平等模式（如殖民）、治理（高信心）。大約 33 至 36 億人口生活在氣候變遷的高脆弱度環境（高信心）。有高比例的物種在氣候變遷下顯得脆弱（高信心）。人類及生態系統的脆弱度為相互關聯（高信心）。現行非永續的發展模式將增加生態系統及人類在氣候危害的暴露度（高信心）。
- 全球暖化將在短期（2021-2040 年）內升溫至 1.5°C，將無法避免的增加多種氣候危害，同時，現行生態系統及人類也將面臨多種風險（極高信心）。風險的程度將取決於脆弱度、暴露度、社會經濟發展、調適等短期的趨勢（高信心）。相較於更高的升溫情境，短期內將全球升溫控制在 1.5°C 內的行動，將有效降低未來氣候變遷將對人類系統及生態系統所產生的損失及損害，但無法完全削減（極高信心）。
- 2040 年後，不同全球升溫幅度所導致的氣候變遷，將造成自然及人類系統面臨多種風險（高信心）。目前已辨識的 127 項關鍵風險，在中長期評估中所導致的衝擊，相較於目前所觀察到的將高出數倍（高信心）。氣候變遷及其相應的風險強度及頻率，很大程度取決於短期內減緩及調適作為，而未來推估的負面衝擊及其相關的損失與損害，將於全球逐漸暖化的過程中加劇（極高信心）。
- 氣候變遷衝擊及風險將逐漸變得更為複雜，且更難以管理。諸多氣候危害將同時發生，多種氣候及非氣候風險亦會產生相互作用，進而導致複合性的整體風險以及橫跨各領域及區域的連動性風險（高信心）。
- 全球若在未來幾十年（或更久）即使暫時性升溫超過 1.5°C，相較於控制

在 1.5°C 內，人類及自然系統仍將面臨額外的嚴重風險（極高信心）。根據超過 1.5°C 的程度及延時，部分衝擊將導致額外溫室氣體的釋放（中等信心），而即便全球暖化緩解，部分衝擊亦無法逆轉（高信心）。

1.2 現行調適及其效益

- 在各領域及區域，都已觀察到調適規劃及其推動的明顯進展，並產生了多重效益（極高信心）。然而，調適進展的分布不均，且存在調適缺口（高信心）。許多行動優先考慮降低目前及短期的氣候風險，進而降低了轉型性調適的機會（高信心）。
- 可行且有效的調適選項是存在的，將能降低人類及自然風險。在不同領域及區域間，短期內執行調適選項的可行性將有差異（極高信心）。在特定的背景、領域及區域，已有紀錄證實調適於降低氣候風險是有效的（高信心），但其效益將因逐漸升溫而有所減少（高信心）。回應社會不平等問題的整合性、多領域解決方案，並根據氣候風險做出有所區別且跨系統的因應措施，可提升不同領域的調適可行性及效益（高信心）。
- 部分人為調適已達到軟性條件的限制，但可透過解決財務金融、治理、體制及政策等一系列限制予以克服（高信心）。部分生態系統已達到調適的硬性限制（高信心）。隨著全球暖化加劇，損失及損害將增加，且額外的人類及自然系統將達到不可突破的調適硬性限制（高信心）。
- 自 AR5 公布後，橫跨眾多領域及區域的不當調適證據有所增加。不當的氣候變遷因應作為可能導致脆弱度、暴露度及風險的困境，如需修正將有困難且代價高昂，同時加劇現有的不平等。不當調適可透過彈性、跨領域、包容式、長期的調適行動規劃與執行予以避免，並為許多領域及系統帶來效益（高信心）。
- 執行、加速及維持人類系統與生態系統調適的關鍵是其推動條件，包括政治承諾與落實、體制框架、政策及工具，並需有明確目標及優先事項、強化對衝擊與解決方案的知識、調動並取得妥適財務金融資源、監測與評估、包容式治理程序（高信心）。

1.3 氣候韌性發展

- 目前已觀察到的衝擊、推估風險、脆弱度的強度與趨勢、調適限制等證據顯示，全球氣候韌性發展行動相較於先前 AR5 的評估來得更為迫切。全

面、有效且創新的因應可促成綜合效益，降低調適及減緩之間的權衡取捨，並促進永續發展（極高信心）。

- 當政府、公民社會及私部門做出包容式的發展選擇，優先考慮風險降低、公平及正義，並將決策程序、財務金融、行動整合至各治理層級、領域、時間尺度，即能實現氣候韌性發展（極高信心）。國際合作及各層級政府與社區、公民社會、教育單位、科研與其他機構、媒體、投資人、企業等共同合作，並與傳統被邊緣化的群體，包括女性、青少年、原住民族、在地社區、少數民族等發展夥伴關係，可促進氣候韌性發展（高信心）。這些夥伴關係如能輔以政治領導、機構、資源，包括財務金融、氣候服務、資訊、決策支援工具，將最具效益（高信心）。
- 不斷變化的都市型態、暴露度及脆弱度之間的交互作用，將衍生城市及聚落的氣候變遷風險及損失。但全球都市化的趨勢亦將於短期提供可促進氣候韌性發展的關鍵機會（高信心）。都市基礎建設（包括社會、生態、灰色/物理性基礎設施）相關之整合、包容式規劃、投資的日常決策，可顯著提升城鄉聚落的調適能力。公平的調適結果將有助於為原住民族、邊緣化及弱勢社區帶來健康、福祉等生態系統服務等多重效益（高信心）。都市地區的氣候韌性發展亦可透過都市近郊的供應鏈（包括貨物及勞務、資金）支撐較偏鄉地區的調適能力（中等信心）。沿海城市及聚落在促進氣候韌性發展上扮演特別重要的角色（高信心）。
- 鑑於生物多樣性及生態系統在調適與減緩所扮演的角色，加上氣候變遷對其所造成的威脅，保護生物多樣性及生態系統是氣候韌性發展的基礎（極高信心）。基於近期一系列證據的分析顯示，維護全球生物多樣性及生態系統服務的韌性，取決於有效並公平的保護全球約三成至五成的土地、淡水、海洋區域，包括現有近乎自然的生態系統（高信心）。
- 氣候變遷毫無疑問已經影響人類及自然系統。過去及現在的發展趨勢（過往排放、發展、氣候變遷）並未促進全球氣候韌性發展（極高信心）。未來十年採取的社會選擇及行動將決定中長程路徑實現氣候韌性發展的程度（高信心）。重要的是，如果現行溫室氣體排放不迅速降低，尤其是當全球暖化於短期超過 1.5°C，氣候韌性發展願景將更受限制（高信心）。氣候韌性發展願景雖然受到過往發展、排放、氣候變遷的限制，但可透過包容式治理、妥適正確的人力及科技資源、資訊、能力、財務金融等予以推動（高信心）。

二. 臺灣氣候變遷衝擊

2.1 溫度變化趨勢及其衝擊

未來趨勢(請參考WGI重點摘要報告)。立基未來的溫度變化趨勢，可能帶來的衝擊如下：

- 農業：升溫情境下，全臺水稻產量呈現減少趨勢，二期作平均減產程度較一期作明顯(圖 1)。
- 林業：高山生態系對夏季溫度上升敏感，在缺乏遷徙途徑與暖化效應加成影響下，預測高山灌叢與鐵冷杉森林的適生區域至世紀末大幅減少(僅餘現生面積 16%至 50%之間)；另外，臺灣水青岡是冰河時期子遺的特有物種，目前僅存臺灣北部的少數稜線上，其適生區域在世紀中及世紀末呈現嚴重縮減趨勢(僅餘現生面積的 7%至 15%)(圖 2)。
- 公衛：升溫情境下，世紀中埃及斑蚊分佈可能跨過現有臺南嘉義交界向北延伸，花東地區亦有向北延伸趨勢，導致登革熱發生風險增加。世紀末埃及斑蚊分布範圍向北持續擴大(圖 3)。

2.2 降雨變化趨勢及其衝擊

未來暖化情境下極端降雨強度增加、侵臺颱風機率降低與降雨型態改變(全臺極端降雨、全臺連續不降雨日數、侵臺颱風頻率，參考 WGI 重點摘要報告)。依據未來降雨趨勢推估，可能帶來的衝擊如下：

- 淹水：全臺極端降雨(最大 24 小時累積雨量之 95 百分位數值)，除中部地區於世紀中略為減少，其他區域皆呈現增加趨勢。以臺北、宜蘭、臺南、高屏四分區淹水發生機率為例(以現有條件進行模擬)，世紀中較基期之淹水機率呈現持平或略為增加，世紀末增加幅度更為明顯(圖 4)。
- 坡地：坡地重點集水區極端降雨(最大 24 小時累積雨量 95 百分位數值)，世紀中除中部山區外，其餘為增加趨勢；世紀末增加趨勢更為明顯。坡地崩塌潛勢模擬，以新店溪、曾文水庫集水區為例(以現有條件進行模擬)，世紀中較基期之崩塌率呈現持平或略為增加(圖 5)。
- 水資源：升溫情境下，集水區的河川流量豐枯差異變大，世紀中春季(2 至 4 月)流量大致呈現減少趨勢，世紀末變化更為顯著，可能增加枯旱的風險(圖 6)。

2.3 颱風變化趨勢及其衝擊

RCP8.5 情境下，世紀末颱風風速約增強 2%~12%，平均增強 8%(請參考 WGI 重點摘要報告)。進行未來颱風風浪與颱風暴潮的衝擊模擬評估，對近海風浪及海岸暴潮可能帶來的衝擊如下：

- 風浪：全臺沿岸地區颱風風浪衝擊以東北及東南部海岸衝擊較大，升溫情境下，其衝擊增加率亦高於其他地區(圖 7(a))。
- 暴潮：全臺沿岸地區颱風暴潮衝擊以北部、東北部及中部海岸衝擊較大，升溫情境下，其衝擊增加率亦高於其他地區(圖 7(b))。

2.4 海平面上升變化趨勢及其衝擊：

依據 IPCC AR6 之升溫 2°C 情境，將導致臺灣周邊海域海平面上升 0.5 公尺，升溫 4°C 情境，將導致海平面上升 1.2 公尺。

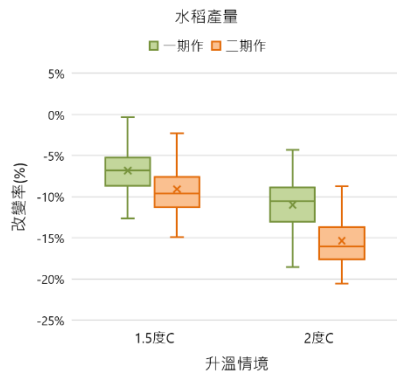
- 大臺北地區因海平面上升造成的溢淹，主要發生在淡水河出海口一帶。在現有堤防保護下，都市區域影響相對較小(圖 8)。
- 西南沿海以臺南地區為例，海平面上升可能導致地勢較低窪地區有溢淹情形(以現有地形資料模擬)。溢淹較深區域以沿海養殖魚塢、濕地及沙洲較為顯著(圖 9)。

2.5 其他：

- 空氣品質：升溫情境下，因氣候因素(風力減弱、穩定度增加、邊界層變淺)造成冬季空氣品質不良(AQI 指數大於 100)的情況在西半部有增加趨勢，中、南部區域增加較明顯(以現有條件進行模擬)(圖 10)。

參考圖表

(a)全臺水稻產量改變率



(b)全臺四大分區水稻產量改變率

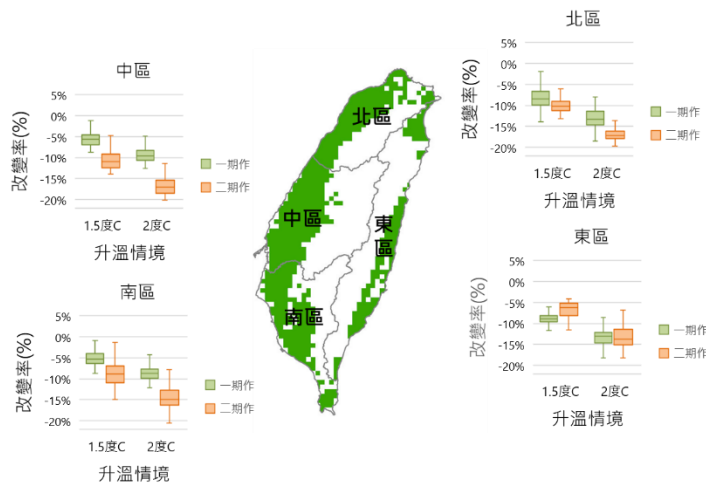
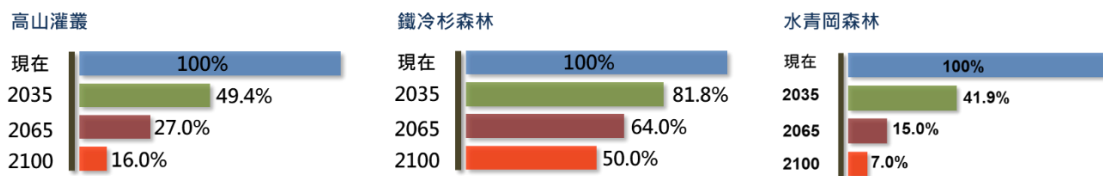


圖 1 水稻產量未來變化趨勢^{註 1-2}。

- (a) 全臺水稻一期作與二期作在升溫情境 1.5°C 及 2°C 之產量改變率趨勢比較。
 (b) 全臺四大分區水稻一期作與二期作在升溫情境 1.5°C 及 2°C 之產量改變率趨勢比較。

(a) 森林適生面積相對現在比例



(b) 森林適生分布變化情形

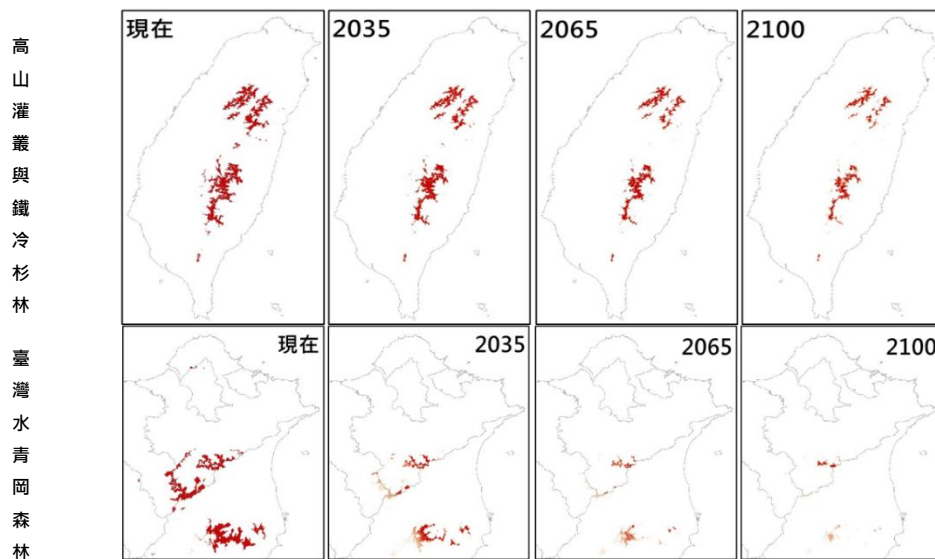


圖 2 RCP4.5 高山森林與臺灣特種(水青岡)未來適生面積變化趨勢^{註 3-4}。

- (a) 森林適生面積相對現在比例比較圖。
 (b) 森林適生分布變化情形比較圖。

(a)世紀中埃及斑蚊分布

(b)世紀末埃及斑蚊分布

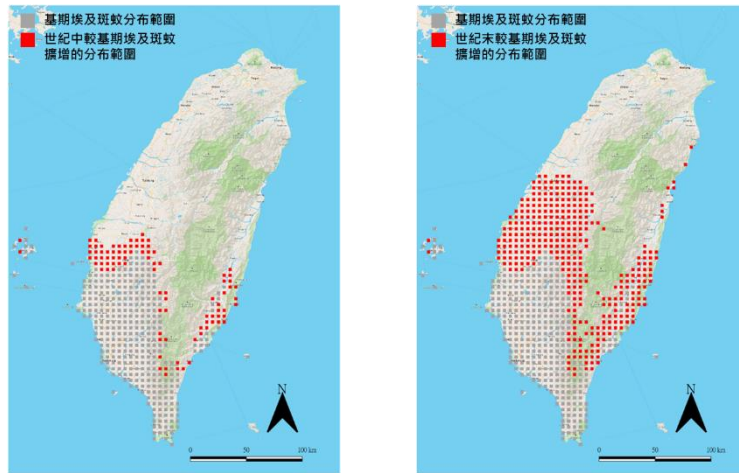


圖 3 RCP8.5 情境下埃及斑蚊未來分布變化趨勢^{註 5}。

- (a) 基期埃及斑蚊分布與世紀中擴增範圍比較。
- (b) 基期埃及斑蚊分布與世紀末擴增範圍比較。

(a)極端降雨變化趨勢

(b)四個分區淹水發生機率變化趨勢

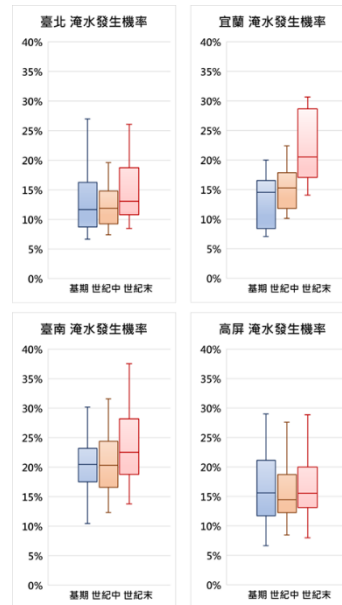
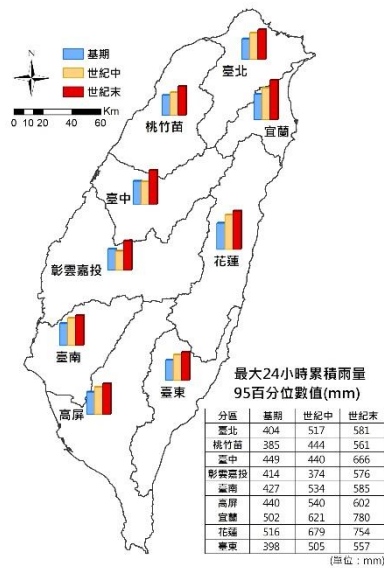
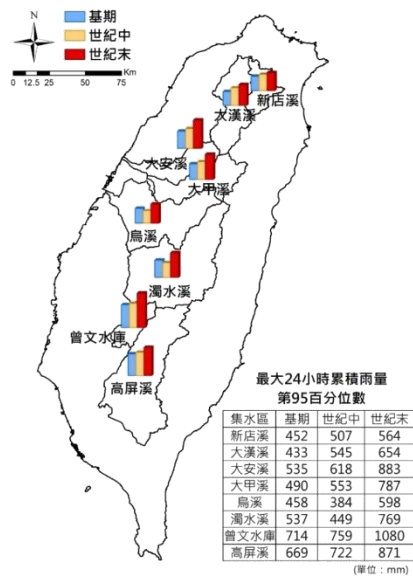


圖 4 極端降雨與淹水發生機率未來變化趨勢^{註 6-8}。

- (a) 全臺極端降雨(最大 24 小時累積雨量 95 百分位數值)，可看出除中部地區於世紀中略為減少，其他區域皆呈現增加趨勢。
- (b) 以臺北、宜蘭、臺南、高屏四分區淹水發生機率為例(以現有條件進行模擬)，世紀中較基期之淹水機率呈現持平或略為增加，世紀末增加幅度更為明顯。

(a) 山區極端降雨變化趨勢



(b) 新店溪、曾文水庫集水區之崩塌率變化趨勢

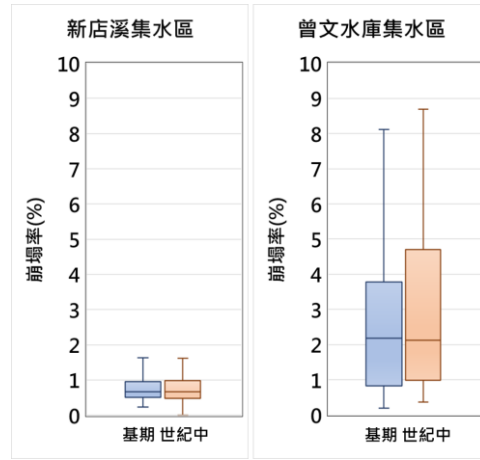


圖 5 氣候變遷下山區極端降雨與坡地崩塌率未來變化趨勢^{註 9-11}。

(a) 坡地重點集水區極端降雨(最大 24 小時累積雨量 95 百分位數值)，世紀中除中部山區外，其餘為增加趨勢；世紀末增加趨勢更為明顯。

(b) 坡地崩塌潛勢模擬，以新店溪、曾文水庫集水區為例(以現有條件進行模擬)，世紀中較基期之前崩塌率呈現持平或略為增加。

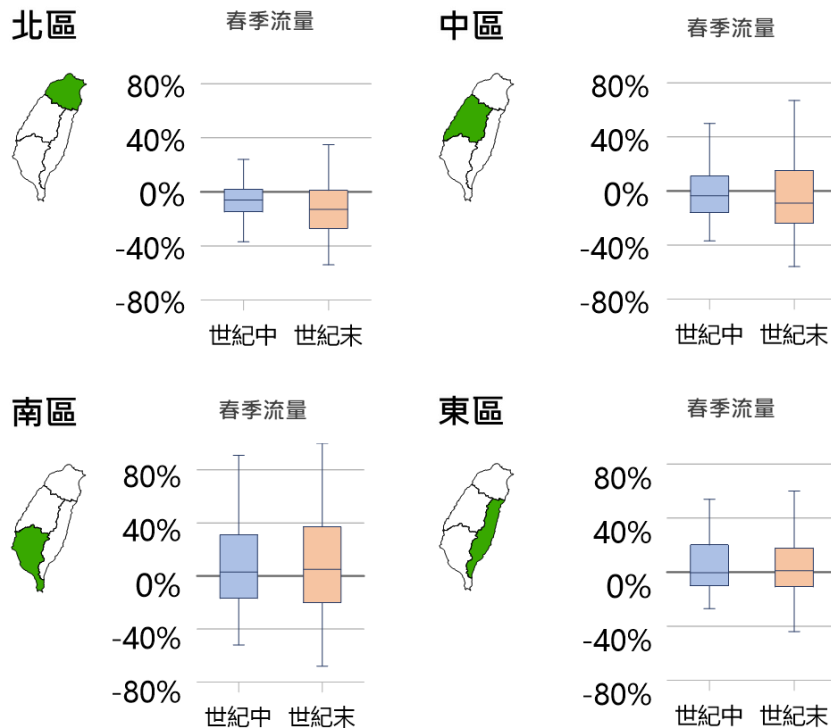


圖 6 四大水資源分區年最大連續不降雨日數與春季流量未來變化趨勢^{註 12-14}。

升溫情境下，世紀中春季(2 至 4 月)流量大致為減少趨勢，世紀末變化更為顯著，可能增加枯旱的風險。

(a)全臺颱風風浪衝擊程度

(b)全臺颱風暴潮衝擊程度

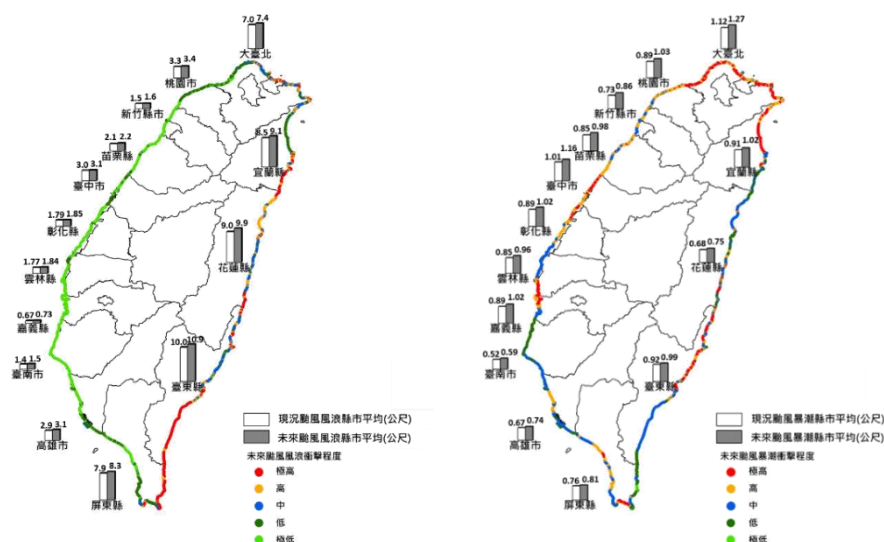


圖 7 海岸地區未來颱風風浪與颱風暴潮衝擊變化趨勢^{註 15}。

(a)颱風風浪衝擊圖，柱狀圖為現況與未來每個沿海縣市的颱風風浪高度值平均，單位為公尺。臺灣沿岸呈現未來颱風風浪衝擊程度，分為五個等級：極高(大於 12 公尺)、高(9 至 12 公尺)、中(6 至 9 公尺)、低(3 至 6 公尺)、極低(小於等於 3 公尺)。全臺沿岸地區未來颱風風浪衝擊略為增加(衝擊變化率介於 3.2%~10.8%之間)。

(b)颱風暴潮衝擊圖，柱狀圖為現況與未來每個沿海縣市的颱風暴潮高度值平均，單位為公尺。臺灣沿岸呈現未來颱風暴潮衝擊程度，分為五個等級：極高(大於 1.2 公尺)、高(0.9 至 1.2 公尺)、中(0.6 至 0.9 公尺)、低(0.3 至 0.6 公尺)、極低(小於等於 0.3 公尺)。全臺沿岸地區未來颱風暴潮衝擊皆有增加趨勢(衝擊變化率介於 6.7%~18.8%之間)。

(a)海平面上升 0.5 公尺溢淹衝擊圖

(b)海平面上升 1.2 公尺溢淹衝擊圖

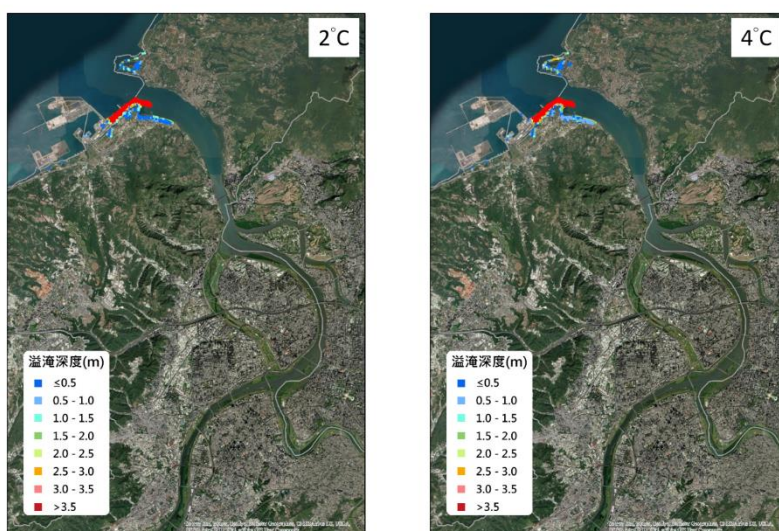


圖 8 大臺北地區未來海平面上升變化趨勢^{註 16-19}。

運用水動力模式，模擬海平面上升 0.5 與 1.2 公尺情境下，考慮河堤、海堤等設施，大臺北地區於最高潮位時間的溢淹分布範圍與深度。

(a)海平面上升 0.5 公尺溢淹衝擊圖，2°C 升溫情境(SSP3-7.0 情境)，臺灣周邊海平面上升數值估計為 0.5 公尺(第 95 百分位)。

(b)海平面上升 1.2 公尺溢淹衝擊圖，4°C 升溫情境(SSP5-8.5 情境)，臺灣周邊海平面上升數值估計為 1.2 公尺(第 95 百分位)。

大臺北地區因海平面上升造成的溢淹，主要發生在淡水河出海口一帶。在現有堤防保護下，都市區域影響相對較小

(a)海平面上升 0.5 公尺溢淹衝擊圖 (b) 海平面上升 1.2 公尺溢淹衝擊圖

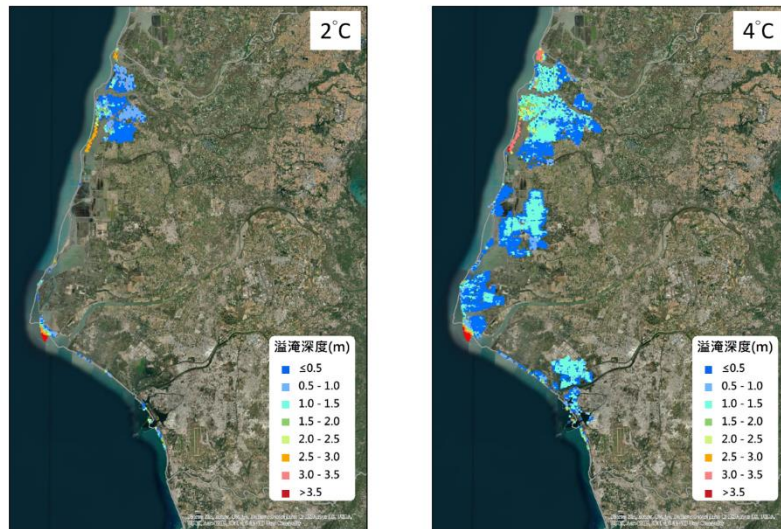


圖 9 臺南地區未來海平面上升變化趨勢^{註 16-19}。

運用水動力模式，模擬海平面上升 0.5 與 1.2 公尺情境下，考慮河堤、海堤等設施，臺南地區於最高潮位時間的溢淹分布範圍與深度。

(a)海平面上升 0.5 公尺溢淹衝擊圖，2°C 升溫情境(SSP3-7.0 情境)，臺灣周邊海平面上升數值估計為 0.5 公尺(第 95 百分位)。

(b)海平面上升 1.2 公尺溢淹衝擊圖，4°C 升溫情境(SSP5-8.5 情境)，臺灣周邊海平面上升數值估計為 1.2 公尺(第 95 百分位)。

臺南地區海平面上升可能導致地勢較低窪地區有溢淹情形(以現有地形資料模擬)。升溫 2°C 情境將導致臺南市沿海低窪地區，有約 0.5 至 1.5 公尺的溢淹情形；而升溫 4°C 情境溢淹深度約 0.5 至 2.0 公尺。溢淹較深區域以沿海養殖魚塢、濕地及沙洲較為顯著。

冬季空氣品質不良(AQI>100)日數變化

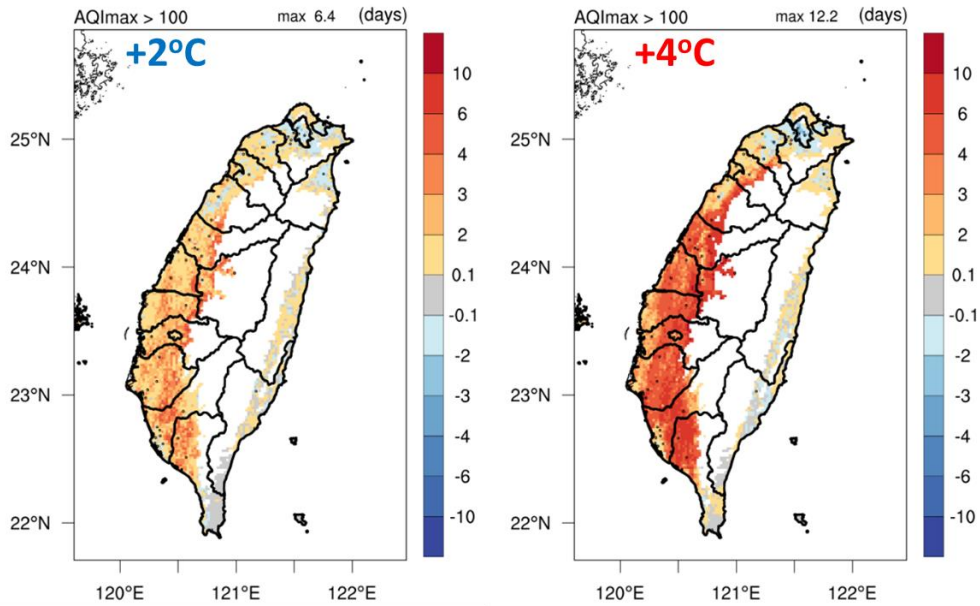


圖 10 升溫 2°C 及 4°C 情境下臺灣空氣品質變化趨勢^{註 20-24}。

冬季空氣品質不良(AQI 指數大於 100)分布圖，在西半部有增加趨勢。

【備註】

以農糧署各分署轄區範圍作為分區基準。

農業使用之 GCM 模式為 MPI-ESM1-2-LR (SSP5-8.5)，模擬針對 500 公尺以下網格(深綠色)進行操作。

高山灌叢與鐵冷杉森林是海拔最高的生態系，因長期隔離演化物種特有率高達 40%以上。

臺灣水青岡是一萬年前冰河消退後的孑遺物種，目前僅分布拉拉山至插天山、以及太平山至銅山一帶。

公衛使用之 GCM 模式為 HadGEM2-CC，模式基期為 1976-2005、世紀中為 2046-2065、世紀末為 2081-2100。

淹水定義依據法令「水災公用氣體與油料管線輸電線路災害救助種類及標準」第 4 條，及「災害防救法」第 48 條，實際居住的住屋因水災深度達 0.5 公尺以上，可申請水災補助。故將 0.5 公尺以上定義為淹水，以下則為積水。

淹水模擬使用 HiRAM 動力降尺度 RCP8.5 情境颱風事件資料，模式基期為 1979-2008(149 場)、世紀中為 2039-2065(450 場)、世紀末為 2075-2099(214 場)。

應用水利署提供之高效能 SOBEK 模組進行淹水模擬後，針對各分區每一時期颱風場次計算淹水發生機率。

崩塌衝擊使用 HiRAM 動力降尺度 RCP8.5 情境颱風事件資料，模式基期為 1979-2008、世紀中為 2039-2065、世紀末為 2075-2099。

本圖以 TRIGRS 模式進行崩塌衝擊分析之成果。

崩塌衝擊以崩塌率呈現。崩塌率 = 模式評估具崩塌潛勢網格數 / 集水區總網格數。具崩塌潛勢的網格是以安全係數(FS)小於 1 為門檻，安全係數小於 1 代表該網格具崩塌潛勢。

本圖之分區方式以經濟部水利署的臺灣水資源分區呈現。

各分區之數值模擬為各區主要流域/集水區為範圍之結果，北部為淡水河、頭前溪及蘭陽溪；中部為中港溪、後龍溪、大安溪、大甲溪、烏溪及濁水溪；南部為八掌溪、曾文溪、高屏溪及四重溪；東部為和平溪、花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪、利嘉溪及知本溪。

世紀中及世紀末之模擬為四個情境的綜合結果，包含 SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0 及 SSP5-8.5。模式基期為 1985-2014、世紀中為 2036-2065、世紀末為 2071-2100。

未來，指 RCP 8.5 情境世紀末(2075-2099)，颱風風速平均增強 8%。故使用歷史颱風的颱風路徑，將 1978-2017 年間，共 125 場歷史颱風的風速提高 8%，進行未來颱風風浪與暴潮的衝擊模擬評估。

僅淡水河與曾文溪有河道大斷面地形資料，其餘小河道與區域排水因缺乏大斷面資料，在建置地形時皆使用 5 公尺解析度的 DEM 原始數值。

海平面上升高度設定於模式邊界，模擬過程中，會與動態潮位疊加。

潮汐漲退會依時序變動，擷取的時間分別為淡水潮位站(臺北)與將軍潮位站(臺南)的大潮時最高潮時間，故越遠離潮位站的點位，其溢淹分布可能與當地實際最高潮時間有數分鐘到數十分鐘的差距。

人為移除水體上的溢淹點位，但有保留魚塢上的點位。

當風力變弱、穩定度增加、邊界層變淺，不利於污染物傳送與擴散，且暖化提高溫度，加速臭氧光化反應，導致臭氧濃度增加。

降水增加，則利於 PM2.5 洗除；反之，降水減少造成 PM2.5 污染增加。

溼季變的更濕、乾季變的更乾，則有不同效應。

冬季為 12、1、2 月平均；平地為海拔 500 公尺以下區域平均。

AQI：空氣品質指標(Air Quality Index, AQI)為依據監測資料將當日空氣中臭氧(O₃)、細懸浮微粒(PM_{2.5})、懸浮微粒(PM₁₀)、一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO₂)及二氧化氮(NO₂)濃度等數值，以其對人體健康的影響程度，分別換算出不同污染物的副指標值，再以當日各副指標之最大值為該測站當日之空氣品質指標值(AQI)。