

災害防救應用科技方案  
水庫集水區跨尺度定量降雨預報  
及入庫流量推估整合技術發展  
成果報告書

國家實驗研究院

台灣颱風洪水研究中心

中華民國 104 年 2 月

# 目錄

第一章 前言 .....	1
第二章 高精度水庫集水區系集統計預報技術發展 .....	3
(1) 遺傳演算法(Genetic Algorithm, GA) .....	3
(2) 機率撮合法(probability-matched, PM) .....	4
(3) 水庫集水區強降雨事件分析評估 .....	5
第三章 水庫集水區降雨逕流推估技術發展.....	9
(1) 運動波—地貌瞬時單位歷線理論 .....	9
(2) 水庫集水區入庫流量推估技術評估 .....	11
第四章 春季季節性降雨推估技術發展.....	16
(1) 模式設定與實驗設計 .....	16
(2) 台灣春季降雨推估實驗評估 .....	17
第五章 總結與未來工作.....	22
參考文獻.....	24

## 圖表目錄

圖 1.1	石門水庫集水區及曾文水庫集水區之位置圖。.....	2
圖 2.1	機率撮合(probability-matched, PM)方法流程圖。.....	7
圖 2.2	2012 年每 24 小時全台雨量最大值比較圖(橫座標為 dtg)，紅色線為觀測、藍色線為系集平均而綠色線為 PM 後雨量最大值。.....	7
圖 2.3	麥德姆颱風與鳳凰颱風個案在(a)石門水庫及(b)曾文水庫集水區之未來 24 小時降雨量預報結果。.....	8
圖 3.1	考慮部分集水面積之集水區逕流路徑示意圖 (Lee and Chang, 2005)。.....	14
圖 3.4	以部分集水面積觀念為基礎之 i 級序次集水區 V 形概念化模型 (Lee and Chang, 2005)。.....	14
圖 3.5	石門水庫集水區之(a)2009 年莫拉克颱風、(b)2012 年蘇拉颱風、(c)2013 年蘇力颱風之降雨逕流模擬結果及曾水庫集水區之(d)2007 年聖帕颱風、(e)2008 年卡玫基颱風、(f)2008 年辛樂克颱風之降雨逕流模擬結果。.....	15
圖 4.1	MPAS 全球模式台灣春季降雨實驗設定(a)120 km 解析度均勻水平網格配置、(b)台灣附近之網格配置、台灣分區及水庫集水區位置、及(c)包含台灣北部之網格點與對應之面積權重比例。.....	18
圖 4.2	2005 至 2014 年 2 月之(a)北、(b)中、(c)南及(d)東部之月雨量	

	年際變化、10 年後報平均及 2014 年預報之箱型圖。 .....	19
圖 4.3	2005 至 2014 年 3 月之(a)北、(b)中、(c)南及(d)東部之月雨量 年際變化、10 年後報平均及 2014 年預報之箱型圖。 .....	20
圖 4.4	2005 至 2014 年 4 月之(a)北、(b)中、(c)南及(d)東部之月雨量 年際變化、10 年後報平均及 2014 年預報之箱型圖。 .....	21

# 第一章 前言

在全球氣候變遷的影響下，近年來世界各地極端天氣現象的發生頻率漸增。台灣地區位於西北太平洋海域之樞紐位置，每年依季節分別受到梅雨、颱風及中緯度鋒面的影響。因此，台灣地區年平均降雨量約可達 2,500 毫米以上，但由於台灣地區河川坡陡流急，水資源不易蓄存利用，且降雨時空分布不均勻、豐枯差異明顯，若無法針對水資源進行預先的管理與調度，常易造成水資源供需失調，對社會民生與經濟產生重大衝擊。

針對台灣地區乾旱現象的研究，無論是由氣象、水文、水資源管理或乾旱預警等方面出發，均已投入大量之研究人員進行探討分析，並獲得許多豐碩的研究成果。本計畫為求實務作業上之有效應用、增進台灣地區水庫水資源管理實務上的效率及提供決策者更明確之決策訊息。本計畫針對水庫集水區，發展劇烈天氣影響台灣期間之短期定量降雨預報技術，並用推估之雨量資訊推估入庫流量協助洩洪決策；並於乾旱發生前或休耕決策時，提供適切之季節性降雨推估資訊，協助決策單位盡早提供乾旱預警資訊。採用之研究方法將透過區域模式與全球模式，並考慮多模式策略，發展具時效性的定量降雨預報技術。

本研究以石門、曾文水庫集水區(圖 1.1)為研究區域，研發不同時間尺度之降雨預報技術，並應用颱洪中心「台灣定量降雨系集預報實驗」(Taiwan Cooperative Precipitation Ensemble Forecast Experiment, TAPEX)之 72 小時預報雨量，發展小範圍、高精度之水庫集水區系集統計預報技術，並將 1~3 天水庫集水區之定量降雨預報結合水庫逕

流推估模式，發展水庫集水區之入庫流量推估技術。除此以外，本計畫還開始使用動力與物理過程完整之 MPAS 高解析度全球模式，發展春季之季節性降雨推估技術。

本報告將於第二章介紹本研究中使用之兩種水庫集水區系集統計預報技術及其結果評估，第三章將說明水庫逕流推估模式之建置方法及測試結果，第四章為全球模式之春季季節降雨實驗設定說明及初步實驗結果，第五章為總結與未來工作。

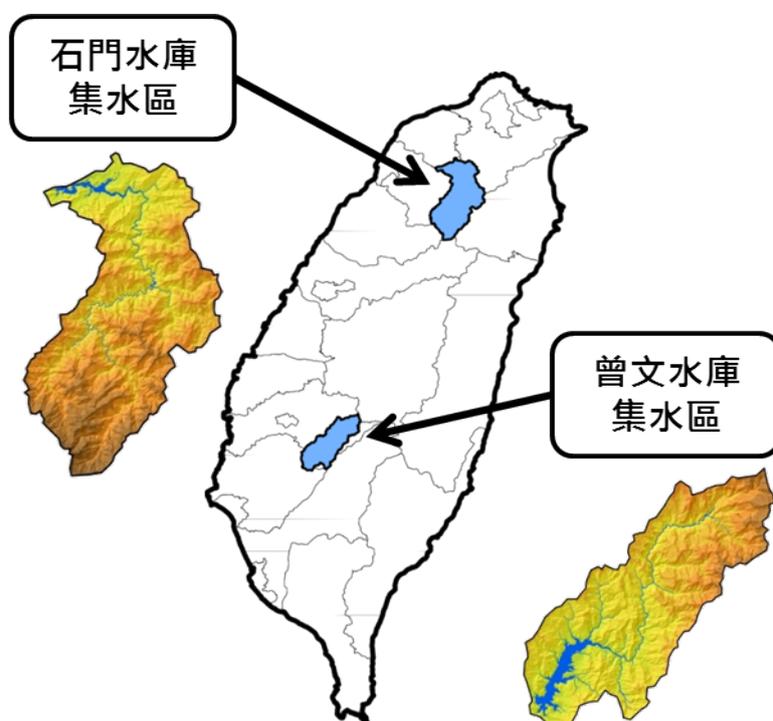


圖 1.1 石門水庫集水區及曾文水庫集水區之位置圖。

## 第二章 高精度水庫集水區系集統計預報技術發展

颱洪中心於 2010 年起進行「台灣定量降雨系集預報實驗」(Taiwan Cooperative Precipitation Ensemble Forecast Experiment, TAPEX) (Hsiao et al., 2013)，其目的在研發測試定量降雨預報技術並增加災防單位應變作業時可參考之資訊，協助提升災害防救效能。其實驗結合學研界(台灣大學、中央大學、台灣師範大學及文化大學)與作業單位(中央氣象局)之研發能量，並結合國家高速網路與計算中心的計算資源及國家災害防救科技中心的實務經驗。於颱風影響台灣期間，每日產出 4 次即時高解析度台灣地區天氣狀況並利用系集統計方法與機率預報概念，分析颱風路徑與雨量分布，2012 年實驗系集成員已增加至 22 組，其中包含多種不同之中尺度區域數值模式。整體來說，雨量預估之結果在各系集成員間變異度很大，系集平均往往在降雨預報上較單一成員表現來得好，但容易在大值低估，在機率分布上來說，其他系集成員反而較有機會可能報到降雨大值。因此本研究以現有颱洪中心定量降雨系集實驗(TAPEX)為基礎，分別應用機率撮合法(Probability Matching, PM)以及遺傳演算法(Genetic Algorithm, GA)兩種系集統計整合技術，針對石門水庫與曾文水庫集水區，評估強降雨個案未來 24 小時之總雨量推估表現。

### (1) 遺傳演算法(Genetic Algorithm, GA)

遺傳演算法，又名基因演算法，係由 John H. Holland 於 1975 年提出的一種基於自然界演化過程而發展的最佳化理論(Holland, 1992)。

其基本精神係仿效生物界中物競天擇、適者生存的自然進化法則。藉由從上一代物種中選擇出適應力較優的個體進行繁衍，隨機互換彼此的優良基因資訊，以期產生比上一代個體適應性更佳子代。如此不斷重複，最終將產生適應力最強的最佳物種。遺傳演算法的最大優點即是不需事先對欲求解的問題做過多假設，只要透過合適的基因編碼(Gene Coding)與目標函數(Object Function)的設計即可與欲解決的問題結合，進行最佳解的搜尋。而且，因遺傳演算法執行時係同時考慮搜尋解空間上多個可行解，故可較快速獲得全域最佳解(Global Optimum)，並避免落入區域最佳解(Local Optimum)的機會。近年來，遺傳演算法技術已被廣泛運用於不同領域中進行最佳化相關研究，例如模式參數、權重與架構最佳化(Wang, 1997; Mohan, 1997; Blanco et al., 2001; Jain and Srinivasulu, 2004; Lin and Wang, 2007; Lin et al., 2013)等等。

## (2) 機率撮合法(probability-matched, PM)

本研究參考過去機率撮合(probability-matched, PM)方法在雷達降雨、數值實驗上之應用經驗(Rosenfeld et al. 1993, 1994, 1995; Ebert 2001; Fang and Kuo 2013)，將其利用於TAPEX系集實驗的基礎上，發展出適合之短期定量降雨預報技術。根據颱風洪水中心過去校驗之結果顯示，系集平均(ensemble mean)在130 mm/24hrs之門檻值以上之強降雨事件，其機率密度函數往往小於觀測值，表示在強降雨事件常常有低估的情形；而從累積分布函數來看，系集成員與觀測於70 mm/24hrs ~ 80 mm/24hrs之門檻值時，累積分布函數皆為0.93，顯示整

體系集成員相較系集平均來說更有機會能反應出強降雨事件。由整體趨勢來說，系集平均雖然可以反應降雨分布的空間特性，但是往往對於強降雨事件的降雨強度有所低估，各系集實驗中發生機率分布較系集平均更接近實際雨量事件發生的機率分布。因此，PM方法將TAPEX系集平均的雨量值進行排序，得到排序後之網格點上的雨量空間分布資訊，再將各系集實驗成員中網格點上雨量值也進行排序，最後將系集成員雨量資訊依照順序放入系集平均排列後的網格點上(圖2.1)。如此能同時保持較正確的系集平均雨量空間分布，又能夠修正系集平均雨量值使其更接近觀測雨量值。圖2.2顯示2012年TAPEX系集資料，利用M01至M19共19個系集成員做為樣本，共194個dtg初始時間之實驗進行全台之PM方法測試之全台24小時累積雨量最大值之比較圖，結果顯示在發生雨量大值區域，PM方法能有效將系集平均高值提高，但在較低雨量時有略微高估的情況。

### (3) 水庫集水區強降雨事件分析評估

針對石門水庫與曾文水庫集水區，今年度分別應用機率撮合法(PM)以及遺傳演算法(GA)兩種系集統計整合技術評估強降雨個案未來24小時總雨量推估之表現。以今年麥德姆與鳳凰颱風為例，分析每6小時預報之未來24小時總雨量資料。其中PM方法首先以系集平均的雨量空間分布為基準，重新分配各系集實驗中雨量值於模式中之格點位置，修正系集平均雨量使其接近觀測雨量值，再分別將預報

雨量值內插至石門、曾文水庫集水區內之測站進行評估。GA 方法則為即時比對各雨量測站位置處之過去 6 小時內各系集成員預報雨量值與觀測雨量值，評估各系集成員表現並據以訂定各系集成員間的最佳組合權重，使得加權組合後之預報值與觀測值誤差最小，之後即應用此組最佳組合權重即時整合與修正各系集成員在石門、曾文水庫集水區內測站未來 24 小時之累積雨量預報值。應用 PM 與 GA 於石門水庫集水區之預估結果如圖 2.3 所示，PM、GA 與系集平均之推估值均高於實際降雨值，麥德姆颱風事件期間三者之均方根誤差分別為 89.4 mm、124.6 mm、73.1 mm；鳳凰颱風個案期間三者之均方根誤差分別為 58.2 mm、76.7 mm、55.0 mm。有關曾文水庫集水區，PM、GA 與系集平均之推估值均與實際降雨值十分接近，麥德姆颱風事件期間三者之均方根誤差分別為 63.3 mm、80.7 mm、46.1 mm；鳳凰颱風個案期間三者之均方根誤差分別為 24.9 mm、42.2 mm、33.2 mm。整體而言，根據 2 場個案測試結果顯示以系集平均最接近實際值，PM 次之，而 GA 則易高估。由於目前個案數尚少，初步測試未能有一致性的結果，未來預計將納入更多個案持續進行整體性之評估。

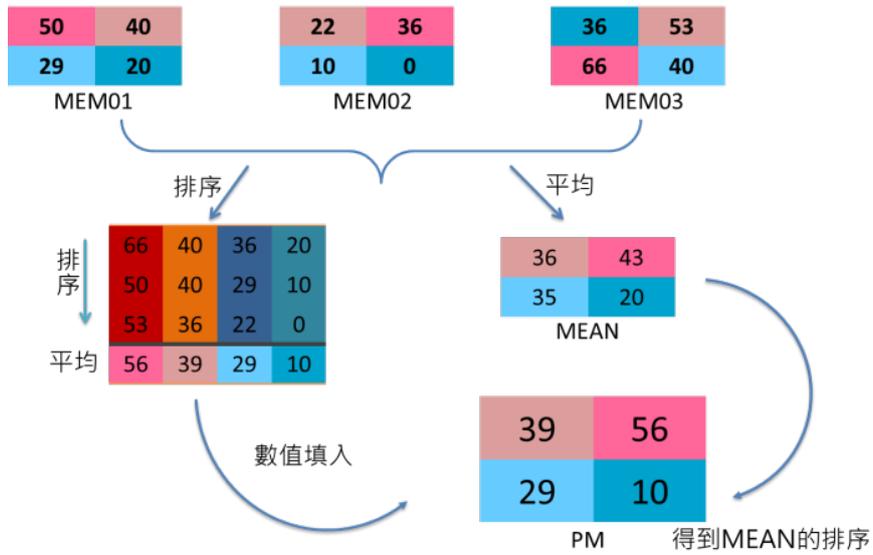


圖 2.2 機率撮合(probability-matched, PM)方法流程圖。

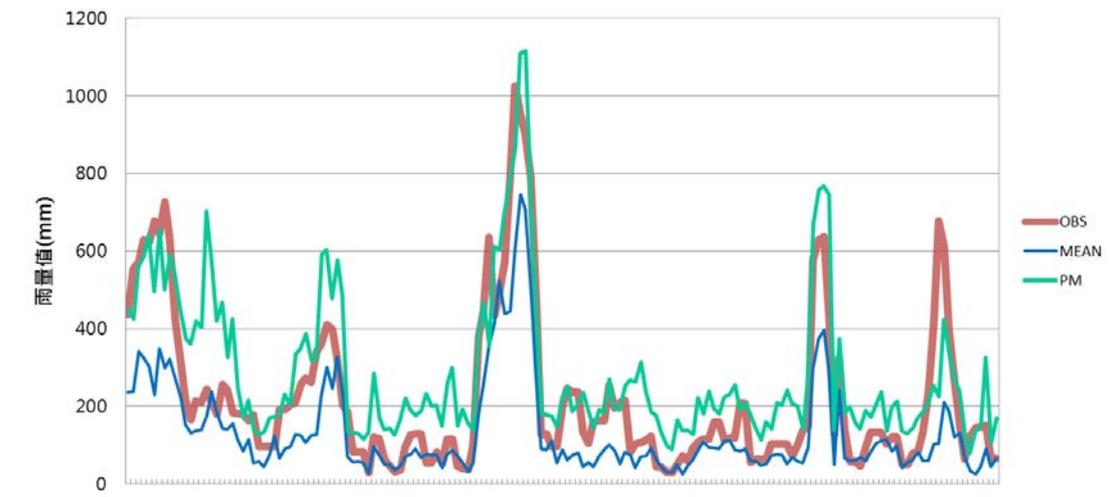


圖 2.3 2012 年每 24 小時全台雨量最大值比較圖(橫座標為 dtg)，紅色線為觀測、藍色線為系集平均而綠色線為 PM 後雨量最大值。

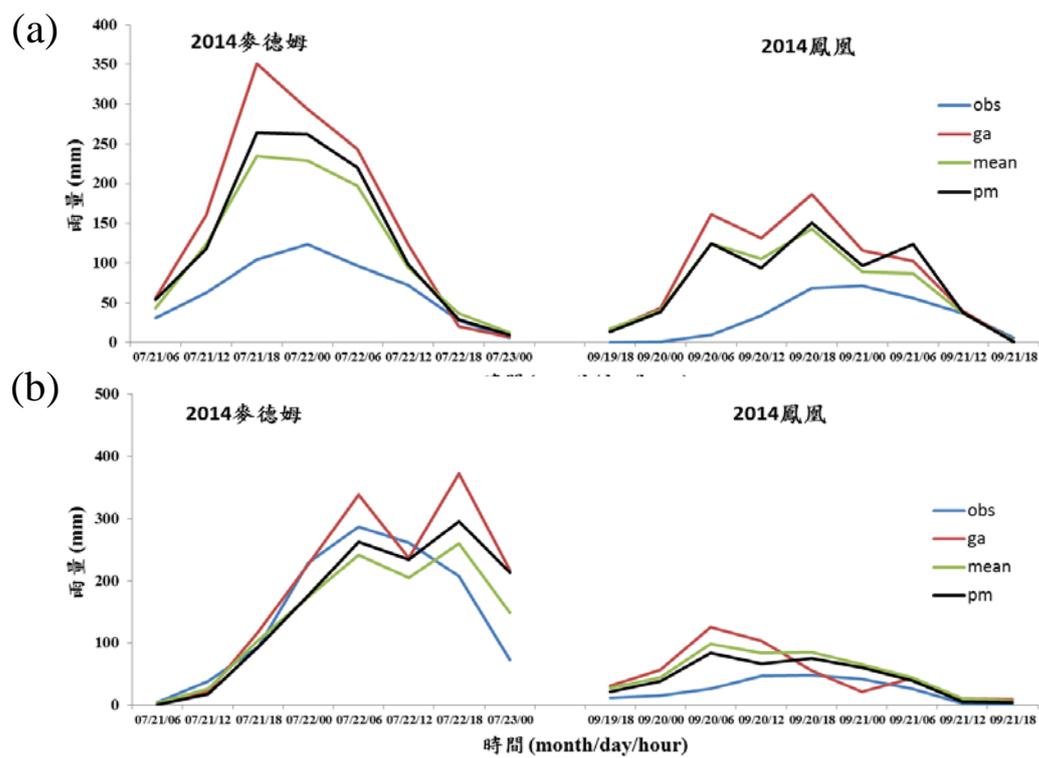


圖 2.4 麥德姆颱風與鳳凰颱風個案在(a)石門水庫及(b)曾文水庫集水區之未來 24 小時降雨量預報結果。

### 第三章 水庫集水區降雨逕流推估技術發展

#### (1) 運動波—地貌瞬時單位歷線理論

Lee and Yen (1997)以 Horton-Strahler 河川級序觀念將集水區區分為數個不同級序之次集水區，集水區內水流之逕流機制依不同河川級序劃分為漫地流與渠流階段，並以運動波理論推求不同逕流階段之平均逕流運行時間，建立運動波—地貌瞬時單位歷線模式(Kinematic-Wave-based Geomorphic Instantaneous Unit Hydrograph, KW-GIUH)。Lee and Chang (2005)進一步應用部分集水面積(partial contributing area)之概念進行修正，將各級序次集水區區分為地表逕流與地表下逕流等兩部分(如圖 3.1 所示)，成為能考慮地表下逕流運行機制之運動波—地貌瞬時單位歷線模式。經濟部水利署於執行易淹水地區水患治理計畫，已將運動波—地貌瞬時單位歷線模式(Lee and Yen, 1997)列為標準分析模式，已應用於台灣地區及世界多個國家，而得到良好的模擬結果(Lee and Yen, 1997; Yen and Lee, 1997; Lee and Chang, 2005; Shadeed et al., 2007; Chiang et al. 2007; Kumar and Kumar, 2008; Cao et al., 2010)。

當一單位有效降雨，在  $t = 0$  時均勻落在集水區之部分集水面積與非部分集水面積範圍上，若此一單位有效降雨為  $N(N \rightarrow \infty)$  個彼此獨立且不相互作用之雨滴，則這些雨滴到達集水區出口處之個數對時間的分佈，即為該集水區之瞬時單位歷線。若以指數分佈作為各階段逕流運行時間之機率分佈(Gupta et al., 1980)，則可求得集水區地表逕流部分之瞬時單位歷線解析解(Lee and Chang, 2005)為：

$$u_s(t) = \sum_{w_s \in W_s} \left[ a_i \exp\left(-\frac{t}{T_{x_{oi}}}\right) + b_i \exp\left(-\frac{t}{T_{x_i}}\right) + b_j \exp\left(-\frac{t}{T_{x_j}}\right) + \dots + b_\Omega \exp\left(-\frac{t}{T_{x_\Omega}}\right) \right] \cdot P(w_s) \quad (1)$$

式中  $a_i, b_i, b_j, \dots, b_\Omega$  為係數； $P(w_s)$  為落於部分集水面積上之某一雨滴，採取一特定路徑之機率； $T_{x_{oi}}$  為  $i$  級序漫地流之逕流運行時間； $T_{x_i}$  為  $i$  級序渠流之逕流運行時間。同理，亦可求得集水區地表下逕流部分之瞬時單位歷線解析解(Lee and Chang, 2005)為：

$$u_{sub}(t) = \sum_{w_{sub} \in W_{sub}} \left[ a_{sub_i} \exp\left(-\frac{t}{T_{x_{sub_i}}}\right) + d_i \exp\left(-\frac{t}{T_{x_i}}\right) + \dots + d_\Omega \exp\left(-\frac{t}{T_{x_\Omega}}\right) \right] \cdot P(w_{sub}) \quad (2)$$

式中  $a_{sub_i}, d_i, d_j, \dots, d_\Omega$  為係數； $P(w_{sub})$  為落於非部分集水面積上之某一雨滴，採取一特定路徑之機率； $T_{x_{sub_i}}$  為  $i$  級序次集水區之地表下逕流運行時間。

基於線性系統之假設，可得集水區瞬時單位歷線為地表逕流所形成之瞬時單位歷線  $u_s(t)$ ，與地表下逕流所形成之瞬時單位歷線  $u_{sub}(t)$  的線性組合，因此集水區之瞬時單位歷線(Lee and Chang, 2005)可表示為：

$$u(t) = u_s(t) + u_{sub}(t) \quad (3)$$

如圖 3.2 所示，若有一強度為  $i_e$  之有效降雨(effective rainfall)，均勻落於此 V 形概念化模型上，則利用運動波理論配合曼寧公式，可推得  $i$  級序次集水區之漫地流之逕流平均運行時間  $T_{x_{oi}}$  (Henderson and Wooding, 1964) 為：

$$T_{x_{oi}} = \left( n_o \bar{L}_{oi} / \bar{S}_{oi}^{1/2} i_e^{m-1} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (4)$$

式中  $n_o$  為漫地流糙度係數； $\bar{L}_{oi}$  為  $i$  級序之漫地流平均長度； $\bar{S}_{oi}$  為  $i$  級

序之漫地流平均坡度； $m$  為指數，相較於曼寧公式，其值 5/3。

而  $i$  級序次集水區之地表下逕流平均運行時間  $T_{x_{sub_i}}$ ，利用運動波理論配合達西公式可推得(Henderson and Wooding, 1964):

$$T_{x_{sub_i}} = \eta \bar{L}_{sub_i} / K_o \bar{S}_{o_i} \quad (5)$$

式中  $\eta$  為土壤孔隙率(soil porosity)； $\bar{L}_{sub_i}$  為  $i$  級序集水區地表下逕流之平均逕流長度； $K_o$  為表層土壤之水力傳導度，在降雨逕流過程中，此值可假設為飽和水力傳導度。而  $i$  級序次集水區之渠流階段平均逕流運行時間  $T_{x_i}$ ，可推得如下(Lee and Yen, 1997):

$$T_{x_i} = \frac{B_i}{2i_e \bar{L}_{sub_i}} \left[ \left( h_{co_i}^m + \frac{2i_e n_c \bar{L}_{sub_i} \bar{L}_{c_i}}{\bar{S}_{c_i}^{1/2} B_i} \right)^{\frac{1}{m}} - h_{co_i} \right] \quad (6)$$

式中  $B_i$  為  $i$  級序渠流寬度； $h_{co_i}$  為上游次集水區匯入  $i$  級序河川之平均水深； $\bar{S}_{c_i}$  為  $i$  級序渠流平均坡度；而  $n_c$  為渠流糙度係數； $\bar{L}_{c_i}$  為  $i$  級序渠流之平均運行長度； $m$  為指數，相較於曼寧公式，其值為 5/3。若將第(4)式、(5)式與(6)式分別代入第(1)式與第(2)式，則可得瞬時單位歷線之解析解，而得以推求集水區之直接逕流量。

## (2) 水庫集水區入庫流量推估技術評估

以運動波-地貌瞬時單位歷線模式 KW-GIUH 進行水庫集水區入庫流量推估整合技術之發展。為評估模式所模擬流量與實測流量之差異比較，採用統計及水文學上常用的三種指標，分別為洪峰流量誤差

百分比、洪峰到達時刻誤差以及效率係數。洪峰流量誤差百分比表示為：

$$E_{Q_p}(\%) = \frac{(Q_p)_{sim} - (Q_p)_{rec}}{(Q_p)_{rec}} \times 100\% \quad (7)$$

其中 $(Q_p)_{sim}$ 為模擬洪峰流量， $(Q_p)_{rec}$ 為記錄洪峰流量。洪峰到達時刻誤差可表示為：

$$ET_p = (T)_{sim} - (T_p)_{rec} \quad (8)$$

其中 $(T_p)_{sim}$ 為模擬洪峰到達時間， $(T_p)_{rec}$ 為記錄洪峰到達時間。效率係數可表示為：

$$CE = \frac{\sum_{t=1}^n [Q_{rec}(t) - Q_{sim}(t)]^2}{\sum_{t=1}^n [Q_{rec}(t) - \bar{Q}_{rec}]^2} \quad (9)$$

其中 $\bar{Q}_{rec}$ 為記錄流量之平均值， $CE$ 值愈接近 1 表示模式預測效能愈佳。

本年度已完成利用 KW-GIUH 逕流推估模式建置石門水庫與曾文水庫兩個集水區之入庫流量推估技術。在石門水庫集水區，分別以 2009 年莫拉克颱風及 2012 年蘇拉颱風進行模式參數檢定，後以 2013 年蘇力颱風驗證，如圖 3.3(a)、(b)、(c)所示，不論在洪峰流量模擬(莫拉克颱風： $E_{Q_p} = -1.21\%$ ；蘇拉颱風： $E_{Q_p} = -6.49\%$ ；蘇力颱風： $E_{Q_p} = -1.79\%$ )、洪峰到達時刻(莫拉克颱風： $E_{T_p} = 1 \text{ hr}$ ；蘇拉颱風： $E_{T_p} = 0 \text{ hr}$ ；蘇力颱風： $E_{T_p} = 2 \text{ hr}$ )或歷線上升段與退水段模擬(莫拉克颱風： $CE = 0.92$ ；蘇拉颱風： $CE = 0.78$ ；蘇力颱風： $CE = 0.94$ )，大致上可

獲得良好的模擬結果。有關曾文水庫集水區，以 2007 年聖帕颱風及 2008 年卡玫基颱風來檢定，以 2008 年辛樂克颱風作驗證，如圖 3.3(d)、(e)、(f)所示，在洪峰流量模擬(聖帕颱風： $E_{Qp} = -6.02\%$ ；卡玫基颱風： $E_{Qp} = -0.09\%$ ；辛樂克颱風： $E_{Qp} = 8.62\%$ )、洪峰到達時刻(聖帕颱風： $E_{Tp} = 3 \text{ hr}$ ；卡玫基颱風： $E_{Tp} = 1 \text{ hr}$ ；辛樂克颱風： $E_{Tp} = 1 \text{ hr}$ )或歷線上升段與退水段模擬(聖帕颱風： $CE = 0.92$ ；卡玫基颱風： $CE = 0.94$ ；辛樂克颱風： $CE = 0.93$ )。以上結果顯示 KW-GIUH 模式適用於示範水庫集水區之降雨逕流歷程模擬。後續研究工作將結合定量降雨系集實驗 (TAPEX) 之雨量結果，進而推估颱風個案之水庫入流量。

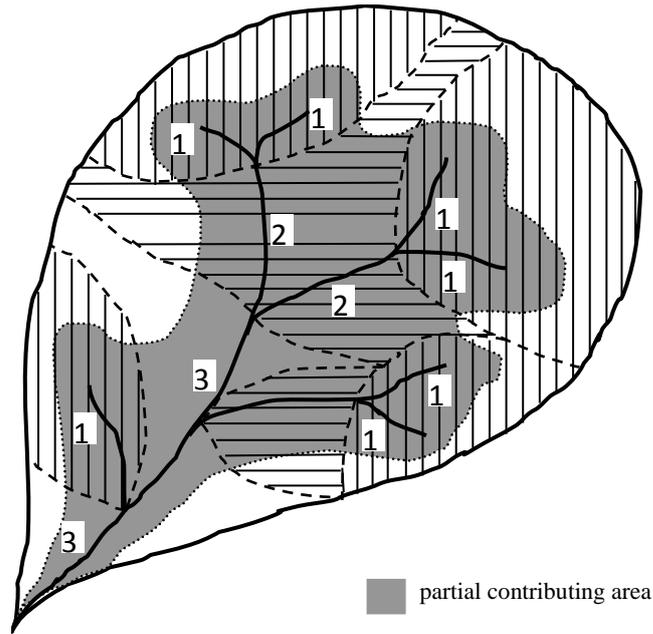


圖3.1 考慮部分集水面積之集水區逕流路徑示意圖 (Lee and Chang, 2005)。

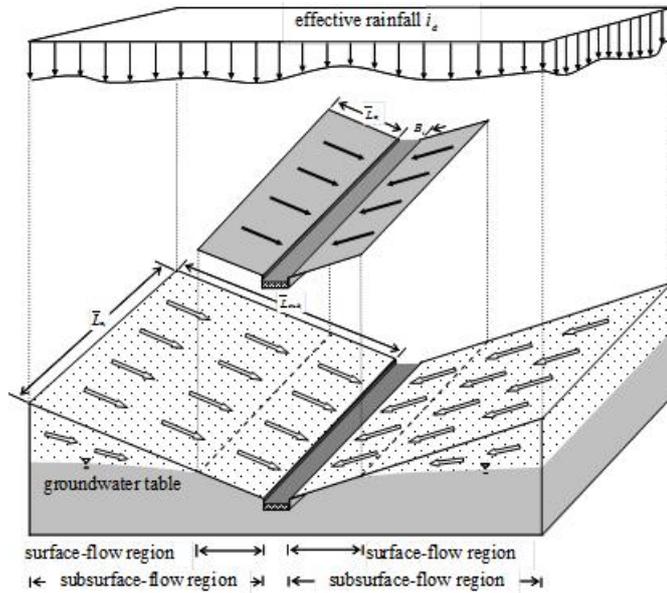


圖3.2 以部分集水面積觀念為基礎之i級序次集水區V形概念化模型 (Lee and Chang, 2005)。

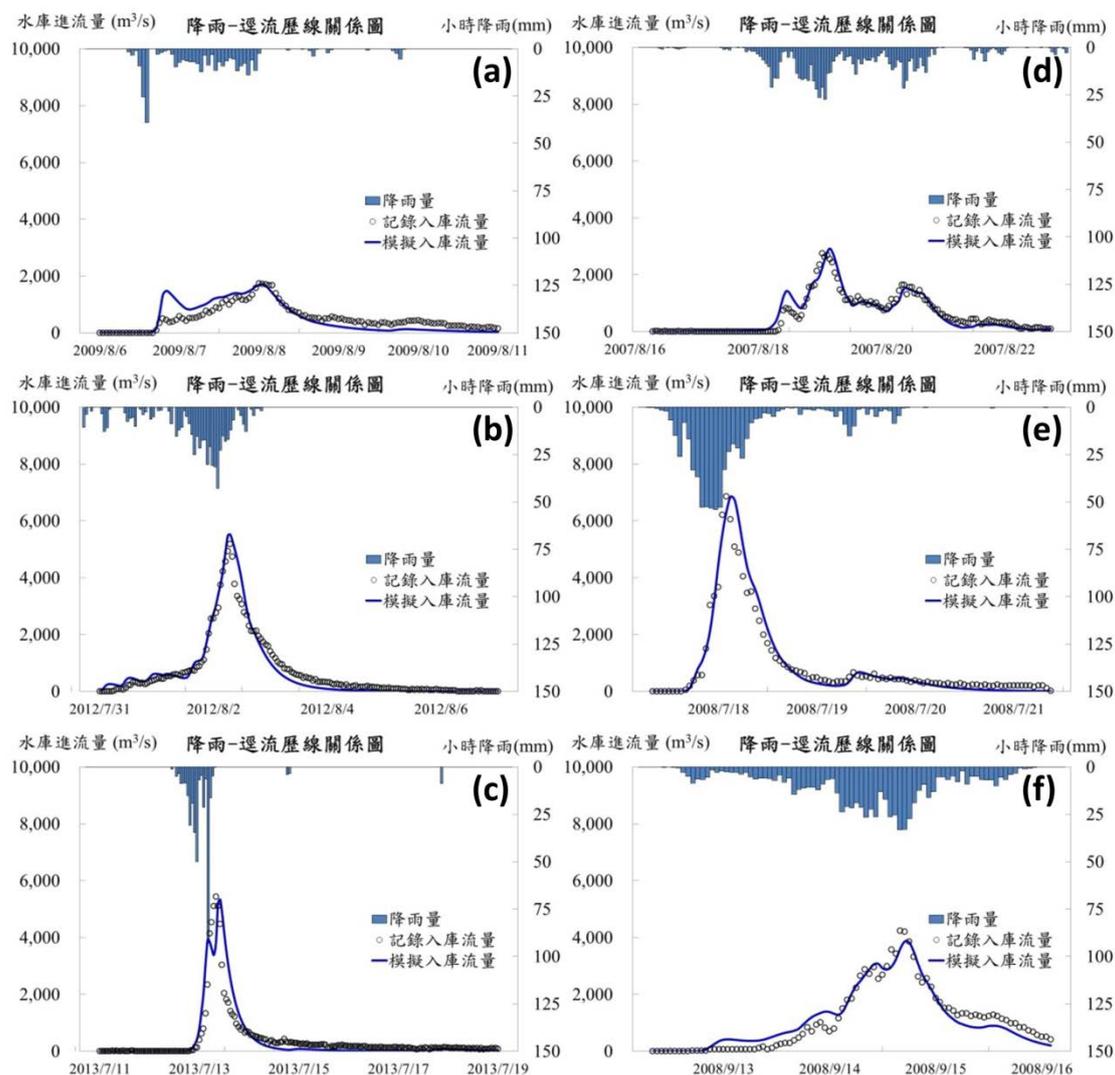


圖3.3 石門水庫集水區之(a)2009年莫拉克颱風、(b)2012年蘇拉颱風、(c)2013年蘇力颱風之降雨逕流模擬結果及曾水庫集水區之(d)2007年聖帕颱風、(e)2008年卡玫基颱風、(f)2008年辛樂克颱風之降雨逕流模擬結果。

## 第四章 春季季節性降雨推估技術發展

### (1) 模式設定與實驗設計

Model for Prediction Across Scales (MPAS)高解析度全球模式 MPAS 全球模式由美國大氣科學中心(NCAR)發展，為球面六角形 C 網格配置，並配備有全球均勻或局部可變解析度網格設定，同時模式中包含 WRF ARW 之物理參數化方法(Skamarock et al. 2012)。台灣颱風洪水研究中心自 2012 年起與 NCAR 合作並引進，建置於颱風中心計算伺服器，開始進行每日準作業化預報實驗。本計畫針對台灣設計春季降雨推估實驗，以 120 km 均勻水平網格解析度配置，如圖 4.1(a)，進行冬末春初（1 至 4 月共 120 天）降雨實驗，實驗分為 2005 年至 2014 年後報實驗與 2014 年之預報實驗，其中對流參數化方法皆設定為 Kain-Fritsch 參數化法，初始條件則使用 NCEP GFS 分析場，兩組實驗皆無使用資料同化。2005 年至 2014 年後報實驗中以每年 1/1 至 1/10 之 GFS 分析場為初始條件，設計 10 組系集實驗，每日使用 NCEP NOAA RTG SST（海溫）分析場更新下邊界條件。在 2014 年預報實驗中除了初始條件為每年 1/1 至 1/10 之 GFS 分析場外，分別使用 NOAA CFSV2 模式兩組預報海溫為下邊界條件，共計產生 20 組系集實驗。圖 4.1(b)為台灣附近網格配置與石門、曾文水庫集水區位置。首先將台灣依照中央氣象局劃分之北、中、南、東（N、C、S、E）分為四區，石門水庫集水區位置大約落在北區，而曾文水庫集水區大

約在中、南區交界。接著將模式格點雨量以面積權重內插至台灣北、中、南、東四區，且與四區中之氣象局測站平均之觀測月雨量進行比對以評估模式表現。以北部為例，圖 4.1(c)為包含北部之 3 個模式網格點，定義 3 網格月雨量分別為 R(1) 、R(2) 及 R(3)，3 網格分別佔有北部面積比例為 0.9 %、60.1 %及 39 %，則北部推估降雨即為  $R(1) \times 0.9 \% + R(2) \times 60.1 \% + R(3) \times 39 \%$ 。

## (2) 台灣春季降雨推估實驗評估

圖 4.2、圖 4.3 以及圖 4.5 分別代表 2005 至 2014 年 2、3、4 月之台灣四區月雨量年際變化、10 年後報平均以及 2014 年預報箱型圖。圖上藍色橫線為系集實驗平均，紅色折線為觀測區域平均月雨量。從後報實驗結果可知，MPAS 模擬降雨隨時間增加變異度，平均來說模式模擬可呈現台灣 2 至 4 月月雨量增加之趨勢，但 2 月模擬雨量會受到鋒面在台灣造成的短期劇烈降雨影響而在北部表現低估，在中南部表現則略為高估；3 月模擬雨量北部符合觀測，中南部則略為高估；而在 4 月 MPAS 模式大致上能掌握春季降雨趨勢之年際變化，雨量值在台灣各地也大致符合觀測。在 2014 年預報表現上，2、3 月雨量北部略為低估，中南部表現則符合觀測；4 月雨量北部符合觀測，中南部則略為高估。

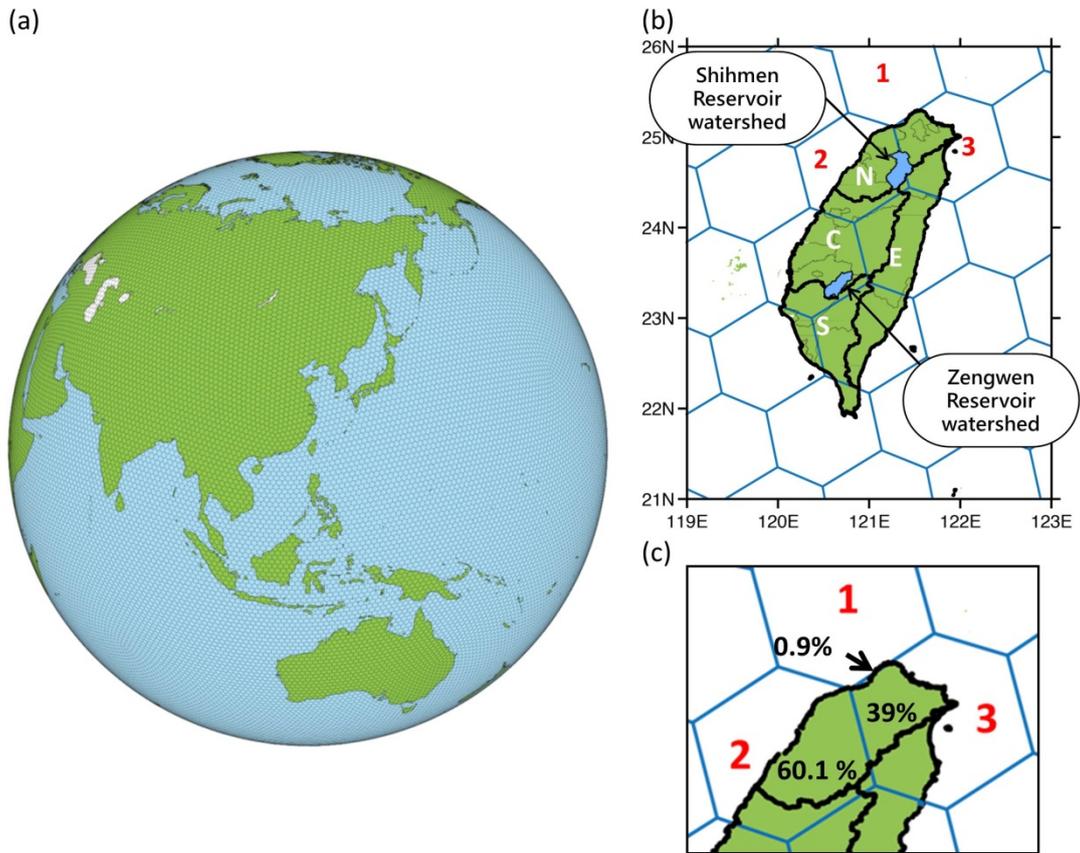


圖4.1 MPAS全球模式台灣春季降雨實驗設定(a)120 km解析度均勻水平網格配置、(b)台灣附近之網格配置、台灣分區及水庫集水區位置、及(c)包含台灣北部之網格點與對應之面積權重比例。

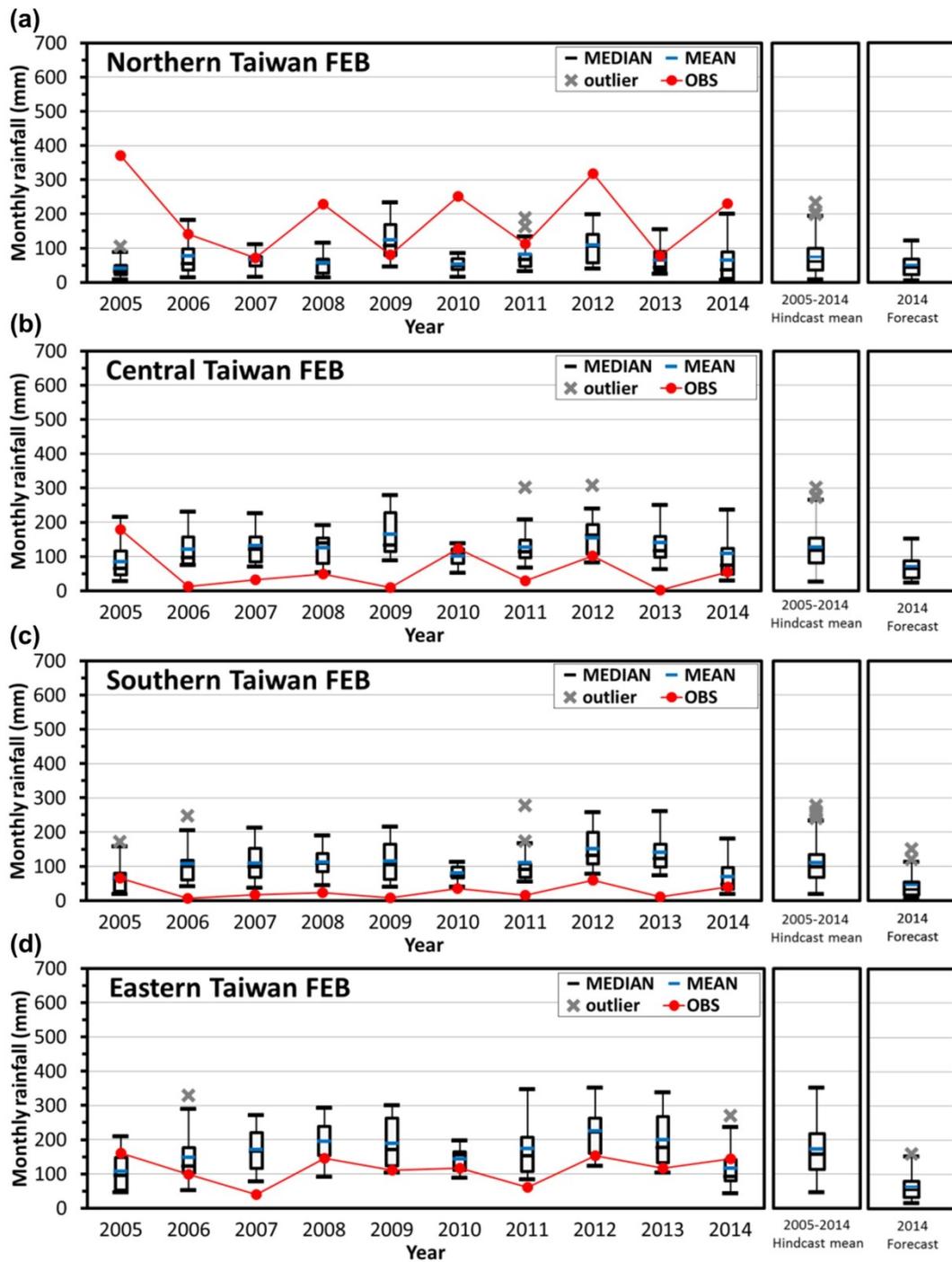


圖 4.2 2005 至 2014 年 2 月之(a)北、(b)中、(c)南及(d)東部之月雨量年際變化、10 年後報平均及 2014 年預報之箱型圖。

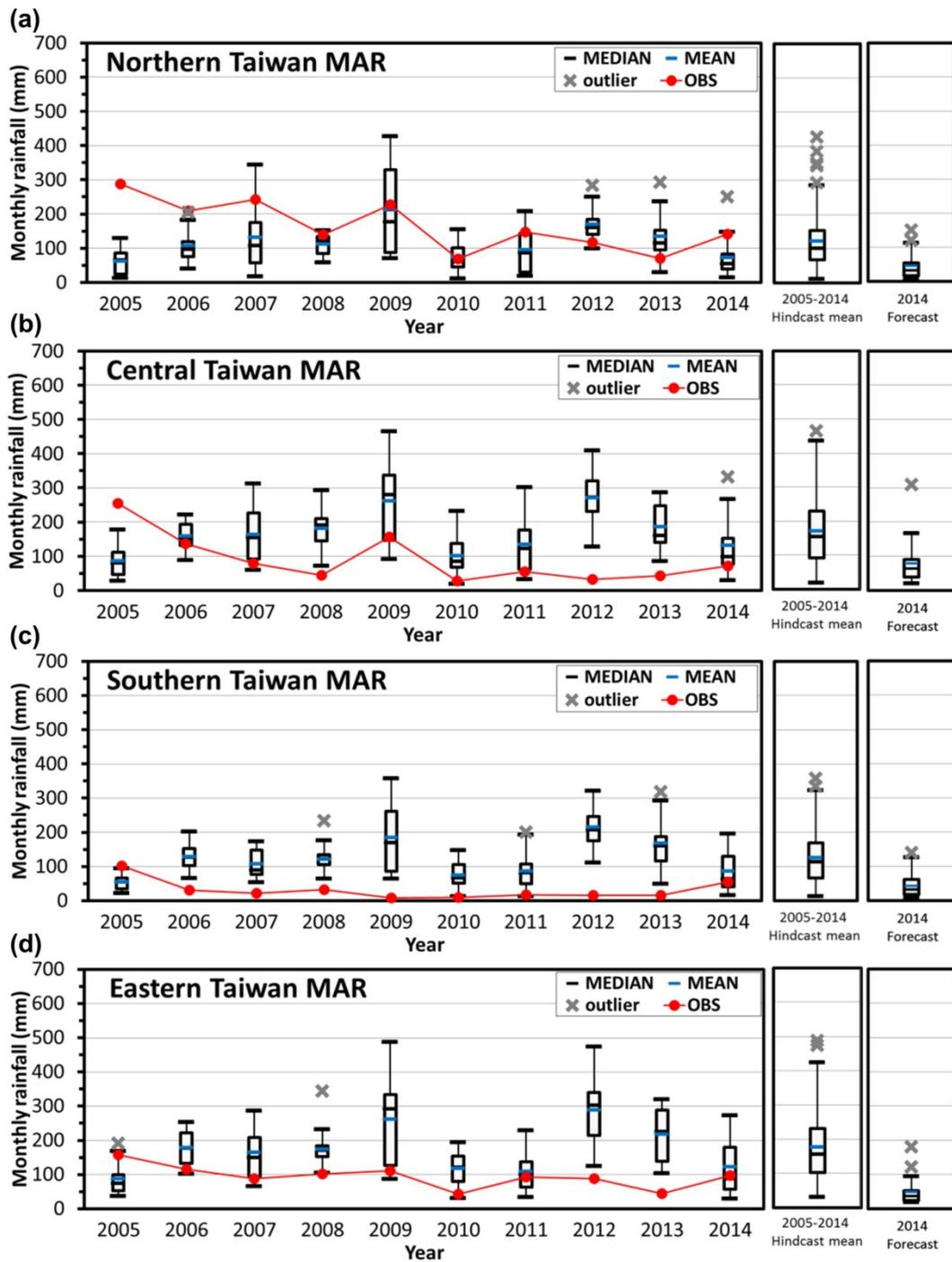


圖 4.3 2005 至 2014 年 3 月之(a)北、(b)中、(c)南及(d)東部之月雨量年際變化、10 年後報平均及 2014 年預報之箱型圖。

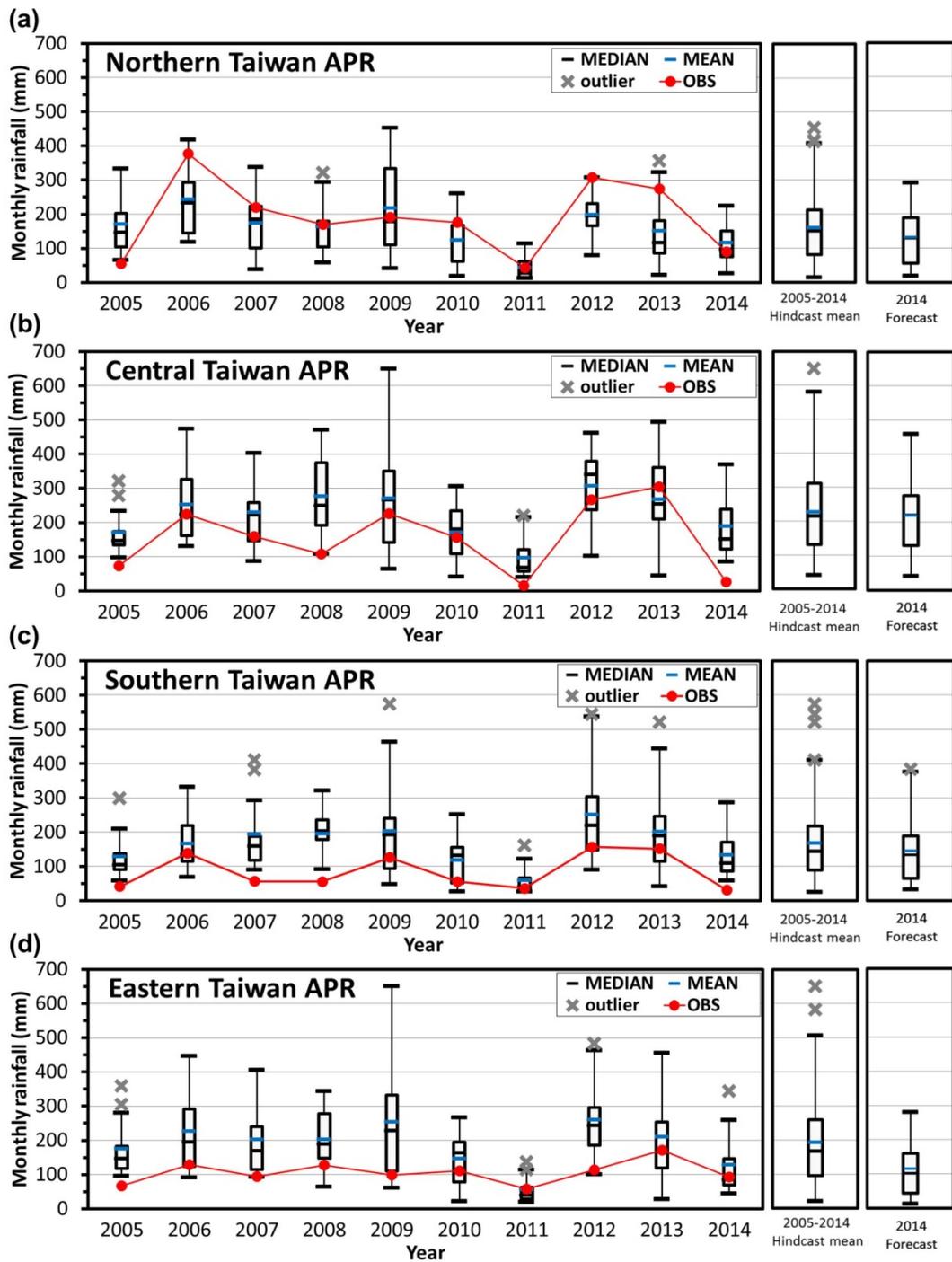


圖 4.4 2005 至 2014 年 4 月之(a)北、(b)中、(c)南及(d)東部之月雨量年際變化、10 年後報平均及 2014 年預報之箱型圖。

## 第五章 總結與未來工作

台灣地區河川坡陡流急，且降雨豐枯差異明顯，水資源不易蓄存利用，由於水庫具有蓄水與調配水資源之功能，若能在乾旱或洪泛事件之前提早提供雨量及流量預報資訊，配合水資源管理調度策略，將可有效降低水資源問題造成的衝擊。本計畫之目的即為針對石門水庫與曾文水庫，研發配合水庫供水操作與水資源規劃所須之短期定量降雨預報及入庫流量推估技術，另一方面本計畫也針對台灣地區農業供水需求發展春季季節降雨預報技術，以期能適時且適當反應乾旱之警訊。本年度完成工作項目摘要及各項目未來工作如下：

- (1) **發展小範圍、高精度之水庫集水區系集統計預報技術：**以颱風中心定量降雨系集實驗(TAPEX)之 78 小時降雨預報資料，評估機率撮合法(PM)以及遺傳演算法(GA)這 2 種系集統計整合預報技術於石門、曾文水庫集水區未來 24 小時總雨量推估之表現。以 2014 年麥德姆與鳳凰颱風個案為例進行評估，石門水庫集水區 PM、GA 與系集平均之推估值均高於實際降雨值，而曾文水庫集水區 PM、GA 與系集平均之推估值均與實際降雨值十分接近。由於目前個案測試尚少，未來預計將持續納入更多颱風個案進行整體性之評估。
- (2) **發展水庫集水區降雨逕流推估技術：**本研究利用 KW-GIUH 降雨逕流模式，完成石門水庫與曾文水庫集水區模式之建置。本

年度分別選用 Morakot、Saola、Soulik 與 Fitow 以及 Toraji、Sepat、Kalmaegi 與 Sinlaku 等歷史颱風事件，進行模式參數群的率定及驗證結果。結果顯示 KW-GIUH 模式模擬石門水庫、曾文水庫集水區降雨逕流歷程，洪峰流量與洪峰到達時間最大估計誤差僅 8.63% 與 3 小時，表現不差。未來預計將結合 TAPEX 系集實驗之預報雨量以及透過上述系集統計預報技術整合後之雨量進行颱風事件期間之未來水庫入庫流量預報。

- (3) **發展春季季節性降雨推估技術：**本研究完成建置 MPAS 全球模式、設計台灣春季降雨實驗及發展台灣分區春季降雨推估技術，本年度完成模擬過去 10 年春季降雨推估，在過去 10 年的春季降雨後報表現上大致能掌握春季降雨趨勢之年際變化，4 月雨量值在台灣各地大致符合觀測；3 月雨量北部符合觀測，中南部則略為高估；2 月雨量北部略為低估，中南部表現略為高估。在 2014 年預報表現上，2、3 月雨量北部略為低估，中南部表現則符合觀測；4 月雨量北部符合觀測，中南部則略為高估。未來工作預計提高模式水平解析度進行實驗，並將持續與 NCAR 合作，進行模式版本改良。

## 參考文獻

- Blanco, A., M., Delgado, and M. C., Pegalajar, 2001: A real-coded genetic algorithm for training recurrent neural networks. *Neural Networks*, **14(1)**, 93–105.
- Cao, S.-Y., K.-T., Lee, J.-Y., Ho, X.-N., Liu, E., Huang, and K.-J., Yang, 2010: Analysis of runoff in ungauged mountain watersheds in Sichuan, China using kinematic-wave-based GIUH model, *Journal of Mountain Science*, **7**, 157–166.
- Chiang, S., Y., Tachikawa, and K., Takara, 2007: Hydrological Model Performance Comparison through Uncertainty Recognition and Quantification, *Hydrological Processes*, **21(9)**, 1179–1195.
- Ebert, E. E., 2001: Ability of a poor man's ensemble to predict the probability and distribution of precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 2461–2480.
- Fang, X., and Y.-H. Kuo, 2013: Improving ensemble-based quantitative precipitation forecasts for topography-enhanced typhoon heavy rainfall over Taiwan with a modified probability-matching technique. *Mon. Wea. Rev.*, **141**, 3908–3932.
- Gupta, V. K., E., Waymire, and C.-T., Wang, 1980: A representation of an

instantaneous unit hydrograph from geomorphology, *Water Resources Research*, **16(5)**, 855–862.

Henderson, F. M., and R. A., Wooding, 1964: Overland flow and groundwater flow from a steady rainfall of finite duration, *J. Geophys. Res.*, **69(8)**, 1531–1540.

Holland, J. H., 1992: Adaptation in natural and artificial systems : an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. Cambridge, Mass. MIT Press.

Hsiao, L.-F., M.-J. Yang, C.-S. Lee, H.-C. Kuo, D.-S. Shih, C.-C., Tsai, C.-J. Wang, L.-Y. Chang, D.-Y.-C. Chen, L. Feng, J.-S. Hong, C.-T. Fong, D.-S. Chen, T.-C. Yeh, C.-Y. Huang, W.-D. Guo, and G.-F. Lin, 2013: Ensemble forecasting of typhoon rainfall and floods over a mountainous watershed in Taiwan. *Journal of Hydrology*, **506**, 55–68.

Jain, A., S., Srinivasulu, 2004: Development of effective and efficient rainfall-runoff models using integration of deterministic, real-coded genetic algorithms and artificial neural network techniques. *Water Resource Research*, **40(4)**, W04302.

- Kumar, A., and D., Kumar, 2008: Predicting direct runoff from hilly watershed using geomorphology and stream-order-law ratios: Case Study, *Journal of Hydrologic Engrg., ASCE*, **13(7)**, 570–576,
- Lee, K.-T., and B.-C., Yen, 1997: Geomorphology and kinematic-wave based Hydrograph derivation, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, **123(1)**, 73–80.
- , and C.-H., Chang, 2005: Incorporating subsurface-flow mechanism into geomorphology- based IUH modeling, *Journal of Hydrology*, **311**, 91–105.
- Lin, G.-F., B.C., Jhong, and C.-C., Chang, 2013: Development of an effective data-driven model for hourly typhoon rainfall forecasting. *Journal of Hydrology*, **495**, 52–63.
- , and C.-M., Wang, 2007: A nonlinear rainfall–runoff model embedded with an automated calibration method – Part 2: The automated calibration method. *Journal of Hydrology*, **341**, 196–206.
- Mohan, S., 1997: Parameter estimation of nonlinear muskingum models using genetic algorithm. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, **123(2)**, 137–142.

- Rosenfeld, D., D. B. Wolff, and D. Atlas, 1993: General Probability-matched Relations between Radar Reflectivity and Rain Rate. *J. Appl. Meteor.*, **32**, 50–72.
- , ———, and E. Amitai, 1994: The window probability matching method for rainfall measurement with radar. *J. Appl. Meteor.*, **33**, 682–693.
- , E. Amitai, and D. B. Wolff, 1995: Improved Accuracy of Radar WPMM Estimated Rainfall upon Application of Objective Classification Criteria. *J. Appl. Meteor.*, **34**, 212–223.
- Shadeed, S., H., Shaheen, and A., Jayyousi, 2007: GIS-based KW-GIUH hydrological model of semiarid catchments: the case of Faria catchment, Palestine, *The Arabian Journal for Science and Engineering*, **32(1C)**, 3–16.
- Skamarock, W. C, J. B. Klemp, M. G. Duda, L. Fowler, S.-H. Park, and T. D. Ringler, 2012: A Multi-scale Nonhydrostatic Atmospheric Model Using Centroidal Voronoi Tessellations and C-Grid Staggering. *Mon. Wea. Rev.*, **140**, 3090–3105.
- Wang, Q.-J., 1997: Using genetic algorithms to optimise model parameters. *Environmental Modeling & Software* **12 (1)**, 27–34.

Yen, B.-C., and K.-T., Lee, 1997: Unit hydrograph derivation for ungauged watersheds by stream order laws, *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE*, **2(1)**, 1–9.