



以 TCCIP AR6 統計降尺度日資料 探討臺灣未來水資源衝擊

劉子明／國家災害防救科技中心 助理研究員

林祺恒／國家災害防救科技中心 佐理研究員

童裕翔／國家災害防救科技中心 助理研究員

陳正達／師範大學地球科學系 優聘教授

國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」於 2023 年 1 月釋出了最新的 IPCC AR6 統計降尺度日資料下載，提供我國各界之氣候變遷風險評估使用。為了解最新資料所呈現未來氣候變遷對水資源之衝擊，本研究乃使用 TCCIP AR6 統計降尺度日資料，探討全臺供水相關集水區在氣候變遷影響下之衝擊。結果顯示臺灣北中南東四區水資源相關集水區，未來年雨量為增加的趨勢，但雨量與集水區流量仍為「豐越豐，枯越枯」的變化趨勢，且多集中於颱風季（7~9 月），增加水資源管理的困難。春季的雨量及流量多為減少趨勢，此趨勢將會增加未來水資源乾旱之風險。利用最新氣候變遷資料進行評估，顯示臺灣水資源之衝擊為負面趨勢，然而是否造成各供水區之缺水風險，仍需進一步進行供需水模擬，並同時考量氣候變遷不確定性，以擬定適當之氣候變遷調適策略與方案。

前言

近年來，極端氣候事件層出不窮，無論是高溫事件、豪雨災害、亦或是乾旱事件的侵襲，都顯示氣候變遷正在影響我們，在全球暖化趨勢逐漸上升的情況下，必須有長遠的規劃與評估，並將氣候變遷的不確定性考量進來，才能因應氣候變遷所造成的風險。國際上氣候變遷風險評估一直都是使用聯合國政府間氣候變遷專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change, 簡稱 IPCC）定期發布的評估報告所使用的氣候變遷情境資料。隨著科學的演進，全球趨勢變化，氣候變遷情境資料也跟著改變，也因此氣候變遷風險評估必須隨著氣候變遷情境資料的改變來滾動修正，每次釋出新的氣候變遷情境資料，都代表更貼近可能的未來，因此利用新的氣候變遷情境資料進行評估，才更能掌握未來氣候變遷的風險。

IPCC 於 2021 年 8 月 9 日公布氣候變遷第六次評估報告（The 6th Assessment Report, 簡稱 AR6）第一工作小組報告的最終版草案（final draft of WGI AR6）^[1]，揭露了使用最新氣候變遷情境資料所評估未來世界的氣候變遷衝擊。此時，國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台」（Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, 簡稱 TCCIP），已蒐集了 IPCC AR6 所使用最新的耦合氣候模式對比計畫（Coupled Model Intercomparison Project, CMIP）第六階段（簡稱 CMIP6）資料，著手進行統計降尺度至臺灣 0.05 度經緯度網格解析度，稱為 TCCIP AR6 統計降尺度日資料，此資料已於 2023 年 1 月釋岀下載，提供我國各界之氣候變遷風險評估使用。新的氣候變遷情境資料，因為情境設定的不同，氣候模式模擬技術的精進，以及統計降尺度方

式的精進，對於未來可能會有不同的評估結果。為了解 TCCIP 所釋出最新的 AR6 統計降尺度日資料所呈現未來氣候變遷對水資源供水之衝擊，本研究乃使用 TCCIP AR6 統計降尺度日資料，探討全臺供水相關集水區在氣候變遷影響下之衝擊。

氣候變遷情境資料

IPCC AR6 中所使用之未來氣候變遷情境，乃延伸 IPCC 第五次評估報告 (The 5th Assessment Report, 簡稱 AR5) [2] 使用之代表濃度途徑 (Representative Concentration Pathways, 簡稱 RCPs) [3], 再結合「共享社會經濟路徑」(Shared Socioeconomic Pathways, 簡稱 SSPs) [4] 來代表與反應未來可能的溫室氣體排放情境。RCPs 主要表示溫室氣體或氣膠的排放量濃度及土地利用變遷等條件，並且以世紀末 2100 年的輻射強迫力 (Radiative Forcing, 單位: W/m^2) 來區分不同途徑變化，分別為 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 及 RCP8.5，AR6 以此為基礎再增加 RCP1.9、RCP3.4 及 RCP7.0 三種情境；SSPs 分五種不同社經發展情境，代表全球或社會經濟發展程度及人類社會發展，如人口、教育或能源利用等發展情境。SSP1 為永續發展的理想情境，SSP2 為與歷史發展相似的中間路線，SSP3 與 SSP4 分別代表區域競爭及不平等發展，皆強調高挑戰性的調適，SSP5 則為高度仰賴化石燃料的高發展、高排放情境。將上述兩者結合來呈現不同之排放路徑 (即為 SSPs-RCPs)，AR6 中常用之情境為 SSP1-2.6 (永續)、SSP2-4.5 (中間路線)、SSP3-7.0 (區域競爭)、SSP5-8.5 (石化燃料發展)。

我們使用的氣候變遷情境資料，則是利用全球環流模式 (General Circulation Models, 簡稱 GCMs) 以及地球系統模式 (Earth System Models, 簡稱 ESMs) [4], 代入各種氣候情境所代表的溫室氣體排放濃度變化所模擬出來的氣候資料。

臺灣面積狹小且地形複雜，全球尺度的空間解析度太低 (網格邊長約為數十至數百公里)，無法反映臺灣東南西北各流域之氣候空間差異與變化，須以統計降尺度或動力降尺度方式將全球尺度 GCMs 或 ESMs 的資料轉換為較高解析度之資料。臺灣氣候變遷降尺度的資料，主要是由 TCCIP 計畫在國科會的支持下產

製，並於臺灣氣候變遷整合服務平台 (<https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/>) 提供資料下載服務，以最新的 AR6 統計降尺度日資料而言，空間解析度為 0.05 經緯度之網格，資料分為歷史基期段 (1960 ~ 2014 年) 的降尺度資料以及未來推估段 (2015 ~ 2100 年) 的降尺度資料。

統計降尺度方法採用先調整降雨門檻值來修正每月降雨機率，再進行偏差修正的兩階段偏差修正方式 [5,6]。利用歷史模擬段的資料推估修正降雨門檻值，未來推估段的資料則應用基期資料之修正降雨門檻值分出降雨日資料來進行偏差修正。此外，AR5 統計降尺度日資料使用分位數映射法 (Quantile Mapping, 簡稱 QM) [7-10]，而 AR6 統計降尺度日資料則使用分位數增量映射法 (Quantile Delta Mapping, 簡稱 QDM) [11] 進行降尺度進行偏差校正，可以減少累積分布函數 (Cumulative Distribution Function, 簡稱 CDF) 因外插造成之降雨過度放大的現象，更能保留模式原始的推估變化 [12]。

全球暖化程度

IPCC AR6 報告中使用了全球暖化程度 (Global Warming Levels, 後面簡稱 GWLs) [13] 之方式，去探討未來不同暖化程度下的衝擊。GWLs 定義為全球表面溫度相對於 1850 ~ 1900 年平均值增加 1.5°C 或 2°C 等，因此是獨立於特定情境或時間段來整合氣候資訊的有用方法 [13]。應用 GWLs 來評估未來氣候變遷衝擊的方法，乃根據多重模式的平均結果，並非以不同排放情境的方式來描述可能的氣候變化，而是提供全球均溫上升到某個程度來進行評估，故 GWLs 涵蓋多種排放路徑 (SSPs-RCPs) 之結果。各情境下之各模式達到設定之 GWL 的時間並不相同，圖 1 乃利用每個情境中所有模式的全球平均溫度資料，再以 20 年移動平均繪製而成，隨著時間變化的曲線與淺色帶狀範圍代表著各情境中所有模式的平均以及 5% ~ 95% 的範圍。以 SSP1-2.6 情境而言，暖化程度有達到 GWL2°C 的共有 11 個模式，TaiESM 為其中之一，該模式於 2040 年到達 GWL2°C，評估應用上會取前後共 20 年資料進行評估，也就是 2041 ~ 2060 年的資料來代表該模式的 GWL2°C 的結果 (如圖 1 右圖所示)。每個模式到達 GWL2°C 並不相同，因此使用的時間段並不相同。應用上，為了評估不同 GWLs 相對於「現況」的衝

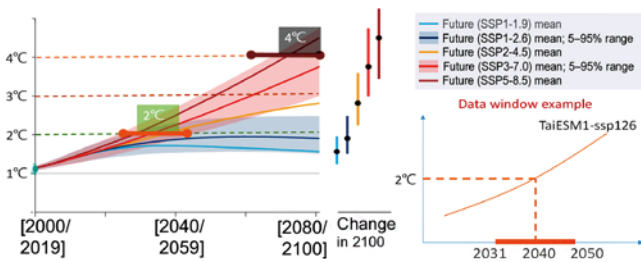


圖 1 GWL2°C 及 GWL4°C 情境示意圖

(取自 IPCC, 2021: Summary for Policymakers. Figure SPM.8^[1], 本研究再製)

擊程度，代表現況的資料段則使用基期段最接近現況的 20 年時間，1995 ~ 2014 年來進行衝擊評估的比較基準。本研究參考 IPCC 在 AR6 報告中之建議，採用 GWL2°C 所有暖化情境共計 86 個模式及 GWL4°C 所有暖化情境共 26 個模式^[12]，評估未來不同暖化程度下的水資源衝擊。

供水相關集水區與測站

為探討氣候變遷對於未來氣候與水文之影響，及其面對各季節降雨變化影響下對於集水區水量之衝擊，乃以水資源北、中、南及東四分區之供水集水區為分析對象，挑選主要集水區之供水取水點為控制點，並以鄰近流量站為參考測站，以北部地區主要供水之一的大漢溪為例，其主要控制點為石門水庫及支流三峽河取水點，所對應之流量模擬參考測站則為石門水庫以及三峽流量站；而基隆河主要供水為基隆河川流水及離槽水庫新山水庫，故選擇介壽橋為控制點代表基隆河之流量。為模擬供水相關的集水區流量變化，乃以控制點為集水區出流端，界定出跟供水相關之集水區範圍，如圖 2 以曾文水庫為例，控制點為曾

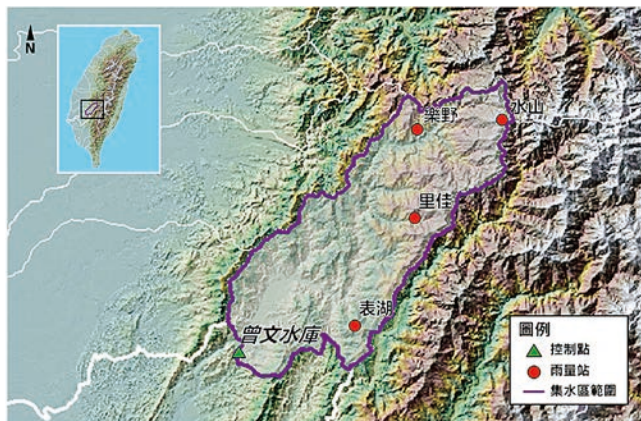


圖 2 集水區挑選及雨量站選用以曾文溪為例
(本研究自製)

文水庫，而供水相關的集水區範圍為曾文水庫集水區，評估上會使用集水區範圍內觀測紀錄大於 20 年之測站，因此，便設定表湖、里佳、樂野、水山等 4 個測站為評估點，而統計降尺度日資料則挑選這 4 個測站所座落的網格點資料進行評估，再以徐昇式法進行空間加權平均，作為整個集水區的降雨量進行評估以及流量模擬，流量模擬則使用 GWLF (Generalized Watershed Loading Function) 模式^[14,15]，全臺集水區及測站如表 1 所示。

分析方法

為探討氣候變遷對未來水資源的衝擊，本研究以未來相對於現況的水文量改變率作為水資源的衝擊評估指標，如年雨量、平均最大連續不降雨日數的改變率，以及春季 (2 ~ 4 月)、梅雨季 (5 ~ 6 月)、颱風季 (7 ~ 9 月)、秋季 (10 ~ 11 月) 及冬季 (12 ~ 1 月) 等五個降雨季節^[16]的降雨改變率，並選擇對應五個降雨季節之流量改變率進行評估。

各項指標計算以改變率 (%) 方式呈現，意指未來相對於基期之變化程度，用以呈現不同情境下未來氣候變遷下水文之變化。未來氣候資料使用 GWL2°C 及 GWL4°C 各 GCMs 或 ESMs 所對應的 20 年資料，並以 1985 ~ 2014 年各 GCMs 或 ESMs 模擬的 20 年資料作為基期，指標的方程式表示如下：

$$f(\text{index}_x) = x_{GWLs} / x_{base} \quad (1)$$

其中，

index_x ：指標之改變率 (%)， x 表示對應之類別如年總降雨量、春季降雨量、梅雨季降雨量、...、秋季流量或冬季流量等。

x_{GWLs} ：不同類別指標於不同 GWL 情境之數值

x_{base} ：不同類別指標基期之數值

GWL2°C 共有 86 個模式及 GWL4°C 共 26 個模式，所有模式的結果並不相同，原因在於氣候變遷模式的不確定性以及情境的不確定性。這些不確定性可以箱形圖方式來呈現，本研究為了以空間分佈圖呈現全臺水資源相關集水區之衝擊評估之結果，乃以中位數對應的結果來繪圖。

表 1 供水區域相關之集水區及採用之控制點及測站

分區	流域	集水區	控制點對應流量站	雨量站
北	基隆河	基隆河	介壽橋(1)	瑞芳(2)
	新店溪	北勢溪	翡翠水庫	坪林(4)、碧湖
		南勢溪	南勢溪	大桶山、福山(3)
	大漢溪	大漢溪	石門水庫	石門(3)、石門、巴陵、高義、嘎拉賀、長興、霞雲、三光、鞍部、秀巒、玉峰、白石、鎮西堡
		三峽河	三峽(2)	三峽、大豹
	頭前溪	油羅溪	內灣	梅花、鳥嘴山
		上坪溪	上坪	大關南、清泉
	蘭陽溪	羅東溪	羅東堰	新北城
	雙溪	雙溪	雙溪	坪林(4)、碧湖、瑞芳(2)
	中	中港溪	中港溪	田美攔河堰
後龍溪		老田寮溪	明德水庫	和興
		後龍溪	打鹿坑堰	大湖(1)
大安溪		大安溪	士林堰	象鼻(1)、松安
		雪山坑溪	雪山坑溪	雪嶺
		景山溪	鯉魚潭水庫	卓蘭(2)
大甲溪		大甲溪	石岡壩	八仙山(1)
烏溪		大里溪	溪南橋	頭汫坑
		北港溪	南北通橋	清流(1)、惠蓀(2)、翠巒、翠峰
		南港溪	觀音橋	北山(2)
		貓羅溪	南崗大橋	六分寮
濁水溪		濁水溪	集集攔河堰	玉山、日月潭、集集(2)、西巒、內茅埔(2)、望鄉、東埔
		清水溪	桶頭堰	阿里山、桶頭(2)、草嶺(2)
南	曾文溪	曾文溪	曾文水庫	里佳、水山、樂野、表湖
		後堀溪	南化水庫	關山
	四重溪	四重溪	牡丹水庫	牡丹
	八掌溪	八掌溪	觸口	小公田(2)、大湖山
	高屏溪	高屏溪	高屏堰	甲仙(2)、美濃(2)、古夏、新瑪家、三地門、梅山(2)、天池
		旗山溪	阿其巴橋	梅山(2)、天池
東	和平溪	大濁水溪	南溪壩	大濁水
	花蓮溪	馬鞍溪	馬鞍溪橋	馬太安
		豐坪溪	立山	苗圃
	秀姑巒溪	樂樂溪	卓樂橋	卓麓(4)
		富源溪	馬遠橋	大坪
	卑南溪	新武呂溪	新武呂(4)	霧鹿、向陽(2)
		卑南溪	臺東大橋	武陵、上里
	利嘉溪	利嘉溪	利嘉(2)	南鶴
	知本溪	知本溪	知本(3)	知本(5)

結果與討論

本研究以所有模式結果的中位數來呈現氣候變遷下全臺水資源衝擊評估指標之空間分佈與差異，結果如表 2~表 5 所示。說明如下：

年雨量與平均最大連續不降雨日數變化率

未來全臺水資源相關集水區之年降雨量為增加的趨勢，當達到全球暖化程度 2°C 時，增加趨勢不超過 5%，尚不明顯。當達到全球暖化程度 GWL4°C 時，增加趨勢較為明顯，如表 2、表 3、圖 3 所示。這樣的結果顯示未來氣候變遷對於水資源似乎是樂觀的結果，

其實不然。從平均最大連續不降雨日數評估的結果可以知道，未來最大連續不降雨日數為增加趨勢，全球暖化程度達到 GWL4°C 相較於 GWL2°C 有更明顯的增加趨勢，如圖 4 所示。綜合兩個評估指標的結果可以得知，未來氣候變遷影響下，雖然總降雨是增加的，但最大連續不降雨日數也是增加，顯示乾旱發生的機率與程度會增加，降雨呈現極端化趨勢。

各季節之降雨改變率

如表 2、表 3 與圖 5 所示，全球暖化程度 GWL2°C 時，春季及梅雨季的降雨一致為減少趨勢，颱風季為增加趨勢，而秋季及冬季則互有增減，其中秋季之大

表 2 全臺水資源相關集水區於全球暖化程度 GWL2°C 之降雨評估指標改變率

分區	集水區	指標改變率 (%)	年雨量	平均最大連續不降雨日數	春季降雨 (2~4月)	梅雨季降雨 (5~6月)	颱風季降雨 (7~9月)	秋季降雨 (10~11月)	冬季降雨 (12~1月)
北	基隆河	1.0	1.0	1.0	-3.0	-1.5	6.5	2.0	-2.0
	新店溪	1.5	0.0	0.0	-4.5	-1.0	6.0	2.0	-4.0
	大漢溪	1.0	4.5	4.5	-3.5	-3.0	6.0	-1.0	-2.0
	頭前溪	1.0	3.5	3.5	-3.0	-3.5	7.0	0.0	-1.5
	蘭陽溪	3.0	0.0	0.0	-3.5	-0.5	4.0	4.0	-5.5
	雙溪	1.0	0.5	0.5	-3.0	-1.5	6.0	2.0	-2.5
中	中港溪	1.0	6.5	6.5	-3.0	-1.0	7.0	-6.5	-2.0
	後龍溪	2.0	5.5	5.5	-3.0	-2.0	6.5	-9.5	-4.0
	大安溪	1.0	4.5	4.5	-3.5	-3.0	6.5	-2.5	-2.0
	大甲溪	1.0	4.5	4.5	-2.0	-2.5	6.0	-11.0	0.0
	烏溪	0.0	3.5	3.5	-1.5	-2.0	7.0	-7.5	-0.5
南	濁水溪	0.5	5.0	5.0	-3.0	-4.0	5.5	-9.0	2.0
	八掌溪	0.0	4.0	4.0	-2.5	-6.0	5.5	-17.5	1.0
	曾文溪	0.0	4.0	4.0	-4.0	-3.5	4.5	-10.5	1.0
	高屏溪	0.5	11.0	11.0	-3.0	-2.0	4.0	-9.5	3.5
	四重溪	1.5	11.5	11.5	-3.0	1.5	3.0	-3.0	-1.5
東	和平溪	1.5	4.0	4.0	-6.0	-4.0	4.0	7.0	-4.0
	花蓮溪	1.0	5.5	5.5	-5.0	-1.5	4.5	0.5	-3.0
	秀姑巒溪	2.0	6.5	6.5	-5.0	-3.0	5.0	0.0	-5.0
	卑南溪	2.0	7.0	7.0	-2.0	-1.5	4.0	-4.0	-0.5
	利嘉溪	2.0	8.0	8.0	-3.0	-0.5	4.5	-3.0	-4.5
	知本溪	2.0	9.0	9.0	-3.0	1.0	4.0	-1.5	-6.5

表 3 全臺水資源相關集水區於全球暖化程度 GWL4°C 之降雨評估指標改變率

分區	集水區	指標改變率 (%)	年雨量	平均最大連續不降雨日數	春季降雨 (2~4月)	梅雨季降雨 (5~6月)	颱風季降雨 (7~9月)	秋季降雨 (10~11月)	冬季降雨 (12~1月)
北	基隆河	2.0	7.5	7.5	-3.0	7.5	19.5	-2.0	-8.5
	新店溪	3.0	7.0	7.0	-5.5	3.0	15.5	-1.0	-12.0
	大漢溪	10.0	17.5	17.5	-5.0	4.0	16.0	-3.0	-5.0
	頭前溪	12.5	13.0	13.0	-2.5	5.0	24.5	-2.0	-2.5
	蘭陽溪	4.0	6.0	6.0	-5.0	2.5	13.5	0.5	-11.5
	雙溪	2.0	7.0	7.0	-3.0	7.5	19.0	-2.0	-9.5
中	中港溪	12.0	13.5	13.5	-3.5	10.0	23.5	-11.5	-3.0
	後龍溪	13.0	13.5	13.5	-4.0	10.5	21.5	-9.5	-4.0
	大安溪	10.5	15.5	15.5	-4.0	6.0	20.5	-3.5	-2.5
	大甲溪	10.0	12.0	12.0	-2.0	5.5	20.5	-12.0	-3.5
	烏溪	9.5	12.0	12.0	-2.0	2.0	20.5	-9.0	-1.5
南	濁水溪	15.0	21.0	21.0	-5.0	2.5	22.0	-3.0	-2.5
	八掌溪	15.5	18.5	18.5	-2.5	1.5	23.5	-4.5	1.5
	曾文溪	13.0	17.0	17.0	-4.5	3.5	23.0	-7.0	-1.0
	高屏溪	14.0	21.5	21.5	-6.0	6.0	22.5	-10.0	0.0
	四重溪	15.0	27.0	27.0	-16.0	2.5	20.0	2.5	-6.5
東	和平溪	4.5	9.5	9.5	-8.0	-1.0	13.0	6.0	-9.0
	花蓮溪	12.0	13.0	13.0	-6.0	0.5	20.5	-4.0	-11.0
	秀姑巒溪	15.0	14.5	14.5	-4.5	-0.5	22.5	0.0	-11.5
	卑南溪	18.5	18.0	18.0	-7.5	6.0	25.5	-5.5	-3.0
	利嘉溪	19.0	17.5	17.5	-7.5	6.5	25.5	-1.5	-7.5
	知本溪	18.5	20.0	20.0	-8.0	7.5	25.0	-1.5	-9.5

表 4 全臺水資源相關集水區於全球暖化程度 GWL2°C 之流量評估指標改變率

分區	集水區	指標改變率 (%)	春季流量 (2~4月)	梅雨季流量 (5~6月)	颱風季流量 (7~9月)	秋季流量 (10~11月)	冬季流量 (12~1月)
北	基隆河		-4.5	-6.0	10.0	-0.5	-3.5
	新店溪		-6.0	-8.5	8.0	0.0	-5.0
	大漢溪		-7.5	-9.5	5.0	-3.5	0.0
	頭前溪		-6.0	-12.0	5.5	1.5	2.5
	蘭陽溪		-6.0	-8.5	12.5	0.5	-6.0
	雙溪		-5.5	-6.5	10.5	-1.0	-4.0
中	中港溪		-5.5	-6.0	3.5	-7.5	-0.5
	後龍溪		-5.0	-8.5	6.5	-5.5	6.5
	大安溪		-5.0	-8.0	5.5	-3.0	1.0
	大甲溪		-6.0	-6.5	7.0	-13.0	5.0
	烏溪		-4.5	-9.0	5.0	-2.5	8.5
南	濁水溪		-8.0	-7.5	3.0	-4.5	9.5
	八掌溪		3.0	-10.0	3.0	-3.0	3.0
	曾文溪		-2.5	-8.0	2.5	-0.5	4.5
	高屏溪		6.5	-6.5	3.0	-1.5	19.0
	四重溪		5.5	0.5	3.0	-1.0	2.5
東	和平溪		-8.0	-12.5	4.0	4.0	-1.0
	花蓮溪		-12.0	-10.0	5.0	-4.0	-7.0
	秀姑巒溪		-5.0	-12.0	6.0	-1.0	-4.5
	卑南溪		3.0	-4.0	3.5	-4.5	-2.0
	利嘉溪		10.0	-2.5	4.0	-5.5	4.0
	知本溪		11.0	1.0	4.5	-5.0	1.0

表 5 全臺水資源相關集水區於全球暖化程度 GWL4°C 之流量評估指標改變率

分區	集水區	指標改變率 (%)	春季流量 (2~4月)	梅雨季流量 (5~6月)	颱風季流量 (7~9月)	秋季流量 (10~11月)	冬季流量 (12~1月)
北	基隆河		-9.5	-0.5	30.5	-6.0	-11.5
	新店溪		-16.5	-8.5	19.0	-5.5	-12.5
	大漢溪		-16.5	-5.0	18.5	-5.0	-6.5
	頭前溪		-13.5	-3.0	27.5	0.0	-1.5
	蘭陽溪		-19.0	-0.5	25.5	-3.5	-12.0
	雙溪		-10.5	-2.0	29.0	-7.0	-12.5
中	中港溪		-15.0	4.5	32.5	-6.5	5.0
	後龍溪		-16.0	0.5	28.0	8.0	18.5
	大安溪		-14.5	-0.5	21.5	-4.0	1.0
	大甲溪		-13.0	1.5	23.5	-25.5	4.0
	烏溪		-12.0	-4.0	18.0	3.0	3.0
南	濁水溪		-14.5	2.0	23.5	2.5	11.0
	八掌溪		-8.0	4.5	25.5	11.5	7.0
	曾文溪		-15.0	0.0	24.0	4.0	11.5
	高屏溪		-15.5	5.0	24.0	-2.5	30.0
	四重溪		-22.0	5.5	27.5	8.0	1.5
東	和平溪		-21.0	-0.5	17.5	6.0	-6.0
	花蓮溪		-29.0	-8.0	26.0	-4.0	-17.0
	秀姑巒溪		-19.0	0.0	32.0	9.0	-11.5
	卑南溪		-5.0	17.5	37.5	2.0	-3.0
	利嘉溪		-12.5	12.5	35.0	1.0	2.5
	知本溪		-12.5	15.0	32.0	-0.5	-12.5

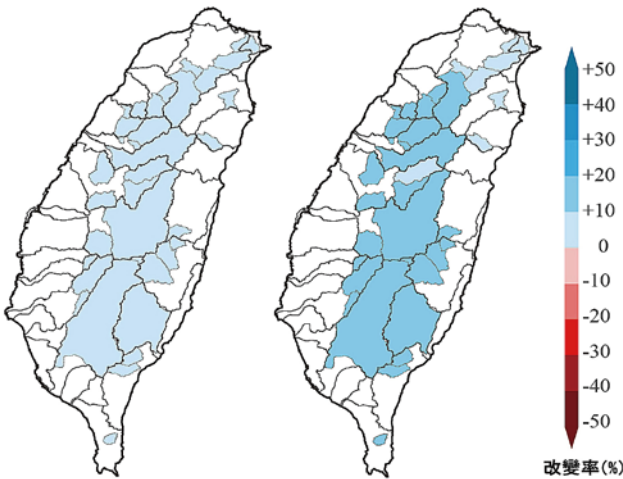


圖 3 全臺水資源相關集水區平均年雨量於全球暖化程度 GWL2°C (左圖) 及 GWL4°C (右圖) 之改變率分布圖

甲溪、八掌溪、曾文溪減少趨勢較為明顯 (10% 以上)。而全球暖化程度達到 GWL4°C 時，原本梅雨季轉為增加趨勢，但趨勢並不明顯。颱風季則有明顯增加趨勢，春雨季、秋季及冬季之訊號則普遍顯示為明顯之減少趨勢，此結果再對應前項年雨量增加的分析結果，可知未來年雨量增加的主要集中於颱風季，對於水資源而言，增加的雨量可能難以增加可利用的水資源量，同時增加水資源操作與管理之困難。整體而言，秋季、冬季、到春季的雨量減少，將增加水資源乾旱風險，以臺灣歷史的乾旱事件來看，當秋季跟冬季雨量不樂觀時，就會連帶影響隔年春季的水稻耕種需求，加上春季的雨量減少，如果乾旱管理與調配不當，將會增加乾旱所造成的損失。

各季節之流量改變率

未來水資源相關集水區的流量在全球暖化程度達到 GWL2°C 時，如表 4 及圖 6 所示，春季除了八掌溪、高屏溪、四重溪、卑南溪、利嘉溪及知本溪流域之外，均為減少趨勢，其中又以花蓮溪減少趨勢較為明顯 (12%)；梅雨季除了四重溪跟知本溪之外，其餘皆為減少趨勢，其中又以頭前溪、八掌溪、和平溪、花蓮溪、秀姑巒溪、減少趨勢較為明顯 (10% 以上)，綜合春季以及梅雨季之流量變化趨勢，花蓮溪在這兩季減少趨勢最為明顯。全臺水資源相關集水區在颱風季之流量為增加趨勢；秋季之變化趨勢多為減少趨勢，

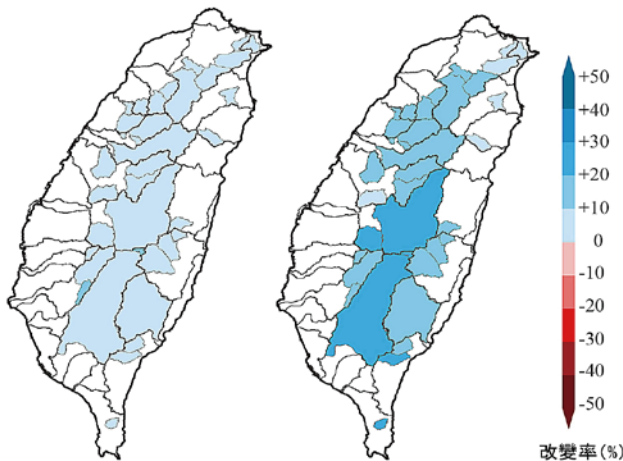


圖 4 全臺水資源相關集水區最大連續不降雨日數於全球暖化程度 GWL2°C (左圖) 及 GWL4°C (右圖) 之改變率分布圖

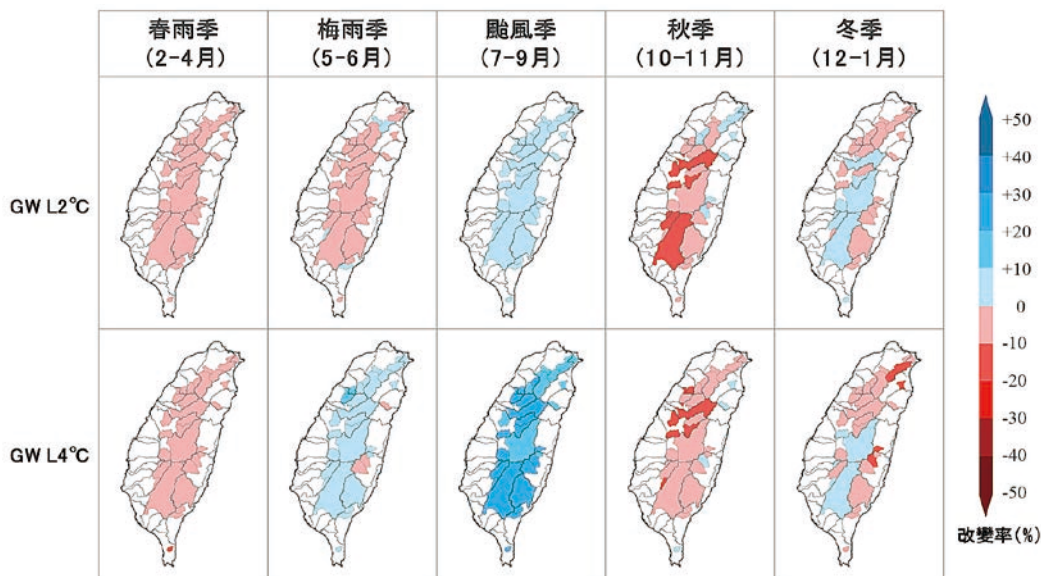


圖 5 全臺水資源相關集水區各季節降雨於全球暖化程度 GWL2°C 及 GWL4°C 之改變率分布圖

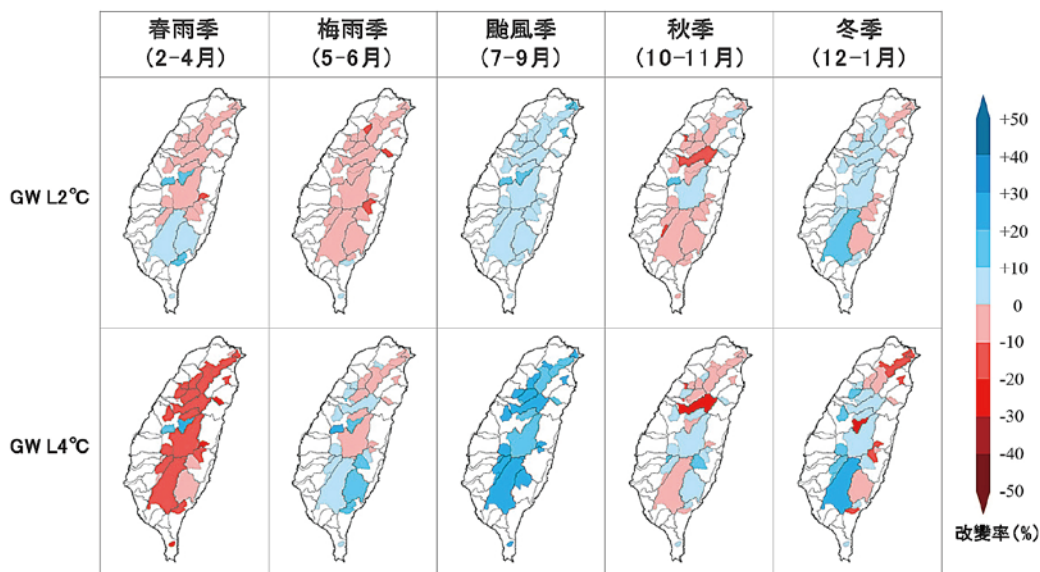


圖 6 全臺水資源相關集水區各季節流量於全球暖化程度 GWL2°C 及 GWL4°C 之改變率分布圖

整體而言，北部變化趨勢不明顯，中部則有明顯減少趨勢，尤其是大甲溪，南部變化趨勢雖不明顯，但均為減少趨勢，東部除了和平溪之外，皆為減少趨勢；冬季集水區流量變化趨勢多數為增加，整體而言，北部變化不明顯，集水區流量有增有減，中部多數為增加趨勢，南部皆為增加趨勢，尤以高屏溪增加較多，東部集水區變化趨勢則各有增減，利嘉溪與知本溪為增加趨勢，其餘為減少趨勢。

當全球暖化程度達到 GWL4°C 時，如表 5 及圖 6 所示，全臺水資源相關集水區春季流量明顯減少，梅雨季則變為互有增減，颱風季大致上為明顯增加，秋季維持互有增減但大甲溪為明顯減少，冬季流量變化有增有減，但曾文溪、高屏溪為明顯增加。

結論與建議

本研究以最新之 IPCC AR6 統計降尺度日資料應用於全臺水資源相關集水區之降雨及流量分析，探討 IPCC 最新情境下，臺灣水資源可能之衝擊。IPCC AR6 報告中，使用了全球暖化程度 -GWLs 探討未來不同的暖化程度下對於不同領域、不同地區之衝擊，本研究亦使用全球暖化程度 -GWLs 進行分析，並以 GWL2°C 及 GWL4°C 分析臺灣水資源未來在不同的暖化程度下之衝擊。整體分析結果可綜合歸納以下幾點：

1. 未來全球暖化不同程度下的年雨量均為增加趨

勢，但增加雨量多數集中於颱風季（7~9月），因此增加的雨量並非有利於水資源，颱風季雨量及流量的增加，反而增加水資源操作與管理之困難，亦增加高濁度造成缺水之風險。

2. 整體而言，全球暖化程度 GWL2°C 及 GWL4°C 兩者變化趨勢大致相同，但 GWL2°C 多數集水區評估指標變化趨勢較不明顯，不確定性較高，但 GWL4°C 結果則有明顯趨勢，顯示全球暖化對於臺灣水資源之衝擊與影響為負面的趨勢。
3. 研究結果顯示，無論是全球暖化程度 GWL2°C 或是 GWL4°C，未來多數集水區在春季為減少的趨勢，臺灣歷史上的幾次乾旱事件，春季降雨的減少為主要影響關鍵，因此未來可能因為春季雨量的減少，增加水資源乾旱的風險。
4. 全臺水資源相關集水區最大連續不降雨日數在未來為增加趨勢，此結果也顯示未來發生乾旱之程度會加劇，頻率可能增加。
5. 本研究利用最新的 AR6 統計降尺度日資料進行水資源衝擊評估，整體趨勢與過去臺灣氣候變遷水資源衝擊評估研究結果之趨勢大致接近，氣候變遷對於臺灣水資源衝擊的定性描述仍舊是「豐越豐，枯越枯」，也就是豐水期雨量與流量增加，枯水期雨量與流量減少的未來趨勢。
6. 本研究以指標分析方式評估氣候變遷對於臺灣水資源之衝擊，並以中位數呈現全臺水資源相關集

水區衝擊評估指標之空間分佈，僅能呈現未來衝擊的趨勢與程度，水資源缺水風險與水資源系統之供水能力以及需水量有關，水資源衝擊增加，並非直接代表水資源缺水風險增加。供水系統之缺水風險是否增加，仍須進一步進行水資源缺水風險模擬，並考慮氣候變遷不確定性才能評估。

參考文獻

1. IPCC, (2021), Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. In Press.
2. IPCC, (2013), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
3. Cubasch, U., D. Wuebbles, D. Chen, M.C. Facchini, D. Frame, N. Mahowald, and J.-G. Winther, (2013), Introduction. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
4. Chen, D., M. Rojas, B.H. Samset, K. Cobb, A. Diongue Niang, P. Edwards, S. Emori, S.H. Faria, E. Hawkins, P. Hope, P. Huybrechts, M. Meinshausen, S.K. Mustafa, G.-K. Plattner, and A.-M. Tréguier, (2021), Framing, Context, and Methods. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 147-286, doi:10.1017/9781009157896.003.
5. 劉子明、鄧澤宇、鄭克聲 (2022 年)，水資源領域應用統計降尺度日資料之轉換研究。臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台電子報，第 60 期。
6. Teng, T.-Y., Liu, T.-M., Tung, Y.-S., and Cheng, K.-S. (2021), "Converting Climate Change Gridded Daily Rainfall to Station Daily Rainfall—A Case Study at Zengwen Reservoir", Water 13, No. 11: 1516. <https://doi.org/10.3390/w13111516>
7. 王俊寓，林士堯 (民 111 年 7 月 25 日)，AR5 統計降尺度資料說明文件 (2.2 版)，[Jan.5, 2023] 取自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/20200219113149.pdf
8. Gobiet, A., Suklitsch, M., and Heinrich, G. (2015), The effect of empirical-statistical correction of intensity-dependent model errors on the temperature climate change signal, Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 4055-4066, <https://doi.org/10.5194/hess-19-4055-2015>
9. Maurer, E.P. (2007), Uncertainty in hydrologic impacts of climate change in the Sierra Nevada, California under two emissions scenarios, Climatic Change, 82, <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9180-9>.
10. Wood, A.W., E.P. Maurer, A. Kumar, and D.P. Lettenmaier, (2002), Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States. J. Geophysical Research-Atmospheres 107(D20), 4429.
11. Cannon, A.J., Sobie, S.R., and Murdock, T.Q., (2015), Bias correction of gcm precipitation by quantile mapping: how well do methods preserve changes in quantiles and extremes? Journal of Climate, Vol. 28, issue 17, pp. 6938-6959.
12. 林修立、童裕翔、王俊寓、林士堯 (民 112 年 1 月 1 日)，AR6 統計降尺度雨量資料生產履歷 (1.0 版)，[Jan.5, 2023] 取自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_profile/20220718101540.pdf
13. Arias, P.A., N. Bellouin, E. Coppola, R.G. Jones, G. Krinner, J. Marotzke, V. Naik, M.D. Palmer, G.-K. Plattner, J. Rogelj, M. Rojas, J. Sillmann, T. Storelvmo, P.W. Thorne, B. Trewin, K. Achuta Rao, B. Adhikary, R.P. Allan, K. Armour, G. Bala, R. Barimalala, S. Berger, J.G. Canadell, C. Cassou, A. Cherchi, W. Collins, W.D. Collins, S.L. Connors, S. Corti, F. Cruz, F.J. Dentener, C. Dereczynski, A. Di Luca, A. Diongue Niang, F.J. Doblas-Reyes, A. Dosio, H. Douville, F. Engelbrecht, V. Eyring, E. Fischer, P. Forster, B. Fox-Kemper, J.S. Fuglestedt, J.C. Fyfe, N.P. Gillett, L. Goldfarb, I. Gorodetskaya, J.M. Gutierrez, R. Hamdi, E. Hawkins, H.T. Hewitt, P. Hope, A.S. Islam, C. Jones, D.S. Kaufman, R.E. Kopp, Y. Kosaka, J. Kossin, S. Krakovska, J.-Y. Lee, J. Li, T. Mauritsen, T.K. Maycock, M. Meinshausen, S.-K. Min, P.M.S. Monteiro, T. Ngo-Duc, F. Otto, I. Pinto, A. Pirani, K. Raghavan, R. Ranasinghe, A.C. Ruane, L. Ruiz, J.-B. Sallée, B.H. Samset, S. Sathyendranath, S.I. Seneviratne, A.A. Sörensson, S. Szopa, I. Takayabu, A.-M. Tréguier, B. van den Hurk, R. Vautard, K. von Schuckmann, S. Zaehle, X. Zhang, and K. Zickfeld, (2021), Technical Summary. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33-144. doi: 10.1017/9781009157896.002.
14. 鄧澤宇、劉子明、鄭克聲 (2020)，水資源領域氣候變遷危害與衝擊圖資建製成果，國家災害防救科技中心技術報告。
15. Haith, D.A., Mandel, R., Wu, R.S., GWLF, Generalized Watershed Loading Functions, Version 2.0, User's Manual. Department of Agricultural & Biological Engineering, Cornell University: Ithaca, NY, USA, 1992.
16. 陳昭銘 (2008)，臺灣之自然季節，水利土木科技資訊季刊，42 期。