

五大流域氣候變遷水文量分析

Analysis of Rainfall Variability under Climate Change in Five Major River Basins in Taiwan

經濟部水利署水利規劃試驗所

助理研究員

羅鈞瀚

Chun-Han Lo

研究助理

許睿穎

Jui-Hao Hsu

摘要

IPCC(政府間氣候變化專門委員會)於 2021 年 8 月 9 日公布氣候變遷第六次評估報告，該報告特別指出，人類要對於暖化負起最大的責任，且全球地表溫度將持續增溫至 21 世紀末，於 2050 年不同溫室氣體排放情境幾乎均無法避免 1.5°C 暖化幅度。暖化將使地球面臨更嚴峻之洪氾、水資源管理等不同面向之衝擊。

為評估台灣未來在防洪治理工作上可能面臨之氣候衝擊，需要先預測未來可能發生的極端降雨事件增幅。本文藉由分析 1931~2020 年歷史雨量觀測資料，每 30 年為區間作水文頻率分析，並以重現期雨量線性變化趨勢外延推估 2021~2050 年區間之重現期雨量。分析成果顯示淡水河流域未來重現期 200 年 3 日暴雨量相對基期(1976~2005 年)增幅為 36%、大甲溪流域未來重現期 100 年 2 日暴雨量增幅為 32%、高屏溪流域未來重現期 100 年 2 日暴雨量增幅為 41%。而濁水溪和曾文溪在重現期雨量分析結果顯示線性變化趨勢 R 平方值小於 0.9，因此不採用線性外延推估成果，以近 30 年(1991~2020 年)重現期雨量分別作為該流域氣候變遷調適之雨量情境。此外，本文分析之未來雨量增幅和大氣模式系集分析結果比較，增幅均落在大氣模式系集成果第一至第三四分位數之間，顯示本文推估之雨量增幅尚在合理可接受範圍內。

關鍵字：氣候變遷、降雨量變化、頻率分析、五大流域

Abstract

IPCC has announced the Sixth Assessment Report on August 9th, 2021, which argues that human beings should be responsible for the global warming. Meanwhile the global surface temperature will be rising constantly till the end of 21st century and the increment of 1.5 degree Celsius is inevitable in 2050 under different warming scenarios. The earth will be subjected to more severe flooding and water resources management impacts.

In order to assess the climate impact on flood control works in Taiwan, the prediction of possible extreme rainfall event in the future should be investigated. In present study the hydrologic frequency analysis every 30 year is analyzed by the observed precipitation data from 1931 to 2020 and the return periods of rainfall in 2021 to 2050 interval is predicted by

the linear extrapolation method. The results show that the rainfall for 200-year, 3-day return period in Tamshui river basin will increase by 36%; the rainfall for 100-year, 2-day return period in Dajia and Kaoping rivers basins will increase by 32% and 41% respectively. The extrapolations of return periods rainfall in Zhoushui and Zengwen rivers are not used due to the R-square values being less than 0.9 which indicates poor relations among the return periods rainfall data while the return periods rainfall in 1991 to 2020 interval is adopted for the climate change scenario. Furthermore, the rainfall increments presented by this paper falls between the first and third quartiles of GCMs results, which indicates the extrapolation results in this study are reasonably acceptable.

Keywords: *Climate change, Variability of rainfall, Frequency analysis, Five major river basin*

一、前言

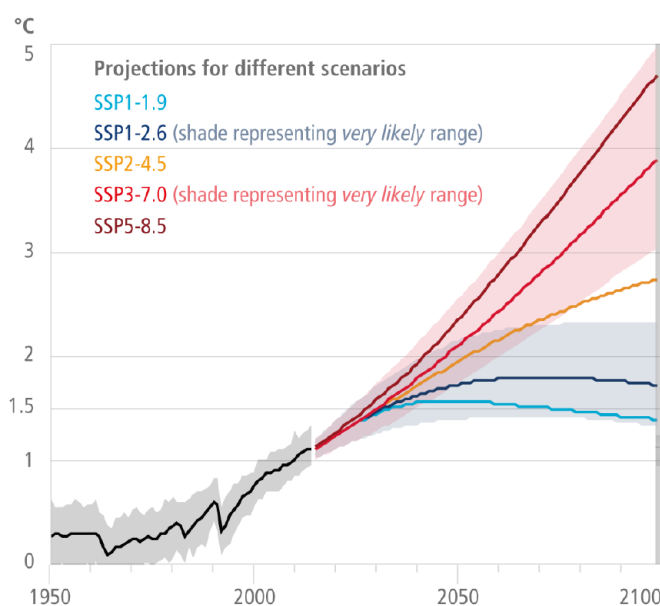
IPCC(政府間氣候變化專門委員會)於 2021 年 8 月 9 日公布氣候變遷第六次評估報告，該報告特別指出，人類要對於暖化負起最大的責任，且全球地表溫度將持續增溫至 21 世紀末，於 2050 年不同溫室氣體排放情境幾乎均無法避免 1.5°C 暖化幅度(如圖 1-1)，且 2°C 是極可能發生之情境，世紀末於極端情境甚至增溫超過 4°C。暖化會使氣候系統產生變化，包括極端高溫、豪雨、乾旱、熱浪…等現象皆可能更頻繁發生或強度更劇烈(如圖 1-2)。因此在面對未來氣候變遷可能的衝擊下，國際間共識為於 2050 年達到淨零排碳目標，另歐盟於 2021 年提出氣候變遷新調適策略，以更具智慧、系統化和快速的調適策略來因應；美國也在 2021 年提出「Build Back Better」法案，針對疫情、基礎建設、社會福利等不同面向未來如何因應提出策略方針。然而面對未知的未來，如何評估氣候變遷衝擊，國際上透過聯合國科研組織採用大氣模式系集(GCM)分析不同溫室氣體排放情境下，未來(至 21 世紀末)溫度及雨量變化，歐盟聯合研究中心(Joint Research Center)進一步利用前述資料進行河川、水資源、海岸、農業、棲地、乾旱、熱浪…等物理現象對於歐盟國家的衝擊評估，並針對可能發生情境提出調適策略。

為評估台灣未來在防洪治理工作上可能面臨之氣候衝擊，需要先預測未來可能發生的極端降雨事件強度增幅。國際上採用之大氣模式系集分析成果係屬於相當大尺度範圍，若要了解台灣地區(小尺度)空間變化，須以統計分析方式將全球空間尺度資料降尺度進行模擬，此部份國內目前由國家災害防救科技中心(NCDR)進行相關工作，惟大氣模式系集降尺度分析仍存在許多不確定因素。爰本文希望利用水利署以往流域水文分析方式，藉由分析歷史雨量觀測資料了解近 90 年來台灣五大流域雨量變化趨勢，並作適度的假設以預測未來可能的降雨情境，作為水利署未來氣候變遷下防洪風險管理目標之參考。

二、溫度與雨量變化

1、 全球溫度預估

2015 年 COP26 氣候大會，各國政府將目標設定為全球升溫控制於攝氏 1.5°C 以下，然如前述指出 2021 年 AR6 報告示警 2050 年最可能發生增溫 2°C 情境，因此世界各國需要更積極採取不同措施將增溫控制於 2°C 以下。檢視大氣模式系集推估可能發生增溫 2°C 之年份從 2022 年到 2085 年，中位數為 2043 年)，目前國內外研究大多以 21 世紀中(2050 年)為增溫 2°C 的指標年。因此在防洪角度上，本文以 21 世紀中作為未來防洪情境目標。



資料來源：IPCC WGI & WGII SIX Assessment Report、

圖 2-1 不同排放情境固定暖化程度年份

2、 台灣歷史溫度和雨量變化

2-1、北台灣歷史溫度和雨量變化-以淡水河為例

觀察 1931 年至 2020 年淡水河流域溫度和雨量變化(如圖 2-2)，溫度(圖中圓點)為台北氣象站資料，1931~2020 年，90 年平均溫度為 22.6°C。可發現在 1990 年後平均溫度多數已超過平均溫度，以變化趨勢線(紅色虛線)觀察也可發現年均溫呈上升趨勢，於 2000 年左右超過平均值且持續攀升中。雨量資料為淡水河流域年最大三日暴雨，黑色實線為年最大三日暴雨變化趨勢，亦呈現逐步上升趨勢，惟 2015 之後，因近年淡水河流域較無長延時豪大雨事件，因此趨勢有稍微下降。溫度變化趨勢於 1990~2000 年左右開始明顯攀升，而雨量也超過平均值且逐年增加。

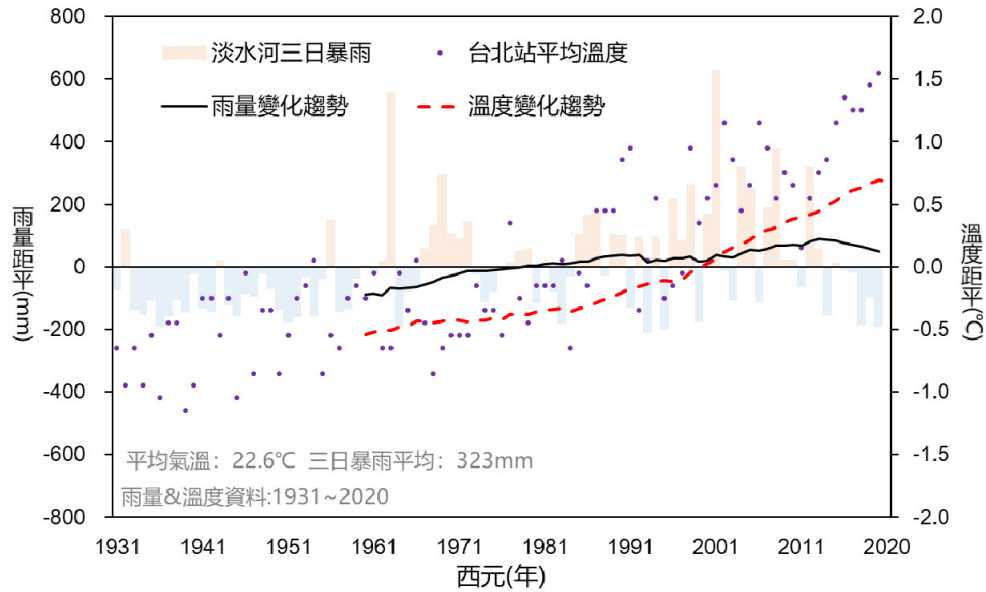


圖 2-2 北部溫度和雨量變化(以淡水河為例)

2-2、中台灣歷史溫度和雨量變化-以大甲溪為例

觀察 1931 年至 2020 年大甲溪流域溫度和雨量變化(如圖 2-3)，溫度(圖中圓點)為台中氣象站資料，1931~2020 年，90 年平均溫度為 23.1°C。在 1990 年後可發現年平均溫度多數以超過平均溫度，以變化趨勢線(紅色虛線)觀察也可發現年均溫在 1991 年左右為轉折點，從平緩曲線轉為顯著上升趨勢。雨量資料為大甲溪流域年最大二日暴雨，黑色實線為二日暴雨變化趨勢，整體變化較不明顯，惟 2000 年後有些微上升且超過平均值。

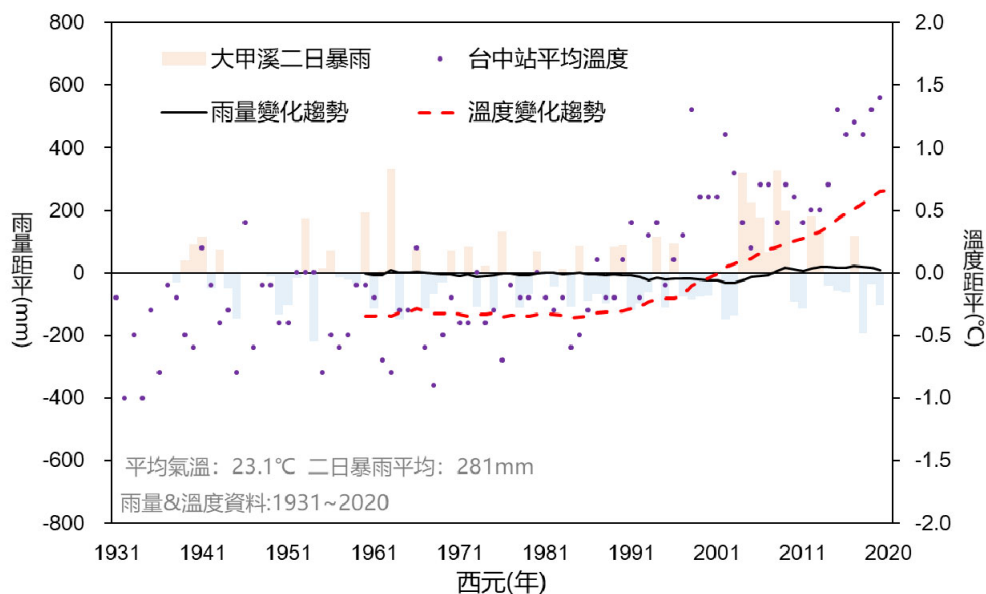


圖 2-3 中部溫度和雨量變化(以大甲溪為例)

2-3、南台灣歷史溫度和雨量變化-以高屏溪為例

觀察 1931 年至 2020 年高屏溪流域溫度和雨量變化(如圖 2-4)，溫度(圖中圓點)為高雄氣象站資料，1931~2020 年，90 年平均溫度為 24.8℃。在 1981 年後年平均溫度多數已超過平均溫度，以變化趨勢線(紅色虛線)觀察也可發現年均溫呈上升趨勢，於 2001 年超過平均值且持續攀升中。雨量資料為高屏溪流域年最大二日暴雨，黑色實線為二日暴雨變化趨勢呈現逐年上升趨勢，2001 年後雨量變化趨勢均大於平均值且持續上升，並可發現在 2000 年至 2010 之間發生較多次極端降雨事件。

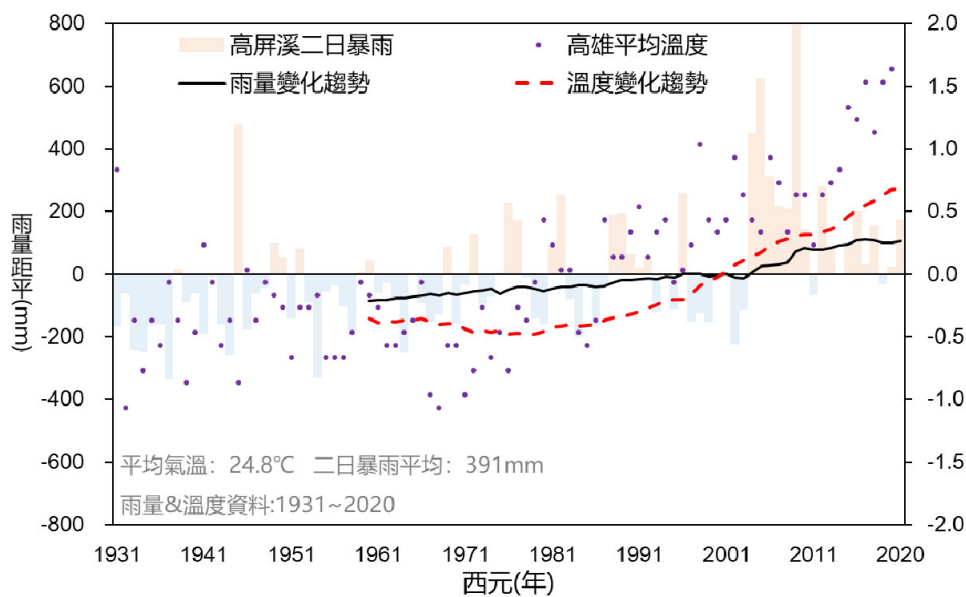


圖 2-4、南部溫度和雨量變化(以高屏溪為例)

透過分析北中南地區，年平均溫度和流域平均雨量觀察可發現，溫度變化趨勢上，北部、中部皆於 1990 年後有明顯上升情況，而南部地區於 1980 年初期即有上升趨勢。雨量變化方面，淡水河流域和高屏溪流域有較明顯的上升情況，特別是在 2000 年後皆有較大的降雨事件，而大甲溪雖有上升趨勢，但變化幅度不如淡水河和高屏溪顯著。此部份主要透過臺灣地區歷史溫度記錄，初步了解臺灣地區在 1990 年後有顯著升溫情況，以流域平均雨量來看，也呈現上升趨勢。

三、未來降雨情境推估與探討

1、未來降雨情境推估方法

中央管河川治理係依據流域水文分析之重現期暴雨量，並透過降雨逕流模式或實測流量法來計算各流域的計畫洪峰流量。為扣合河川治理工作，本報告將臺灣五大流域 1931 年至 2020 年共 90 年之歷史雨量資料，以每 30 年為區間進行年最大二(三)日重現期暴雨量頻率分析，並以線性回歸方式得到重現期暴雨量變化趨勢來推估 2021 至 2050 年可能之重現期暴雨量情境，分析架構如圖 3-1。

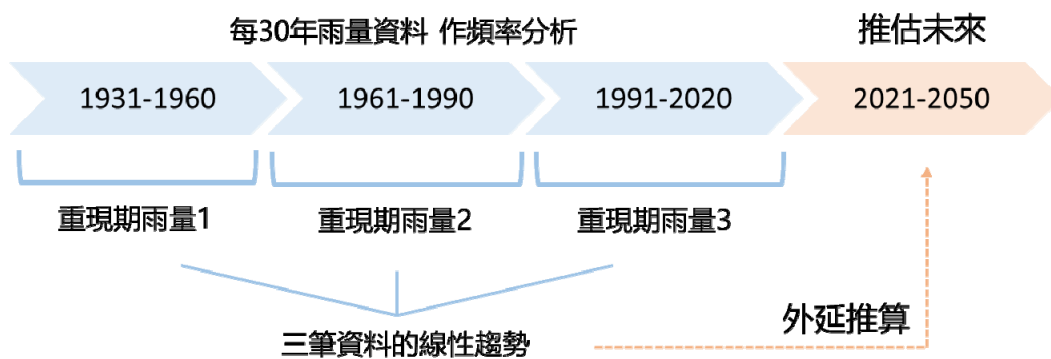


圖 3-1、本文歷史資料外延推估未來雨量分析架構

為求分析方法之一致性，本文採取和治理計畫相同水文分析方法，如下說明：

- (一)分析對象：淡水河(包括淡水河全流域、基隆河和大漢溪)、大甲溪、濁水溪、曾文溪、高屏溪等五大流域。
- (二)歷史雨量資料：1931~2020 年，共 90 年雨量觀測資料。資料來源：水利署水文整合資訊網。
- (三)雨量站選取：原則採取和各流域最新水文分析選用之相同雨量站。以高屏溪為例，本報告共採用 62 站雨量站資料，與本所 110 年高屏溪水文分析計畫採取相同之雨量站。高屏溪 104 年水文分析採用 42 站雨量站，而高屏溪 97 年治理計畫公告採用之雨量站為 35 站，歷次採用之雨量站及雨量資料分析年限詳如圖 3-2。
- (四)流域平均雨量計算方式：採取與各流域最新水文分析報告相同之流域平均雨量計算方式，除大甲溪採徐昇式之外，其餘各流域皆採等雨量線法。
- (五)重現期二(三)日暴雨量：依各流域治理計畫公告重現期暴雨量，淡水河(包括大漢溪、基隆河)採重現期 200 年三日暴雨量，其餘皆採重現期 100 年二日暴雨量。

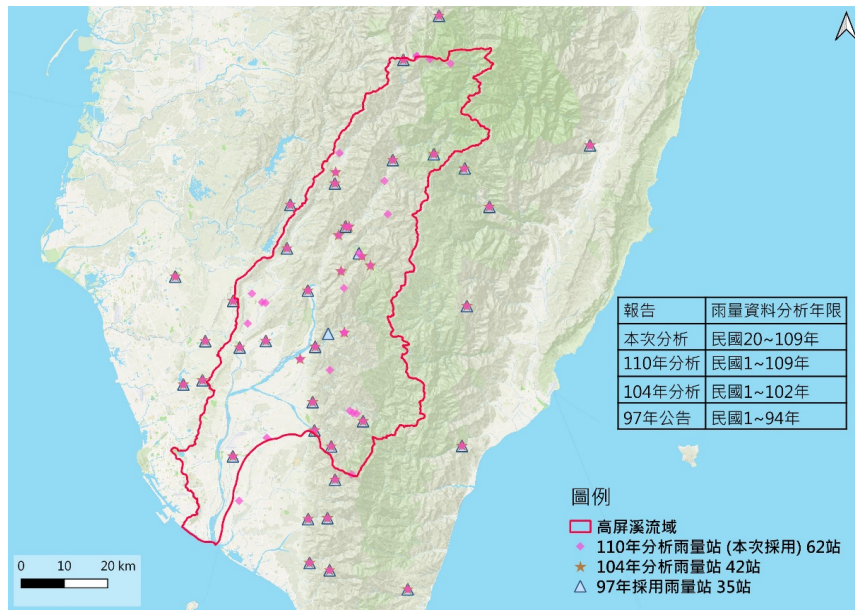


圖 3-2、高屏溪水文分析採用之雨量站分布

(六)歷史資料外延推估未來雨量分析方法：

1. 計算五大流域 1931~2020 年每年年最大二(三)日暴雨量。
2. 以每 30 年為區間，分析 1931~1960 年、1961~1990 年、1991~2020 年共三個區間之重現期暴雨量。(註：大氣科學領域討論大氣變化通常亦採用 30 年為分析年限。)
3. 計算前述三筆資料之線性趨勢。
4. 以線性趨勢線外延推估 2021~2050 年區間之重現期暴雨量。
5. 計算基期(1976~2005 年)重現期暴雨量。此為配合國際間以大氣模式系集討論雨量增幅之基期，即採用 1976~2005 年。
6. 未來氣候變遷雨量：若三筆重現期暴雨量(如第 1.計算之三筆資料)線性回歸 R^2 平方達 0.9 以上，則採用下列第(1)點方式討論未來氣候變遷雨量。若 R^2 平方小於 0.9，則採用第(2)點，詳如下說明：
 - (1) 若 R^2 平方達 0.9 以上，即代表 30 年雨量變化趨勢較具一致性，因此未來氣候變遷雨量採用歷史資料外推 2021~2050 年之重現期暴雨量。
 - (2) R^2 平方小於 0.9，代表雨量資料無一致之上升(或下降)變化趨勢，外延推估之雨量較不具代表性。爰以近 30 年(1991~2020 年)之重現期暴雨量作為調適目標。若該值小於治理計畫公告雨量，則暫不考量氣候變遷因素，仍以公告雨量作為治理目標。惟須持續監測每年水文量變化，以隨時掌握變化趨勢。

四、未來降雨情境分析成果

依前節說明之分析方法推估五大流域未來降雨量，包括淡水河(淡水河全流域、大漢溪和基隆河)、大甲溪、濁水溪、曾文溪以及高屏溪，以下茲就各流域推估成果說明：

(一) 淡水河：每年最大三日暴雨和頻率分析結果如表 4-1 和圖 4-1 所示。1931~1960 年重現期 200 年三日暴雨為 658mm、1961~1990 年為 995mm、1991~2020 年為 1248mm，線性回歸 R 平方值 0.9935，外延推估值 1557mm，雨量增幅 36%。呼應北部地區在 1990 年後溫度有顯著上升趨勢，近 30 年(1991~2020 年)高重現期暴雨量有顯著增加情況，且淡水河未來推估雨量亦大於納莉颱風 1.4 倍情境之雨量 1332mm。

表 4-1、淡水河重現期暴雨量變化趨勢分析

每 30 年重現期暴雨量分析 (mm)			未來雨量(mm)	雨量增幅
1931-1960	1961-1990	1991-2020	2021-2050	
658	995	1248	1557	36%
註：線性趨勢 9.8339mm/yr；基期雨量 1149mm； $R^2=0.9935$				

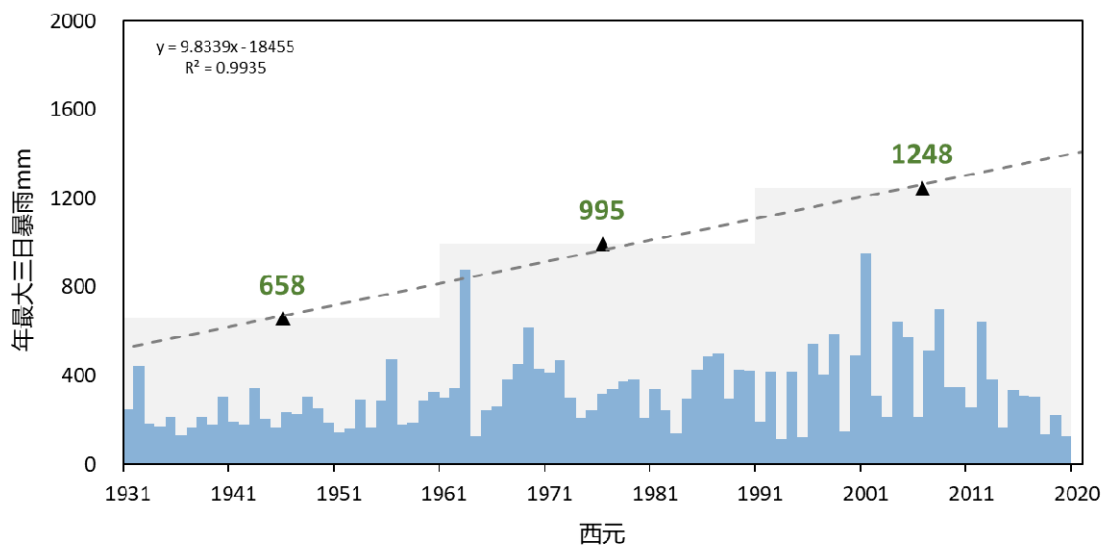


圖 4-1、淡水河年最大三日暴雨量及重現期暴雨量變化趨勢

(二) 基隆河：每年最大三日暴雨和頻率分析結果如表 4-2 和圖 4-2 所示。1931~1960 年重現期 200 年三日暴雨為 451mm、1961~1990 年為 1246mm、1991~2020 年為 1093mm，線性回歸 R 平方值 0.5795，小於 0.9，因此不採用線性外延推估成果。觀察雨量變化發現 1961~2020 年，重現期暴雨量反而有略減趨勢。近 30 年(1991~2020 年)重現期暴雨量為 1093mm，相對於治理計畫公告值 771mm 已有顯著增加，亦大於納莉颱風三日暴雨量 951mm，故本報告以近 30 年重現期暴雨量作為基隆河流域目前須因應調適之水文量，未來雨量推估則有待持續監

測水文量變化，觀察水文量是否有顯著變化再作進一步分析。

表 4-2、基隆河重現期暴雨量變化趨勢分析

每 30 年重現期暴雨量分析 (mm)			
1931-1960	1961-1990	1991-2020	
451	1246	1093	
註：線性趨勢 10.71mm/yr；基期雨量 1287mm； $R^2=0.5795$			

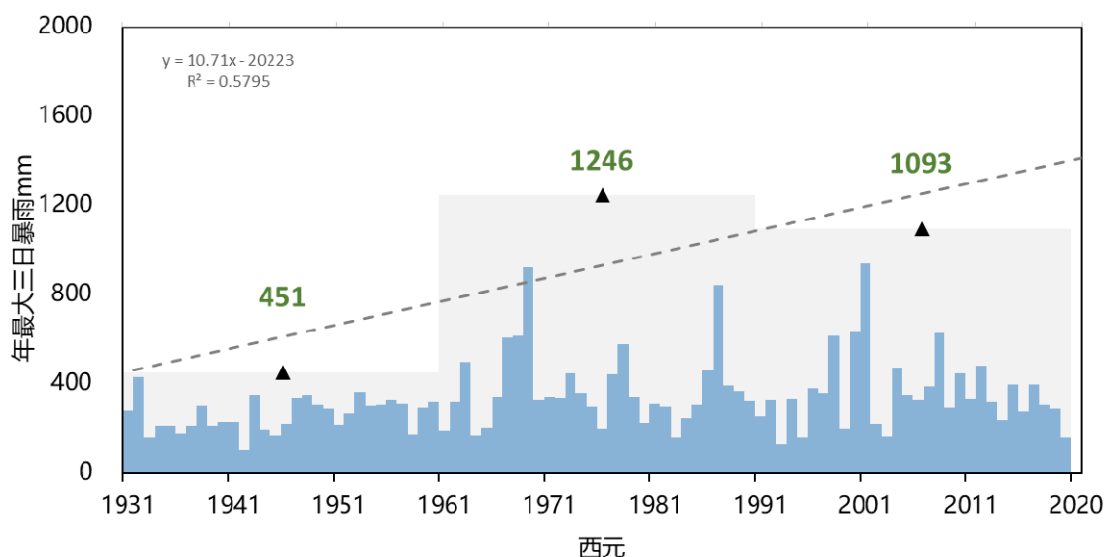


圖 4-2、基隆河年最大三日暴雨量及重現期暴雨量變化趨勢

(三) 大漢溪：每年最大三日暴雨和頻率分析結果如表 4-3 和圖 4-3 所示。1931~1960 年重現期 200 年三日暴雨為 753mm、1961~1990 年為 1139mm、1991~2020 年為 1362mm，線性回歸 R 平方值為 0.9766，外延推估值為 1692mm，雨量增幅為 40%。觀察歷年年最大三日暴雨可見，1961~1990 年間，以 1963 年葛樂禮颱風為最極端事件(1142mm)，1991 年之後則有 7 年年最大三日暴雨量超過 500mm。

表 4-3、大漢溪重現期暴雨量變化趨勢分析

每 30 年重現期暴雨量分析 (mm)			未來雨量(mm)	雨量增幅
1931-1960	1961-1990	1991-2020	2021-2050	
753	1139	1362	1692	40%
註：線性趨勢 10.142mm/yr；基期雨量 1212mm； $R^2=0.9766$				

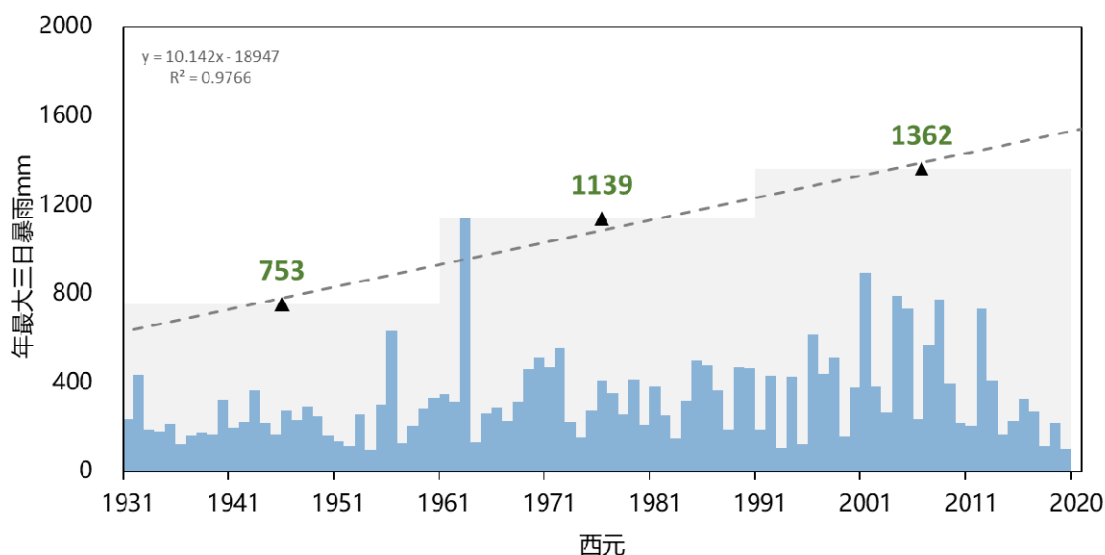


圖 4-3、大漢溪年最大三日暴雨量及重現期暴雨量變化趨勢

(四) 大甲溪：每年最大二日暴雨和頻率分析結果如表 4-4 和圖 4-4 所示。1931~1960 年重現期 100 年二日暴雨為 516mm、1961~1990 年為 646mm、1991~2020 年為 819mm，線性回歸 R 平方值為 0.9931，外延推估值為 963mm，雨量增幅為 32%。觀察歷年年最大二日暴雨，可見 1971~2001 之間雨量變化不大，至 2001 年後雨量才有明顯增加情況。

表 4-4、大甲溪重現期暴雨量變化趨勢分析

每 30 年重現期暴雨量分析 (mm)			未來雨量(mm)	雨量增幅
1931-1960	1961-1990	1991-2020	2021-2050	
516	646	819	963	32%
註：線性趨勢 5.0469mm/yr；基期雨量 732mm； $R^2=0.9931$				

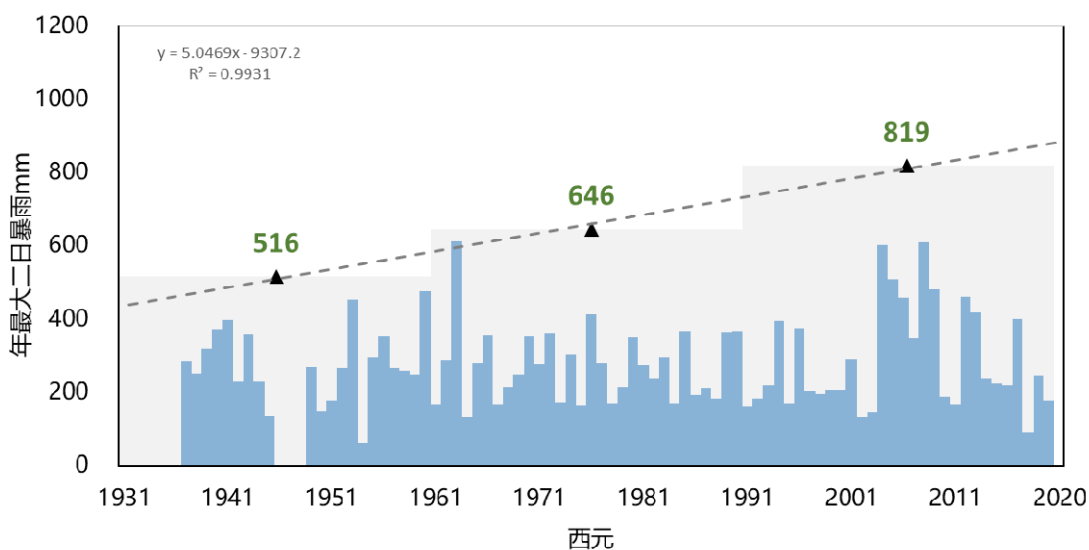


圖 4-4、大甲溪年最大二日暴雨量及重現期暴雨量變化趨勢

(五) 濁水溪：每年最大二日暴雨和頻率分析結果如表 4-5 與圖 4-5 所示。1931~1960 年重現期 100 年二日暴雨為 974mm、1961~1990 年為 715mm、1991~2020 年為 1090mm，線性回歸 R 平方值僅 0.091，因此不採用線性趨勢外延推估雨量。且近 30 年(1991~2020 年)重現期暴雨量 1090mm 大於民國 109 年規劃檢討雨量 806mm，相對於基期雨量(867mm)增幅為 26%，因此以近 30 年重現期暴雨量作為氣候變遷調適雨量，惟仍需持續監測每年雨量變化。

表 4-5、濁水溪重現期暴雨量變化趨勢分析

每 30 年重現期暴雨量分析 (mm)			
1931-1960	1961-1990	1991-2020	
974	715	1090	
註：線性趨勢 1.9312mm/yr；基期雨量 867mm ； $R^2=0.091$			

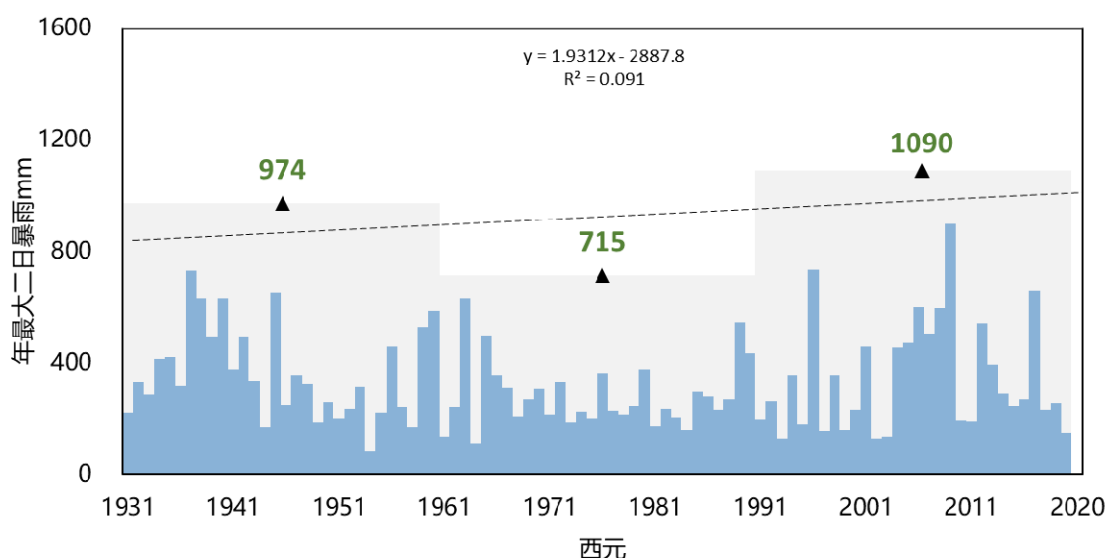


圖 4-5、濁水溪年最大二日暴雨量及重現期暴雨量變化趨勢

(六) 曾文溪：每年最大二日暴雨和頻率分析結果如表 4-6 與圖 4-6 所示。1931~1960 年重現期 100 年二日暴雨為 661mm、1961~1990 年為 620mm、1991~2020 年為 1135mm，線性回歸 R 平方值僅 0.6864，因此不採用線性趨勢外延推估雨量。近 30 年(1991~2020 年)重現期暴雨量 1135mm 大於民國 102 年規劃檢討雨量 991mm，且相對於基期雨量(918mm)增幅 24%，因此以近 30 年重現期暴雨量作為氣候變遷調適雨量，惟仍需持續監測每年雨量變化。

表 4-6、曾文溪重現期暴雨量變化趨勢分析

每 30 年重現期暴雨量分析 (mm)			
1931-1960	1961-1990	1991-2020	
661	620	1135	
註：線性趨勢 7.8939mm/yr；基期雨量 918mm ； $R^2=0.6864$			

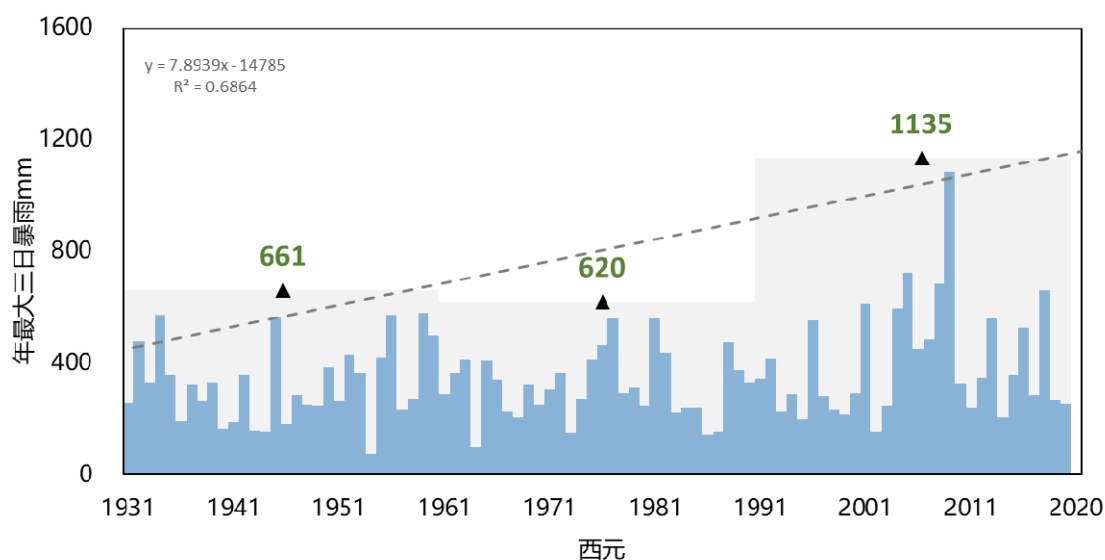


圖 4-6、曾文溪年最大二日暴雨量及重現期暴雨量變化趨勢

(七) 高屏溪：每年最大二日暴雨和頻率分析結果如表 4-7 與圖 4-7 所示。1931~1960 年重現期 100 年二日暴雨為 771mm、1961~1990 年為 915mm、1991~2020 年為 1452mm，線性回歸 R 平方值為 0.9，外延推估值為 1726mm，雨量增幅為 41%。從圖中最大二日暴雨資料可知，在 2001 至 2010 年間有多次極端降雨事件，包括 2004 年敏督利颱風、2009 年莫拉克颱風、2010 年凡那比颱風。因此也反應在近 30 年重現期暴雨量達 1452mm，高於 104 年水文分析量 1064mm 約 400mm。

表 4-7、高屏溪重現期暴雨量變化趨勢分析

每 30 年重現期暴雨量分析 (mm)			未來雨量(mm)	雨量增幅
1931-1960	1961-1990	1991-2020	2021-2050	
771	915	1452	1726	41%
註：線性趨勢 11.345mm/yr；基期雨量 1221mm ；R ² =0.9001				

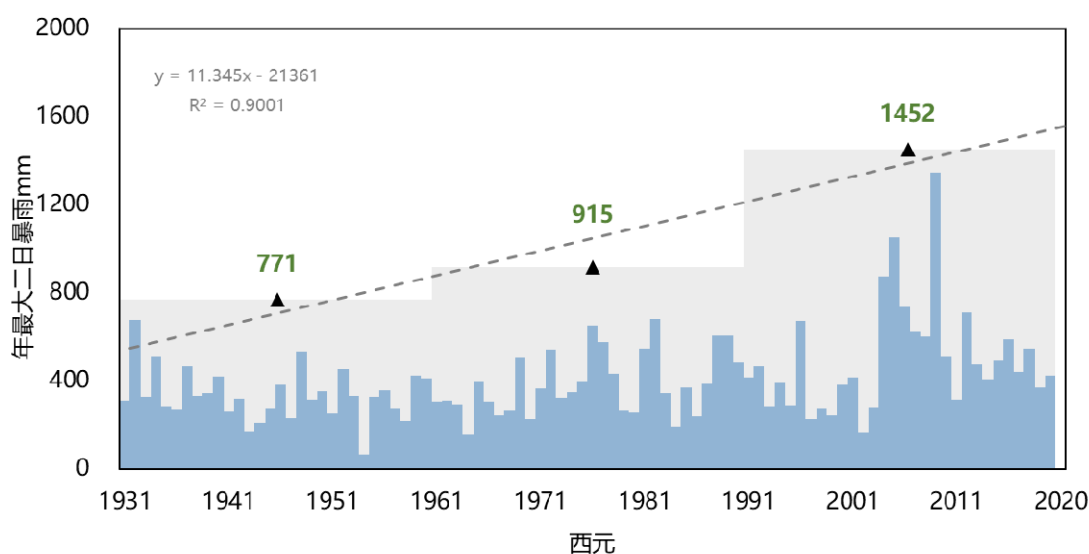


圖 4-7、高屏溪年最大二日暴雨量及重現期暴雨量變化趨勢

將本文推估之雨量改變率與大氣模式系集成果比對，可發現本次分析成果均落在大氣系集分析成果的第一至第三四分位數之中，尚屬合理推估範圍。

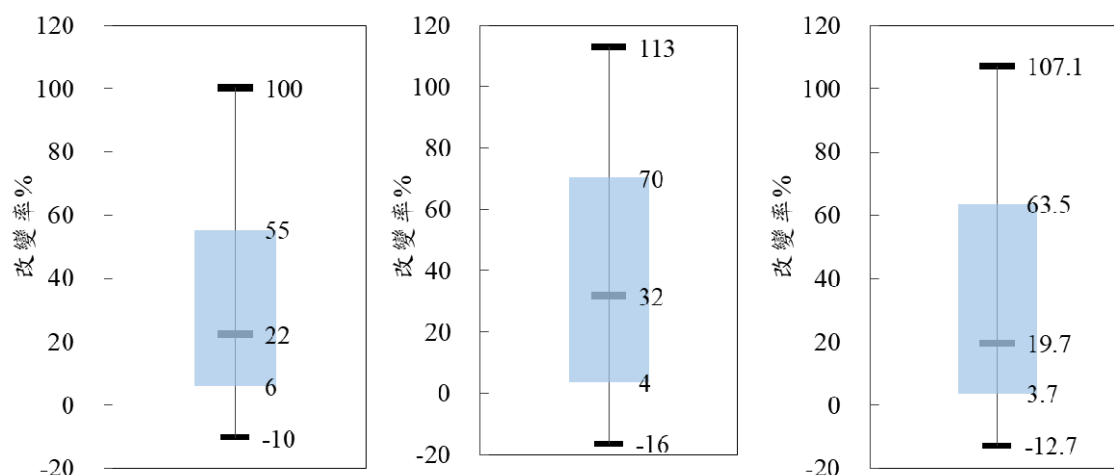


圖 4-8 AR5 RCP4.5 流域未來重現期降雨改變率
(左至右分別為淡水河、大甲溪、高屏溪)

五、結論與建議

本文以歷史降雨資料進行每 30 年(1931~2020 年，3 區間共 90 年)重現期暴雨量分析，五大流域高重現期降雨之變化趨勢，除濁水溪和曾文溪上升趨勢較不顯著外，淡水河、大甲溪、高屏溪皆呈現明顯上升趨勢，且近 30 年 1991~2020 年相對於過去(1931~1990 年)高重現期暴雨量有顯著增加情況。將本文成果和大氣模式系集比對之下，未來雨量改變率皆落在大氣模式系集分析成果之第一至第三位數之間，顯示本報告推估之雨量增幅尚在合理可接受範圍內。因此，以歷史資料分析來看，若每 30 年重現期暴雨量分析趨勢有較顯著一致性(本文以線性回歸 R 平方大於 0.9 作判定依據)，則以歷史資料外延推估未來雨量作為氣候變遷調適目標量。若 R 平方小於 0.9，則視為較無顯著之一致性，建議以近 30 年(1991~2020 年)重現期暴雨量作調適目標，若該值小於目前治理計畫公告雨量，則暫不考量氣候變遷因素，仍以公告治理計畫設計雨量作為目標。惟仍須持續監測每年水文量變化，隨時掌握變化趨勢、滾動檢討。

六、參考文獻

- 1、IPCC(2022), *Climate Change 2022 Impacts, Adaption and Vulnerability-Summary for Policymakers*.
- 2、經濟部水利署水利規劃試驗所(2021)，「中央管流域規劃參數檢討」。
- 3、TCCIP 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台。
- 4、經濟部水利署水文資訊整合服務系統。