

氣候變遷下山區河川洪峰流量變遷趨勢之研究-以濁水溪

支流塔羅灣溪為例

陳育成⁽¹⁾ 陳永超⁽²⁾ 陳文福⁽³⁾

摘要

本研究探討面對全球氣候變遷環境下山區河川洪峰流量變遷之趨勢，擇定濁水溪支流塔羅灣溪做為案例，並以經濟部水利署「台灣地區主要河川流域水文與水理設計分析系統」軟體分析，暴雨頻率分析係採雲海、廬山及奧萬大(台電)等 3 站為代表站，以徐昇氏多邊形法推求上游集水區平均最大之一日、二日暴雨量及最大連續 24 小時、48 小時暴雨量。利用 K-S 檢定(Kolmogorov-Smirnov test) 與 χ^2 檢定(Chi-square test)進行機率分佈之適合度檢定，並以標準誤差(SE)及平方差和(SSE)最小值者為最佳分佈，得塔羅灣溪匯流口控制點最大 24 小時暴雨及最大 48 小時暴雨皆以皮爾遜 III 型為最佳之機率分佈。設計雨型採同位序法，並利用三角形單位歷線法、無因次單位歷線法及運動波-地貌瞬時單位歷線法等三種方法推求各重現期距之洪峰流量。成果顯示，連續最大 24 小時暴雨 100 年重現期距之洪峰流量增加值為 19 至 50% 之情形；連續最大 48 小時暴雨 100 年重現期距之洪峰流量增加值為 36 至 50% 之情形，現行公告之洪峰流量值皆較本研究值小，相關非工程措施包含洪水預警系統、緊急避難路線、教育宣導、預防措施及民眾參與等，或可為本溪未來重要之課題。

(**關鍵詞**：氣候變遷、洪峰流量、塔羅灣溪、頻率分析、機率分佈、單位歷線)

A study and review of peak discharge transition in mountain river area – a case study of the Talowan river tributary of the Jhuoshuei river

Yu-Cheng Chen ⁽¹⁾ *Yung-Chau Chen* ⁽²⁾ *Wen-Fu Chen* ⁽³⁾

Graduate student ⁽¹⁾, Ph. D. Student ⁽²⁾, Professor ⁽³⁾ Department of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

(1)國立中興大學水土保持學系碩士在職專班研究生(通訊作者 e-mail: a650250@wra.gov.tw)

(2)國立中興大學水土保持學系博士班博士生

(3)國立中興大學水土保持學系教授

ABSTRACT

The goal of this research is to explore on peak discharge transition in mountain river area under global climate change environment. The peak flow discharges of the Talowan river, a tributary of the Jhuoshuei river, are chosen as an example to show that the effect on peak flow discharges under global climate change environment. A software, Hydrological and Hydraulic Analysis System for Integrated Basin Management of Major Rivers in Taiwan, is used to do analysis of peak flow discharges in this study. That software is developed and used by Water Resources Planning Institute, WRA. The rainfall data is measured from 3 rainfall gauge stations, Yunhai, Lushan, and Auwanda, respectively. The Thiessen's method is adopted to estimate mean maximum 1-day and 2-day rainfalls on the river basin. Pearson Type III, log-Pearson Type III, 2-parameter log-normal, 3-parameter log-normal, and Gumbel's extreme Type I distributions are used for rainfall frequency analysis. By means of K-S (Kolmogorov-Smirnov) test and Chi-squared test and using minimum of standard error and minimum sum of squared error as criteria, the results of rainfall frequency analysis show that Pearson Type III distribution is the best goodness of fit for maximum 24-hour and 48-hour rainfall data of the Tarowan river basin. With given design rainfall hyetograph, triangular unit hydrograph, dimensionless unit hydrograph, and kinematic wave based geomorphic instantaneous unit hydrograph method, respectively, are used to estimate peak flow discharges for specified return periods. The results show that 100-year peak flow discharges are about 19 to 50%, and 36 to 50% greater than that of government announcement for maximum 24-hour and maximum 48-hour rainfall, respectively. Therefore, some non-engineering actions should be considered, such as establishing flood warning systems, emergency evacuation plans, education, etc.

(Keywords: Climate change, Peak discharge, the Talowan river, Frequency analysis, Probability distribution, Unit hydrograph)

前言

鑒於全球氣候變遷，近 30 年台灣發生大豪雨日數有明顯增多的趨勢，再者近年台灣颱風造成之重大洪水災害與極端降雨的增加相關(許晃雄等，2011)，故探討近年因極端降雨事件造成之影響有其重要性，且有助於防洪減災實務上之檢討與因應，以降低因極端降雨造成洪水所引起之災損。台灣未來因極端降雨造成更大及更多的摧毀性水災、土石流等災害將無可避免。目前實務上於從事河川治理規劃時，皆須先辦理水文分析並

從而得到一計畫洪峰流量，以做為河川治理及管理之依據。本研究針對山區河川近年全球氣候變遷下洪峰流量實務上檢討之研究分析，其與目前政府機關實務上所應用之洪峰流量值之比較究竟如何？其趨勢應可作為目前政府單位面對氣候變遷應因應之參考。

文獻回顧

許晃雄等(2011)指出臺灣北、中、南、東四個主要分區的未來冬季主要平均雨量多半都是減少的，約有一半的模式推估降水減

少幅度介於 3 至 22% 之間；且未來夏季平均雨量變化，除了北臺灣以外，超過 3/4 的模式推估證明降水量均有增加，約有一半的模式認為未來夏季平均雨量變化增加 2 至 26% 之間。這種原本多雨期間的雨量增加，而少雨季節雨量減少的未來發展情境，對於臺灣地區未來的水資源調配是一大挑戰。故依據本報告得知，本研究區域未來平均雨量將增加 2 至 26% 之間。另由聯合國成立之政府間氣候變化專門委員會（Intergovernmental Panel on Climate Change，以下簡稱 IPCC）之報告中亦指出，全球降水的強度和頻率也有逐漸增加的趨勢，而且趨於兩極化，即雨季越濕，乾季越乾。根據模式推估，極端日降雨量在本世紀末，除了在副熱帶的少雨區外，幾乎所有的地區都是增加的，中高緯度的增加平均為 10 至 20%，赤道鄰近則可以超過 30% 以上。

邱建源、謝平城(2010)提出年平均氣壓每上升 30 百帕，則洪峰流量設計至少需調增五年的重現期距，不過年設計流量均無法採用當年之年平均氣壓，因此於設計流量時，需考量此設計構造物將要沿用幾年，並預測未來之年平均氣壓上升之趨勢，加以修正之。故依據該文得知，氣候變遷下洪峰流量至少需調增 5 年的重現期距之洪峰流量值。

簡嘉霖等(2010)將濁水河流域依地形分為山區及平地兩個範圍，利用頻率分析、趨勢檢定、馬可夫鏈理論等，預測未來降雨趨勢，分析結果顯示山區與平地降雨量上有明顯之差異，山區的總降雨量約為平地的 1.6 倍。故知本研究以山區河川(塔羅灣溪)為例所得之洪峰流量值，將比平地範圍所得之洪峰流量值明顯增加。

余文利等(2005) 提出翡翠水庫建壩後逕流比值呈現下降趨勢，造成此現象之主要原因為 2002、2003 年持續性的乾旱所影響，而造成 2002、2003 年乾旱之主要成因是由於枯水期降水強度明顯偏低，偏低的降雨量導致大部分的降水入滲至土壤或蒸發至大氣中，使得地表逕流不易產生，導致水庫入流量明顯減小。本研究結果與 IPCC 報告中「乾季越乾」之氣候變遷現象不謀而合。

經濟部水利署「水利建設因應全球氣候變遷白皮書」(2009)中指出劉紹臣(2009)「全球暖化與極端降雨密切相關」(Temperature dependence of global precipitation extremes) 論文中提及，全球溫度每增加 1°C，台灣前 10% 強降雨就會增加約 140%，而至 2030 年，全球溫度約增加 0.7°C，故 2030 年台灣前 10% 強降雨在未來 25 年左右會再增加 100%。由於台灣前 10% 強降雨大都來自颱風，更大、更多的摧毀性水災、土石流，未來將無可避免。於此同時，台灣中、小雨減少的影響亦不容忽視。台灣中、南部春冬兩季常因缺少中、小雨而產生旱災，未來此類旱災會更趨嚴重與頻繁。游保杉(2009)「氣候變遷與台灣極端降雨變異趨勢」之論文中指出，近 10 年來之 1 日暴雨(1999~2008)相較於過去 40 年來(1960~1988)的變異比值發現，台灣地區近 10 年的 1 日暴雨於北、中、南、東地區分別增加 14%、20%、28%、2%，其增加趨勢雖較中研院者小，但仍反應未來台灣地區暴雨事件勢將持續增加。由國內分析資料可知，其中中研院分析之成果較為極端，2030 年我國暴雨規模將增加 1 倍，而以成功大學預測結果外插，2030 年之暴雨規模約增加

20%。另參考日本國土交通預測該國 1 日暴雨會增加 10~30%作為參考，目前經濟部水利署建議台灣地區氣候變遷參考基準，以短程(至 2030 年)暴雨增加 20%，中程(至 2050 年)暴雨增加 25%，長程(至 2090 年)暴雨增加 30%為建議值，未來將俟後續研究成果進行調整之。由本報告得知，氣候變遷下，未來政府單位建議增加之暴雨量為 20~30%。

張智傑(2010) 研究「集水區水文特性變異分析-以雙溪流域為例」，該研究以北部地區之山區河川雙溪流域為研究範圍，並進行降雨特性趨勢分析發現，年最大一日雨量及年最大二日雨量呈現上升趨勢。另流量特性趨勢分析結果顯示，雙溪流域歷年年最大日平均流量有逐年上升之趨勢。由此可知，山區河川之年最大一日雨量、年最大二日雨量及年最大日平均流量均呈現上升趨勢。

姚嘉耀、王慶豐、陳進興、邱奕霖(2011)，在「氣候變遷濁水溪流域降雨趨勢初步探討」中指出濁水溪降雨有朝向雙極端(非豐即枯)發生頻率增加之跡象，發現局部性降雨特性改變較大，以濁水溪流域上游靠近與中央山脈地區一帶於降雨量、降雨日數及日降雨強度等均呈現全面顯著增加之趨勢，另流域中、下游及支流清水溪與陳有蘭溪則朝向降雨量增加、降雨日數減少等顯著集中降雨之趨勢。由該研究得知，本研究區域為濁水溪上游區域，降雨量、降雨日數及日降雨強度等呈現全面顯著增加之趨勢。

研究材料與方法

一、研究區域概況

本研究之山區河川選定以 96 年河川界

點往上游調整之「中央管河川濁水溪支流塔羅灣溪」為例，並以經濟部水利署「台灣地區主要河川流域水文與水理設計分析系統」軟體分析洪峰流量，採與原公告一致之推估方法，並比較與現行實務上公告之河川治理規劃洪峰流量值，冀能藉由本研究來瞭解氣候變遷下洪峰流量之變化，並提出相關建議。



圖 1 研究區域位置圖

Fig. 1 Location of the study area

濁水溪支流塔羅灣溪集水區位於中央山脈西坡，行政區域隸屬南投縣仁愛鄉轄區，集水區範圍北自奇萊主山南峰、西轉尾上山南坡，南至馬海僕富士山，構成流域左岸界線。另從能高山北峰至能高山主峰稜線，則為本流域右岸之界線，流域面積約 75 平方公里，主流長度約 19 公里，河川坡度約 1/9.9。本流域東邊有花蓮河流域，北及西邊

為濁水溪上游河段，南邊有萬大溪相鄰，位置詳如前頁之圖 1。

二、研究方法

為與原經濟部水利署公告之洪峰流量進行比較，爰本研究集水區之地文因子、雨量站、頻率分析方法、雨型之建立及洪峰流量之推估方法等，皆參考以原公告之方法進行推算，並再加入近年氣候變遷影響下之降雨量資料，以經濟部水利署「台灣地區主要河川流域水文與水理設計分析系統」軟體分析洪峰流量，最後分析成果再與原公告之洪峰流量值進行比較。

至於為何採用「台灣地區主要河川流域水文與水理設計分析系統」之主要理由，乃因本研究需以原公告水文分析方法進行演算，以利後續洪峰流量之比較，惟目前實務上「運動波-地貌瞬時單位歷線法」之推求皆以「台灣地區主要河川流域水文與水理設計分析系統」進行演算，故採上該系統進行推估洪峰流量值，俾利比較相同推估方法下洪峰流量之結果。研究流程如圖 2 所示。

三、卡方檢定：

卡方檢定公式如下所示。

$$\chi^2 = \sum_i^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

式中，k：資料分組數(k=1+3.3*logN

N 為資料筆數)；

O_i:實際觀測數量；

E_i:期望發生數量。

若結果皆在 5 % 顯著水準下(信賴區間 95 %)，則屬通過卡方檢定。本研究年最大一、二日暴雨頻率分析採卡方檢定成果。

四、平方差和(SSE)、平方差(SE)及 U 指標：

卡方檢定係為排除不合適之機率分佈，並無法擇定最佳機率分佈，故再以平方差和、平方差及 U 指標加以檢核最適機率分佈如下所示。

$$\text{平方差和(SSE)} = \sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^2$$

$$\text{平方差(SE)} = \sqrt{\frac{SSE}{(n - m)}}$$



圖 2 研究流程圖

Fig. 2 Flow chart of this study

$$U \text{ 指標: } U = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^2/n \right]^{1/2}}{\left(\sum_{i=1}^n X_i^2/n \right)^{1/2} + \left(\sum_{i=1}^n \hat{X}_i^2/n \right)^{1/2}}$$

式中，n：資料年數；

m：機率分佈之參數個數；

X_i ：實測資料由大至小排列之第 i 大值，即 $X_1 \geq X_2 \geq \dots \geq X_i \dots \geq X_n$ ；
理論累積機率對應推估值。

本研究最佳機率分佈擇取之基準乃利用韋伯(weibull)法及海生(Hazen)法，並計算求得平方差和(SSE)及標準差(SE)，各機率分佈之點繪法排名加總後，數值最小者為最佳機率分佈。

結果與討論

一、地文因子及雨量站之擇定：

本研究之控制點採與原公告一致之塔羅灣溪與濁水溪匯流口為控制點，雨量站亦與原公告採用雲海、廬山及奧萬大(台電)雨量站共 3 站相同，並配合徐昇氏權重分析法進行本集水區水文分析，三站雨量站之徐昇多邊形控制面積如圖 3 所示，徐昇多邊形雨量站面積權重表示(如表 1)，並以系統軟體推求塔羅灣溪最大一日及最大二日降雨量表示(如表 2)。

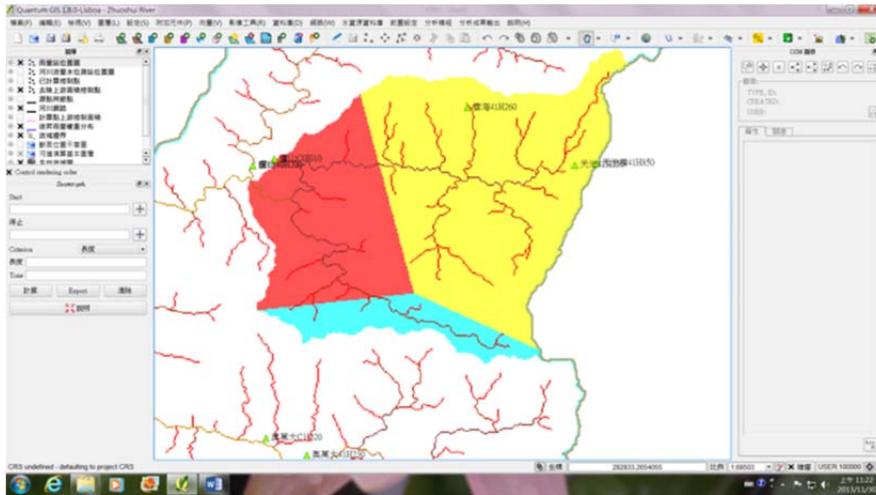


圖 3 徐昇氏多邊形控制面積圖

Fig.3 Control area of Thiessen's polygon method

表 1 徐昇多邊形雨量站面積權重表

Table 1 Area weights of Thiessen's polygons

站名	站號	權重%
奧萬大	41H230	10.40
雲海	41H260	59.97
廬山	C0I010	29.63

表 2 塔羅灣溪最大一日及最大二日降雨量一覽表

Table 2 Maximum 1-day and 2-day rainfalls of the Talowan river

年份	一日		二日	
	降雨量(mm)	發生時間	降雨量(mm)	發生時間
1951	174.1	1951/5/17	290.1	1951/5/16-1951/5/17
1952	187.7	1952/7/18	263.9	1952/7/28-1952/7/29
1953	232.1	1953/8/16	264.7	1953/8/15-1953/8/16
1954	163.8	1954/8/28	190.5	1954/8/27-1954/8/28
1955	106.6	1955/9/3	171.8	1955/7/21-1955/7/22
1956	180.8	1956/9/19	354.6	1956/9/18-1956/9/19
1957	220.1	1957/6/5	351.8	1957/6/5-1957/6/6
1958	416.9	1958/7/15	558.4	1958/7/15-1958/7/16
1959	175.6	1959/9/3	257.4	1959/9/3-1959/9/4
1960	623.5	1960/6/10	663.7	1960/6/10-1960/6/11
1961	323.3	1961/9/28	383.1	1961/9/27-1961/9/28
1962	350.3	1962/8/30	527.6	1962/8/30-1962/8/31
1963	323.7	1963/7/16	355.7	1963/7/15-1963/7/16
1964	122.9	1964/1/23	212.4	1964/8/7-1964/8/8
1965	195.5	1965/8/18	340.1	1965/7/25-1965/7/26
1966	360.1	1966/6/8	508.4	1966/6/7-1966/6/8
1967	243.5	1967/5/22	357.9	1967/11/17-1967/11/18
1968	401.7	1968/9/29	510.4	1968/9/28-1968/9/29
1969	307.2	1969/9/27	461.1	1969/9/13-1969/9/14
1970	450	1970/9/6	541.7	1970/9/6-1970/9/7
1971	344.1	1971/7/25	396.5	1971/7/25-1971/7/26
1972	354	1972/8/17	483	1972/8/17-1972/8/18
1973	275.9	1973/8/20	476.8	1973/8/19-1973/8/20
1974	194.4	1974/8/22	347.4	1974/8/22-1974/8/23
1975	347.1	1975/9/22	476.8	1975/9/22-1975/9/23
1976	329.9	1976/8/9	498.1	1976/7/3-1976/7/4
1977	271.8	1977/7/31	354.6	1977/6/5-1977/6/6
1978	157.7	1978/5/22	302.4	1978/7/31-1978/8/1
1979	316.5	1979/8/1	425.3	1979/8/1-1979/8/2
1980	86.4	1980/1/29	155.4	1980/9/17-1980/9/18
1981	453.7	1981/9/20	580.5	1981/9/20-1981/9/21
1982	449.4	1982/7/28	613.1	1982/7/28-1982/7/29
1983	75.2	1983/8/19	99.4	1983/8/18-1983/8/19
1984	178.7	1984/5/18	234.3	1984/5/27-1984/5/28

年份	一日		二日	
	降雨量(mm)	發生時間	降雨量(mm)	發生時間
1985	372.7	1985/9/16	413.1	1985/9/16-1985/9/17
1986	232.8	1986/9/19	303.3	1986/6/5-1986/6/6
1987	462.9	1987/10/24	592	1987/10/24-1987/10/25
1988	175.8	1988/5/23	283.3	1988/5/22-1988/5/23
1989	249.4	1989/9/11	480.1	1989/9/11-1989/9/12
1990	403.8	1990/6/23	542	1990/6/22-1990/6/23
1991	307.8	1991/7/18	360.4	1991/7/18-1991/7/19
1992	223.9	1992/9/22	284.6	1992/9/22-1992/9/23
1993	160.7	1993/6/2	211.7	1993/6/2-1993/6/3
1994	342.6	1994/8/8	561.6	1994/8/7-1994/8/8
1995	123.5	1995/5/23	200.4	1995/5/22-1995/5/23
1996	247.2	1996/7/26	406.5	1996/7/31-1996/8/1
1997	170.6	1997/5/19	255.8	1997/3/21-1997/3/22
1998	275.3	1998/10/15	407.5	1998/10/15-1998/10/16
1999	176.6	1999/6/6	207.3	1999/5/27-1999/5/28
2000	279.1	2000/10/31	390.5	2000/10/31-2000/11/1
2001	379.8	2001/7/30	416.7	2001/7/29-2001/7/30
2002	129.9	2002/7/10	145.4	2002/7/9-2002/7/10
2003	166.2	2003/9/2	239.9	2003/9/1-2003/9/2
2004	433.1	2004/7/3	691	2004/7/3-2004/7/4
2005	411	2005/8/5	570.9	2005/7/18-2005/7/19
2006	442	2006/6/9	699.7	2006/6/8-2006/6/9
2007	316	2007/10/6	412.2	2007/10/6-2007/10/7
2008	455.3	2008/9/14	878.2	2008/9/14-2008/9/15
2009	388.8	2009/8/9	661.8	2009/8/8-2009/8/9
2010	261	2010/9/19	309.7	2010/9/19-2010/9/20
2011	131	2011/11/10	200.2	2011/8/28-2011/8/29
2012	378.3	2012/6/12	722.8	2012/6/11-2012/6/12

二、 頻率分析：

本研究之暴雨頻率分析乃利用 1951 至 2012 年所觀測之暴雨資料，推估不同重現期暴雨量之大小，且以水利規劃試驗所「台灣地區主要河川流域水文與水理設計分析系統」分析模組進行推算，該模組包含：對數

常態分佈(二參數對數常態、三參數對數常態)、皮爾遜三型分佈、對數皮爾遜第三型分佈及極端值一型分佈等五種機率分佈，並根據其 K-S 檢定(Kolmogorov-Smirnov test)與 χ^2 檢定(Chi-square test)結果評估各機率分佈法之適用性。並藉由韋伯法(Weibull

method)及海生法(Hazen method)作為機率分佈公式選定之點繪方法，採用標準誤差(standard error)及 U 指數兩種誤差指標進行評估。其中最大一日暴雨機率分佈之卡方檢定表詳如表 3；最大二日暴雨機率分佈之卡方檢定詳如表 4；最大一日暴雨頻率分析成

果詳如表 5；最大二日暴雨頻率分析成果詳如表 6。

頻率分析成果一、二日暴雨最佳分佈皆為皮爾遜三型，故本研究以皮爾遜三型分佈之一、二日暴雨分析結果作為後續洪水量分析之依據。

表 3 最大一日暴雨機率分佈之卡方檢定表
Table 3 The chi-square test for maximum 1-day rainfalls

機率分佈	分組 i	分組區間 $XL_i \sim XU_i$	實際 次數 O_i	理論超越機 率 $P(X > XU_i)$	理論機率 P_i	期望次數 E_i	卡方值 (Chi-square)		通過 檢定
							分析值	理論值	
二參 數對 數常 態分 佈	1	<4.673	3	0.971	0.029	1.811	0.781	7.815	接受
	2	4.673 - 5.025	4	0.871	0.1	6.215	0.79		
	3	5.025 - 5.378	14	0.643	0.228	14.134	0.001		
	4	5.378 - 5.73	14	0.345	0.297	18.436	1.067		
	5	5.73 - 6.083	20	0.123	0.223	13.8	2.786		
	6	> 6.083	7	0	0.123	7.604	0.048		
	合計		62		1	62	5.473		
三參 數對 數常 態分 佈	1	<6.821	7	0.879	0.121	7.487	0.032	5.991	接受
	2	6.821 - 6.904	16	0.662	0.217	13.459	0.48		
	3	6.904 - 6.988	12	0.369	0.293	18.175	2.098		
	4	6.988 - 7.071	17	0.138	0.231	14.295	0.512		
	5	7.071 - 7.155	9	0.033	0.106	6.546	0.92		
	6	> 7.155	1	0	0.033	2.038	0.529		
	合計		62		1.001	62	4.571		
皮爾	1	<166.576	11	0.839	0.161	9.973	0.106	5.991	接受

機率分佈	分組 i	分組區間 $XL_i \sim XU_i$	實際次數 O_i	理論超越機率 $P(X > XU_i)$	理論機率 P_i	期望次數 E_i	卡方值 (Chi-square)		通過檢定
							分析值	理論值	
遜三型分佈	2	166.576 - 257.965	17	0.557	0.282	17.495	0.014		
	3	257.965 - 349.353	15	0.268	0.289	17.903	0.471		
	4	349.353 - 440.742	12	0.095	0.174	10.768	0.141		
	5	440.742 - 532.131	6	0.025	0.069	4.295	0.677		
	6	> 532.131	1	0.002	0.025	1.566	0.204		
	合計		62		1	62	1.613		
對數皮爾遜三型分佈	1	<4.673	3	0.992	0.008	0.499	12.542	5.991 不接受	
	2	4.673 - 5.025	4	0.884	0.108	6.717	1.099		
	3	5.025 - 5.378	14	0.607	0.276	17.126	0.571		
	4	5.378 - 5.73	14	0.313	0.295	18.276	1.001		
	5	5.73 - 6.083	20	0.126	0.187	11.586	6.111		
	6	> 6.083	7	0	0.126	7.796	0.081		
合計		62		1	62	21.405			
極端值一型分佈	1	<166.576	11	0.863	0.137	8.494	0.739	7.815 接受	
	2	166.576 - 257.965	17	0.519	0.344	21.345	0.885		
	3	257.965 - 349.353	15	0.236	0.283	17.535	0.367		
	4	349.353 - 440.742	12	0.094	0.142	8.783	1.179		
	5	440.742 - 532.131	6	0.036	0.058	3.626	1.554		
	6	> 532.131	1	0	0.036	2.217	0.668		
合計		62		1	62	5.392			

表 4 最大二日暴雨機率分佈之卡方檢定表
Table 4 The chi-square test for maximum 2-day rainfalls

機率分佈	分組 i	分組區間 $X_{Li} \sim X_{Ui}$	實際 次數 O_i	理論超越機率 $P(X > X_{Ui})$	理論機率 P_i	期望次數 E_i	卡方值 (Chi-square)		通過檢 定
							分析值	理論值	
二參 數對 數常 態分 佈	1	<4.911	1	0.986	0.014	0.844	0.029	9.488	接受
	2	4.911 - 5.222	3	0.935	0.051	3.178	0.01		
	3	5.222 - 5.533	8	0.794	0.141	8.722	0.06		
	4	5.533 - 5.844	11	0.551	0.243	15.079	1.103		
	5	5.844 - 6.155	17	0.286	0.265	16.43	0.02		
	6	6.155 - 6.467	16	0.104	0.182	11.282	1.973		
	7	> 6.467	6	0	0.104	6.465	0.033		
	合計		62		1	62	3.228		
三參 數對 數常 態分 佈	1	<6.679	4	0.927	0.073	4.543	0.065	7.815	接受
	2	6.679 - 6.784	12	0.788	0.139	8.628	1.317		
	3	6.784 - 6.889	14	0.557	0.23	14.276	0.005		
	4	6.889 - 6.994	10	0.305	0.252	15.635	2.031		
	5	6.994 - 7.1	15	0.122	0.183	11.335	1.185		
	6	7.1 - 7.205	6	0.035	0.088	5.439	0.058		
	7	> 7.205	1	0	0.035	2.144	0.61		
	合計		62		1	62	5.271		
皮爾 遜三 型分 佈	1	<210.67	8	0.886	0.114	7.047	0.129	7.815	接受
	2	210.67 - 321.923	14	0.657	0.23	14.238	0.004		
	3	321.923 - 433.177	17	0.387	0.269	16.706	0.005		
	4	433.177 - 544.431	11	0.185	0.202	12.549	0.191		

機率分佈	分組 i	分組區間 X _{Li} ~X _{Ui}	實際 次數 O _i	理論超越機率 P(X>X _{Ui})	理論機率 P _i	期望次數 E _i	卡方值 (Chi-square)		通過檢 定
							分析值	理論值	
	5	544.431 - 655.685	6	0.074	0.111	6.889	0.115		
	6	655.685 - 766.939	5	0.025	0.048	3	1.334		
	7	> 766.939	1	0	0.025	1.57	0.207		
	合計		62		0.999	61.999	1.985		
對數 皮爾 遜三 型分 佈	1	<4.911	1	0.998	0.002	0.094	8.731	7.815	不 接 受
	2	4.911 - 5.222	3	0.958	0.04	2.49	0.104		
	3	5.222 - 5.533	8	0.788	0.17	10.571	0.625		
	4	5.533 - 5.844	11	0.512	0.276	17.109	2.181		
	5	5.844 - 6.155	17	0.263	0.249	15.435	0.159		
	6	6.155 - 6.467	16	0.11	0.153	9.457	4.527		
	7	> 6.467	6	0	0.11	6.844	0.104		
	合計		62		1	62	16.431		
極端 值一 型分 佈	1	<210.67	8	0.914	0.086	5.36	1.301	9.488	接 受
	2	210.67 - 321.923	14	0.645	0.269	16.666	0.426		
	3	321.923 - 433.177	17	0.354	0.29	18.005	0.056		
	4	433.177 - 544.431	11	0.169	0.186	11.501	0.022		
	5	544.431 - 655.685	6	0.075	0.094	5.806	0.006		
	6	655.685 - 766.939	5	0.033	0.043	2.647	2.092		
	7	> 766.939	1	0	0.033	2.016	0.512		
	合計		62		1.001	62.001	4.415		

表 5 最大一日暴雨頻率分析成果表

Table 5 The rainfall frequency analysis of maximum 1-day rainfalls

單位：cms

機率分佈	重現期(年)							檢定結果		評估值			
	2	5	10	25	50	100	200	Chi-square	K-S	Weibull SE 值	Weibull U 值	Hazen SE 值	Hazen U 值
二參數對數常態分佈	260.5	364.5	434.5	523.9	591.3	659.2	728.2	接受	接受	26.8	0.8	28.9	0.8
三參數對數常態分佈	275.6	378.1	435.6	500.1	543.6	584.0	622.0	接受	接受	19.0	0.6	19.1	0.6
皮爾遜 III 型分佈	274.5	377.8	436.3	502.2	546.8	588.2	627.3	接受	接受	18.9	0.5	18.9	0.6
對數皮爾遜 III 型分佈	269.1	380.5	444.5	515.5	561.9	603.7	641.5	不接受	不接受	18.6	0.5	19.4	0.6
極端值 I 型分佈	263.6	376.4	451.2	545.6	615.6	685.2	754.5	接受	接受	24.3	0.7	26.9	0.8

表 6 最大二日暴雨頻率分析成果表

Table 6 The rainfall frequency analysis of maximum 2-day rainfalls

單位：cms

機率分佈	重現期(年)							檢定結果		評估值			
	2	5	10	25	50	100	200	Chi-square	K-S	Weibull SE 值	Weibull U 值	Hazen SE 值	Hazen U 值
二參數對數常態分佈	370.5	517.6	616.4	742.6	837.6	933.4	1030.6	接受	接受	25.1	0.6	27.2	0.7
三參數對數常態分佈	387.7	534.2	619.1	716.5	783.5	846.7	906.9	接受	接受	16.7	0.4	14.7	0.4
皮爾遜 III 型分佈	385.2	533.6	620.6	720.9	790.0	855.1	917.2	接受	接受	16.0	0.4	13.9	0.3
對數皮爾遜 III 型分佈	382.4	537.1	626.7	726.6	792.7	852.4	907.0	不接受	接受	14.8	0.4	12.7	0.3

極端值 I 型分 佈	374.7	534.3	639.9	773.4	872.5	970.8	1068.7	接受	接受	19.1	0.5	24.0	0.6
------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	----	----	------	-----	------	-----

三、 雨型分析：

本研究之雨型分析採與原公告相同之同位序雨型，以利進行比較分析，其中 24 小時同位序雨型採用原公告之 1995 年 8 月 30 日肯特、1997 年 8 月 28 日安珀、1998 年 10 月 24 日芭比絲、2000 年 10 月 31 日象神及 2001 年 7 月 4 日尤特等 5 場暴雨紀錄；另 48 小時同位序雨型採用原公告之 1994 年 8 月 7 日道格、1996 年 7 月 25 日葛樂禮、1999 年 6 月 5 日瑪姬、1998 年 10 月 14 日瑞伯及 2001 年 9 月 16 日納莉等 5 場暴雨紀

錄，並輸入「台灣地區主要河川流域水文與水理設計分析系統」分析模式系統，以供後續洪峰流量計算。

四、 洪峰流量推估：

本研究依據地文及降雨因子，採用與原公告相同推估方法，以「三角型單位歷線法」、「運動波-地貌瞬時單位歷線法」及「無因次單位歷線法」等三種方式分析不同重現期距降雨量下之洪峰流量，以供後續洪峰流量之比較，本研究洪峰流量分析成果詳如表 7 及表 8。圖 4~圖 9 則為柱狀之比較圖

表 7 塔羅灣溪連續最大 24 小時暴雨洪峰流量分析表

Table 7 Peak discharge of maximum 24-hour rainfall 單位：cms

分析方法	分析時間	重現期距(年)			
		25	50	100	200
三角型單位歷線	民國 40~96 年(經濟部公告)	1050	1160	1250	1330
	民國 40~101 年(本研究)	1589	1738	1877	2008
	三角型歷線成果與原公告比較	+51.33%	+49.83%	+50.16%	+50.98%
運動波-地貌瞬時單位歷線	民國 40~96 年(經濟部公告)	1210	1340	1450	1560
	民國 40~101 年(本研究)	1657	1844	2020	2186
	運動波歷線成果與原公告比較	+36.94%	+37.61%	+39.31%	+40.13%
無因次單位歷線	民國 40~96 年(經濟部公告)	890	980	1050	1130
	民國 40~101 年(本研究)	1056	1158	1252	1341
	無因次歷線成果與原公告比較	+18.65%	+18.16%	+19.24%	+18.67%

表 8 塔羅灣溪連續最大 48 小時暴雨洪峰流量分析表

Table 8 Peak discharge for maximum 48-hour rainfall 單位：cms

分析方法	分析時間	重現期距(年)			
		25	50	100	200
三角型單位歷線	民國 40~96 年(經濟部公告)	840	910	960	1010
	民國 40~101 年(本研究)	1196	1319	1436	1547
	三角型歷線成果與原公告比較	+42.38%	+44.95%	+49.58%	+53.17%
運動波-地貌瞬時單位歷線	民國 40~96 年(經濟部公告)	930	1010	1060	1120
	民國 40~101 年(本研究)	1246	1374	1494	1609
	運動波歷線成果與原公告比較	+33.98%	+36.04%	+40.94%	+43.66%
無因次單位歷線	民國 40~96 年(經濟部公告)	750	800	850	900
	民國 40~101 年(本研究)	962	1063	1158	1249
	無因次歷線成果與原公告比較	+28.27%	+32.88%	+36.24%	+38.78%

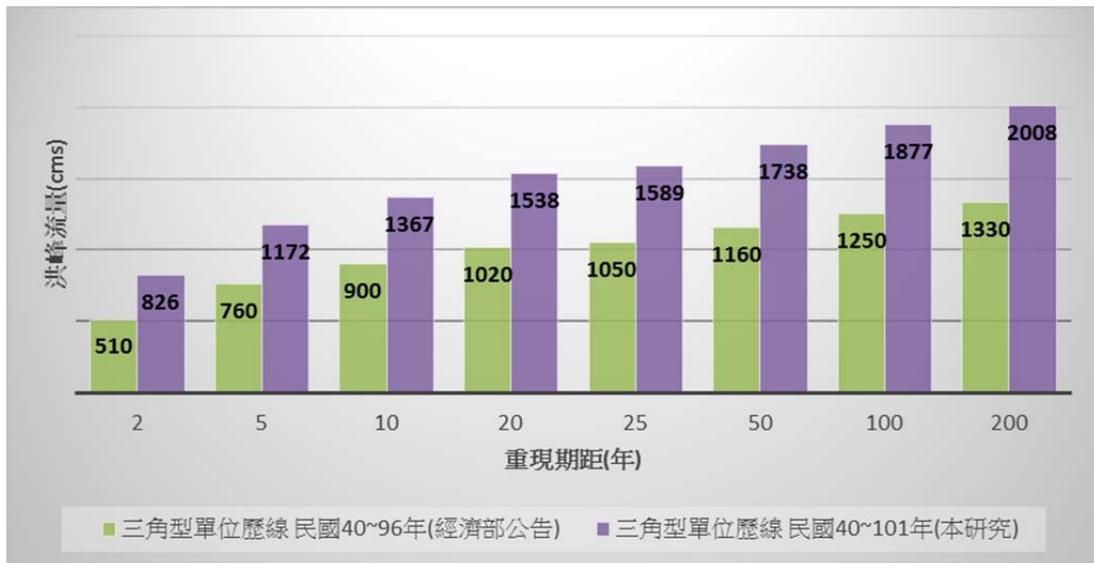


圖 4 塔羅灣溪三角形單位歷線法 24 小時洪峰流量變遷成果比較圖

Fig. 4 The triangular unit hydrograph method of 24-hour peak discharge transition comparison sheet in the Talowan river

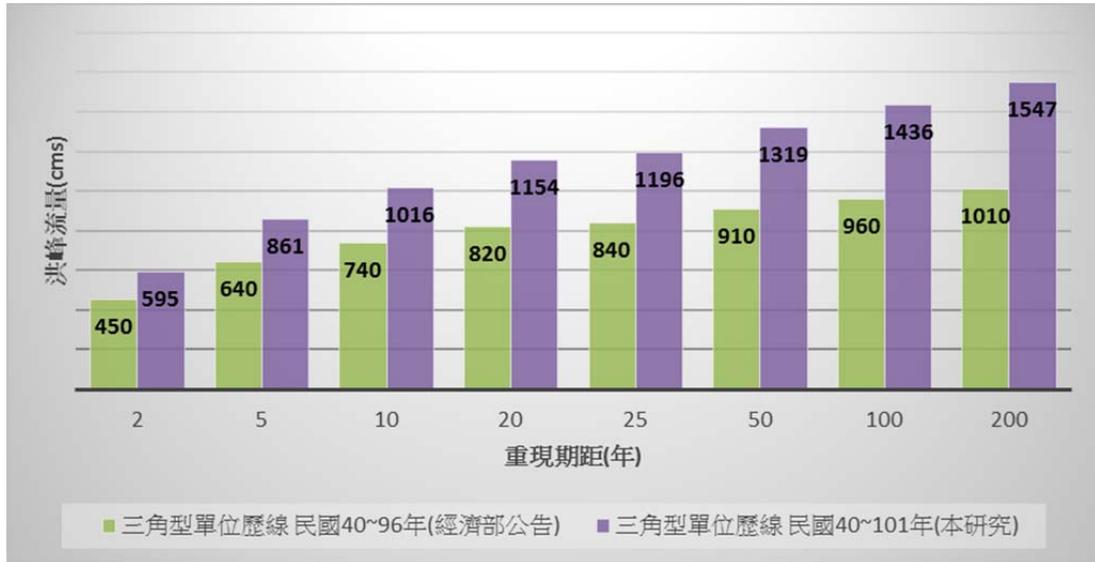


圖 5 塔羅灣溪三角形單位歷線法 48 小時洪峰流量變遷成果比較圖

Fig. 5 The triangular unit hydrograph method of 48-hour peak discharge transition comparison sheet in the Talowan River

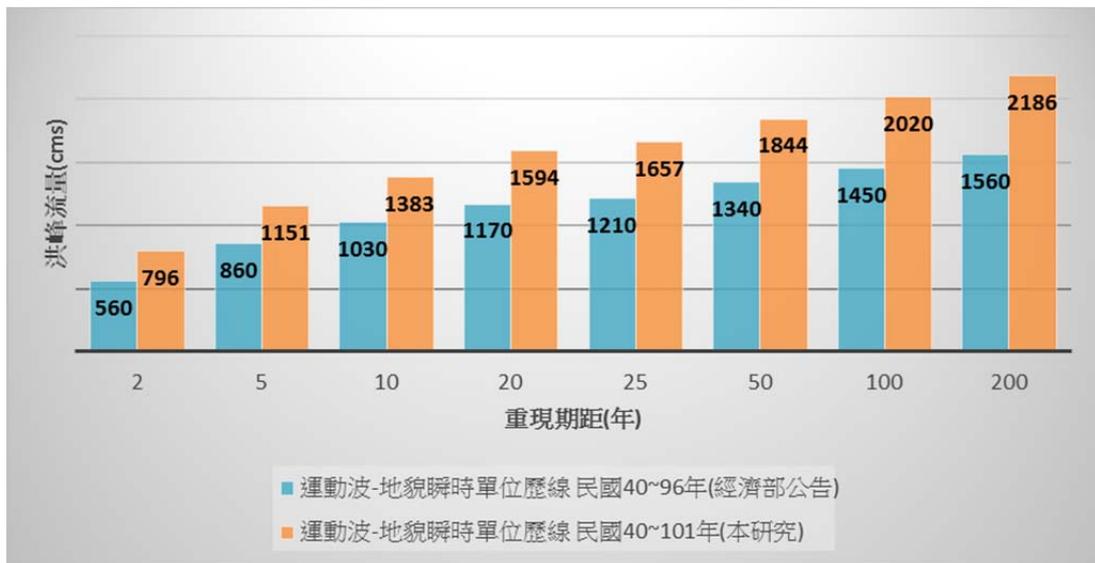


圖 6 塔羅灣溪運動波-地貌瞬時單位歷線法 24 小時洪峰流量變遷成果比較圖

Fig. 6 Kinematic-wave based geomorphic instantaneous unit hydrograph method of 24-hour peak discharge transition comparison sheet in the Talowan River

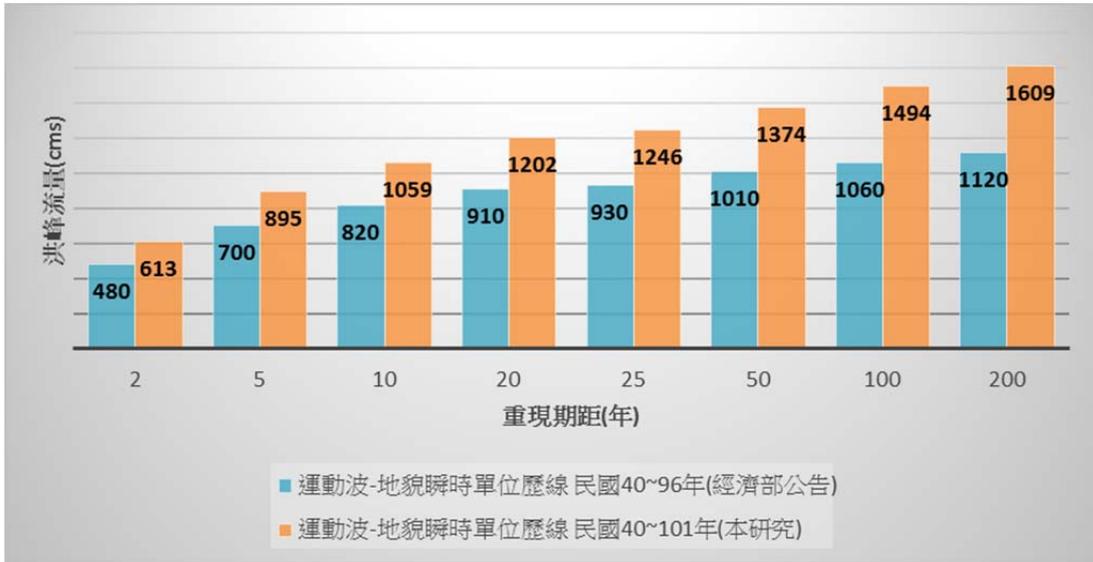


圖 7 塔羅灣溪運動波-地貌瞬時單位歷線法 48 小時洪峰流量變遷成果比較圖

Fig. 7 Kinematic-wave based geomorphic instantaneous unit hydrograph method of 48-hour peak discharge transition comparison sheet in the Talowan River

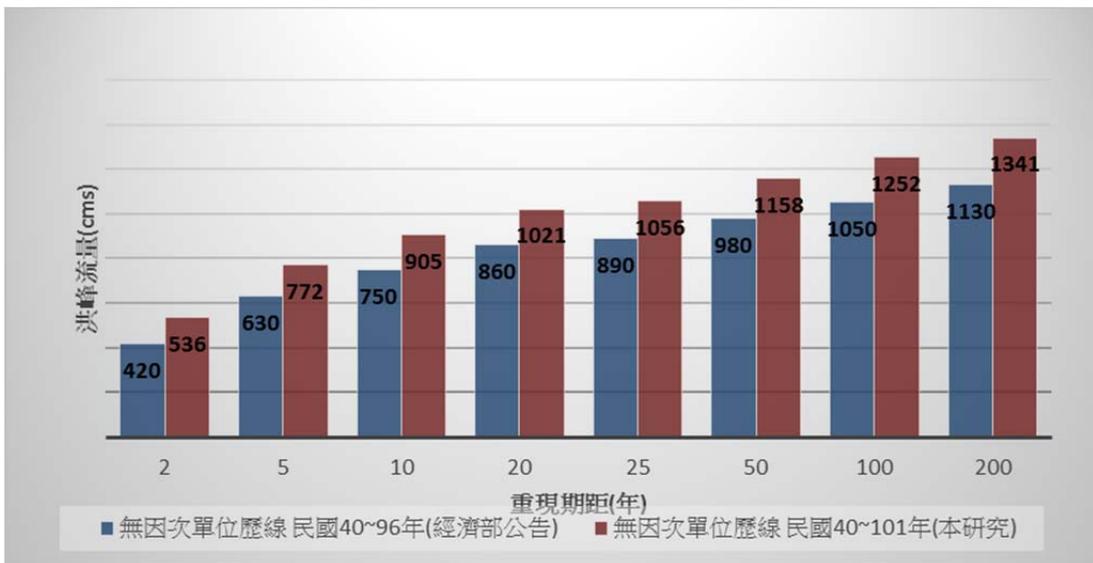


圖 8 塔羅灣溪無因次單位歷線法 24 小時洪峰流量變遷成果比較圖

Fig. 8 The dimensionless unit hydrograph method of 24-hour peak discharge transition comparison sheet in the Talowan River

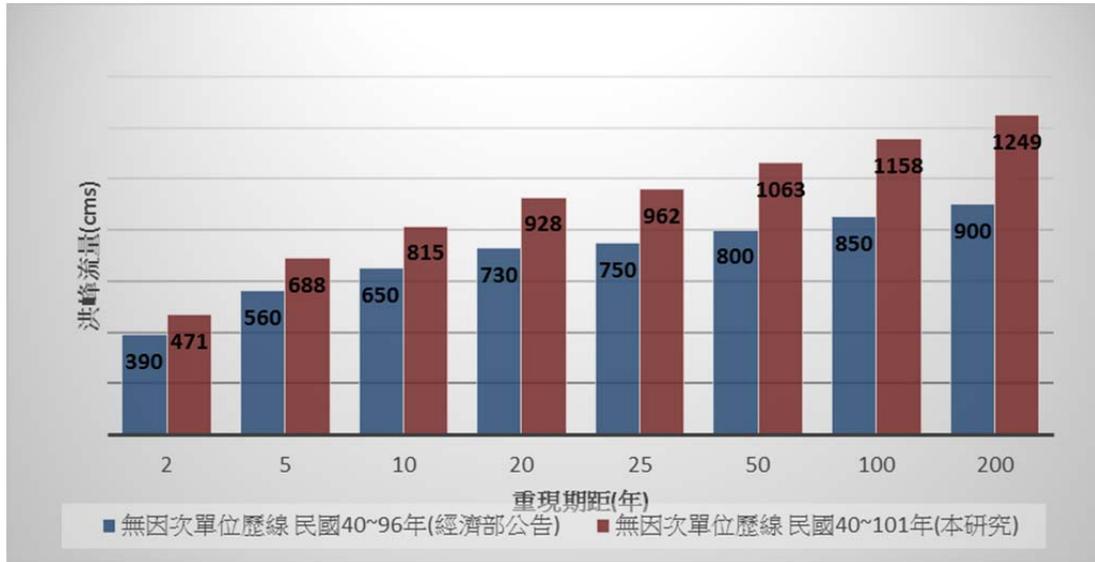


圖 9 塔羅灣溪無因次單位歷線法 48 小時洪峰流量變遷成果比較圖

Fig. 9 The dimensionless unit hydrograph method of 48-hour peak discharge transition comparison sheet in the Talowan River

結論與建議

本研究藉由輸入近年氣候變遷下之降雨資料得知，研究範圍塔羅灣溪集水區洪峰流量值變遷之趨勢為，連續最大 24 小時暴雨 100 年重現期距之洪峰流量增加值為 19 至 50% 之情形；連續最大 48 小時暴雨之增加值為 36 至 50% 之情形，與相關文獻資料所顯示山區河川之洪峰流量呈現上升趨勢相符，且本研究中以三角形單位歷線之洪峰流量增大趨勢最為明顯；運動波-地貌瞬時單位歷線洪峰流量增大趨勢次之；無因次單位歷線洪峰流量增大趨勢最小。推究其原因乃為本研究無因次單位歷線所選用之龍神橋的無因次單位歷線，雖能代表濁水溪上游集水區整體之水文及地文因子之特性，但此單位歷線係為利用主流水文站歷史紀錄之分析成果而得，對於大集水區之地文特性能確實表現，

但面對中小支流集水區的地文特性變化較大時，則較無法確切反應其逕流特性所致。另三角形單位歷線及運動波-地貌瞬時單位歷線較能表現中小支流集水區之逕流特性，故其推算值較無因次單位歷線更具可信度。

由此可知，塔羅灣溪集水區因近年受氣候變遷影響下，其河川洪峰流量已有明顯增加之趨勢，本研究成果可提供山區河川因氣候變遷下洪峰流量變遷趨勢之參考。且山區河川因地形陡峭及地質脆弱等因素，若遇強降雨將造成河川嚴重之土砂淤積河道問題，更不利於山區河川水流之暢洩，現行公告之洪峰流量值皆較本研究值小，目前防洪工程手段之保護標準有其一定之限制，若降雨超過原先規劃設定之保護標準時，相關疏散及避難等非工程措施即顯得非常重要，未來本溪河川治理策略除原進行防洪建造物等工程

措施外，如何落實相關非工程措施，包含洪水預警系統、緊急避難路線、教育宣導、預防措施及民眾參與等，或可為本溪未來重要應探討之課題。

參考文獻

1. 余文利等(2005)，「翡翠水庫集水區水文分析」，國立中央大學水文科學研究所 碩士論文。
2. 邱建源、謝平城(2010)，「氣候變遷與設計流量關係之研究-以烏溪為例」，國立中興大學水土保持學報 42(4) :451-464
3. 姚嘉耀、王慶豐、陳進興、邱奕霖(2011)，「氣候變遷濁水溪流域降雨趨勢初步探討」，經濟部水利署水利期刊第 21 期， P.P. 30-44。
4. 張智傑等(2010)，「集水區水文特性變異分析-以雙溪流域為例」，中華科技大學土木防災研究所 碩士論文。
5. 許晃雄等(2011)，「臺灣氣候變遷科學報告 2011」，國家災害防救科技中心，關鍵議題 P.P. 3~5。
6. 簡嘉霖等(2010)，「濁水溪流域之區域長期降雨變遷特性與預測」，國立中央大學水文科學研究所 碩士論文。
7. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2013)，「台灣地區主要河川流域水文與水理設計分析系統平台建立(3/3)」水文與水理計算系統操作手冊，經濟部水利署水利規劃試驗所，P.P. 1-1~6-18。
8. 經濟部水利署(2009)，「水利建設因應全球氣候變遷白皮書」，經濟部水利署，P.P. 5-21。
9. 經濟部水利署第四河川局(2010)，「濁水溪水系支流塔羅灣溪治理規劃」成果報告書，經濟部水利署第四河川局，P.P. 4-1~4-46。

102 年 12 月 20 日收稿

102 年 12 月 23 日修改

102 年 12 月 26 日接受

水土保持學報 46 (2): 1029 – 1048 (2014)

Journal of Soil and Water Conservation, 46 (2): 1029 – 1048 (2014)