

氣候變遷下極端事件之流量推估 —以曾文溪為例

Study on the Flow Estimate Under Extreme Climate Change Scenarios — Tsengwen River Case

國家災害防救科技中心
助理研究員

國立交通大學
教授

國立交通大學
防災與水環境研究中心
助理研究員

魏曉萍

葉克家

楊昇學

Shiao-Ping Wei

Keh - Chia Yeh

Sheng-Hsueh Yang

摘 要

氣候變遷下將造成河川流量改變，水工結構物可能遭受較高之風險。因此，對於目前的河川設計洪峰流量需作一全面性探討。本研究以曾文溪為示範區域，使用國內首見之動力降尺度資料，挑選近未來(2015 至 2039 年)與世紀末(2075 至 2099 年)前 10 大極端颱風降雨事件，結合 SOBEK 河道模式，模擬未來氣候變遷下河道流量之變化趨勢，且進一步與目前水利主管機關所公告之河川設計流量及現有堤防防洪能力進行比較，評估其衝擊影響。

由研究成果可得知，曾文溪上游玉豐大橋、中游二溪大橋及下游新中(1)三處水位站模擬之流量於世紀末流量有超過治理計畫流量之虞，且世紀末尖峰流量約為近未來的 1.5 倍。

由研究成果可得知，曾文溪上游玉豐大橋、中游二溪大橋及下游新中(1)三處水位站模擬之流量於世紀末流量有超過治理計畫流量之虞，且依據本研究收集的目前地文(河道斷面、土地使用等資料)與水文參數(歷史颱風雨量與水位資料)進行驗證後，模擬世紀末尖峰流量約為近未來的 1.5 倍。

關鍵詞：氣候變遷，極端颱風事件，SOBEK，災害衝擊，水工結構。

ABSTRACT

River flow may change under the condition of climate change and hence hydraulic structure within the basin may have a high risk of failure. Therefore, inspection on the existing river design discharge is necessary. This paper draws on the Tseng-wen Rivers as

an example and applies the unparalleled dynamical downscaling method, subjecting the top 10 occurrences from 2075 to 2099, and simulates the possible peak flows through means of SOBEK river flow simulation model. Meanwhile, the river design discharge endorsed by the authorities is put to comparison to the flood-control capacity of existing dikes to assess possible impacts.

The result shows that the peak flows occur at the upstream Yufong Bridge, midstream Ersi Bridge, and downstream Xinzhong (1) of Tseng-wen River will exceed the design discharges at the end of this century. Moreover, peak discharge at the end of this century is about 1.5 times of that occurred in the near future.

Keywords: Climate change, extreme typhoon rainfall event, SOBEK river flow model, disaster impact, hydraulic structure.

一、前言

氣候變遷下極端颱風所帶來的豪大雨將造成河川流量改變，水工建造物可能遭受較高之風險。例如 2009 年重創南臺灣的莫拉克颱風，造成約 700 人死亡，多處河道堤防與護岸嚴重受損，引發大規模淹水與土石流災害，其財產損失龐大。因此，在未來氣候變遷影響下需先對目前的水工建造物做一全面性探討。

近幾年科學家發現全球暖化氣候變遷影響下，水文極端事件發生頻率將增加。因此，流域可能面臨的災害衝擊恐成常態。2010 年「台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(2/3)」報告書，統計 1970~2009 年台灣地區發生極端強降雨颱風的頻率，結果顯示 2000 年以前發生強降雨颱風的頻率大約 2 年發生 1 次，2000 年後增加為 1 年至少發生 1 次以上。隨著氣候模擬技術的進步，依據世界未來人口、經濟、環境及社會的可能發生情境，可預測出未氣候系統輻射平衡的溫室氣體、氣溶膠在大氣中變化。對於未來長期氣候模擬，主要的科學工具為全球大氣環流模式(general circulation model, GCM)，但於由 GCM 模式主要為推估全球氣候變化，其空間解析度較低。目前高解析度的氣候資料有高解析度的 GCM、動力降尺度及統計降尺度三種。動力降尺度法較具有物理意義，但其計算量龐大且需花費較長時間；

統計降尺度為使用 GCM 與地面歷史觀測資料建立兩者統計關係，其模擬結果雖然較能符合歷史觀測值的氣候資料，但其物理意義較欠缺且空間解析度較低。

即使近期許多研究試圖增加其空間解析度例如統計降尺度與動力降尺度(downscaling)，但其結果常只有幾個點的資訊，對於像台灣這種面積狹小加上地形複雜崎嶇區域，較無法表象出其氣候特性。因此，本研究以曾文溪為示範區域，使用國內首見之高解析度動力降尺度資料，挑選近未來(2015 至 2039 年)與世紀末(2075 至 2099 年)前 10 大極端颱風降雨事件，結合 SOBEK 河道模式，模擬未來氣候變遷下河道流量之變化趨勢，且進一步與目前水利主管機關所公告之河川尖峰設計流量及現有堤防防洪能力進行探討，評估未來氣候變遷下之衝擊與影響。

二、文獻回顧

氣候變遷為人類當前所面臨最重大的環境議題之一(Scott *et al.*, 2002)。由許多文獻可知，目前對未來長期氣候的模擬，主要工具為全球大氣環流模式(GCM)。Guo *et al.* (2009)指出 GCM 為一個被廣泛用於模擬未來氣候情境的模式，但 GCM 資料空間解析度較低。對於像台灣這種小面積區域無法提供詳細的氣候情境來進行探討。因此，近幾年許多研究為對 GCM 模式

加以修正,例如統計降尺度(statistical downscaling method)、動力降尺度(dynamical downscaling method)或簡單降尺度法(simple downscaling method)。2010年「台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫 2/3」報告書,指出國內現行統計降尺度方法約有六種,分別為簡易降尺度、SVM 統計降尺度、多變數回歸、SVD、SDSM 統計降尺度以及參考 Climate-Wizard 所使用之 BCSD,該報告整理出這六種統計降尺度方法應用於台灣地區降雨量趨勢,結果顯示大部分降尺度方法呈現豐水期降雨增加、枯水期降雨減少的趨勢。動力降尺度技術主要是透過動力模式來進行數值模擬進而得到高解析度之資料,經由高解析度之資料可呈現出較小尺度的天氣現象或氣候特徵。最早動力降尺度技術起源於 1990 年(Giorgi and Bate, 1989; Giorgi and Mearns, 1991),近幾十年動力降尺度方法主要為利用高解析度的全球模式或區域模式(RCM)來進行動力降尺度,其空間解析度已可至數十公里。目前日本已經發展高解析度的全球氣候模式,解析度約 20 公里(Mizuta *et al.*, 2006),但對於地形陡峭崎嶇的台灣地區,20 公里解析度對某些局部地區的天氣及氣候特徵的描述仍有不足之處。

未來氣候變遷影響下水文現象將有所改變,因此許多研究已經針對水文改變做一探討。Arnell (1999)使用 Hadley 中心的氣候模型所模擬的資料對全球河流流量進行預測,在高緯度地區如赤道附近的非洲與東南亞等地區其年徑流量為增加,但中緯度地區和亞熱帶地區為減少。Nohara *et al.* (2006)根據 A1B 排放情景的 19 個耦合大氣-海洋環流模型,探討二十一世紀全球 24 個主要河流的流量變化,結果顯示在北半球高緯度地區,南到亞洲東部和中部非洲年平均降水、蒸發、徑流為增加。相反,地中海地區、南部非洲、南部北美洲和中美洲減少。Arora and Boer (2001)指出赤道附近的非洲與東南亞地區每年河川流量減小。早期受限 GCM 資料空間解析度較低,較少針對台灣地區水文變化進行研究。目前台灣地區已有自行產製之高解析度未來氣候資

料,因此,本研究使用高解析度資料,對未來氣候變遷下流量進行探討。

三、研究方法

為了瞭解氣候變遷下極端氣候對水工結構物將帶來多大的衝擊,本研究使用高解析度之未來氣候模擬推估值,以 SOBEK 模式進行極端颱風降雨事件之河道流量與水深模擬。且與水利主管單位所公告之河川尖峰設計流量及現有堤防防洪能力進行比較,藉以了解氣候變遷下的流量改變可能造成的災害與損失。

3.1 SOBEK 模擬

模擬未來河道流量變化之工具為 SOBEK 模式,該模式為荷蘭 WL|Delft Hydraulics 公司所研發,整合河川、區域排水與都市排水系統之水文、水理程式。本研究以 SOBEK 一維河道模組(channel flow module, CF)為基礎,結合降雨逕流(rainfall runoff, RR)模組進行河道之模擬。係由降雨逕流所推估之流量以側入流方式(節點)匯入渠道中,進行一維河道變量流演算(WL|Delft Hydraulics, 2006)。

3.1.1 降雨逕流

降雨-逕流模式採用 Sacramento 概念,模擬降雨至地面形成逕流之每一過程,包括蒸發、入滲、地表下逕流、地下水等。其概念將地表之有效降雨量經由單位歷線(unit hydrograph)轉換為地表直接逕流量,加上土壤上層水筒表層出流量、中間流與及土壤下層水筒地下水出流量(基流量)成為渠道之總逕流量。

3.1.2 一維河道水理

渠流水理演算採用之質量守恆方程式與動量守恆方程,模擬河道中水深及流量隨時間變化情形,方程式如(1)及(2)所示。河道模擬可於渠道上設置相關橋樑、水庫、跨河構造物,如堰流(weir)、涵管流(culvert)、孔口流(orifice)與抽水站(pump station)等相關構造物。

$$\frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_{lat} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A_f} \right) + g A_f \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g Q |Q|}{C^2 R A_f} - W_f \frac{\tau_{wi}}{\rho_w} = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中， Q ：流量； h ：水位； R ：水力半徑； q_{lat} ：渠道之側入流量； A_f ：濕周面積； C ：Chezy 係數； W_f ：河流寬度； τ_{wi} ：風剪力； ρ_w ：水密度。

3.2 水文與地文資料

進行河道流量與水深模擬時需先收集地文與水文資料，經由收集的河道斷面、水工建造物、未來氣候雨量、土地利用及水位等資料建構降雨逕流與一維河道水理演算。

雨量資料包含觀測的颱風雨量資料與未來

氣候變遷下極端颱風之雨量資料。水位資料之蒐集包含河川水位測站資料與河口附近之潮位測站資料。收集現有河川水位站之時水位資料，可供水理演算之檢定與驗證使用，水位站位置如圖 1 所示。河口潮位為模式之下游邊界條件，因此，氣候變遷下之河口潮位推估考量三部分，天文潮、歷史最高暴潮位與海平面上升，其中，天文潮部分係利用NOA99b全球潮汐模式(Matsumoto *et al.*, 2000)推估氣候變遷下之該時段之天文潮水位變化；暴潮水位則利用氣象局歷年來之統計資料已發生之最大暴潮水位；海平面上升的推估則利用 2010 年「台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(2/3)」推估臺灣海平面上升每年上升速度(5.7 mm/y)。並將三者相加作為水理模式下游邊界條件。

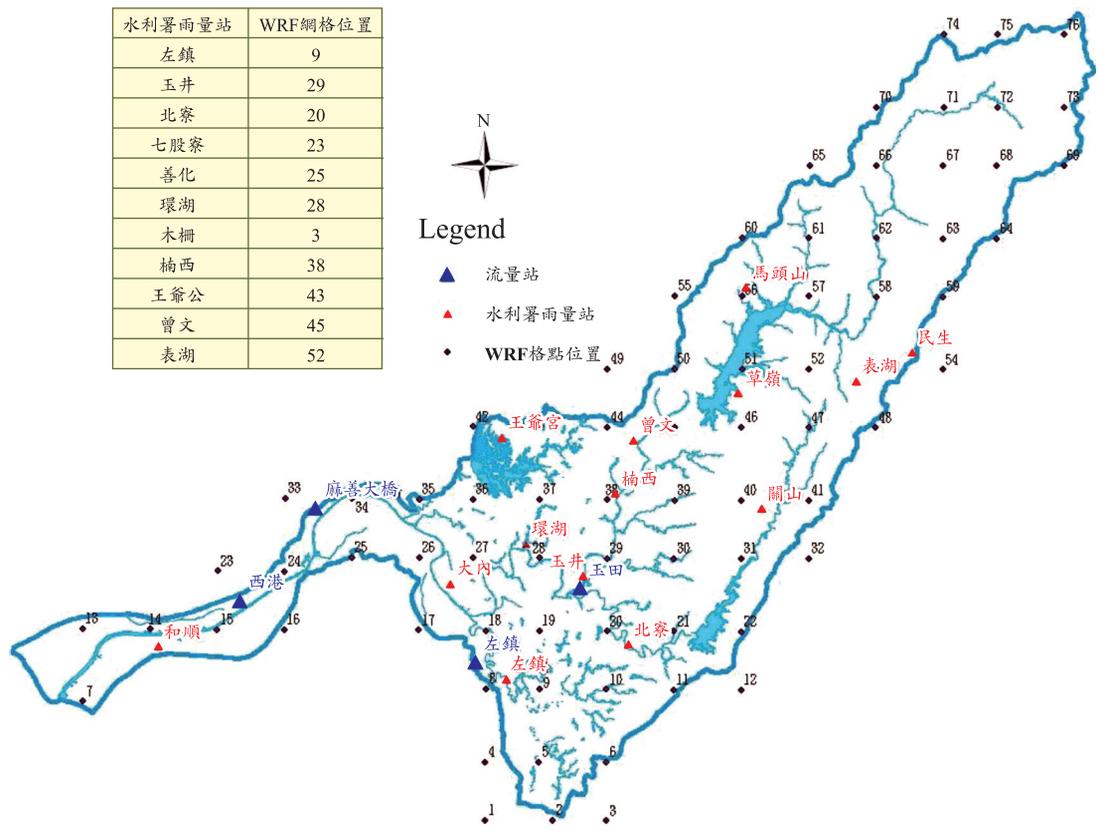


圖 1 曾文河流域模擬範圍

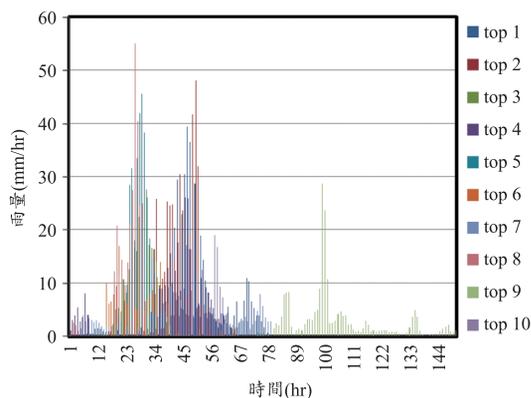


圖 2 曾文溪流域近未來(2015-2039)TOP1-TOP10 颱風降雨組體圖

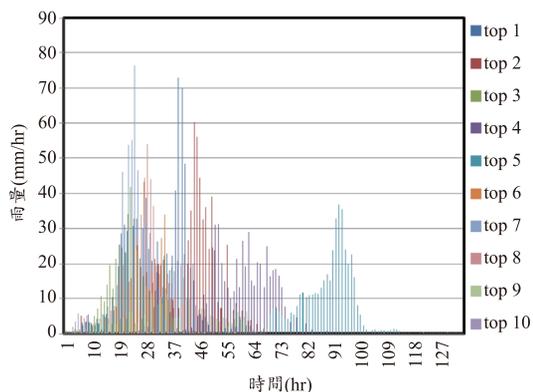


圖 3 曾文溪流域世紀末(2075-2099)TOP1-TOP10 颱風降雨組體圖

河道斷面資料為來自水利署第六河川局與水利規劃試驗所相關計畫之民國 99 年大斷面測量資料，包含曾文溪主流、後崛溪、菜寮溪與官田溪等。目前進行未來氣候變遷下流量之模擬，河道斷面假設與目前條件是相同的。然而，假設未來河道斷面與目前相同的條件下，模擬出來流量能夠檢驗未來氣候變化對於目前水工結構物影響，與判定目前河道斷面對於未來氣候改變的容忍度。

水庫資料為曾文水庫、南化水庫與烏山頭水庫等三座水庫，模式建置時係根據水庫相關運作進行設定，其中，於水庫部分包含蓄水面積、體積、集流面積，壩體部分包含溢洪道、閘門、電廠排放、緊急放流道等基本資料設定，並根據水庫操作規則進行相關排放功能設定。

本研究使用日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)氣象研究所(Meteorological Research Institute, MRI)發展的高解析度大氣環流模式(atmospheric general circulation model, MRI-JMA AGCM)以及德國研究機構 MPI 發展的 ECHAM5 氣候模式所模擬出的氣候推估結果，當作美國大氣研究中心(NCAR)所主導發展的天氣研究與預報模式系統(weather research and forecasting modeling system, WRF)之初始場與邊界條件來進行動力降尺度(詳細介紹請參考「台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(2/3)」報告書)。

經由 WRF 模式系進行降尺度工作，可得到降雨量資料水平解析度為 5 公里且為時雨量資料。動力降尺度執行為現在(1979-2003 年)，近未來(2015-2039 年)以及世紀末(2075-2099 年)三個時期各 25 年的氣候模擬。進行動力降尺度時，使用不同數值方法及參數化為模式的差別，這些不同的選擇是不確定性的來源，但目前只有一組產製出的 WRF 資料，且進行降尺度時所需的資料儲存空間以及計算資源龐大，很難再產製一組資料對其不確定性進行評估。

本研究採用的日本氣象廳氣象研究所發展的高解析度 MRI AGCM (20 公里)是有模擬出颱風的資訊，在 MRI AGCM 定義颱風為參考 Vitart *et al.* (1997)的方式，以用 850 hpa 渦度場、海平面氣壓、風暴中心附近是否存在高層暖心結構及局部厚度最大值來偵測颱風且模式中最低層風速需大於 17 m/s 至少 1.5 天以上。

經由近未來與世紀末兩個時期各 25 年的氣候模擬雨量資料挑選出前十大 TOP1-TOP10 極端颱風降雨事件，前 10 大極端颱風降雨事件 (Top1-Top10)以曾文溪流域總雨量為挑選原則，圖 2 與圖 3 分別為近未來與世紀末前 10 大極端颱風降雨事降雨組體圖，如圖中可觀察出，世紀末之極端降雨事件特性為強降雨短延時。表 1 為近未來與世紀末之前 10 大極端事件統計值。由表 1 可得知，2009 年莫拉克颱風降雨屬於長延時

表 1 近未來與世紀末極端事件降雨量分析

	颱風事件	總降雨量 (mm)	總延時 (hr)	最大降雨強度					
				3 小時 (mm)	6 小時 (mm)	12 小時 (mm)	24 小時 (mm)	48 小時 (mm)	72 小時 (mm)
近未來	Top1	533.4	92	106.38	186.24	313.26	418.06	520.25	533.4
	Top2	455.42	62	121.56	164.12	302.13	435.07	445.42	445.42
	Top3	335.35	67	68.39	114.34	200.79	284.26	303.35	303.35
	Top4	362.78	49	125.66	207.21	316.63	359.77	362.78	362.78
	Top5	298.63	44	122.5	193.06	275.31	291.24	291.24	291.24
	Top6	280.13	79	26.92	49.39	79.56	137.16	214.22	280.13
	Top7	280.7	43	65.36	121.71	209.52	274.42	274.42	274.42
	Top8	227.9	151	63.06	81.55	102.12	143.89	181.97	227.9
	Top9	216.4	73	36.73	57.81	96.15	184.11	208.16	216.4
	Top10	197.5	73	45.08	62.24	103.99	183.46	197.41	197.5
世紀末	Top1	856.06	49	191.34	274.58	393	726.92	855.95	855.95
	Top2	730.31	67	160.74	264.36	407.03	577.9	728.88	728.88
	Top3	542.34	43	185.65	301.31	452.59	540.6	540.6	540.6
	Top4	478.06	49	108.63	181.64	294.55	437.2	478.03	478.03
	Top5	453.05	37	142.3	240.56	346.41	427.66	427.66	427.66
	Top6	394.46	49	96.79	156.57	287.12	390.27	394.46	394.46
	Top7	372.68	103	87.05	135.38	241.77	456.81	545.76	548.58
	Top8	313.49	133	104.78	172.51	271.73	383.29	464.79	476.74
	Top9	312.55	61	49.17	84.41	140.25	200.11	298.08	298.08
	Top10	282.65	67	62.87	111.43	201.53	264.17	286.58	286.58
觀測資料	莫拉克	1107.5	72	144.32	230.55	417.77	636.18	1000.27	1107.5

的持續性降雨型態，總降雨量高於近未來與世紀末極端颱風事件，但莫拉克颱風連續降雨 3 至 6 小時之最大總降雨量小於世紀末前幾名之極端颱風事件，也就是說未來氣候極端颱風事件降雨量分布為強降雨短延時型態。

如圖 2 與圖 3 中可觀察出，世紀末之極端降雨事件延時比近未來短而總降雨量較高。表 1 為近未來與世紀末之前 10 大極端事件統計值。由表 1 可得知，2009 年莫拉克颱風總降雨量高於近未來與世紀末極端颱風事件，但莫拉克颱風連續降雨 3 至 6 小時之最大總降雨量小於世紀末前幾名之極端颱風事件，也就是說未來氣候極端颱風事件降雨量分布為集中型暴雨(主要降雨集中在 6 小時內)型態且近未來與世紀末 TOP1-TOP10 之連續 6 小時最大降雨量都佔總雨量的 25% 以上。

圖 4 為近未來與世紀末 Top1-Top10 颱風降雨量平均值，由圖 4 可觀察出，世紀末(2075-

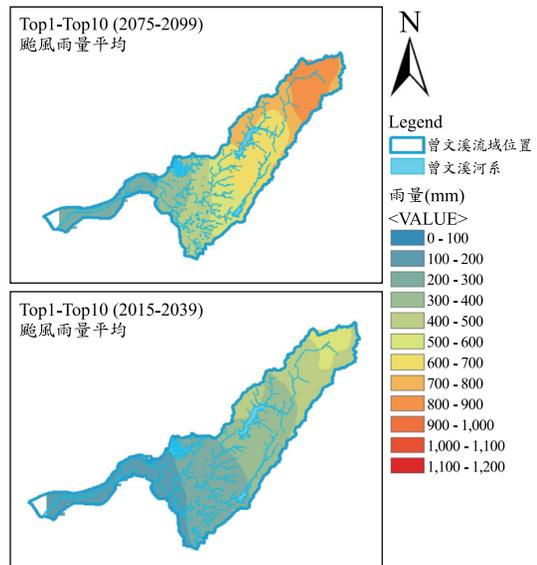


圖 4 Top1-Top10 颱風降雨量平均值

2099)颱風雨量高於近未來(2015-2039)且上游地區雨量明顯量有增加趨勢。

由於WRF氣候資料為網格式資料，因此挑選鄰近水利署雨量站的四個WRF網格式點取雨量平均值為SOBEK輸入雨量資料，水利署雨量站與WRF網格式點位置如圖 1所示。流域內與周邊雨量站包括七股寮、善化、大內、王爺公、環湖、左鎮、玉井、南化、北寮、楠西、曾文、三角南山、草嶺、關山、木柵、表湖等站。因受限於資料長度與資料取得，研究中選用左鎮、玉井、北寮、七股寮、善化、環湖、木柵、楠西、王爺公、曾文、表湖等 11 個雨量站。

四、案例分析

本研究以曾文河流域為示範區域，使用國內首見之動力降尺度資料，挑選近未來(2015 至 2039 年間)與世紀末(2075 至 2099 年間)前 10 大極端颱風降雨事件，結合 SOBEK 降雨逕流與河道模式，模擬未來氣候變遷下河道流量之變化趨

勢，且進一步與水利主管機關所公告之現有堤防防洪能力進行比較，評估河道中水工建造物衝擊與影響。

4.1 河道水工建造物衝擊評估

一般河道中較常見的水工結構物包括堰、橋墩、丁壩、堤防及固床工等。當河道因應不同需求(洪水災害之防治或水工設計)需設置各種形式之水工構造物時，需先推求該河道之計畫流量與計畫洪水位，以保護河道內之水工結構物生命與財產安全。

一般計畫流量推估係以統計方法使用歷史的觀測到的洪水量，推估 200 年、100 年或 50 年等發生一次之洪水量來決定。而計畫洪水為依河川物理特性以水工模型試驗或一維水理模式計算而得之水位。表 2 為新中(1)、二溪大橋與玉峰大橋之計畫流量、計畫洪水位資料與歷史觀測到最高水位資料。

表 2 曾文河流域計畫流量與計畫洪水位

水位站	重現期(年)	計畫流量(cms)	計畫洪水位(m)	歷史最高水位(莫拉克颱風)
新中(1)	100	9,890	15.71	18.36
二溪大橋		8,740	21.37	23.56
玉豐大橋		6,900	46.06	46.98

資料來源：河川警戒水位與區域排水警戒雨量之檢討與應用，2010。

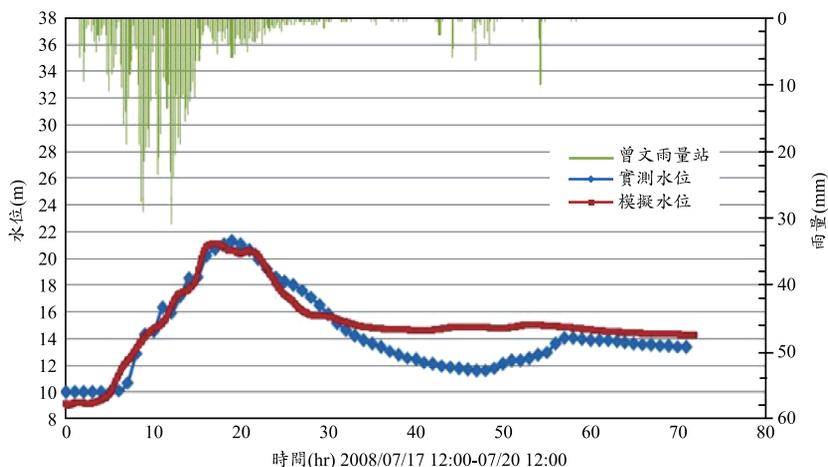


圖 5 卡孜基颱風之實測與模擬分析結果

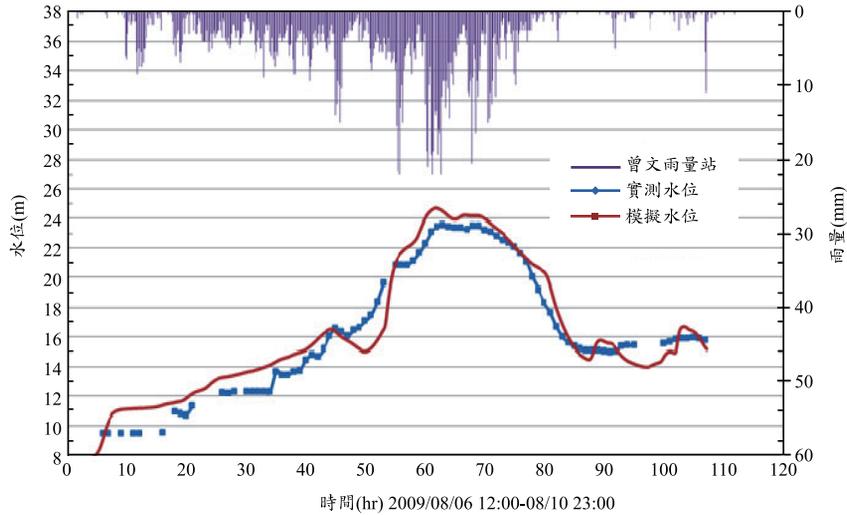


圖 6 莫拉克颱風之實測與模擬分析結果

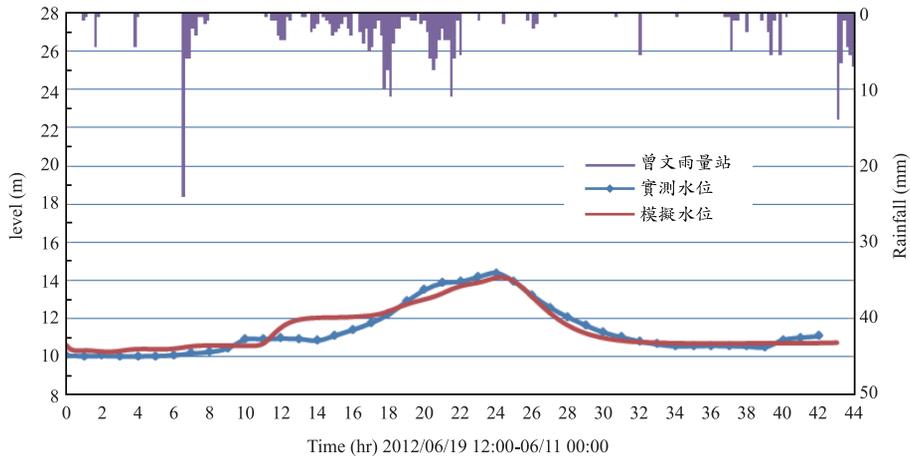


圖 7 101 年 610 豪雨事件實測與模擬分析結果

4.2 模式檢定與驗證

建構完成 SOBEK 河道模式後需對建構模式進行參數檢定與驗證，本文選用卡玫基颱風雨量作為模式之檢定場次，並以莫拉克颱風與 610 豪雨事件作為模式驗證場次。曾文溪流域之二溪大橋水位站實測水位與 SOBEK 模式所模擬水位比較如圖 5、6、7 所示，由圖 5、6、7 可觀察出，SOBEK 模擬水位與實測水位變化尚稱吻合。

為探討模式之優劣，本研究分別以效率係數 (Coefficient Efficiency; CE)、流量體積誤差值 (Volumetric Error; VE) 及洪峰到達時間誤差

(Mean Absolute Error; MAE) 為模式校驗之基準，其結果如表 3 所示。

4.3 模擬結果

圖 8 為近未來與世紀末 TOP1-TOP10 極端颱風事件於下游新中(1)、中游二溪大橋、玉豐大橋三處所模擬之流量歷線。由文獻可得知，新中(1)、二溪大橋及玉豐大橋水位站之治理計畫流量 (Q_{100}) 分別為 9,890 cms、8,740 cms、6,900 cms，三個水位站於近未來模擬出之流量並無超過治理計畫流量之情形；世紀末時，新中(1)水位站超

表 3 二溪大橋水位站歷線模擬之校正係數

颱風事件	洪峰誤差百分比	洪峰水位誤差(m)	洪峰到達時間誤差(hr)	水位檢定驗證效率係數
卡玫基颱風	9.2	-0.48	+1.5	0.9
莫拉克颱風	-25.8	+0.73	+1.16	0.93
0610 豪雨	38.9	-0.24	-0.16	0.8

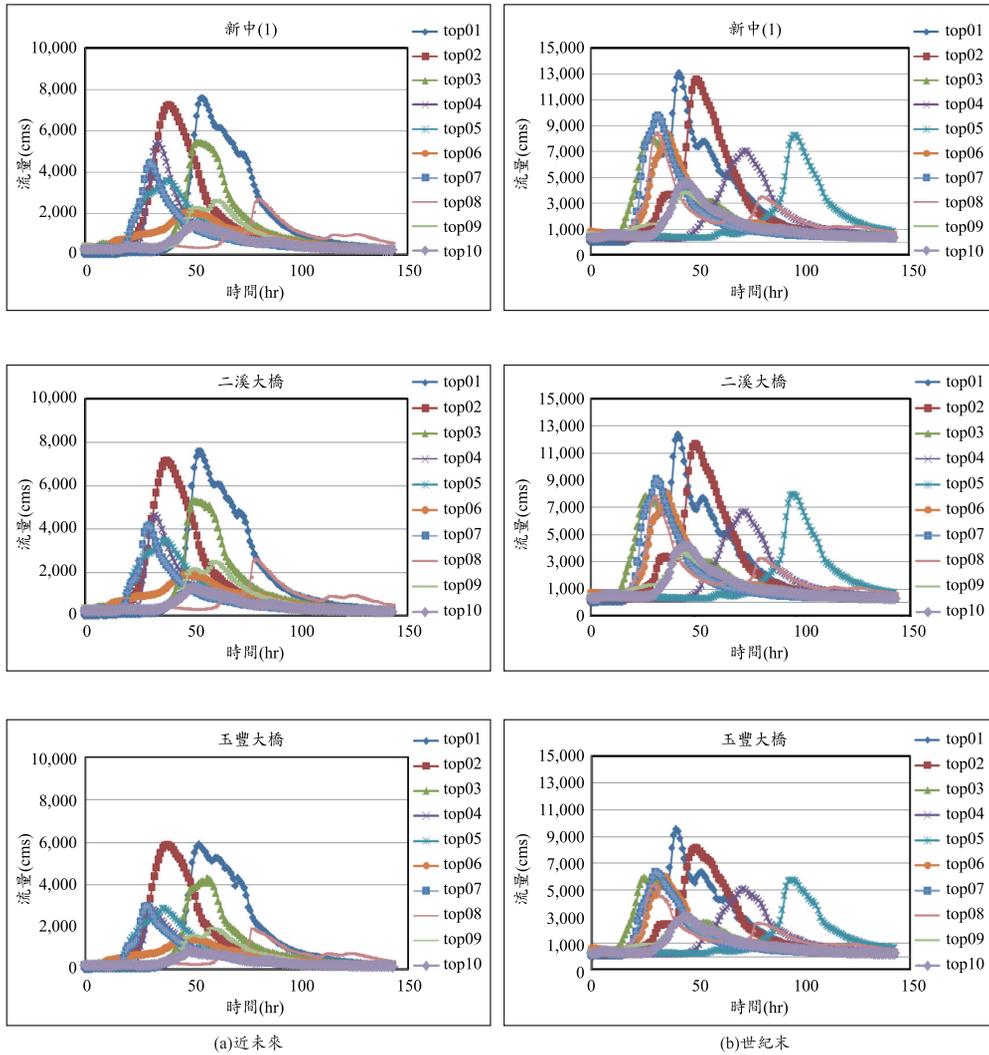


圖 8 極端颱風事件模擬之流量歷線

越場次為 2/10，二溪大橋與玉豐大橋超越場次都為 3/10。由圖 8 顯示，世紀末尖峰流量約為近未來的 1.5 倍。

圖 9 為近未來與世紀末 TOP1-TOP10 極端颱風事件於下游新中(1)、中游二溪大橋、玉豐大橋

三處所模擬之水位歷線。由文獻可得知，新中(1)、二溪大橋及玉豐大橋水位站之計畫洪水位分別為 15.71m、21.37m 與 46.06m，近未來模擬出之水位於新中(1)與玉豐大橋水位站無超過計畫洪水位之情形、二溪大橋超越場次為 2/10；於世

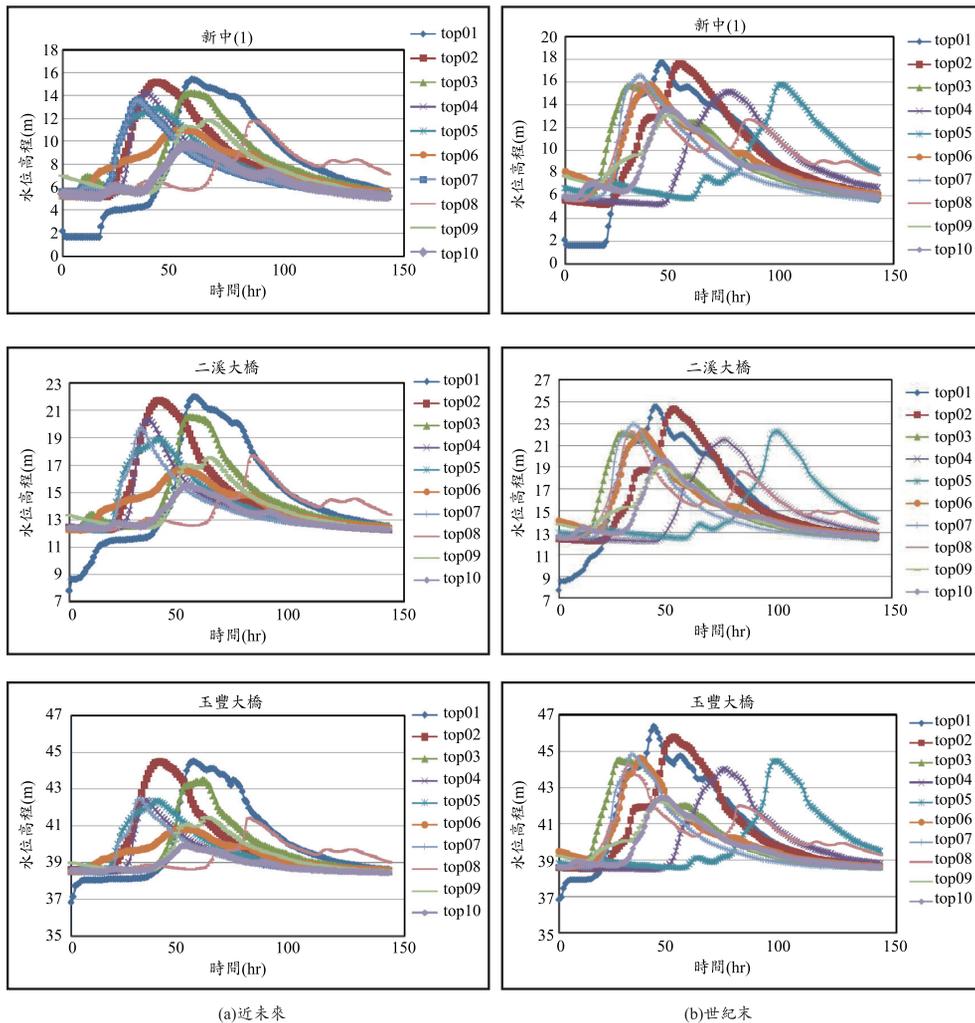


圖 9 極端颱風事件模擬之水位歷線

紀末時，新中(1)水位站超越場次為 6/10，二溪大橋超越場次為 8/10，玉豐大橋超越場次為 1/10。由模擬結果得知，曾文溪於世紀末時上游地區已經有溢淹之可能。

世紀末於二溪大橋 TOP1 與 TOP2 極端颱風事件模擬出之最高水位分別為 24.55 m 與 24.32 m，高於莫拉克颱風最高水位 23.56 m。由此模擬結果可得知，未來氣候變遷下嚴重洪水災害將可能再次上演。

五、結論與建議

本研究以曾文溪為例，使用未來氣候變遷下

之颱風雨量資料，利用 SOBEK 模擬技術，進行未來極端颱風降雨事件可能造成河道流量改變之模擬。

2009 年莫拉克颱風降雨型態屬於長延時持續性，其總降雨量高於近未來與世紀末極端颱風事件，但世紀末前幾名極端颱風事件的連續降雨 3 至 6 小時之最大總降雨量高於莫拉克颱風，未來氣候極端颱風事件降雨量分布為短延時強降雨型態。因此，曾文溪於世紀末時，溢淹區域將有往上游地區之可能。

根據流量模擬結果得知，上游玉豐大橋、中游二溪大橋、下游新中(1)三處水位站，世紀末流

量有超過治理計畫流量之可能，且經由模擬結果顯示，世紀末尖峰流量約為近未來的 1.5 倍。

根據水位模擬結果得知，世紀末於二溪大橋在 TOP1 與 TOP2 極端颱風事件下，最高水位分別為 24.55 m 與 24.32 m，莫拉克颱風最高水位為 23.56 m，因此未來氣候變遷下，嚴重災害有可能再次上演。

目前使用動力降尺度 WRF 雨量資料為 SOBEK 模式之輸入資料，2010 年「台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(3/3)」報告書，指出 WRF 雨量資料有低估現象，因此，模擬出來的流量與水位有可能偏低。

目前進行未來氣候變遷下流量之模擬，河道斷面與土地利用假設與目前條件是相同的，在下一個研究我們會嘗試考慮未來氣候下河道斷面因為沖刷作用所造成之影響與土地利用的改變。

致 謝

本研究感謝行政院國家科學委員會補助經費(NSC100-2621-M-492-001)以及 TCCIP 計畫之鄭兆尊博士與陳淡容小姐協助產製未來氣候雨量資料，才得以順利完成，特此謹致謝忱。

參考文獻

1. Arora, V. K. and Boer, G. J., "Effects of simulated climate change on the hydrology of major river basins", *J. Geophys. Res.*, 106 (D4), 3335-3348, 2001.
2. Arnell, N. W., "Climate change and global water resources", *Global Environ. Change*, 9, S31-S49, 1999.
3. Giorgi, F. and Mearns, L.O., "Approaches to the simulation of regional climate change: a review", *Reviews of Geophysics.*, 29, 191-216, 1991.
4. Giorgi, F. and Bates, G.T., "The climatological skill of a regional model over complex terrain", *Monthly Weather Review*, 117, 2325-47, 1989.
5. Guo SL, Guo J, Zhang J, and Chen H., "VIC distributed hydrological model to predict climate change impact in the Hanjiang Basin", *Sci. China Ser E-Technol Sci* 52(11), 3234-3239, 2009.
6. Nohara, D., Kitoh, A., Hosaka M., and Oki, T., "Impact of climate change on river discharge projected by multimodel ensemble", *J. Hydro-meteor.*, 7, 1076-1089, 2006.
7. Mizuta, R., Oouchi, K., Yoshimura, H., Noda, A., Katayama, K., Yukimoto, S., Hosaka, M., Kusunoki, S., Kawai, H., and Nakagawa, M., "20-km-mesh global climate simulations using JMA-GSM model mean climate states," *J. Meteorol. Soc. Jap.* 84, 165-185, 2006.
8. Matsumoto, K., Takanezawa, T. and Ooe, M., "Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan," *J. Oceanogr.*, 56, 567-581 (2000).
9. Scott, D, Malcolm, J.R., and Lemieux, C., "Climate change and modelled biome representation in Canada's national park system: implications for system planning and park mandates", *Global Ecology & Biogeography*, 11, 475-484, 2002.
10. WL| Delft Hydraulics, *SOBEK Software User's Manual. Delft*, the Netherlands, 2006.
11. 林李耀、記水上、劉紹臣、陳亮全、許昇雄、盧孟明、賈新興、隨中興、周佳研、曾于恆、洪致文、吳宜昭、陳正達、翁叔平、陳昭銘、林傳堯、鄭兆尊、于宜強、周仲島、童慶斌、葉克家、陳永明、陳韻如、江申助、朱容練、Dr. Sahana Paul, 魏曉萍、朱蘭芬，「台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫 2/3」，國家防災研究中心，2011。
12. 葉克家、楊昇學、魏紹唐、謝東洲，「河川警戒水位與區域排水警戒雨量之檢討與應用」，經濟部水利署，2010。

收稿日期：民國 102 年 3 月 4 日

修正日期：民國 102 年 5 月 1 日

接受日期：民國 102 年 5 月 27 日