



公開  
 密件、不公開

執行機關(計畫)識別碼：070401b107

## 行政院農業委員會98年度科技計畫研究報告

計畫名稱：**氣候變遷下農業用水對區域水資源供水效益與風險之影響分析 (第1年/全程1年)**  
(英文名稱) **Investigation on the impact of agricultural water use to the benefit and risk of regional water supply under climate change**

計畫編號：98農科-7.4.1-利-b1(7)

全程計畫期間：自 98年5月1日 至 98年12月31日

本年計畫期間：自 98年5月1日 至 98年12月31日

計畫主持人：張良正  
研究人員：吳阜峻  
執行機關：國立交通大學



# 氣候變遷下農業用水對區域水資源供水效益與風險 之影響分析

## Investigation on the impact of agricultural water use to the benefit and risk of regional water supply under climate change

計畫編號：98 農科-7.4.1-利-b1(7)

執行單位：國立交通大學土木工程學系

主持人：張良正 教授

### 中文摘要

農業用水一向佔整體用水之大宗，隨著社會發展及WTO 的加入，農業面臨著降低用水以支援其他用水標的之壓力。然受全球氣候變遷影響，水文狀況已與過去有所不同，農業用水移用策略為因應氣候變遷的可能調適策略之一，惟就區域水資源調配而言，由於不同用水標的及各水源間的互動關係複雜，不同的農業用水移用策略對區域水資源調配所產生的影響亦相當複雜。因此，宜有一個更有效的評估方式，對其它用水標的，因移用農業用水而可能增加的供水量及經濟財務效益，進行不確定性及及風險分析，以作為後續建立農業用水移用合理補償機制之參考。

本計畫目的即基於區域水資源調配的角度，考量氣候變遷對整體環境及水文之影響下，應用系統動力學，探討各種農業用水移用策略對於區域水資源永續利用產生之效益與風險。

### 英文摘要

Conventionally, the agriculture uses most of the total water supply in Taiwan. The social development and be a member of WTO are forcing the agriculture sector to reduce their water use and transfer the saved water to other water use sectors such as industry and domestic. Beside, recently investigation have indicated that the global climate change have impacted the regional hydrology and water resources. Transferring agriculture water use to other sectors is one of the potentially feasible strategies to reduce the impact of global climate change on regional water supply. However, because of the complicated interaction among the water use sectors and water sources, the impact and benefit of transferring the agriculture water to other sectors are also very complex. Therefore, a more efficient method is necessary for accessing the uncertainty and risk of increasing water supply and financial benefits of other sectors by transferring agriculture water.

This research is to access the benefit and risk of transferring the agriculture water to other water use sectors considering the impact of global climate change, and a regional

water allocation model based on system dynamic theory is developed to facilitate the analysis.

## 一、前言

農業用水一向佔整體用水之大宗，然近年來，受全球氣候變遷影響，水文狀況已與過去有所不同，農業用水移用策略為因應氣候變遷的可能調適策略之一，本計畫目的即基於區域水資源調配的角度，考量氣候變遷對整體環境及水文之影響下，應用系統動力學探討各種農業用水移用策略對於區域水資源永續利用產生之效益與風險。

本計畫為兩年計畫，第一年的目標為完成桃園地區統計降尺度模式，以及流域之降雨逕流模式建立，並初步完成水資源調配模式建置，以為第二年進行氣候變遷下農移用水衝擊分析之準備。而本年度期末報告的主要進度為降雨-逕流預測模式建置以及區域水資源調配系統動力模型建置。

## 二、文獻回顧

康乃爾大學所發展的GWLF模式(Generalized Watershed Loading Function, GWLF)中的集水區流量分析模式係考量影響流量之物理因素與水平衡關係發展而成，因其參數決定不需檢定過程，且可隨集水區土地利用、土壤特性以及未來氣候變化加以調整，可有效反應土地利用及氣候變遷對河川流量所造成的衝擊，相較於其他較為複雜的水質模式，GWLF 所需之參數相對較少，且在操作上相當容易，重點是模式較穩定、不易發散，故已廣泛被應用在相關研究中。國內外相關應用如下

Evans et al. (2002)於賓州使用GWLF水質水理模式進行研究，並加入GIS方便資料輸入，研究結果證實輸入的資料準確假使能更加的精準的話，模式的準確度也會有效的提高。並且驗證GWLF使用上的準確度以及可信度。蘇竹君(2008)利用GWLF模式配合兩個不同年份之土地利用現況資料與未來預設情境氣象資料模擬未來之流量變化，並進一步加入人為的方式變更其地表覆蓋物。謝龍生等(2002)選擇台灣地區十條主要河川為試區，利用六種氣候模式設定氣候變遷預設情境，與運用GWLF模式模擬

兩倍二氧化碳下之流量，以了解氣候變遷對河川流量之衝擊，並提出因應之調適策略。

系統動力學為描述、探索和分析複雜系統內流程、訊息、組織疆界與策略的一種嚴謹的研究方法，其可透過量化的系統模擬與分析來進行系統結構與行為之設計。

國內外學者應用系統動力學於水資源領域之研究如下：

Simonovic et al. (1997) and Simonovic and Fahmy (1999) 利用系統動力學概念建立水資源供需模型並應用在埃及地區，藉以評估氣候變遷對於水資源供需的影響情形，結果顯示水庫的蒸發對於水資源規劃是非常重要的。Stave et al. (2003) 利用系統動力學方法與水管理的概念建立拉斯維加斯水資源模型，藉由模型闡述水資源保育的重要性與價值。陳思瑋(2004)藉由系統動力學理論，建立淡水河水資源系統動力模式，以評估流域水資源利用之永續性。

### 三、研究方法

本年度的期末進度為降雨逕流模式之建立，並初步完成台中地區以系統動力學為基礎之水資源調配模式建置，以為第二年進行氣候變遷下農移用水衝擊分析之準備，以下將分別說明。

#### 3.1 地表逕流模式簡介

本計畫採用 GWLF (Generalized Watershed Loading Functions) 中之流量分析模式作為推估流量之工具，GWLF 模式為 Haith 與 Shoemaker 於 1987 年所發展，其理論基礎為依據土壤沖蝕萬用公式 (Universal Soil Loss Equation，簡稱 USLE) 與 SCS 曲線值法 (SCS Curve Number)，分析集水區在不同土地利用下之營養鹽濃度，其中之水平衡模式近年來常被引用進行集水區河川流量之模擬分析 (謝明昇，2004；王世為 2006)。以下將針對 GWLF 之水平衡模式之理論進行說明。

此模式將集水區的水平衡模式分為地表、未飽和層及淺層飽和含水層三個主要部分，其系統水平衡收支關係如圖 4.1-1。

##### (一) 地表

一集水區系統中的入流為降水，當降水 ( $R_t$ ) 至地面後，一部份的水經由入滲量 ( $I_t$ ) 至未飽和含水層中，然而另一部份則成為地表逕流 ( $Q_t$ )，集水區河川流量 ( $SF_t$ ) 來源，主要為地表逕流 ( $Q_t$ ) 及地下水排出所形成基流 ( $G_t$ )。

在 GWLF 模式中估算地表逕流 ( $Q_t$ ) 採用美國水土保持局 (SCS, Ogrosky and Mockus, 1964) 之曲線值法 (Curve Number Method), 此種方法在計算地表逕流時可合理的反應土地利用方式及土壤水分含量。地表逕流計算方式如下:

$$Q_t = \frac{(R_t - 0.2W_t)^2}{(R_t + 0.8W_t)}$$

$$W_t = \frac{2540}{CN_t} - 25.4, \quad R_t \geq 0.2W_t, \quad CN \leq 100$$

其中,  $R_t$  為每日降雨量 (cm);  $CN$  為逕流係數, 逕流係數反應各土地利用、土壤質地或排水特性、及臨前土壤水分的不同, 其值需由臨前五天土壤水份所對應之值求得。本模式之逕流係數 ( $CN$ ) 依臨前土壤水份分為三類, 分別為  $CN3$  (溼潤情況)、 $CN2$  (平均情況)、 $CN1$  (乾燥情況), 其中  $CN2$  值則依照土壤分類與土地利用決定 (美國水土保持局), 土壤類別分為 A、B、C、D 四類別, A 類別為可造成較小逕流量之砂、礫石層土壤, D 類別為可造成較大逕流量之不透水層、黏土。 $CN1$  與  $CN3$  之值則是根據 Chow et al. (1988), 計算方式如下。

$$CN1 = \frac{4.2CN2}{10 - 0.058CN2}$$

$$CN3 = \frac{23CN2}{10 + 0.13CN2}$$

本模式將臨前五天土壤水分 ( $A_t$ ) 分為高、中、低三個區間, 以  $AM1$  和  $AM2$  為界,  $AM1$ 、 $AM2$  會隨季節不同, 逕流係數 ( $CN$ ) 之計算方式如下。

$$CN = CN1 + \frac{(CN2 - CN1)}{AM1}(A_t) \quad \text{if } A_t \leq AM1$$

$$CN = CN2 + \frac{(CN3 - CN2)}{AM2 - AM1}(A_t - AM1) \quad \text{if } AM1 < A_t \leq AM2$$

$$CN = CN3 \quad \text{if } AM2 < A_t$$

降水經由入滲由地表至未飽和含水層, 入滲量 ( $I_t$ ) 計算方式為降水 ( $R_t$ ) 扣除地表逕流 ( $Q_t$ )。

## (二) 未飽和含水層

未飽和層之水平衡式可由下式表示：

$$U_{t+1} = U_t + I_t - ET_t - PC_t$$

其中  $U_t$  是未飽和層高於凋萎點之土壤水分含量， $ET_t$  是蒸發散量，而  $PC_t$  是滲漏量，式中所用的單位為 cm/day。

未飽和含水層滲漏至淺層飽和含水層之水量 ( $PC_t$ )，可由下式計算：

$$PC_t = \text{Max}[0, U_t + I_t - ET_t - U^*]$$

其中  $U^*$  是最大土壤水分容量，即田間含水量減去凋萎點間之水分容量，單位為 cm/day。

蒸發散量 ( $ET_t$ ) 估算的方法為以潛勢能蒸發散量 ( $PET_t$ ) 乘上一個覆蓋係數 ( $K_{ct}$ ) 和一個土壤水分因子 ( $K_{st}$ ) 計算，但其易受限於未飽和層之可利用之水分，因此取蒸發散量與未飽和層水分之較小值，為估算之蒸發散量，如下式，其中覆蓋係數 ( $K_{ct}$ ) 決定於土地利用方式。

$$ET_t = \text{Min}[k_{st} \times k_{ct} \times PET_t, U_t + I_t]$$

在上式中之土壤水分因子 ( $K_{st}$ ) 則採用 Boonyatharokol and Walker (1979) 之公式進行計算，可由下式表示：

$$k_{st} = 1 \quad \text{if } U_t \geq 0.5U^*$$
$$= \frac{U_t}{0.5U^*} \quad \text{if } U_t < 0.5U^*$$

在 GWLF 模式中潛勢能蒸發散量由 Hamon 公式進行計算：

$$PET_t = \frac{0.021H_t^2 e_{0t}}{T_t + 273}$$

其中  $PET_t$  是第  $t$  天潛勢能蒸發散量， $H_t$  是在第  $t$  天的日照時間 (時)， $e_{0t}$  是飽和蒸氣壓， $T_t$  是日平均溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )，飽和蒸氣壓 ( $e_{0t}$ ) 是溫度之函數，由下列方程式決定：

$$e_{or} = 33.8639[(0.00738 \times T_t + 0.8072)^8 - 0.000019 \times |1.8 \times T_t + 4.8| + 0.00136]$$

### (三) 淺層飽和含水層

淺層飽和含水層之水平衡關係可由下列方程式表示：

$$S_{t+1} = S_t + PC_t - G_t - D_t$$

其中  $S_t$  是淺層飽和含水層之土壤水分含量， $PC_t$  是由未飽和含水層滲漏至淺層飽和含水層之水量， $G_t$  是由淺層飽和含水層滲漏至河川之水量，而  $D_t$  是入滲至深層飽和含水層之水量，在本研究中因入滲至深層飽和含水層之水量 ( $D_t$ ) 量很小，將其值假設為零，式中所用的單位為 cm/day。

$G_t$  之計算係考慮淺層飽和含水層為一線性水庫，計算方式可由下式表示：

$$G_t = r \times S_t$$

其中  $r$  為退水係數，一般介於 0.01 至 0.2 之間

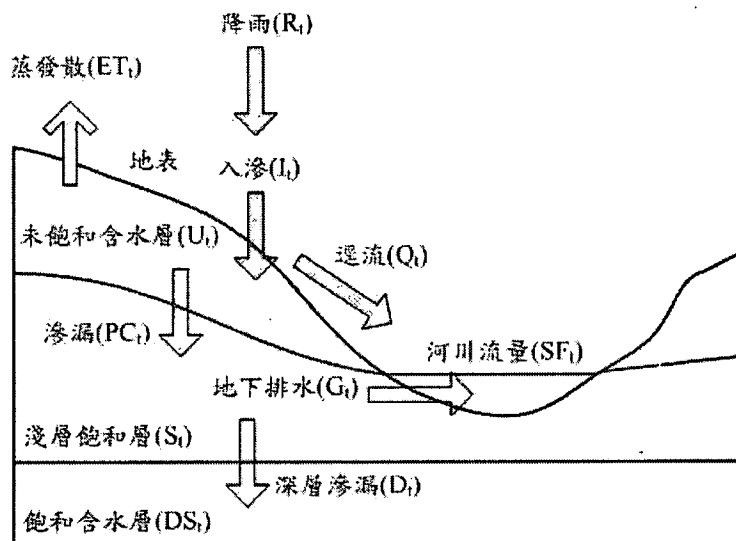


圖 4.1-1 GWLF 模式水平衡關係示意圖

來源：應用遺傳規劃法進行氣候預報降尺度分析於季節性河川流量預報，2004

### 3.2 系統動力學

系統動力學理論係結合控制 (Cybernetics)、系統論 (System Theory)、資訊理論 (Information Theory)、決策論 (Decision Theory)、電腦模擬 (Computer Simulation)

等理論成為一體的管理新方法、新工具和新概念。

### 3.2.1 系統動力模型建立

系統動力學利用系統動力流圖 (stock-flow) 同時展現系統圖與流程圖的資訊，且進一步展現變數間的互動關係與系統的結構特性。一個完整的系統動力流圖是由四個物件建構出來：存量 (Stock)、流量 (Flow)、箭線 (Connector) 以及輔助變數 (Converter)。

- I. 存量 (Stock 或 Level) 表示某一系統變數在某一特定時刻的狀態，可說是系統過去活動結果之累積，如同水庫中儲水量即屬於一存量之概念。
- II. 流量 (Flows 或 Rate) 表示某種儲存變數變化之快慢，代表著一種瞬間之行為，其數值多由儲存變數與助動變數之交互關係來決定，如同水庫之入流量及放水量即屬於一流量之概念
- III. 箭線 (Connector 或 Arrow) 是用來表示模式中變數間的因果關係。
- IV. 輔助變數 (Converter 或 Auxiliary) 來針對流量與存量變數交互關係之補充說明，類似一般計算方程式中之參數，如水庫中之放水規則和需求量即屬於輔助變數之概念。

圖 3.2-1 為水資源調配系統動力模型的建構流程，首先確認水資源調配系統，以釐清水工結構物的相對地理位置，水工結構物以節點表示，河川或供、引水管線則以線段表示之。因此水資源調配系統可由多個節點和多個線段組成，圖 3.2-2 為一典型水資源供需示意圖。接著根據系統圖 (圖 3.2-1) 配合各流量的因果關係繪製因果循環圖 (如圖 3.2-3 所示)，因果循環圖之變數區分為外部變數和內部變數，內部變數是指在回饋上的變數，其數值會隨著回饋環屬性而變化；外部變數是指回饋環外的其他變數，其數值不受回饋環屬性改變。以圖 3.2-4 為例，外部變數包含入流量、水庫庫容量、淨水場處理能力、管線限制及需求量，這些數值可由觀測資料或其他相關報告蒐集而得；內部變數則包含河川放水量，需求供水量、未控制流量以及水庫蓄水量等，其量化關係並需依序計算求得。接著進一步整合系統圖和因果循環圖，配合系統動力學的四大元件-存量、流量、輔助變數跟箭線建立系統動力流圖。最後輸入各變數間之量化數學式，即可完成水源調配系統動力模型之建置。



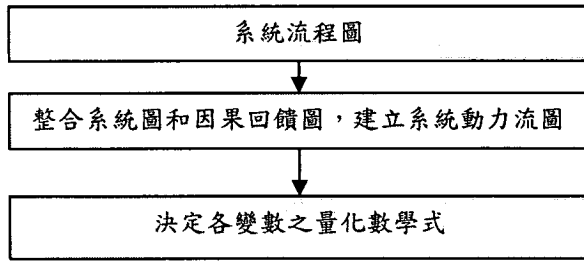


圖 3.2-1 水資源調配系統動力模型的建構流程

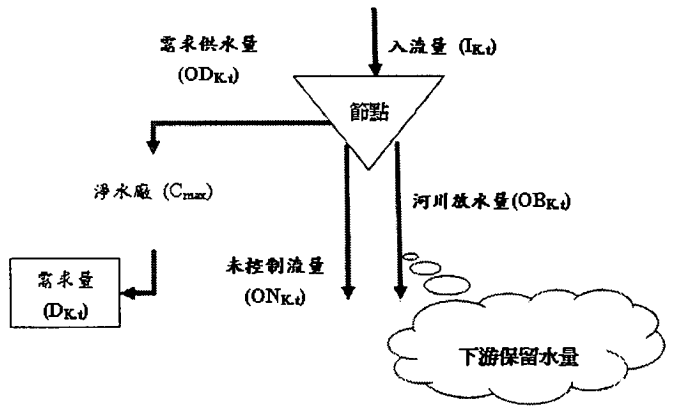


圖 3.2-2 典型水資源供需示意圖

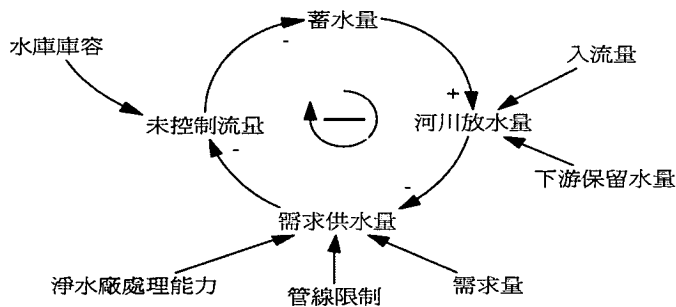


圖 3.2-3 典型水資源供需因果回饋圖

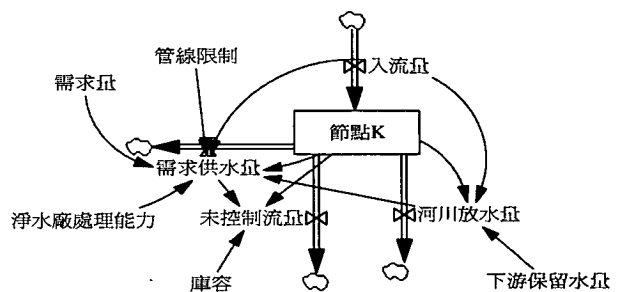


圖 3.2-4 典型水資源供需系統動力流圖

模式的計算程序與變數間之量化關係皆參考因果循環圖而得。首先計算下游河川放水量，其量化數學式可表示如下式：

$$OB_{k,t} = \min(\sum_{i \in L} I_{i,t} + S_{k,t}, R_{k,t})$$

$OB_{k,t}$  是指在 t 時刻蓄存節點 k 之河川放水量， $I_{i,t}$  是指 t 時刻蓄存節點 k 的入流量， $S_{k,t}$  是 t 時刻蓄存節點 k 的蓄水量，變數的第一個結尾字母代表節點符號，第二個結尾字母代表時間狀態，L 是指所有流入蓄存節點 k 的入流線段集合， $R_{k,t}$  表示蓄存節點 k 在 t 時刻之下游保留量，其涵蓋了生態保留水量以及下游優先水權保留量， $R_{k,t}$  可由下式表示

$$R_{k,t} = \sum_{i \in M} DR_{i,t} + B_{k,t}$$

$DR_{i,t}$  是下游優先水權量， $B_{k,t}$  表示是蓄存節點 k 在 t 時刻的生態保留水量，M 是

指所有下游優先於 K 點取水之需求量( $D_{k,t}$ )的需求節點集合，生態基流量  $B_{k,t}$  則依照經濟部民國 92 年 6 月「台灣地區水資源開發綱領計畫」建議之每 100 平方公里須有 0.135 CMS 之保育用水量為保留目標。

需求供水可由下面方程式來計算

$$OD_{K,t} = \min \left[ \sum_{i \in L} (I_{i,t}) + S_{k,t} - OB_{k,t}, \sum_{j \in N} (D_{j,t}), Cmax_k, Pmax_k \right]$$

$OD_{k,t}$  是指從蓄存節點 k 在 t 時刻之需求供水， $D_{j,t}$  是指 t 時刻於 K 點取水之目標需求量， $N$  是指於 K 點取水之需求節點集合， $Cmax_k$  是指於 K 點取水之淨水場處理能力， $Pmax_k$  是於 K 點取水之淨水場處理能力的管線最大輸送容量，若 K 點為非蓄水節點，則未控制流量可由下式推估。

$$ON_{k,t} = \sum_{K \in L} I_{k,t} + S_{k,t} - OD_{k,t} - OB_{k,t} - Smax_{k,t}, \text{ if } \sum_{K \in L} I_{k,t} + S_{k,t} - OD_{k,t} - OB_{k,t} > Smax_{k,t}$$

$$= 0, \text{ if } \sum_{K \in L} I_{k,t} + S_{k,t} - OD_{k,t} - OB_{k,t} \leq Smax_{k,t}$$

若為蓄水節點，則未控制流量可由下式推估

$$ON_{k,t} = \sum_{K \in L} (I_{k,t}) - OB_{K,t} - \sum OD_{k,t}$$

其中  $ON_{k,t}$  是指蓄存節點 k 在 t 時刻的未控制流量， $Smax_{k,t}$  是指蓄存節點 k 在 t 時刻的最大庫容體積。

蓄存節點 k 在下一時刻(t+1)的體積則由質量平衡來決定，可以下式來表示：

$$S_{k,t+1} = S_{k,t} + \sum_{i \in L} I_{i,t} - \sum_{j \in W} O_{j,t}$$

$S_{k,t+1}$  是指蓄存節點 k 在 t+1 時刻的體積， $O_{i,t}$  是指蓄存節點 k 在 t 時刻的出流量，其包含河川放水量、需求水量、未控制流量， $W$  是指從蓄存節點 k 所有的出流量集合，若節點 k 為非蓄水節點，則  $S_{k,t}$  和  $S_{k,t+1}$  為 0。

## 四、案例分析

### 4.1 地表逕流模式檢定與驗證

本計畫採用 GWLF 模式進行地表逕流演算，由於模式中有多項參數待定，如逕流係數 CN 值、最大土壤水分容量、覆蓋係數、退水係數等，其實際數值不易取得，因此透過參數檢定來求得各項參數值。首先收集研究區域長期日溫度、日降雨量與日流量共 26 年紀錄資料，資料年份為石門水庫集水區 1975~2000 年，以前 16 年資料進行檢定，後 10 年資料作為驗證，其中石門水庫集水區之降雨量以石門、巴陵、高義、長興、三光、秀巒、白石、玉峰、嘎拉賀、鎮西堡雨量站歷史雨量資料之平均值代表，流量資料採用石門水庫入流量之觀測資料。

模式參數值的合理範圍乃參考 GWLF 使用手冊與相關水文書籍並配合研究區域實際地理特性訂定之。各參數之所設定之合理範圍以及檢定結果如下表 4.1-1 所示。其中石門水庫入流量平均旬流量相關係數檢定可達 0.97，驗證可達 0.94；逐旬流量相關係數檢定可達 0.92，逐旬驗證可達 0.88。合成資料和觀測資料隨時間之變化如圖 4.1-1 至 4.1-4 所示，結果顯示本模式確可合理提供石門水庫集水區之流量模擬。

表4.1-1 GWLF模式參數合理範圍

參數	合理範圍	石門水庫集水區檢定結果	單位
CN2	70~98	70	無
覆蓋係數	0.53~1.08	0.55	無
退水係數	0.01~0.2(依據 GWLF 使用手冊)	0.03	無
最大土壤水分容量	3~16(參考易任、王如意之應用水文學)	10	cm/day

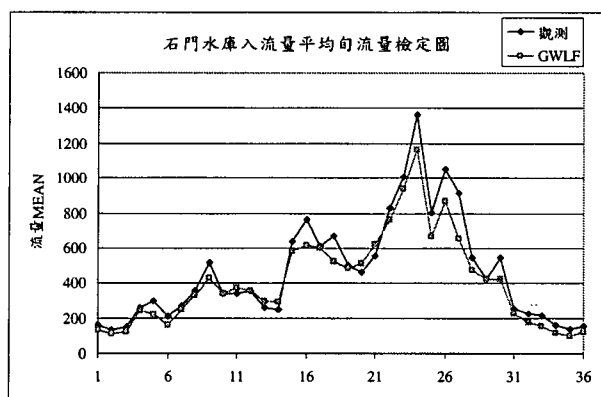


圖4.2-1 石門水庫入流量平均旬流量檢定

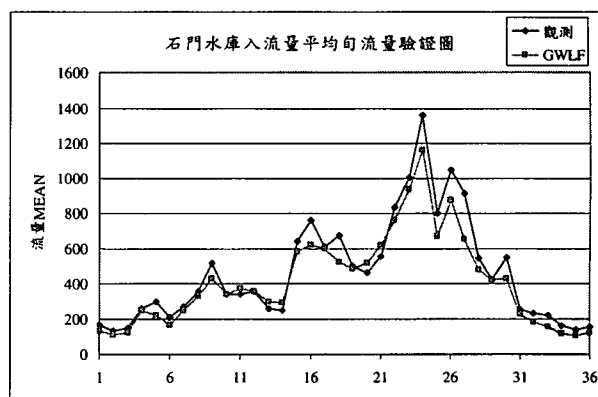


圖4.2-2 石門水庫入流量平均旬流量驗證

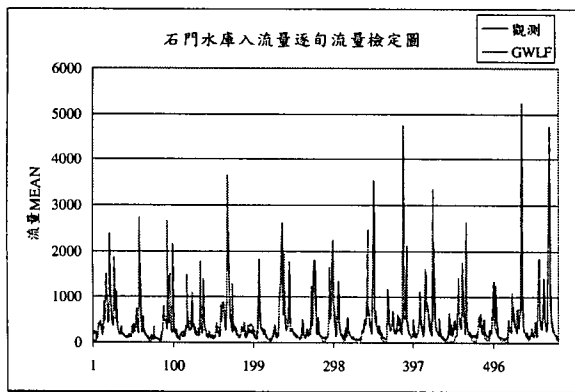


圖4.2-3 石門水庫入流量逐旬流量檢定

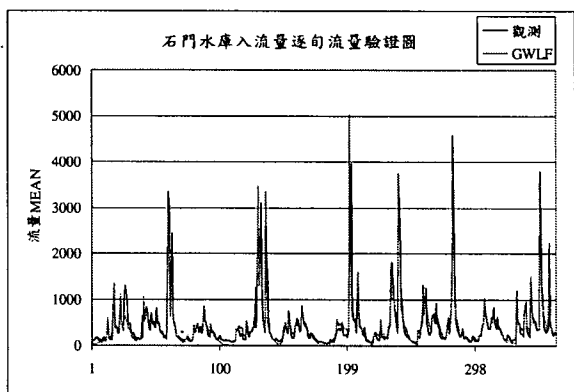


圖4.2-4 石門水庫入流量逐旬流量驗證

## 4.2 石門水庫調配系統動力流圖

石門水庫整治計畫涉及緊急供水工程、穩定供水設施以及集水區保育治理等多種面向工程，評估其工程效益時若欲同時兼顧廣度與深度之要求，將導致問題複雜度增加，因此需有新的思維與做法。系統動力學基於因果之關連性來描述分析複雜系統內流程、訊息與組織疆界，其可透過量化的系統模擬與分析來進行系統結構與行為之設計，其系統模型建構乃基於物件導向原理，因此對於極複雜的動態、回饋且具時間滯延（Time Delay）的問題，能提供整體且較週延的解決方法。以下說明水源調配系統原則，同時針對系統中之主要子模型水庫泥砂入流量推估原則說明。

### 4.2.1 系統圖水資源調配系統架構

大漢溪水源主要由石門水庫調蓄運用，除供應桃園台地及水庫下游灌溉用水外，並供給水公司石門、龍潭及板新供水區之公共給水（板新供水改善計畫 1、2 期工程完工後，板新地區之公共用水需求改由新店溪水源供應）。鳶山堰攔蓄下游各農田水利會所需剩餘水量及其間側流量之水量，鳶山堰之蓄存水除供應板新淨水場及大湳淨水場所需公共給水水量外，並放流供應鳶山堰下游各灌區農業所需用水。

另外三峽河抽水站位於中下游之三峽灣潭地區設計最大取水量每日 50 萬立方公尺，抽水站前築有攔河堰以利抽取三峽河水源，並以 65 公里長之加壓專管引入板新淨水場處理。三峽河下游為大安圳取水口，供應 145 公頃之灌溉用水，故自三峽堰取三峽河水源需保流下游大安圳之水權。石門水庫水資源調配系統架構可整理如圖 4.2-1 所示。

由圖 4.2-1 得知石門供水系統重要水工結構物有石門水庫、後池堰、鳶山堰與三

峽堰等，以及平鎮、龍潭、石門、大湳與板新淨水場等。其中石門水庫乃依照其運用規線進行調配，其運用規線如圖 4.2-2 所示，當水庫水位標高在上限以上時，依據計畫配水量供水，並得視各標的用水需求增加調配之；當水庫水位標高在上限與下限之間時，依據計畫配水量供水；當水庫水位標高在下限與嚴重下限之間時，依據計畫配水量供水為原則，為因應可能之持續乾旱，北水局得邀集相關單位預先協商配水量減供措施；當水庫水位標高在嚴重下限以下時，農業用水依據計畫配水量百分之五十供水為原則，家用及公共給水、工業用水依據計畫配水量百分之八十供水為原則，其實際減供水量由北水局邀集相關單位協商之。

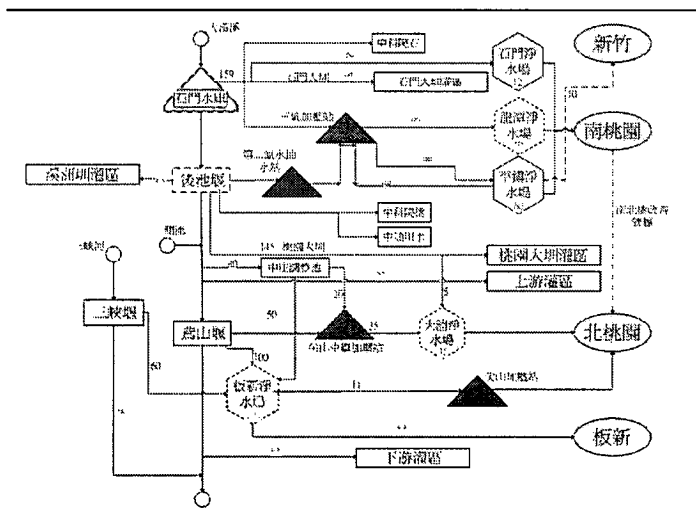


圖 4.2-1 石門水庫供水系統圖

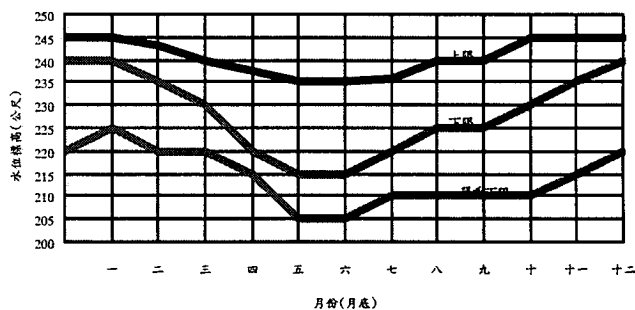


圖 4.2-2 石門水庫運用規線圖

另外根據經濟部水利署水利規劃試驗所民國 97 年度之「九十四年度北部區域水資源利用整體檢討規劃報告」，大漢河流域淨水場相關資料整理如表 4.2-1 所示。

表 4.2-1 大漢河流域之淨水場說明

供水區域	供水淨水場	設計最大供水能力	供水區域	備註
南桃園	石門淨水場	12 萬 CMD	與平鎮淨水場同供水範圍	支援平鎮淨水場供水
	平鎮淨水場	52 萬 CMD	平鎮、中壢、新屋、大園、觀音、楊梅、八德低地地區與新竹縣(湖口、新豐)	提供南桃園所有工業區用水
	龍潭淨水場	5 萬 CMD	龍潭、大溪與復興部分地區	--

北桃園	大湳淨水場	30 萬 CMD  (預計擴 建為 45 萬 CMD)	桃園、龜山、蘆竹、大園(中 正機場一帶)、八德高地地區 與台北縣(林口)	提供北桃園所有工業 區用水
	板新淨水場	120 萬 CMD	以支援性質供水至大湳淨水 場，包括蘆洲、泰山、五股、 八里、樹林、新莊、土城、鶯 歌、三峽、板橋等	最大支援量 10 萬 CMD

#### 4.2.2 水庫泥沙量推估

集水區泥砂問題為水資源開發及水庫管理最重要之課題，惟因泥砂運移現象錯綜複雜，影響因子眾多，本計畫目前採用水利署 2008「石門水庫及其集水區整治計劃之經濟效益評估」之推估結果，作為水庫泥沙量推估之依據。

#### 4.2.3 供水調配分析結果

利用前述系統動力學之四大物件：存量、流量、輔助變數與箭線，配合上述之供水調配原則，建立石門水庫水資源調配系統動力模型，其系統動力流圖如圖 4.2-3。

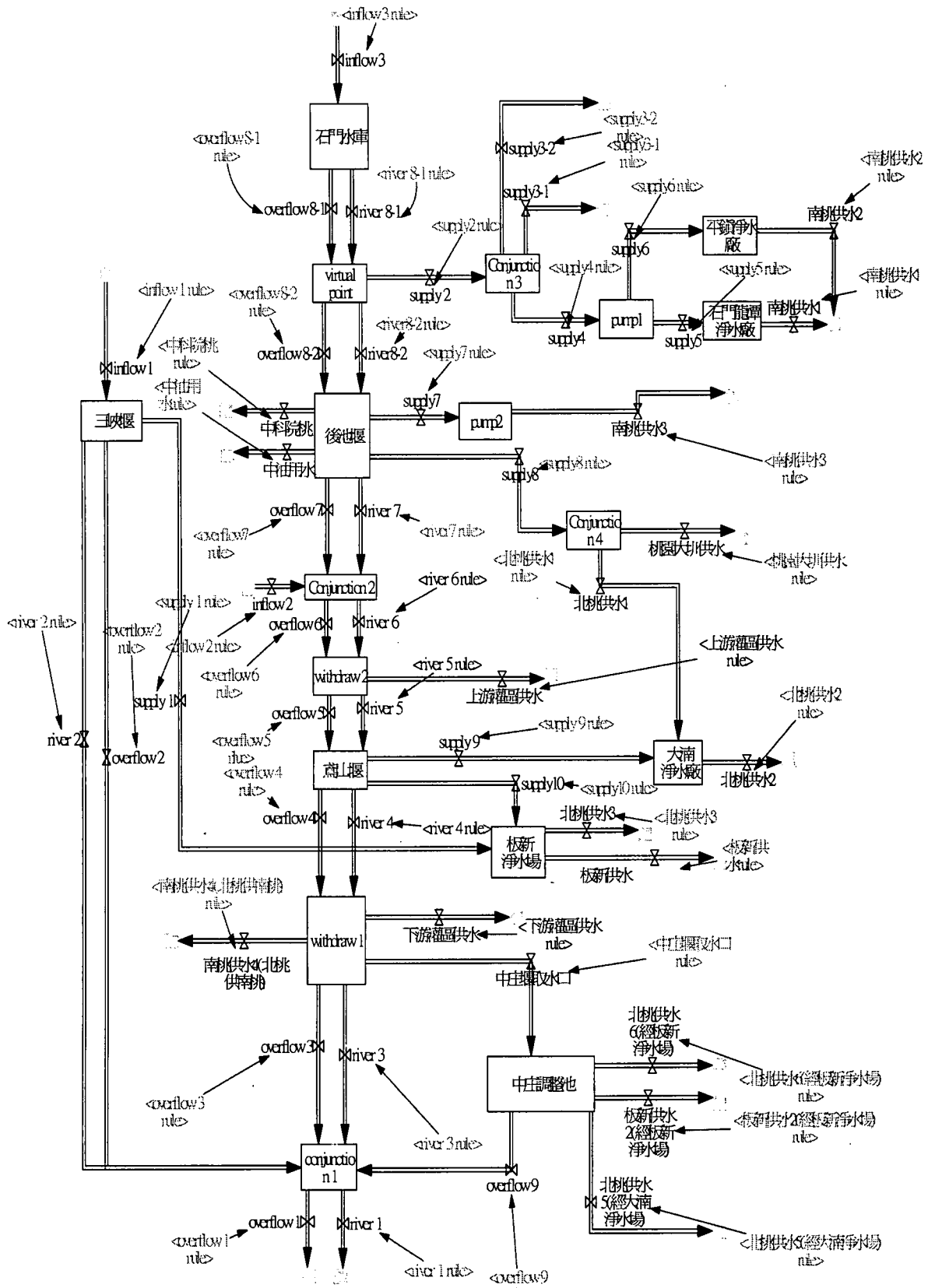


圖 4.2-3 石門水庫水資源供水調配系統動力流圖

## 五、結論與建議

## 5.1 結論

1. 本計畫利用統計降尺度方法，繁衍石門地區氣候變遷後之雨量資料，並透過GWLF模式，計算氣候變遷後之流量，以做為考量氣候變遷下極端水文事件供水風險分析之基礎。
2. 無母數條件機率分布為本計畫發展之統計降尺度模式的核心，其乃直接由資料計算而得，從而直接反應原資料的統計特性，免除了機率分佈模式及其他統計特性的假設所造成的可能偏差(Bias)。
3. 本計畫所使用的GWLF地表逕流模式經由石門區域的檢定與驗證(圖4.2-1至圖4.2-4)結果顯示本模式確可合理提供石門水庫集水區之流量模擬。

## 5.2 建議

1. 本計畫目前著重於石門水庫集水區降雨量的統計尺度模擬，未來可以提供其他區域做統計降尺度模擬及分析，也可以進一步提供後續對於研究區域氣候變遷的衝擊評估。
2. 本計畫利用系統動力學理論所建立的系統動力模式方便於多議題整合分析，未來可以考量水質等其他議題，探討氣候變遷下對各種水資源議題之衝擊。

## 六、參考文獻

1. Chu, J.-L., H. Kang, C.-Y. Tam, C.-K. Park, C.-T. Chen (2008) Seasonal forecast for local precipitation over northern Taiwan using statistical downscaling, *J. Geophys. Res.*, 113, D12118, doi:10.1029/2007JD009424.
2. Fowler HJ, K. C., Stunell J. (2007) Modelling the impacts of projected future climate change on water resources in northwest England. *Hydrology and Earth system Sciences* 11(3): 1115-1126.
3. Ogrosky and Mockus, 1964. H.O. Ogrosky and V. Mockus, Hydrology of agricultural lands. In: V.T. Chow, Editor, *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York (1964), pp. 21-11-21-28.
3. 王世為(2006)，永續性水質管理系統受氣候變遷影響之脆弱度評估，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
4. 牛敏威(2009)，氣候變遷對台中地區缺水風險之影響評估，國立交通大學土木工程系碩士論文。
5. 劉業主(1993)，水庫最佳供水之缺水風險分析，國立成功大學水利及海洋工程系



所碩士論文。

6. 張廷暉(2008)，氣候變遷對水庫集水區入流量之衝擊評估-以石門水庫集水區為例，國立中央大學水文科學研究所碩士論文。
7. 廖元熙(1993)，水庫系統最佳營運及風險分析:以鯉魚潭水庫及石岡壩旬聯合營運為例，台灣大學土木工程系所碩士論文。
8. 洪念民(1997)，氣候變遷對大安溪水資源營運之影響，國立台灣大學農業工程學系所碩士論文。
9. 黃翰聖(2009)，無母數統計降尺度模式之發展與實例應用，國立交通大學土木工程系所碩士論文。
10. 魏綺瑪(2009)，利用統計降尺度法推估石門水庫集水區未來情境降水研究，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
11. 張斐章、李子倫(1999)，颱風時期水庫操作風險分析之研究-以石門水庫為例，台灣大學農業工程學研究所。
12. 謝明昇(2005)，應用遺傳規劃法進行氣候預報降尺度分析於季節性河川流量預報，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
13. 台灣大學全球變遷中心(2008)，「台灣地區未來氣候變遷評估」。
14. 北區水資源局(2004)，「枯早期石門水庫運轉規線探討」。
15. 國科會(2004)，「區域及跨區供水調度可行性之評估」。
16. 第十七屆水利工程研討會論文集(2008)，「桃園地區水資源供應與調度風險管理機制」。
17. 經濟部水資源局(1999)，「北部區域水資源綜合發展計畫」。
18. 經濟部水利署(2005)，「區域水資源永續利用之策略模擬與分析 (I)」。
19. 經濟部水利署(2006)，「區域水資源永續利用之策略模擬與分析 (II)」。
20. 經濟部水利署(2006)，「多元化水源開發策略研究-以桃竹地區為例」。
21. 經濟部水利署(2007)，「水資源政策風險管理機制之研究」。