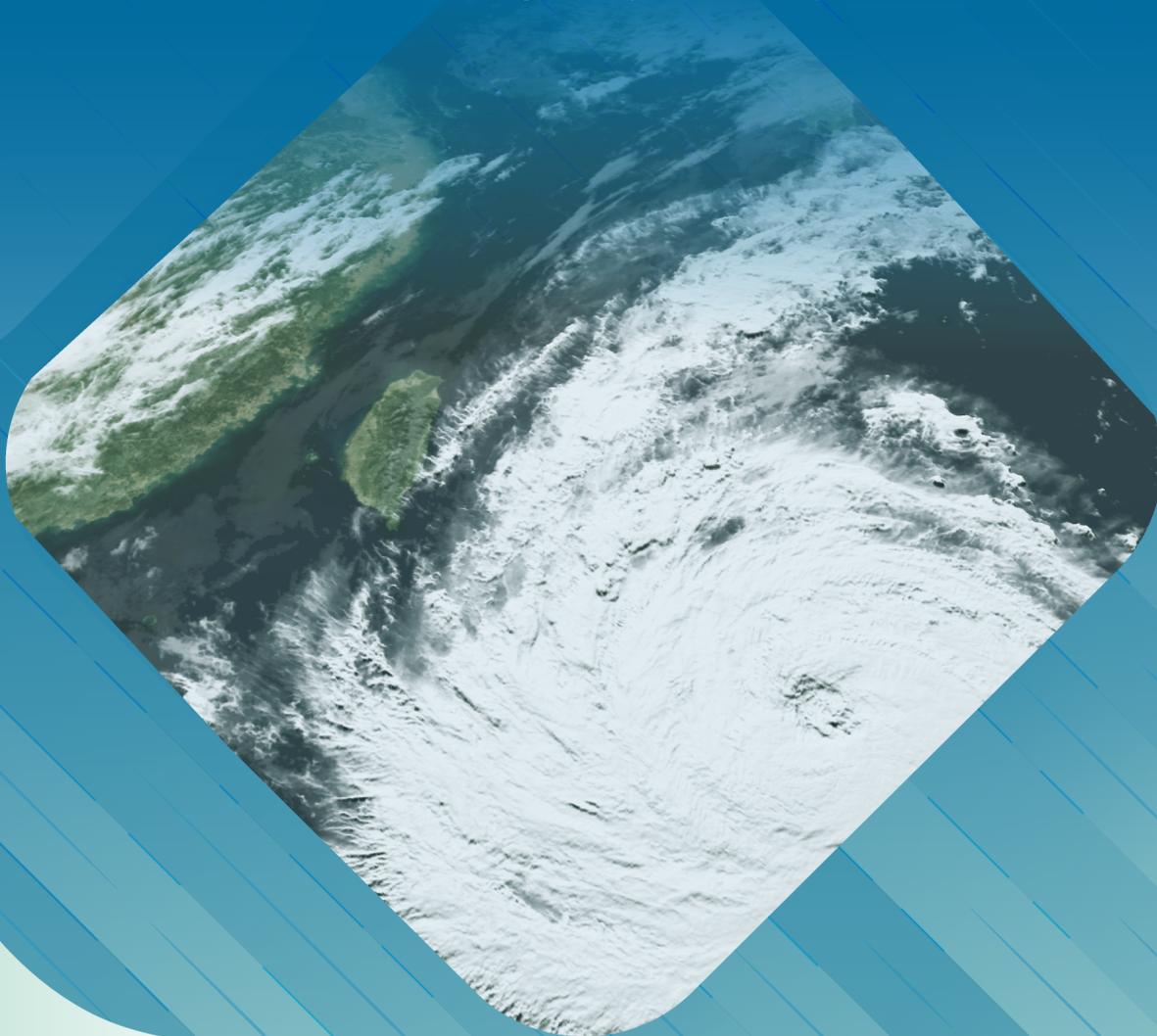


2025 臺灣氣候變遷分析系列報告

暖化趨勢下的臺灣劇烈降雨與衝擊

Severe Precipitation and Impacts in Taiwan under Global Warming
Taiwan Climate Change Analysis Series Report 2025



彙編

國家科學及技術委員會
臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台

共同
發行

交通部中央氣象署 中央研究院環境變遷研究中心 國立臺灣師範大學地球科學系
國家災害防救科技中心 國立陽明交通大學土木工程學系 國立臺灣大學地質科學系



2025 臺灣氣候變遷分析系列報告

暖化趨勢下的臺灣劇烈降雨與衝擊

Severe Precipitation and Impacts in Taiwan under Global Warming

Taiwan Climate Change Analysis Series Report 2025

主編 | 許晃雄 編輯群 | 陳昭安、曾宏偉、李欣輯、陳永明

作者群

臺灣早期劇烈降雨紀錄回顧

黃文亭 中央氣象署臺灣南區氣象中心
陳家琦 中央氣象署臺灣南區氣象中心
謝章生 中央氣象署臺灣南區氣象中心

從觀測資料看臺灣過去劇烈降雨

郭芮伶 中央氣象署
羅資婷 中央氣象署
洪景山 中央氣象署
陳昭安 國家災害防救科技中心
趙品諭 國家災害防救科技中心
陳正達 國立臺灣師範大學地球科學系

臺灣未來劇烈降雨推估

王俊寓 國家災害防救科技中心
陳昭安 國家災害防救科技中心
趙品諭 國家災害防救科技中心
蔡鴻鵬 國家災害防救科技中心
鄭兆尊 國家災害防救科技中心

美術設計 | 陳彥霓

書封設計理念

封面以衛星雲圖影像為設計主軸，結合簡化物件元素，如菱形為雲朵、斜線漸層為劇烈降雨、不規則波紋為氣流流動，讓整體視覺建構出本次報告主題畫面；封底使用災害實拍圖，強調劇烈降雨所帶來的衝擊結果。

劇烈降雨變化與災害衝擊－淹水災害領域

蕭逸華 國家災害防救科技中心
陳俊哲 國家災害防救科技中心
許至璵 中央研究院環境變遷研究中心
石棟鑫 國立陽明交通大學土木工程學系

劇烈降雨變化與災害衝擊－坡地災害領域

朱芳儀 國家災害防救科技中心
陳麒文 國立臺灣大學地質科學系

引用參考

主編與作者群，依作者姓氏筆畫順序：

許晃雄、王俊寓、石棟鑫、朱芳儀、李欣輯、洪景山、許至璵、郭芮伶、陳正達、陳永明、陳俊哲、陳昭安、陳家琦、陳麒文、曾宏偉、黃文亭、趙品諭、蔡鴻鵬、鄭兆尊、蕭逸華、謝章生與羅資婷，2025：暖化趨勢下的臺灣劇烈降雨與衝擊。國家災害防救科技中心

※封面照片取自於國家災害防救科技中心氣象組2024年康芮颱風衛星雲圖
※封底照片取自於國家災害防救科技中心坡地與洪旱組之尼莎颱風宜蘭臺7線崩塌與2024年凱米颱風高雄美濃淹水

摘要	07
前言	08
CHAPTER 01 臺灣早期劇烈降雨紀錄回顧	10
1. 臺灣日治時期的劇烈降雨紀錄	11
2. 日治時期的劇烈降雨事件	13
3. 日治時期劇烈降雨的特性	14
CHAPTER 02 從觀測資料看臺灣過去劇烈降雨	15
1. 臺灣極端降雨指標氣候分布	16
2. 不同延時強降雨過去變化	17
3. 事件觀點探討過去劇烈降雨事件	23
4. 重現期降雨指標	32

CHAPTER	03	臺灣未來劇烈降雨推估	37
	1.	統計降尺度 - 極端降雨指標	40
	2.	統計降尺度 - 重現期降雨指標	45
	3.	動力降尺度 - 影響臺灣颱風之劇烈降雨頻率變化	46
	4.	動力降尺度 - 歷史侵臺颱風個案之擬暖化推估	51
	5.	梅雨季與午後雷陣雨等其他型態劇烈降雨	58
CHAPTER	04	劇烈降雨變化與災害衝擊	60
	1.	劇烈降雨事件之降雨變化率分析	61
	2.	劇烈降雨事件之衝擊評估研究	63
結語			76
參考文獻			78
附錄			83



摘要

本報告為國家科學及技術委員會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫」(Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, 簡稱 TCCIP) 推動之以臺灣關鍵氣候議題為主題的「臺灣氣候變遷分析系列報告」, 本次為第三個主題「劇烈降雨」。

本報告整理日治時期的劇烈降雨文史紀錄、長期測站觀測資料以及 1960 年至 2023 的降雨網格化觀測資料, 透過定義極端降雨指標以及劇烈降雨客觀事件偵測分析顯示, 從氣候平均來看, 臺灣劇烈降雨呈現明顯季節性與區域差異。梅雨季與颱風季為主要劇烈降雨雨季; 空間上, 劇烈降雨分布集中於各季節迎風面地區、北部、中南部山區與部分東部地區, 其中臺灣北部與南部山區更是為 10 年與 50 年重現期降雨量最大的區域。

劇烈降雨近 30 年變化趨勢, 呈現強度更強且影響範圍更大的劇烈降雨事件, 這些事件主要來自於梅雨季與侵臺颱風。其中, 在各季節排名前百分之十事件, 季風環流變化、西南氣流配置結合南方水氣傳輸是主導劇烈降雨的環流特徵。

未來推估方面, 由統計降尺度資料分析之極端降雨指標顯示, 隨著全球暖化程度加劇, 除冬季之外, 極端雨日門檻、極端雨日日數與極端雨日總雨量在各地區普遍呈現增強趨勢, 尤以梅雨季與颱風季之山區變化最為顯著, 呈現濕區(季)越濕的時空特性。分析動力降尺度模擬推估之颱風事件與歷史侵臺颱風之擬暖化實驗之結果一致顯示, 隨全球暖化程度升高, 未來颱風對臺灣造成的強劇烈降雨發生將更為頻繁, 特別在山區迎風面。

暖化趨勢下增強且發生更為頻繁之劇烈降雨事件, 將對臺灣的災害帶來衝擊影響, 根據坡地與淹水衝擊的模擬, 隨暖化程度的加劇, 全臺大部分地區之災害衝擊將隨之增加。本報告分別以新店溪上游的坡地衝擊、鹽水溪不同淹水指標分析, 以及宜蘭地區淹水對農產業衝擊為例, 說明氣候變遷下因為劇烈降雨改變所導致的災害衝擊加劇, 及其可能在減災調適上之可能應用與討論。

前言

聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第六次評估報告 (以下簡稱 IPCC AR6) 指出，自 1950 年代以來，全球陸地觀測資料已顯示強降雨事件頻率、強度與總雨量皆有上升趨勢，且大部分的增加可歸因於人類活動因素的影響。全球暖化下，大氣中水氣含量增加，有利於極端降雨發生頻率與強度增加。氣候模式推估全球每升溫 1°C，極端降雨事件的頻率與強度平均增加約 7%，隨著暖化持續加劇，幾乎所有陸地地區的極端降雨都可能增加，且越罕見事件的增加幅度越大。

根據世界氣象組織 (WMO) 於 2020 至 2024 年期間出版的全球氣候狀態報告 (State of the Global Climate; WMO, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025)，亞洲 (中國、巴基斯坦、日本、韓國)、歐洲中部 (德國、比利時)、非洲與北半球高緯度地區等地出現多起相對於 1951-2010 年間的氣候，達前 10% 的豪雨洪水事件。這些事件部份來自於熱帶氣旋帶來的劇烈降雨，季風低壓、滯留低壓與鋒面等天氣系統帶來持續性大雨，也會導致極端的累積雨量，引發致災洪水事件。報告指出暖化趨勢下的罕見致災降雨與洪水事件，已經是全球氣候新狀態，對許多地區的社會經濟造成重大衝擊。

由於受西北太平洋—東亞季風之季風環流、鋒面活動、熱帶氣旋與臺灣複雜地形交互作用的影響，臺灣劇烈降雨具有獨特的季節性與區域性，是造成自然災害的主要因素之一，了解其過去與未來的變遷，是重要的氣候變遷科研與調適的課題。根據國家科學及技術委員會 (以下簡稱國科會) 與環境部發布的《國家氣候變遷科學報告 2024》(許晃雄等，2024)(以下簡稱科學報告 2024)，由於年代際變化的影響，臺灣長期測站觀測的劇烈降雨 (如大雨、豪雨、豪大雨等) 日數，在過去幾十年中，沒有明顯的增加或減少趨勢。然而，隨著暖化持續上升，氣候模式推估顯示未來臺灣西半部的梅雨季極端降雨日數與強度都將增加；未來影響臺灣的颱風數量可能顯著減少，但強颱風比例與其降雨強度增加。降雨型態分布將更為極端，意謂更高的淹水、坡地等災害風險。

本報告為國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫」(Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, 以下簡稱 TCCIP) 推動之以臺灣關鍵氣候議題為主題的「臺灣氣候變遷分析系列報告」。本次為第三個主題「劇烈降雨」, 包含極端降雨指標以及對臺灣可能造成衝擊的劇烈降雨事件, 收錄計畫團隊與國內學研單位對劇烈降雨議題的研究成果, 回顧呈現於科學報告中的劇烈降雨議題科研進展, 並且更新近期在文史紀錄、降雨事件偵測、季節極端降雨指標與颱風降雨的分析成果。

本報告第一章至第三章內容, 以交通部中央氣象署(以下簡稱中央氣象署)臺灣南區氣象中心的劇烈降雨文史紀錄為出發點, 了解早期臺灣劇烈降雨時空分布特性; 接著透過整合收錄長期測站觀測、TCCIP 網格化觀測資料與客觀事件偵測成果, 依據國際上常用的極端降雨指標、不同延時強降雨、劇烈降雨事件偵測, 以及重現期降雨強度, 呈現臺灣劇烈降雨特性; 未來推估方面, 利用統計降尺度與動力降尺度資料, 推估未來不同暖化程度下極端降雨指標與颱風降雨變化。

本報告第四章進一步探討在未來暖化的影響下, 降雨變化對淹水、坡地災害可能的衝擊, 初步彙整部份現階段利用氣候變遷推估資料在災害衝擊的案例研究, 以結合氣候科學資料與應用領域的衝擊評估, 提供未來各界透過氣候變遷劇烈降雨模擬資料, 持續發展衝擊評估應用工具與研擬調適策略的參考。



CHAPTER

01

臺灣早期劇烈降雨紀錄回顧

CHAPTER | 01 臺灣早期劇烈降雨紀錄回顧

1. 臺灣日治時期的劇烈降雨紀錄

清代臺灣地方志或遊記中偶有對臺灣降雨的描述，例如，朱仕玠的小琉球漫誌提到「臺地自九月至三、四月，雨甚稀少；至五、六、七、八月，始有大雨。有時自五月綿延至七、八月，罕有晴日。」（曹永和，1979），雖然僅是粗略的定性描述，但已呈現臺灣各月份的降雨特徵和大雨好發的月份。

臺灣定量且制度化的雨量觀測則始於 1896 年，臺北等地陸續設立測候所，燈塔、河川、水利、土木、農林等單位亦增設雨量站，至 1945 年進行雨量觀測的單位已超過兩百處。這些早期的雨量資料僅有測候所部分被完整保存並建立資料庫，得以被各界廣泛應用，而雨量站資料僅散見於早期的書籍或手稿中。

中央氣象署保存的手稿資料《臺灣氣象資料大全 - 降水》^[1]（臺灣省氣象局，1947）記錄 1896-1946 年雨量統計資料，各地觀測年數多則超過 50 年、少則僅有數年。除了以年、月的平均降雨分布，也有極端的降雨紀錄，含各測候所 1、4 小時降雨極端值，及測候所和雨量站日、月降雨累積值^[2]，並針對各項統計和極端值進行分析。彙整此手稿部分內容如下說明。

1 小時和 4 小時雨量極端值都以夏季最大、冬季最小，夏季由颱風、熱雷雨及不廣續線（鋒面）的降雨造成，1 小時最大為恆春 1943 年 6 月 13 日的 99.4mm，4 小時最大為新竹 1938 年 8 月 2 日的 287.5mm。冬季之 1 小時最大值在 20mm 以下較夏季少許多，主要原因受冬季季風或不廣續線降雨強度所限制。此外，平地不論夏季、冬季 4 小時雨量極端值都約為 1 小時雨量極端值的 2.5 倍。

臺灣各測候所及雨量站日雨量極端值的分布如圖 1，平地普遍在 500mm 左右，阿里山、中央山脈南端、秀姑巒溪上游附近為 700mm 以上之區域，北部沿海及臺東局部則在 300mm 以下。各地日雨量最大值均發生在夏季，主要是颱風所致，最大為庫瓦爾斯（今屏東縣泰武鄉泰武村）1934 年 7 月 19 日的 1127.0mm，是受到花蓮北部登陸的颱風影響。其次是竹崎 1945 年 9 月 3 日的 1050.0mm，因颱風由西部海面通過中部。紀錄第 3 名為奮起湖 1911 年 8 月 31 日的 1034.0mm，且有多個站的日降雨最大紀錄也都在此日，分別是大埔 969.3mm、幼葉林 890.0mm、達邦 852.1mm、公田 777.0mm，此為 1911 年由臺灣北部通過之颱風造成。

[1] 《臺灣氣象資料大全》共 22 冊，於 1945 至 1949 年間編製，涵蓋 1896-1946 年資料，係臺灣省氣象局於戰後移交時期，由留用日人編寫之氣象資料文字與圖檔。降水冊共八章 299 頁，包含 37 圖、29 表，惟部分已遺失。

[2] 雨量站僅有日雨量觀測資料，故無 1、4 小時降雨極端值紀錄。

至於連續數日之豪雨紀錄^[3]，在 50 年中 1500mm 以上的豪雨僅 6 次，2000mm 以上者 2 次。第 1 名與前述 1911 年日雨量極端值第 3 名為同一事件，颱風通過臺灣北部後西進，在南部山區連降豪雨達一週之久，臺南大埔降雨總計 2623.0mm。另一超過 2000mm 的事件是 1913 年 7 月 19 日，颱風由北部往西北方通過，造成阿里山附近之豪雨，奮起湖 3 日降雨達 2071.0mm。而非颱風造成連續數日的豪雨紀錄最多為 1912 年 6 月 17 日至 21 日，阿里山連續 5 日降雨達 1915.0mm，是因北部海上滯留性不廣續線及其線上發生的低壓所致。

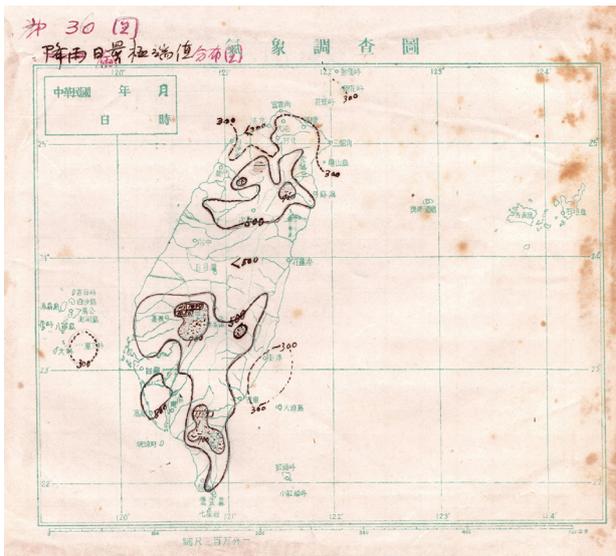


圖 1

日治時期日雨量極端分布圖。

(來源：《臺灣氣象資料大全 - 降水》)

各月平均日降雨強度（月雨量 / 月降雨日數）同樣顯示夏季最大、冬季最小，大部分地區降雨強度最大的月份都在 6 月到 8 月之間（圖 2），能高地區（中央山脈中北段）較早在 5 月，因 5 月之後高層先受西南風影響；宜蘭較晚在 9 月或 10 月，此時開始受東北季風影響。

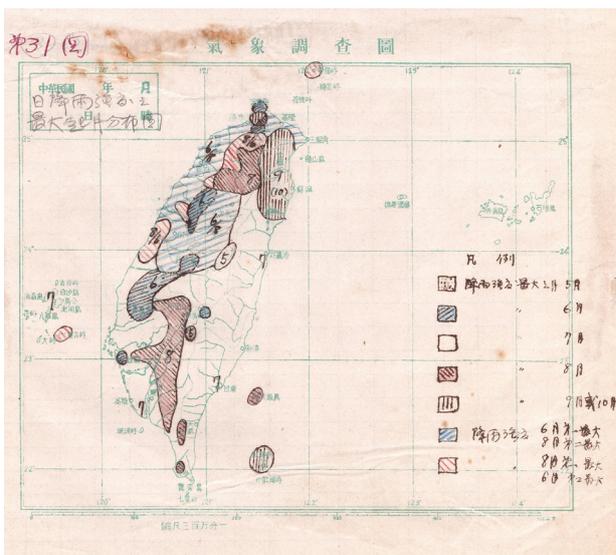


圖 2

日治時期日降雨強度最大月份分布圖。

(來源：《臺灣氣象資料大全 - 降水》)

[3] 因《臺灣氣象資料大全 - 降水》部分內容遺失，故無法得知連續數日之豪雨的定義。

2. 日治時期的劇烈降雨事件

依前述資料，分別挑選日治時期單日降雨最大和連續數日降雨最大的兩個極端事件加以說明。如前所述單日降雨最大發生在 1934 年 7 月 19 日，庫瓦爾斯日雨量達 1127.0mm，因非測候所的雨量站觀測在日治時期之後並未持續，故無法得知這個紀錄之後是否被打破。若由雨量觀測一直維持至今的測候所資料來看，同日恆春降雨 365.6 mm 為該地開始觀測以來的第 13 名，次日（20 日）臺南雨量 347.4mm、臺中 273.1mm、阿里山 468.8mm 分別為當地日雨量觀測紀錄的第 9 名、第 22 名及第 46 名。然而劇烈的降雨並不只在單一日，當時自 7 月 12 日起即因臺灣海峽上的低壓東移至臺灣且增強影響，南部各地開始降雨，16 日之後有一颱風由臺灣東部外海西行通過花蓮、臺北經基隆出海，颱風遠離後強烈的西南風在 20 至 22 日接續為臺灣南部地區帶來豐沛雨量，由 18 至 21 日的累積雨量圖（圖 3），南部山區累積雨量均超過 1000mm。而阿里山、恆春及臺南當年 7 月雨量分別達 1740.1mm、1199.2mm 及 1072.3mm，約為當地 7 月平均值的 3 至 4 倍，且均為這 3 站自設站以來 7 月降雨量第 2 名的歷史紀錄。在豪雨的襲擊下，南部多處紛傳淹水、民宅毀損、山崩、堤防潰堤、交通與電信中斷、農作物損失等災情。因淹水嚴重也在當時的報紙上留下地方知事勘災時於路上行舟的畫面（圖 4），而當時為因應嚴重的水患，地方首長與民眾積極爭取堤防的加高與延長、橋梁改以水泥建造等，也成為當時災後重建的重要議題。

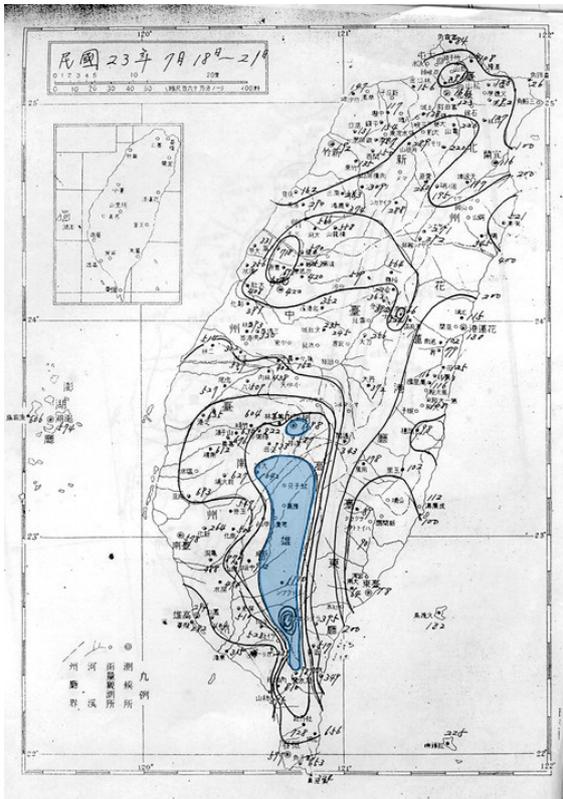


圖 3 1934 年 7 月 18 日至 21 日雨量分布圖，藍線區代表雨量超過 1000mm 以上。（來源：中央氣象署）



圖 4 高雄州岡山受災景況（左：西澤高雄州知事視察、右：災民接受庄役場的炊飯救助）。（來源：《臺灣日日新報》1934 年 7 月 23 日日刊 3 版）

連續數日降雨量最大為 1911 年 8 月底連續兩個颱風侵襲臺灣之際，兩個颱風路徑如圖 6 右下小圖所示，第一個颱風由臺灣南部以非常接近恆春半島的距離沿著西南部沿岸北上，短暫登陸安平後出海往澎湖移動；第二個颱風於臺灣東北角登陸，在陸地上轉了一圈，橫越臺北南邊後由臺灣西岸出海。颱風離開後西南氣流持續影響（如圖 5），中央山脈之迎風面仍大雨不斷。臺南山區雨量超過 2000mm，高雄山區也超過 1200mm，而南部平地降雨約在 400~800mm，此外，中部沿海大安溪一帶降雨接近 1000mm（如圖 6）。在強風豪雨的摧殘下，整個臺灣西半部災情慘重，各地淹水廣泛、建物傾倒、交通中斷、農地毀損等，共造成 451 人死亡，房屋全倒和半倒分別超過 1 萬多間，房屋淹水更超過 10 萬戶。當時首都臺北市區以土角厝居多，因浸水而大量倒壞，事後官方順勢加速進行臺北都市更新，奠定日後臺北城區的建築新風貌。因颱風造成嚴重水患，也引發後續治水政策的討論，促使臺灣總督府於隔（1912）年成立河川調查委員會，發布「河川取締規則」，進行全島河川管理及堤防建設。

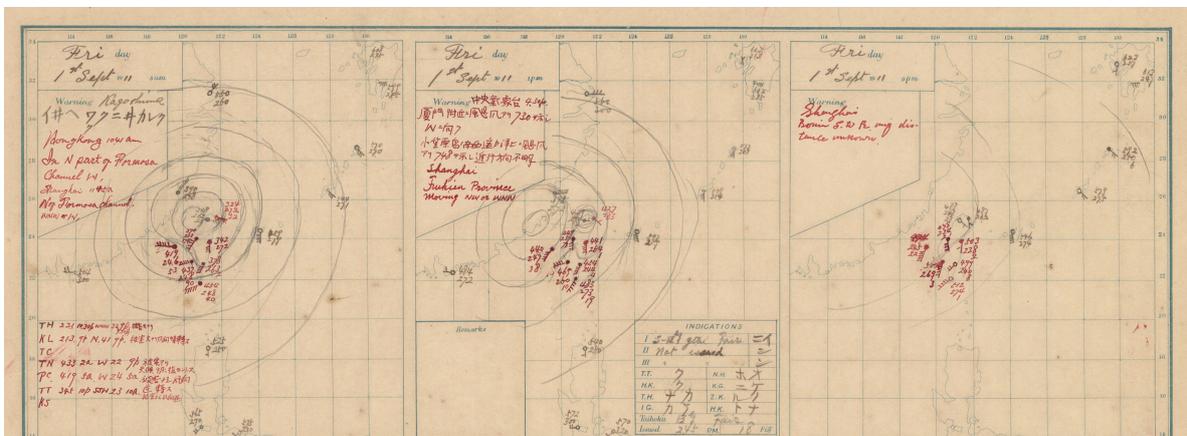


圖 5 1911 年 9 月 1 日天氣圖部分內容。（來源：中央氣象署）

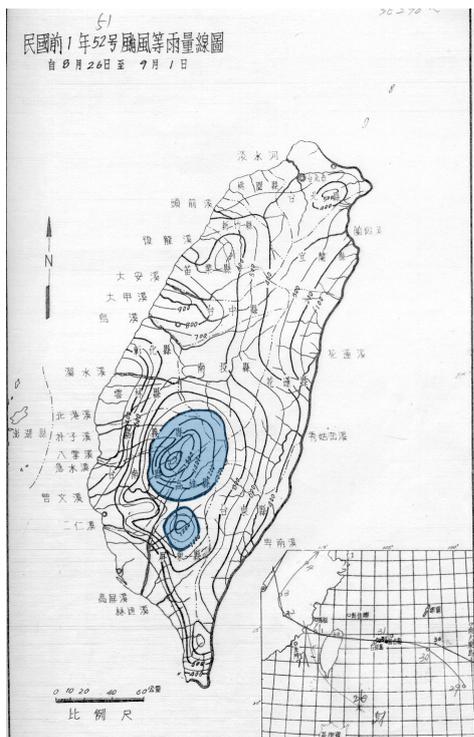


圖 6 1911 年 8 月 26 至 9 月 1 日累積雨量分布圖及颱風路徑，藍線區代表雨量超過 1000mm 以上。（來源：中央氣象署）

3. 日治時期劇烈降雨的特性

《臺灣氣象資料大全 - 降水》的統計顯示日治時期劇烈降雨主要為颱風及其後西南氣流所致，由不廣續線（鋒面）及低氣壓影響的相對極少。迎風面山地是颱風造成降雨的極大區，因此北部通過的颱風主要造成阿里山附近的豪雨、中部通過的颱風造成中央山脈南端的豪雨、由南部陸地或巴士海峽通過的颱風則多造成中央山脈東側的豪雨，這可算是當時臺灣劇烈降雨樣態的大致概念。



CHAPTER

02

從觀測資料看臺灣過去劇烈降雨

CHAPTER | 02 從觀測資料看臺灣過去劇烈降雨

1. 臺灣極端降雨指標氣候分布

臺灣的劇烈降雨型態受到大尺度環流變化、地形影響與季風系統的多重作用。Henny et al. (2021) 使用 TCCIP 網格化觀測資料 (翁叔平與楊承道, 2012; 翁叔平與楊承道, 2020; 林士堯與楊承道, 2023) 的日降雨變數, 分析 1961-2016 年間選取日降雨強度排序達第 99 百分位的降雨 (PR99) 作為極端降雨指標, 不同季節與不同地區會有不同的極端降雨量值, 藉以呈現臺灣不同自然季節的極端降雨分布。本次報告使用科學報告 2024 之自然季節定義, 更新資料重製 Henny et al. (2021) 的極端降雨指標空間分布 (圖 7), 呈現臺灣地區與季節間的降雨特性的顯著差異。

如圖 7, 在冬季 (12 月至 1 月) 受東北季風與鋒面影響, 極端降雨較大值主要集中在臺灣的東北部沿海迎風面地區, 西南部地區的極端降雨相對較弱; 春雨季 (2 月至 4 月) 較強的極端降雨主要分布在新竹至臺中、南投山區, 較冬季更為擴大, 顯現春季鋒面降雨對於臺灣北部與中部的明顯貢獻; 進入梅雨季 (5 月至 6 月), 極端降雨明顯增強, 在臺灣南部及中部山區有較大值; 在颱風季 (7 月至 9 月), 各地的極端降雨指標數值明顯比其他季節大許多, 受地形與午後對流影響, 最大值發生於臺灣西南部山區、北部山區與東部。秋季季 (10 月至 11 月) 極端降雨指標數值呈現季節轉換的空間特徵, 主要集中在東北部與東部地區, 主要影響因素為颱風與東北季風中的鋒面, 以及兩者的共伴效應。冬季與春季的極端降雨主要受鋒面與東北季風影響, 區域分布集中於北部與東北部, 明顯與其他三個季節不同。

由全年極端降雨指標來看, 極端降雨分布主要來自梅雨季與颱風季的貢獻, 主要區域為南部山區、北部山區與部分東部地區, 冬季則因東北季風的影響, 極端降雨發生於東北部地區。整體而言, 圖 7 呈現季風、颱風及地形效應對臺灣劇烈降雨的影響, 本報告使用更新至 2023 年資料之分析結果, 與 Henny et al. (2021) 一致。

若比較各季節的極端降雨分布與天氣型態, 雖然梅雨季與颱風季的極端降雨空間分布相似, 然而兩者機制不同。梅雨季的極端降雨主要來自梅雨鋒面活動與西南氣流。颱風季則因為颱風受地形影響, 在迎風面產生強降雨。此外, 午後對流也會在局部地區形成強降雨。

冬季與春季的極端降雨強度相對較低。冬季受到東北季風鋒面影響, 極端降雨主要集中在臺灣東北角迎風面處, 此時是其他地區極端降雨強度相對較低的季節, 為臺灣的乾季。春雨季除了受到東北季風影響, 同時西南方水氣也開始逐漸影響臺灣, 可見春季較強的極端降雨分布在臺灣西北部雪山山脈迎風面附近。春季和秋季皆為臺灣降雨的過渡季節, 然而兩者在極端降雨指標的空間特徵呈現相反分布, 說明在局地地形與不同季節季風風向形成臺灣季節降雨的地理分布特性。

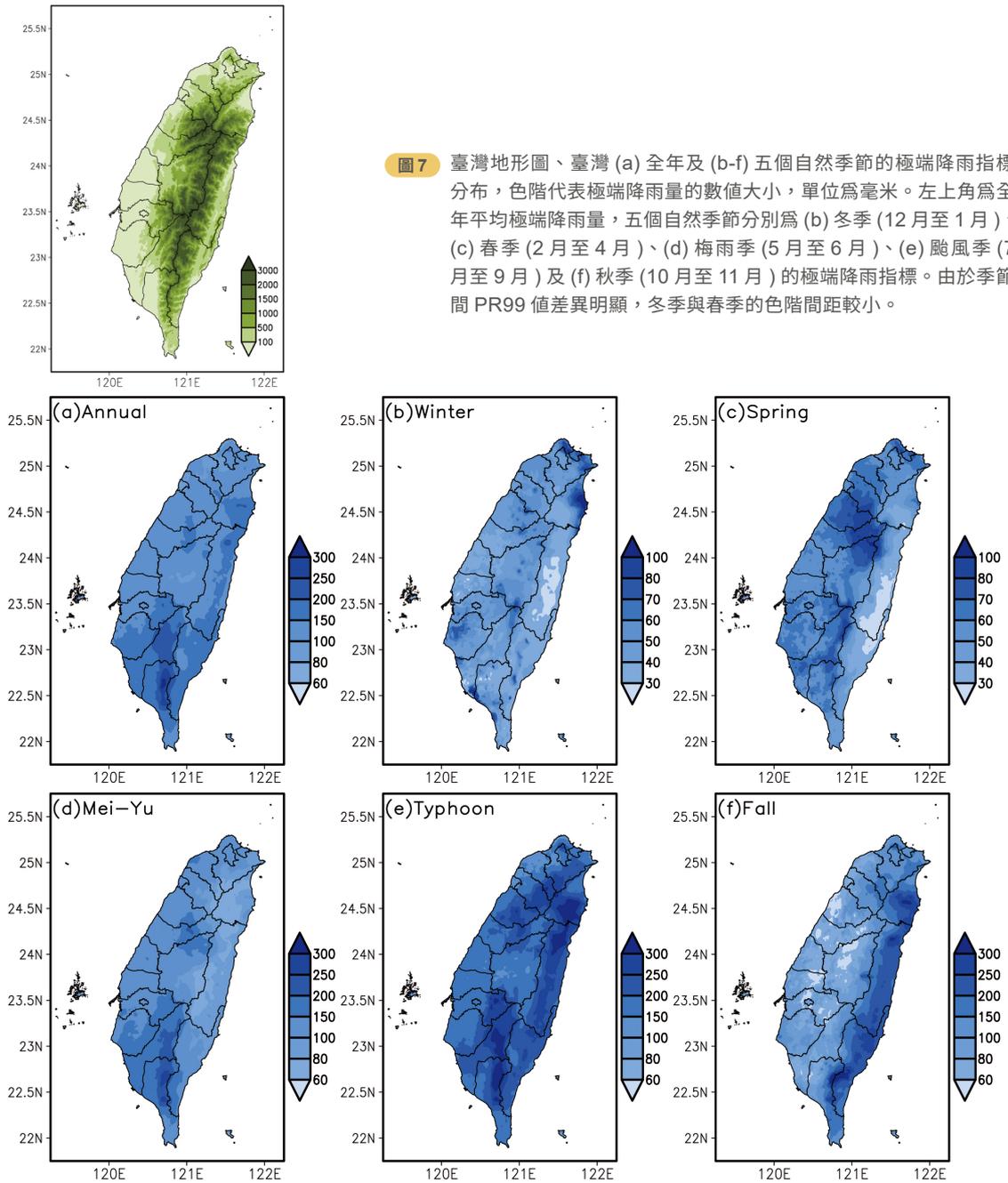


圖7 臺灣地形圖、臺灣 (a) 全年及 (b-f) 五個自然季節的極端降雨指標分布，色階代表極端降雨量的數值大小，單位為毫米。左上角為全年平均極端降雨量，五個自然季節分別為 (b) 冬季 (12 月至 1 月)、(c) 春季 (2 月至 4 月)、(d) 梅雨季 (5 月至 6 月)、(e) 颱風季 (7 月至 9 月) 及 (f) 秋季 (10 月至 11 月) 的極端降雨指標。由於季節間 PR99 值差異明顯，冬季與春季的色階間距較小。

2. 不同延時強降雨過去變化

以日資料所呈現的極端降雨指標可反映臺灣劇烈降雨的季節分布。從更細緻的時間尺度來看，不同持續時間的強降雨對應不同天氣型態，並可能造成不同類型的降雨災害。本節透過長期測站觀測資料，進一步分析臺灣的年最大時降雨與不同延時降雨變化，呈現劇烈降雨在時間尺度上的細緻特徵。

◆ 2.1 最大時雨量變化

為探討臺灣過去的短延時強降雨長期趨勢及變化特徵，針對氣象署 22 個縣市代表站當中，觀測資料達 30 年以上的 12 個測站（如表 1 所示），分析 1960-2023 年期間各測站每年最大時雨量的變化趨勢。

表 1 臺灣 22 個縣市之參考氣象站（氣象署所屬氣象站）。其中觀測資料年份不足 30 年之縣市代表站以灰色字體標示。

縣市	站碼	站名	海拔 (m)	測站年份	
				起始年	觀測 n 年 (至 2023)
臺北市	466920	臺北	5.3	1897-	127
新北市	466880	板橋	9.7	2002-	22
桃園市	467050	新屋	20.6	2014-	10
新竹市	C0D660	新竹市東區	65	2015-	9
新竹縣	467571	新竹	26.9	1992-	32
苗栗縣	C0E750	苗栗	62	2012-	12
基隆市	466940	基隆	26.7	1947-	77
臺中市	467490	臺中	84	1897-	123
彰化縣	467270	田中	48.6	2021-	3
南投縣	C0I460	南投	110	2016-	8
雲林縣	C0K400	斗六	65	2016-	8
嘉義市	467480	嘉義	26.9	1967-	54
嘉義縣	C0M680	太保	37	2016-	8
臺南市	467410	臺南	40.8	1897-	127
高雄市	467440	高雄	2.3	1932-	92
屏東縣	467590	恆春	22.3	1897-	127
宜蘭縣	467080	宜蘭	7.2	1936-	88
花蓮縣	466990	花蓮	16.1	1911-	113
臺東縣	467660	臺東	9	1901-	123
澎湖縣	467350	澎湖	10.7	1897-	127
金門縣	467110	金門	47.9	2005-	19
連江縣	467990	馬祖	97.8	2004-	20

結果顯示，12 個縣市代表站中，僅臺北及高雄 2 個測站的年最大時雨量有顯著增加趨勢（通過 90% 信心度統計檢定），亦可明顯看見近 10 年來的小時降雨強度有所增強（圖 8）。基隆、嘉義、恆春、宜蘭及臺東 5 個測站雖然也呈現增加趨勢（附錄圖 1），但不具統計顯著性（未通過檢定），其餘測站則有減少趨勢（同樣未通過檢定）。新竹、臺中、嘉義及澎湖站雖無明顯長期趨勢，但在 1970 到 1980 年及 2000 到 2010 年期間，降雨強度皆有明顯增強的現象，此特徵主要發生於臺灣中西部，推測可能與特殊的氣候年代際變化有關，目前尚未有足夠文獻說明此一現象。

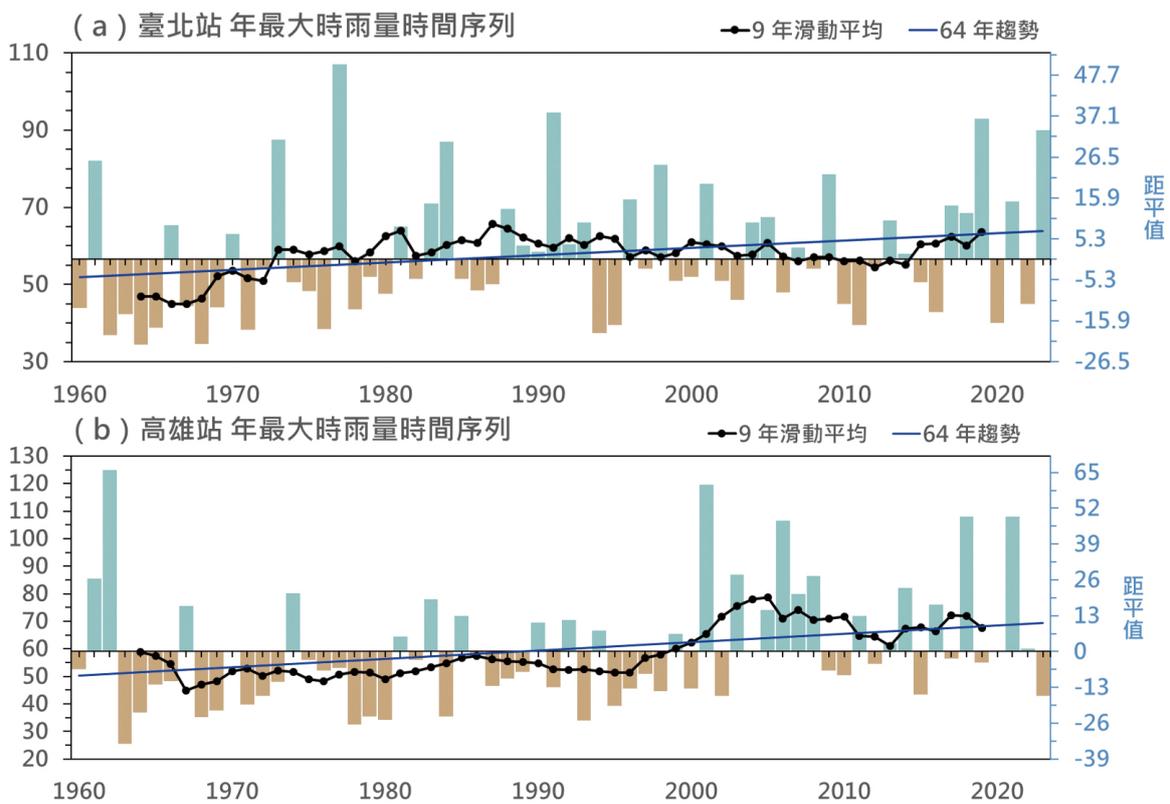


圖 8 1960 年至 2023 年 (a) 臺北與 (b) 高雄 2 個測站每年最大時雨量之時間序列與變化趨勢。橫軸為年份，縱軸為雨量值（單位：毫米）。圖中柱狀圖表示距平值，橫軸標示位置為 1991-2020 年氣候平均，綠色表示高於氣候值，褐色表示低於氣候值。趨勢線為實線，表示通過統計檢定^[4]。

[4] 統計檢定：為檢驗趨勢改變是否具有顯著性，並確保趨勢變化非由隨機變異所引起，以統計檢定檢驗其顯著性，使用 90% 信賴區間做為評估其量值的可信度。

圖 9 分別是臺北及高雄在 1960-2023 年期間，前 30 年（1960-1989）與後 30 年（1994-2023）每日觀測到的最大時雨量值分布變化。不論前後期，大致都呈現小雨發生頻率高、大雨發生頻率低的 Gamma 分布，不過可以發現我們所關注的強降雨量值區間（40 毫米以上）發生頻率，在後期有增多的情形，其分布曲線較前期略往右偏移，顯示高雄的小時降雨量強度在近期有較為增強的傾向，而臺北的小時雨量增強趨勢較不明顯。

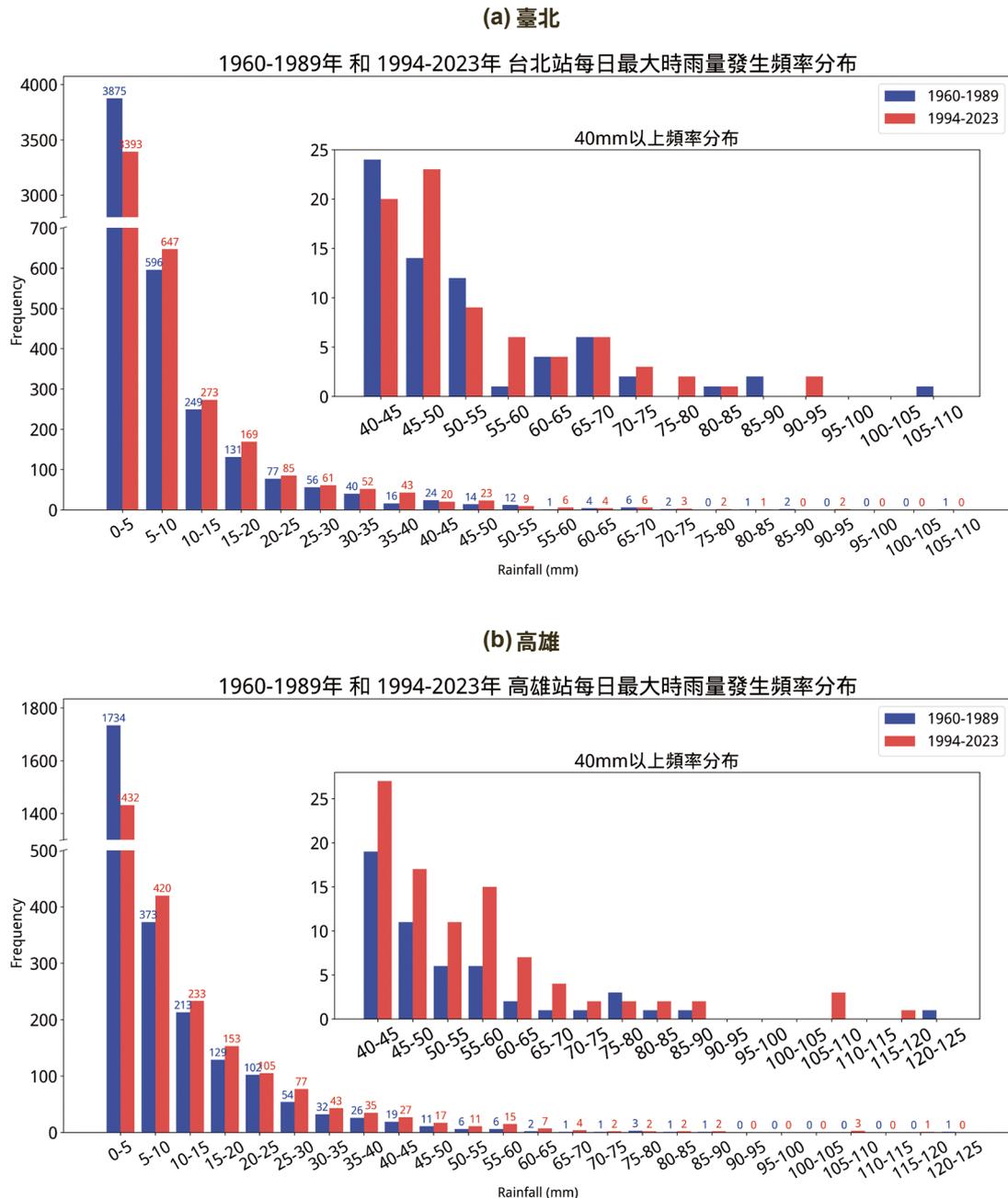


圖 9 (a) 臺北與 (b) 高雄測站 1960 年至 2023 年間，每日最大時雨量觀測頻率分布：前期（1960-1989，藍色）與後期（1994-2023，紅色）。橫軸為不同雨量值區間（單位：毫米），縱軸為發生頻率。

進一步統計臺北和高雄站近期（2011-2023）每年最大時雨量發生時段，以及主要的影響天氣型態（附錄）。由圖 10 可以發現在最近十幾年內，引起臺北發生極端短延時強降雨的天氣型態，主要以暖季的午後對流為最大宗（54%），其次是鋒面（38%），颱風和熱帶性低氣壓的貢獻佔比最低（8%）。高雄則是午後對流、颱風和熱帶性低氣壓兩者的貢獻佔比相當（31%），鋒面影響居次（23%），其餘多為南方水氣與西南風天氣型態所導致。此一結果表示近期造成極端短延時強降雨事件的原因，多與午後對流有關，不再是以颱風或熱帶性低氣壓為主因（吳等，2016），尤其是臺北地區。臺北由於盆地地形影響，暖季高溫加熱下本就易有午後熱對流發展，影響短延時強降雨的天氣系統佔比之所以在近期有所改變，除了跟鄰近臺灣的颱風數量在最近 20 年呈現減少趨勢有關外，全球暖化下的都市熱島效應也有加強午後或局部對流降雨強度的可能性（Bornstein and Lin, 2000；Chen et al., 2007）。

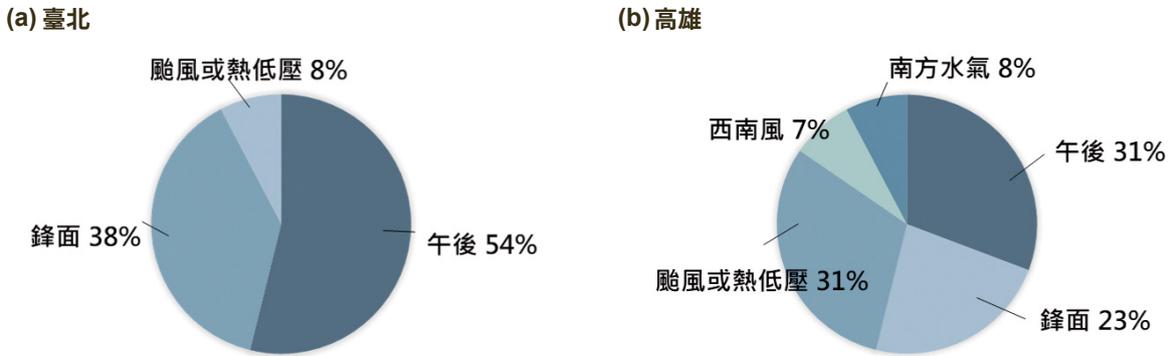


圖 10 近期 2011 至 2023 年 (a) 臺北及 (b) 高雄 2 個測站，各年最大時雨量發生時段之影響天氣系統佔比統計。

◆ 2.2 不同延時強降雨與天氣型態的氣候分布

不同天氣類型影響臺灣的時間長短各異，例如午後雷陣雨、颱風、鋒面活動、西南氣流與熱帶氣旋與東北季風共伴等，其帶來劇烈降雨的持續時間不同，盛行季節與地理空間分布可能也會有差異。強降雨持續時間的長短，可能導致不同類型的災害。因此，在探討劇烈降雨時，除了關注最大時雨量，從不同延時強降雨的觀點探討劇烈降雨特徵與變化，對於氣象監測、即時防災預警與短期預報模式的應用具有重要意義。

吳宜昭等 (2016)、黃柏誠等 (2019) 利用氣象署測站降雨資料，將天氣類型分類為熱帶氣旋、鋒面、西南氣流、東北季風、熱帶氣旋與東北季風共伴、午後對流等，共計十四類，分析臺灣地區不同延時強降雨事件的氣候特性，歸納臺灣不同延時降雨的氣候分布特徵、降雨類型與天氣型態，以及變化趨勢。國家災害防救科技中心《臺灣極端降雨：1992-2024 年事件彙整》(黃紹欽等，2025) 延續吳宜昭等 (2016) 之定義，利用 1992 至 2024 年有完整紀錄的測站降雨資料，更新極端降雨事件彙整。綜合吳宜昭等 (2016)、黃柏誠等 (2019) 與黃紹欽等 (2025)，臺灣不同延時強降雨事件特徵可歸納如圖 11。

臺灣降雨的盛行季節與地理分布受到東亞 - 西北太平洋季風結合臺灣地形影響，在北部地區的短延時強降雨 (降雨時間持續 1-3 小時之間) 主要來自午後對流 (6-8 月)、梅雨鋒面 (5-6 月) 以及熱帶氣旋 (7-9 月)；長延時強降雨 (降雨時間持續 6-24 小時之間) 則來自熱帶氣旋 (7-10 月) 以及東北季風 (9-12 月) 的貢獻。中部地區短延時強降雨則與午後對流 (6-8 月) 以及梅雨鋒面 (5-6 月) 有關；長延時強降雨則為梅雨鋒面 (5-6 月) 與熱帶氣旋 (7-9 月) 的貢獻。南部地區的短延時強降雨受到梅雨鋒面 (5-6 月)、西南或偏南氣流 (7-8 月)、午後對流 (7-9 月) 以及熱帶氣旋 (7-9 月) 共同的影響；除了午後對流之外，其餘三種天氣類型同時也是南部地區的長延時降雨來源。東部地區受到午後對流導致的短延時強降雨次數較少，主要由熱帶氣旋 (7-9 月) 以及東北季風 (10-11 月) 帶來短延時強降雨；在長延時強降雨方面，除了熱帶氣旋 (7-10 月) 以及東北季風 (9-12 月) 的貢獻，還有熱帶氣旋與東北季風共伴 (10-12 月) 也會為東部地區帶來長延時強降雨。

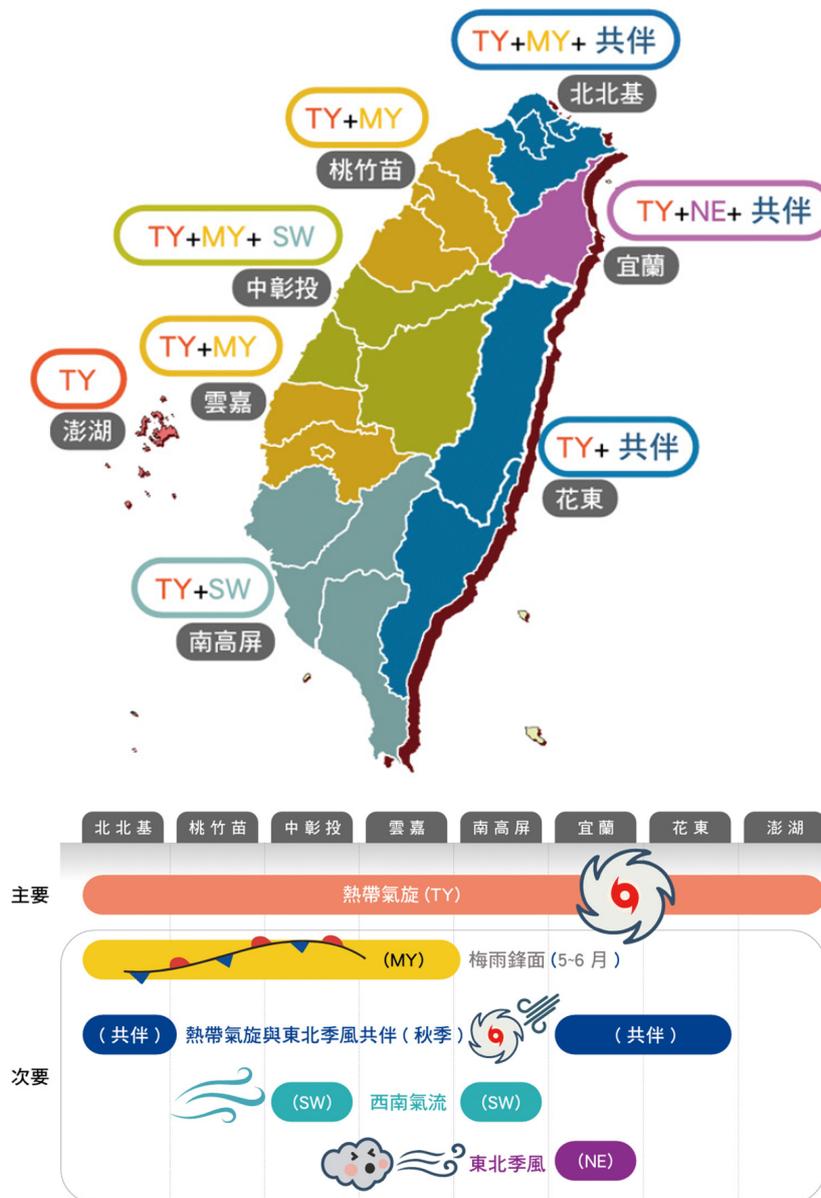


圖 11 臺灣劇烈降雨天氣類型與季節分布。(資料來源：《臺灣極端降雨：1992-2024 年事件彙整》)

3. 事件觀點探討過去劇烈降雨事件

過去研究針對臺灣劇烈降雨的頻率與強度的分析多以不同定義的降雨指標進行分析 (Henny et al. 2021 ; Tung et al.2016)，例如年最大一日降雨量 (Rx1day)、降雨量大於 20mm 之日數 (R20mm)、降雨量大於 95 百分位之累積降雨量 (R95p) 等。這些以單點數值統計的指標，具備計算簡便且易於比較的優勢。然而，劇烈降雨事件往往具有時間上的持續性，並在空間上隨天氣系統發展擴展其影響區域。如果想要更深入探討事件特性與影響範圍，對不同劇烈降雨事件進行比較，則需要進一步評估劇烈降雨的強度、持續時間與空間分布等綜合特性，提供客觀的量化結果。透過事件觀點的客觀偵測方法，便可保留上述資訊，進行整體結構評估，有助於對劇烈降雨事件的分布與長期趨勢有更全面的了解。因此本節以事件角度進行分析，透過個別事件的三維時空訊息了解臺灣劇烈降雨事件在頻率與強度上之變化。

◆ 3.1 劇烈降雨事件定義

為保留劇烈降雨事件的時空特徵以及個別事件的特性，Lo et al.(2021) 曾提出客觀事件偵測方法追蹤劇烈天氣事件；趙品諭 (2023) 亦曾應用相同方法於 0.05 度網格化觀測日降雨資料 (翁叔平與楊承道，2018)，以追蹤分析臺灣劇烈降雨事件。本節延續該事件偵測方法，並將同組降雨資料更新至 2023 年，所採用的劇烈降雨標準也延續採用中央氣象署訂定之大雨標準，追蹤過去日降雨量大於 80 毫米以上且達一定影響範圍面積 (約為一天達 750km² 或兩天達 350km²，依此類推) 的降雨事件，並將視其為一獨立的劇烈降雨事件。以圖 12 為例，透過事件偵測方法所界定的每場事件，皆具有水平空間與時間的時空連續性。而個別事件可根據發生空間與時間的網格位置，計算網格對應的降雨強度、面積、時長乘積以取得該事件之總降雨體積，並以此作為事件總強度的指標。

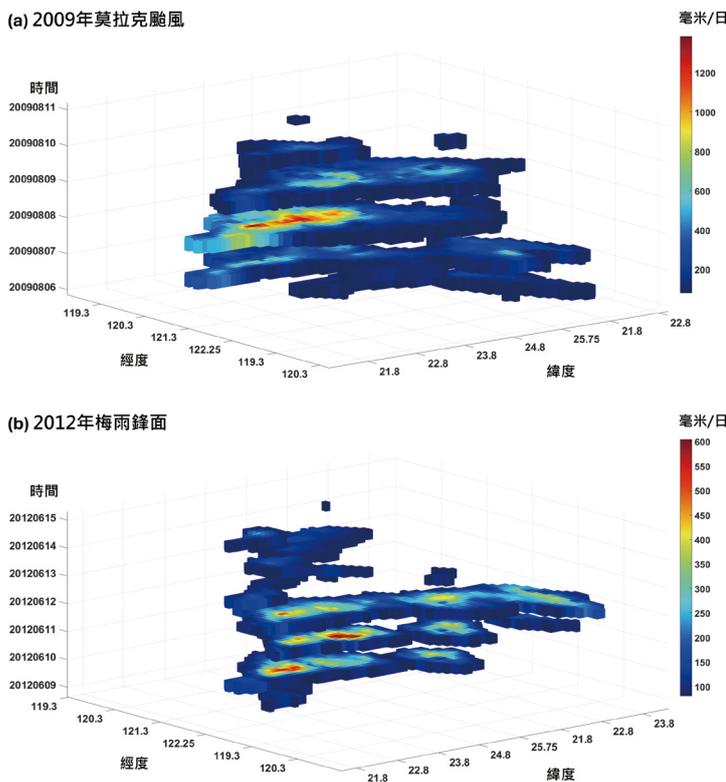


圖 12 在資料空間上利用客觀事件偵測方法追蹤的劇烈降雨事件，以 (a) 2009 年莫拉克颱風事件、(b) 2012 年 6 月梅雨鋒面事件為例。

◆ 3.2 臺灣歷史前十強劇烈降雨事件

根據觀測資料所追蹤出的所有臺灣劇烈降雨事件中，將事件總降雨體積視為事件總強度並依其大小進行事件排名，可篩選出過去 64 年間臺灣前十強劇烈降雨事件。排名如表 2，臺灣的前十強劇烈降雨事件分布於 6 至 9 月，且超過一半以上的事件發生於近 20 年內。

表 2 1960 年至 2023 年間臺灣前十強劇烈降雨事件表。

排名	事件年	事件時間	總降雨體積 (百萬立方公尺)	事件
1	2009	8/6-8/11	24339.416	莫拉克颱風
2	2005	7/17-7/21	17955.000	海棠颱風
3	2004	6/30-7/5	14892.322	敏督利颱風
4	2021	7/30-8/9	14617.136	西南氣流與盧碧颱風
5	2008	9/12-9/15	13325.167	辛樂克颱風
6	1963	9/9-9/14	13239.314	葛樂禮颱風
7	1989	9/9-9/13	12747.173	莎拉颱風
8	2012	6/9-6/15	12712.017	梅雨鋒面
9	2006	6/8-6/11	12443.515	梅雨鋒面
10	2001	9/16-9/19	12361.547	納莉颱風

若以事件肇因進行分類，前十強事件中有八場是侵臺颱風所致，更包含前三強事件。其中臺灣最強之劇烈降雨事件為 2009 年中颱莫拉克所帶來之劇烈降雨，不僅打破臺灣累積雨量紀錄，更造成大規模崩塌、土石流、洪水、橋梁斷裂、農漁牧業損失等多項災害。然而除莫拉克外，其餘七場颱風所致之劇烈降雨事件也都有類似損失損害情形發生，其中包含輕度、中度及強烈颱風，有些更伴隨強烈西南氣流。而前十強事件中，除侵臺颱風所致之劇烈降雨事件外，其餘兩場則為梅雨鋒面所致。此兩場事件為 2006 年 6 月及 2012 年 6 月的梅雨鋒面，皆伴隨強西南氣流 (附錄圖 2)，並挾帶豐沛水氣，造成臺灣多地區發生淹水災情。

過去的劇烈降雨事件排名顯示，臺灣經歷過最強的劇烈降雨事件中，主要以侵臺颱風與梅雨鋒面所帶來的降雨為主，且這些事件對於臺灣皆有一定的影響力。其中強烈的西南氣流更扮演了加強的角色，如近期的歷史第四強的劇烈降雨事件，先後由低壓帶及西南氣流肇始，再由盧碧颱風接續，最後再以西南氣流增強，為臺灣帶來了超過一週的強降雨事件 (李宗融等，2021)。

3.3 臺灣劇烈降雨事件數量長期變化

臺灣劇烈降雨事件數量年際變化及季節分布

根據上節所定義之劇烈降雨事件，臺灣在 1960 年至 2023 年間發生的劇烈降雨事件共有 1016 場，平均每年約 16 場。如前所示，由於影響降雨實際發生位置的因素多元且區域性強，單一測站不見得有增加趨勢，若考慮整體臺灣的每年劇烈降雨事件次數，過去 64 年間則呈現顯著上升趨勢 (圖 13a)。推測是因為周遭大氣與海洋環境的改變 (如海溫上升、水氣傳送增加)，導致降雨效率提高，有利劇烈降雨事件發生。臺灣劇烈降雨事件在各月份皆有發生，冬季及春季整體數量較少，但自梅雨季開始逐漸增加，並在六月達到事件數量上的峰值，而夏季則在八月達到第二個峰值後，秋季才減緩 (圖 13b)。若進一步根據事件總降雨體積排名，從所有事件中篩選出前百分之十的劇烈降雨事件，則可看到除了 2004 年 12 月南馬都颱風帶來的一場劇烈降雨事件外，排名較前的事件主要分布在五至十月之間 (圖 13b)。

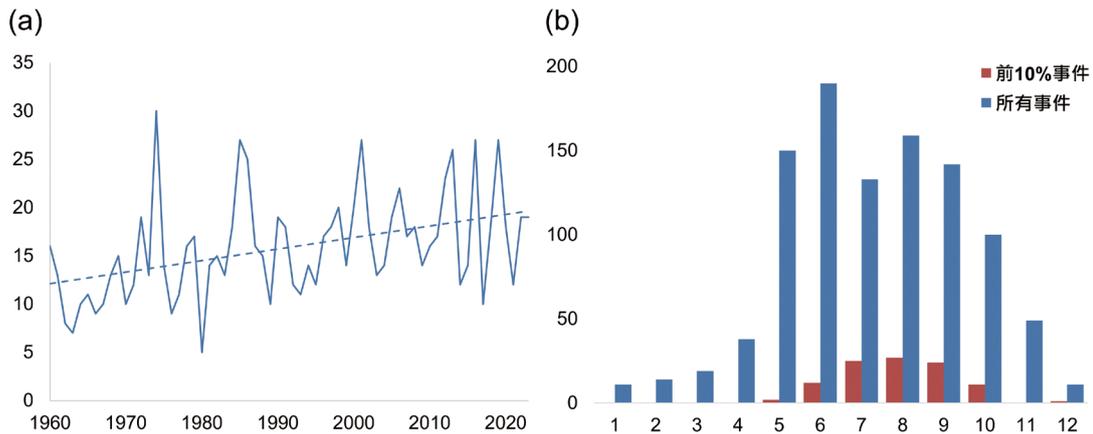


圖 13 1960-2023 年臺灣劇烈降雨事件 (a) 總數的逐年變化、(b) 數量月分布圖。

各季節事件前後期數量變化

臺灣的降雨季節主要分為春季、梅雨季、夏季、秋季及冬季，各季節的天氣型態所挾帶之劇烈降雨特性皆不同，因此本節將區分不同的降雨季節，在相似的綜觀天氣條件下，觀察劇烈降雨事件發生的次數變化，以及發生位置的空間分佈變化。侵臺颱風為臺灣劇烈降雨事件的主要貢獻之一，其影響橫跨多個季節，因此本節採用李清騰與盧孟明 (2012) 的侵臺颱風定義，利用颱風中心進入距離臺灣海岸線 300 公里範圍內的條件，篩選出中央氣象署颱風資料庫中侵臺颱風的警報發布與解除時間，依序將侵臺颱風貢獻之劇烈降雨事件自五個自然季節中排除，並視為一獨立季節進行探討。

本節將 1960 年至 2023 年間的臺灣劇烈降雨事件分為 1960 年至 1989 年與 1994 年至 2023 年兩個時期，並以此前後 30 年的事件進行比較。臺灣劇烈降雨事件在前 30 年共有 421 場事件、後 30 年則有 535 場事件，事件主要發生於侵臺颱風期間及梅雨季，其次為夏、秋兩季，春、冬季則最少。而在各季節中，相較於前 30 年，梅雨季的事件數增加最多（圖 14a）。但以改變率來看，冬季、春季及秋季則有較明顯的增加，且冬季劇烈降雨事件數量的增加率最大（圖 14b）。而侵臺颱風期間及夏季的事件數量變化則較小。若進一步比較前後 20 年各季節之事件數量差異，除侵臺颱風期間及夏季外，其他季節的事件數量改變率會更為顯著。

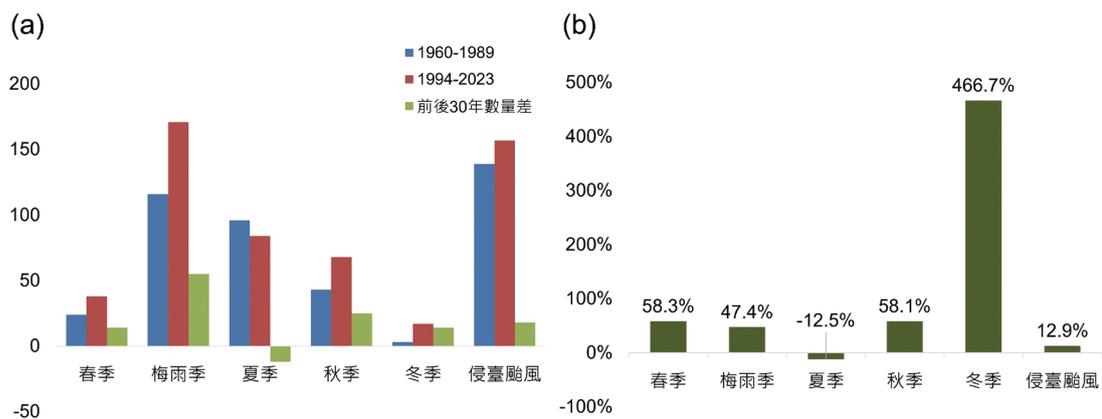


圖 14 1960-2023 年間前後 30 年在各季節的臺灣劇烈降雨事件數量及變化。(a) 為前後 30 年的事件數量及變化量，(b) 為變化率。

在過去侵臺颱風期間及五個自然季節中，透過事件追蹤方法之特性，以各事件主要降雨分布最集中且最強之位置作為每場事件的代表位置，可探討臺灣前後 30 年劇烈降雨事件的發生位置變化。臺灣在春季及梅雨季的降雨主要受到鋒面影響 (Chen and Chen 2003)，其中春季劇烈降雨事件數量在前後 30 年間空間變化如圖 15a，除南部地區的事件數整體呈增加外，中部山區 (同時也是春季的降雨熱區) 的變化則最為顯著，在後 30 年間增加了近十場的劇烈降雨事件。而梅雨季的劇烈降雨事件數量整體較多，除東部事件數較少外 (附圖 3b)，後 30 年的西半部幾乎都呈增加，並且以北部、東北部的變化最為顯著 (圖 15b)。

由前後 30 年的比對，侵臺颱風期間所發生之劇烈降雨事件變化與梅雨季相似 (圖 15b 與圖 15f)，皆為貢獻臺灣劇烈降雨的兩個主要類別，且前後 30 年皆有超過百場的事件發生 (圖 14a)。但受到颱風路徑帶來的不確定性影響，降雨事件發生的位置也會有所變化 (Chen et al. 2007)，因此區域的劇烈降雨事件數量除北部山區，較無明顯變化 (圖 15f)。臺灣的夏季劇烈降雨事件發生位置主要分布於南部地區 (附圖 3c)，除了侵臺颱風之貢獻外，夏季降雨主要受到季風槽、熱帶性低氣壓、西南氣流，以及非侵臺颱風之外圍環流等天氣系統所主導 (Chen and Chen 2003)，在低壓帶影響下，該季的前後 30 年事件數變化也較無明顯趨勢 (圖 15c)。

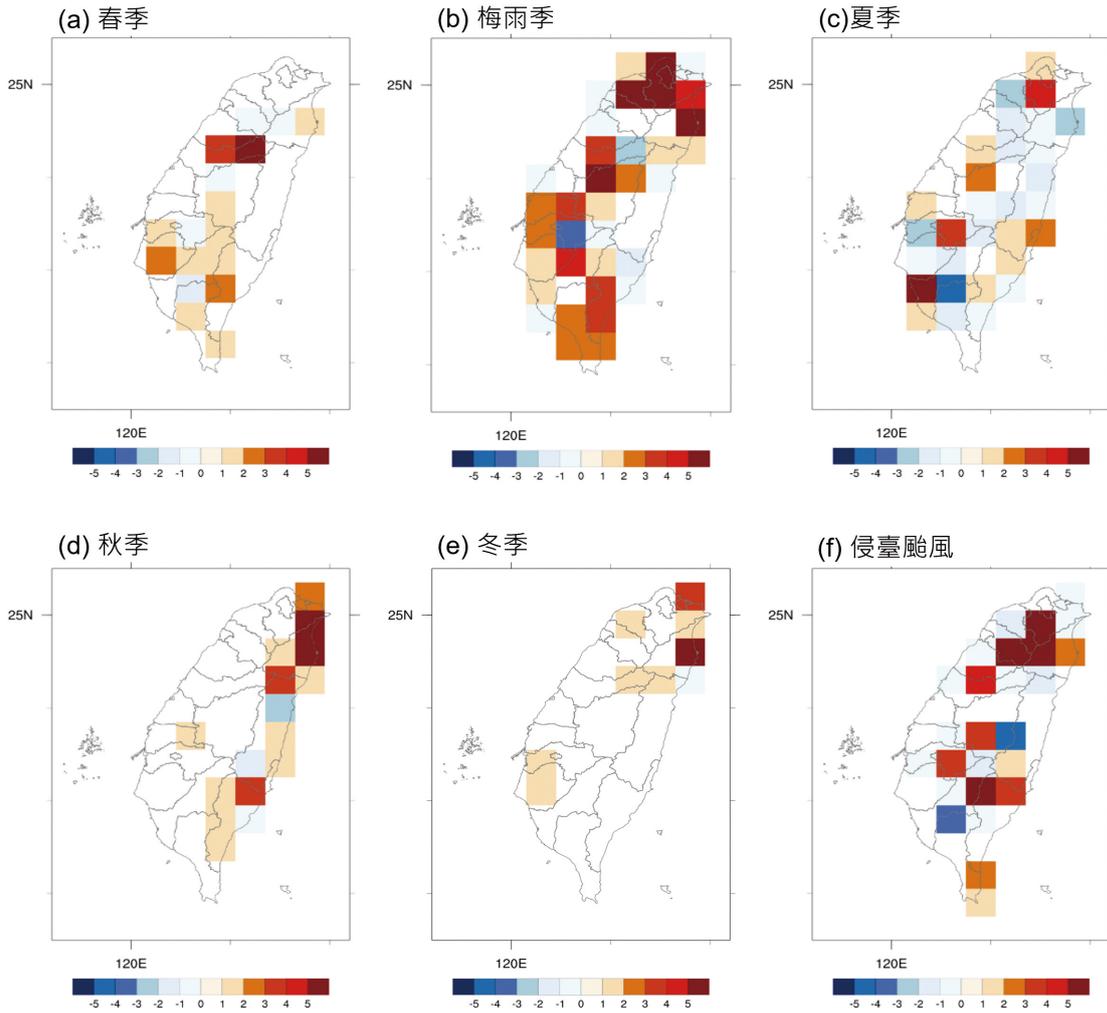


圖 15 前後 30 年的 (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季、(f) 侵臺颱風期間劇烈降雨事件發生位置變化。網格大小為 0.03 度。

對於後期事件數量改變率較大的秋、冬兩季 (圖 14b)，兩季的極端降雨主要受到東北風影響 (Chen and Chen 2003)，因此事件多發生於東部及北部 (附圖 3d、e)。如圖 15d 和 5e 所示，在秋季與冬季期間，後 30 年在東北角發生之劇烈降雨事件皆呈現較明顯的增加。另外，後 30 年的冬季北部山區及南部平地也有增加零星個案 (附圖 3e)。

◆ 3.4 Top100 劇烈降雨事件特性變化

由於每場劇烈降雨事件皆有其獨立的時空資訊，透過進一步計算，可以將個別事件的總降雨體積分為平均影響面積、平均降雨強度以及持續時間三種事件因子的貢獻。因此，本節將探討前後 30 年臺灣劇烈降雨事件在強度、面積及時長上的過去變化，但鑒於前後 30 年的事件數量不同，後期事件數量較多會影響強度及面積等事件平均變化之分析，因此前後 30 年的所有事件將以總降雨體積大小進行排名，由大至小分別篩選出兩時段前 100 強事件進行事件特性分析。

依據前後 30 年的前 100 強臺灣劇烈降雨事件分布，可視為總強度之總降雨體積在後 30 年的事件平均增加了 27.3%，且最強的事件為前 30 年最強事件的近兩倍（圖 16a）。在貢獻總降雨體積的三個特性中（圖 16b-d），事件平均影響面積及平均降雨強度的變化皆呈顯著增加，兩者平均分別增加了 19.9% 及 8.8%，而事件持續時間的前後 30 年變化則不顯著，但其中位數及平均呈減少趨勢。總結來說，後 30 年的前 100 強事件總降雨體積、平均影響面積、平均降雨強度分布皆有分布變異程度及整體強度都有提升的趨勢，而其中平均影響面積的變化更可視為總降雨體積過去變化的最大貢獻。

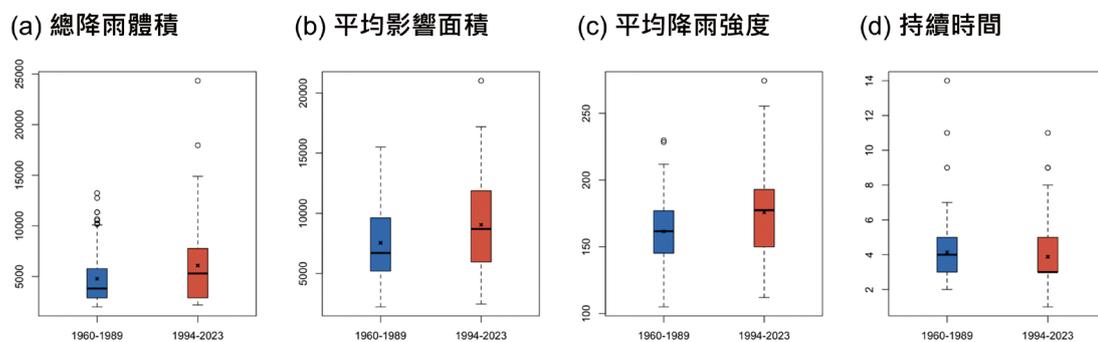


圖 16 前後 30 年間前 100 強臺灣劇烈降雨事件之 (a) 總降雨體積、(b) 平均影響面積、(c) 平均降雨強度、(d) 持續時間分布。

◆ 3.5 臺灣劇烈降雨事件大尺度環境探討

本節參照第 3.2 節定義劇烈降雨事件之方法，篩選出臺灣過去排名前百分之十的劇烈降雨事件，探討不同季節降雨事件的成因，另一方面則聚焦於臺灣短延時強降雨的過去變化趨勢分析。

臺灣地處亞熱帶，受東亞季風影響，氣候多變，全年皆有劇烈降雨的威脅，引發事件的因素也相當複雜。根據過去研究 (Wu et al., 2019) 的分析指出，影響臺灣劇烈降雨的主要天氣類型，大致可以分為三類：熱帶氣旋、鋒面及午後熱對流。其中鋒面型態包含了梅雨鋒面或對流系統發展形成的降水，而午後熱對流則是以無明顯大尺度天氣系統影響下，於午後因局部加熱產生的對流降水。而根據第 3.2 節在過去 64 年間 (1960-2023) 所偵測出來排名前百分之十的劇烈降雨事件 (102 起) 中，有 79 起事件與侵臺颱風 (77.5%) 有關，很顯而易見的，颱風低壓環流是造成臺灣劇烈降雨最主要的一種環流型態。颱風挾帶豐沛水氣，其環流一旦直接影響臺灣往往帶來十分可觀的降雨量，若是颱風移動緩慢或滯留，更容易造成長時間強降雨，例如 2009 年的莫拉克颱風。

在剩餘 23 起非侵臺颱風所造成的大雨事件中，依照降雨季節來歸類，有 11 起梅雨季事件 (10.8%)，8 起夏季事件 (7.8%)，4 起秋季事件 (3.9%)，春季和冬季則因氣候上本就屬於降雨量較少的季節，即使有極端大雨事件，也並未列入前百分之十強中。這裡通過前述各季節大雨事件的個案合成分析，進一步探討除颱風環流外，在不同季節引發劇烈降雨事件發生的大氣環流特徵。

• 梅雨季：梅雨鋒面與西南季風氣流

圖 17 為梅雨季極端大雨事件個案合成的大氣環流特徵，主要是由梅雨滯留鋒面結合夏季西南季風氣流，所形成的一個大氣河環流結構。由於梅雨季適逢東亞冬夏季風的轉換期，此時鋒面活動頻繁，源自南方熱帶海洋的暖濕空氣與北方中高緯較冷的空氣交匯，容易形成不穩定的天氣系統，進而觸發短時間內的強降雨。其中又以滯留鋒面所帶來的降雨影響最為顯著，一旦鋒面滯留時間拉長，便可能導致持續性的降雨。此外，鋒面滯留期間，若伴隨西南季風氣流增強，其為臺灣帶來豐沛的水氣，就更易導致劇烈降雨，例如 2017 年 6 月初及 6 月中旬的梅雨鋒面，都對臺灣中南部造成嚴重的洪澇災害。

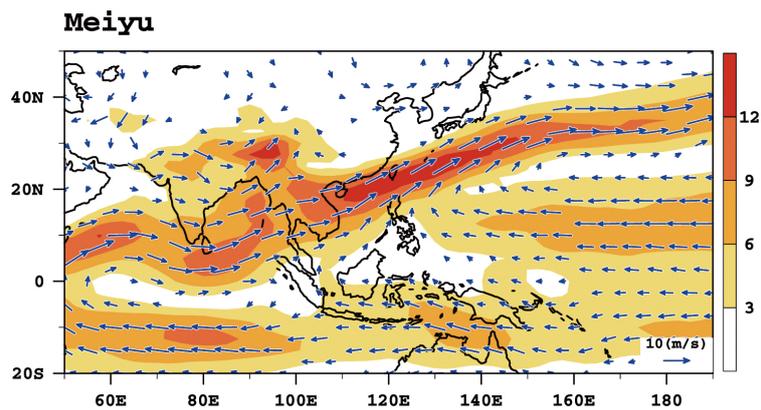


圖 17 梅雨季劇烈降雨事件個案之大氣環流特徵。圖中色階部分為 850 百帕的水氣傳送量，顏色越深紅表示水氣越多；風標部分為 850 百帕風場環流。

• 夏季：西南季風氣流

東亞夏季的天氣變化主要受到季風槽、副熱帶高壓與颱風所影響，從圖 18 非侵臺颱風造成的夏季極端大雨事件個案環流合成結果顯示，臺灣夏季劇烈降雨除了受颱風影響外，主要是由東亞夏季西南季風所主導。隨著東亞夏季季風爆發，增強的印度洋跨赤道流，使東亞地區盛行強勁的西南風，並挾帶豐沛水氣，傳送至臺灣附近。季風槽的建立提供了相對不穩定大氣環境條件，當季風槽略為減弱，臺灣附近盛行的西南風與副熱帶高壓回流所帶來南風或東南風互相配合，就容易有強對流系統生成，導致臺灣出現西南季風氣流型態的致災性降雨。若西南風影響期間，太平洋高壓略增強，亦可能加強午後對流，造成局部地區發生強降雨。

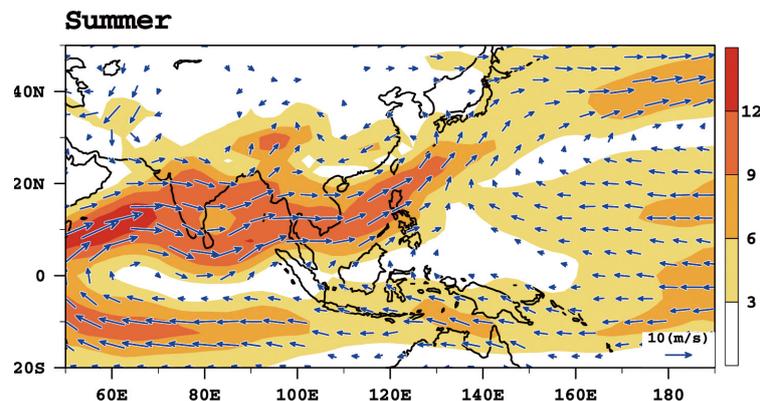


圖 18 類似圖 17 但為夏季劇烈降雨事件個案之大氣環流特徵。

● 秋季：南海低壓環流

通常東亞季風在進入秋季後開始轉換，但南海地區仍受到夏季季風的殘留影響，有時會在孟加拉灣至南海附近形成一個廣闊的低壓帶。圖 19 即為秋季極端大雨事件個案合成的大氣環流特徵，清晰顯示在南海地區存在一個顯著的低壓環流結構。此低壓環流北側伴隨強勁的偏東風，將來自南海充沛的水氣輸送至臺灣附近，當東北季風增強時，與其產生交互作用，冷暖空氣交織激發強烈的對流作用，易導致局部地區出現劇烈降雨，特別是臺灣北部及東半部地區。熱帶暖濕水氣受到南海低壓帶本身環流的引導向臺灣集中，再加上臺灣山脈地形作用影響，進而加強降雨的強度和範圍，增加臺灣秋季劇烈降雨發生的機率。

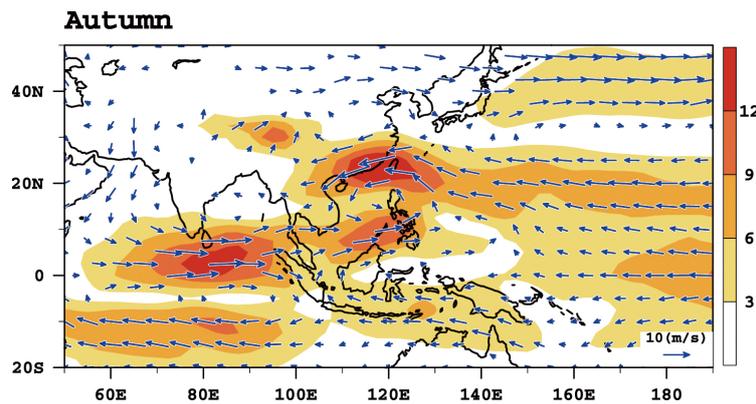


圖 19 類似圖 17 但為秋季劇烈降雨事件個案之大氣環流特徵。

● 冬季：冷氣團與南方水氣

雖然排名前百分之十的大雨事件中，並未有冬季事件，但根據統計近 30 年冬季劇烈降雨事件數的改變率最大，因此本節仍通過發生於前 30 年（1960-1989）與後 30 年（1994-2023）的前 3 名冬季大雨事件個案合成，來探討造成冬季大雨事件的大氣環流特徵（圖 20）。冬季是臺灣相對乾燥的季節，受到東北季風影響，降雨多半集中在位於迎風面的北部及東北部地區。不過，當有冷氣團或寒流南下時，會增加高山地區降水機會，平地也可能出現短延時強降雨；若南方雲系北抬，偶爾也會為臺灣帶來降雨。從圖 20 可以看到冬季強降雨事件的環流特徵，主要在臺灣北側有槽場加深帶來的北風分量，東側海面則有南風或東南風輸送南方水氣。由此可知，造成冬季劇烈降雨事件的原因，主要還是跟中高緯度冷氣團強度及南方水氣的配合程度有關。

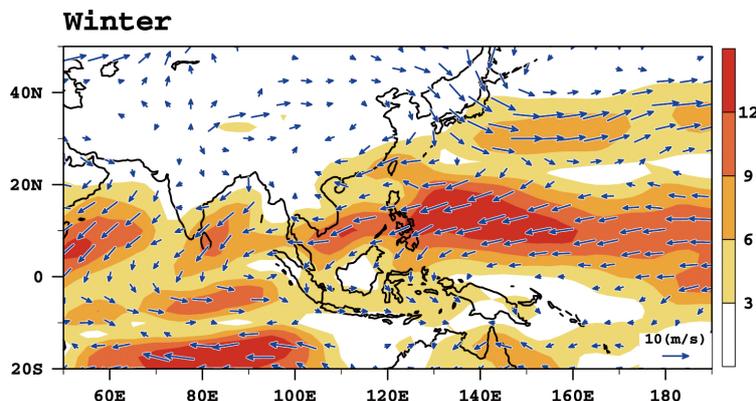


圖 20 類似圖 17 但為冬季劇烈降雨事件個案之大氣環流特徵。

4. 重現期降雨指標

本章前三節利用不同延時強降雨或極端降雨指標觀點介紹臺灣劇烈降雨氣候特徵，為氣象與氣候領域常見劇烈降雨表示方式。若欲同時表達劇烈降雨的強度與頻率，還可利用水文頻率分析之重現期降雨指標 (Return Value, RV) 表示，其亦為 IPCC AR6 用於評估暖化情境下劇烈降雨變化之重要指標。

重現期降雨指標是用來衡量高於某一降雨量門檻之降雨事件，其發生一次的平均時間間隔，呈現極端事件的發生頻率機率，通常以年作為單位，為防洪、水利工程、都市排水規畫與水文領域常用來表示劇烈降雨的指標。以 50 年重現期降雨量為例，表示超越該降雨強度的發生機率約平均每 50 年可能發生一次，但不代表一定每 50 年發生一次；相對的，100 年重現期降雨量代表超越這樣極端強度之降雨事件為百年一遇，即在統計上每年發生的平均機率為 1%。

在水文領域與工程應用上，因為設計標準需要考慮風險承受能力與建造成本，對重現期降雨量之門檻值，往往會根據不同工程、水利設施而有不同考量選擇。對於都市排水與交通，大多考慮 1-3 小時內的短延時強降雨，而河川水位、水庫與大規模洪水風險，通常會採用 6-72 小時較長延時的強降雨。此外，在重現期降雨發生頻率的門檻選擇，都市排水系統的雨水下水道、排水溝，主要考慮較頻繁、強度較弱的降雨為主，因此常見使用 2-10 年重現期降雨量；然而對於一般橋梁與河川堤防等防洪設施設計，則需要考慮河川水位與極端洪水事件，需要採用至少 50 年尺度的重現期降雨量，確保建設能夠承受較大規模的極端事件；而更大型的水庫、水壩等建設，需要考慮更為長期的氣候變化與極端事件，採用之重現期標準則需要達百年至千年尺度一遇的降雨量。

根據經濟部水資源局出版之水文應用手冊（經濟部水資源局，2001），針對全臺測站雨量紀錄年限超過 20 年之測站資料（共計水利處 87 站，台灣電力公司 39 站，中央氣象局 18 站）進行水文頻率分析，繪製一系列不同設計延時與相對應之重現期距之設計暴雨深度等值線圖，呈現臺灣重現期降雨分布。以 24 小時延時降雨於 10 年重現期降雨與 50 年重現期降雨分布為例（圖 21），北部大屯山區、宜蘭、中部山區與西南部山區為重現期降雨量較高之地區。

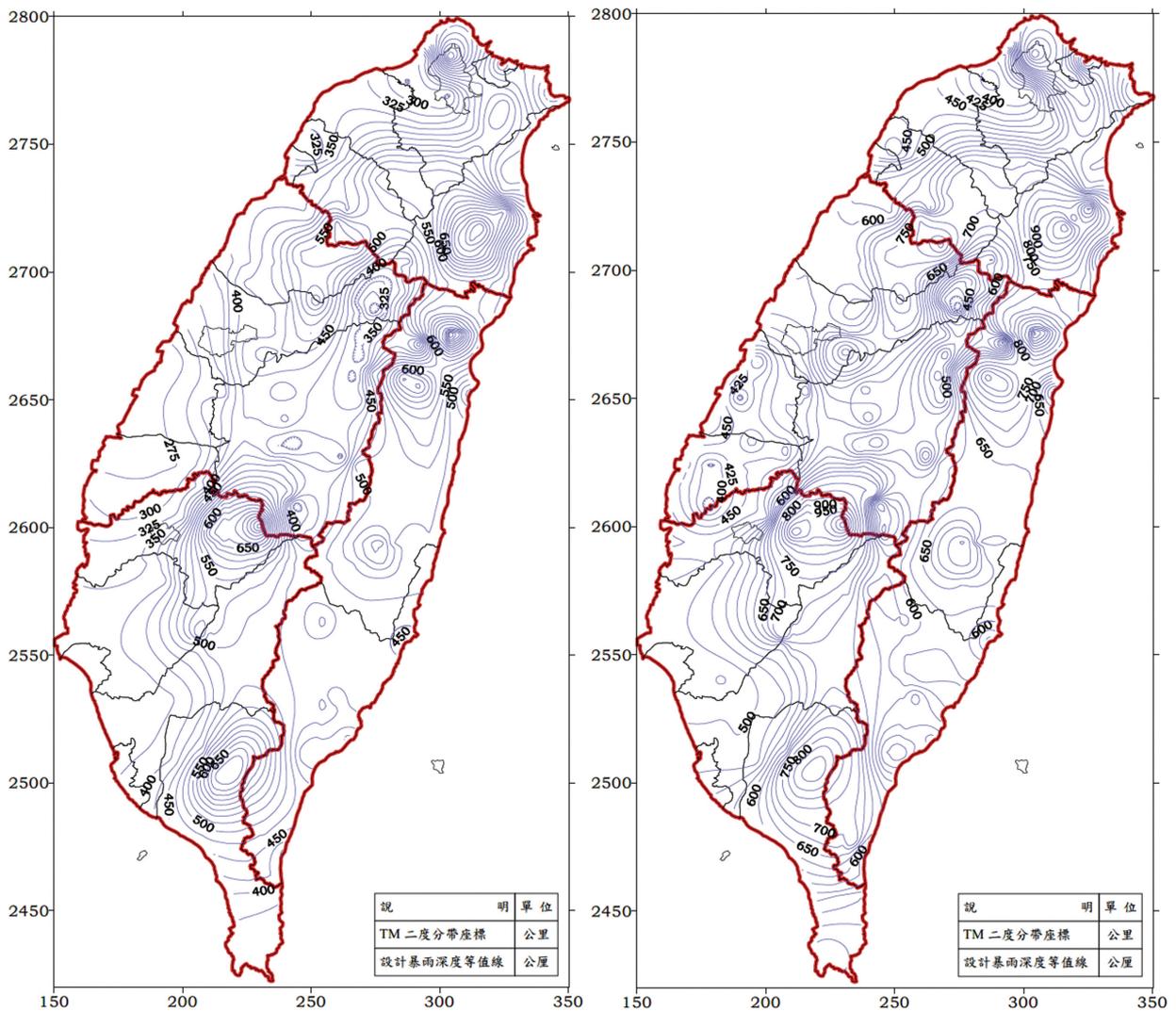


圖 21 24 小時延時降雨於 10 年重現期降雨與 50 年重現期降雨之分布（本圖擷取自經濟部水資源局水文應用手冊）。

從氣候平均角度來看，科學報告 2024 使用 TCCIP 網格化降雨觀測資料估算之最大單日降雨 Rx1day 呈現 10 年重現期 (RV10) 與 50 年重現期 (RV50) 降雨量 (圖 22)，在北部山區與西南部山區有最大值；其中，RV10 在北部山區約介於 600-750 毫米，南部山區則可超過 900 毫米；而 RV50 在北部與南部山區皆可超過 900 毫米。儘管有些區域的微小差異，整體而言，圖 21 以測站長期資料繪製與圖 22 以網格化降雨觀測資料所得之重現期降雨分布，在北部、中部與西南部山區皆呈現較強之重現期降雨分布，反應臺灣劇烈降雨與地形之密切關聯。

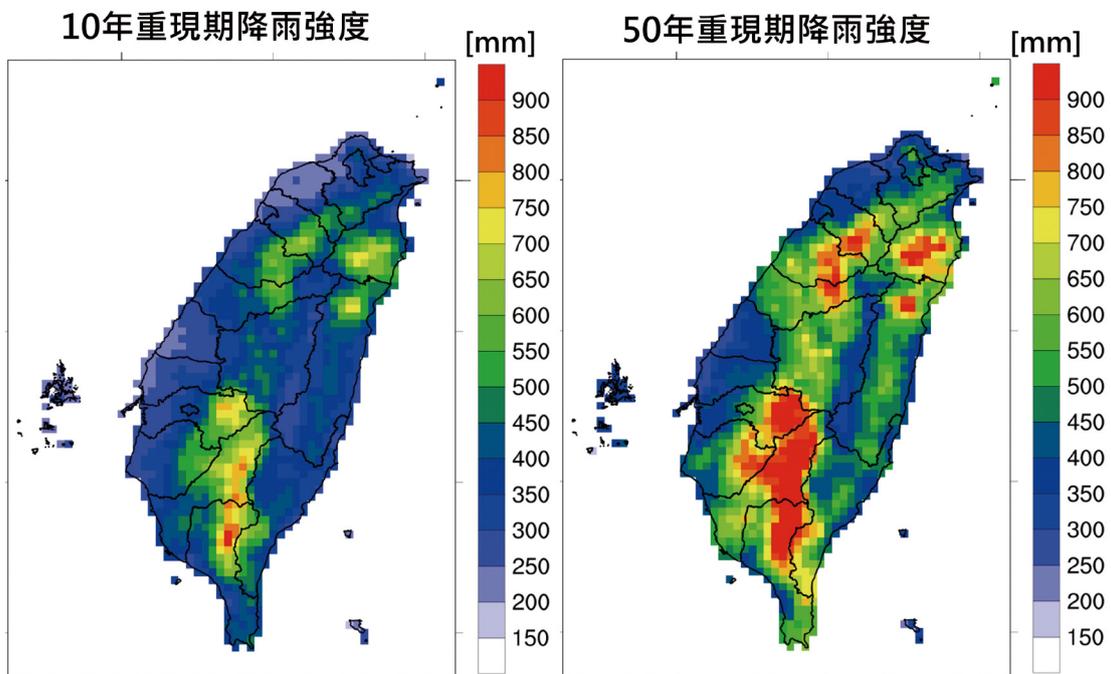


圖 22 使用 TCCIP 網格化資料於 1995 年至 2014 年之 Rx1day，計算 10 年重現期降雨量與 50 年重現期降雨量 (單位：毫米) (本圖擷取自科學報告 2024)

文字框 1 常用劇烈降雨分析方法比較

極端降雨指標

根據「極端氣候指標」(Expert Team on Climate Change Detection and Indices, ETCCDI) 定義之指標，基於長期數據，評估極端降雨頻率、強度或雨量，是氣候變遷研究評估劇烈降雨之常用指標，探討極端降雨強度或頻率在氣候尺度(如 20-30 年)的長期氣候分布與變化趨勢。例如 Rx1day(最大單日降雨量)、PR99(降雨強度排序達第 99 百分位的降雨)、R95p(超過 95% 分位數的降水總量)與 CDD(最大連續降雨天數)等。

事件偵測

透過客觀事件偵測方法，可將水平空間與時間的三維降雨資料，利用演算法追蹤超過一定門檻的數據，選取相連的網格界定成一場獨立的劇烈降雨事件。由於每場劇烈降雨事件皆具有時空連續性，因此可在特定環境條件下，透過事件角度探討劇烈降雨事件的變化，包含事件強度、影響範圍(面積)、時空規模(體積)、持續時間以及發生位置等事件特性。相較於傳統以測站數據或網格資料之統計指標評估，無法呈現數據間的時空相關性，事件偵測方法保留了降雨事件在時間與空間上的連續性，能夠進一步針對偵測事件之大尺度環境條件進行成因分析與機制探討。

不同延時強降雨

透過雨量站或雷達觀測資料，以降雨持續時間分類的強降雨事件，統計不同持續時間內的降雨量，例如：短延時強降雨(1-6 小時)與長延時強降雨(12-72 小時)。常用於氣象監測、即時防災預警、短期預報模式，探討不同持續時間的強降雨，其發生的頻率變化，不同時間尺度可能導致不同類型災害。

重現期降雨指標

同時結合劇烈降雨之強度與頻率資訊，表示某地區發生高於某強降雨門檻值的平均再次發生間隔時間，例如「50 年重現期降雨」表示超越該強度的降雨事件平均約每 50 年發生一次，常應用於在水文領域與工程設計(防洪堤、排水系統)、保險業風險評估、極端事件分析。通常利用不同延時強降雨或極端降雨指標(如 Rx1day、24 小時降雨)，推算特定迴歸期的降雨量。





CHAPTER

03

臺灣未來劇烈降雨推估

CHAPTER | 03 臺灣未來劇烈降雨推估

根據前二章關於臺灣劇烈降雨的研究顯示，季風系統所主導的大尺度環流與臺灣複雜地形變化的多重交互作用，造就臺灣劇烈降雨在不同季節呈現多樣化的空間分布特徵。

根據過去測站資料，臺灣的降雨量主要受氣候系統內部變異影響，呈現年代際的增減變化，整體而言並無明顯的長期增加或減少趨勢。然而，隨著全球暖化的持續影響，未來的降雨趨勢可能呈現長期增加，不僅影響平均降雨量，亦改變降雨型態，導致豐愈豐、枯愈枯的現象，並加劇極端降雨強度（許晃雄等，2024），對水資源管理、防災規劃與基礎設施建設帶來更大挑戰。

在暖化趨勢下，釐清臺灣劇烈降雨的變遷趨勢，可為相關衝擊領域提供重要的科學依據與分析基礎。然而，根據 IPCC AR6 報告中所使用的第六期耦合模式比對計畫 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6, CMIP6; Eyring et al., 2016) 全球多模式氣候模擬資料 (以下簡稱 CMIP6)，雖可提供長期氣候趨勢的推估，卻因其空間解析度有限，難以提供臺灣地區劇烈降雨的細緻分布資訊。因此，為了取得臺灣在地詳細劇烈降雨推估資訊，科學報告 2024 與過去相關研究大多需要根據資料使用特性，進一步應用統計降尺度或動力降尺度方式 (參見文字框二)，降低模式資料的空間尺度範圍，以提升模擬資料的區域適用性與解析度，作為評估未來臺灣劇烈降雨變化的重要依據。

文字框 2 降尺度資料

氣候變遷推估資料來自全球氣候模式的模擬結果，這些模式雖能較完整的模擬整體地球系統的氣候狀態。然而，由於這些模式的空間解析度較低，提供的資料解析度也較低（100 至 200 公里），在臺灣範圍內通常僅能提供 2 至 3 筆資料，無法細緻呈現臺灣的空間分布特性。因此，需要透過降尺度技術降低每筆資料的空間尺度，提高氣候推估資料的解析度，將全球氣候模式輸出的資料轉換為更精細的區域資訊。降尺度技術主要可分為統計降尺度與動力降尺度，各有資料產製與應用的優缺點，適用於不同的氣候分析與使用需求。

文字框 2 降尺度資料

統計降尺度

統計降尺度是結合空間內插過程，以及觀測資料特性與模式輸出資料之間的統計關係進行偏差修正，將全球氣候模式輸出的低空間解析度資料轉換為較高空間解析度資料的方法。其優勢是計算效率較高且運算資源需求相對較少，因此可處理較多模式或多種不同情境之推估資料。然而由於降尺度資料是透過與觀測資料之統計關係計算取得，其結果並未考慮大氣物理過程，因此受限於觀測紀錄之資料品質與模式輸出變數種類，可使用變數較少，主要為溫度與降雨。另一方面，模式原始資料解析度較低，無法解析較劇烈天氣現象，例如熱帶氣旋、鋒面系統帶來的劇烈降雨等。

動力降尺度

動力降尺度是一種使用區域氣候模式將全球模式的大範圍、低空間解析度的輸出資料，透過高解析度區域模式模擬，提升資料空間解析度的降尺度方式。動力降尺度基於大氣物理過程的模擬，提供更細緻複雜的時空分布與地形交互作用，相較於統計降尺度較能反映實際大氣運作過程，解析劇烈天氣系統造成的強降雨或是較小空間尺度的現象，並且得到較多元的高解析度氣象參數，例如風速、輻射、溼度…等。然而，動力降尺度是利用數值模式模擬，因此計算資源需求較高。

統計降尺度與動力降尺度比較

	統計降尺度	動力降尺度
使用模式與方法	全球氣候模式搭配統計方法	全球氣候模式結合區域模式模擬
時間解析度	可達月、日尺度	可達月、日、小時尺度
提供變數	主要為溫度、雨量	颱風雨量、風場、氣壓、輻射、相對濕度等
產製花費時間	產製快速，計算快速	較費時，需要大量運算資源
應用層面	氣候平均、臨界門檻值、極端指標、長期趨勢，例如：農業、水資源、健康	極端事件分析、提供複雜變數，例如：淹水模擬資訊提供農業災損評估
優點	可用模式較多，可考慮模式系集平均、多模式資料與多情境假設，有利不確定性評估	時空解析度較高，有利極端事件分析與偵測評估
限制	解析度較低，呈現極端事件能力有限	大量產製運算資源需求高，較不易得到多模式與多情境的推估資訊

關於 TCCIP 產製之統計降尺度與動力降尺度資料更詳細說明與比較，可參考科學報告 2024、TCCIP 資料說明 (2023)、TCCIP 技術報告 (2021) 以及 TCCIP 計畫知識專欄說明
https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/km_column_one.aspx?kid=20230725084802

由於氣候變遷對極端降雨的影響程度遠超過對平均降雨量的影響，且各季節的變化亦有所不同，因此本章分別利用統計降尺度與動力降尺度資料各自的優勢，從極端降雨指標、降雨重現期，造成臺灣劇烈降雨主要來源之天氣類型，分為五個次主題進行探討：利用統計降尺度資料探討全球暖化背景下，1) 臺灣不同季節的極端降雨指標推估變化與 2) 呈現不同全球暖化程度之重現期降雨強度變化；透過動力降尺度資料探討 3) 颱風劇烈降雨變化與 4) 歷史颱風事件的擬暖化評估；以及 5) 結合全球氣候模式與動力降尺度模擬，在梅雨季與午後雷陣雨等其他型態劇烈降雨之研究回顧。

1. 統計降尺度－極端降雨指標

TCCIP 計畫根據 IPCC AR6 報告中使用的 CMIP6 氣候模擬資料，進一步產製統計降尺度推估資料（以下簡稱 AR6 統計降尺度）。《臺灣氣候變遷關鍵指標圖集：AR6 統計降尺度版》以及科學報告 2024 根據此 AR6 統計降尺度資料，評估不同全球暖化程度下，臺灣未來的劇烈降雨變化。以年最大單日降雨量（以下簡稱 Rx1day）指標為例，其結果顯示 Rx1day 增強比例隨著暖化情境加劇以及全球暖化程度增強而一致增強，模式之間的推估結果顯示高度一致性，在 Rx1day 增強比例最為顯著的中部與西南部山區，最高可達 40%-60%（科學報告 2024）。

本節分析 AR6 統計降尺度降雨量日資料（林修立等，2023）於歷史基期模擬，以及涵蓋不同 SSP^[5] 排放情境與多種氣候模式的未來推估結果。IPCC AR6 使用全球平均溫度變化增溫至不同程度的概念，定義全球暖化程度（Global Warming Levels，以下簡稱 GWL；詳參見科學報告 2024、TCCIP 資料說明（2023）、童裕翔等（2019）、《2024 臺灣氣候變遷分析系列報告：暖化趨勢下的臺灣極端高溫與衝擊》）來表示不同暖化程度下的推估資訊，讓衝擊評估與氣候變遷相關資訊在不同暖化情境能有共同的比較基準，以因應氣候變遷調適的應用需求與協助調適政策擬定，也是我國推動氣候變遷調適工作的參考情境依據。GWL 將人類還未大量使用石化燃料的工業革命前之時期（1850-1900；pre-industrial level）定義為暖化趨勢的基準點，當全球平均溫度變化至不同溫度門檻時，截取出這個階段的各模式模擬資料，提供相關量化推估資訊，評估在此暖化程度下的氣候環境改變。因此，本節聚焦於不同 GWL 之臺灣自然季節的極端降雨指標強度、頻率及總雨量變化。參考 IPCC AR6，使用 1995-2014 年氣候值作為歷史基期基準，評估暖化程度加劇後（GWL 2°C、GWL 3°C 與 GWL 4°C），可能導致的極端降雨指標變化趨勢。此外，考量臺灣降雨特性受地形影響顯著，特別是區域性極端降雨，因此本研究採用 0.01° × 0.01° 高解析度網格資料（相當於 1 公里），以更精確地呈現降雨分布及極端降雨特性。

[5] IPCC AR6 使用之全球暖化情境設定，結合溫室氣體排放濃度的代表濃度途徑 RCP，與共享社會經濟路徑（Shared Socioeconomic Pathway, SSP），使氣候模式模擬暖化的情境設定能更趨近真實世界的可能發展，以 SSP-RCP 搭配不同程度的數字組合表示，SSP3-7.0 代表假設目前溫室氣體排放持續增加，無減緩目標的發展路線，屬於中高輻射強迫力路徑。更詳細的 SSP-RCP 定義與說明，請參考科學報告 2024 以及 TCCIP 計畫的 AR6 情境說明 (https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_02_06_ar6.aspx)。

◆ 1.1 極端降雨指標

前述科學報告 2024 使用之 Rx1day 指標乃依據全年的極端降雨特性進行分析，無季節特性的區分。為進一步對應第二章所探討之 1960-2023 年臺灣的極端降雨強度 (PR99) 所進行之各自然季節的降雨分布與特性分析，本章節進一步分析全球暖化對於極端降雨指標 (PR99、R99p 及 R99pTOT)，在不同自然季節未來變化趨勢。指標之未來變化，則使用不同 GWL 未來推估相對於模式歷史基期 (1995-2014 年) 的相對變化來呈現，並以多模式系集平均結果為代表。

極端降雨強度 PR99 的雨量門檻值，可進一步分析極端雨日 (Extreme Wet Days，簡稱 R99p) 及極端雨日總雨量 (R99pTOT) 指標，評估全球暖化影響下，臺灣各季節的極端降雨強度、頻率及總雨量變化。極端降雨指標詳細定義如表 3。

表 3 本節極端降雨指標定義說明

指標	定義
極端降雨強度 PR99 (毫米 / 日)	以所有雨日 (日雨量 1 毫米以上) 為樣本，計算第 99 百分位降雨量為門檻
極端雨日 R99p (日)	所分析的季節中，超過基期 PR99 降雨量門檻的平均降雨日數
極端雨日總雨量 R99pTOT (毫米)	所分析的季節中，超過 PR99 降雨量門檻之每年平均累積降雨量

◆ 1.2 極端降雨指標未來推估

● 極端降雨強度 (PR99)

在全球暖化影響下，各季節 PR99 之變化顯示 (圖 23)：冬季於北部與東部地區呈現減弱趨勢，其他地區則為增加；春季則幾乎全臺皆為增強趨勢，其中西部山區及西南部地區增強較多，幅度大約在 40 毫米 / 日以內；梅雨季在 GWL 2°C 山區及西部地區為減少，但隨著暖化程度加劇，降雨強度趨於增加，在 GWL 4°C 南部山區最多增加 100 毫米 / 日以上；颱風季在 GWL 2°C - 3°C，南部地區降雨量略為減少，但在 GWL 4°C 則全臺極端降雨強度明顯增強，特別是山區增幅最大，普遍增加超過 80 毫米 / 日；秋季與颱風季變化相似，大部分地區降雨門檻均有增強趨勢，但整體東部地區增強較多，不少區域增強幅度超過 80 毫米 / 日，其中西部小範圍山區增加最多接近 200 毫米 / 日。

整體而言，在 GWL 2°C - 3°C 時，不同季節的極端降雨強度變化趨勢不一致，但在 GWL 4°C，除了冬季東部與北部地區以及梅雨季部分地區仍有略微減少趨勢，其它季節多數地區皆為增加趨勢，其中以颱風季極端降雨整體降雨增加最多，其次為秋季。

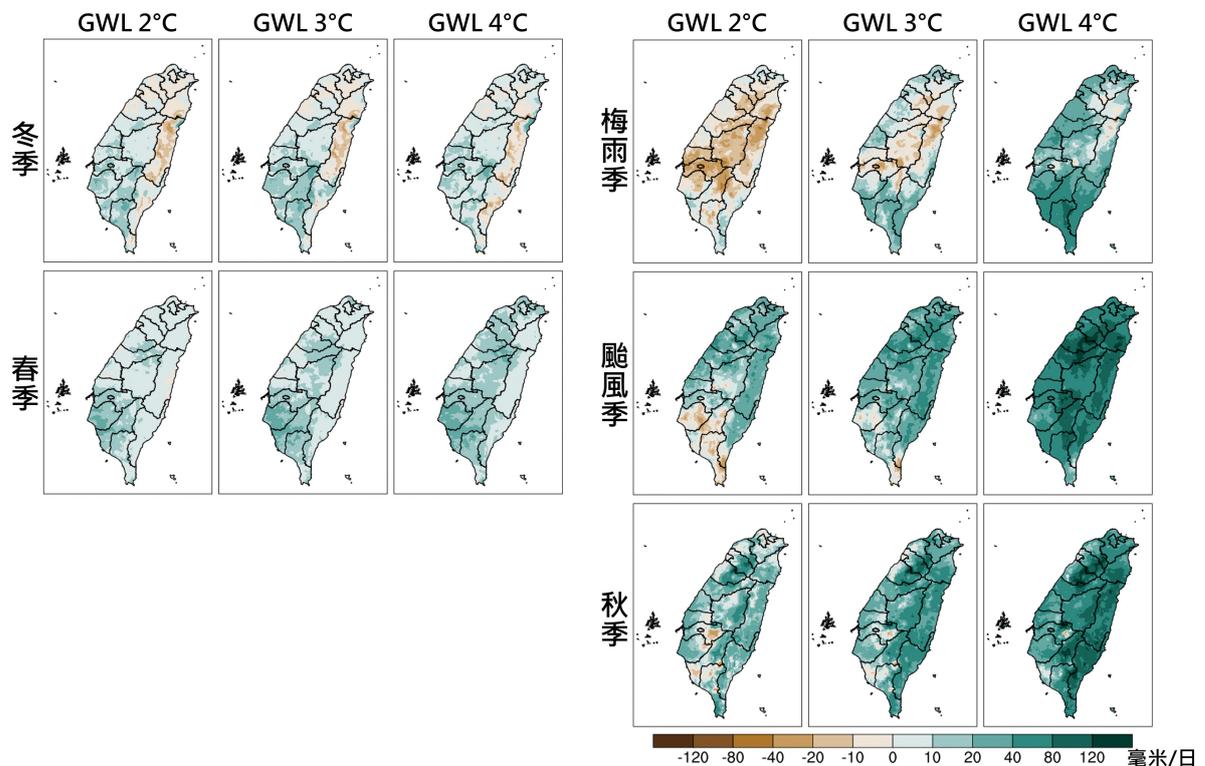


圖 23 各季節極端降雨強度 (PR99) 空間分布，分別為冬季 (12-1 月)、春季 (2-4 月)、梅雨季 (5-6 月)、颱風季 (7-9 月)、秋季 (10-11 月)。各季節中，由左至右依序為 GWL 2°C、GWL 3°C、GWL 4°C 相對於模式基期的變化，單位為毫米 / 日。

● 極端雨日 (R99p)

在全球暖化影響下，各季節 R99p 的變化趨勢如下 (圖 24): 冬季在北部及東部日數減少，其他地區則有增加趨勢，唯變化幅度不大；春季在北部明顯增加，其中以北海岸增加最多，可達 13 天以上，其次為北、中部山區；梅雨季在 GWL 2°C 情況下，山區日數減少，但隨著暖化程度上升，除了東部地區之外，日數普遍增加，以南部地區增加最多，可達 11 天；颱風季之 R99p 日數在 GWL 2°C 情況下南部地區為減少，但隨著暖化加劇，整體日數增加，在 GWL 達 4°C 時，不少地區增加 8 天以上；秋季之 R99p 日數在全臺皆為增加，以東北部地區增加較為明顯。

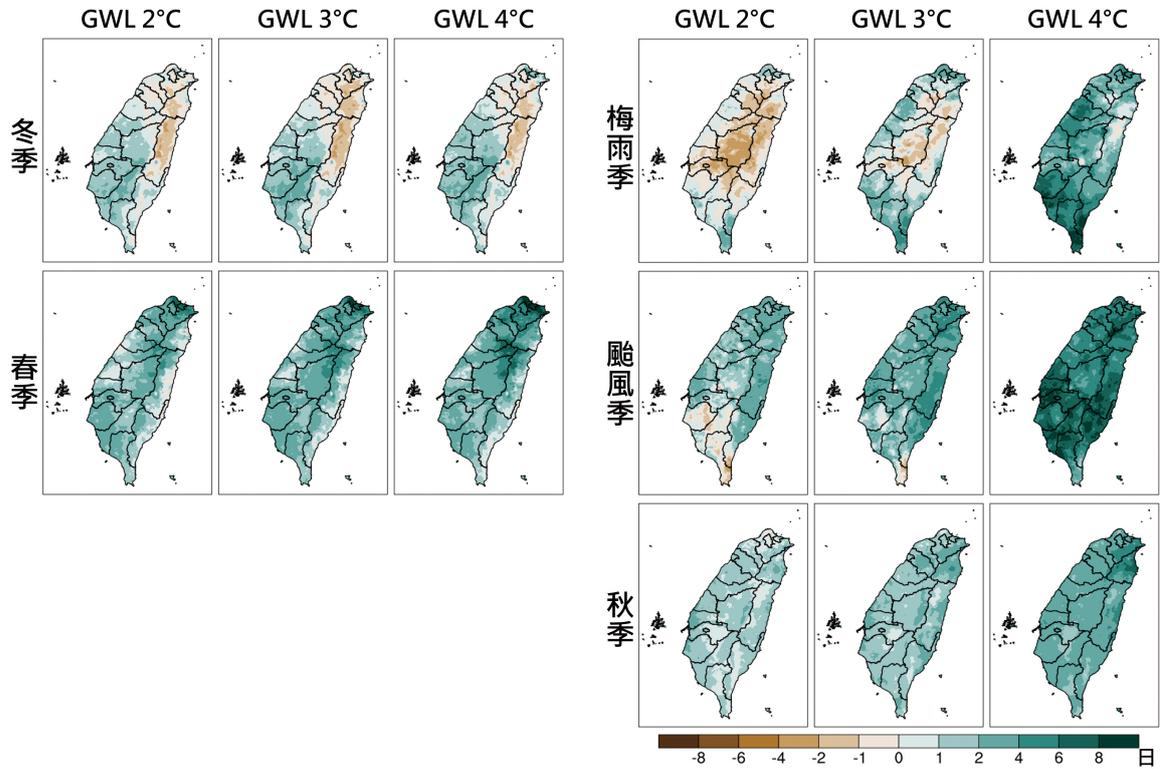


圖 24 與圖 23 相似，但為極端雨日 (R99p) 的結果，單位為日 / 每 20 年。

● 極端雨日總雨量 (R99pTOT)

在全球暖化影響下，各季節 R99pTOT 的變化顯示，在冬季北部與東部的 R99pTOT 有減少趨勢，其他地區則增加，然而，整體變化幅度很小，約在 ±10 毫米以內；春季之全臺 R99pTOT 降雨量增加，主要於北部山區增加較多；梅雨季則與 R99p 相似，GWL 2°C 山區降雨量略減，但隨著溫度上升，全臺大部分地區降雨增加；颱風季之整體 R99pTOT 呈增加趨勢，尤其南部山區最為明顯，GWL 4°C 普遍增加超過 200 毫米，部分區域最大增加超過 400 毫米；秋季 R99pTOT 全臺皆為增加，其中東部地區增幅較大，西部則相對較少。

綜合 AR6 統計降尺度極端降雨指標之分析結果，在全球暖化影響下，臺灣的極端降雨強度、頻率與總雨量皆隨暖化程度加劇而趨於增加，尤其在 GWL 4°C 的變化程度明顯高於 GWL 2°C 與 GWL 3°C。雖然冬季與梅雨季在北部與東部地區的降雨強度與頻率略減，但整體而言，全年極端降雨量與頻率仍呈現上升趨勢，特別是在主要降雨季節，顯示極端降雨現象將更加頻繁且劇烈，更加凸顯暖化情境下豐枯差距的降雨變化特徵。

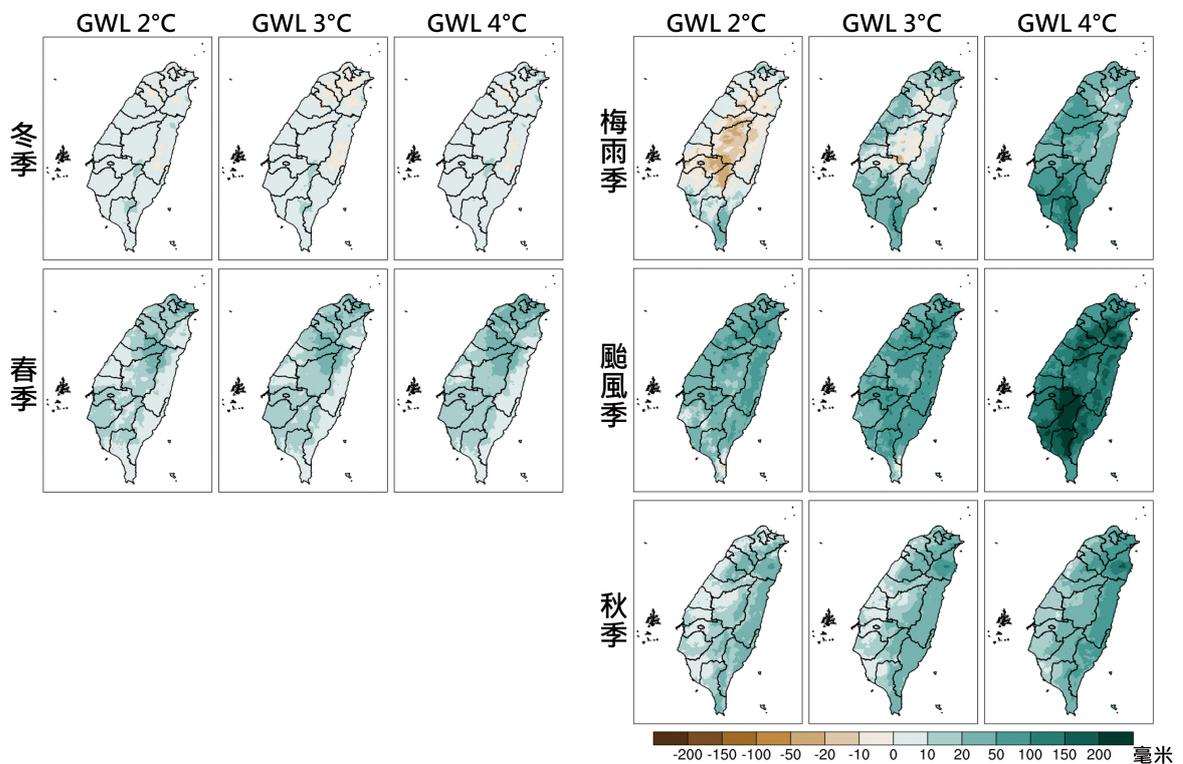


圖 25 與圖 23 相似，但指標改為極端雨日總雨量 (R99pTOT)，單位為毫米。

2. 統計降尺度－重現期降雨指標

根據 IPCC AR6 針對全球重現期降雨推估結果指出，平均每升溫 1°C，全球最大單日降雨 Rx1day 增加約 7%，10 年重現期距 (RV10) 和 50 年重現期距 (RV50) 的 Rx1day 強度，隨著暖化程度增強而顯著倍數增加。在微幅暖化的 GWL 1.5°C 和 GWL 2°C，RV10 與 RV50 的增強顯示即使增溫幅度不大也可能導致極端降雨的顯著增加。

利用 AR6 統計降尺度資料在 GWL 2°C 與 GWL 4°C 的推估結果，顯示全臺的年單日最大降雨強度 Rx1day 的 RV10 與 RV50 皆為增加趨勢 (圖 26)。在 GWL 2°C 暖化程度，臺灣北部與中部沿海地區的 RV10 有較顯著一致的增強趨勢，其比例約 30%-40%；而 RV50 在臺灣北部、中部地區、臺南山區與恆春半島也有顯著一致的增幅 (約 40%-50%)。當暖化持續增強至 GWL 4°C，RV10 與 RV50 增強比例更高，特別是 RV50 在臺灣西半部的增強變化，模式間的推估更趨一致，增強幅度高於 50%。根據科學報告 2024 指出，就區域平均而言，隨著全球暖化程度加劇，在目前每 50 年發生一次的劇烈降雨，在 GWL 4°C 會更為頻繁發生，提高為每 10 年便發生一次，意謂著劇烈降雨在臺灣將更為頻繁且強度增強。

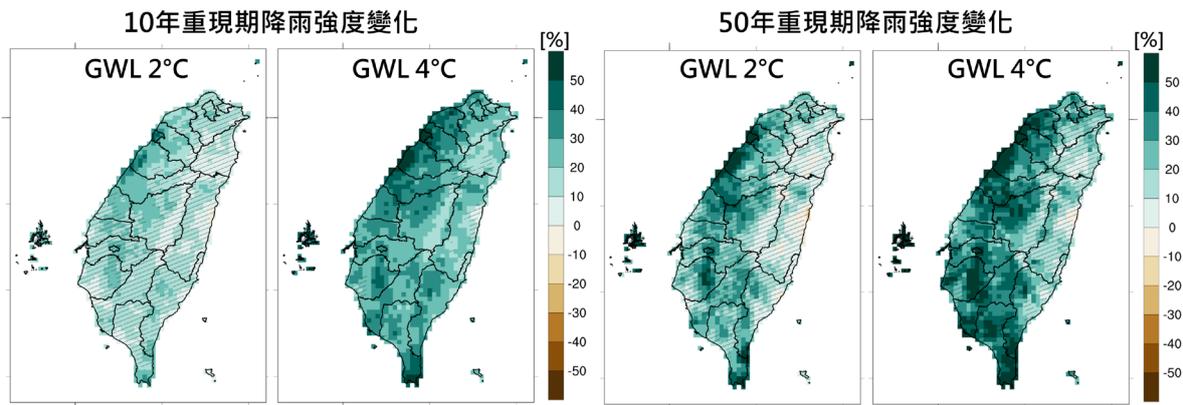


圖 26 CMIP6 統計降尺度 Rx1day 之 10 年重現期降雨強度，以 1985-2014 為歷史基期，在 (a) GWL 2°C (99 組模式) 與 (b) GWL 4°C (31 組模式) 之變化。(c)-(d) 同 (a)-(b) 但為 50 年重現期降雨強度之結果。在此以多模式降雨變化率 (單位：%) 的中位數呈現，其中斜線區域代表模式變化一致性低。(本圖擷取自科學報告 2024)

3. 動力降尺度－影響臺灣颱風之劇烈降雨頻率變化

颱風帶來的豐沛降水是臺灣重要的水資源來源，也是臺灣劇烈降雨的主要貢獻之一。然而颱風伴隨的劇烈降雨往往對基礎設施、農業與民生造成嚴重影響。過去研究利用觀測資料分析發現颱風劇烈降雨的頻率及強度皆有增加趨勢 (Henny et al. 2021 ; Wu et al. 2019)，而此變化也進一步影響災害的發生。在氣候變遷趨勢下，透過氣候模式模擬颱風以了解颱風貢獻的劇烈降雨如何變化，至關重要。根據全球高解析度氣候模式推估顯示，未來暖化情境下西北太平洋颱風數量減少以及活動範圍往北擴張 (Yamada et al. 2017; Endo et al. 2022; Hsu et al. 2021)，顯示未來影響臺灣之颱風活動變化。

TCCIP 計畫利用美國普林斯頓大學地物流體動力實驗室的高解析度全球大氣模式 HiRAM (High Resolution Atmospheric Model, HiRAM; Anderson and Coauthors, 2004; Zhao et al. 2009) 結合美國大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research, NCAR) 的區域大氣模式 (Weather Research and Forecasting, WRF; Skamarock 2008)，進行動力降尺度模擬 (HiRAM-WRF)。在 RCP8.5^[6] 暖化情境推估 (以下簡稱 HiRAM-WRF AR5 動力降尺度) 的結果顯示，在本世紀中期影響臺灣之颱風數量將減少，然而颱風伴隨的強降雨增強，這樣的變化趨勢在世紀末更為顯著，影響臺灣之颱風數量將減少約 50%，而颱風中心半徑 200 公里內的平均降雨增加約 35%，顯示未來颱風可能帶來更為極端的降雨，其中在陸地上降雨約增加 40%，其空間分布又以西部平原更為顯著 (鄭兆尊等，2024)。

本節使用 TCCIP 所產製的 5 公里網格化觀測資料 (翁叔平與楊承道，2018) 呈現過去歷史颱風事件的劇烈降雨氣候分布特徵。在探討未來颱風劇烈降雨推估方面，由於單一模式的模擬不確定性高，需要使用多組系集來降低其不確定性，因此本節採用 HiRAM 全球模擬之三組歷史基期及四組未來推估系集進行颱風偵測，篩選出基期共 298 場、未來推估在 GWL 2°C 下共 343 場、GWL 4°C 下共 178 場的影響臺灣颱風。接著將這些篩選個案使用 HiRAM-WRF AR5 動力降尺度模擬之五公里解析度降雨資料，評估基期模擬的颱風與觀測颱風之差異，以及分析未來颱風劇烈降雨頻率改變，並以短延時及長延時的颱風劇烈降雨探討區域尺度的變化。

[6] IPCC 第五次評估報告使用之溫室氣體排放濃度的代表濃度途徑 (Representative Concentration Pathway, RCP)，以輻射強迫力數值表示，RCP 8.5 為非常高濃度之溫室氣體排放，代表最高輻射強迫力路徑，被設定為最極端的未來可能情境。更詳細的 RCP 定義與說明，請參考 TCCIP 計畫的 AR5 情境說明 (https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_02_06_ar5.aspx)

◆ 3.1 颱風劇烈降雨定義

本節所分析的影響臺灣颱風場次採用李清滕與盧孟明 (2012) 的定義，將颱風中心進入距離臺灣海岸線 300 公里範圍內的颱風定義為影響臺灣颱風。我們針對各區域在颱風影響臺灣期間的平均最大時雨量及最大 24 小時累積雨量篩選出前百分之十的颱風場次進行分析。在篩選出的颱風場次中，當颱風影響臺灣期間的時雨量大於 80mm 或 24 小時累積雨量大於 350mm 門檻時，將分別定義為短延時及長延時之颱風劇烈降雨，並以此兩種延時^[7]的降雨頻率檢視劇烈降雨變化。

由於不同區域根據不同延時降雨量篩選的颱風場次排名不同，因此本節將以下列區域進行分析：除了北、中、南、東四大區之外，東部因其狹長的地理特性，再細分為宜蘭、花蓮與臺東，且在檢視未來變化時將進一步以高度 500 公尺為界，比較平地與山區的變化率。

◆ 3.2 颱風劇烈降雨頻率未來變化

● 歷史颱風劇烈降雨

利用 TCCIP 網格化降雨觀測資料分析過去在 1995 年至 2014 年間所觀測到的颱風劇烈降雨發生次數顯示，北、中、南、宜、花、東六區各自皆有較為頻繁發生的區域。以短延時颱風劇烈降雨的場次平均來說 (圖 27)，大於 80mm 的時雨量幾乎只發生在山區，且北區發生劇烈降雨的地區較中區及南區少，宜蘭及花蓮則比臺東多。其中宜蘭縣南澳鄉及嘉義縣阿里山鄉兩地區則平均每場颱風會有一次以上的短延時劇烈降雨發生 (圖 27b, d)。長延時颱風劇烈降雨方面，24 小時累積雨量大於 350mm 的平均發生次數雖也集中於山區，但平均每場颱風會發生長延時劇烈降雨的熱區除了與短延時相同的南澳鄉及阿里山鄉兩地區外，桃竹山區一帶、臺東縣金峰鄉與達仁鄉一帶以及南部山區一帶皆有平均每場發生 15 次以上長延時劇烈降雨的情形 (圖 28)。

[7] 兩種延時的劇烈降雨計算方式是針對每個網格點在每場颱風影響臺灣的期間，任一時間起每小時或連續 24 小時的累積雨量超過一定門檻即計為發生一次劇烈降雨，因此每場颱風的短延時劇烈降雨發生次數可視為該場颱風在影響臺灣期間超過門檻的總時數；而長延時劇烈降雨發生次數則是以每 24 小時的滑動平均進行統計，所以在統計發生次數上，若颱風影響臺灣超過 24 小時，則會包含到部分重複時間。

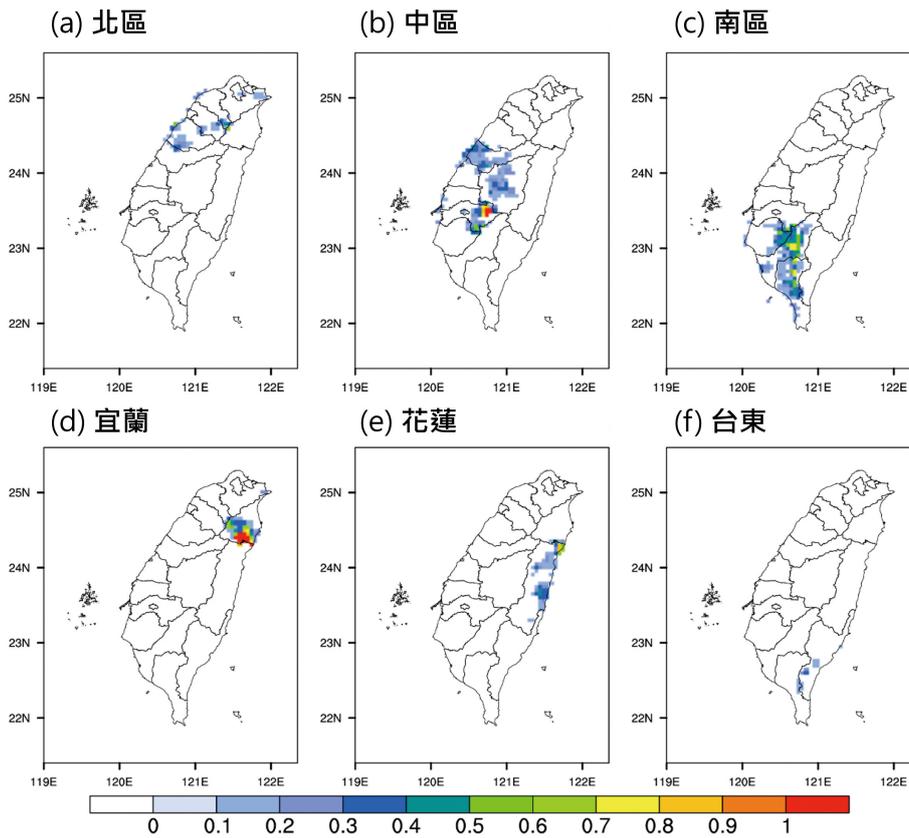


圖 27 (a)-(f)1995-2014 年排名前十分位的颱風場次在影響臺灣期間平均發生時雨量大於 80 毫米以上的次數，單位：次/場。(a)-(f) 分別為北區、中區、南區、宜蘭縣、花蓮縣、臺東縣，此六分區皆是以該分區平均最大時雨量個別排名。(來源：國家科學及技術委員會 (2024)，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告)

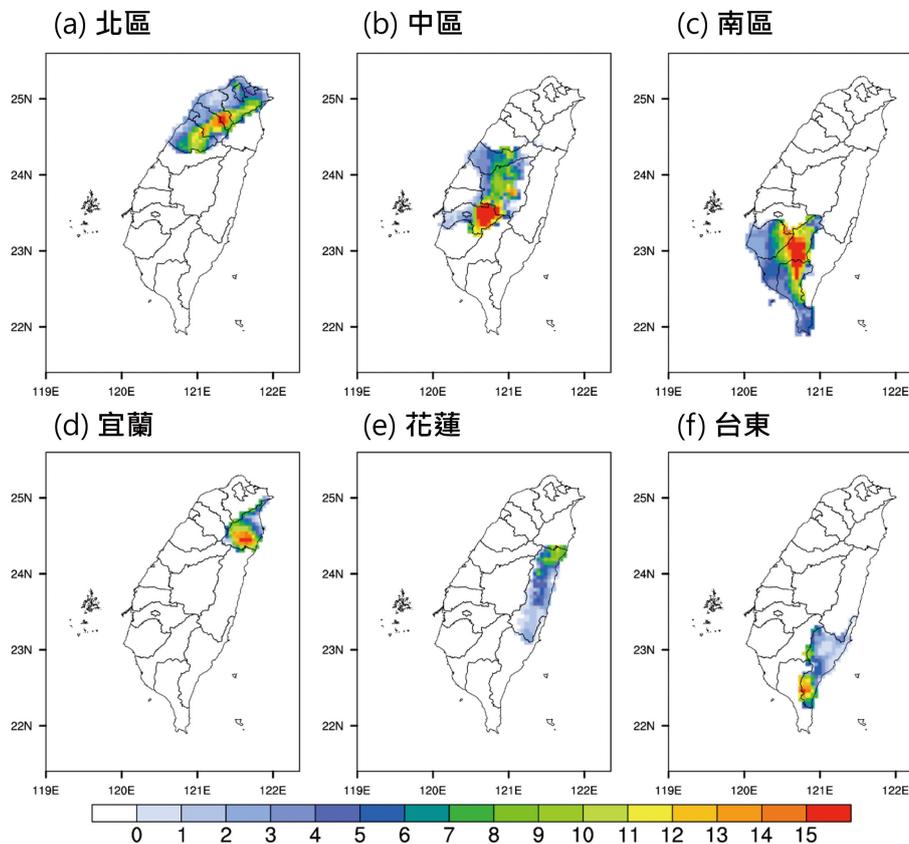


圖 28 同圖 27，但為在影響臺灣期間平均發生長延時颱風劇烈降雨(24 小時累積雨量大於 350 毫米以上)的次數及變化率。(來源：國家科學及技術委員會 (2024)，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告)

● 颱風劇烈降雨未來變化

在 HiRAM-WRF 模式模擬的基期中，不論是短延時或長延時的颱風劇烈降雨，皆可看到與觀測相似的分佈 (圖 27 與圖 28)，但由於颱風劇烈降雨發生頻率在模式中有高估的情況，因此本節探討其未來變化時將以改變率來檢視。為了更詳細檢視未來全球暖化下颱風劇烈降雨在臺灣各區如何變化，本節以地形高度 500m 為界，進一步比較平地及山區的未來變化率。

首先比較分區短延時颱風劇烈降雨發生次數在平地與山區的未來變化 (圖 29a)，可發現北區與中區的變化相似，均可看到山區的平均增加率大於平地，但南區則有相反趨勢，其未來變化為平地增加率大於山區，且從空間分布上也可看到臺南、高屏地區的平地有較顯著的增加 (圖 29d、h)。而臺灣東區所呈現的變化中，除了臺東縣在 GWL 2°C 時平地及山區皆呈增加趨勢外，宜蘭縣及花蓮縣的變化皆不明顯 (圖 29a)。但在 GWL 4°C 時，東部三縣市皆呈增加趨勢，其中花蓮縣及臺東縣的山區變化大於平地 (圖 29a)，而宜蘭縣的平地改變率則受到觀測及基期短延時劇烈降雨頻率較低的影響，呈現平地改變率大於山區的情況 (圖 27d)。

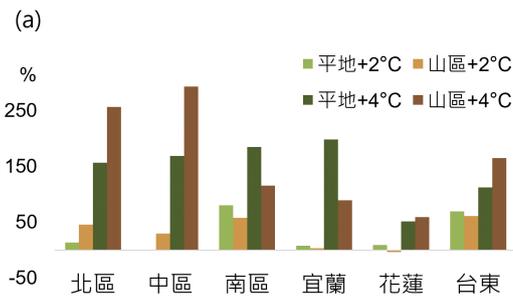
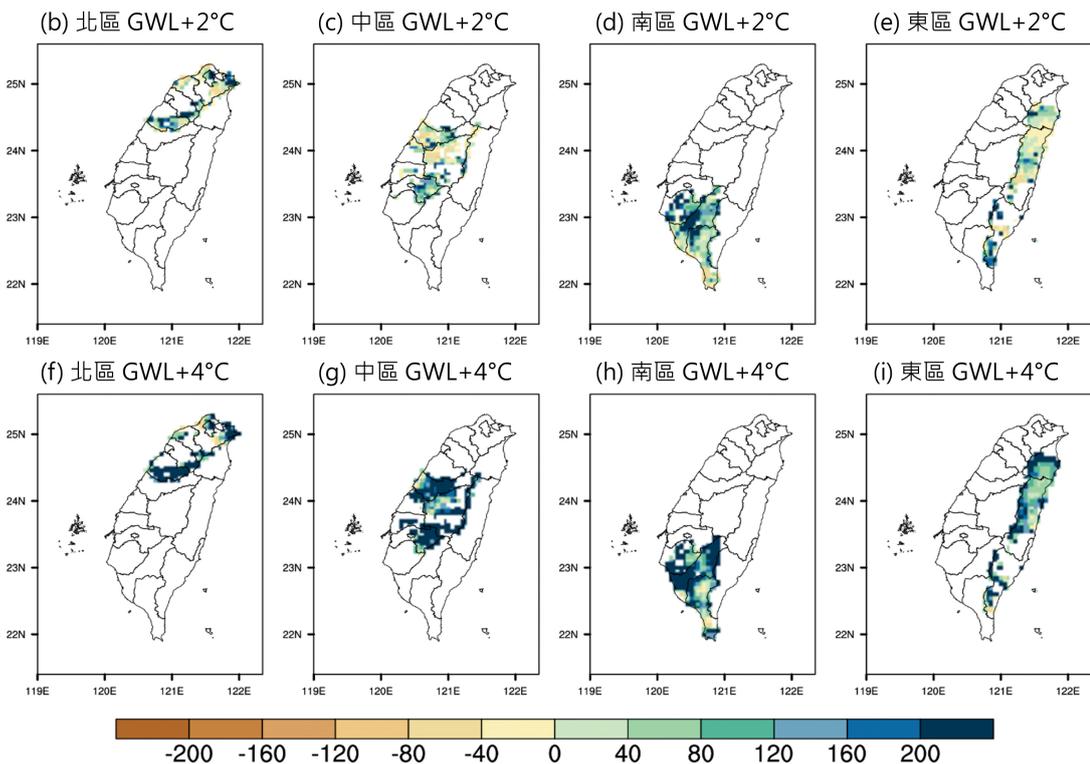


圖 29 臺灣短延時颱風劇烈降雨 (時雨量大於 80 毫米) 之 (a) 相對於基期 (1995-2014)，臺灣六個分區在全球暖化程度 2°C 及 4°C 下，發生頻率的平地與山區變化率，平地與山區以高度 500 公尺為界。(b-i) 與 (a) 相同，但分別為 GWL 2°C (b-e) 及 GWL 4°C (f-i) 下發生次數的變化率空間分布，單位：%。(來源：國家科學及技術委員會 (2024)，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告)



若進一步檢視短延時颱風劇烈降雨頻率的變化率空間分布圖 (圖 29)，GWL 2°C 下的變化率較小且區域上較無一致趨勢。但 GWL 4°C 下各區整體則皆呈增加趨勢，且四分區中變化較為顯著的區域包括北區桃竹苗山區一帶及東北角、南區嘉南平原一帶及高屏山區，以及東區與中區的山區一帶，皆呈顯著增加。

相對於整體較集中於山區的短延時颱風劇烈降雨頻率，長延時颱風劇烈降雨頻率的變化在不同暖化程度下，各分區所呈現的平地與山區改變率較為不同。在 GWL 4°C 下，除了南區的山區呈減少外，所有區域不論平地或山區的長延時劇烈降雨頻率皆呈現增加趨勢 (圖 30a、圖 30f-i)。然而在 GWL 2°C 時，雖然各區域的長延時劇烈降雨頻率變化趨勢較不顯著，但北、中、南山區皆呈減少趨勢，其中只有東北角及西部少數沿岸、南區平地呈增加，而宜、花、東則整體呈增加趨勢 (圖 30)，這樣的分布差異可能是由於影響臺灣的颱風路徑在暖化情境下的路徑偏移變化所導致 (科學報告 2024)。若比較圖 29 與圖 30 在 GWL 2°C 與 GWL 4°C 的頻率分布變化，長延時劇烈降雨的頻率分布變化 (圖 30) 更加凸顯了颱風路徑對於劇烈降雨分布的影響。

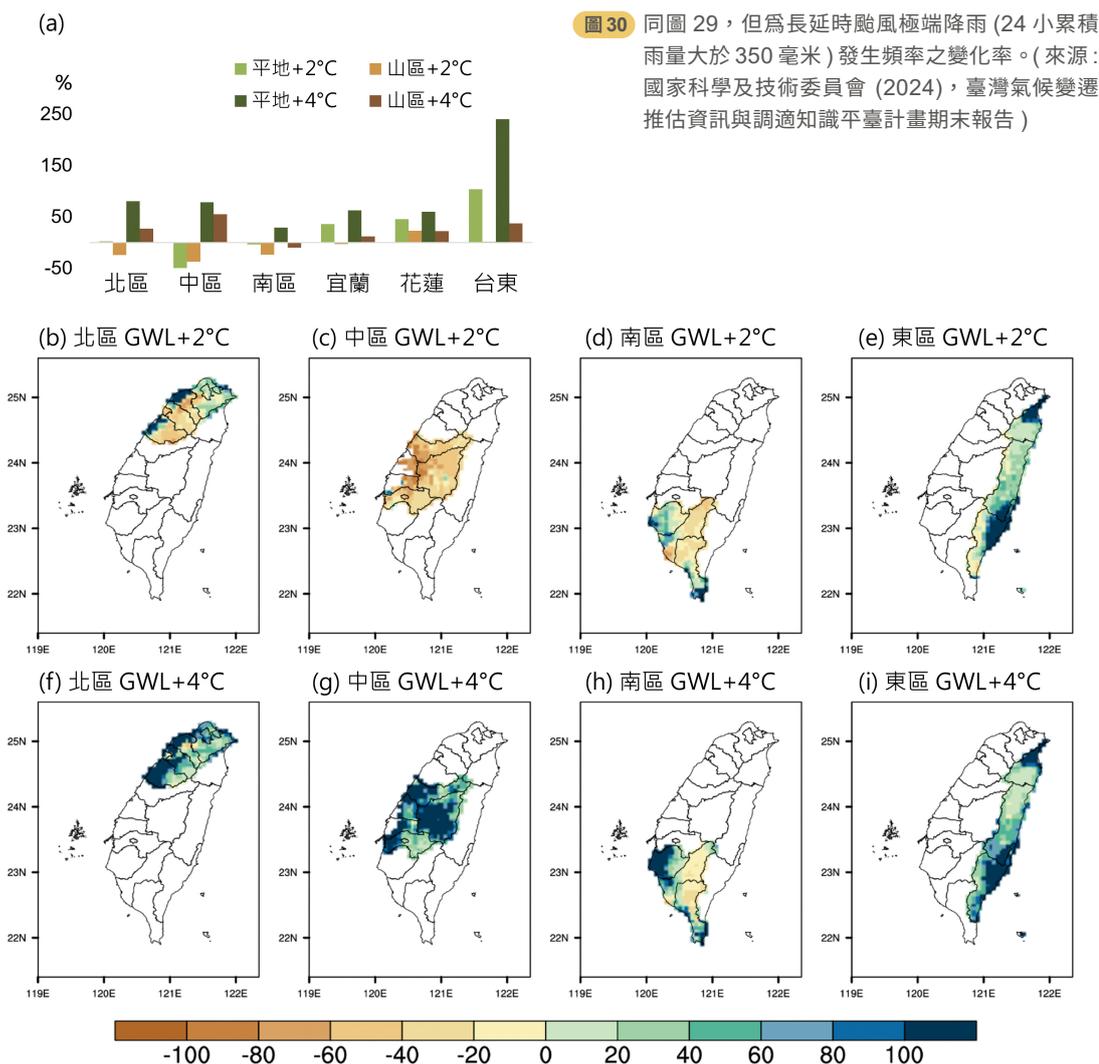


圖 30 同圖 29，但為長延時颱風極端降雨 (24 小時小累積雨量大於 350 毫米) 發生頻率之變化率。(來源：國家科學及技術委員會 (2024)，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告)

綜合本節研究分析，根據觀測資料所進行的歷史颱風事件劇烈降雨分析顯示，颱風所造成的短延時劇烈降雨盛行區域主要集中於北部、中部、南部及東部的山區，在平地的發生率則明顯較低；相較之下，長延時劇烈降雨的發生熱區雖然也集中在山區，但此類型的劇烈降雨在平地也容易發生。在 HiRAM-WRF 未來推估方面，多數區域之短延時颱風劇烈降雨隨著暖化強度由 GWL 2°C 增強至 GWL 4°C，發生次數更為頻繁；長延時強降雨劇烈降雨在 GWL 2°C 各區域變化較不一致，然而隨著全球暖化程度加劇至 GWL 4°C，除了南部局部山區之外，多數區域發生頻率呈增加趨勢。其中，在原本發生次數較低的平地區域，增加比例更為明顯。

4. 動力降尺度－歷史侵臺颱風個案之擬暖化推估

根據科學報告 2024 與前一節利用動力降尺度資料呈現之影響臺灣颱風的未來推估分析，未來影響臺灣之颱風數量可能減少，然而強颱風機率增加，且颱風所挾帶的降雨增強。過去曾經侵襲臺灣之歷史颱風事件，在暖化情境的大氣環境下，將會發生哪些颱風降雨特性的改變？類似的科學模擬可作為研擬極端災害調適策略的參考。(日本環境省，2023)

莫拉克 (Morakot) 風災為臺灣最嚴重自然災害之一，其影響臺灣期間，累積雨量超過臺灣整年平均降雨量 2500mm，多項氣象水文觀測皆打破過去最高紀錄，並對南部山區造成嚴重災害。鄭兆尊等 (2016) 以 MRI-AGCM3.2S 模式在 RCP8.5 情境之世紀末推估結果作為暖化條件設定，使用動力降尺度模擬莫拉克颱風在全球暖化情境下之推估變化，探討若是莫拉克颱風在未來暖化氣候下再次發生，可能會對臺灣帶來的劇烈降雨衝擊。其結果顯示，隨著暖化程度越強，莫拉克颱風所帶來的降雨強度也將增加越明顯 (圖 31)。區域上，特別是在台灣西南部，RCP8.5 可增加達 60%，而在山區降雨則增加 20% 左右。從時雨量的降雨強度與頻率分布顯示，暖化情境下強降雨的發生頻率增加，弱降雨則減少，且強降雨所貢獻的比例也隨著暖化增強而增加，弱降雨所貢獻的降雨比例則隨著暖化而減少，呈現強弱降雨更為極端的分布。

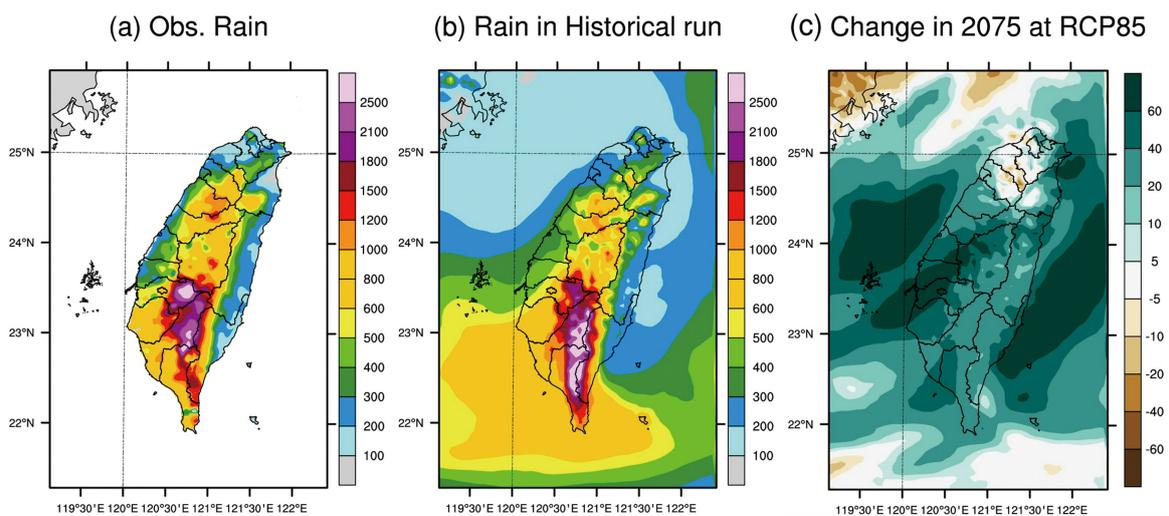


圖 31 颱風莫拉克於 2009 年 8 月 5 日 00Z 至 10 日 00Z 之總累積降雨。(a) 為陸地觀測雨量 (單位：毫米)，(b) 為模式基期降雨模擬 (單位：毫米)，(c) 為 RCP8.5 情境設定下，於 21 世紀末降雨的改變率 (單位：%) (擷取自鄭兆尊等 (2016))

根據中央氣象署資料統計，自 1979 至 2020 年間共有 198 個颱風侵襲臺灣。本節利用擬暖化實驗 (PGW, pseudo-global-warming) 以實際歷史事件為基礎，模擬未來暖化情境中相同天氣事件，評估歷史事件若在暖化情境下再次發生的強度、降雨特性與空間分布等的變化。在此使用的模擬資料，是根據區域模式 WRF 進行歷史事件模擬 (基期)，並考慮 CMIP5 全球氣候模式於暖化程度 GWL 2°C 與 GWL 4°C 的變化量，建構未來氣候場條件，將其置入於歷史颱風事件模擬之大氣條件中，進行模擬。本節挑選其中 3 個對臺灣造成嚴重災害且帶來極端降雨的颱風^[8] (圖 32)，進行擬暖化模擬結果的分析，藉由歷史情境與暖化情境模擬的比較來探討 GWL2°C 與 GWL 4°C 對歷史颱風事件的影響。

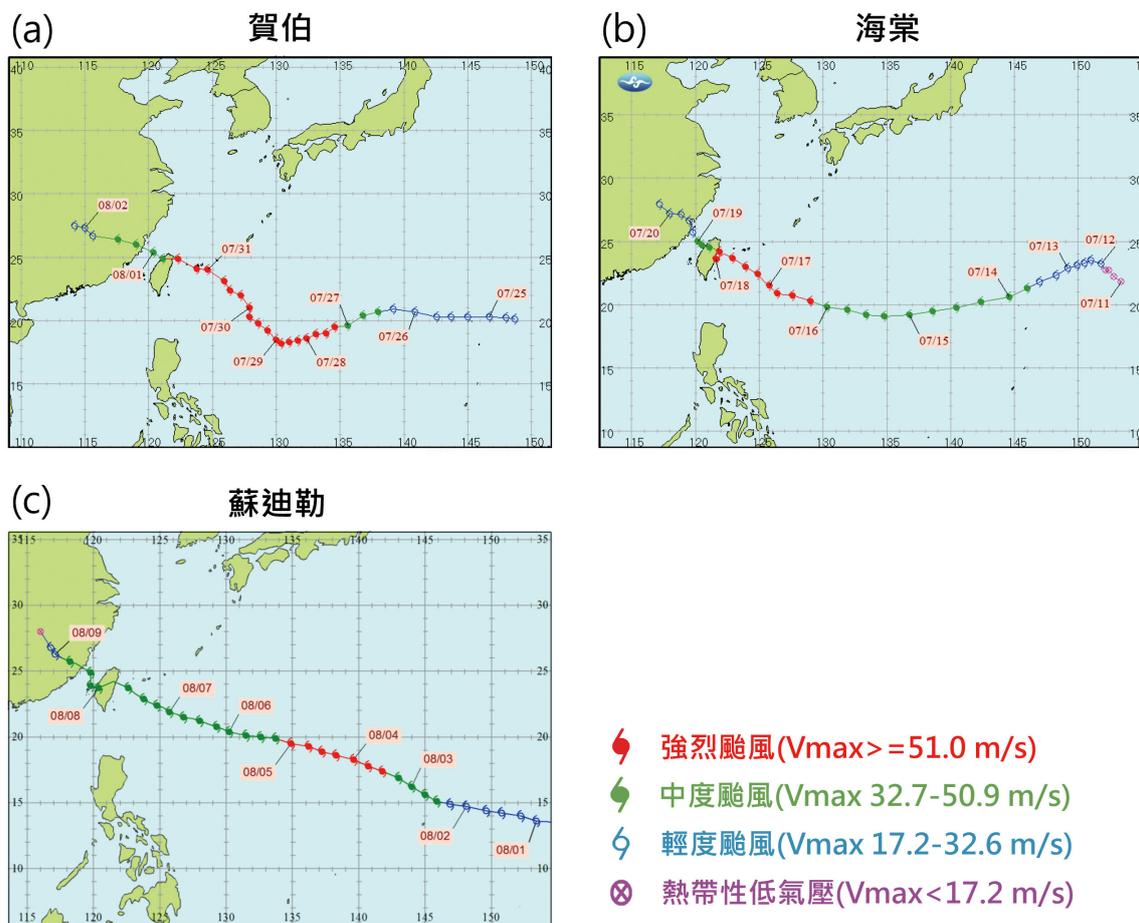


圖 32 賀伯、海棠與蘇迪勒颱風路徑圖 (資料來源：中央氣象署)

[8] 3 個颱風個案皆採用 4 組系集模擬資料進行分析，系集設定為根據模擬的開始時間分為侵台前 24、30、36 與 48 小時 4 組，最後取 4 組系集平均結果。

◆ 4.1 颱風個案回顧

• 1996 - 賀伯

賀伯 (Herb) 颱風於 1996 年 8 月 31 日登陸臺灣基隆蘇澳，路徑沿北部向西並於新竹出海，強風及豪雨造成全國嚴重災情，航空、鐵路全面停駛，多處公路嚴重受損，中、南部沿海地區海水倒灌，阿里山測站最高雨量 1094 mm，颱風共造成 51 人死亡、22 人失蹤。(以上颱風災害資料擷取自國家災害防救科技中心全球災害事件簿 <https://den.ncdr.nat.gov.tw/1132/1188/1204/3792/3795/>)

• 2005 - 海棠

海棠 (Haitang) 颱風登陸前於花蓮外海打轉並於 5 月 18 日自宜蘭東澳登陸，颱風降雨主要集中於南臺灣，高雄、屏東均測得 2000 mm 以上累積雨量，因適逢大潮，臺南溪水暴漲潰堤大面積淹水，最深達 1.8 公尺，淹水面積 109 平方公里，造成嚴重災情及農業損失。(以上颱風災害資料擷取自國家災害防救科技中心全球災害事件簿 <https://den.ncdr.nat.gov.tw/1132/1188/1204/2459/2584/>)

• 2015 - 蘇迪勒

蘇迪勒 (Soudelor) 自花蓮秀林鄉登陸，強陣風達 12 級造成多座風機以及路樹倒塌，全台約 450 萬戶停電，為近年停電戶數最多紀錄，北部山區多處短延時強降雨導致自來水濁度過高停供，經統計水利設施及農業損失達 22 億。(以上颱風災害資料擷取自國家災害防救科技中心全球災害事件簿 <https://den.ncdr.nat.gov.tw/1132/1188/1204/2082/2091/>)

◆ 4.2 暖化情境下的颱風變化

圖 33 是颱風進入臺灣海岸線 300 公里範圍內的 3 小時颱風降雨平均分布及變化，從基期結果可見降雨的環狀結構，且位置偏向颱風中心的南側以及東側呈現不對稱的結構，這與西北太平洋颱風季的背景環流水氣通常由南方、西南方供給以及颱風逆時鐘旋轉的特性有關。相對於基期的降雨分布，GWL 2°C (圖 33d-33f) 與 GWL 4°C (圖 33g-33i) 的颱風降雨的平均變化量 (圖 33) 顯示，颱風隨著暖化程度增強，整體降雨量增加更為明顯，在眼牆以及外圍環流雨帶增加最為顯著。

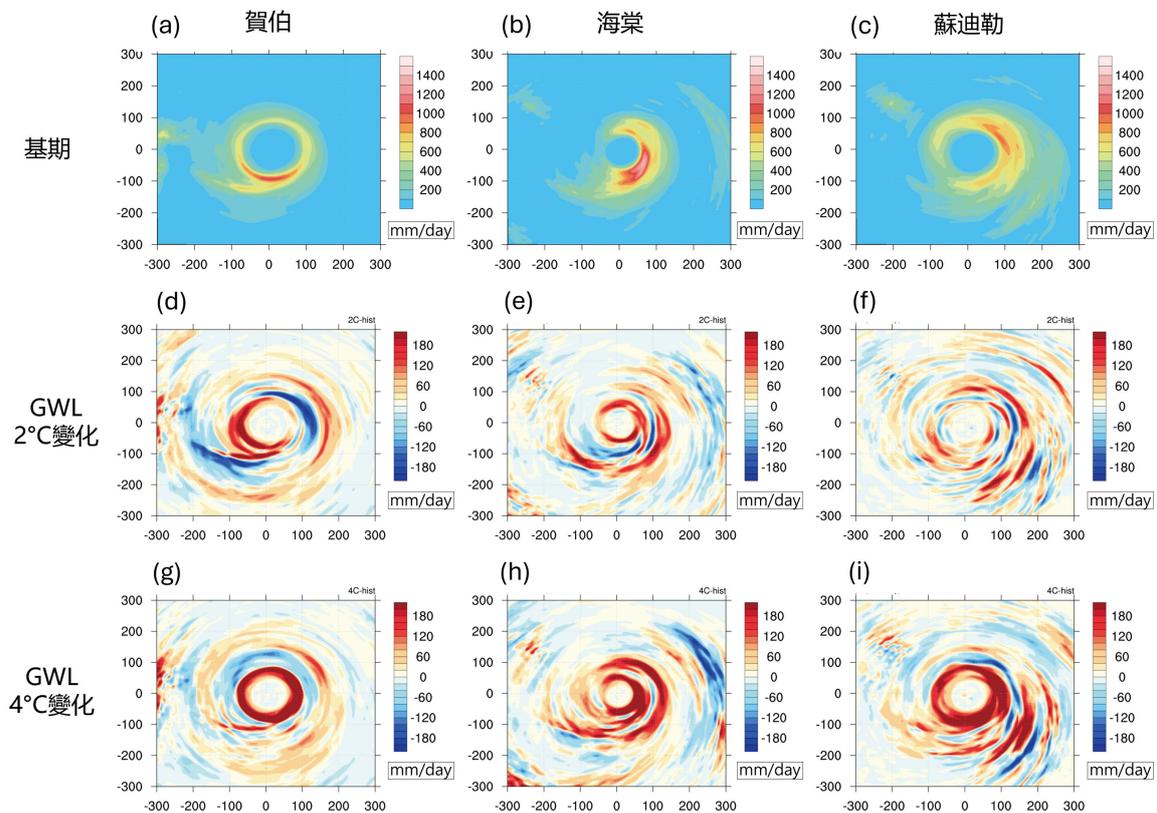


圖 33 颱風進入距離臺灣 300 公里範圍後的 3 小時平均降雨之四組模擬系集平均。圖 (a)-(c) 為基期，以及相較於基期 GWL 2°C (d-f) 與 GWL 4°C (g-i) 之變化量。(單位：毫米 / 每日)。

以颱風中心為中心點，圖 34 呈現 3 個颱風降雨量隨半徑而變化的趨勢，可看到基期的降雨多集中在距離颱風中心約 100 公里的位置，僅海棠颱風範圍較小，最大值約在 70 公里。在 GWL 2°C 下部分颱風降雨增強，其增強的位置集中在原本降雨峰值附近的眼牆區域，GWL 4°C 則顯示所有颱風眼牆附近降雨都明顯增加。降雨增加量的分布顯示，暖化情境下颱風降雨增強最多的位置並非原本降雨最大的地方，而是偏向最大值、眼牆的內側，顯示暖化情境下的颱風結構內縮變得更為扎實。

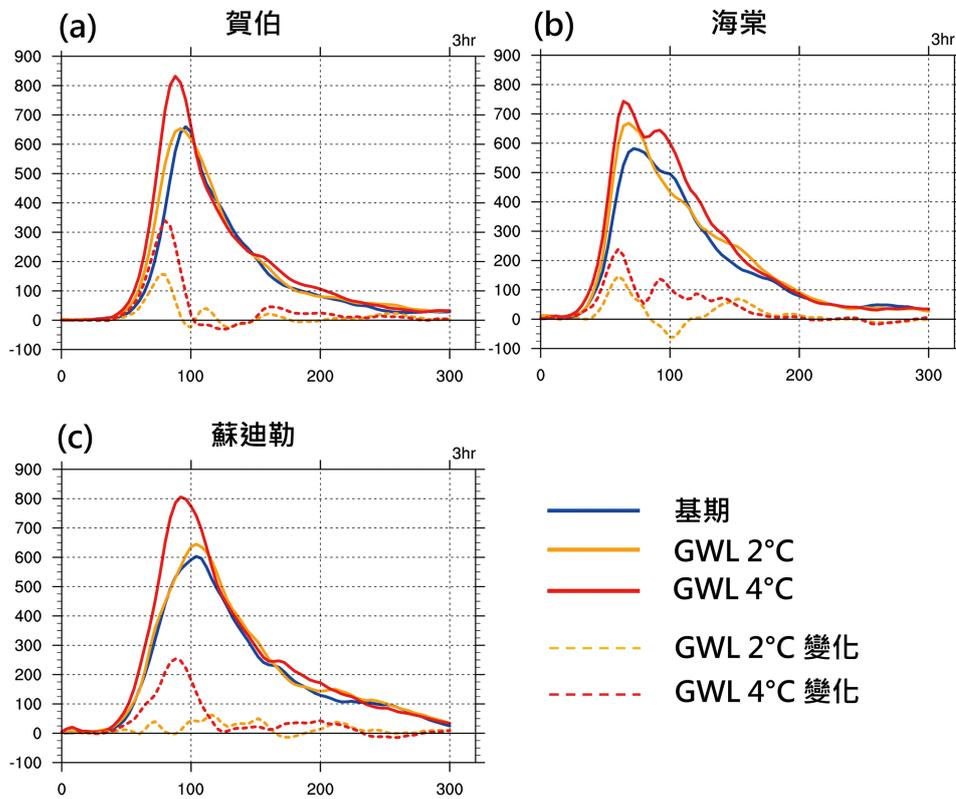


圖 34 降雨強度隨颱風半徑的平均分布 (實線；藍色代表基期，橘色與紅色分別代表 GWL 2°C 與 GWL 4°C)，以及不同暖化程度相較於基期的變化量 (虛線；橘色與紅色分別代表 GWL 2°C 與 GWL 4°C)。

除了颱風本身降雨空間分布的結構變化之外，颱風往往為臺灣陸地帶來致災降雨。分析此 3 個颱風個案其中心進入臺灣海岸線 300 公里範圍內至離開期間的累積降雨分布 (圖 35)，可見不同颱風路徑造成不同的降雨特徵：海棠颱風與蘇迪勒颱風為較典型穿越臺灣中央山脈的路徑，受到地形以及颱風逆時鐘環流的影響，降雨多半集中在東北部以及西南部山區；賀伯颱風路徑偏北，因此降雨集中在西半部及迎風面山區。整體而言在多數地區，隨著暖化程度由 GWL 2°C 增強至 GWL 4°C，模式推估颱風帶給臺灣陸地的降雨將再進一步的增加，局部地區可能因環流雨帶的細微變化造成降雨略為減少，但整體降雨仍然是明顯增加的趨勢，特別是在各個颱風原本降雨就較多的位置以及山區迎風面。

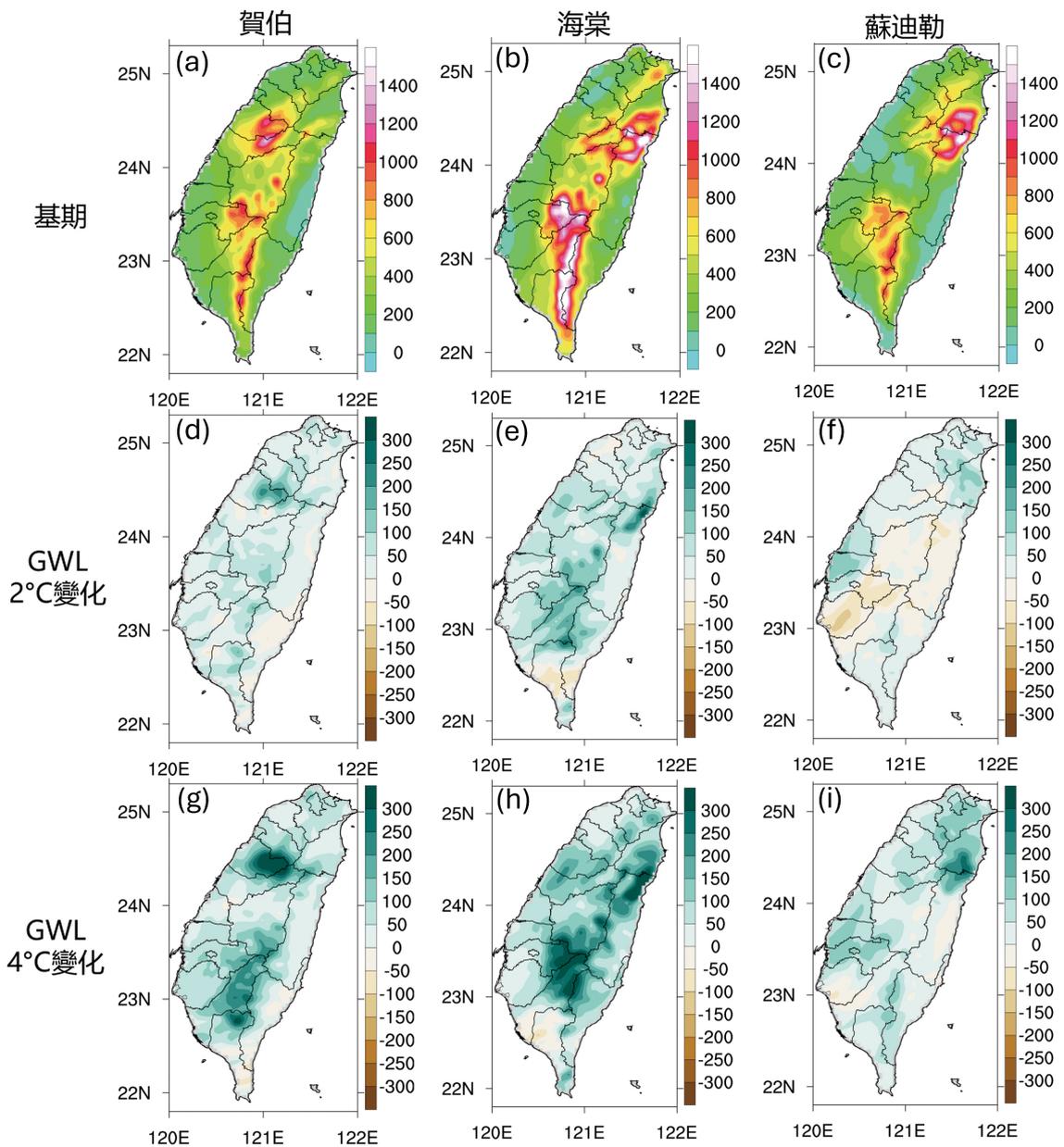


圖 35 三組颱風模擬個案於距離臺灣海岸線 300 公里期間之陸地累積降雨量。圖 (a)-(c) 為基期之分布，(d)-(f) 為 GWL 2°C 之變化量，以及 (g)-(i) 為 GWL 4°C 之變化量 (單位：毫米)。

進一步將颱風進入臺灣海岸線 300 公里範圍內在陸地區域帶來的降雨進行降雨強度機率密度分布分析 (圖 36)，降雨分布變化顯示暖化情境下，較弱的颱風降雨發生頻率將減少，但較強降雨發生頻率增加，特別是在高於 300 毫米的降雨強度。其中，GWL 4°C (紅色空心直條圖) 的強弱降雨發生頻率分布變化的增減對比，相較於 GWL 2°C (橘色實心直條圖) 又更為明顯，較弱颱風降雨發生頻率降低，但更容易致災的強降雨發生更為頻繁。

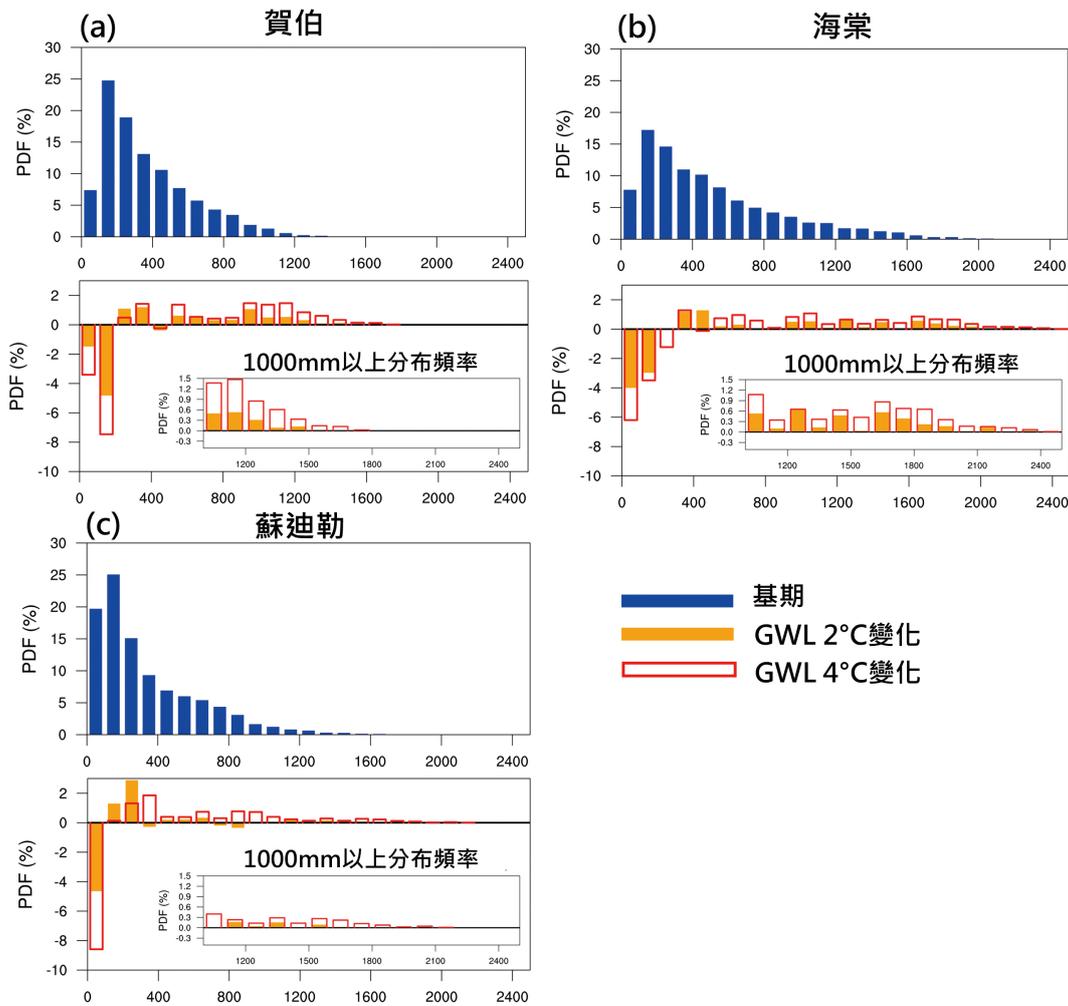


圖 36 颱風進入距離 300 公里期間之陸地累積降雨量強度之機率密度分布。(a) 上圖為賀伯颱風於基期模擬，以及相較於基期，在 GWL 2°C 之變化 (下圖：橘色實心直條) 以及 GWL 4°C 之變化 (下圖：紅色空心直條)。右下角縮圖為 1000-2400 毫米區間的變化 (單位：%)。(b-c) 同圖 35(a)，但為 (b) 海棠與 (c) 蘇迪勒的結果。

利用擬暖化實驗可以幫助我們探討，對於過去曾經侵襲臺灣之歷史颱風個案，若同樣颱風再次發生在暖化後的大氣環境的假設下，颱風帶來的劇烈降雨將會如何改變？本節回顧莫拉克的擬暖化研究，並挑選賀伯、海棠與蘇迪勒三個曾經為臺灣帶來重大災情的歷史颱風事件為例，進行擬暖化實驗與分析。結果顯示，隨著暖化程度由 GWL 2°C 增加至 GWL 4°C，颱風降雨強度普遍增強，由颱風徑向降雨分布可以更明顯發現，原本降雨峰值增強且向內側集中，呈現颱風更為緊密的降雨分布。颱風為臺灣陸地帶來的累積降雨量，在大多數區域隨著暖化程度增強而增加，這來自於颱風帶來的強降雨事件強度更為增強，且發生將更為頻繁。

5. 梅雨季與午後雷陣雨等其他型態劇烈降雨

根據第 2 章分析結果顯示，臺灣雨季集中在夏季，除了前面二節探討的颱風劇烈降雨，梅雨與午後對流也是夏季主要降雨型態之一。午後對流方面，在 HiRAM-WRF AR5 動力降尺度暖化情境推估的結果顯示，在 21 世紀末臺灣 6-8 月午後對流降雨的發生頻率減少，但降雨強度將會增強。透過暖化情境推估之環境場分析顯示，由於太平洋副熱帶高壓增強並向西南延伸，使得穩定的大氣環境籠罩在臺灣上空，不利午後對流的發生；然而，降雨事件一旦發生，由於暖化情境下的低層水氣增加，午後對流降雨強度將比以往更為劇烈 (Huang et al. 2016)。另一方面，利用水平解析度高達 500 公尺的大渦模擬 (Large-Eddy Simulation; Chen et al. (2024))，透過擬暖化實驗 (PGW) 探討臺灣暖化情境下午後雷陣雨的變化，模擬結果顯示在 PGW 3°C 情境下，午後對流發生之降雨量增加，短延時強降雨事件增多，對流強度增強。雨量熱點主要仍集中在山區，但降水範圍向低海拔地區擴展。

梅雨季方面，Huang et al. (2019) 利用 HiRAM-WRF AR5 動力降尺度推估發現極端暖化情境下，臺灣西半部迎風面的風場輻合與水氣通量增加，提供更有利降雨條件，導致在 21 世紀末梅雨季劇烈降雨事件天數與強度皆為增加；相對的，在臺灣東半部的背風面則是水氣輻合減弱，不利極端降雨發生。在 CMIP5 模式於 RCP8.5 情境推估顯示，臺灣梅雨季在 21 世紀末呈現增強的變化 (Tung et al. 2020)。近年研究顯示臺灣梅雨季主要降雨高峰已由 5 月下旬延遲至 6 月中旬 (Wang et al. 2015; Tung et al. 2020)；Huang et al. (2022) 使用 CESM2-LE 與 CMIP6 模式 SSP3-7.0 情境推估結果，發現這個延遲趨勢在 21 世紀中後期將更為推遲至 6 月下旬，並且降雨峰值強度增強，推測梅雨季劇烈降雨發生時間將更為延遲與增強。





CHAPTER

04

劇烈降雨變化與災害衝擊

CHAPTER | 04 劇烈降雨變化與災害衝擊

根據科學報告 2024 指出，隨著暖化程度加劇，未來影響臺灣之颱風個數可能減少，但強度將會增強且挾帶之降雨增加，未來可能將面對更嚴重的災害衝擊，同時也考驗各項設施的耐受程度。面對氣候變遷造成的影響，可透過氣候模式模擬未來的氣候情況，結合坡地與淹水模式進行衝擊推估，評估可能的災害風險，並藉以研擬調適方案或強化防災措施。

1. 劇烈降雨事件之降雨變化率分析

本節收錄 TCCIP 計畫淹水領域與坡地領域團隊之研究成果，作為極端降雨與災害衝擊的趨勢評估與案例研析。相關資料主要採用 HiRAM-WRF AR5 動力降尺度颱風事件時雨量資料，水平空間解析度為 5km，資料涵蓋基期、GWL 2°C 與 GWL 4°C，共 616 場次颱風降雨事件。危害分析部分考量淹水與坡地的災害特性，定義四種不同降雨危害指標，包含：最大 6 小時累積雨量、最大 12 小時累積雨量、最大 24 小時累積雨量與總累積雨量，針對全臺灣尺度及災害分析區域（淹水災害將全臺範圍分為九大區域、坡地災害針對山區上游分為 24 個集水區）之各區涵蓋雨量網格進行降雨資料分析，分別計算在 GWL 2°C 與 GWL 4°C 相對於基期的四種降雨危害指標中，排序前 30% 颱風劇烈降雨事件下之降雨變化率，藉此了解在全臺及各分區、不同時期、不同雨量分析指標之雨量變化趨勢。HiRAM-WRF AR5 在不同暖化程度之颱風場次資訊如表 4。

表 4 HiRAM-WRF 颱風場次資訊

模式	HiRAM		
	基期	GWL 2°C	GWL 4°C
情境			
對應模式年份	1995 至 2014 年	2032 至 2055 年	2072 至 2095 年
颱風事件總場次	95	343	178
最大 24 小時累積雨量 排名前 30% 場次	29	103	53

根據上述標準，以全臺為範圍進行排序篩選，圖 37 中第一列顯示基期之累積降雨量，第二列與第三列分別為 GWL 2°C 與 GWL 4°C 相對於基期之降雨變化率，變化率之藍色越深代表正向變化率越高，反之則為負向變化率越高；直行部分則分別為四種不同累積雨量分析指標。整體而言，以變化最明顯的總累積雨量來看，GWL 2°C 相對於基期，臺灣西半部多呈現雨量為減少的趨勢，尤其北部至中部地區（桃竹苗至彰雲嘉投）雨量減量明顯，部分地區變化率減少近 40%，而南花蓮與臺東雨量呈現正向的增量，介於 10 至 30%；而 GWL 4°C 相對於基期，在北部至中部地區（桃竹苗至彰雲嘉投）多數地區雨量為增多的趨勢，部分地區甚至增加近 40%，而東半部、及雲林至屏東多呈現減量的趨勢，介於 0 至 -20%。根據圖 37 所示，若以全臺事件進行篩選，颱風造成之劇烈降雨事件的降雨變化率分布，不一定隨著暖化程度增強而增加，這可能是由於影響臺灣之颱風路徑偏移變化，進而影響局部地區的降雨變化所造成（科學報告 2024），同時也呼應第三章颱風劇烈降雨事件頻率變化（圖 30）。這樣的分析結果也凸顯若要評估劇烈降雨變化對於特定區域的衝擊，需要更進一步針對區域範圍進行事件篩選。

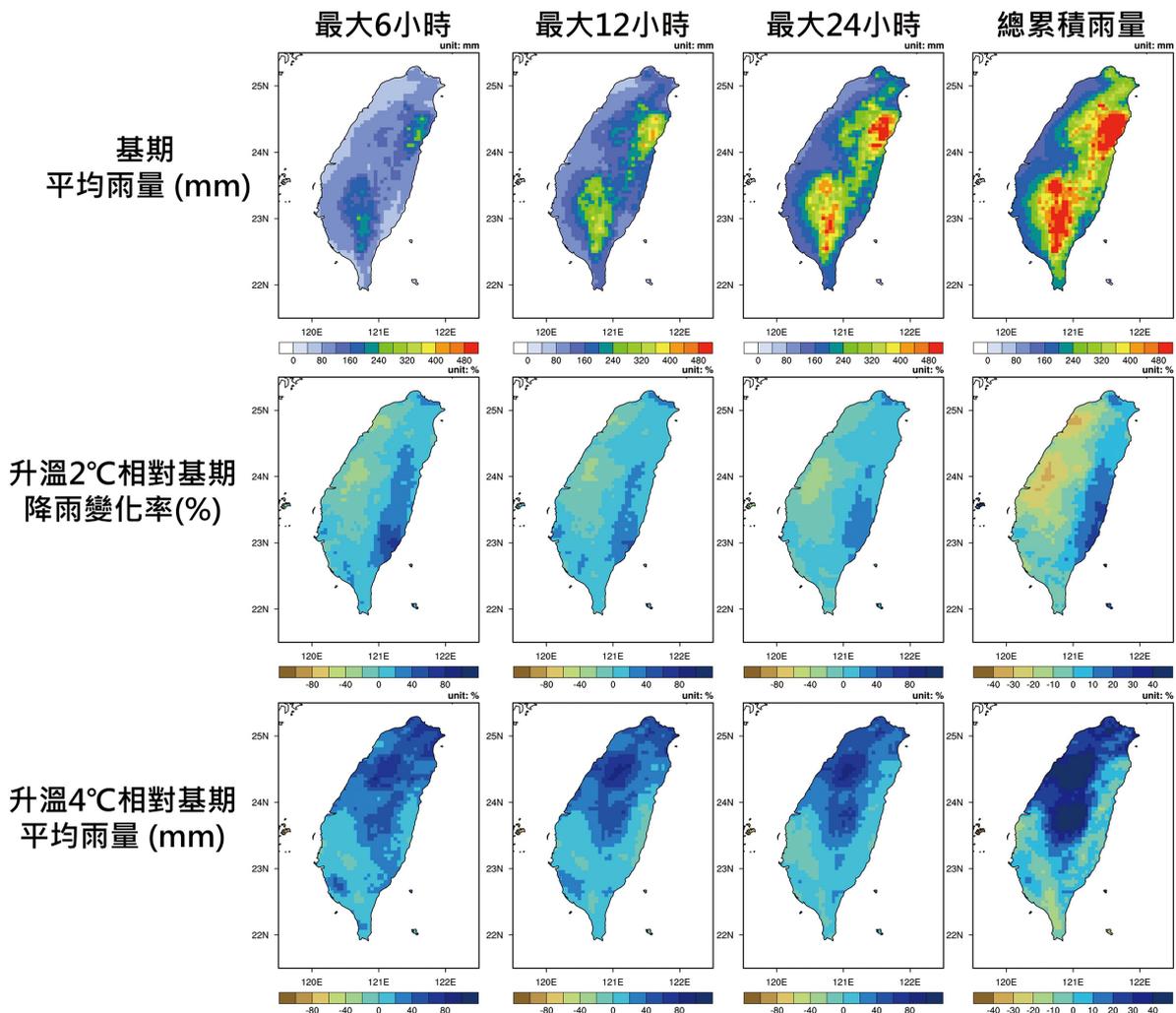


圖 37 各指標排序前 30% 極端颱風事件 - 降雨平均分布與降雨變化率。(來源：國家科學及技術委員會 (2024)，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告)

2. 劇烈降雨事件之衝擊評估研究

根據 IPCC AR6 第二組工作報告 (IPCC, 2022) 指出，在過去 30 年山區坡地與氣候相關的災害有增加的趨勢，其中以洪水、土石流、及崩塌等災害對山區人口影響最大。除了山區衝擊影響，整體而言氣候變遷對水的衝擊是全面性的，影響範圍更擴張至自然生態及人類社會，氣候變遷衝擊及風險將變得更加複雜，且更難以管理。

對於地處板塊交界帶、地形陡峭且地質脆弱的臺灣而言，過去發生過的坡地災害不在少數，尤其在颱風期間，極端且大量的降雨，時常造成重大的人命傷亡及財產損失。根據林詠喬等 (2023) 針對 2006 年至 2020 年間的 494 起重大土砂災害案例進行分析，結果顯示，降雨誘發的崩塌占比最高，達 46% (227 件)。歷史上多次重大坡地災害與颱風降雨密切相關，例如：1996 年賀伯颱風在南投信義豐丘引發土石流，造成 21 戶房屋毀損及 2 人死亡；2009 年莫拉克颱風帶來的極端雨量，導致全臺交通中斷、橋梁斷裂等災情，其中，高雄甲仙小林村發生大規模崩塌，造成 491 名村民罹難；2015 年蘇迪勒颱風，則在新店廣興里、烏來忠治里等多處發生崩塌及土石流，造成人員傷亡與財產損失。過去之淹水災況也不容小覷，在臺灣有部分地層下陷較為嚴重之區域，因此容易造成逢雨必淹之災情發生，例如在 2017 年尼莎暨海棠颱風、2019 年 0812 豪雨、2021 年盧碧颱風暨 0806 豪雨等事件，皆造成雲嘉南及高屏地區不少淹水災況與損失。隨著全球暖化，侵臺颱風將趨於強颱化，降雨強度亦將增加，使降雨變得更加極端 (科學報告 2024)。此趨勢將可能增加坡地的不穩定性與崩塌風險，以及淹水強度的提升，進而加劇災害的規模與範圍。

依據科學報告 2024 所摘錄陳韻如等人 (2024) 的分析，利用 AR6 統計降尺度日資料及指標疊加法，評估不同暖化程度下臺灣坡地災害風險的變化趨勢。研究結果顯示，在 GWL 2°C 下，北部與東部山區風險等級有提高趨勢，中南部山區維持高風險等級；GWL 4°C 下，則有部分山區風險等級明顯加重。

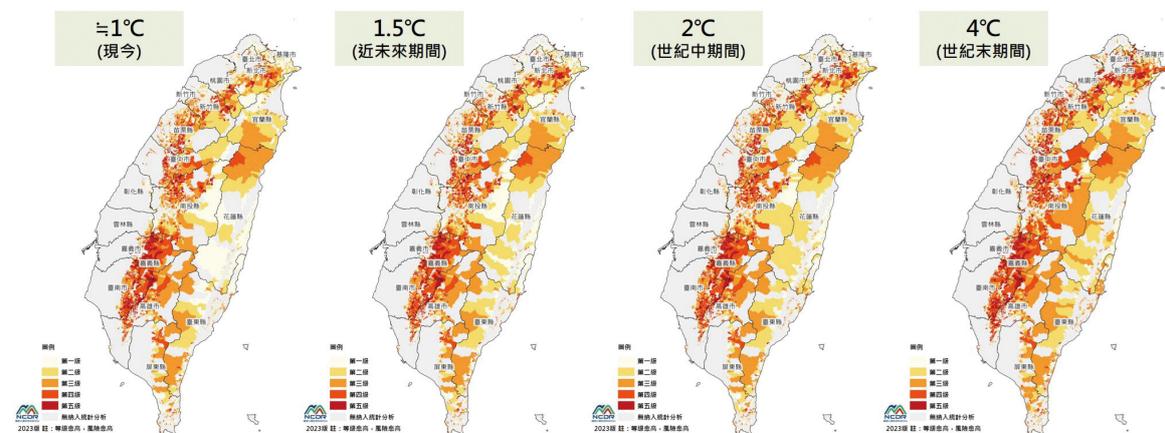


圖 38 全球暖化程度不同情境下最小人口統計區之坡地災害風險 (來源：陳韻如等，2024)

在淹水部分，黃亞婷等 (2023) 應用 AR5 統計降尺度資料之 GWL 情境下 (近似 1°C、1.5°C、2°C、4°C) 全臺日雨量超過 650mm 年最大值作為危害度指標，搭配經濟部水利署淹水潛勢圖定量降雨 650mm/24hr 當作脆弱度指標及內政部人口統計資料當作暴露度指標，產製氣候變遷淹水災害風險圖。如圖 39 所示，相較於現今氣候 (近似 1°C)，西半部在未來推估有明顯等級加重之趨勢，尤其以桃竹苗和臺中市以南加重趨勢較高。TCCIP 計畫進一步利用 HiRAM-WRF AR5 動力降尺度進行淹水衝擊分析，將全臺灣分為九大區域 (北北基、桃竹苗、臺中、彰雲嘉、臺南、高屏、宜蘭、花蓮、臺東等)，模擬基期、GWL2°C及 GWL4°C情境下，各分區分別選取該分區之最大 24 小時累積雨量排序前 30% 極端颱風事件進行該區之淹水模擬，並依據上述模擬結果整合為全臺最大淹水深度 0.5 公尺含以上之淹水發生機率。如圖 40 所示，可能發生淹水之區域及淹水發生機率有明顯增加之區域大多位在西南沿海縣市，整體而言則以彰雲嘉地區淹水範圍增加幅度最為明顯。

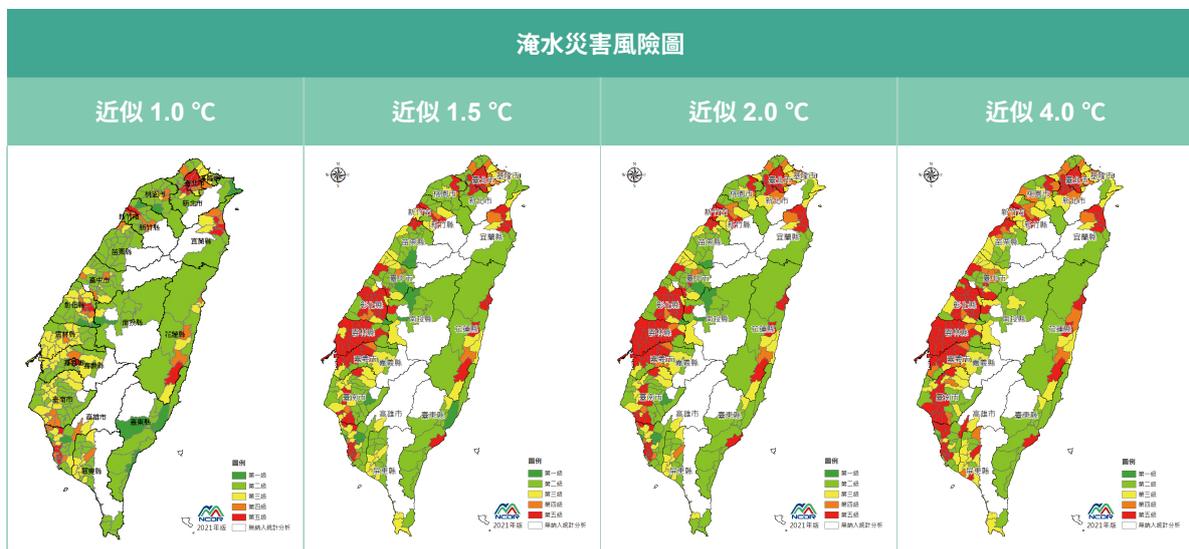


圖 39 不同暖化情境下氣候變遷淹水災害風險圖 (黃亞婷等，2023，國家災害防救科技中心災害防救電子報，第 211 期)

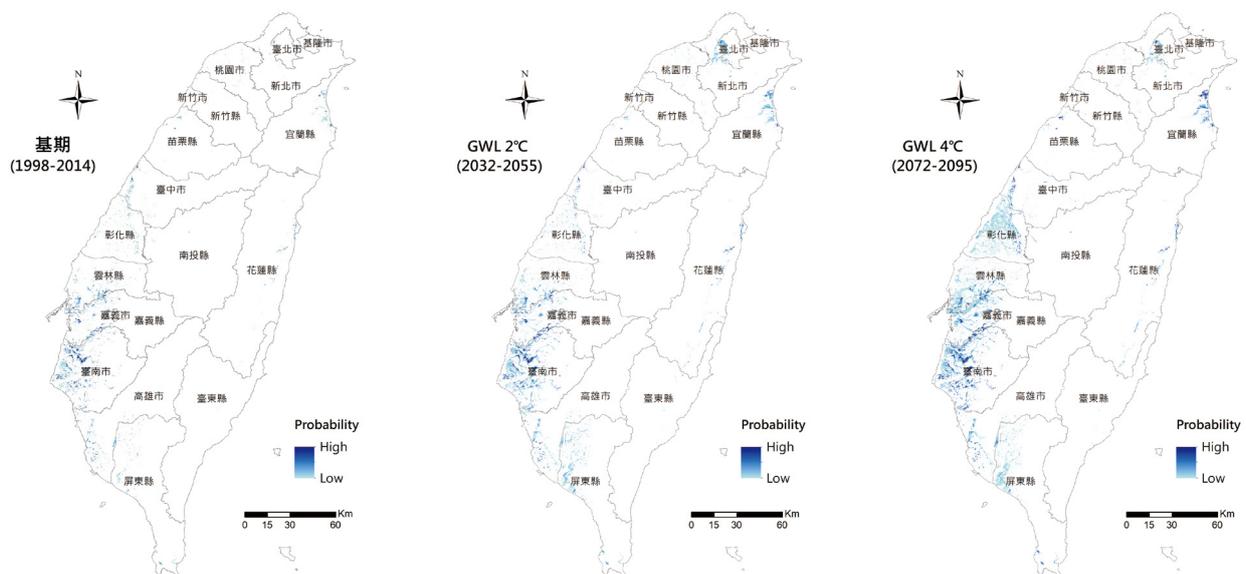


圖 40 不同暖化情境下淹水深度 0.5m 含以上淹水發生機率分布圖 (來源：國家科學及技術委員會 (2024)，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告)

◆ 2.1 坡地衝擊研究成果—以新店溪集水區為例

颱風帶來的極端降雨常是誘發崩塌的重要因素之一，為提前掌握氣候變遷對於坡地崩塌可能帶來的變化與衝擊，結合坡地崩塌數值模式及氣候變遷推估資料，模擬颱風降雨下的坡地崩塌潛勢，並透過降雨危害指標及崩塌衝擊指標評估降雨及崩塌情形的變化趨勢。本節針對 TCCIP 計畫以集水區尺度之更詳細的研究成果進行展示與說明，以新店溪為例，探討不同暖化程度（GWL2°C與 GWL4°C）下降雨與崩塌潛勢的變化趨勢，藉此細緻化成果，期望能作為未來衝擊評估與調適策略擬定之參考。

本節採用 HiRAM-WRF AR5 動力降尺度之颱風降尺度偏差修正資料，來作為分析氣候變遷劇烈降雨變化及崩塌衝擊的降雨資料。針對新店溪集水區涵蓋的雨量網格為範圍，計算不同時期各場颱風事件在新店溪集水區範圍內不同延時的累積雨量，以降雨量排序颱風事件，篩選不同延時排序前 30% 的事件來分析降雨危害指標，了解氣候變遷下降雨變化趨勢；並以本集水區範圍內最大 24 小時累積雨量排序前 30% 事件作為極端事件，評估氣候變遷可能對坡地崩塌帶來的影響。

TCCIP 計畫選用美國地質調查所發展的淺層崩塌數值模式 (Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope-Stability Model, TRIGRS)，來模擬劇烈降雨事件可能引發的崩塌潛勢 (Baum et al., 2008)。過去已有多項研究結合氣候變遷推估資料與 TRIGRS 模式評估氣候變遷降雨對崩塌潛勢的影響，例如：李欣輯等 (2017) 應用 TRIGRS 模擬大甲溪集水區在氣候變遷下的土砂變動趨勢，發現大甲溪集水區 21 世紀末相較 20 世紀末的平均崩塌率由 2.5-3% 提升至 4%；李欣輯等 (2018) 亦針對石門水庫集水區以 TRIGRS、經驗模式，以及羅吉斯回歸統計等多個模式進行崩塌衝擊評估，指出 21 世紀末相較 20 世紀末的平均崩塌率由 0.47% 增加至 0.77%，衝擊有提升趨勢；此外，Wei et al.(2018) 以 TRIGRS 結合氣候變遷資料，分析新店溪集水區在氣候變遷下的崩塌潛勢分布情形。

氣候變遷下新店溪集水區降雨變化趨勢顯示，相較於基期，在 GWL2°C及 GWL4°C的降雨變化呈現增加趨勢：在 GWL2°C下，大多數區域的降雨變化率多介在 0 至 20% 間；在 GWL 4°C下，降雨變化率幅度約為 20 至 50% (圖 41)。相較於 GWL2°C，GWL 4°C 下的降雨增幅較為顯著。

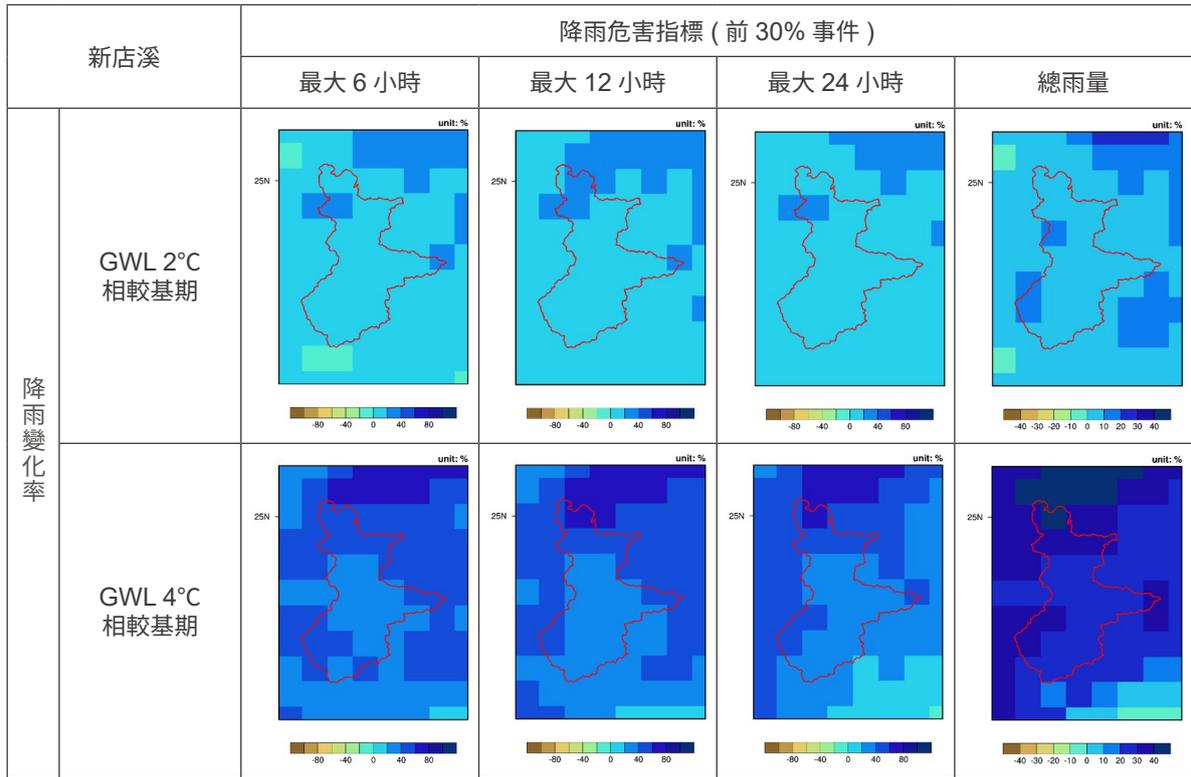


圖 41 新店溪集水區於 GWL 2°C及 GWL4°C下降雨變化率的變化趨勢 (來源：國家科學及技術委員會 (2025)，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告)

透過 TRIGRS 模擬各時期颱風降雨事件的崩塌潛勢，並計算崩塌率及崩塌機率兩種衝擊指標，以評估氣候變遷不同暖化程度下的崩塌衝擊變化趨勢。圖 42 分別為基期、GWL 2°C及 GWL 4°C的崩塌率，以平均值來看，新店溪集水區基期的平均崩塌率（盒鬚圖中的 x）約為 0.77%，GWL 2°C約為 0.93%，GWL 4°C則約為 1.13%（圖 42）。相較於基期，GWL 2°C及 GWL 4°C下的平均崩塌衝擊有增加的趨勢。

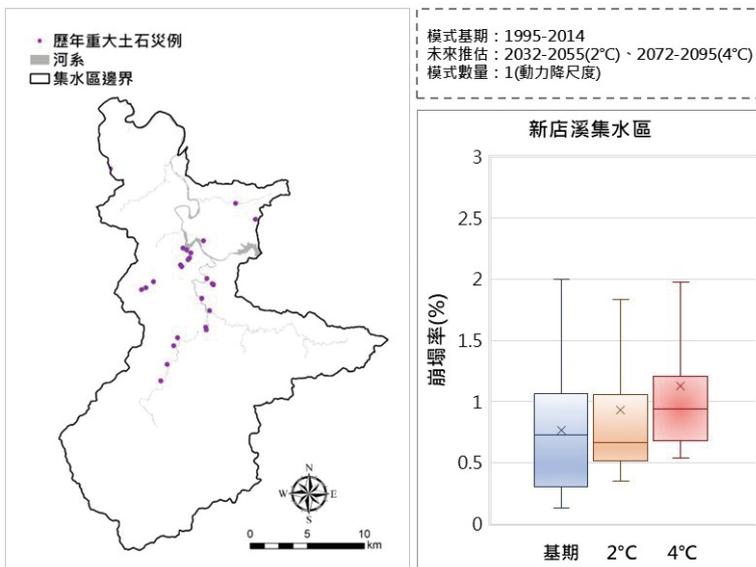


圖 42 新店溪集水區於不同暖化程度下之崩塌率 (來源：國家科學及技術委員會 (2024)，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告)

在崩塌機率分析中，以山崩與地滑地質敏感區為基底，根據計算結果，將氣候變遷下的崩塌衝擊資訊加入各區塊，呈現未來坡地衝擊的變化趨勢。分析結果顯示在基期、GWL 2°C及 GWL 4°C下，崩塌機率較高的區域多分布在中上游 (圖 43(a)(b)(c))；相較於 GWL 2°C，GWL 4°C下更多區域的崩塌機率呈現上升趨勢，且提升幅度較大 (圖 43(d)(e))。因此，對於崩塌衝擊顯著提高的區域，應加強關注並提前思索因應措施。

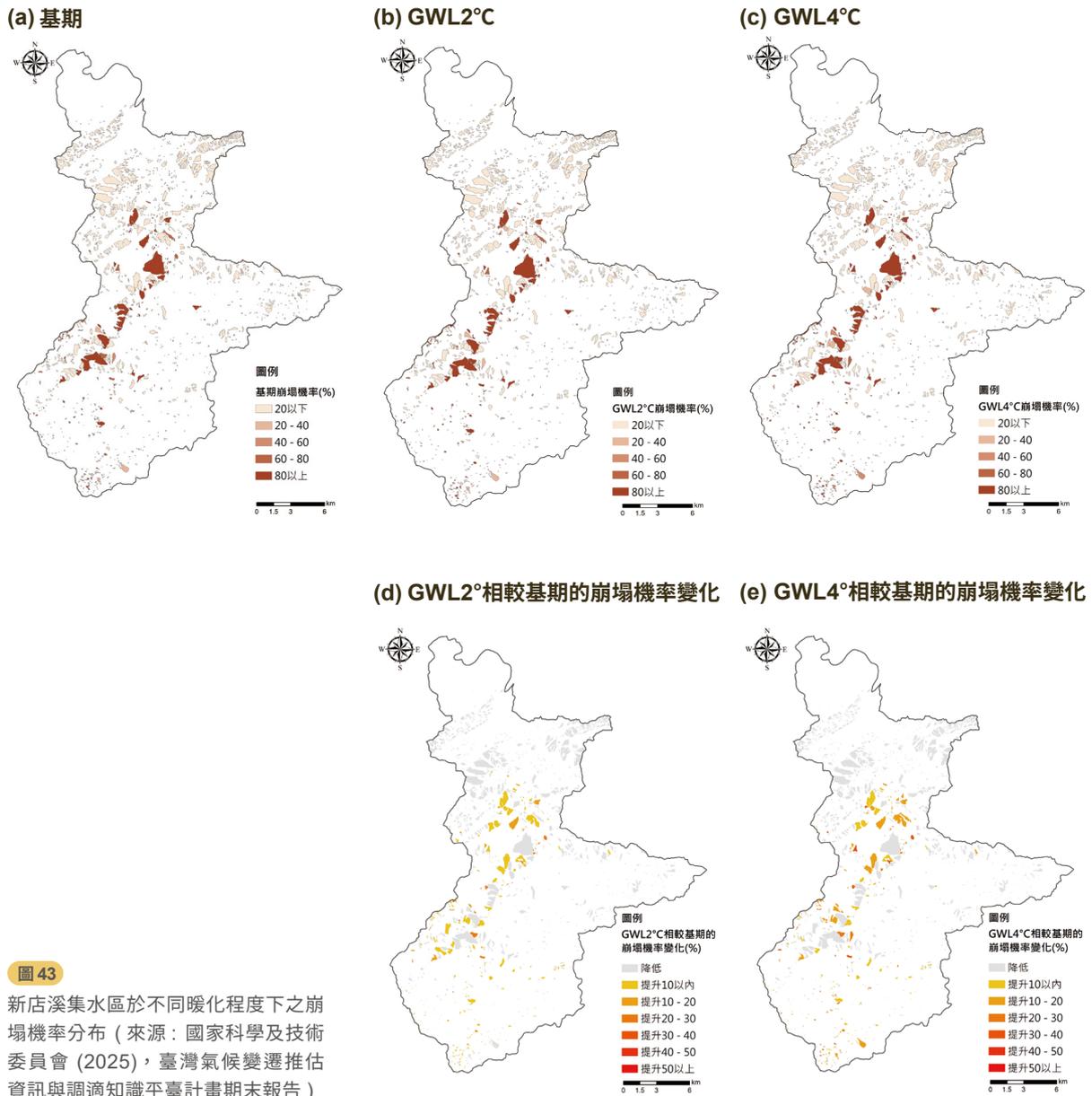


圖 43

新店溪集水區於不同暖化程度下之崩塌機率分布 (來源：國家科學及技術委員會 (2025)，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告)

氣候變遷下極端降雨事件的頻率與強度具增強趨勢，不利於坡地穩定性，將可能加劇崩塌與土石流的發生。未來坡地防災與調適策略擬定時，建議依據科學的循證研究基礎，提早規劃合適的在地應對措施。此外，在擬定調適策略的同時，也可探索坡地利用與土地管理的轉型契機，將潛在的風險化為促進環境永續與社會安全的發展機會。

文字框 3 降雨對坡地的危害與坡地模式簡介

降雨如何影響坡地穩定性？

影響坡地穩定性之因素概可分為兩大類，即環境條件（地質條件、地形條件、植被條件、地下水及物理環境作用等條件）及驅動條件（降雨、地震、人為開發等）。在臺灣坡地災害中發生頻率較高為降雨因素而導致的崩塌，因降雨涉及雨水滲透及沖刷機制，進而導致土壤孔隙水壓變化與土壤力學特性改變。降雨入滲土壤後，導致土壤孔隙水壓升高，降低土壤有效應力，而入滲的水分也會增加坡體重量，進而影響坡面穩定性，造成邊坡失穩的可能。

如何評估坡地的崩塌潛勢？

坡地崩塌潛勢的評估方法主要可分為定性法與定量法兩大類，各自具有不同的適用範圍與特點。定性法係依賴專家經驗與現地調查，可快速進行初步評估。由於分析結果受主觀因素影響較大，準確性可能因專家經驗與資料完整性而有所變動。定量法透過數學模型與物理模擬進行更客觀的量化評估，可分為統計分析模式及數值物理模型。統計模式是根據歷史崩塌案例數據建立模型，分析降雨與坡地不穩定性之間的關聯性。數值物理模型則是透過模擬降雨入滲與地質等條件來評估坡地穩定性。

此外，地理資訊系統（GIS）與遙測技術（如衛星影像判釋）也已廣泛被應用於坡地崩塌潛勢評估中，能有效處理大範圍的數據，提供坡地穩定性的空間分布資訊。透過多種方法與技術的結合能更加準確掌握坡地的崩塌潛勢。

TRIGRS 模式的評估方式

TRIGRS (Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope-Stability Model) 是由美國地質調查所 (USGS) 開發的淺層崩塌物理模型，主要用於評估降雨事件引發的崩塌潛勢。該模式模擬降雨入滲對邊坡穩定性的影響，並透過安全係數 (Factor of Safety, FS) 來評估坡地穩定性。TRIGRS 以數值高程模型 (DEM)、流向、坡度、土壤厚度、地下水位等水文地形資料為建置基礎，並輸入降雨事件來模擬降雨入滲土層所造成的孔隙水壓變化，進而計算各網格在降雨過程中的安全係數。透過設定安全係數門檻值，可識別出具崩塌潛勢的區域。本研究將門檻值設定為 1，當 $FS < 1$ 時，表示邊坡不穩定，具有崩塌潛勢；反之，當 $FS \geq 1$ 時，則表示邊坡較為穩定。

◆ 2.2 淹水衝擊研究成果—以臺南地區為例

本節根據前述全臺灣九大分區定義，以臺南地區降雨變化率分析及淹水衝擊模擬為例，進一步分析其淹水衝擊模擬結果。研究範圍針對臺南地區之涵蓋流域，包含八掌溪、急水溪、將軍溪、曾文溪、鹽水溪及二仁溪等六個集水區。

在臺南地區降雨變化率分析成果可看出，GWL2°C在四種降雨危害指標下，上游區域呈現略微減少 (-20% 至 0%) 的趨勢；GWL4°C則普遍呈現增加趨勢 (+0% 至 +40%)，相關成果如圖 44 所示。

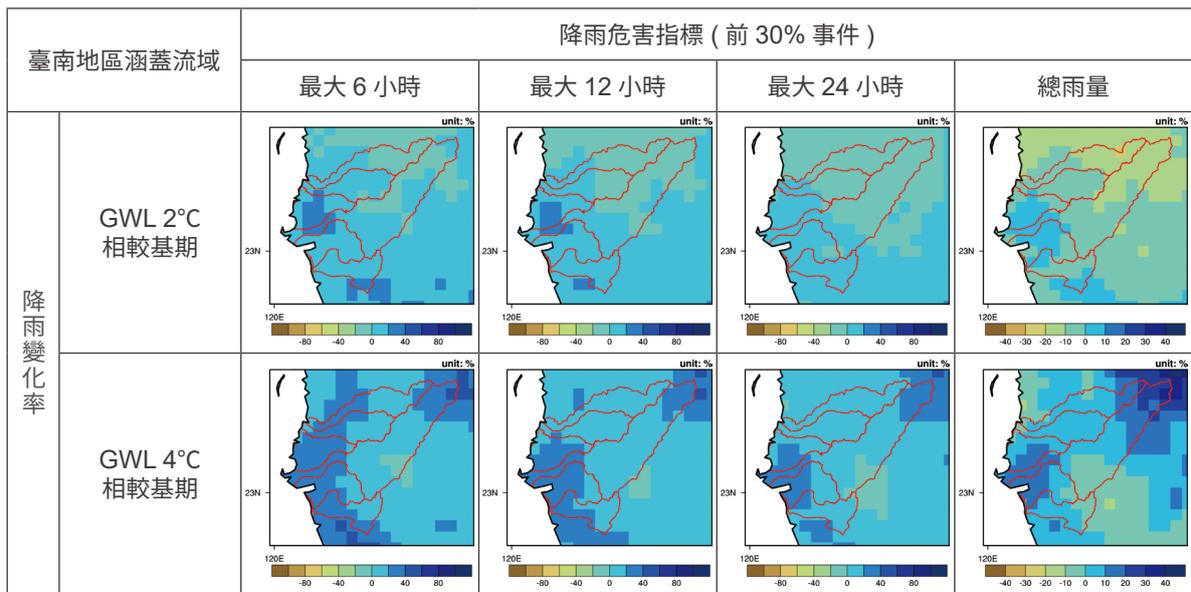


圖 44 臺南地區於 GWL 2°C及 GWL 4°C下降雨變化率的變化趨勢 (來源：國家科學及技術委員會 (2024)，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告)

淹水衝擊分析採用經濟部水利署水利規劃試驗所調校後之高效能 SOBEK 模型，運用降雨逕流 (rainfall-runoff)、渠流 (channel-flow) 及漫地流 (overland-flow) 模組進行模擬。一維數值模型建置係以河川現況工程設施為主，包含河道斷面、下水道、堰及閘門、抽水站、橋梁、魚塢分布等相關物件模型。設定潮位預測資料 (天文潮 + 暴潮) 作為模式邊界條件，依據過去針對暖化情境颱風降雨事件淹水災況分析成果顯示 (國家科學及技術委員會，2023)，最大 24 小時累積雨量排序前 30 % 極端颱風事件其淹水分析成果已可代表整體的淹水趨勢，故本研究針對基期、GWL2°C 及 GWL4°C 之淹水災況分析，亦採最大 24 小時累積雨量前 30 % 場次淹水模擬結果 (各時期場次可參考表 4) 進行衝擊評估。以臺南地區為例，將上述場次模擬成果之最大可能淹水分布，以各時期分別計算淹水發生機率 (由淺藍至深藍為機率由低至高)。如圖 45 所示，整體影響面積 GWL2°C 較基期約增加 0.8 倍，GWL 4°C 相較基期約增加 1.1 倍，影響面積有增加的趨勢。

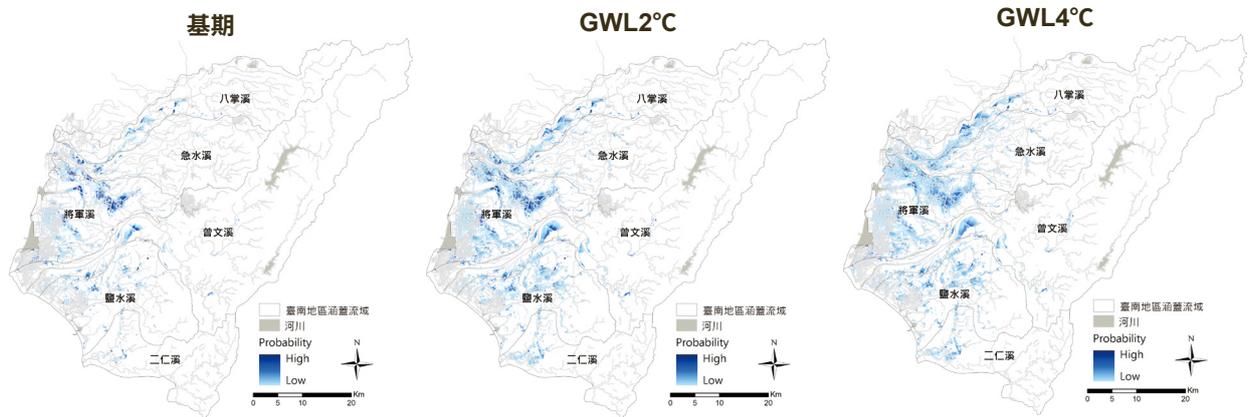


圖 45 臺南地區於基期、GWL 2°C 及 GWL 4°C 下的淹水發生機率與最大可能淹水分布圖 (來源：國家科學及技術委員會 (2024)，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告)

文字框 4 淹水模式與 SOBEK 簡介

淹水是極端降雨常引發的災害之一，短時間內大量降雨超過地面與排水系統的負荷，導致低窪地區積水與淹水之災情。而淹水模式則是運用描述流體運動的數學方程式，模擬降雨可能引發的各類淹水情境，如河川溢堤、都市積淹、地下排水系統超載，以及沿海地區因風暴潮與海水倒灌等所造成的溢淹，此類模擬能呈現水流擴散過程與影響，並分析水位變化、淹水範圍、淹水深度與流量分布等關鍵資訊。此外，模式結合地形、降雨、排水系統等多項因素，淹水模式能有效模擬不同條件下的淹水情境。

淹水模式

淹水模式的運作通常包含水文模型與水力模型，水文模型透過輸入降雨數據，並結合土地利用、土壤類型與河川集水區參數等資訊，計算入滲量、逕流量、流域集流過程及雨水在流域內匯集至河川的稽延時間，以演算降雨進入河川或都市排水系統的量體；水力模型則負責計算水流傳遞過程，透過一維模式（1D）模擬河川洪水，分析水位上升、溢流及排水系統內水流變化；再利用二維模式（2D）模擬水流在地表擴散的情形，據以完成都市與平原地區的淹水分析。

SOBEK 模式簡介

本研究使用的 SOBEK 模式為經濟部水利署「第三代淹水潛勢圖」分析使用的數值模式，具備水文模型與一維 - 二維耦合水力模型，可模擬從降雨演算至河川、都市與區域的水流傳遞過程，並搭配高解析度的地形 DEM，演算城市、河川與區域淹水及地表擴散之情形。透過 SOBEK 模式的模擬，我們能有效探討氣候變遷下極端降雨變化所帶來的淹水衝擊，為氣候變遷、調適策略與防災規劃提供科學依據。

◆ 2.3 其他衝擊評估研究案例

為能更客觀地評估未來不同時期的整體淹水衝擊概況，蕭逸華等 (2024) 以鹽水溪為例，透過不同淹水衝擊指標來呈現可能影響。呈現方式以村里為單位，利用五個淹水深度級距：0.3 公尺以下、0.3 公尺 - 0.5 公尺、0.5 公尺 - 1.0 公尺、1.0 公尺 - 2.0 公尺、與 2.0 公尺以上，進行分級，探討不同全球暖化程度 GWL 1°C、GWL2°C 及 GWL4°C，平均最大淹水深度 (圖 46) 與平均淹水延時 (圖 47)。其結果指出，隨著暖化程度呈現加劇至 GWL 4°C，在部分村里的淹水災況相對於 GWL1°C 將上升一至二個淹水深度級距。同時，平均淹水延時亦呈現上升的趨勢。多場次且不同的統計分析能更客觀地評估未來不同時期的整體淹水衝擊概況，亦可作為未來各界在規劃調適策略時的參考依據。

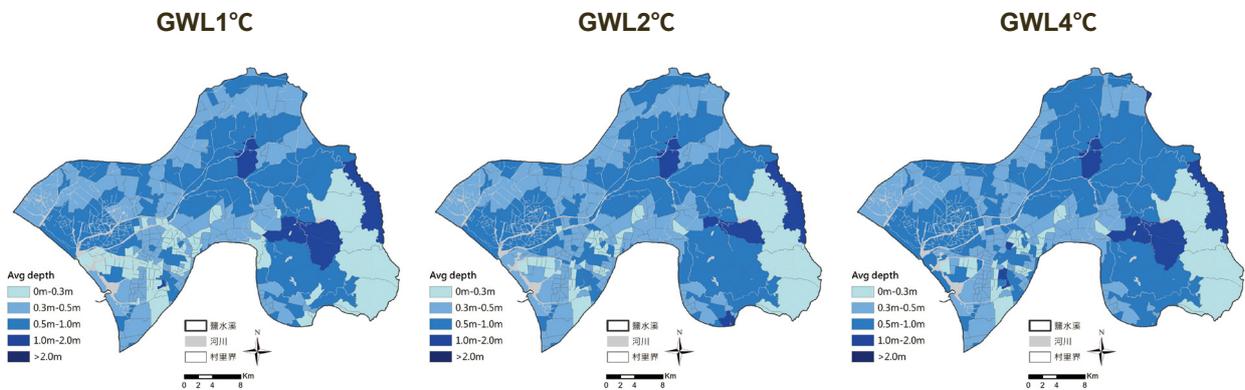


圖 46 鹽水溪 - 各村里最大淹水深度平均 (來源：蕭逸華等 (2024)，從現在到未來：鹽水溪在不同暖化程度淹水衝擊評估，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺，電子報第 075 期)

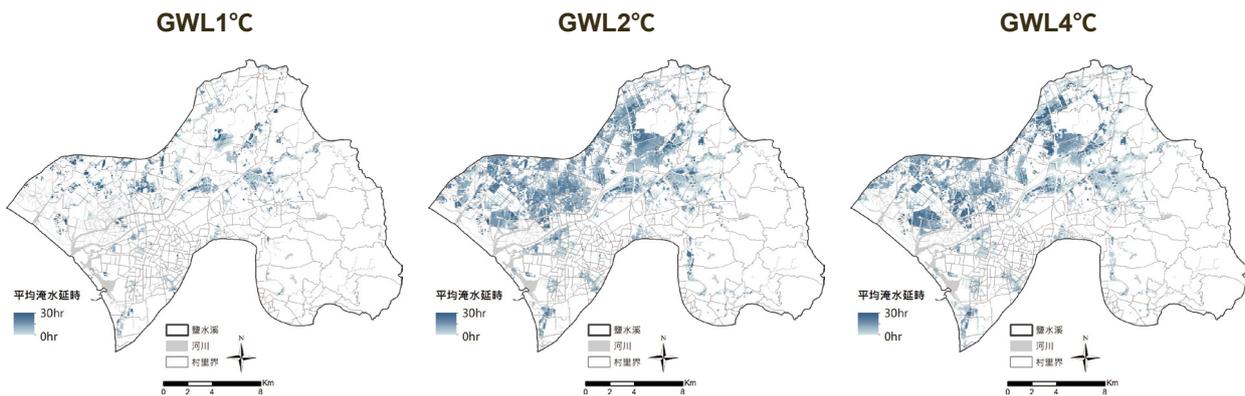


圖 47 鹽水溪 - 平均淹水延時分布 (來源：蕭逸華等 (2024)，從現在到未來：鹽水溪在不同暖化程度淹水衝擊評估，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺，電子報第 075 期)

在臺灣，颱風伴隨的劇烈降雨導致之淹水，往往對農漁畜禽產業造成重大災損。Hsiao et al.(2022) 以宜蘭地區為例，以 HiRAM-WRF AR5 動力降尺度颱風事件資料進行氣候變遷淹水衝擊模擬，該模擬分析基期 (1979-2008) 與近未來 (2040-2065) 兩個時段，應用所產製的淹水發生機率於農田、養殖漁業、畜牧廠房等相關產業用地，說明淹水對農、漁、畜產業的可能應用。

農田針對水稻用地作評估，因稻作於成熟期若長時間泡水將容易造成損壞，考慮最低的 0.3 公尺以上之發生機率範圍為基準進行套疊，如圖 48 所示，在近未來暖化情境下，宜蘭地區受淹水分布影響之用地面積將由基期的 24% 增加至 40%，近未來的淹水影響範圍約比基期增加 1.7 倍。

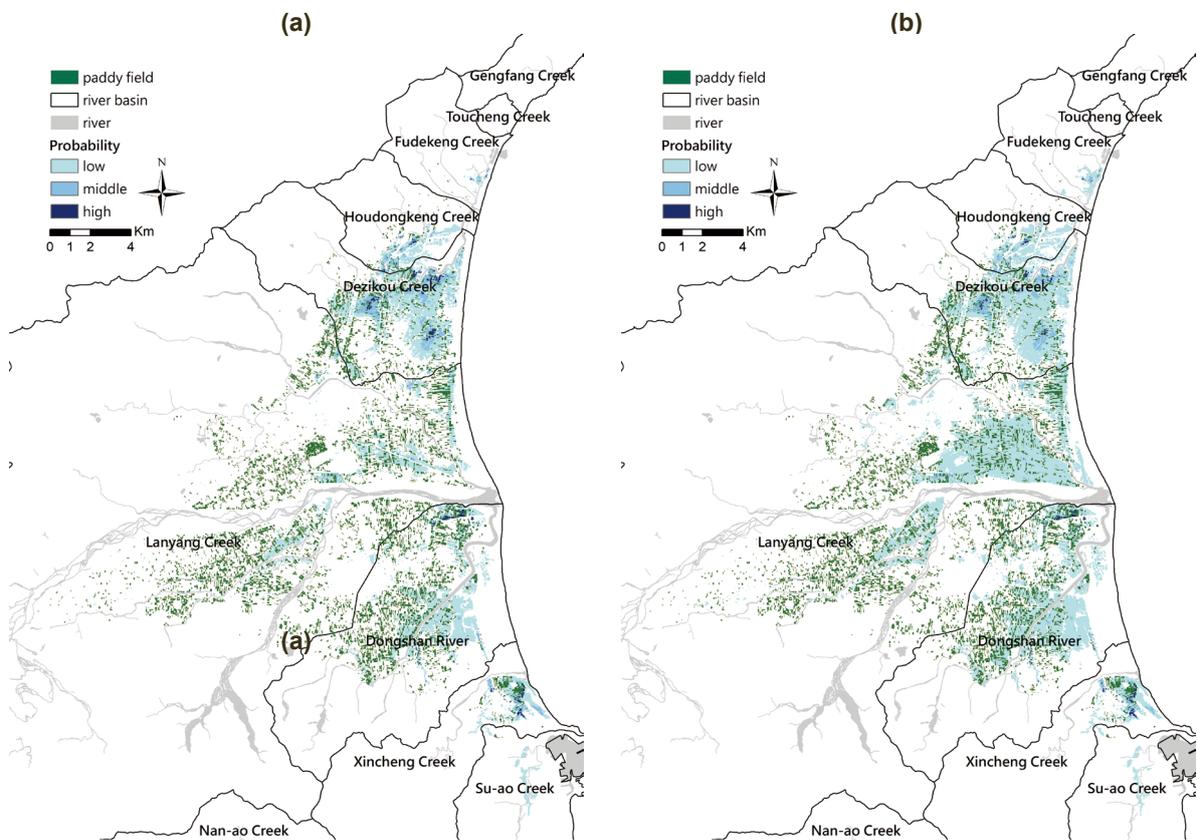


圖 48 宜蘭地區 -0.3m 以上淹水衝擊圖與水稻用地套疊圖 (a) 基期 (b) 近未來 (Hsiao et al.,2022)

在養殖漁業方面，宜蘭地區養殖魚塢大多以水泥池為主，鹹淡水混水供養，主要養殖魚種為斑節蝦、草蝦、蜆、九孔等。此類魚塢於颱風事件帶來之降雨與擾動，可能會導致池水滲透壓變化，對魚類生存造成威脅；且降雨過多造成溪水暴漲及溢堤等淹水情況，亦可能導致魚塢受損、魚蝦沖走等損失。以多數魚塢圍堤 0.5 公尺以上為基準，在此考慮淹水 0.5 公尺以上發生機率範圍與魚塢分布進行套疊分析，如圖 49 所示。成果顯示受淹水分布影響之養殖區域將由基期的 9% 增加至 15%，世紀中的淹水影響範圍約比基期增加 1.7 倍。

在畜禽（包含畜禽舍及牧場）方面，宜蘭亦有羊、豬、雞等相關養殖用地。受災時輕則廠房泡水導致相關機具及設備受損，嚴重時可能會造成家畜死亡，甚至間接帶來傳染病等影響。同樣考慮 0.3 公尺以上發生淹水機率範圍進行套疊，如圖 50 所示，可看出在基期較不受淹水影響，然而於近未來影響範圍約達宜蘭縣畜牧總面積的 9%。

以上述宜蘭淹水模擬對農、漁、畜可能衝擊影響分析為例，可針對衝擊結果進行調適選項評估。例如從降低淹水衝擊為例，水稻用地的淹水災害調適需要考慮避免稻作長時間泡在水裡，可藉由工程方法改善易淹水區域的排水系統，使其遇到大規模淹水時，能在短時間內將水排除，減少稻作的損失；在養殖漁業方面，可針對易受災魚塢進行養殖魚種調整，提升塢堤高度、修建魚塢以降低損失，以及改善養殖區附近排水系統等方法；在畜禽領域，則可針對廠房墊高、加強附近排水系統等方法，來減緩淹水衝擊。

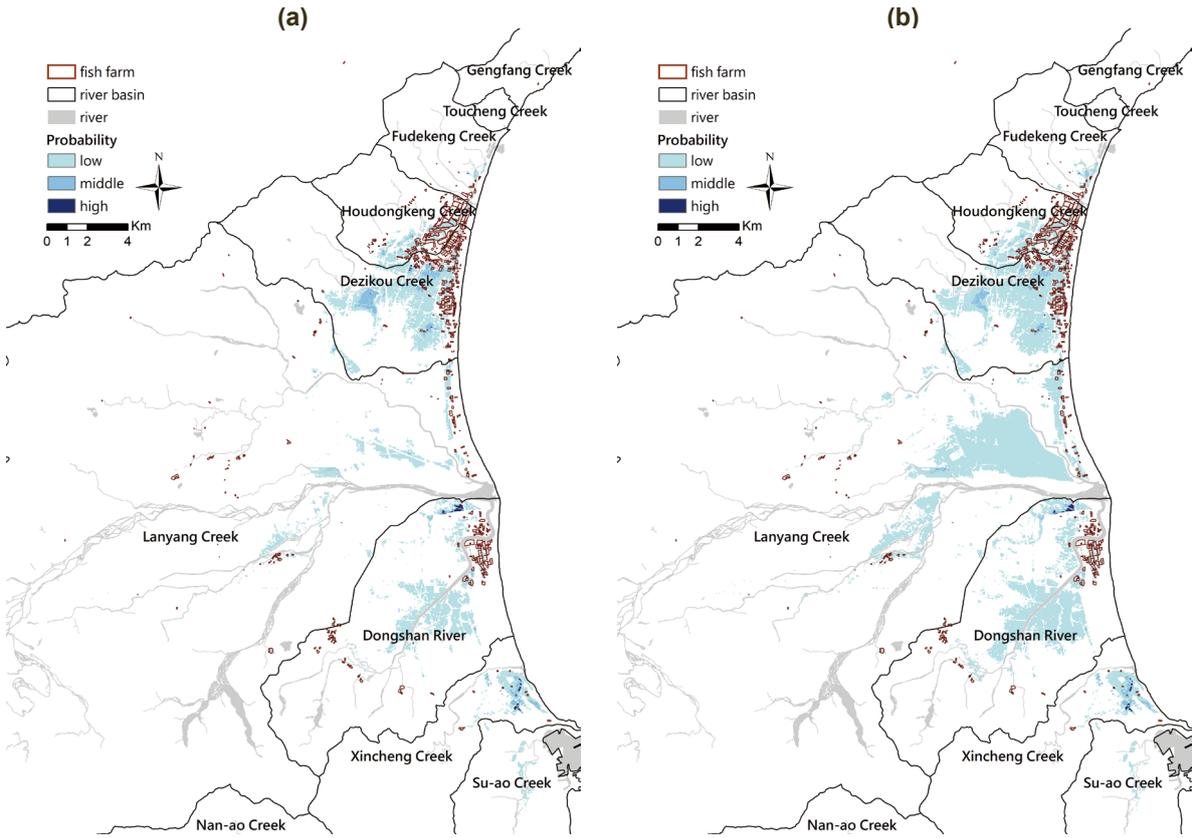


圖 49 宜蘭地區 -0.5m 以上淹水衝擊圖與養殖魚塭套疊圖 (a) 基期 (b) 近未來 (Hsiao et al.,2022)

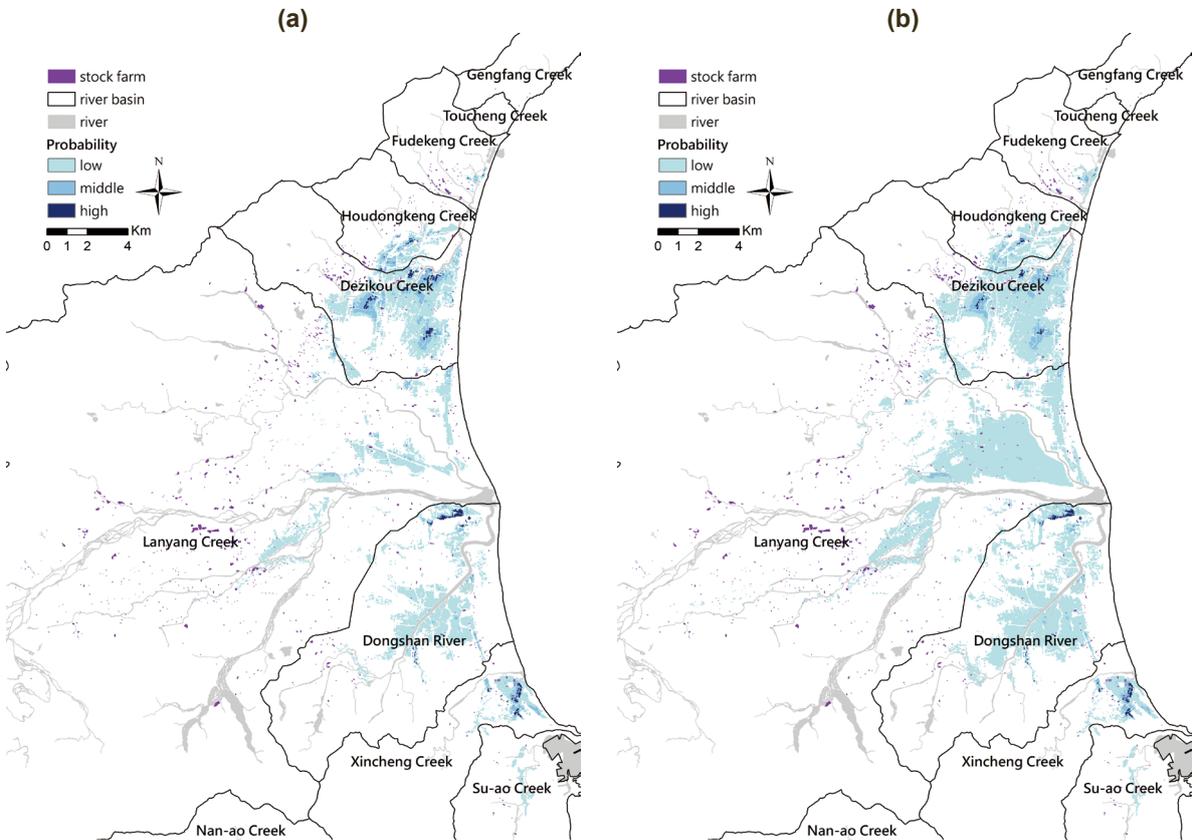


圖 50 宜蘭地區 -0.3m 以上淹水衝擊圖與畜牧用地套疊圖 (a) 基期 (b) 近未來 (Hsiao et al.,2022)

結語

根據日治時期的文史紀錄，當時臺灣劇烈降雨事件多為颱風過境，以及其後之西南氣流導致，相對極少事件是由臺灣周圍之鋒面與低壓所造成。早期觀測紀錄之氣候分布已大致呈現，臺灣中南部與東部迎風面山區是颱風降雨極大區的臺灣劇烈降雨概念模式。

本報告收錄極端降雨指標、不同延時強降雨、劇烈降雨客觀事件偵測，以及重現期降雨強度之多種表示劇烈降雨方式，以呈現不同觀點之臺灣劇烈降雨特性：

- (1) 利用網格化觀測資料分析顯示，受到季風、鋒面、颱風及地形交互作用影響，臺灣極端降雨指標氣候分布呈現明顯季節性與區域差異，其中梅雨季與颱風季為主要貢獻之季節；
- (2) 由測站降雨紀錄呈現之不同延時強降雨類型分析顯示，受地形與大尺度季風系統調節，短延時強降雨多與午後對流及熱帶氣旋相關，長延時強降雨則主要受熱帶氣旋、梅雨鋒面、東北季風與西南氣流等天氣系統影響 (黃紹欽等, 2025)；
- (3) 以事件觀點偵測劇烈降雨事件顯示，在 1960–2023 年期間，近 30 年臺灣劇烈降雨事件增加，主要集中於梅雨季與颱風影響臺灣期間；針對前後 30 年兩時段之前 100 強事件分析顯示，事件強度增強與空間面積增加是降雨事件規模增加的主要貢獻。從各季節前百分之十的極端降雨事件環流型態顯示，臺灣劇烈降雨的形成深受季風環流變化、西南氣流配置結合南方水氣傳輸所主導；
- (4) 防洪、水利工程設計常用降雨重現期呈現劇烈降雨的強度與發生頻率，臺灣北部與南部山區為 10 年與 50 年重現期降雨極大值分布區域；

未來推估方面，結合統計降尺度與動力降尺度之推估資訊顯示：

- (1) 由統計降尺度資料分析極端降雨指標可見，隨著全球暖化程度增強至 4°C，除冬季之外，極端雨日門檻、極端雨日與極端雨日總雨量在各地區整體呈現增強趨勢。極端雨日門檻方面，於春季至秋季皆為增強，與觀測分布相比，梅雨季至秋季之極端雨日門檻變化呈現濕區(季)越濕的時空分布；極端雨日日數呈現增加趨勢，在春季北部、梅雨季南部，以及與颱風季南部與東部地區最為顯著；極端雨日總雨量亦普遍增加，由於雨日門檻增強與日數增加，梅雨季與颱風季之總雨量在山區增幅最大。
- (2) 利用動力降尺度針對颱風事件模擬分析顯示，隨全球暖化程度升高，臺灣未來颱風劇烈降雨發生頻率整體呈現上升趨勢，當全球暖化程度達 4°C，短延時颱風降雨在山區增加最為顯著，長延時颱風降雨，除了南部局部山區為減少外，所有區域不論平地或

山區皆呈現增加趨勢。四個歷史侵臺颱風在擬暖化實驗的分析結果顯示，隨著暖化程度由 2°C 增溫至 4°C，颱風為臺灣帶來陸地降雨明顯增加，特別集中山區迎風面，且強降雨發生頻率增加，小雨頻率則減少。

根據坡地與淹水衝擊的模擬，隨者暖化程度的加劇，全臺大部分地區衝擊程度將隨之增加，由於臺灣不同地區的災害衝擊形態及其影響方式有所不同，評估劇烈降雨變化對於特定區域的衝擊，需要針對區域範圍進行事件篩選。坡地衝擊以新店溪為例，隨著全球暖化程度升高，颱風帶來之劇烈降雨的增強將使新店溪集水區的平均崩塌率呈現提升趨勢，崩塌機率較高之區域多分布於中上游。淹水方面，暖化將導致全臺多數地區淹水風險上升，最大可能淹水分布之面積、淹水深度與延時大部分有增加的趨勢，而這將導致不同層面的影響。以宜蘭縣為例，淹水因劇烈降雨增強所導致之淹水範圍的增加，將增加宜蘭地區農、漁、畜產業的威脅。

本次報告整合科學報告有關劇烈降雨之內容並更新近期分析結果，內容包含長期觀測、劇烈降雨特性、事件趨勢、環流型態，到未來不同暖化情境下的劇烈降雨變化與災害衝擊，多角度呈現臺灣劇烈降雨的變遷輪廓，提供因應氣候變遷之劇烈降雨變化及其可能衝擊、風險評估與調適工作，可進一步參考之科學分析與應用。

◆ 參考文獻 ◆

- ◆ TCCIP 技術報告 (2021)。統計與動力降尺度方法。臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台。 https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/km_publish_data_document_one.aspx?dd_id=20210609212941
- ◆ TCCIP 資料說明 (2023)。AR6 統計降尺度日資料-資料說明文件。臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台。 https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/upload/data_document/20220708151649.pdf
- ◆ 朱芳儀、李欣輯 (2022)。氣候變遷坡地衝擊評估 - 以曾文水庫集水區為例。臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台電子報，第 059 期。
- ◆ 朱芳儀、林士堯 (2024)。AR5 坡地危害圖資生產履歷 (2.1 版)。
- ◆ 吳宜昭、龔楚嫻、王安翔、于宜強 (2016)。《台灣地區短延時強降雨事件氣候特性分析》。
- ◆ 李宗融、黃紹欽、吳宜昭、黃柏誠、王安翔、于宜強 (2021)。盧碧颱風暨 0806 水災事件氣象分析。國家災害防救科技中心災害防救電子報第 197 期。
- ◆ 李欣輯、吳亭燁、陳麒文、鄭兆尊、童裕翔 (2018)。暖化情境下極端颱風事件之坡地災害衝擊評估：以大漢溪及新店溪集水區為例。國家災害防救科技中心，技術報告，NCDR 106-T09。
- ◆ 李欣輯、趙益群、吳亭燁、施虹如、蕭逸華、鄭兆尊、陳淡容 (2017)。暖化情境下極端颱風災害風險評估與減災調適：以大甲河流域為例。國家災害防救科技中心，技術報告，NCDR 105-T30。
- ◆ 李清麟、盧孟明 (2012)。從氣候觀點探討影響台灣颱風的定義問題。氣象學報，48(4)，25-37。
- ◆ 岡四四亥等 (1947)。《臺灣氣象資料大全 - 降水》手稿。臺灣省氣象所。
- ◆ 林士堯與楊承道 (2023)。網格化觀測資料說明文件 (3.2 版)。
- ◆ 林修立、童裕翔、王俊寓、林士堯 (2023)。AR6 統計降尺度雨量資料生產履歷 (1.0 版)。
- ◆ 林詠喬、陳振宇、莊承穎、陳均維、詹婉妤 (2023)。臺灣近年 (2006 - 2020) 降雨誘發之土砂災害變遷趨勢分析。中華水土保持學報，54(2)，108-118。 [https://doi.org/10.29417/JCSWC.202306_54\(2\).0002](https://doi.org/10.29417/JCSWC.202306_54(2).0002)
- ◆ 翁叔平、楊承道 (2018)。臺灣地區日降雨網格化資料庫 (1960-2015) 之建置與驗證。臺灣水利，66(4)，33-52。
- ◆ 翁叔平與楊承道 (2012)。臺灣地區月降雨及溫度 1 公里網格資料庫之建立 (1960-2009) 及其在近未來 (2015-2039) 的氣候推估應用，大氣科學，第 40 期，349-370。
- ◆ 翁叔平與楊承道 (2020)。臺灣日降雨網格化觀測資料之建置與驗證，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台電子報，第 37 期。
- ◆ 國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」編撰 (2019)。臺灣氣候變遷關鍵指標圖集。國家災害防救科技中心。
- ◆ 國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫」編撰 (2023)。臺灣氣候變遷關鍵指標圖集：AR6 統計降尺度版。國家災害防救科技中心。

- ◆ 國家科學及技術委員會 (2024)。臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告，國家科學及技術委員會。

- ◆ 國家科學及技術委員會 (2025)。臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告，國家科學及技術委員會。

- ◆ 曹永和 (1979)。臺灣早期歷史研究。聯經出版事業股份有限公司。

- ◆ 許晃雄、王嘉琪、陳正達、李明旭、詹士樑 (2024)。國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適 [許晃雄、李明旭 主編]。國家科學及技術委員會與環境部聯合出版。

- ◆ 陳韻如、林宣汝、劉俊志、童裕翔、陳永明 (2024)。坡地災害氣候變遷風險圖研發與應用。國家災害防救科技中心。技術報告，NCDR112-T10。

- ◆ 童裕翔、陳正達、劉俊志、陳永明 (2019)。統計降尺度 (日) 資料評估與應用。國家災害防救科技中心，NCDR 107-T19。

- ◆ 黃柏誠、王安翔、黃紹欽、江宙君 (2020)。防災氣象資料庫雛型建置報告。國家災害防救科技中心業務報告，108-A12。

- ◆ 勢力を増す台風 ～我々はどのようなリスクに直面しているのか～ (2023)。日本環境省。(https://www.env.go.jp/content/000147982.pdf)

- ◆ 經濟部水資源局 (2001)。《水文應用手冊》。經濟部水利署。https://gpi.culture.tw/books/1009005924

- ◆ 漢珍知識網：報紙篇 (臺日新 + 漢日新)。《臺灣日日新報》。

- ◆ 趙品諭 (2023)。《以事件角度分析台灣極端降雨變化》。國立臺灣師範大學碩士論文。

- ◆ 鄭兆尊、陳淡容、林宜穎、劉俊志、李欣輯 (2016)。擬全球暖化情境下的 2009 莫拉克颱風降水變遷推估。國家災害防救科技中心，NCDR 104-T10

- ◆ 鄭兆尊、簡毓瑋、林思穎、王俊寓 (2024)。不同氣候變遷時期下之臺灣颱風推估差異分析。國家災害防救科技中心，NCDR 112-T24

- ◆ Dr.A 淹水風險圖：黃亞婷、陳韻如、劉俊志、林宣汝、陳永明，2023，國家災害防救科技中心，災害防救電子報，第 211 期，2023/02 發行

- ◆ 鹽水溪研究案例：蕭逸華、陳俊哲、許至聰、石棟鑫，2024，從現在到未來：鹽水河流域在不同暖化程度淹水衝擊評估，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺，電子報第 075 期

- ◆ 黃紹欽、黃柏誠、李宗融、王安翔、于宜強 (2025)。臺灣極端降雨：1992-2024年事件彙整。國家災害防救科技中心。

- ◆ Anderson, J. L., and Coauthors. (2004). The new GFDL global atmosphere and land model AM2–LM2: Evaluation with prescribed SST simulations. *J. Climate*, 17, 4641–4673, <https://doi.org/10.1175/JCLI-3223.1>.
- ◆ Baum, R. L., Savage, W. Z., & Godt, J. W. (2008). TRIGRS—A Fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope stability analysis, Version 2.0. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1159.
- ◆ Bornstein, R., & Lin, Q. (2000). Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies. *Atmospheric Environment*, 34(3), 507–516.
- ◆ Chao, Y. C., Hsieh, T. C., Chen, C. W., Cheng, C. T., Li, H. C., Yeh, K. C., & Chen, Y. M. (2021). Impact assessment of reservoir desiltation measures for downstream riverbed migration in climate change: a case study in northern Taiwan. *Journal of Hydro-environment Research*, 37, 67-81.
- ◆ Chen, C., Chen, Y., Liu, C., Lin, P., & Chen, W. (2007). Statistics of heavy rainfall occurrences in Taiwan. *Weather and Forecasting*, 22, 981–1002. <https://doi.org/10.1175/WAF1033.1>
- ◆ Chen, C.-S., & Chen, Y.-L. (2003). The rainfall characteristics of Taiwan. *Monthly Weather Review*, 131, 1323–1341. [[https://doi.org/10.1175/15200493\(2003\)131](https://doi.org/10.1175/15200493(2003)131)](<https://doi.org/10.1175/15200493%282003%29131>)<1323:TRCOT>2.0.CO;2
- ◆ Chen, T.-C., Wang, S.-Y., & Yen, M.-C. (2007). Enhancement of afternoon thunderstorm activity by urbanization in a valley: Taipei. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46, 1324–1340. <https://doi.org/10.1175/JAM2526.1>
- ◆ Chen, W. T., Chang, Y. H., Wu, C. M., & Huang, H. Y. (2024). The future extreme precipitation systems of orographically locked diurnal convection: the benefits of using large-eddy simulation ensembles. *Environmental Research: Climate*, 3(3), 035008.
- ◆ Deltares: Delft, The Netherlands (2015). Delft Hydraulics SOBEK User Manual(suitable for SOBEK 2.14)
- ◆ Endo, H., Kitoh, A., & Mizuta, R. (2022). Future changes in extreme precipitation and their association with tropical cyclone activity over the western North Pacific and East Asia in 20 km AGCM simulations. *SOLA*, 18(0), 58-64. <https://doi.org/10.2151/sola.2022-010>
- ◆ Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9, 1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- ◆ Henny, L., Thorncroft, C. D., Hsu, H.-H., & Bosart, L. F. (2021). Extreme rainfall in Taiwan: Seasonal statistics and trends. *Journal of Climate*, 34(12), 4711–4731. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0999.1>
- ◆ Hsiao, Y. H., Chen, C. C., Chao, Y. C., Li, H. C., Ho, C. H., Hsu, C. T., & Yeh, K. C. (2022). Development and application of flood impact maps under climate change scenarios: A case study of the Yilan area of Taiwan. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 971609.

- ◆ Hsu, P., Chen, K., Tsou, C., Hsu, H., Hong, C., Liang, H., Tu, C., & Kitoh, A. (2021). Future changes in the frequency and destructiveness of Landfalling tropical cyclones over East Asia projected by high - resolution AGCMs. *Earth's Future*, 9(3). <https://doi.org/10.1029/2020ef001888>

- ◆ Huang, W., Chang, Y., Hsu, H., Cheng, C., & Tu, C. (2016). Dynamical downscaling simulation and future projection of summer rainfall in Taiwan: Contributions from different types of rain events. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(23). <https://doi.org/10.1002/2016jd025643>

- ◆ Huang, W., Huang, P., Chang, Y., Cheng, C., Hsu, H., Tu, C., & Kitoh, A. (2019). Dynamical Downscaling simulation and future projection of extreme precipitation activities in Taiwan during the Mei-Yu seasons. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 97(2), 481499. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2019-028>

- ◆ Huang, W., Liu, P., Lee, S., & Wu, C. (2022). Changes in early summer precipitation characteristics over South China and Taiwan: CESM2 - LE and CMIP6 multi - model simulations and projections. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127(17). <https://doi.org/10.1029/2022jd037181>

- ◆ Lo, S.-H., Chen, C.-T., Russo, S., Huang, W.-R., & Shih, M.-F. (2021). Tracking heatwave extremes from an event perspective. *Weather and Climate Extremes*, 34, 100371. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100371>

- ◆ Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., ... & Powers, J. G. (2008). A description of the advanced research WRF version 3. NCAR technical note, 475, 113.

- ◆ Tung, Y., Wang, S., Chu, J., Wu, C., Chen, Y., Cheng, C., & Lin, L. (2020). Projected increase of the east Asian summer monsoon (Meiyu) in Taiwan by climate models with variable performance. *Meteorological Applications*, 27(1). <https://doi.org/10.1002/met.1886>

- ◆ Tung, Y.-S., Chen, C.-T., Min, S.-K., & Lin, L.-Y. (2016). Evaluating extreme rainfall changes over Taiwan using a standardized index. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 27, 705–715. <https://doi.org/10.3319/TAO.2016.06.13.03>

- ◆ Tung, Y.-S., Wang, C.-Y., Weng, S.-P., & Yang, C.-D. (2022). Extreme index trends of daily gridded rainfall dataset (1960–2017) in Taiwan. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 33(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s44195-022-00009-z>

- ◆ Wang, S. S., Lin, Y., & Wu, C. (2016). Interdecadal change of the active - phase summer monsoon in East Asia (Meiyu) since 1979. *Atmospheric Science Letters*, 17(2), 128-134. <https://doi.org/10.1002/asl.603>

- ◆ Wei, S.-C., Li, H.-C., Shih, H.-J., & Liu, K.-F. (2018). Potential impact of climate change and extreme events on slope land hazard – a case study of Xindian watershed in Taiwan. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(12), 3283–3296.

- ◆ World Meteorological Organization. (2021). *State of the Global Climate 2020** (WMO-No. 1264).

- ◆ World Meteorological Organization. (2022). *State of the Global Climate 2021** (WMO-No. 1290).

- ◆ World Meteorological Organization. (2023). *State of the Global Climate 2022** (WMO-No. 1316).

- ◆ World Meteorological Organization. (2024). *State of the Global Climate 2023** (WMO-No. 1347).

- ◆ World Meteorological Organization. (2025). *State of the Global Climate 2024* (WMO-No. 1368).

- ◆ Wu, Y., Wang, S.-Y. S., Yu, Y.-C., Kung, C.-Y., Wang, A.-H., Los, S. A., & Huang, W.-R. (2019). Climatology and change of extreme precipitation events in Taiwan based on weather types. *International Journal of Climatology*, 39(14), 5351–5366. <https://doi.org/10.1002/joc.6159>

- ◆ Yamada, Y., Satoh, M., Sugi, M., Kodama, C., Noda, A. T., Nakano, M., & Nasuno, T. (2017). Response of tropical cyclone activity and structure to global warming in a high-resolution global Nonhydrostatic model. *Journal of Climate*, 30(23), 9703-9724. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-17-0068.1>

- ◆ Zhao, M., Held, I. M., Lin, S. J., & Vecchi, G. A. (2009). Simulations of global hurricane climatology, interannual variability, and response to global warming using a 50-km resolution GCM. *Journal of Climate*, 22(24), 6653-6678.

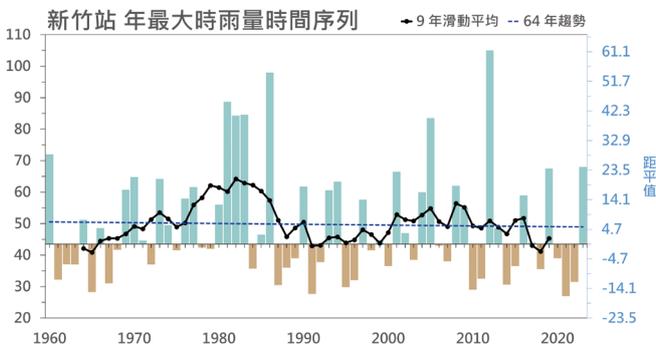
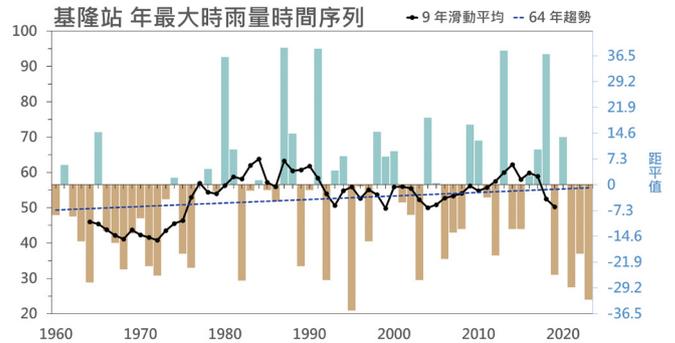
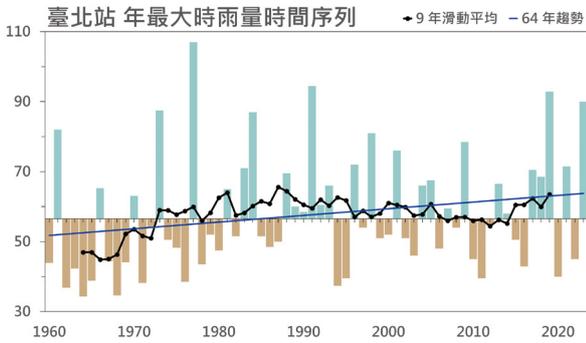
- ◆ Yi-Hua Hsiao, Chun-Che Chen, Yi-Chiung Chao, Ching-Hsien Ho*, Hsih-Chi Li, Chih-Tsung Hsu, Keh-Chia Yeh (2022) Development and application of flood impact maps under climate change scenarios: A case study of the Yilan area of Taiwan, *Frontiers in Environmental Science*, 10.3389/fenvs.2022.971609

◆ 致謝 ◆

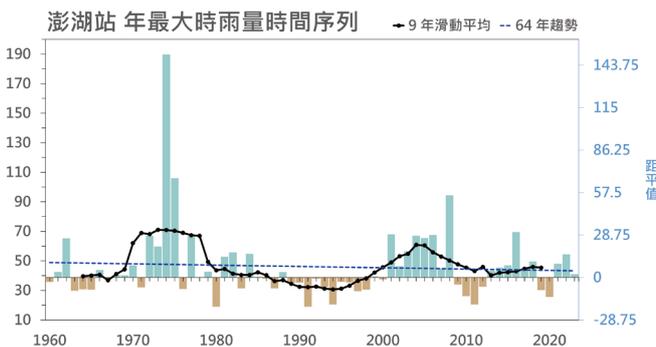
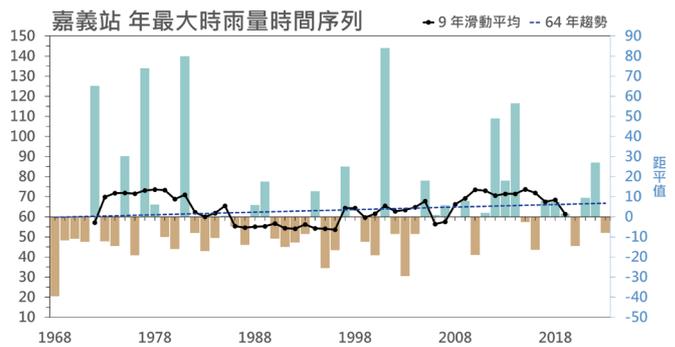
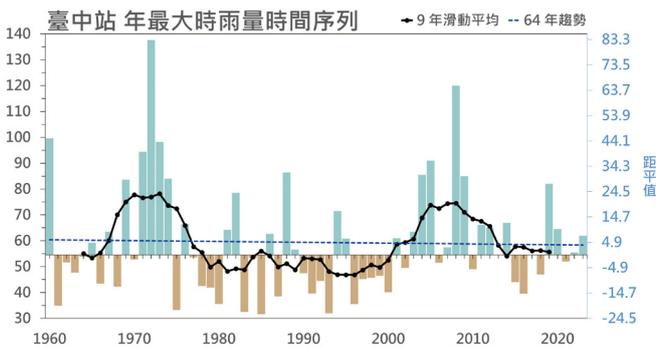
本次報告編撰，感謝國立台灣大學生物環境系統工程學系鄭克聲教授、國家災害防救科技中心劉俊志博士、徐永衡博士、黃紹欽博士針對內容撰寫與文獻資訊提供寶貴建議。感謝國家災害防救科技中心氣象組提供封面照片，以及坡地洪旱組提供封底照片。

◆ 附錄 ◆

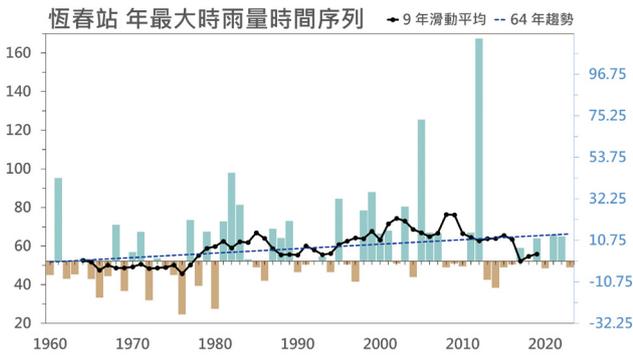
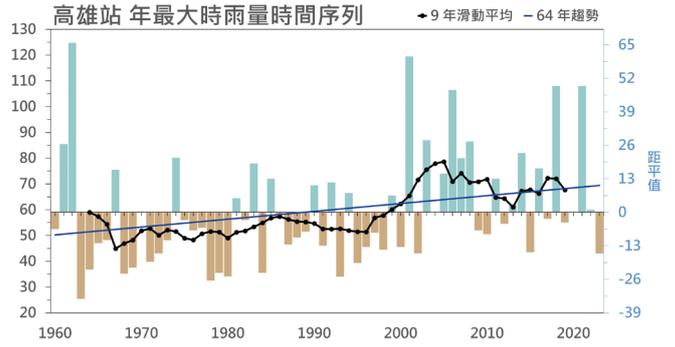
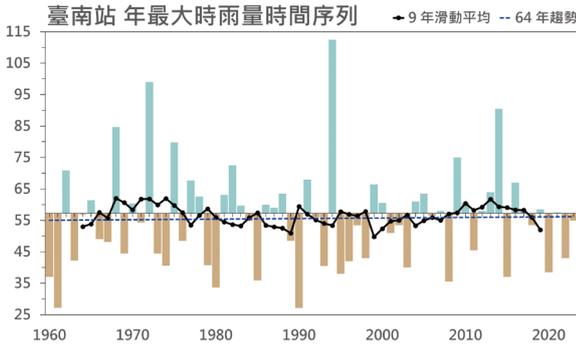
北部



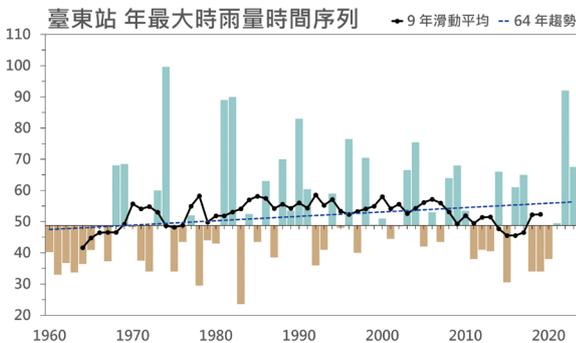
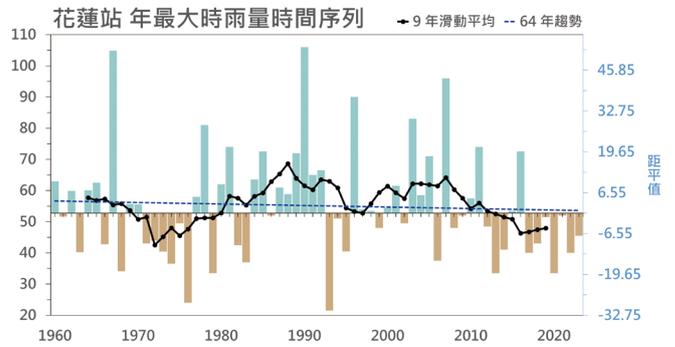
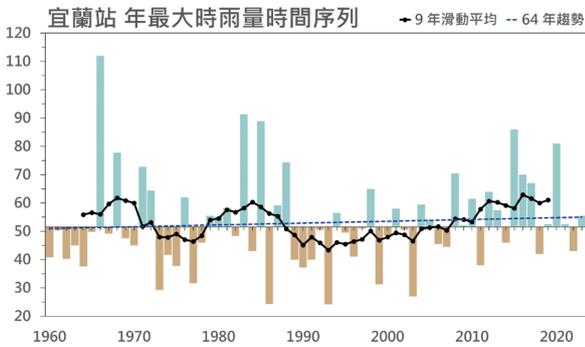
中部



南部

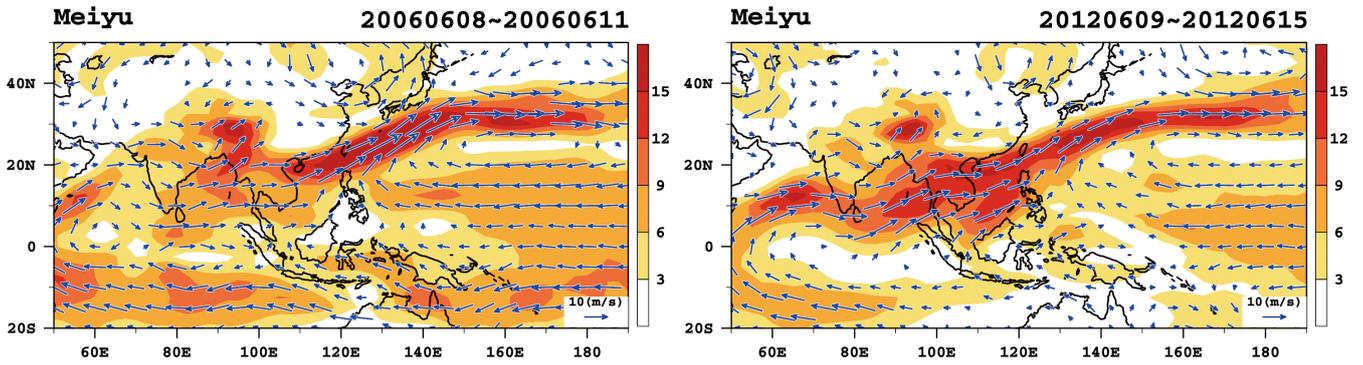


東部



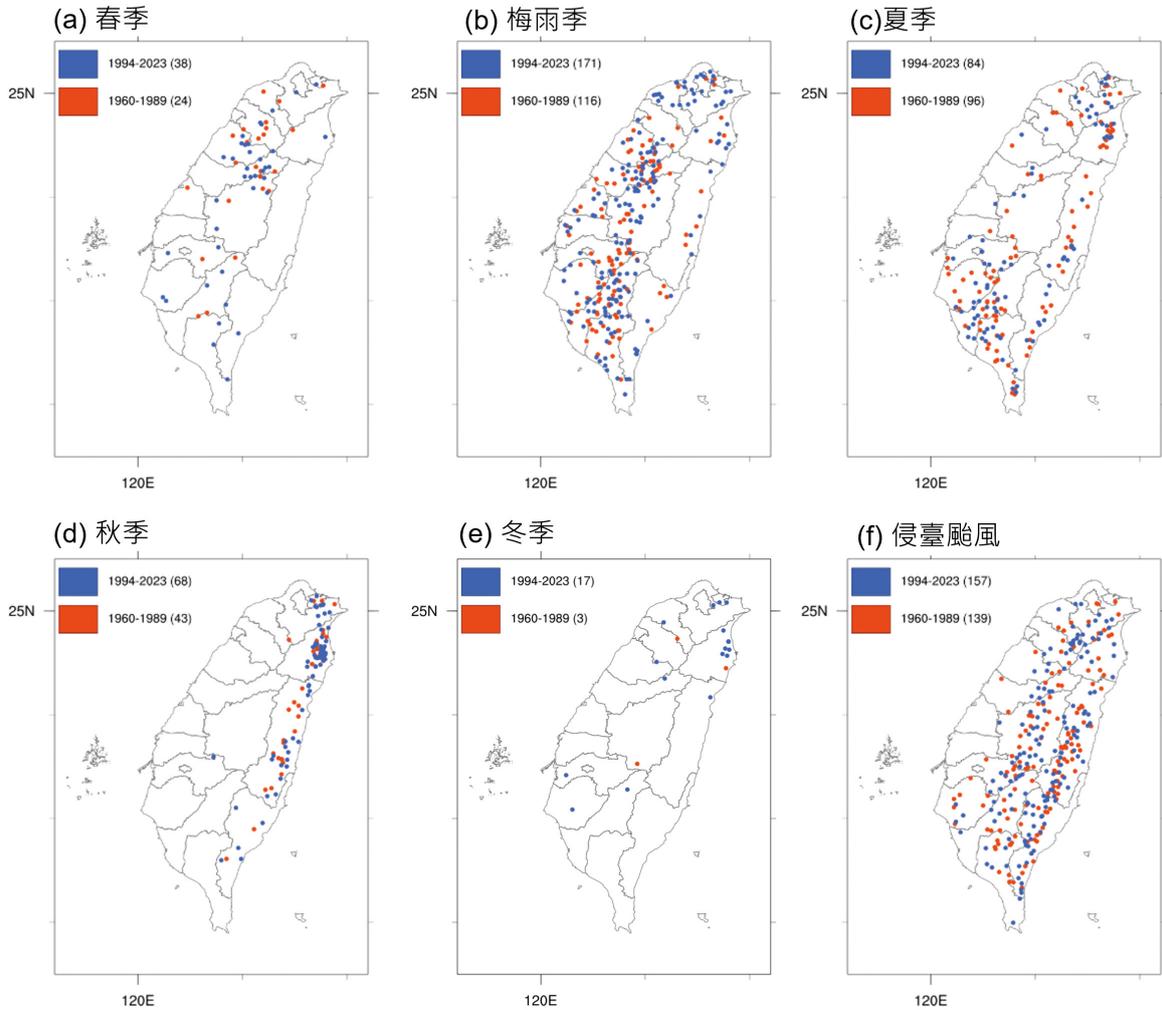
附錄圖 1

1960 年至 2023 年 12 個縣市參考氣象站每年最大時雨量之時間序列與變化趨勢。橫軸為年份，縱軸為雨量值（單位：毫米 mm）。圖中柱狀圖為距平值，橫軸標示位置為 1991-2020 年氣候平均，綠色表示高於氣候值，褐色表示低於氣候值。趨勢線為實線，表示通過統計檢定；若為虛線表示未通過統計檢定。



附錄圖 2

2006 年 6 月及 2012 年 6 月之梅雨鋒面大氣環流特徵。圖中色階部分為 850 百帕的水氣傳送量，顏色越深紅表示水氣越多；風標部分為 850 百帕風場環流。



附錄圖 3

前後 30 年的 (a) 春季、(b) 梅雨季、(c) 夏季、(d) 秋季、(e) 冬季、(f) 侵臺颱風期間極端降雨事件發生位置變化。紅色點為 1960-1989、藍色點為 1994-2023 間之事件發生位置。

附表 1 平地與山區颱風侵台期間短延時極端降雨頻率改變率表

時雨量 >80mm/h	平地 (<500m)		山區 (>500m)	
	GWL+2°C	GWL+4°C	GWL+2°C	GWL+4°C
北區	13.6%	156.2%	45.8%	256.6%
中區	-1.3%	168.6%	29.9%	293.0%
南區	80.2%	185.0%	57.6%	115.6%
宜蘭	8.1%	198.0%	3.4%	89.2%
花蓮	9.1%	51.1%	-4.0%	59.1%
台東	69.2%	112.1%	60.9%	164.8%

附表 2 同附表 1，但為颱風侵台期間長延時極端降雨頻率

24hr 累積雨量 >350mm/24h	平地 (<500m)		山區 (>500m)	
	GWL+2°C	GWL+4°C	GWL+2°C	GWL+4°C
北區	2.6%	80.2%	-24.3%	26.6%
中區	-49.9%	78.6%	-37.2%	55.3%
南區	-3.7%	29.2%	-23.5%	-10.0%
宜蘭	36.1%	62.8%	-3.2%	12.0%
花蓮	45.6%	59.6%	22.7%	22.2%
台東	103.4%	240.2%	1.6%	37.3%



2025 臺灣氣候變遷分析系列報告

暖化趨勢下的臺灣劇烈降雨與衝擊

發行人 | 陳宏宇

作者 | 許晃雄、王俊寓、石棟鑫、朱芳儀、李欣輯、洪景山、
許至璉、郭芮伶、陳正達、陳永明、陳俊哲、陳昭安、
陳家琦、陳麒文、曾宏偉、黃文亭、趙品諫、蔡鴻鵬、
鄭兆尊、蕭逸華、謝章生與羅資婷

美術設計 | 陳彥霓

出版機關 | 國家災害防救科技中心

地址 | 新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話 | 02-81958600

發行日期 | 2025 年 8 月

共同發行 | (依章節撰寫順序)
交通部中央氣象署
國家災害防救科技中心
國立臺灣師範大學地球科學系
中央研究院環境變遷研究中心
國立陽明交通大學土木工程學系
國立臺灣大學地質科學系

國家圖書館出版品預行編目 (CIP) 資料

暖化趨勢下的臺灣劇烈降雨與衝擊 = Severe precipitation and impacts in Taiwan under global warming/ 許晃雄, 王俊寓, 石棟鑫, 朱芳儀, 李欣輯, 洪景山, 許至璉, 郭芮伶, 陳正達, 陳永明, 陳俊哲, 陳昭安, 陳家琦, 陳麒文, 曾宏偉, 黃文亭, 趙品諫, 蔡鴻鵬, 鄭兆尊, 蕭逸華, 謝章生, 羅資婷作. -- 新北市: 國家災害防救科技中心出版; [臺北市]: 交通部中央氣象署, 國立臺灣師範大學地球科學系, 中央研究院環境變遷研究中心, 國立陽明交通大學土木工程學系, 國立臺灣大學地質科學系發行, 2025.08

面; 公分. -- (臺灣氣候變遷分析系列報告. 2025)

ISBN 978-986-5436-71-1(平裝)

1.CST: 氣候變遷 2.CST: 地球暖化 3.CST: 氣象紀錄

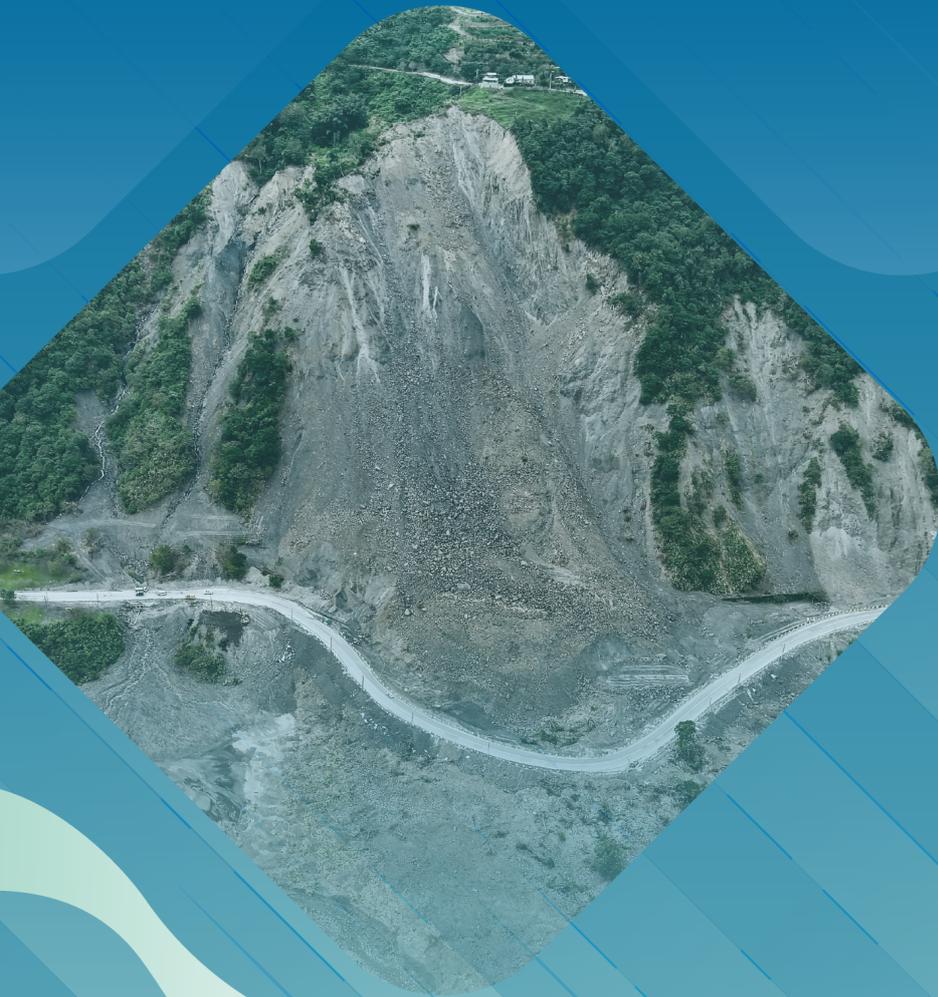
328.8018

114010949

2025 臺灣氣候變遷分析系列報告

暖化趨勢下的臺灣劇烈降雨與衝擊

Severe Precipitation and Impacts in Taiwan under Global Warming
Taiwan Climate Change Analysis Series Report 2025



彙編



共同
發行

