

第四章 河川流量之衝擊與調適策略

水文屬於地球科學，其描述地球上水事件的發生、水的分佈、水的移動、及水的特性。當系統中包含水時，水文知識為決策之重要參考依據，不管水量與水質均與人類社會與生態系統相互影響，水與環境緊密相連。本章將水文之關心焦點縮小到陸地中水文之重要空間單元—集水區，說明集水區水文及其各單元受氣候變遷之影響機制。並在介紹水文模式後，應用於評估氣候變遷對台灣河川流量之衝擊。

4.1 集水區水文系統簡介

4.1.1 水文循環

水文循環是一生生不息之歷程，水從海洋透過蒸發被傳輸到到大气，再藉由降水回到地表海洋與陸地，降於陸地之降水，終將回到海洋而完成水循環。水文循環存在許多次系統，其主要之驅動力為太陽輻射能量。

4.1.2 集水區水平衡

對地球而言水循環可視為封閉系統，因此當溫度上升提高蒸發散量，則總降雨量亦增加。然地球存在許多次系統，其雖不是封閉系統，但在此系統中可藉由水之收支平衡計算水文中之各項單元。集水區為在陸地上最適合之分析單元，因為集水區可由地形資料清楚界定，其邊界亦為水之邊界(如圖 4.1)。落在其範圍內所有降雨，若仍留在地面則最後會集流於單一出口而流入海洋中。

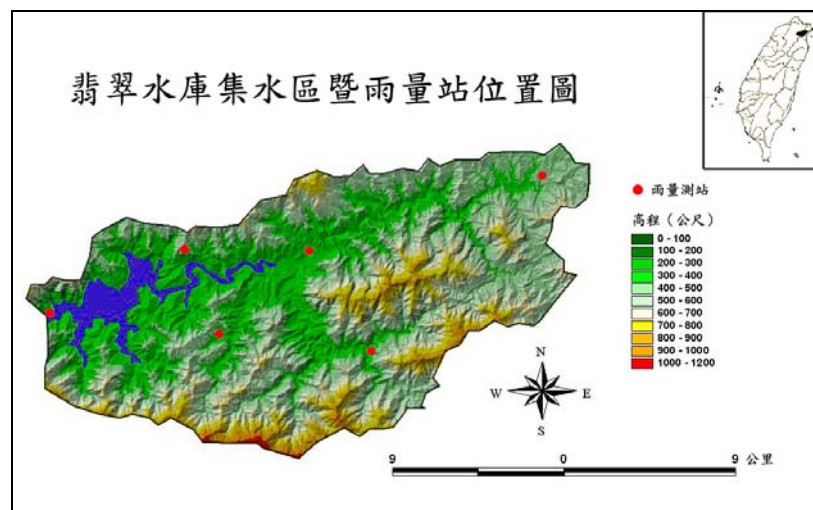


圖 4.1 翡翠水庫集水區



集水區主要水收支平衡之輸入為降雨(*precipitation*)；當雨水降落下來部份會被樹、草地、地表植被等截留(*interception*)，此部份水分最後以蒸發回到大氣中；到達地表之水，有部份會填滿窪蓄容量(*depression storage*)、有部份入滲(*infiltrate*)於土壤中、有部份形成地表逕流(*surface runoff*)。入滲之水分可補充土壤水分，土壤水分可繼續往下移動以補注地下水，或由蒸發散將水分帶入大氣中。降雨藉由蒸發散或河川流量帶離集水區，河川流量包括地表逕流、與地下水流。如圖 4.2。

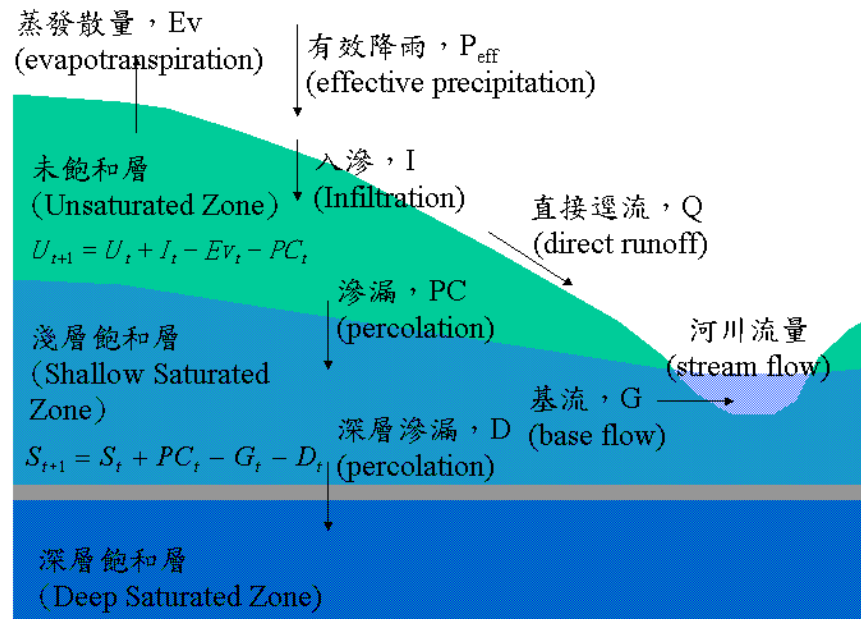


圖 4.1 集水區水平衡關係示意圖

4.1.3 氣候變遷之影響

集水區水文分項中以入滲、逕流、蒸發散等因子影響最巨，因此，先就物理性探討其受到氣候變遷之影響。

入滲與地下水補注

入滲與降雨強度與土壤水分息息相關，降雨強度直接受到氣候變遷影響，土壤水分則與之前降雨、入滲、與蒸發散有關，因此，為具有回饋效應之非線性關係。降雨入滲至土壤中後，水分會被蒸發散帶離，因此長期而言，在土壤水分不變之假設下，地下水補注應為滲漏之部份，因此其受氣候變遷之影響與入滲量與蒸發散均有關，此部份很難直觀的加以定性或定量說明其受氣候變遷影響為何，惟有透過模擬分析不同氣候條件下之影響。



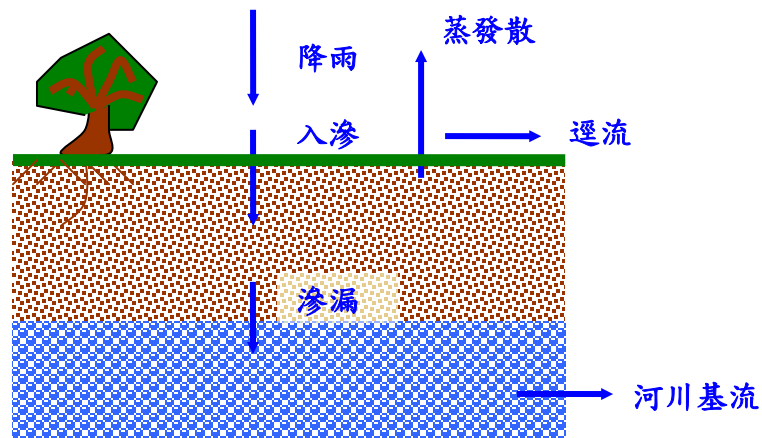


圖 4.3 水平衡

逕流

地表逕流是指當降雨到達地面後，有效降雨強度大於入滲率時，則扣除地表窪蓄滯留水量後於地表流動之漫地流。因此其影響因素包括影響入滲之因子、土地利用特性等。歸結其影響因素包括降雨強度、土壤、土地利用、與臨前土壤水分含量。氣候變遷對逕流影響可由其影響因素來探討：

- 當降雨的增減會直接影響逕流，然並非具一定關係，及總降雨量增加並不代表逕流會增加，相同的，總降雨量減少也不代表逕流量會減少。如降雨量雖增加，惟其降雨頻率亦增加（即每次降雨量強度減少），則大部份降雨均可能入滲而非形成逕流。
- 降雨亦會透過影響土壤水分而影響逕流。
- 一般而言氣候變遷對土壤質地在分析時間尺度內影響，可不予考慮。
- 氣候變遷與經濟社會發展均會影響土地利用。如溫度改變，樹種會不同或農業耕作型態改變；社會經濟發展可能將森林開發成農業，或將農業用地轉換成工業與都市住商用地，均會影響逕流量。

蒸發散

蒸發散包括蒸發與蒸散，蒸發是指水由水面、裸土、或地面上任何截留表面散失到大氣中之水量，蒸發主要乃決定於輻射能量，當淨輻射能量增加，蒸發也將隨之增加，但此程序會受大氣濕度、蒸發表面空氣之流動、及土壤水份可利用量影響。蒸散



只藉由植物氣孔散失到大氣中之水分，影響因子除了影響蒸發之因素外，包括根深、氣孔阻抗(stomatal characteristics)、植物生長期、植物生長種類。

- 如果輻射增加，而濕度減少，在氣溫上升 2°C ，潛能蒸發量可能增加40%
- 溫度 $\uparrow \rightarrow$ 相對濕度 $\downarrow \rightarrow$ **潛能蒸發散量** $\uparrow$
- 當降雨的減少或時間分佈改變均有可能減少土壤水份而減少實際蒸發量，如降雨量雖增加，惟其頻率減少（即每次降雨量增加），則大部份降雨均可能成為逕流，而使可供土壤水份減少。
- 溫度改變可能影響植物物種極其生長期，而影響蒸發散量。
- 除了溫度降雨及上述因子影響蒸散量，實驗發現有些植物在較高 CO_2 濃度下，有較好之用水效率，即蒸散量較少。Kimball et. al (1993)分析發現在 $\text{CO}_2 = 550\text{ppmv}$ 時，spring wheat蒸散較 $\text{CO}_2 = 370\text{ppmv}$ 時減少11%。

整體而言，很難由溫度或降雨變化趨勢直接判斷對水文之影響。例如表 4.1：當 Case I 中降雨從 240 增加到 250，但其分佈與降雨強度也同時發生改變，在假設每時期降雨入滲完全蒸發下，其**蒸發減少**，逕流增加；Case II 總降雨量減少，同樣其分佈與降雨強度也同時發生改變，但**逕流增加**，而蒸發減少。因此氣候變遷對水文之衝擊評估宜建立模式將相關因素納入，逕行模擬評估，**不宜直接推論可能影響**。

表 4.1 降雨對逕流與蒸發影響案例

Case 0	時期					說 明
	一	二	三	四	總計	
降雨	60	60	60	60	240	Baseline
土壤容水量(10)	10	10	10	10	40	
蒸發	10	10	10	10	40	
逕流	50	50	50	50	200	
Case I	一	二	三	四	總計	說 明
降雨	80	0	90	80	250	溫度 $\uparrow$ 蒸發 $\downarrow$ 降雨 $\uparrow$ 逕流 $\uparrow$
土壤容水量(10)	10	0	10	10	30	
蒸發	10	0	10	10	30	
逕流	70	0	80	70	220	
Case II	一	二	三	四	總計	說 明
降雨	100	0	130	0	230	溫度 $\uparrow$ 蒸發 $\downarrow$ 降雨 $\downarrow$ 逕流 $\uparrow$
土壤水份	10	0	10	0	20	
蒸發	10	0	10	0	20	
逕流	90	0	120	0	210	



4.2 河川流量模擬模式

目前採用之水文模式包括經驗模式(考慮年流量與降雨量、溫度、ET之統計關係)、水平衡模式、概念性降雨、物理特性模式等。經驗模式是利用歷史資料分析流量與降雨、溫度與蒸發散量之統計關係，假設此統計關係在氣候變遷上仍然維持有效，再利用改變氣象資料及迴歸關係求得受影響之流量。水平衡模式及概念性模式均較深入探討水在集水區之傳遞，惟當此類模式必須參數檢定，則其適合性及可靠性將值得懷疑。因為檢定之參數在氣候變遷情況下，未必仍適用。物理特性模式參數仍實驗或根據物理特性求得，並考慮地形、土地利用等特性。

以下介紹為GWLF(Generalized Watershed Loading Functions; Haith and Shoemaker, 1987)模式中之集水區流量分析模式，其發展模式基礎為考量影響流量之物理因素，參數決定不需檢定過程，且參數選用可因氣候變遷調整。此模式基本計算為水平衡，其系統水平衡收支關係如圖4.2，其方程式描述說明如下。

流量

上游集水區河川流量主要來源包括地表逕流(Q_t)與地下水排出形成之基流(G_t)，可由方程式4.1表示

$$SF_t = Q_t + G_t \quad (4.1)$$

逕流

估算地表逕流有很多不同的方法，如合理化公式及 Curve Number 方法 (Ogrosky and Mockus, 1964) 等。在 GWLF 中，採用 Curve Number 方法，主要是此種方法在計算地表逕流時可合理地反應土地利用方式及土壤水分含量。地表逕流量可計算如下：

$$Q_t = \frac{(R_t - 0.2W_t)^2}{(R_t + 0.8W_t)} \quad (4.2)$$

$$W_t = \frac{2540}{CN_t} - 25.4 \quad CN \leq 100 \quad (4.3)$$

上式中，CN 即為 Curve Number，其值因土地利用、土壤質地或排水特性、及臨前土壤水分而不同，詳見 Tung and Haith (1995)。



地下水流

地下水排出量 G_t 是由飽和含水層滲漏至河川之水量(G_t 之計算係考慮飽和含水層為一線性水庫，即 $G_t=r \times S_t$)。其中 r 為退水係數， S_t 為淺層飽和含水層土壤水分。為計算 G_t 必須計算 S_t ，淺層飽和含水層之水平衡關係可由下列方程式表示：

$$S_{t+1} = S_t + PC_t - G_t - D_t \quad (4.4)$$

其中 PC_t 是由未飽和含水層滲漏至飽和含水層之水量，而 D_t 是入滲至深層侷限含水層之水量（因量很小，可將其設為 0），式中所用的單位為 cm/day。

滲漏

未飽和含水層滲漏至淺層飽和含水層之水量 (PC_t) 主要物理機制在於未飽和含水層土壤水分大於田間含水量，可由下式算出：

$$PC_t = \text{Max}[0, U_t + I_t - ET_t - U^*] \quad (4.5)$$

其中 U_t 是未飽和層高於凋萎點之土壤水分含量， I_t 是入滲量 [= R_t (降雨量) - Q_t]， ET_t 是蒸發散量， 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。為應用方程式 4.5，則必須計算未飽和層之水平衡，其經由入滲之水量先行補充未飽和層之土壤水分，當未飽和層之土壤水分超過土壤最大含水量時，其部分水分將滲漏至淺層飽和含水層。另外，未飽和層之土壤水分亦可能因蒸發散而被帶離土壤。未飽和層之水平衡式可以下列方程式表示：

$$U_{t+1} = U_t + I_t - ET_t - PC_t \quad (4.6)$$

蒸發散

在 (4.6) 式中之蒸發散量 (ET_t) 則受大氣、地表覆蓋特性及土壤水分之影響，可由下式決定：

$$ET_t = \text{Min}[k_{st} \times k_{ct} \times PET_t, U_t + I_t] \quad (4.7)$$

蒸發散量 (ET_t) 估算的方法可以潛勢能蒸發散量 (PET_t) 乘上一個覆蓋係數 (K_{ct}) 和一個土壤水分因子 (K_{st}) 計算之，但其易受限於未飽和層之可利用之水分，因此本式取計算之蒸發散量與未飽和層水分之較小值，作為估算之蒸發散量。其中覆蓋係數決定於土地利用方式。在 (4.7) 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，表示如下：

$$k_s = 1 \quad \text{if } U_t \geq 0.5U^*$$

$$= \frac{U_t}{0.5U^*} \quad \text{if } U_t < 0.5U^* \quad (4.8)$$

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。

一般在潛勢能蒸發散量之計算上常使用 Penman 公式，但其所需資料較多，包含風速及大氣濕度（或露點溫度）等。這些資料在氣候變遷之研究上不易取得或不確定性太高。IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)曾對氣候變遷衝擊研究提出建議，當資料不足時，應利用需要參數較少之較簡單模式，在 GWLF 模式中潛勢能蒸發散量便由 Hamon 公式進行計算（1961）：

$$PET_t = \frac{0.021H_t^2 e_{0t}}{T_t + 273} \quad (4.9)$$

其中 PET_t 是第 t 天潛能蒸發散量， 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，可由下列方程式決定之：

$$e_{0t} = 33.8639[(0.00738 \times T_t + 0.8072)0.8 - 0.000019 \times |1.8 \times T_t + 4.8| + 0.00136] \quad (4.10)$$

4.3 河川流量之衝擊

圖 4.4 為研究河川範圍示意圖，本文模擬了北部淡水河流域的大漢溪、北勢溪、南勢溪、三峽河以及頭前溪流域、蘭陽溪流域，中部的大安溪、大甲溪及烏溪流域，南部的鹽水溪、八掌溪、曾文溪及高屏溪，東部的秀姑巒溪及卑南溪總共十六條河川的流量，其模式驗證、流域簡介、土地利用及模擬結果如下。

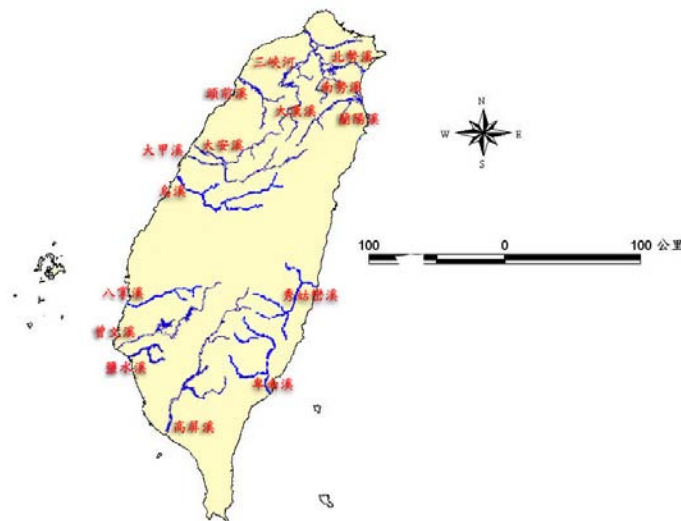


圖 4.4 研究河川範圍示意圖



4.3.1 各流域簡介

台灣主分水嶺偏東，所以河流東短西長，一般而言，具有下列特徵：河身短、坡度大、水流急。枯水期的時候水量小，常成為野溪，不適合航行。洪峰流量十分龐大，面積兩三千平方公里的集水區域，經常出現每秒一萬立方公尺以上的洪水量。以下分北部、中部、南部及東部共十六條河川作簡介。

北部

大漢溪

本模擬為模擬大漢溪上游的流量，即石門水庫集水區之流量。石門水庫集水區位於淡水河上游自石門大壩以上之大漢溪流域，總面積 763.4 平方公里。東鄰台北、宜蘭兩縣，南接台中縣，西南與苗栗縣相連，西屬桃園與新竹二縣，行政區域除東邊之一小部分屬宜蘭大同鄉、西端一帶屬新竹五峰鄉，西北角之極少部分屬新竹縣關西鄉、大溪鎮與龍潭鄉外，大部分地區均隸屬於桃園縣復興鄉與新竹縣尖石鄉。土地利用型態以闊葉林及混合林為主，其他尚包括：水田、果園、建築區等。

北勢溪

北勢溪發源於棲蘭山，長 50 公里，流域面積 310 平方公里，至新龜山與南勢溪匯合，翡翠水庫位北勢溪下游。區內土地大部份均為國有林班地，現有土地利用狀況概可分為兩大類：一類為已發展使用地區，另一類則為未發展使用地區已發展使用地區包括居住、商業、道路等用地面積合計約占全區 1.86%，未發展使用地區包括農林，溪流河川地等，占全區面積 98.14%。

三峽河

三峽河主流大豹溪發源於三峽鎮熊空山、喀博山、塔開山、東眼山等，在湊合處會五寮溪後始稱山峽河。往北流經三峽鎮，到達溪北處支流橫溪來會，繼續向東北方向流至頂埔附近注入大漢溪，為大漢溪主要支流。面積 125.34 平方公里，全長約 22.6 公里。流域隸屬行政轄區包括台北縣三峽鎮、樹林鎮、土城市及桃園縣大溪鎮之一小部分。本流集水區形狀屬狹長形，坡度陡，為一急流河川。

南勢溪

南勢溪集水區面積約為 331 平方公里，林地約佔其總面積之 98.05%，除了主流南勢溪外，另包括九寮、斯其野、大羅蘭、扎孔、哈盆、內洞、阿玉及桶後等支流。



蘭陽溪

蘭陽溪發源於海拔 3,555 公尺之南湖大山北麓，流經牛鬥出谷後，於噶瑪蘭大橋附近會合宜蘭河、冬山河，隨即注入太平洋，流域面積 865.46 平方公里，河流長度 73.06 公里。蘭陽溪上游水流急促，常挾帶大量砂石，下游則因流速減緩，至河口形成沖積平原。由於年雨量高達 2,656 公釐，地下水位甚高，抽取容易，但因本區屬細質砂土，排水性差，故常於夏季水流量豐富時宣洩不良，氾濫成災，形成廣大沼澤。

頭前溪

頭前溪流域位於本省西北部之新竹縣境內，水系單純，由上坪溪、油羅溪兩支流、頭前溪主流及其他細小分流所構成。上游主要支流上坪溪發源於鹿場大山，流經五峰鄉、橫山鄉，另一支流油羅溪則發源於李嶼山，流經尖石鄉、橫山鄉；兩支流在竹東鎮附近合流，以下稱頭前溪，向西流經芎林鄉、竹北市、新竹市，而後於南寮舊港附近與鳳山溪出口匯流約 500 公尺後注入臺灣海峽。流域面積 565.97 平方公里，主流長 63.03 公里，兩支流匯流後流長約 24 公里出海。

中部

大安溪

發源於大壩尖山，流域面積 758.47 平方公里，幹流長度 95.76 公里。主要支流包括馬達拉溪、老庄溪、景山溪、次高溪、大雪溪、南坑溪、無名溪、雪山坑溪、烏石坑溪。

大甲溪

大甲溪發源於中央山脈、雪山、及南湖大山之間，本研究探討大甲溪上游之流量，即德基水庫集水區流量，包括中央山脈西側山坡及雪山山脈東側山坡，北至宜梨公路思源啞口附近，南至合歡山山坡。

烏溪

烏溪溪又名大度溪，發源自中央山脈合歡山西麓，是台灣的重要河川之一，流域經過霧社、埔里，匯流大小支流，經彰化、大肚，最後由台中縣龍井鄉與彰化縣伸港鄉之間流入台灣海峽。全長 116.8 公里，流域面積為 3,062 平方公里，豐水期為 5 至 9 月，流量佔全年 70%，以 6 月份最多，1、2 月則為枯水期。



南部

八掌溪

主流八掌溪，支流為赤蘭溪，發源於嘉義縣海拔 1940 公尺的奮起湖，流經嘉義縣番路鄉、中埔鄉、山上鄉、太保鄉、鹿草鄉、義竹鄉、布袋鄉、嘉義市及台南縣的北門鄉、鹽水鎮、學甲鎮、後壁鄉、白河鎮，而在嘉縣的好美村出海。河川全長 80.86 公里，流域面積 474.74 平方公里，平均坡降 1：42，流域歷年平均年雨量可達 2336 公厘。

鹽水溪

鹽水溪發源於台南縣的大坑尾，流經台南縣的新化鎮、善化鎮、新市鄉、永康市、山上鄉、左鎮鄉、龍崎鄉、關廟鄉、歸仁鄉及台南市的北區、東區、西區、安南區、安平區，而在台南市的安平出海。上游流域有鹽水埤及虎頭埤二水庫。河川全長 41.34 公里，流域面積 221.69 平方公里。

曾文溪

曾文溪發源於本省西南部，為嘉南平原上最大河川，北鄰急水溪，南界高屏溪，南接鹽水溪，西臨台灣海峽。本研究探討曾文水庫集水區的流量，集水區內多屬山地，源頭標高約在 2600 公尺以上。本集水區土地利用型態主要包括闊葉林、針闊葉混合林、闊葉林及竹林混合林、崩塌地、草生地、檳榔園、茶園、果園、建地、水體等，其中以闊葉林所佔面積最大。

高屏溪

高屏溪為高雄縣及屏東縣境內主要之河川，目前該流域供應屏東、高雄縣市兩百多萬人口之飲用水、灌溉用水、工業用水、及其他用水，為高屏三縣市的水源命脈。高屏溪又稱下淡水溪或是淡水溪，自旗山到林園工業區出海，正好是高雄縣與屏東縣分隔，因此得名。高屏溪位於本省南部，發源於中央山脈玉山附近，向南流經高雄、屏東兩縣，於新園鄉注入台灣海峽，西與曾文溪上游為界，東隔秀姑巒山與卑南溪相鄰，全長 171 公里，流域面積 3257 平方公里，為台灣地區流域面積最大之河川。其支流包括旗山溪、美濃溪、荖濃溪、濁口溪及隘寮溪等。



東部

秀姑巒溪

秀姑巒溪發源於花蓮，台東兩縣縣界之崙天山南麓。主要支流有富源溪、紅葉溪、豐坪溪、卓溪、樂樂溪。流域面積 1790.46 平方公里，幹流長度 81.15 公里。計畫洪水量 19000 秒立方公尺，平均坡度 1:34。流經區域：花蓮縣：瑞穗鄉、萬榮鄉、玉里鄉、豐濱鄉、卓溪鄉、富里鄉，台東縣：池上鄉、海端鄉。

卑南溪

卑南溪上游發源於關山之東坡，呈順向河，至池上折南流，流灌臺東縱谷平原，途中納主要支流鹿寮及鹿野兩溪，於臺東市附近入海，其河口與知本溪、利嘉溪及太平溪形成廣大之三角洲，即臺東沖積三角洲平原，全長八十四公里是東部最長河川，其流域面積廣達一六〇三·二一平方公里。計畫洪水量 17,400 秒立方公尺台東縣：海端鄉、池上鄉、關山鎮、鹿野鄉、卑南鄉、台東市。

4.3.2 集水區土地利用

各流域土地利用情形如表 4.2、表 4.3 所示，表 4.2 來源為經濟部水資源局台灣地區重要水庫集水區水資源資料庫建置及保育計畫，表 4.3 中頭前溪及高屏溪土地利用來源分別為八十八年新竹市、新竹縣統計要覽及八十八年屏東縣、高雄縣統計要覽，蘭陽溪土地利用來源則為劉小如(2000)。另外有關於其他河川的土地利用因資料缺乏故根據土地大致使用情形而假設其 CN2 值，整理如表 4.4。

4.3.3 模式驗證

應用 GWLF 之流量模式不需要檢定參數，但必須驗證模式之適用性，此外，各流域中有很多雨量站，必須決定平均雨量或選定一個能代表流域特性之雨量站，以確保流量預測模式的準確性，將驗證結果整理如表 4.5。雖然表 4.5 中以 R_square 為評估指標，但驗證結果好壞應以 mean square error (MSE) 為優，或輔以觀測值與預測值之線性迴歸關係，如預測結果越好則：(1) R_square 趨近於 1；(2) 線性迴歸式常數項趨於 0；(3) 線性迴歸式係數趨近於 1。上述三點即以觀測值與預測值畫 X-Y 圖會落於 45° 之直線上，如圖 4.5。



表 4.2 北勢溪、大漢溪、大甲溪及曾文溪土地利用情形(單位：公頃)

土地利用	北勢溪	大漢溪	大甲溪	曾文溪
闊葉林	25239.0	70967.8	19392.6	14054.8
針葉林	965.9		31148.6	2029.0
伐木地	274.1			
竹林	76.6			23505.6
果園	83.6	2304.2	3453.5	849.2
香蕉園				
檳榔	46.0			2731.7
鳳梨	6.5			1138.2
茶園	1154.2		18.8	
水田	98.9			
旱田	29.4			514.2
開墾地	5.0		343.0	478.8
崩塌地	12.5	438.0	1113.2	681.3
草地	357.9	1100.4	3343.2	1777.5
建築區	78.4	24.2	62.0	213.9
雞豬舍菇寮	0.1			
墓地	27.2			3.3
道路	183.3		273.4	
水池	2.1			7.5
水庫	842.2	751.6		
河流	238.9		857.3	2358.3
荒地	321.5		161.0	8.1
景觀區				
總和	30043.3	75586.2	60166.4	50351.5
備註	翡翠水庫 ¹	石門水庫 ¹	德基水庫 ¹	曾文水庫 ¹

資料來源：¹經濟部水資源局台灣地區重要水庫集水區水資源資料庫建置及保育計畫

表 4.3 頭前溪、高屏溪、蘭陽溪土地利用情形(單位：公頃)

土地利用	頭前溪	高屏溪	土地利用	蘭陽溪
直接生產用地(水田、旱田、山林、漁池、牧場、礦泉池、池沼)	39499	117075	農地	22278
			林地	63739
			荒地	753
			生活用地	5412
			草地	864
交通水利用地	2050	4450	水域	2029.0
建築用地	4744	9180	生活用地	5412
其他用地	1015	3870	其他用地	155
總和	47308	75586.2	總合	86546
資料來源	八十八年新竹市、新竹縣統計要覽	八十八年屏東縣、高雄縣統計要覽	資料來源	劉小如(2000)

表 4.4 其餘河川之 CN2 值

	南勢溪	三峽河	大安溪	烏溪	鹽水溪	八掌溪	秀姑巒溪	卑南溪
CN2 值	70	75	75	72	82	71	73	83



表 4.5 各流域使用之雨量站及驗證流量站資料

流域名稱	雨量站	流量站	集水面積 (公頃)	驗證年份	退水係數	R ² 平均月流量	R ² 逐月
北勢溪	碧湖	鍵魚堀	7810	1995~1999	0.06	0.88	0.89
南勢溪	桶後	福山	16040	1990~1999	0.09	0.96	0.86
大漢溪	高義	高義	54203	1993~1999	0.15	0.92	0.82
三峽河	復興	三峽	12543	1990~1999	0.075	0.92	0.78
蘭陽溪	土場	家源橋	27350	1990~1999	0.07	0.97	0.70
頭前溪	梅花	竹林大橋	44138	1981~1990	0.073	0.96	0.83
大安溪	象鼻	義理	63318	1990~1999	0.07	0.94	0.82
大甲溪	捫山	松茂	41708	1982~1990	0.07	0.96	0.75
烏溪	北山	乾峰橋	95593	1991~1999	0.03	0.97	0.78
鹽水溪	新市	新市	14646	1990~1999	0.08	0.95	0.84
八掌溪	竹崎	義竹	44102	1990~1999	0.035	0.98	0.79
曾文溪	大湖山	曾文水庫	50351.5	1990~1999	0.05	0.97	0.90
高屏溪	藤枝	里嶺大橋	289479	1991~1999	0.05	0.93	0.88
秀姑巒溪	瑞穗	玉里大橋	100842	1990~1999	0.25	0.92	0.79
卑南溪	知本	台東大橋	158429	1990~1999	0.15	0.96	0.65

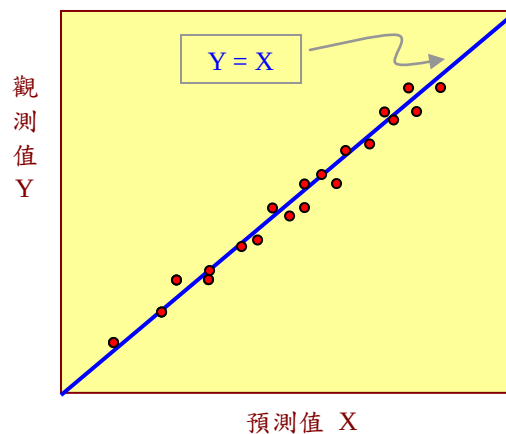


圖 4.5 觀測值與預測值關係圖

5.3.4 流量模擬與衝擊評估與調適策略

以下模擬全省十六條河川，包括北部的北勢溪、南勢溪、大漢溪、三峽河、頭前溪、蘭陽溪及中部的大安溪、大甲溪、烏溪及南部的八掌溪、曾文溪、鹽水溪、高屏溪與東部的秀姑巒溪、卑南溪。以歷史的氣候條件得到該流域的統計特性，再將此統計特性產生 100 年的資料，當成為目前 100 筆的氣候資料，並且分別使用 GCMs 中的 CCCM、GFDL、GISS 等平衡模式及 CGCM1、HadCM3、CSIRO-Mk2 等 SRES 漸變情境，再加上結合台灣特性的 RSM97 氣候變遷預設情境，將目前的氣候之統計特性合成為氣候變遷情境下之統計特性，再將此合成的統計特性產生 100 年的資料。最後將目前氣候條件及六種氣候情境各自的 100 年氣候情境帶到 GWLF 流量模式中來模擬集水



區的流量，以下為各流域氣候變遷後豐枯水期流量的改變。

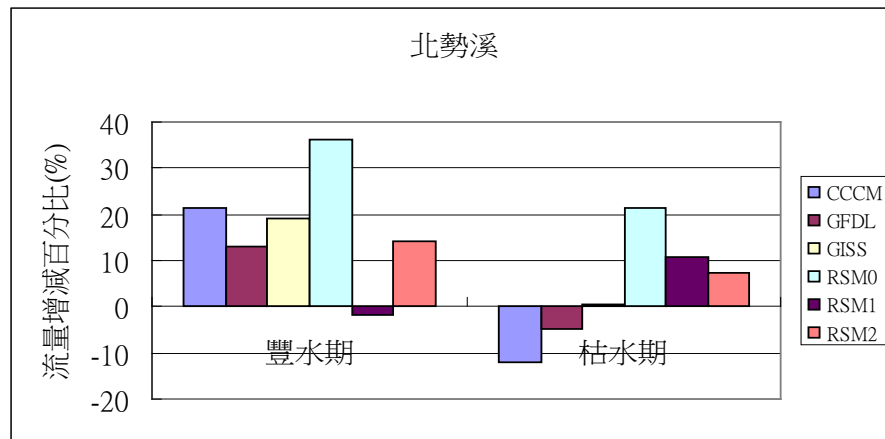


圖 4.6(a) 北勢溪豐枯水期流量改變情形

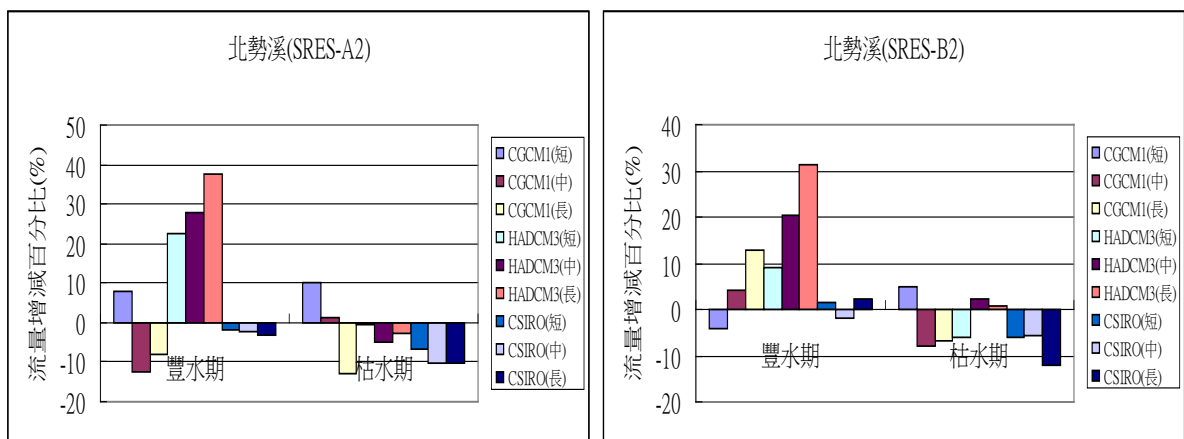


圖 4.6(b) 北勢溪豐枯水期流量改變情形

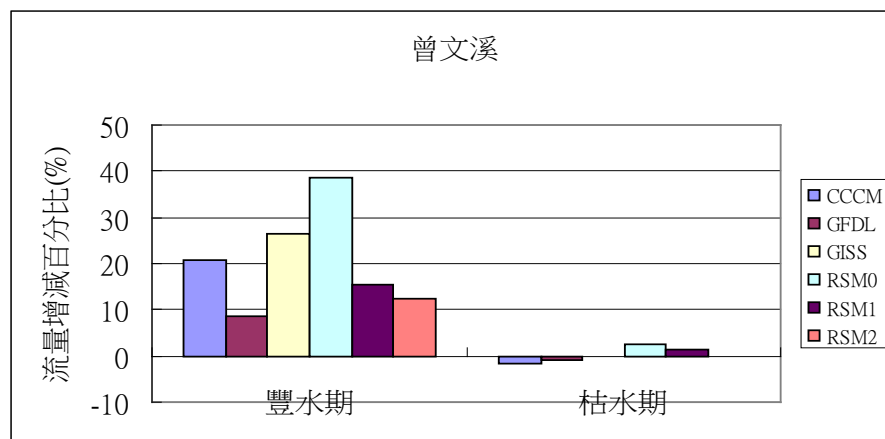


圖 4.7(a) 曾文溪豐枯水期流量改變情形(1)



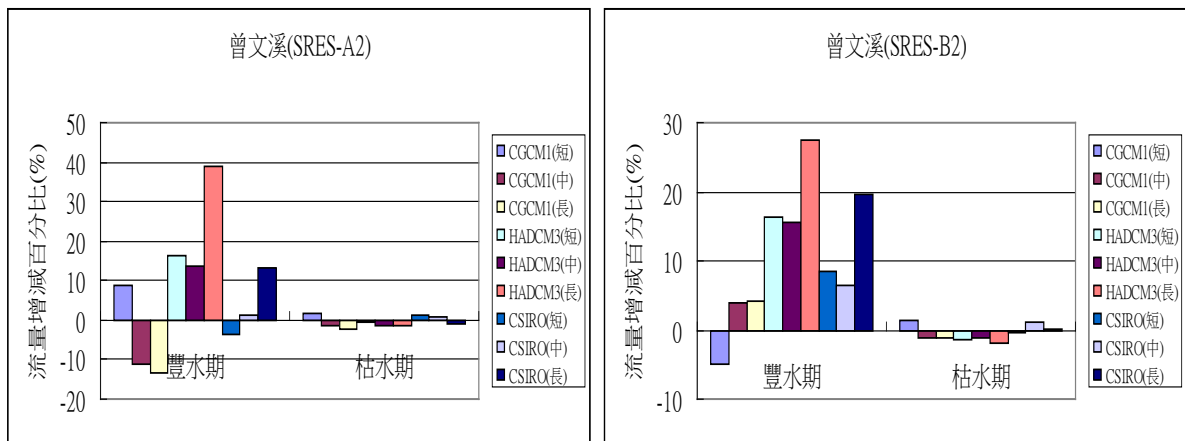


圖 4.7(b) 曾文溪豐枯水期流量改變情形(2)

豐枯水期流量變化

將以上豐枯水期結果增加減少情形整理如表 4.6~4.8。表 4.6 為 GCMs 平衡情境 CCCM、GFDL、GISS 及 RSM97 的 RSM0、RSM1、RSM2 之結果，表 4.7 及表 4.8 為 SRES 漸變情境 CGCM1、HadCM3 及 CSIRO-Mk2 之短中長期 A2 及 B2 排放情境結果。以下分別針對各情境之結果來討論：

1. CCCM、GFDL 及 GISS 預設情境

就豐水期來看，除了大漢溪及頭前溪豐水期流量減少外，其餘豐水期流量有增加的趨勢；而枯水期除了少數幾個流域 GFDL 及 GISS 之情境增加外其餘有減少的趨勢。GFDL 之雨量與台灣之歷史雨量資料作驗證有負相關的情形，因此 GFDL 之可信度較低，可從南勢溪及頭前溪之豐水期流量減少看出其較為反常的情形。由 CCCM 及 GISS 之結果可發現豐枯水期流量差異隨著氣候變遷而變大。

2. RSM0、RSM1 及 RSM2 預設情境

其中大尺度的 RSM0 在豐枯水期流量都是增加的；RSM1 除了北勢溪及大甲溪豐水期減少外，其餘流域在豐枯水期都是增加的；而 RSM2 之模擬結果中，中南東部豐水期流量有減少的趨勢，枯水期流量中部是減少的，北部、東部及南部枯水期流量有增加也有減少。

3. CGCM1、HadCM3 及 CSIRO-Mk2 預設情境 (A2 及 B2 排放情境)

就豐水期來說，除了 HadCM3 短中長期皆增加外，其餘情境有增有減。CGCM1 的 A2 部分短期是增加的，但中長期是減少的；B2 部分短期減少，中長期有增加的趨勢(除了大甲溪、大安溪長期外)。而 CSIRO 較不規則，北部 A2 是減少的，其餘地區



看不出有什麼規則性；而 B2 部分在中南部是明顯增加的。就枯水期部分來看，CGCM1 短期皆增加，而中長期除了北勢溪南勢溪外皆減少。而 HadCM3 的 A2 中北部南部東部皆減少，B2 的南部東部亦減少，其餘較不規則。CSIRO-Mk2 中 A2 部分，北部東部減少，而中南部皆於短中期增加，長期減少；B2 部分北東部減少，中部增加，南部皆有。SRES 中 CSIRO-Mk2 與台灣氣候特性較不符合(呈負相關)，因此其結果較無參考價值。就結果來看，HADCM3 與之前模擬之 CCCM 及 GISS 較像。

100 年頻率年最大月流量及年流量

除了以上的豐枯水期流量分析外，本章亦針對最大月流量及年流量作分析。表 4.9、4.10 分別為氣候變遷後各流域 100 年頻率年最大月流量增減情形及 100 年頻率年流量各情境增減情形。以下就各情境作說明。

1. CCCM、GFDL 及 GISS 預設情境

CCCM 情境之流量結果中，不管是月流量或年流量都是增加的；GFDL 除了三峽河及頭前溪的月流量與大漢溪、三峽河及頭前溪減少外其餘皆增加，但 GFDL 與台灣雨量特性呈負相關；GISS 在各流域皆是增加的。

2. RSM0、RSM1 及 RSM2 預設情境

大尺度的 RSM0 各流域皆是增加的；RSM1 亦有增加的趨勢，RSM2 在北部是增加的，中南東部有減少的趨勢。

3. CGCM1、HadCM3 及 CSIRO-Mk2 預設情境 (A2 及 B2 排放情境)

就 SRES 漸變情境的結果來看，除了 HadCM3 短中長其情境各流域皆增加外，其餘情境皆有增有減。其中 CSIRO-Mk2 與台灣氣候特性呈負相關，因此結果較無參考性；而就 CGCM1 情境之年流量來看，A2 排放情境短期是增加的，中期及長期是減少的，B2 排放情境較無規則性，而 CGCM1 之年最大月流量方面，A2 排放情境除了中部是短期增加、中期長期減少外，其餘各區皆是短期長期增加，而中期減少，B2 排放情境除了中部的大安溪及大甲溪之外，其餘地區短中長期皆是增加的。綜觀來說，HadCM3 與 CCCM、GISS 及 RSM 模式之結果較近，其年最大月流量及年流量有增加的趨勢。



表 4.6 六種平衡試驗氣候變遷預設情境下各流域豐枯水期流量增減情形

流域名稱		北勢溪	南勢溪	大漢溪	三峽河	頭前溪	蘭陽溪	大安溪	大甲溪	烏溪	八掌溪	曾文溪	鹽水溪	高屏溪	秀姑巒溪	卑南溪
豐水期	CCCM	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	GFDL	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	GISS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	RSM0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	RSM1	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
	RSM2	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-
枯水期	CCCM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	GFDL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
	GISS	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	+	-	+
	RSM0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	RSM1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	RSM2	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	-

表 4.7 SRES 模式各流域豐水期流量增減情形

流域名稱			北勢溪	南勢溪	大漢溪	三峽河	頭前溪	蘭陽溪	大安溪	大甲溪	烏溪	八掌溪	曾文溪	鹽水溪	高屏溪	秀姑巒溪	卑南溪
A2	CGCM1	短	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		長	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HADCM3	短	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		長	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CSIRO	短	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+
		中	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+
		長	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+
B2	CGCM1	短	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		中	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		長	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+
	HADCM3	短	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		長	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CSIRO	短	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+
		長	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+

表 4.8 SRES 模式各流域枯水期流量增減情形

流域名稱			北勢溪	南勢溪	大漢溪	三峽河	頭前溪	蘭陽溪	大安溪	大甲溪	烏溪	八掌溪	曾文溪	鹽水溪	高屏溪	秀姑巒溪	卑南溪
A2	CGCM1	短	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		長	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HADCM3	短	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-



B2		中	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
		長	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
	CSIRO	短	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
		中	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
		長	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CGCM1	短	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		長	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HADCM3	短	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		中	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
		長	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
	CSIRO	短	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
		中	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
		長	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-

表 4.9 氣候變遷後各流域 100 年頻率年最大月流量增減情形

流域名稱		北勢溪	南勢溪	大漢溪	三峽河	頭前溪	蘭陽溪	大安溪	大甲溪	烏溪	八掌溪	曾文溪	鹽水溪	高屏溪	秀姑巒溪	卑南溪
CCCM		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
GFDL		+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
GISS		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
RSM0		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
RSM1		+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
RSM2		+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-
A ₂	CGCM1	短期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中期	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		長期	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+
	HadCM3	短期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		長期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CSIRO-Mk2	短期	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+
		中期	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
		長期	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
B ₂	CGCM1	短期	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
		中期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		長期	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
	HadCM3	短期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		長期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CSIRO-Mk2	短期	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中期	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
		長期	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+



表 4.10 氣候變遷後各流域 100 年頻率年流量增減情形

流域名稱			北勢溪	南勢溪	大漢溪	三峽河	頭前溪	蘭陽溪	大安溪	大甲溪	烏溪	八掌溪	曾文溪	鹽水溪	高屏溪	秀姑巒溪	卑南溪
CCCM			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
GFDL			+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
GISS			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
RSM0			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
RSM1			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
RSM2			+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-
A 2	CGCM1	短期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中期	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		長期	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HadCM3	短期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		長期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CSIRO-Mk2	短期	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
		中期	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
		長期	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+
B 2	CGCM1	短期	+	+	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
		中期	-	-	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	-	+
		長期	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+
	HadCM3	短期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		長期	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	CSIRO-Mk2	短期	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		中期	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
		長期	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+

衝擊評估

IPCC 及各國國家通訊報告中都有提到有關於流量的模擬部分，各國使用不同的氣候情境在不同的地區及不同的季節其流量皆有不同的變化，因此衝擊有些差異，以下幾點為整理各地的衝擊：

1. 增加乾旱時期：氣候變遷對於一些中緯度及亞熱帶地區帶來乾旱的危機，尤其在非洲、中亞或南美洲一些沙漠地區缺水的地方，遇到乾旱時期的增長將帶來當地人民的痛苦。
2. 洪水頻率增加：一些高緯度地區受到氣候變遷溫度上升的影響，導致融雪量速度加快而增加冬季及春季的河川流量，使得洪水量及洪水頻率上升對於防洪系統帶來衝擊，此一情形在北歐及北美這些高緯度地區將是一個嚴重的問題。另外也有一些地



區由於降雨量的增加導致洪水量及洪水頻率的增加。

- 3.海平面的上升：各國國家通訊報告也有提到海平面上升帶來的衝擊，由於溫度的上升導致冰山的融解，尤其是一些海島型國家及臨海的國家更是受其害。

就台灣來說，並沒有降雪的狀況，河川流量主要來自於降雨，且由以上的模擬結果發現，流量受到降雨的影響極大，其次是受到溫度及土地利用之影響。而在不同的情境模式下亦有不同的結果趨勢，從不同的結果中都要有因應的措施以預防隨之而來的衝擊，以下整理台灣受氣候變遷之短期、中期及長期的衝擊。

短期

- 1.從短期情境模擬結果來看，HadCM3 之情境除了中部地區 A2 排放情境外，皆有豐水期流量增加，枯水期流量減少的趨勢，枯水期流量的減少意味著乾旱頻率增加，豐枯水期流量差異變大將造成水資源調配上的困難。
- 2.CGCM1 短期情境在 100 年頻率年流量於南部及東部有減少的趨勢，顯示南部及東部地區有乾旱的危機。

中期及長期

- 1.CCCM、GISS、HadCM3 及部分地區之 RSM2 之模擬結果顯示豐枯水期流量有增大的趨勢，豐水期流量增加隱含著洪水災害增強的可能性，枯水期流量減少證明乾旱情形可能嚴重化，尤其在南部地區豐枯水期流量差異極大(9：1)，枯水期流量的減少將增加乾旱的嚴重性，且豐枯水期差異變大，將造成水資源調配的困難。另外豐水期流量的增加降帶入更多的污染源至河川中，枯水期流量的減少也會使得河川中污染物濃度升高，將造成水質的污染。
- 2.就最大月流量來看，除了 CGCM1 中期 A2 情境、CGCM1 長期 A2 情境中部地區及 RSM2 中部南部地區是減少外，其餘地區年最大月流量是增加的。台灣主要的洪水是來自於夏季及秋季的颱風帶來的豐沛雨量，且洪水量相當大，年最大月流量的增加表示未來在氣候變遷的影響下洪水量及洪水頻率極可能增加，對於現有的堤防及水庫將帶來衝擊。
- 3.從年流量的結果來看，RSM2 中部、南部、東部地區，以及 CGCM1 中期、長期 A2 情境及部分地區 B2 情境是減少的。而年流量的減少表示可運用的水資源減少，如果流量的減少是因為枯水期流量減少所導致，將會有乾旱之危機。
- 4.新的工業區、科學園區不斷開發，在規劃一新的工業區或科學園區時都需考慮如何取得水源，且再加上人口的成長將導致用水量的增加，如果沒有建立國人省水的觀念



未來將有缺水的問題。

5.3.5 調適策略

氣候變遷對水文環境帶來的衝擊將影響未來的生活環境，因此面對種種的衝擊必須研擬因應的策略。世界各國在國家通訊報告中均已對氣候變遷帶來的衝擊有因應的措施，不管是內陸型國家或海島型國家都有其因應的辦法，整理各國的作法如下：

1.水文方面

有些國家如加拿大、美國、德國等，為了保護水土資源其未來的策略包括妥善的集水區經營以減少土壤沖蝕，並加強森林的保護，可達到涵養水源的功效並確保水質，亦可增加地下水補注以因應乾旱時期的缺水。另外也須將加強氣候的監測工作及水文模式的強化，以便做好預警的工作。而海島型國家如諾魯(Nauru)、薩摩亞(Samoa)、新加坡等，對於海平面的上升亦相當重視，如海岸地區的住家往島中央遷移，嚴防海水入侵影響地下水水質，並且要加強海岸線的防護。

2.防災方面

洪水頻率及洪水量的增加將帶來洪水的災害，有些國家針對防洪方面增加了防洪設施的容量，並加強洪水地區的保護，如芬蘭、法國、美國等國。而對於乾旱的情形也必須有因應的措施，如開發新水源、改善蓄水設備及加強海水淡化的技術等，如英國、馬紹爾群島、新加坡等國。

3.在管理方面

各國政府大都積極對氣候變遷的衝擊採取應有的措施，如加強水資源管理系統，避免不必要的水資源浪費，並讓人民了解氣候變遷對未來的衝擊，讓預防措施能夠順利的進行。

台灣屬一海島型國家，屬亞熱帶氣候且雨量豐沛，但河川陡峻造成雨水迅速入海，水資源涵養不易，且在未來氣候變遷的影響下豐枯水期流量差異變大、洪水頻率的增加以及年流量的減少都將帶來衝擊，必須有一套因應的策略，就台灣特性而言調適策略以下幾點所示：

1.預防河川水質惡化

高流量的地表逕流將帶入更多的污染至河川中，低流量的河川水流也會使得污染



物濃度升高。尤其是大量使用農藥、肥料，殘餘者滲流進河川，使河川水質惡化、水庫優養化，造成河川的浩劫。因此未來要減少農藥的使用量，以減少污染源，並做好水土保持工作，避免污染源隨著土壤顆粒流入河川中，提高水的品質。

2.重視水文模式研究發展

建立一套適合台灣的水文預測系統，以對於氣候變遷即將帶來的衝擊有所預警，且能夠針對及將來的衝擊採取因應的措施，將損失減至最小。

3.加強生態系統的保護

在人為過度開發的影響下，自然生態遭受極大的影響，且河川流量可能因為氣候變遷而減少，使一些小河川變成間歇流。水中生態系活動因而受到限制，且低流量使得水中污染物濃度增加，魚類及浮游生物的生存因而受到影響，因此保護水中生態是重要的一項工作。

4.氣候預警與災害風險管理

建立完整之氣候監測系統，做好事先預警的工作，並且加強災害風險管理，將衝擊帶來的損失減至最小。

5.加強水資源調配

豐枯水期流量差異變大將對水資源調配帶來衝擊，因此未來可以從開發新水源著手，包括了地面水及地下水，並加強地下水及地面水聯合營運機制，以因應水資源的調配。且在水的需求量上必須妥善評估，以完成完整水資源調配規劃。增加管理策略之彈性以因應氣候變動性變大所帶來水資源管理衝擊。

6.加強防洪系統

台灣豐水期有大部分水量來自於颱風的暴雨，常帶來洪水的災害。且由以上的結果顯示氣候變遷將增加豐水期流量及洪水頻率，目前的防洪措施將面臨極大的挑戰，因此必須對於目前防洪結構物作完整的檢討，如水庫防洪功能的評估、堤防防洪能力的檢討、洪泛區劃定之檢討並加強洪水預測及警報系統。

7.加強抗旱措施

有部分的模擬顯示枯水期流量減少，目前在乾旱時期常將農業用水轉為民生及工業用水使用，未來枯水期流量的減少勢必增加農業用水的轉移，因此必須研擬乾旱時期水資源利用方案。



8. 水利組織整合

整合中央政府及地方政府間的水利事權，並提升縣市政府水利機關層級，強化其技術及人力資源；落實水資源開發利用、保育、管理及調配工作。

9. 推動水的回收使用

隨著時代的進步，污水的排放將成為最大的污染源，但經過廢水處理後將成為另一種水源。未來在枯水期缺水的情形下，此一方法為一妥善利用水資源的良策。

10. 教育的宣導

加強教育的宣導，培養國人節約用水的好習慣，以增進水資源永續發展的目的。

4.5 不確定性之探討

本章模擬中有幾條流域因為沒有詳細的土地利用資料，因此 CN2 值是根據大致的土地使用狀況而定的值，因此未來在模擬上可以先蒐集詳細的土地利用資料，以得到更精準的結果。以下為流量模擬之不確定性探討：

1. 氣象資料的不確定性

由於一個集水區中有許多雨量站，不同雨量站的資料帶入流量模式中有不同的結果，必須選定一適當的雨量站足以表現出流域的特性。另外，氣候變遷情境的採用亦有極高的不確定性，本模擬採用了 GCMs 之平衡情境，包括 CCCM、GFDL 及 GISS 三種模式以及 RSM97 的 RSM0、RSM1、RSM2，再加上具 SRES 漸變情境中的 CGCM1、HadCM3、CSIRO-Mk2 之短期中期長期的 A2 及 B2 排放情境，共 24 種情境來作分析，其中除了 GFDL 及 CSIRO-Mk2 與台灣雨量特性呈負相關外，其餘模式皆有不同的結果，存在著極高的不確定性，有很大的討論空間。

2. 模式參數的不確定性

流量模擬必須輸入集水區的土地利用資料以確定其 CN 值，而土地利用資料大都由航照圖的判定或土地大致使用情形而來，因此不同的資料來源有不同的結果呈現，有其不確定性存在。且未來受到土地開發的影響，土地利用情形亦有所改變，因此在未知的狀況之下有其不確定性。

