

水庫水資源預測及調配模擬之技術發展

Development of Simulation Method for Predicting and Allocating Water Resource in the Reservoir

吳祥禎¹

Wu, Shiang-Jen

連和政¹

Lien, Ho-Cheng

許至璉¹

Hsu, Chih-Tsung

¹ 國家實驗研究院國家高速網路與計算中心

摘要

本計畫考量降雨特性(事件發生次數、降雨延時、降雨量、降雨事件間隔時間及雨型)之不確定性為基礎，整合多變數蒙地卡羅模擬法以建置降雨長期模擬機制之架構，並與Sacramento soil moisture accounting (SAC-SMA)逕流模式整合為序率入庫流量推估模式，最後再採用Ribasim水資源調配模式進行水庫水資源預測及調配模擬。本計畫採用研究區域(曾文水庫)2005-2012年時雨量資料，進行序率入庫流量推估模式及Ribasim水資源調配模式之建置。由降雨特性不確定性分析果顯示曾文水庫集水區每年降雨事件發生次數具有明顯的變異性，且降雨延時之變異性小於降雨量及降雨間隔時間，且降雨量及間隔時間呈現負相關，容易造成當降雨延時及降雨量減少時，事件間隔時間卻增加，以致乾旱事件發生風險亦隨之升高。此外，不同降雨雨型皆有可能發生於此集水區，故雨型亦存在明顯的不確定性。另由入庫旬流量序列模擬結果可知，最大旬流量約為1000 m³/s，且高旬流量大多發生在6月~8月，而低旬流量約發生在9月~12月平均約為500 m³/s。最後，由Ribasim模式所得水庫旬出流量模擬結果得知，在考量降雨特性之不確定性下，1、3、8及9月水庫供水量可能具有較大的不確定性，進而影響曾文水庫提供給下游各取水工及自來水廠之供水量。

關鍵詞：降雨特性、降雨事件模擬、入庫流量、水資源調配

Abstract

This study proposes a stochastic inflow estimation model for the reservoir by taking into account the uncertainties in the rainfall characteristics, including the annual number of the rainstorm events, rainfall duration, depth, inter-event time and storm pattern. The proposed stochastic inflow estimation model is developed by incorporating the non-normal correlated variables Monte Carlo simulation into the Sacramento soil moisture accounting (SAC-SMA) rainfall-runoff model. Then, a water resource allocation model (Ribasim) is adopted to estimate the outflow for the reservoir treated as the water

resource for the associated water-supply system with the simulated inflow from the stochastic inflow estimation model. The variation in the reservoir outflow and water resource can be evaluated in accordance with the results from the Ribasim model integrating with the proposed stochastic inflow estimation model. The Tseng-Wen Reservoir watershed is selected as the study area and associated recorded hourly rainfall and discharge from 2005 to 2012 are used in the model development and application. The results indicate the annual number of the rainstorm events has a significant variation. In regard to the remaining rainfall characteristics, the coefficient of variation (CV) of the rainfall duration is less than the CVs of the rainfall depth and inter-event time, and the rainfall depth is negatively related to the inter-event time. This possibly leads to the drought risk attributed to the long inter-event times in association with the low rainfall depth. In addition, various types of the storm patterns may take places in the study area. In summary, there are obvious uncertainties in the rainfall characteristics which result in the variation in the inflow for the Tseng-Wen Reservoir. With respect to the uncertainty analysis for the inflow, the high ten-day inflow frequently occurs from Feb to May at the maximum value of $1000 \text{ m}^3/\text{s}$; whereas, the low ten-day inflow (on average $500 \text{ m}^3/\text{s}$) would be measured in the remaining months. Eventually, Through the uncertainty analysis for the ten-day outflow resulting from the Ribasim model, there are significant variation in the ten-day outflow on January, March, August and September under consideration of the change in the rainfall characteristics. This reveals that the aforementioned variations in the ten-day outflow impact the reliability of the water supply from the Tseng-Wen Reservoir with high likelihood.

Keywords : Rainfall characteristics, rainstorm simulation, reservoir inflow, . Water Resources Allocation

一、前言

由於氣候變遷，水庫集水區之降雨變異性加大，流量呈現兩極化而有很高的不確定性。然而，水庫在台灣水資源的存蓄與分配上扮演相當重要的角色，若入庫流量具有高度的不確定性，則會造成水庫蓄水量變異程度加大而影響各種供水量，對社會、經濟與民生造成直接的衝擊。此外，長期而言，水庫集水區崩塌的土石被降雨逕流運移至庫區內淤積時，會減少水庫的有效庫容而逐漸減少蓄水量影響可分配的有效水資源。因此，在有限的水資源條件下，如何使水資源做到最有效利用，則有賴水資源調配模擬。因此，本計畫擬發展考量降雨變異性之入庫流量序率推估模式，並採用Ribasim水資源調配模式進行水庫水資源預測及調配模擬，且以曾文水庫集水區為應用案例。期使未來可透過集水區降雨特性分析，將降雨推估資料轉化成水庫進流量的推估，評估入庫流量受降雨變異性之影響程度，可提供乾旱預警分析與水資源規劃之參考

二、研究方法

本計畫主要整合前述所發展一長期降雨模擬機制，並應用SAC-SMA模式且配合本計畫所率定之參數最佳值，建置一入庫流量序率推估及水資源調配架構(如圖1所示)。由圖1可知，此入庫流量序率推估架構主要包括(1)降雨特性分析、(2)水庫SAC-SMA模式參數率定、(3)年降雨序列之衍生；(4)序率入庫流量推估及(5)出庫流量推估及水資源調配：

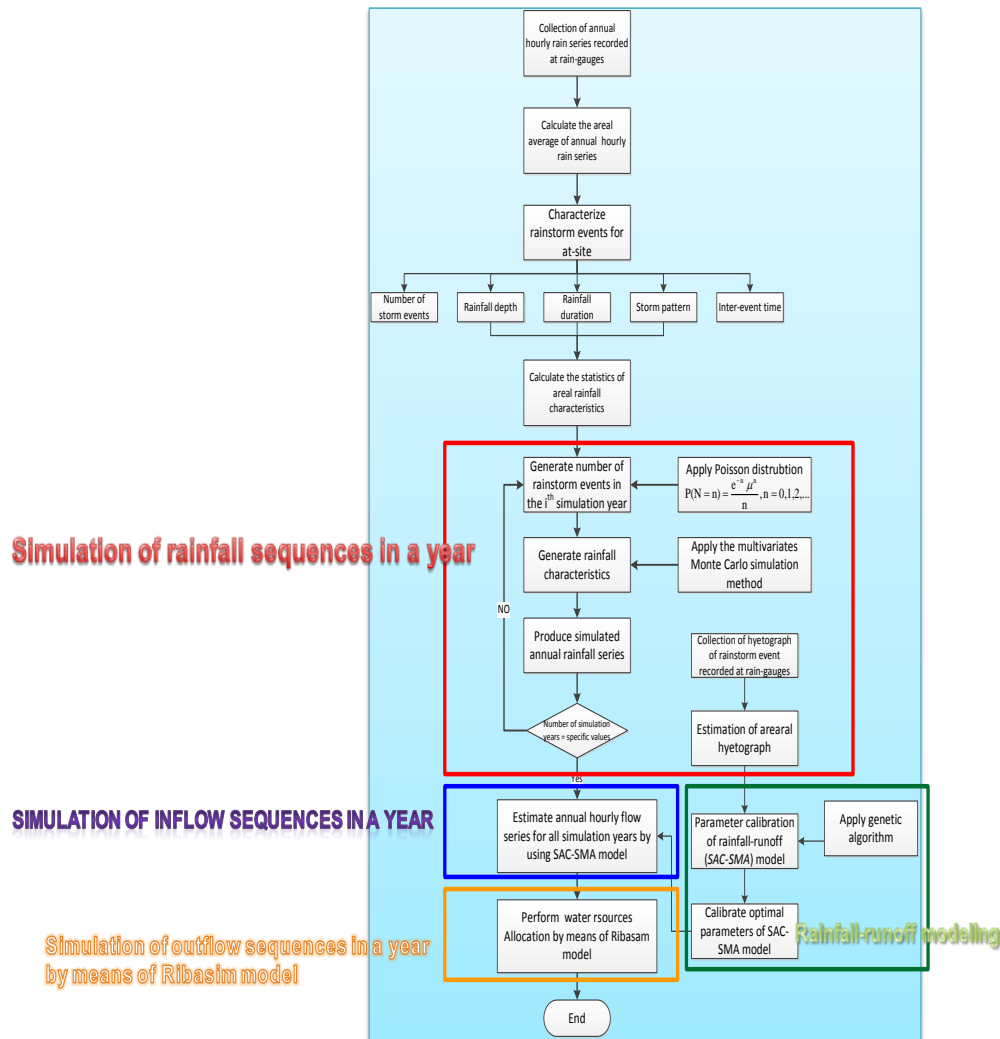


圖 1 序率入庫流量推估模式架構

茲將上述所用方法及理論說明如下

2.1 降雨特性模擬機制

降雨序列主要由不同場次之降雨事件所組合而成，而各降雨事件又由不同之降雨延時、雨量、雨型及事件間隔時間所組成(如圖2所示)，故降雨事件發生次數(Number of Rainstorm)、降雨延時(Storm Duration)、雨量(Rainfall Depth)、雨型(Storm Pattern)及事件間隔時間(Inter-event Time)為組成降雨序列之基本元素，稱之為降雨特性(Wu et al., 2006)。

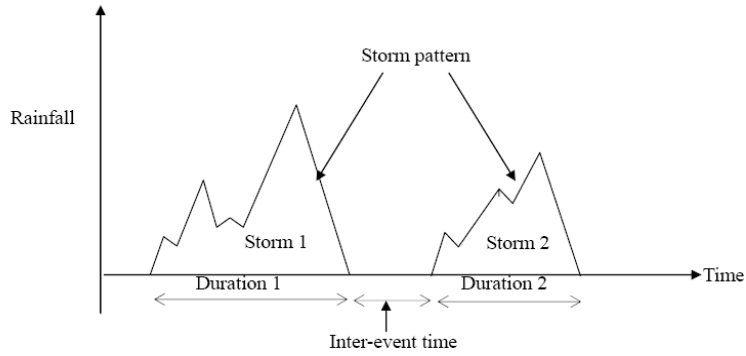


圖2 降雨特性定義

本計畫採用Wu et al.(2006)以非常態多變量蒙地卡羅模擬法(Chang et al., 1994)為基礎，針對各降雨事件之統計特性來發展一套隨機降雨序列模擬機制(Stochastic Rainfall Series Generation, SRSG, Model)，並依降雨特性將模式區分成三部份：(1)降雨事件發生次數之模擬；(2)降雨延時、雨量及事件間隔時間之模擬；及(3)雨型之模擬(如下圖所示)：

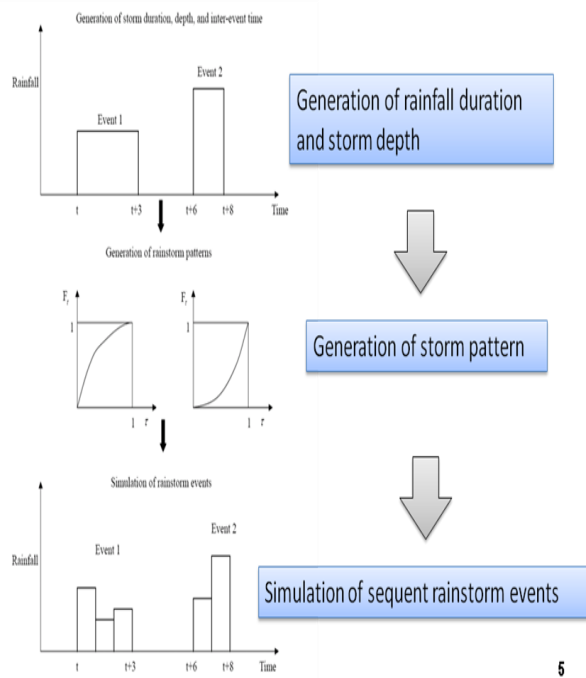


圖3 降雨長期模擬機制衍生降雨序列模擬過程

在實際水文系統中，降雨量通常隨著延時增加而增加，且在雨季時降雨事件多且密集，相對地各事件間隔時間縮短。相反地，在旱季時，降雨事件少連帶著間隔時間增長。由這些水文現象可知，降雨延時、總雨量及事件間隔時間彼此之間存在著某種程度上的相關性，且具有不同的統計特性(包括機率分佈函數種類)，更詳細來說降雨延時、雨量及事件間隔時間為非常態(Non-normal)且具有相關性之變數。由於此類隨機變數不易建立聯合機率分佈函數，使得模擬其值相當困難。Chang 等(1994)發表了一套應用多變量的邊際機率分佈函數(Marginal Probability Distribution)

及變量之相關係數配合蒙地卡羅方法之模擬方法(Multivariate Monte Carlo Simulation, MMCS, Method)。MMCS 法除了傳統蒙地卡羅法模擬變量外，包含標準常態轉換(Normal Transformation)、正交轉換(Orthogonal transform)及等逆轉換(Inverse Transform)三個步驟(如圖 4 所示)

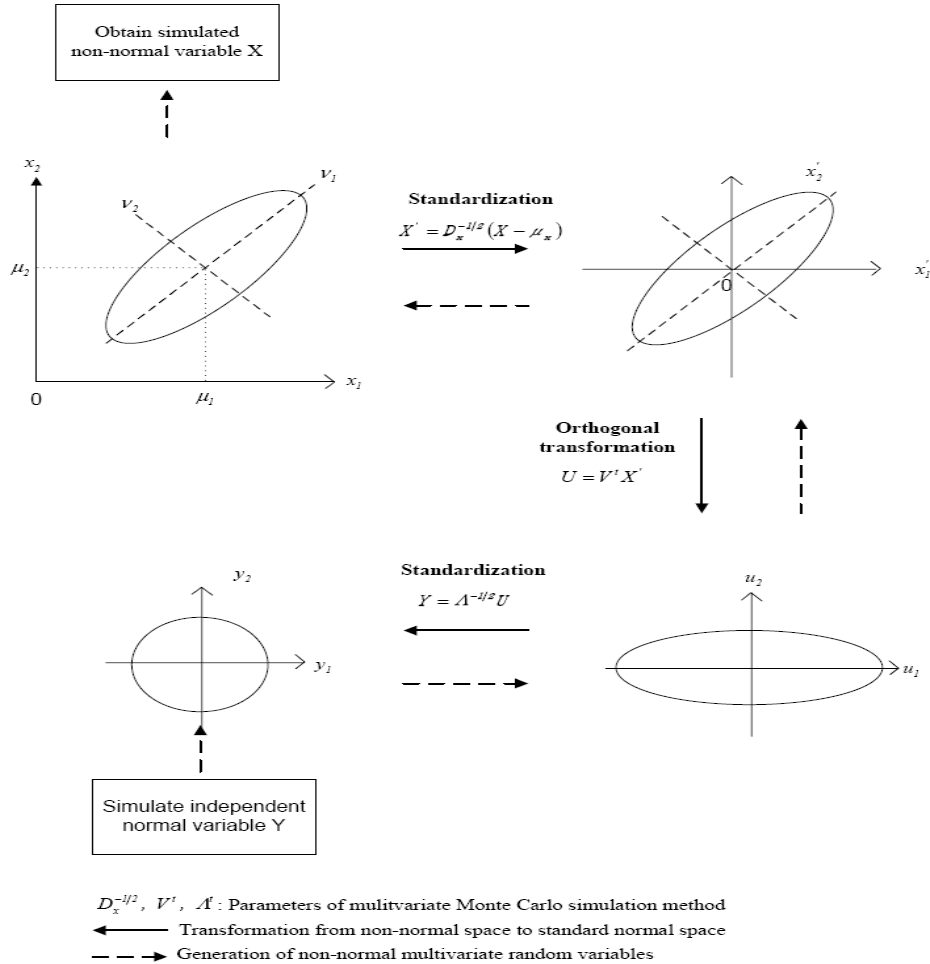


圖 4 非常態多變量蒙地卡羅模擬法之模擬程序(Chang et al., 1996)

2.3 水庫入庫流量推估模式及參數率定

本計畫評估數種應用於台灣之降雨逕流模式(例如單位歷線、合理化公式、貯蓄函數、LST 水筒模式、及 Sacramento Soil Moisture Accounting, SAC-SMA)之理論、參數率定難易度、模式限制及長短期模擬可行性，綜合比較後發現 SAC-SMA 模式可完整模擬集水區降雨-入滲-逕流等水文過程，故採用 SAC-SMA 模式作為入庫流量推估模式，雖 SAC-SMA 模式需率定 18 參數值，但可採用 Wu et al.(2011)針對多參數率定所發展之改良基因演算(GA_SA)法檢定水庫 SAC-SMA 模式參數之率定。茲將 SAC-SMA 降雨逕流模式及 SA_GA 參數率定法說明如下：

2.3.1 SAC-SMA 模式

Sacramento Soil Moisture Accounting (SAC-SMA)降雨-逕流模式，該模式係以史丹福集水區模式(Stanford watershed model)為基礎，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，為一以物理機制為基礎之模式(physically

based model), 整體架構如圖5所示。

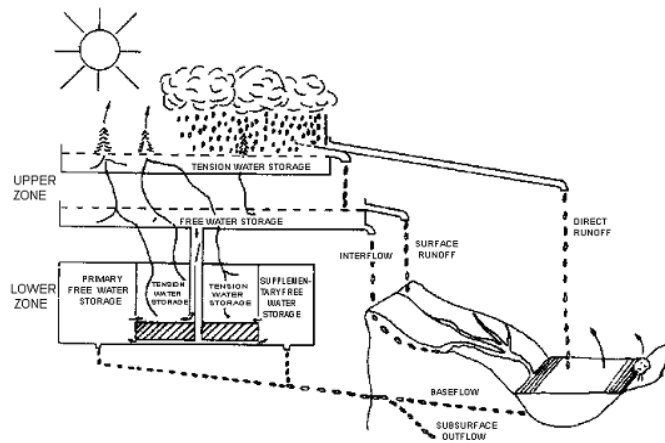


圖5 SAC-SMA降雨逕流模式架構圖

由圖5可知SAC-SMA模式主要區分為二部分，一為超滲降雨量計算，另一為降雨逕流轉換。茲將其所包含的參數說明如下：

1. 超滲降雨量計算：

SAC-SMA 模式主要採用水筒模式概念計算地表之入滲過程，將降雨量扣去所算得入滲損失，即可求得超滲降雨。此一部份計有 17 個參數。其中有 5 個參數用於定義土壤濕度、6 個用於決定側入流量、3 個用於上區流入下區的土壤濕度計算、2 個用於計算直接逕流，3 個參數用於計算降雨損失包括蒸發量。

2. 降雨-逕流轉換：

SAC-SMA 模式採用逕量分布函數將某時刻超滲降雨轉換為逕流量，因此所需率定之參數為單位歷線。其中需注意的是在此一單位歷線與一般水文分析常用之單位歷線定義有所不同，主要為流量在時間上之分布函數(Distribution function)，也就是流量在每一時間上之分配比率(Distributed ratio)。本計畫採用三角型單位歷線法推估流量分布函數。綜合上述，SAC-SMA 模式共計需率定 19 個參數，各參數意義整理如下表所示：

表 1 SAC-SMA 模式參數及其物理意義說明

參數	定義
PCTIM	永不透水面積比例
ADIMP	額外不透水面積比例
SARVA	透水飽和面積比例
UZTWM	上層張力水最大值(mm)
UZFWM	上層自由水最大值(mm)
UZK	上層自由水排水係數(1/day)
ZPERC	下層區域最大入滲需求係數
REXP	入滲指數
PFREE	直接進入下層自由水之滲透水比重
LZTWM	下層張力水最大值(mm)
LZFSM	下層淺層自由水最大值(mm)
LZSK	下層淺層自由水日排出係數(1/day)
LZFPM	下層深層自由水最大值(mm)

LZPK	下層深層自由水日排出係數(1/day)
RESERV	下層自由水容量不參與蒸發之比例
SIDE	基流量傳送損失係數
SSOUT	河川損失量(m ³ /s/km ²)
DF_T	三角型逕流分佈歷線基期
DF_P	三角型逕流分佈歷線最大值

2.3.2 SA_GA 參數率定法

基因演算法是利用達爾文 (Darwin) 學說的進化論 (On the Origin of Species by Means of Nature Selection) 中生物演進機制-「物競天擇, 適者生存」法則來進行優選, 結合了自然界的類比、數學分析和電腦技術的一種搜尋程序, 目的是解決或是解析解不易求得的最佳化問題。也就是基因演算 (GA) 是利用平行的演算結構來進行, 與以往的演算法一次取一點來計算不同, GA 以適合度函數為依據, 透過群體個體施加遺傳操作實現群體內個體結構重組的疊代處理過程。基因演算法雖然能成功求解許多不同的問題, 並廣泛應用在各個領域上, 然而在結合較複雜模式演算時, 若參數編碼採用二位元時, 可能因參數數目多而使基因複製、交配、突變與適應函數計算等工作相當費時, 因此 Wu et al.(2011)採用實數編碼方式將參數編碼為標準常態值 z ($-1 \leq z \leq 1$), 並在突變階段應用蒙地卡羅模擬(Monte Carlo Simulation)法產生新的參數標準常態值, 且經由各參數預設之平均值及標準偏差, 將參數標準常態值轉換至實際參數值, 並代入模式演算以計算新的適應函數值。

此外本研究為提高參數率定計算時間, 在參數交配與突變過程中, 採用常態迴歸分析, 推導出模式輸出量與輸入參數之迴歸式如下式所示:

$$\frac{Y - \bar{Y}}{s_Y} = \sum_{i=1}^n \beta_i \frac{X_i - \bar{X}_i}{s_{X_i}} \quad (1)$$

式中, n =輸入參數數目; Y =模式輸出量; X =模式輸入參數; \bar{Y} 及 \bar{X} 分別為輸出及輸出變數平均值; s_x, s_Y =輸入及輸出變數標準偏差; 及 β =迴歸係數(Regression Coefficient)。其中參數迴歸係數 β_i 可用於決定參數對模式輸出值之敏感度程度, 其正負代表參數對模式輸出值成正比或反比關係, 且其絕對值代表對模式輸出值之影響程度。因此, 本研究為提高率定成效, 在使用基因演算前, 先決定對模式輸出具具有明顯影響之敏感參數。此外, 本研究亦將迴歸係數 β_i 絕對值定義為權重因子(如下式)以推求參數 i 被選為交配或突變對象之機率 P_{gene}

$$P_{gene} = \frac{|\beta_i|}{\sum_{i=1}^n |\beta_i|} \quad (2)$$

式中 n 參數數目。再藉由 Multinomial 分布決定交配或突變之參數對象。當某一參數權重因子愈大者代表影響適應函數程度應大, 則被選取交配或突變對象之機率亦愈高。此一作法理論上不僅可有效減少率定時間, 更可率定出具有代表性之參數值。圖 6 為上述改良型基因演算法中基因交配及複製過程示意圖。

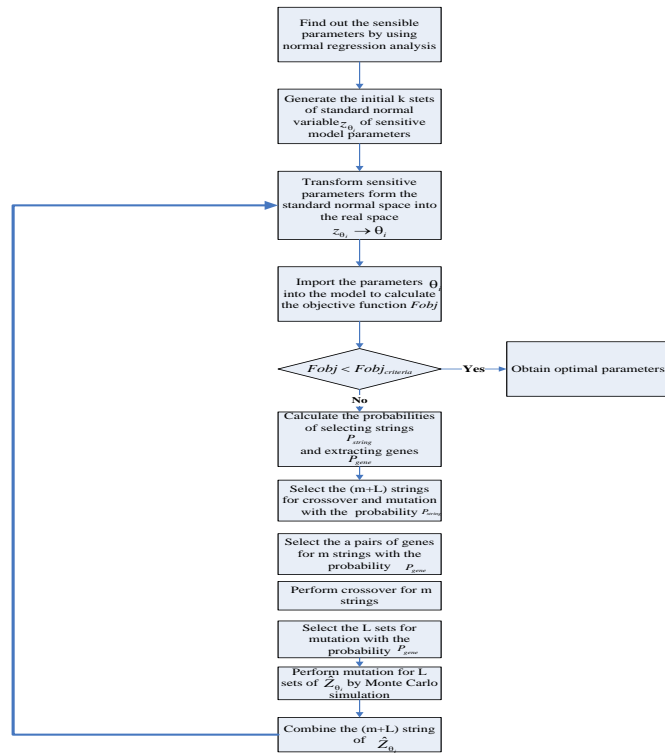


圖 6 應用改良型基因演算法於參數率定流程 (Wu et al., 2011)

2.4 Ribasim 水資源調配模式

本計畫採用 Ribasim 水資源模組建構水庫水資源調配模式(如圖 7), 其中 Ribasim 水資源模組主要係由 PRODIS(公共用水模式)、ADIMO(農業灌區配水模式)、RIBASIM(地表水配水模式)、DELWAQ(水質分析模式)、REIMA(經濟評價模式)等五大主要模式組成, 其計算概念如圖 8:

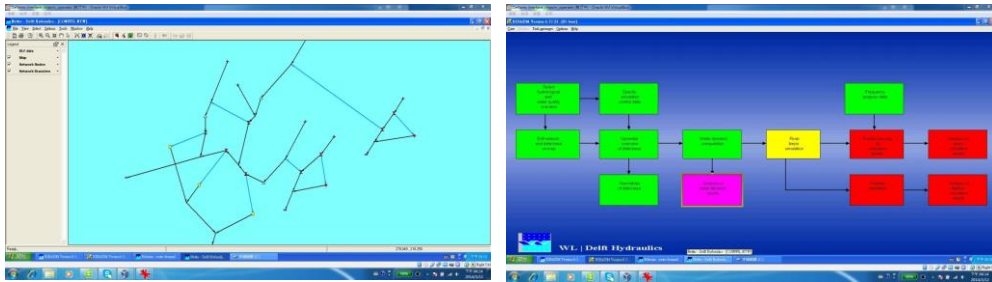


圖 7 水資源網領模式(RIBASIM)操作介面及架構圖

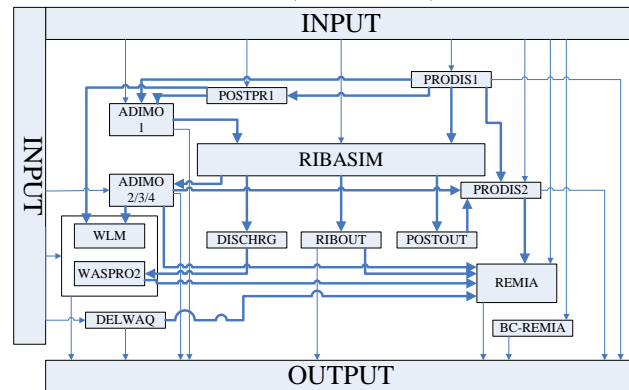


圖 8 水資源網領模式(RIBASIM)計算概念圖

另表 2 為 Ribasim 模式中表示取供水設施之單元(node)。

表 2 Ribasim 模式中取供水設施之單元(node)

節點符號	功能概述	節點所需資料	命名原則
◆ 1, Variable Inflow	變動入流量	流量紀錄	VIF.***
◆ 2, Fixed Inflow	固定入流量	計畫抽水水量...等	FIF.***
◆ 3, Confluence	匯流	-	COF.***
◆ 4, Terminal	終結	-	TML.***
○ 5, Dummy	虛擬	-	&&&.***
△ 6, SW reservoir	水庫(蓄水設施)	容量曲線、操作規線、發電契約、...等	RSV.***
▽ 7, Run-off-river	川流式水力	-	-
◇ 8, Diversion	引水工(攔河堰)	-計畫引水量、...等	DIV.***
◆ 9, Low Flow	低流量(下游保留量)	-生態基流量、保留流量、...等	LFL.***
● 10, Public Water Supply	公共用水	-需水量(計畫配水量)、...等	PWS.***
● 11, Fixed Irrigation	灌區(計畫用水量)	-需水量(計畫灌溉量)、降雨量、...等	-
● 12, Variable Irrigation	灌區(實際灌溉紀錄)	-需水量(灌溉紀錄)、降雨量、...等	-
● 13, Loss Flow	流量損失	-損失量、...等	-
● 14, Fish Pond	魚塘	-抽水量、...等	-
△ 16, GW reservoir	地下水庫	-地下水層、傳導係數、...等	-
◇ 17, Bifurcation	分水工(分流)	-分水比例	-
● 18, Pumping	抽水站(井)	-配合地下水庫(地表地下聯合運用)、...等	-
● 20, General district	用水區	-用水量紀錄	GND.***
● 21, Groundwater district	地下水用水區	-用水量紀錄	-
● 22, Link Storage	渠(河)道蓄水	-蓄水容量、...等	-
△ 23, SW reservoir partition	.	.	.
● 24, Water district	.	.	.
● 25, Advanced irrigation	.	.	.
● 26, Backlash fishpond	.	.	.
● 27, Waste water treatment plant	.	.	.
● 28, Natural retention	.	.	.

三、研究成果

3.1 研究區域及資料說明

曾文水庫集水區面積約為 481km²，集水區內共分為樂野、里佳、新美、草山、大埔、草蘭、長谷川、中坑、伊斯基安那、茶山、塔庫布央及達邦等十二治理分區，水系及十二治理分區分布詳見圖 9，水系發源於阿里山脈水山(標高 2,609m)，上游段蜿蜒於山谷中，由後大埔溪往下游接長谷川溪，與伊斯基安那溪匯流成曾文溪，往下游與烏奇哈、達娜伊谷、陀亞奇伊及二寮等溪匯流流進曾文水庫，途經嘉義縣、高雄市(那瑪夏區小部份)，出水庫壩址後再經台南市楠西區、玉井區、左鎮區，於大內與山上兩鄉界進入嘉南平原，至台南市安南區青草崙西北方流入台灣海峽，主流曾文溪位於台灣西南部，總長約 138km，流域面積 125,4km²，為台灣第四大河川，亦是嘉南地區之第一大河川。其中所選定之雨量站相關資訊(包括測站編號、座標及徐昇氏面積權重比)請參見表 1 所示

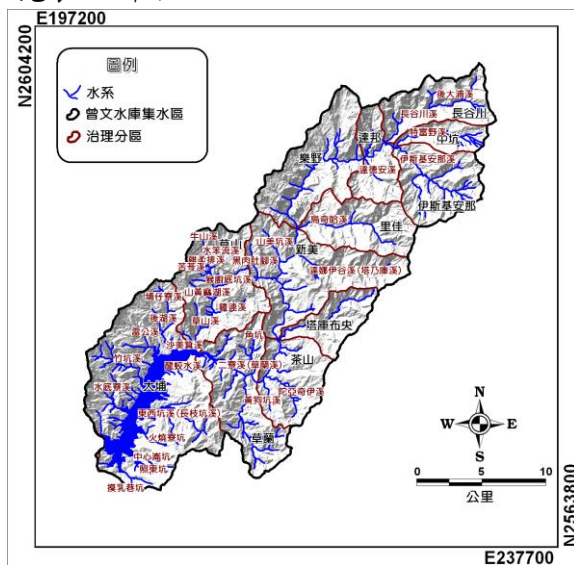


圖 9 曾文水庫集水區水系分布圖

3.2 降雨特性分析與模擬

曾文水庫集水區採用2005-2012年流域平均時降雨序列資料，其中擷取降雨特性(降雨事件發生數目、降雨延時、降雨事件間隔時間、降雨量及雨型)並分析其不確定性，如圖10所示。由圖可知，曾文水庫集水區年降雨事件數目平均為27場，其中標準偏差為6場，其中以2006年及2009年降雨事件數目分別為最多(33場)及最小(14場)，顯示每年降雨事件發生次數具有明顯的變異性(既不確定性)；另由圖10可知每年降雨延時及降雨量之平均值分別約為12小時及93mm，而變異係數(Coefficient of variation, CV)為1.03及1.49。此外，事件間隔時間平均約為162小時而變異係數為1.62。由上述結果可知，曾文水庫集水區內降雨延時之變異性小於降雨量及降雨間隔時間，也就是在2005-2012年間，降雨延時無明顯的變化，但因降雨量及事件間隔時間之變異程度高且為負相關，容易造成當降雨延時及降雨量減少時，事件間隔時間卻增加，以致乾旱事件發生風險亦隨之升高。

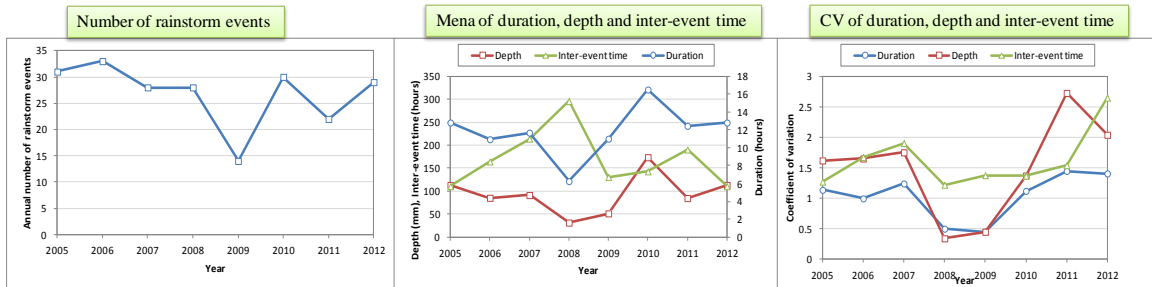


圖10 曾文水庫集水區降雨特性(降雨延時、降雨量及間隔時間)不確定性分析結果
 另由圖11雨型之累積降雨比率圖可看出發生於曾文水庫集水區的事件大致可區分先進型(降雨比率最大值發生於延時前段)、均勻型(降雨比率均勻分布於延時)、中央型(降雨比率最大值發生於延時中間)及延後型(降雨比率最大值發生於延時後段)，也就是不同降雨雨型皆有可能發生於集水區，故雨型亦存在明顯的不確定性。

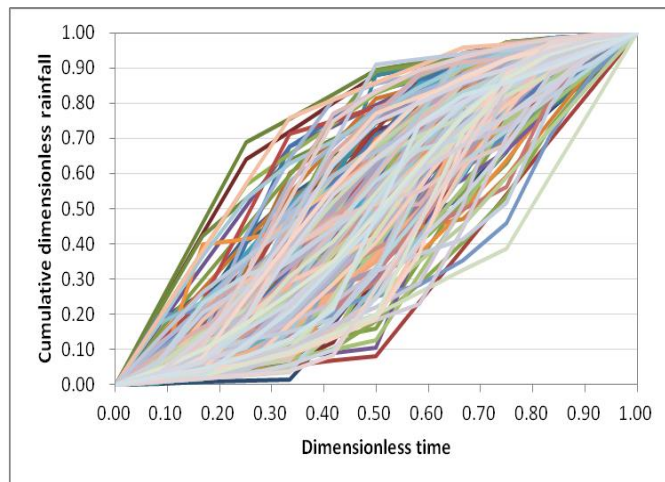


圖11 曾文水庫集水區雨型分析

本計畫以上述降雨特性不確定分析結果配合所發展長期降雨模擬機制，衍生1000組年時降雨序列(如圖12所示)。

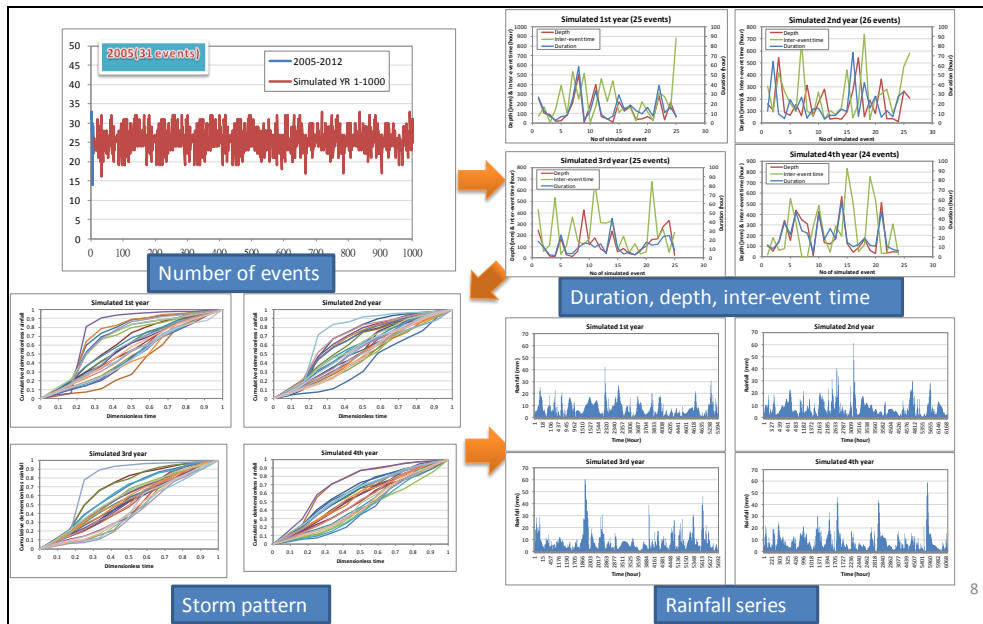


圖12 曾文水庫1000組年時雨量序列模擬值

3.3 入庫流量推估模式(SAC-SMA)參數率定

本計畫主要選取曾文水庫水壩水庫壩址及其集水區內之雨量站於2005年至2009年所紀錄之水文資料中，選取產生較大雨量且其逕流係數(Runoff Coefficient)小於1之颱風事件，作為參數率定之用，表3為各水位流量站所選取之颱風事件。

表3 率定 SAC-SMA 模式參數之降雨事件表

事件	名稱	發生期間		降雨量 (mm)	洪峰流量 (cms)	逕流係數
		起始時間	結束時間			
1	海棠(HAITANG)	2005/7/17 12:00	2005/7/21 00:00	956.7	5744	0.40
2	泰利(TALIM)	2005/8/30 21:00	2005/9/2 08:00	495.9	6571	0.45
3	碧利斯(BILIS)	2006/7/13 00:00	2006/7/16 17:00	636.7	2663	0.43
4	聖帕(SEPAT)	2007/8/18 00:00	2007/8/21 00:00	679.7	4525	0.37
5	柯羅莎(KROSA)	2007/10/5 10:00	2007/10/7 08:00	549.9	5784	0.36
6	卡玫基(KALMAEGI)	2008/7/16 07:00	2008/7/19 23:00	687.5	3735.2	0.26
7	鳳凰(FUNG-WONG)	2008/7/26 13:00	2008/7/30 08:00	459.6	3735.2	0.38
8	辛樂克(SINLAKU)	2008/9/12 15:00	2008/9/16 07:00	783.6	4251	0.38
9	薔蜜(JANGMI)	2008/9/27 10:00	2008/9/30 08:00	541.8	4424	0.41
10	莫拉克(MORAKOT)	2009/8/6 14:00	2009/8/11 10:00	1551.3	11729	0.55

本計畫採用上述十場降雨事件配合 SA_GA 參數率定法推得曾文水庫 SAC-SAM 模式參數最佳值如表4所示。

表4 曾文水庫入庫流量 SAC-SMA 模式參數率定值

參數	參數值	流量分配函數	
		時間	流量分配比率
UZTWM	63.787	0	0.000
UZFWM	100.381	1	0.167
UZK	0.095	2	0.333
PCTIM	0.147	3	0.333
ADIMP	0.205	4	0.167

SARVA	0.010	5	0.000
ZPERC	13.899		
REXP	0.695		
LZTWM	558.262		
LZFSM	23.000		
LZFPM	40.000		
LZSK	0.043		
LZPK	0.009		
PFREE	0.063		
SIDE	0.000		
RESERV	0.300		
SSOUT	0.001		
DF_T	5		
DF_P	0.333		

另本計畫為評估所率定之 SAC-SMA 模式參數值之準確性及可靠度，採用參數最佳值所推得十場降雨事件計算逕流量與觀測值之比較，如圖 13 所示：

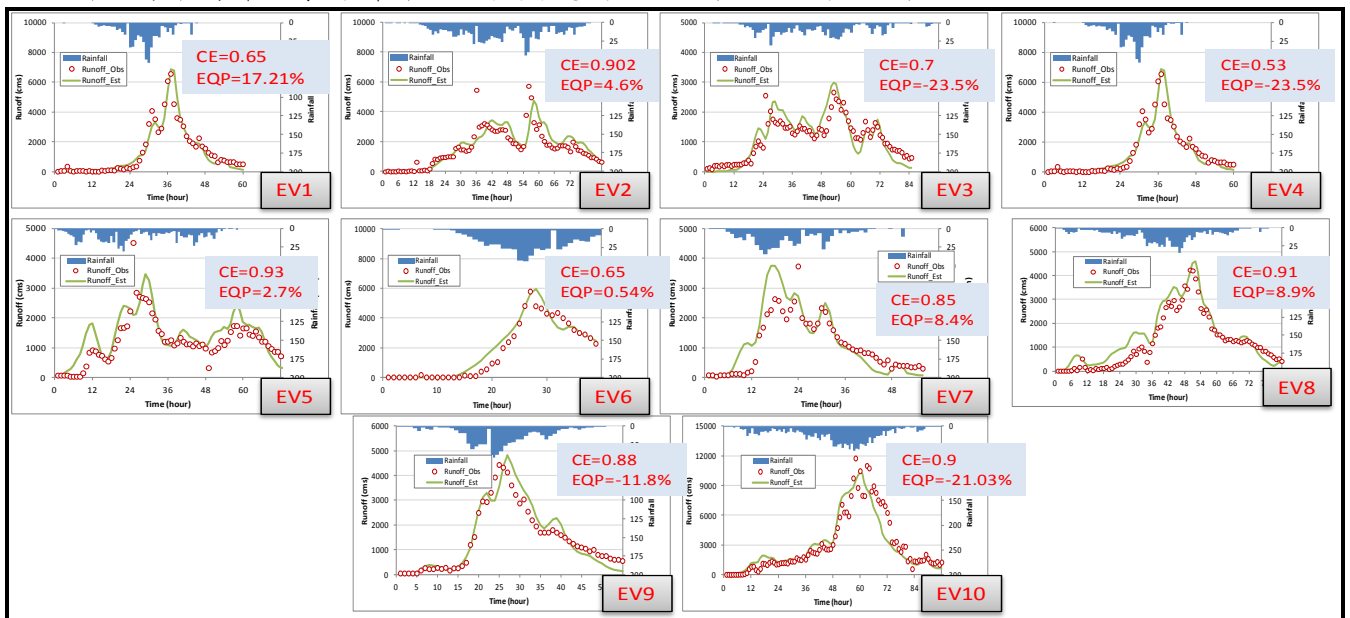


圖 13 曾文水庫 SAC-SMA 模式計算逕流量與觀測值及驗證指標值

由上圖可知，計算逕流之效率係數(CE)值平均為 0.8 且洪峰流量誤差約為-3.6%，所有事件率定結果皆未偏向於為高估或低估，證明參數值率定值可反應流域降雨逕流特性。另用 2012 年蘇拉颱風驗證最佳參數值之可靠度(如圖 14)，由圖 14 驗證結果可知計算逕流歷線相當接近觀測值(CE=0.91)，雖洪峰誤差為-11.2%(實際流量誤差僅為 295cms)，但計算逕流量在時間上的變化趨勢與觀測值接近，證明由 2005-2009 年資料所率定之 SAC-SMA 參數值率定值仍可反應 2012 年降雨-逕流趨勢。

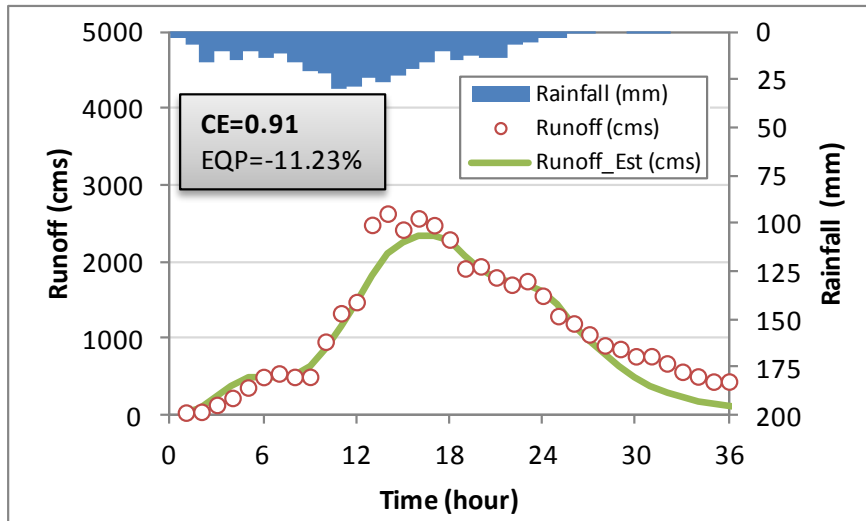


圖 14 曾文水庫觀測逕流量與 SAC-SMA 模式推估歷線比較(2012 年蘇拉颱風)

3.4 曾文水庫 Ribasim 水資源調配模式之建置

本計畫主要依據水利署(2007)「水文氣象觀測整合平台擴充建置計畫」中採用 Ribasim 模型配合整合台灣自來水公司緊急供水系統所建置之 FEWS_Taiwan 平台為基礎，並參考曾文河流域水源系統及曾文水庫操作規線，建置為曾文水庫 Ribasim 水資源調配模式，如圖 15 所示：

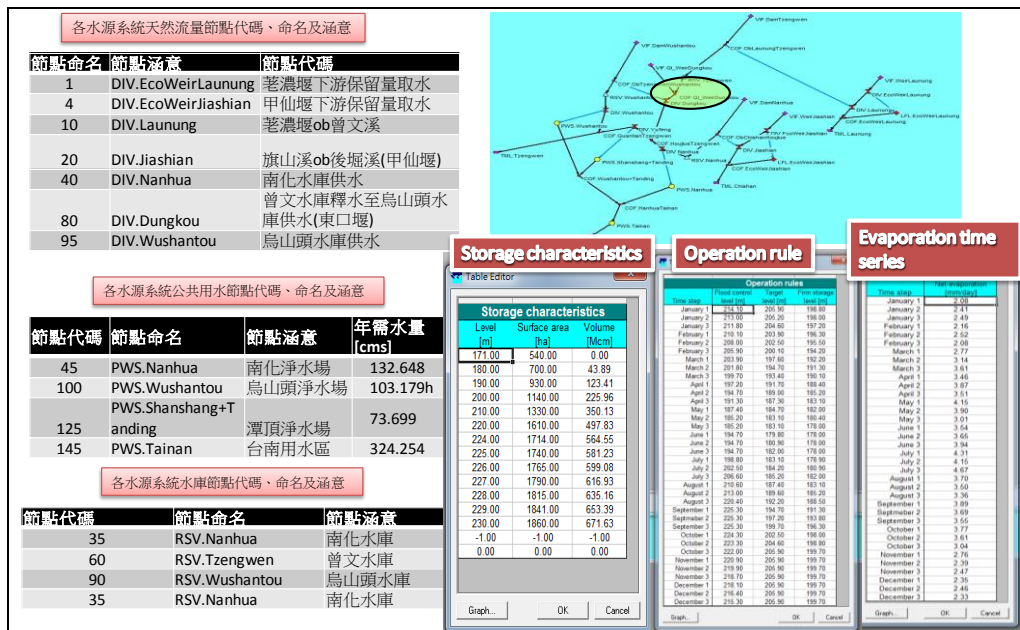


圖 15 曾文河流域 Ribasim 模式系統架構圖

3.5 序率進流量推估模式與水資源調配模式之整合運用測試

本計畫採用採用 3.2 節中由所發展長期降雨模擬機制配合曾文水庫集水區 2005-2012 年流域平均時降雨序列資料，所衍生 1000 組年時降雨序列(如圖 12 所示)，再代入 SAC-SMA 模式配合 3.3 節由率定之參數最佳值(如表 4)，推得 1000 組年時逕流量序列，作為水庫 Ribasim 水資源調配模式之測試基礎，其中需注意得是因進行水資源調配分析時大多採用旬流量，本計畫在代入 Ribasim 模式前，先將 1000 組年時逕流量序列轉換成旬流量序列(如圖 16 所示)，由圖中可知，最大旬流量約為 1000 m³/s，且高

旬流量大多發生在6月~8月，而低旬流量約發生在9月~12月平均約為500 m³/s。

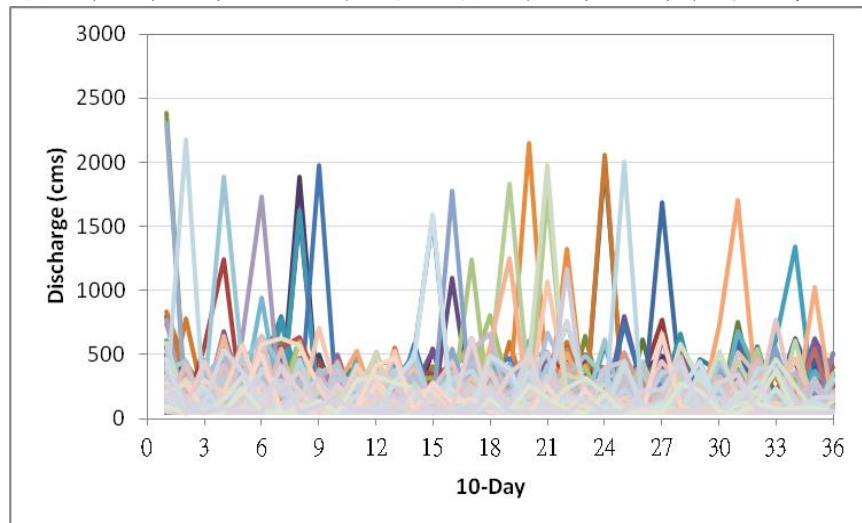


圖 16 曾文水庫 1000 組年旬(10-day)入庫流量模擬值

另由 Ribasam 模式所得 1000 組水庫旬出流量模擬結果中，分別計算旬流量平均值、標準偏差及 95% 上下限值(如圖 17)可知。由圖可知，旬出流量平均值約為 100 m³/s 外，其中 1-5 月之旬出流量平均值皆約為 116 m³/s，而 6-12 月平均約為 93m³/s。此外，1、3、8 及 9 月相對其他月份具有較大的旬出流量 95% 信賴區間，且其他月份旬出流量超過 500m³/s 之機率僅為 0.25，顯示在考量降雨特性之不確定性下，1、3、8 及 9 月可能具有較大的旬流量變化幅度(CV 約為 1.98)，也就是在上述月份曾文水庫供水量可能具有較大的不確定性，進而影響水庫提供給下游各取水設施及自來水廠之供水量。

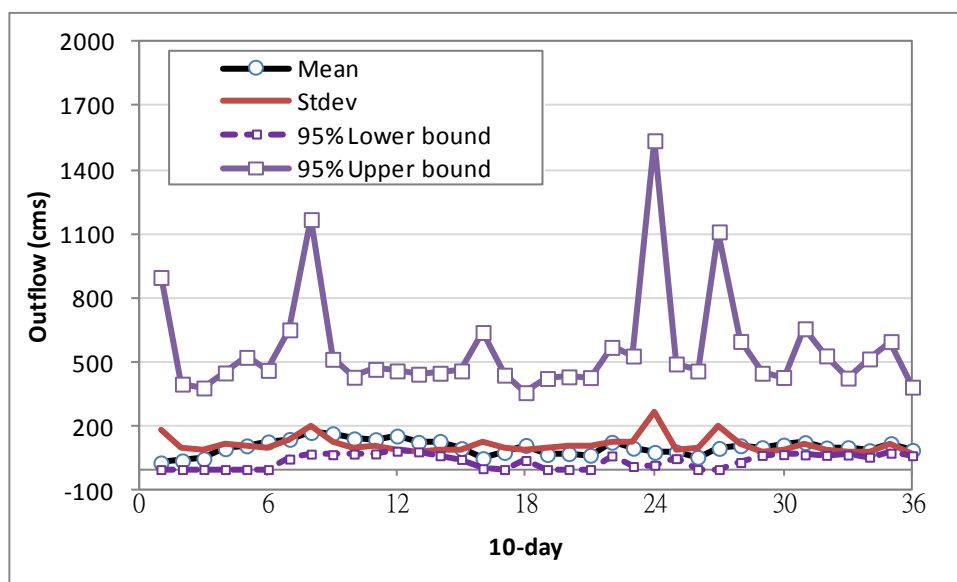


圖 17 曾文水庫 1000 組年旬(10-day)入庫流量統計特性分析

四、結論與建議

本計畫主要採用研究區域（曾文水庫）2005-2012年時雨量資料，進行降雨特性不確定性分析，並將分析結果應用於降雨長期模擬機制，衍生1000組年降雨序列，且輸入SAC-SMA模式推得各組入庫旬流量，最後經由Ribasim模式推估相對的出庫

流量及對下游各取水設施供水量的，並分析降雨序列變異性對水庫進流量及出流量推估之影響程度，作為未來已知雨量預報值對水庫下游供水量的影響評估。

由降雨特性不確定性分析果顯示曾文水庫集水區每年降雨事件發生次數具有明顯的變異性(既不確定性)，且集水區內降雨延時之變異性小於降雨量及降雨間隔時間，其中降雨量及間隔時間呈現負相關，容易造成當降雨延時及降雨量減少時，事件間隔時間卻增加，以致乾旱事件發生風險亦隨之升高。此外，不同降雨雨型皆有可能發生於此集水區，故雨型亦存在明顯的不確定性。另由入庫旬流量序列模擬結果可知，最大旬流量約為 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ ，且高旬流量大多發生在6月~8月，而低旬流量約發生在9月~12月平均約為 $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 。最後，由Ribasim模式所得水庫旬出流量模擬結果得知，在考量降雨特性之不確定性下，1、3、8及9月曾文水庫出流量可能具有較大的變異程度(變異係數CV約為2)，進而影響水庫提供給下游各取水工及自來水廠供水量的可靠度。

本計畫主要考量降雨不確定性對水庫出流量之影響，然而在許多文獻中(例如Wu et al., 2010 and 2011)指出降雨逕流模式參數不確定性亦會影響水庫入流量推估之可靠度，因此建議序率水庫入庫流量推估模式未來可將降雨逕流模式參數不確定性列入模式發展之考量。另本計畫主要採用水利署2007年所建置之Ribasim模式為基礎進行水庫出流量及水資源分配之模擬，並未將水庫及取水工相關配置及操作規線之不確定性列入考量，建議未來水資源調配模式除了採用序率入流量推估模式外，亦可考量水庫下游供水系統本身(既調配架構及操作規線)之不確定性，並綜合評估降雨特性、降雨逕流模式參數及水庫操作規線等因素之不確定性，對水庫出流量推估及下游不同取水設施供水量的影響程度，作為未來水資源調配規劃的制訂及修改之參考。

參考文獻

1. 台北科技大學(2007)，「水文氣象觀測整合平台擴充建置計畫(1/2)」，水利署委託計畫報告。
2. Chang, C.H., Yang, J.C., and Tung, Y.K., 1997. Incorporate marginal distributions in point estimate methods for uncertainty analysis. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(3): 244-251.
3. Wu, S.J., Tung, Y.K., and Yang, J.C., 2006. "Stochastic generation of hourly rainstorm events." *Stochastic Environment Research and Risk Assessment*. 21, 195-212.
4. Wu, S.J., Lien, H.C., and Chang, C.H., 2010. "Modeling risk analysis for forecasting peak discharge during flooding prevention and warning operation." *Stochastic Environment Research and Risk Assessment*, 24, 1175-1191.
5. Wu, S.J., Lien, H.C., and Chang, C.H., 2011. Calibration of a conceptual Rainfall-Runoff Model using a Genetic Algorithm Integrated with Runoff Estimation Sensitivity to Parameters. *Journal of Hydroinformatics*, 14(2), 497-511.
6. Wu, S.J., Yang, J.C., and Tung, Y.K., 2011. "Risk analysis for flood-control structure under consideration of uncertainties in design flood." *Natural Hazards*, 58(1), 117-140.

