

應用 HSPF 模式探討降雨時間分佈對流量 模擬之影響

Applying the HSPF Model to Evaluate the Effects of Seasonal Variability of Rainfall on Water Flow Simulation

逢甲大學水利工程與資源保育學系
副教授

張嘉玲*

Chia-Ling Chang

逢甲大學水利工程與資源保育學系
研究生

吳天佑

Tain-You Wu

摘 要

近年來全球氣候轉變劇烈，接連出現的災害頻傳都讓人心惶惶，一下子是出現缺水、限水的情況，一下子卻是出現水庫處於高水位必須洩洪的窘境，這都顯示著台灣各地區水資源時空分配不均的嚴峻，更突顯了台灣可利用的水資源不足之情況。為改善台灣可利用水資源不足之情況，瞭解降雨特性對流量反應的影響是相當重要的工作，故本研究特採用 HSPF 模式，先進行 2007 年氣象資料對 HSPF 參數之率定，再以 2008 年氣象資料對 HSPF 參數之驗證，接著以此率定驗證後之參數進行一系列的降雨特性情境設計及分析，降雨型態之情境設計包括：雨量平均型、雨量集中型兩大類。從本研究情境設計所得之分析結果，可得知當降雨時間分佈均勻，可以大幅降低洪峰流量，反之，降雨時間分佈不均，洪峰流量可能會是平均型降雨的上百倍之多。台灣降雨分布不均的狀況相當顯著，每年主要降雨大約僅落在 5-10 天之間，這也使台灣水資源管理的困難變得更為嚴峻。

關鍵詞：流量模擬，模式分析，降雨特性。

ABSTRACT

There are huge changes occurring in our global climate. These changes have caused significant problems for Taiwan, such as sudden water shortages, water restrictions, or reservoirs with water levels that are dangerously high. These examples show some of the major problems in Taiwan's water supply management system. This study applied the

*通訊作者，逢甲大學水利工程與資源保育學系副教授，40724 台中市西屯區文華路 100 號，clchang@fcu.edu.tw

HSPF model to assess the influence of seasonal variability of rainfall on surface runoff. The precipitation data for 2007 was used as model calibration and for 2008 it was used as model validation. This study designed several scenarios. Each scenario represents a different seasonal distribution of rainfall. This seasonal rainfall can be represented as uniform or centralized rainfall and, as such, will result in different hydrologic responses. The results show that peak flow will be extremely low when the seasonal distribution of rainfall is uniform. On the contrary, centralized rainfall can cause dramatic peak flow and increase the risk of flooding. Amazingly, most rainfall in Taiwan is centralized in 5 to 10 days. The seasonal variability of rainfall clearly has an unequal and detrimental influence on Taiwan's water supply.

Keywords: flow simulation, modeling analysis, rainfall property.

一、前言

近年來全球的氣候轉變劇烈讓我們更加難以抓摸氣候變化，相繼出現的超級颱風、超級颶風、大地震、聖嬰現象、反聖嬰現象等災害侵襲之下，全世界都人心惶惶。台灣雖屬多雨地區，但由於地狹人稠、人口密度高居世界第二，且地形陡峭、河川短促、水流湍急，大部分雨水直接流入大海，再加上降雨時空分布不均，實際用水量僅年降雨量之 26% 左右，導致水資源的管理與調配非常不易(張惠雯，2010)。

台灣水資源的運用主要依靠水庫、壩堰來攔蓄水源，以供輸民生、農業、工業各用水之需求。以 2000 年來說，由水庫攔蓄的水量佔了當年地表可用水量的 41%，倘若沒有這些水庫的攔蓄作用，台灣每年用水不足的壓力就更大了(汪中和，2003)。前一段時間處於缺水、限水的情況，下一段時間卻是水庫爆滿處於洩洪狀態、緊臨河川的下游城市相繼淹水，以上都很明顯的告訴我們一件事情，台灣水環境先天條件的不佳，造成水資源管理的困難。

由於各項水工設計及水資源管理與調配，都須仰賴流量預測方可進行各項策略的研擬，而流量的變化又受到降雨特性的影響；因此，本研究目的則是要探討降雨特性對於流量的影響。台灣降雨時間與空間的分佈不均，造成水資源永續利用的困難；本研究主要探討降雨時間變異性對流

量的影響，期望可以瞭解台灣降雨因時間分佈不均勻的集中型降雨型態，與降雨時間分佈均勻的平均型降雨型態，所導致流量反應的差異。

二、文獻回顧

2.1 降雨對流量的影響

許多研究均證實降雨型態對流量有直接或間接的影響。例如：在王琮美(2005)的研究中提到，逕流量之分布情形，不僅與降雨事件本身有直接關係，更與臨前降雨型態有密不可分之關係。在陳翰霖等人(2007)的研究中，根據歷年各月份逕流量統計發現，每年五月至九月份因為豪大雨較為頻繁，故期間逕流量佔全年比例接近 95%，其中尤以颱風環流雨量影響最大的八月份比例最高達 34%，六月、七月及九月份所佔比例平均值也都各約 20%，顯示豪大雨事件造成每年六至九月份流量豐沛。Karl *et al.* (1995)的研究，說明熱帶地區於夏、秋兩季，因極端降雨事件導致降雨量大增，河川易氾濫成災所述。由國內外研究得知降雨量與時空不均勻的降雨型態，是為降雨問題主要的不確定性因素，而這個降雨時間不均勻的現象，在台灣更是顯著。

2.2 流量模式

由於降雨對流量佔有舉足輕重的影響，眾人對流量做推估的時候，把降雨型態、降雨量等因素納入背景因子，為求其結果更有說服力。例

表 1 流量模式特性比較

模式名稱	AGNPS	GWLF	SWMM	SWAT	HSPF
模擬型態	單一事件	連續事件	連續事件	連續事件	連續事件
時間間隔	小時	月	日	日	小時
資料需求量	中	低	高	高	高
模式複雜度	簡單	簡單	複雜	複雜	複雜

如：張順竹(2004)藉由雨水流動之物理法則，與簡單之降雨出流過程來模式化，就能大致了解其出流現象，以此觀點建構之出流模式即為運動波模式。Sittner *et al.* (1969)採用臨前降雨指標 API 的模式去推估降雨—逕流的關係，以特定的集水區作為研究地區，運用在短的時期，像是暴雨之前的幾個小時，或是幾天的臨前條件。Devries 等人(1993)提出了降雨—逕流模式，把降雨數據資料當作輸入的資料，推求逕流量。

集水區管理規劃即是藉由流量模擬推估結果，作為集水區重要的評估因子(趙于淇，2011)，因此，有許多流量模擬模式的開發且應用在水環境相關領域中。本研究透過文獻回顧，找出通用性較高的五個流量模式，且在綜合比較此等模式後，可知 HSPF 有水文模擬功能強大、精確度高、內含非點源污染模擬等功能，因此，本研究選擇 HSPF 作為流量模擬分析的模式。以下則分別說明常用的五種流量模式：

1. 暴雨逕流管理模式(SWMM)：模式是美國環境保護署為解決日益嚴重的都市排水問題所推出的暴雨管理模式。此模式功能為模擬分析都市排水的水量、水質問題。Jang, Suhyung 等人(2007)利用 SWMM 對都市開發前後產生之洪峰流量做一流量與時間的關係比較，作為設計都市排水之依據。
2. 農業非點源污染模式(AGNPS)：模式之模擬範圍可分為水文、沖蝕及污染三方面。其中的土壤之流失量是由美國土壤保持局之土壤沖蝕萬用公式(USLE)估算(趙于淇，2011)。
3. GWLF 是由康乃爾大學所發展，主要是用於評估農業與都市集水區土地利用之影響的水質模式，(何宗翰，2007)可模擬集水區逕流量、土壤沖蝕，還有應用在溶解磷氮的負載量等。

4. SWAT 由美國農業部發展，模式整合了 CREAMS、GLEAMS 和 EPIC 等模式(Neitsch, 2002)，主要模擬營養物、農藥及沈積物在集水區內之傳輸過程，以評估集水區內不同的土地使用狀況與管理作業下的改變對水文、水質的影響。
5. HSPF 由美國環保署與 Hydro comp Inc.所共同發展，將原本各自獨立的 HSP、ARM 及 NPS 三個模式整合，並進行改良而成的模式。其中 HSP 為集水區水文模式，水文模擬功能強大且精確度高，而 ARM 和 NPS 之功能在於針對農業區之非點源污染模擬。HSPF 模式參數多且集水區相關資料缺乏，因此在模擬率定時須參考其他相關文獻以作為調整參數的依據(黃佳慧，2005)。

本研究將此五個常用的流量模式特性分析，彙整如表 1 所示。本研究選擇 HSPF 作為流量模式的原因，除前述 HSPF 特性所具有之優勢之外，由於本研究探討降雨時間分佈對流量造成的影響，所以模式之選用，即是以模式對資料需求度較高者與時間間隔較短者為主要考量之因素。

三、研究方法

3.1 研究區域

翡翠水庫位於淡水河支流新店溪上游北勢溪上，在龜山合流口上游 2.3 公里之翡翠谷，距臺北市約 30 公里，土水庫集水區總面積約 303 平方公里，包括臺北縣的雙溪鄉、坪林鄉、石碇鄉的大部分地區及新店市之小部分地區，除北勢溪主流外，主要支流包括逮魚堀溪、金瓜寮溪等。本研究把北勢溪流域之區域分為逮魚堀溪子集水區與翡翠水庫集水區，只取逮魚堀溪子集水

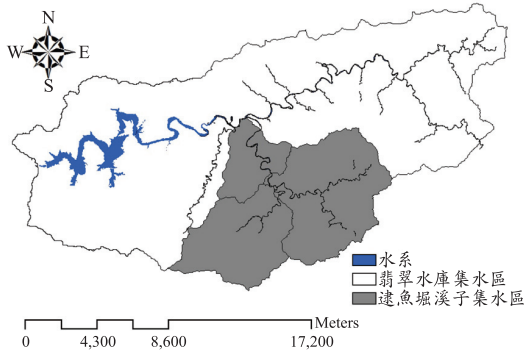


圖 1 翡翠水庫集水區圖

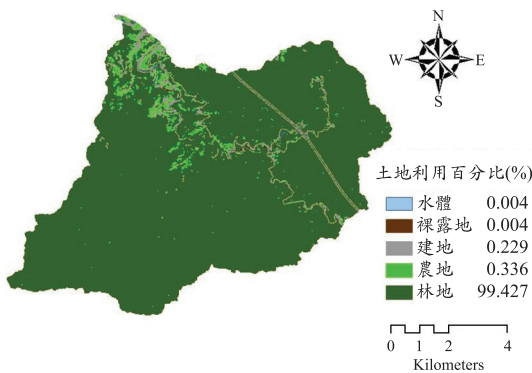


圖 2 遠魚堀溪案例區土地利用圖

區做為研究區域，如圖 1 翡翠水庫集水區圖所示。如圖 2 遠魚堀案例區土地利用所示，本區域約有 99% 為林地組成，農業耕作多沿着河道而密集的分佈，且鄰近道路周圍也較多人為開發的建地。

3.2 模式介紹與應用

Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint sources (BASINS)，由美國環保署 (USEPA) 於 1996 年所發展之多目標環境分析系統，主要三個目的：(1) 提供便利性之環境檢查系統、(2) 發展環境系統分析之工具、(3) 整合管理操作之模式。Basins 系統概觀，分為輸入資料、資料前置處理、集水區模式、決策分析四項工具組織架構而成。

BASINS 整合系統下之 HSPF (Hydrological Simulation Program Fortran) 模式為美國環保署

(USEPA) 與 Hydro comp Inc. 所共同發展之非點源污染模式，是集合水文、水理、水質於一體之連續模擬程式，模擬複雜的非點源污染傳輸過程。HSPF 模式以降雨、溫度、日照強度、土地利用型態、土壤特性和農業耕作方式作為基本輸入資料，根據基本輸入資料，HSPF 模式最初模擬結果為水量、水質隨時間之變化，自地表經過不同土壤層至地下含水層之傳輸狀況，可預測逕流量、泥砂運移量、營養物、殺蟲劑、毒性物質及其它水質成份的濃度。

本研究採用 HSPF 模式進行水量模擬，其 HSPF 模式中含有三個模組，分別為透水區模組、不透水區模組、河道模組，本研究主要使用到透水區模組下的 PWATER 副程式與不透水區模組下的 IWATER 此兩種副程式，其中兩個副程式下有四個較為主要的副程式，分別為 ICEPT、UZINF、INTELW、UZONE。以下說明其副程式之通用方程式。

- (1) ICEPT：模擬草木或其他覆蓋之截留水量公式，如公式(1)。CEPSC 代表截留水量、IMAXC 最大截留量、CP(t) 地表土壤被草木覆蓋的比率。

$$CEPSC = IMAXC \times CP(t) \dots\dots\dots (1)$$

- (2) UZINF：分配至上層土壤水量之直接逕流量式中 FRAC 表示進入上層土壤之直接逕流比例，UZRAT = UZS/UZSN，其中 UZS 代表上層土壤含水量(in)，UZSN 為上層土壤名義含水量(in)，當 UZRAT ≤ 2，如公式(2)所示，若 UZRAT > 2，則是以公式(3)表示之。

$$FRAC = 1 - (UZRAT/2) \times (1/(4 - UZRAT))^{(3 - UZRAT)} \dots\dots\dots (2)$$

$$FRAC = (0.5/UZRAT - 1)^{(2 \times UZRAT - 3)} \dots\dots\dots (3)$$

- (3) INTELW：模擬中間流 IFWO 代表中間流 (in/hr)，INFLO 表中間流之入流量 (in/hr)，IFWS 是每個啓始時間之中間流蓄水量 (in)，IRC 是中間流之每日退水參數，DELT60 代表每個時間間距之小時數，如公式(7)。

$$IFWK1 = 1 - (IFWK2/KIFW) \dots\dots\dots(4)$$

$$WK2 = 1 - EXP(-ALOG(IRC)) \times (DELTA60/24) \dots\dots\dots(5)$$

$$KIFW = -ALOG(IRC) \times (DELTA60/24) \dots\dots\dots(6)$$

$$IFWO = (IFWK1 \times INFLO) + (IFWK2 \times IFWS) \dots\dots\dots(7)$$

(4) UZONE：模擬上層土壤水量之運作 PREC 為上層土壤往下層之滲漏量(in/hr)，INFFAT 是考量融雪比例，UZSN 是上層土壤名義含水量(in)如公式(10)所示。

$$ZRAT = UZS/UZSN \dots\dots\dots(8)$$

$$LZRAT = LAS/LZSN \quad (9)$$

$$PREC = 0.1 \times INFILT \times INFFAC \times UZSN \times (UZRAT - LZRAT)^3 \dots\dots\dots(10)$$

模式應用一開始必須先收集到研究區域的 GIS 相關資料(土地利用、高程、邊界)與氣象資料(降雨、蒸發、溫度、風速、日幅射、蒸發散潛勢、露點溫度、雲覆蓋量、流量資料)，再製作氣象檔並進行 BASINS 的執行。在執行 BASINS 的時候需先建立一個新的專案，輸入圖層資料，載入先前製作好的氣象檔，再將圖層資料、觀測資料匯入 HSPF，執行 Win-HSPF，如圖 3 模式建置之流程圖所示。本研究是以 2007 年氣象條件之參數率定，2008 年氣象條件之參數驗證，並以 2008 年年降雨量進行情境分析。

3.3 評鑑指標

本研究在進行模式率定及驗證工作時，為鑑定模式模擬結果之成效，因此，採用相關性(R²)與洪峰誤差百分比(EQ_p)兩種客觀的指標，用來評鑑流量模擬結果的優劣及特性差異。

3.3.1 相關性(R²)：

林震岩(2006)提到，R² 值表示獨立變數和相依變數之間的關係力量，也就是說本指標代表的是一個迴歸模式的解釋能力。如式(1)所示，n 代表樣本數，O_i 與 P_i 分別為的第 i 個觀測值和模擬

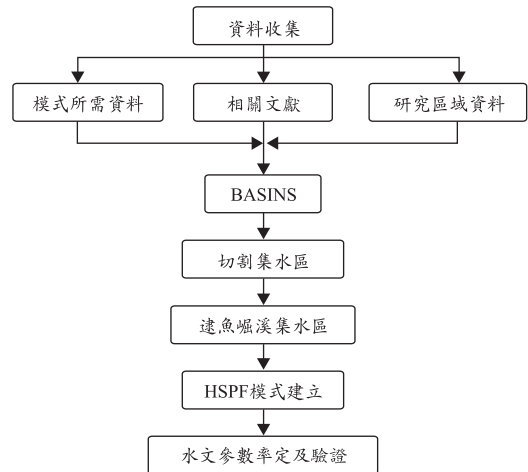


圖 3 模式建置之流程圖

值，而 \bar{O} 與 \bar{P} 則是觀測平均值和模擬平均值，如公式(11)所示。若 R² 值越趨近 1，則表示越能掌握模擬的趨勢。

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right]^2 \dots\dots\dots(11)$$

3.3.2 洪峰誤差(Error of peak Discharge, EQ_p)：

$$EQ_p = \frac{P - O}{O} \dots\dots\dots(12)$$

公式(12)中 P 為模式推估之洪峰流量(cms)，O 為觀測之洪峰流量(cms)；若 EQ_p > 0，表示模式推估洪峰值大於觀測洪峰值，反之則表示模式推估洪峰值小於觀測洪峰值。

3.3.3 均方根誤差(Root Mean Square Error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [P_i - O_i]^2} \dots\dots\dots(13)$$

如公式(13)其中 P_i 為 i 時刻的預測值，O_i 為 i 時刻的流量實測值。此指標表示預測值與實測值之間的離散性，並用平方後開根號的方式，消除相對誤差的盲點，最佳值為 0，指標越大代表誤差越大。

3.3.4 效率係數(Model efficiency, EF)

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (\bar{O} - O_i)^2} \dots\dots\dots(14)$$

由鄭士仁等人(2007)提到，P 為模式推估之流量(m³/s)；O 為觀測之流量(m³/s)； \bar{O} 為觀測流量之平均值(m³/s)。當 CE 值愈趨近於 1 時，表示模擬結果與實際資料愈密合，精確度愈高。

3.4 降雨特性之情境設計

本研究要探討降雨特性與集水區流量模擬結果間的相關性，因此，主要探討的降雨特性包含兩大類，如圖 4 降雨時間分布之情境分析流程圖所示。

第一類平均型方法為在氣象檔中降雨資料的每日每時降雨量由原始數值變成為年總降雨量平均分配到每日每時降雨量，再以 HSPF 模擬其流量變化與原降雨量下此區域的流量變化差異。

第二類集中型降雨量分為(1)集中於 9 月 16 日到 9 月 20 日等 5 天，(2)集中於 9 月 11 日到 9 月 20 日等 10 天，(3)集中於 9 月 1 個月，(4)集中於 7 月到 9 月等 3 個月，與(5)集中於 5 月到 10 月等 6 個月，共計五種類型。而其方法以此為例在氣象檔中降雨資料的每日每時降雨量由原始數值變成為年總降雨量平均至此 5 天，再分別進行 HSPF 模擬流量以得知兩者與其個別流量值變化之差異，集中 10 天、集中 1 個月、集中 3 個月、集中 6 個月此四種方法同集中 5 天的方法所述。

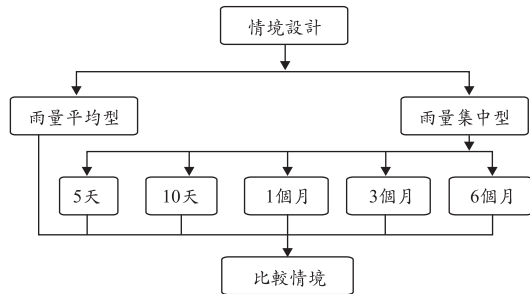
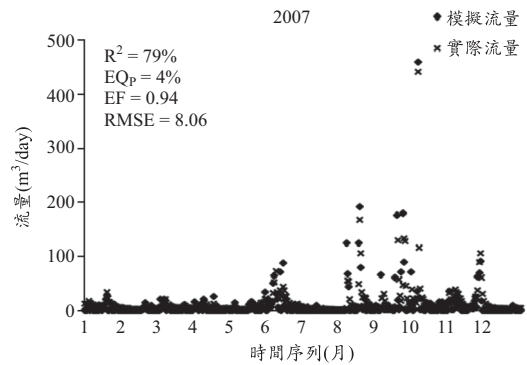


圖 4 降雨時間分布之情境分析流程圖

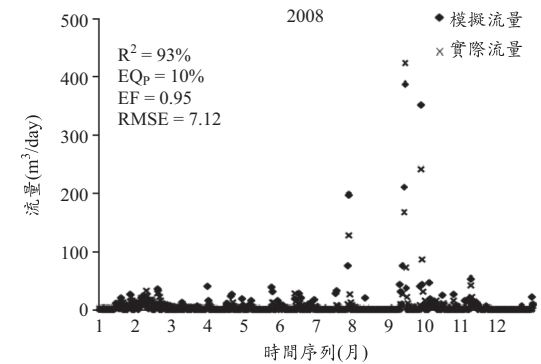
四、結果與討論

4.1 模式率定及驗證結果

本研究選用資料完整且流量有明顯變化時期之降雨情形，進行率定驗證且模擬連續暴雨之日流量變化。表 2 為本研究應用 HSPF 模式模擬流量，經率定及驗證後，所有水文參數值之彙整表；由圖 5(a) 2007 年模式率定結果及圖 5(b) 2008 年模式驗證結果可以得知，根據評鑑指標，R² 在 2007 年逮魚堀溪的數值為 79%，在 2008 年的數值更高達 93%；模式率定及驗證的 EQ_p 指標值，分別是 4%、10%；模式率定及驗證的 EF，分別是 0.94、0.95；模式率定及驗證的 RMSE，則分別為 8.06、7.12。由此結果顯示，在模式在初期參數率定及驗證階段，已建立相當良好的模擬基準，無論是流量模擬趨勢或是洪峰流量的預測，均是可信度佳的模擬結果。



(a) 2007 年率定結果



(b) 2008 年驗證結果

圖 5 流量模擬之率定與驗證

表 2 逮魚溪子集水區水文參數

參數名稱	定義	單位	範圍值*	率定參數值
PWATER 副程式				
INFILT	入滲能力指標	in/hr	0.0001~100	0.1
LSUR	漫地流長度	ft	≥ 1	400
SLSUR	漫地流坡度	-	1×10 ⁻⁷ ~10	0.011
KVARY	地下水出流參數	l/in	0	0.1
AGWRC	地下水退水率	l/day	0.001~0.999	0.98
LZETP	下層土壤蒸發散參數	-	0~0.999	0.1
CEPS	截留儲存量	in	0~100	0.01
UZS	上層土壤儲存量	in	0.001~100	55
IFWS	中間流儲存量	in	0~100	0.01
CEPS-C	截留量	in	0~10	0.1
UZSN	上層土壤名義含水量	in	0.01~10	0.05
NSUR	曼寧 N 值	-	0.001~1	0.2
INTFW	中間流入流參數	-	≥ 0	0.1
IRC	中間流退水率	l/day	1.0E-30~0.999	0.2
LZS	下層土壤儲存量	in	0.001~100	4.5
AGWS	活動地下水流儲存量	in	0~100	0.01
GWVS	地下水坡度指標	in	0~100	0.01
IWATER 副程式				
LSUR	漫地流長度	ft	≥ 1	150
SLSUR	漫地流坡度	-	1.0E-7~10	0.3
NSUR	曼寧 N 值	-	0.001~1	0.35

*參考資料：模式手冊(Bicknell, 2001)

4.2 降雨特性對流量模擬之影響性分析

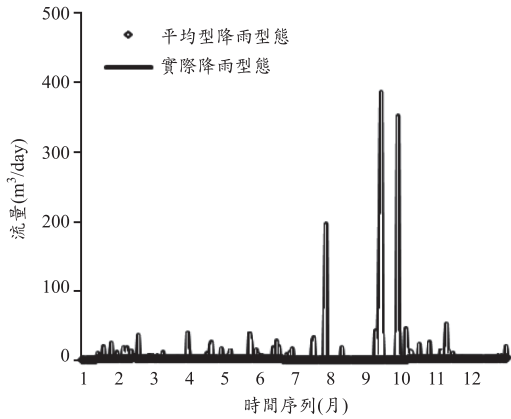
4.2.1 雨量平均型

本研究將 2008 年的降雨資料輸入，進行流量模擬，可知洪峰流量為 388 m³/day。若將 2008 年的降雨平均分配到每一天，即「第一類的平均型降雨」的型態，根據流量模擬結果如圖 6(a)平均型降雨之流量模擬結果可知，平均型降雨的洪峰流量為 3.32 m³/day。2008 年真實降雨型態，因時間分佈不均勻，造成洪峰流量為平均型降雨型態的 117 倍之多。由此可知，降雨時間分佈的情況是導致流量總值與洪峰流量結果大小的主要原因之一，洪峰流量的增減，也是洪水災害產生與否的主要原因之一。

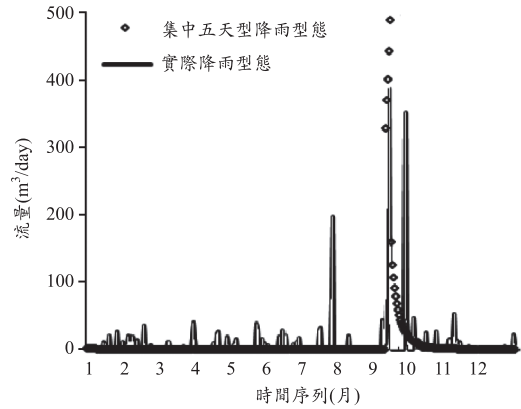
4.2.2 雨量集中型

本研究討論「第二類集中型降雨」的型態，將 2008 年的降雨分配到集中的 5 天、10 天、1 個月、3 個月及 6 個月，分別討論在此等降雨集

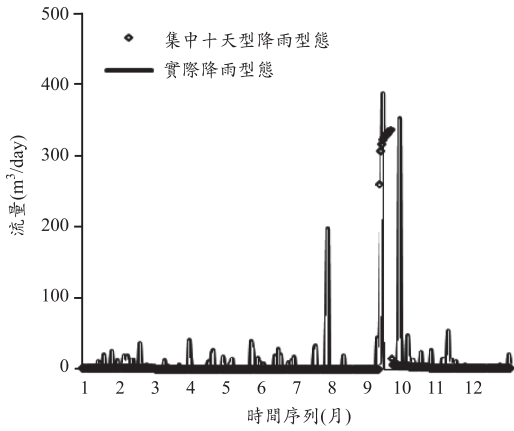
中型態下，流量模擬結果的差異。圖 6(b)、(c)、(d)、(e)、(f)集中型降雨之流量模擬結果可知，集中 5 天型、集中 10 天型、集中 1 個月型、集中 3 個月型及集中型 6 個月型所模擬出之洪峰流量，分別為 490 m³/day、335 m³/day、113 m³/day、34.2 m³/day 及 11.8 m³/day。由此結果顯示，2008 年真實降雨型態的洪峰流量結果，介於集中 5 天型與集中 10 天型的模擬結果之間，此結果顯見台灣降雨時間過於集中的現象，非常的顯著，造成極大的水環境風險，也使得水資源管理相當不易。集中 1 個月型、集中 3 個月型及集中型 6 個月型降雨型態下之洪峰流量，亦遠小於真實降雨型態下的洪峰流量，若以過去我們常用的豐枯季節的集中 6 個月型降雨進行模擬，恐會發生低估洪峰流量的情形，而造成不恰當的水工設計或防洪規劃。



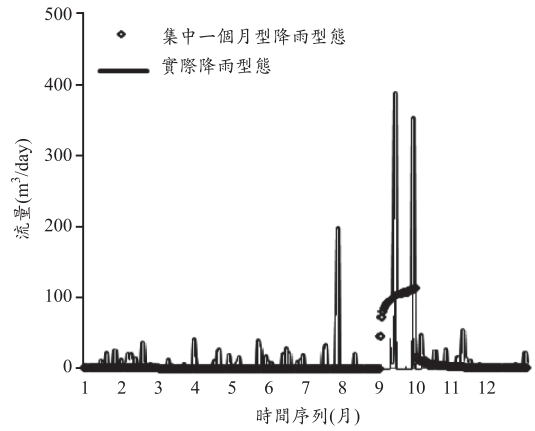
(a)平均型降雨之流量模擬結果



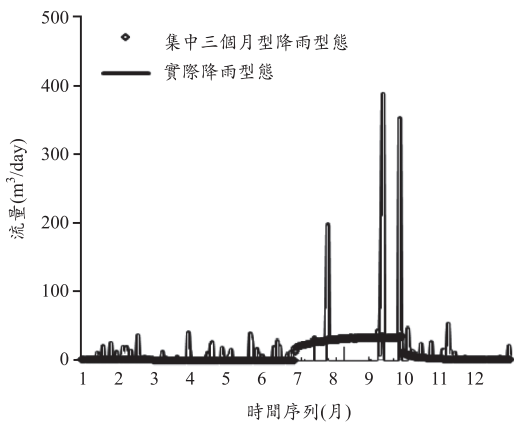
(b)集中5天型之結果圖



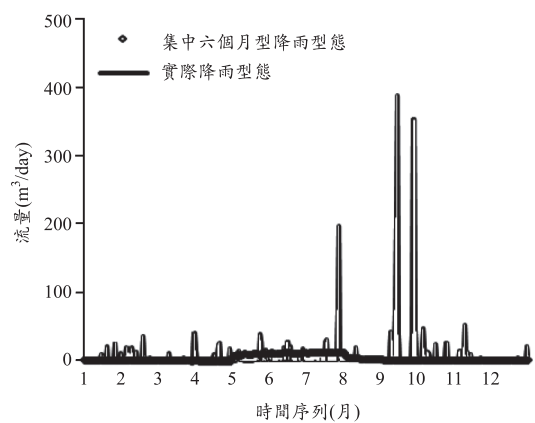
(c)集中10天型之結果圖



(b)集中1個月型之結果圖



(e)集中3個月型之結果圖



(f)集中6個月型之結果圖

圖 6 不同降雨情境之流量模擬結果

表 3 極端暴雨事件於 2008 年資料整合表

鳳凰			新樂克			蕃蜜		
項目	降雨量	流量	項目	降雨量	流量	項目	降雨量	流量
單位	mm	m ³ /day	單位	mm	m ³ /day	單位	mm	m ³ /day
7 月 26 日	27.58	0	9 月 9 日	93.02	2	9 月 25 日	0.61	1.1
7 月 27 日	120.58	7.9	9 月 10 日	45.05	8.4	9 月 26 日	4.21	0.9
7 月 28 日	264.6	128	9 月 11 日	28.22	6.8	9 月 27 日	77.36	7.5
7 月 29 日	7.8	25.7	9 月 12 日	101.99	26.6	9 月 28 日	480.55	24.2
7 月 30 日	0	11.5	9 月 13 日	299.95	167	9 月 29 日	65.41	86.1
7 月 31 日	0	6.5	9 月 14 日	523.77	425	9 月 30 日	11.43	30.8
-	-	-	9 月 15 日	52.21	72.1	10 月 1 日	0	14.4
-	-	-	9 月 16 日	0	21.4	10 月 2 日	0	7.9
-	-	-	9 月 17 日	0	9.6	-	-	-
總降雨量(mm)	420.56	-	總降雨量(mm)	1144.21	-	總降雨量(mm)	639.57	-
佔年降雨量之百分比(%)	8.53	-	佔年降雨量之百分比(%)	23.22	-	佔年降雨量之百分比(%)	12.98	-

4.3 綜合討論

本研究蒐集 2008 年的極端暴雨事件，共計有三場(如表 3 所示)，分別為鳳凰颱風、新樂克颱風、蕃蜜颱風所造成的極端暴雨事件。此三場暴雨事件所帶來的總雨量為 2727.6 mm，佔全年總降雨量的 44.73%，約達全年降雨之 45%；其中新樂克颱風為 2008 年規模最大的暴雨事件，其總降雨量為 1144.21 mm，佔全年總降雨量之 23.22%，降雨天數分別是鳳凰颱風為 4 天、新樂克颱風為 7 天、蕃蜜颱風為 6 天；其中符合中央氣象局所制定雨量規則之大豪雨與超大豪雨的降雨天數分別為 4 天與 2 天，從降雨天數來看與本研究前述降雨情境分析之結果較為相符。由上述可知，台灣年降雨量雖豐沛，但多數降雨均集中在少數幾天，此情況可能是造成台灣的水資源利用較為困難的主要原因之一。

五、結論與建議

5.1 結論

1. 由模擬的模式得其相關流量數值與情境分析做比較，可得出兩個結論，其一為降雨時間分佈的情況與總流量和洪峰流量的增減有密切的關係；其二從「第二類集中型降雨」的型態中更突顯台灣降雨時間分佈的問題其重要性。

2. 第一類為年降雨量平均類，降雨時間分佈均勻時，洪峰流量可大幅下降；反之，降雨時間分佈不均時，洪峰流量可能有比平均值高上百倍的數值產生。

3. 第二類為年降雨量集中變化類，從 2008 年真實洪峰流量結果介於集中 5 天型與集中 10 天型的模擬結果，由此可知台灣在降雨時間分佈極度不平均。水資源管理及相關水工設計，若未在合理的模擬結果下進行，恐發生極為不恰當之設計產生，進而導致災害發生與增加水資源永續利用的難度。

5.2 建議

1. 對於降雨時間空間分布的瞭解，可以對洪峰流量推估更有效的掌握，以減少因預測誤差，所造成不當的水資源規劃或是錯誤的水工設計。

2. 在氣候變遷如此劇烈的現今，政府單位在水資源政策這方面，可能應進一步的跟進，因實際情況之需求改善其政策，以達到符合現今社會所需之水資源政策。

參考文獻

1. 張順竹(2004)，坡地旱田降雨逕流分析研究，國立中興大學土木工程研究所，碩士論文。

2. 王琮美(2005), 降雨條件與集水區出流量關係之探討, 國立中央大學土木工程研究所, 碩士論文。
3. 黃佳慧(2005), 以 HSPF 營養鹽模組討論農業對水庫非點源污染負荷的貢獻, 國立成功大學環境工程研究所, 碩士論文。
4. 林震岩(2006), 多變量分析 SPSS 的操作與應用, 智勝出版社。
5. 陳翰霖、張瑞津(2007), 曾文溪流域豪大雨事件的流量及輸沙量, 地理研究報告, 第 48 期, 第 43-65 頁。
6. 趙于淇(2011), 空間資料解析度對集水區流量模擬影響性之研究, 逢甲大學土木及水利工程研究所, 碩士論文。
7. 何宗翰(2007), 氣候變遷影響集水區氮磷輸出之研究, 國立中央大學土木工程研究所, 碩士論文。
8. 汪中和(2003), 台灣水庫的現況, 環境資訊中心網頁 <http://e-info.org.tw/column/earthday/2003/ea03052201.htm>。
9. 張惠雯 (2010), 台灣地區 21 世紀末之降與頻率分析, 國立台灣海洋大學河海工程研究所, 碩士論文。
10. 鄭士仁、周建明、潘宗毅、李如晃(2007), 指數型串聯線性水庫於河川逕流分量之演算, 農業工程學報, 第 53 卷, 第 2 期。
11. Jang, Suhyung, Cho Minock and Yoon Jaeyoung. (2007). Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment, *Desalination* Vol. 212(1-3), 344-356.
12. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., King, K.W. (2002). Soil and Water Assessment tool theoretical documentation, version 2000, Agriculture Research Service.
13. Devries, J.J. and Hromadka, T.V. (1993). Computer models for surface water. In: Maidment, D.R. (Ed.), *Handbook of Hydrology*, chap.21. McGraw-Hill, New York.
14. Sittner, W.T., Schauss, C.E., Monroe, J.C. (1969). Continuous hydrograph synthesis with an API-type hydrologic model. *Water Resource Res.*5, 1007-1022.
15. Karl, T.R., Knight, R.W. and Plummer, N. (1995). Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century, *Nature*, 377(21), 217-218.
16. Bicknell, B.R., Imhoff C., Kittle, J.L., Jobs, T.H., Donigian, A.S. (2001). *Hydrological Simulation program-FORTRAN-HSPF Version 12 user's manual*, U.S. Environmental Protection Agency.

收稿日期：民國 101 年 8 月 20 日
修正日期：民國 101 年 10 月 16 日
接受日期：民國 101 年 10 月 23 日