

# 發展大氣-水文整合系統

## The development of integrated hydro-meteorological system

主管單位：國家實驗研究院

石棟鑫	王毓麒	王豪偉	陳政欣
Shih, Dong-Sin	Wang, Yu-Chi	Wang, Hau-Wei	Chen, Cheng-Hsin
權順忠	郭文達	張雅琪	楊尊華
Tsung, Shun-Chung	Kuo, Wen-Da	Chang, Ya-Chi	Yang, Tsun-Hua

台灣颱風洪水研究中心

### 摘要

為了提升洪水災害預警能力，發展水文前瞻研究，整合颱風預報技術與洪水模擬模式，及建置大氣-水文模擬整合系統有其必要性。本研究首先進行集水區水文整合模式發展，建立試驗流域並整合相關水文資料，供國內學界應用並校驗模式，此外，配合所建構之試驗流域，進而發展大氣-水文整合模擬系統，結合定量降雨預報技術，進行流域洪水預測系統之建置與評估，後續更將模擬結果套疊至相關展示平台，進行颱風應變警戒區域之展示與集水區暴雨淹水模擬成果展現，提供決策單位參考。

關鍵詞：大氣-水文整合模擬系統、試驗流域、定量降雨預報

### Abstract

To improve the capability of early warning for floods, developing advanced hydrological researches and building up a hydro-meteorological modeling system integrating typhoon forecasting and flood modeling are necessary. This study develops a watershed model and establishes the experimental watershed to collect hydrological data for academic use and model validation. In conjunction with the quantitative precipitation forecast technology, the hydro-meteorological modeling system is developed to provide flood forecasting in the watershed. An integrated platform will be developed to display the modeling results of inundation and to issue early warning to potential areas, which provides information for decision-making authorities.

Keywords : hydro-meteorological modeling system 、 experimental watershed 、 quantitative precipitation forecast technology

## 一、前言

因位處亞熱帶區與歐亞大陸和太平洋交界季風區，台灣每年總會受到梅雨與颱風的侵襲，且台灣地形陡峻，河川坡度大，梅雨與颱風造成之高強度降雨與高總雨量，往往使台灣遭受嚴重的颶洪災害。受到全球氣候變遷的影響，台灣的颶洪災害亦日趨嚴重。過去的防洪工程僅著重工程性的防護，有其限制性，因此，欲更有效降低颱風、豪雨和洪水所帶來的整體損失，除必要的工程方法外，亦須配合適當的非工程減災方法，用以減少災害的發生。在眾多非工程性方法中，可行且具效率的方式，莫過於災害預警和應變措施，即於災前掌握颱風與豪雨動態，透過適時的洪水預警並啟動可能致災區之防救機制，將災害損失降至最低程度。因此發展水文前瞻研究，整合颱風預報技術與洪水模擬模式，建置大氣-水文模擬整合系統有其必要性。本研究首先進行集水區水文整合模式發展，建立試驗流域並整合相關水文資料，供中心及國內學界應用並校驗模式，此外，配合所建構之試驗流域，進而發展大氣-水文整合模擬系統，結合定量降雨預報技術，進行流域洪水預測系統之建置與評估，後續更將模擬結果套疊至相關展示平台，進行颶洪應變警戒區域之展示與集水區暴雨淹水模擬成果展現，提供決策單位參考。

## 二、集水區水文整合模式發展及驗證

本研究所發展之集水區水文整合模擬系統，係結合定量降雨預報結果與逕流河道模擬技術，進行全流域之即時降雨逕流模擬實驗；雨量部分除承接颶洪中心發展之定量降雨預報實驗結果外，另用 FEWS\_Taiwan API 處理雨量資料，將資料內插補遺為完整時序列資料，並將雨量資料內插至模式所需要的集水區雨量站位置，使用之逕流模式為海洋大學李光敦教授所開發之 KW-GIUH 模式(Lee and Yen, 1997)，而河道模擬則使用美國兵工團之 HEC-RAS 模式(Feldman, 1981)，進而建立即時模擬平台。本系統利用整合設定之自動化排程，進行模式串接與河川水位預報，相關流程如圖 1 所示。目前本系統以大里溪為例，利用整合設定之自動化排程進行河川水位預報，未來將持續改進模擬機制，以提升水位模擬結果之準確度。

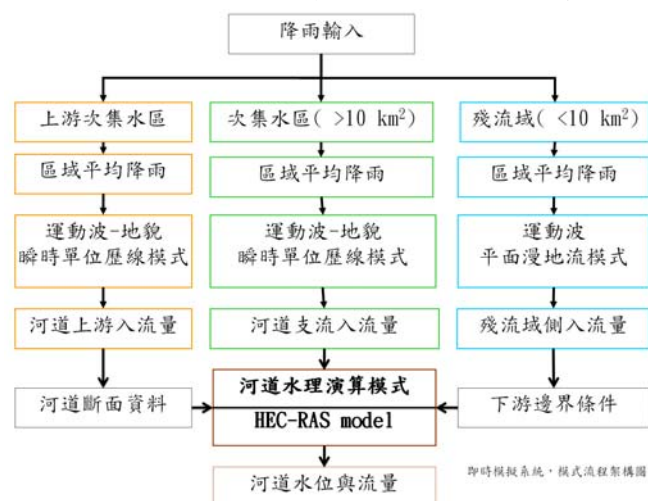


圖 1、即時模擬系統模式流程架構圖

在模式驗證的部分，分別以柯羅莎、卡玫基及辛樂克颱風事件之降雨及水文條件，進行歷史事件之驗證。圖 2 為柯羅莎颱風事件之驗證結果，模擬期間為 2007/10/06~2007/10/09，共 72 小時。結果顯示，大里溪溪南橋水位變化共有兩個明顯的洪水尖峰，整體之水位變化趨勢與量測值相吻合。圖 3 為卡玫基颱風事件之驗證結果，模擬期間為 2008/07/17~2008/07/20，共 72 小時，結果顯示大里溪溪南橋洪水波尖峰水位高達 31.4 公尺，與量測值水位 31.2 公尺僅相差 20 公分，且整體之水位變化趨勢與量測值相吻合。圖 4 為辛樂克颱風事件之驗證結果，模擬期間為 2008/09/13~2008/09/16，共 72 小時，結果顯示，雖然大里溪溪南橋尖峰的水位誤差稍大，但整體之水位變化趨勢與量測值相吻合。

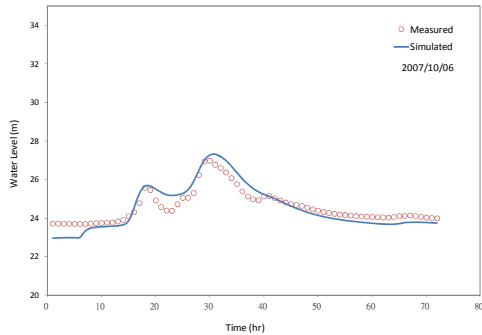


圖 2、柯羅莎颱風事件之驗證結果

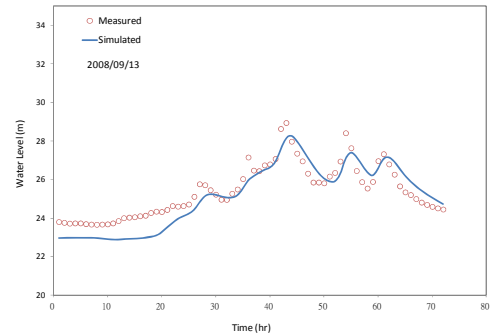


圖 4、辛樂克颱風事件之驗證結果

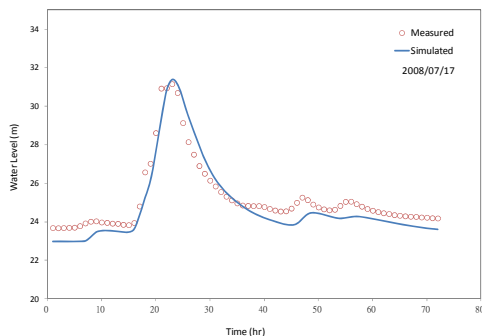


圖 3、卡玫基颱風事件之驗證結果

### 三、試驗流域之整合發展

#### 3.1 試驗流域水文觀測建置

臺灣河川之水文與地文因子複雜，高強度降雨發生，加上河川坡度陡導致河川水位變化大且歷程短。為使防汛決策人員迅速且正確掌握致災因子，掌握即時水文量測資料可為重要判斷依據。此外，水文水理數值模擬技術發展迅速，但數值模式驗證常受限於低密度水文資料，使水文水理數值模式之準確性及地域適用性受到限制，因此，建置高密度即時之長期水文觀測網有其必要性，此概念稱為「試驗流域」。目前颱風中心參考聯合國教科文組織 HELP 計畫中各國試驗流域建置資料，依不同流域特性，選定宜蘭河、中港溪流域、烏溪流域(圖 5)及濁水溪流域建置試驗流域，並已完成 9 座水位測站之建置；未來將陸續增加測站密度，並進行資料整合，

此外並將自動化方式快速的進行水位資料檢核，以利於汛期間迅速提供可靠水位資訊供參(圖 6)。

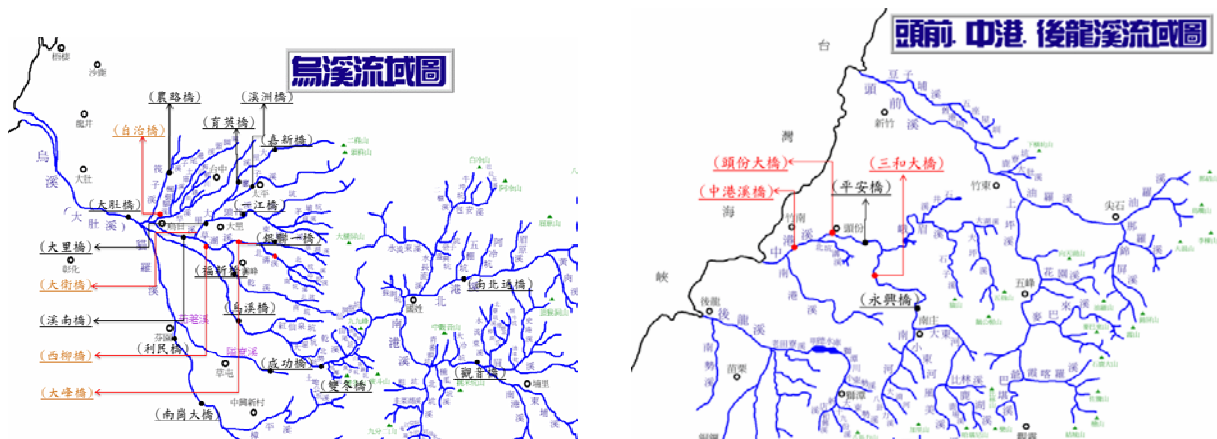


圖 5、中港溪及烏溪流域水位站分布  
(●：水利署測站 ●：颱洪中心測站)



圖 6、即時水位歷線圖

### 3.2 試驗流域水文資料檢核

颱洪期間量測環境惡劣，量測的過程偶爾因為儀器本身的穩定性及操作環境的影響造成錯誤量測資料，而水位資料常於汛期間即時提供予水文模式進行即時模擬，如未即時對錯誤的資料做即時修正而直接輸入模式，則可能造成錯誤或不穩定的情形，進而造成誤判。資料接收進來後的處理方式常分為即時處理(前處理)及事件後之處理，前處理常見之方式有卡門濾波法等。而後處理的方式常見有移動平均法、局部推估散點平滑法、修正局部推估散點法或其它平滑方式。如量測中具離群水位資料，將使得迴歸水位與實測值有較大之差異。而平滑的處理，亦使得處理後之資料失真，而無法保留原本之物理性質，如可保留合理資料、只剔除離群值，將使得整體資料具完整性。在量測的過程或資料的處理過程中，找出錯誤的量測資料、數學關係、擬合曲線為重要過程。藉由曲線擬合可達成：1. 減噪及資料平滑、2. 找出資料間的數學關係，以利進一步做資料處理，如錯誤資料補遺、速度及加速度的計算等，而在訊號或圖像的處理中，常想要處理(抑制)訊號中的雜訊。

本研究針對洪水期間之水位量測資料進行討論，水位量測資料來自颶洪中心於 2010 年 8 月份設於苗栗中港溪頭份大橋之雷達波水位站，此雷達波水位計之資料擷取頻率為每分鐘 1 筆，本研究取 2010 年 9 月 18 日至 9 月 25 日期間之降雨事件之資料進行分析。利用卡門濾波法(Kalman, 1960)校驗水位做為監測人員判別量測資料合理性之依據，以移動平均法、局部加權迴歸法及修正局部加權迴歸法對量測水位資料進行檢核(圖 7)，並提供河川管理單位參考使用。

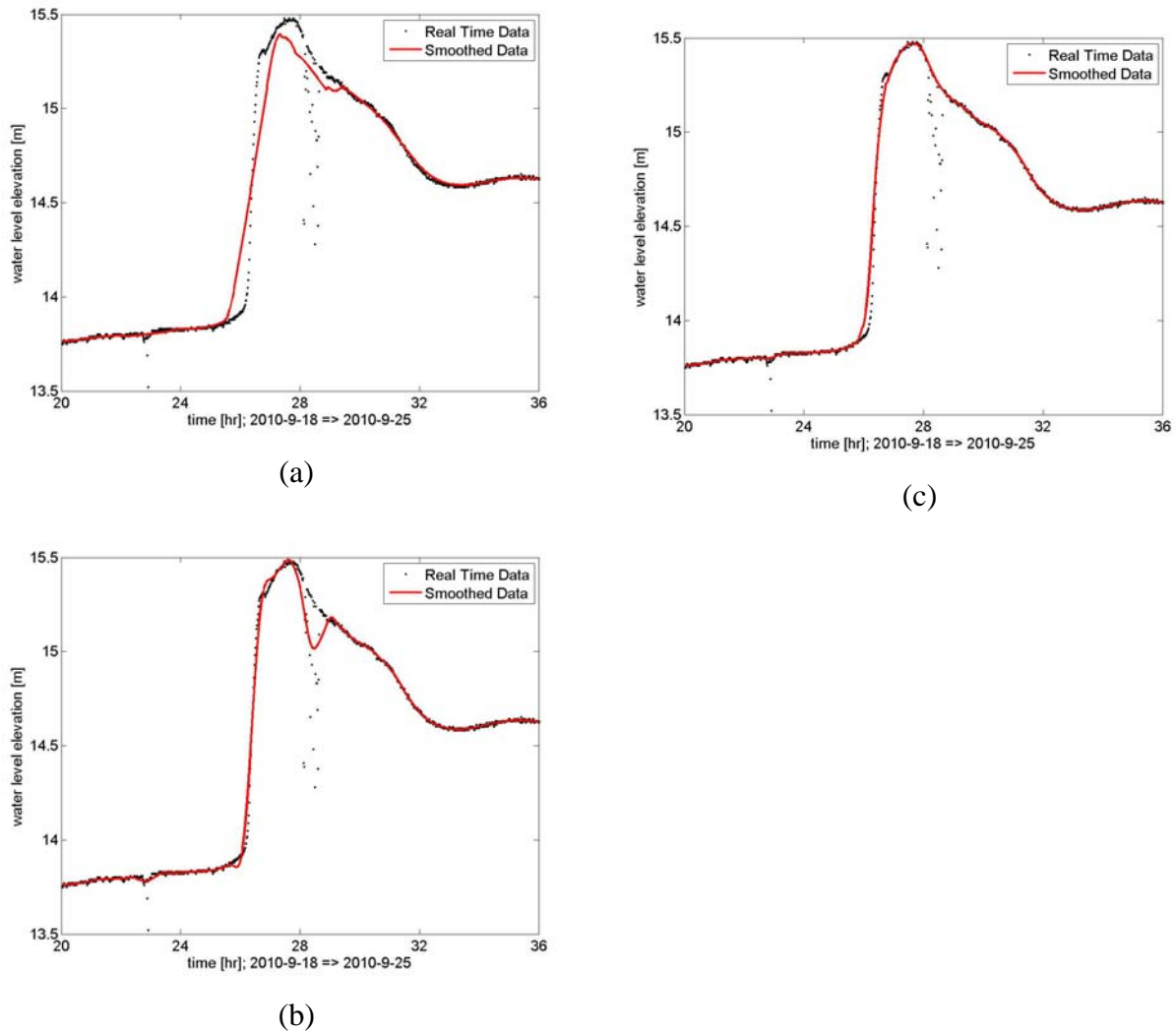


圖 7、量測水位資料迴歸結果：a) 移動平均法；b) 局部加權迴歸法；c) 修正局部加權迴歸法。迴歸資料寬度值皆為 0.8 %。

#### 四、發展大氣-水文整合系統

過去水文領域之學者大多採用統計方法進行短延時雨量預報，常用的預測方法有機率(probabilistic)模式和序率(stochastic)模式。其中機率模式以馬可夫鏈(Markov-chain)模式為代表，利用統計機率來描述降雨過程中前後時期之遺傳效應，此種模式通常被發展為機率雨量模式。而在序率雨量模式之研究中則以 ARMA 模式為代表，利用數學模式進行資料擬合分析，做短期之雨量預報。然而統計模式，

一般需要有大量樣本，且滿足預報之降雨事件具有與歷史降雨事件相同統計特性之假設。在長延時雨量預報方面，目前大多是大氣領域學者以天氣數值模式方式進行所謂之定量降雨預報(quantitative precipitation prediction, QPF)，常見的如美國賓州州立大學(Pennsylvania State University, PSU)與美國國家大氣科學研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)共同研發第五代中尺度數值模式(Fifth-generation Penn. State/Ncar Mesoscale Model, MM5)，乃廣為氣象學者用來進行雨量預報。近年來，由美國 NCAR 等單位共同發展的新一代中尺度數值天氣預報模式 WRF (The Weather Research and Forecasting Model, WRF) 已經接近成熟，並且逐漸取代 MM5 模式。WRF 模式提供多種大氣物理參數法選擇，可供大氣研究或作業單位選用，由於不同物理參數法有不同的假設，也因此可能適用於不同的天氣型態，然而不同地理區域或在不同條件下必須作某種程度的調校。

由於電腦運算能力之進展，上述中尺度天氣模式之解析度已較過去更為精細，並可直接應用在集水區尺度上，而為搭配此類 QPF 結果通常應以物理基礎且分佈型之水文模式才能適時反應雨量空間分佈之差異，因此本中心選用由佛羅里達大學(University of Central Florida)葉高次教授所發展之 WASH123D 模式(Yeh et al., 2006)進行大氣水文整合模擬，該模式可合併不同維度間的模組（一維河川、二維漫地流與三維地下水）進行演算，並處理不同介質整合問題（流體、熱能、鹽度、沉積物及水質的傳輸等等），並以成功應用於美國多項案例中。

為發展結合區域性大氣降雨模式與水文集水區模式的預警系統，本研究建置一套大氣水文整合即時模擬系統，利用數值天氣預測系統即時模擬出雨量資料，作為水文水理模式邊界條件，進行研究區域一維和二維淹水演算。

本研究所建立之大氣水文整合即時模擬系統，其整體運作流程如下圖 8 所示。利用水利署防災即時河川水位資料得到目前研究區域內所有水位站之水位資料，來挑選出適合此水位狀態下，河道的起始水位，作為 WASH123D 一維河道的起始條件。由於 WRF 模式網格為 5KM，故 WRF 模式執行完畢後，需將 WRF 模式雨量資料內插至 WASH123D 二維漫地流網格上，當作 WASH123D 雨量的邊界條件。當 WASH123D 模式執行完畢後，所產生的一維結果，即時呈現於網頁上，並與實際水位做比較。颱風中心亦接收氣象局即時雨量資料，擷取研究區域內所有的雨量站過去 72 小時實際雨量資料，進行水位模擬，模擬結束亦輸出至資料庫，待事件過後進行水位比較與模式校正。利用集水區模式(WASH123D)承接大氣模式(WRF)所模擬之雨量資料，進行颱風期間每日四次的 72 小時模擬，並將模擬結果輸出至網頁，以供相關單位參考，

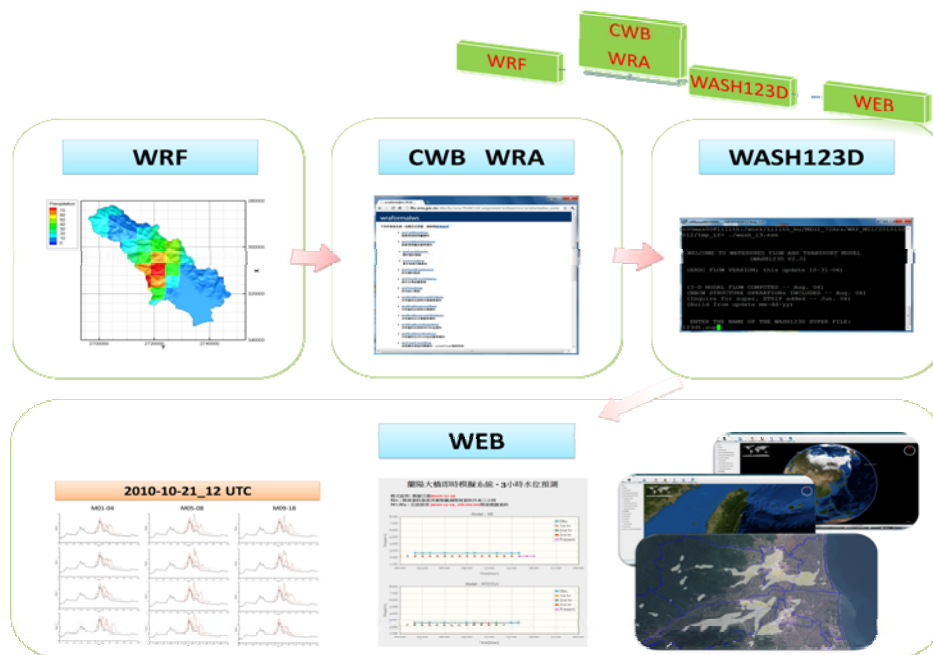


圖 8、大氣水文整合模擬系統整體運作流程

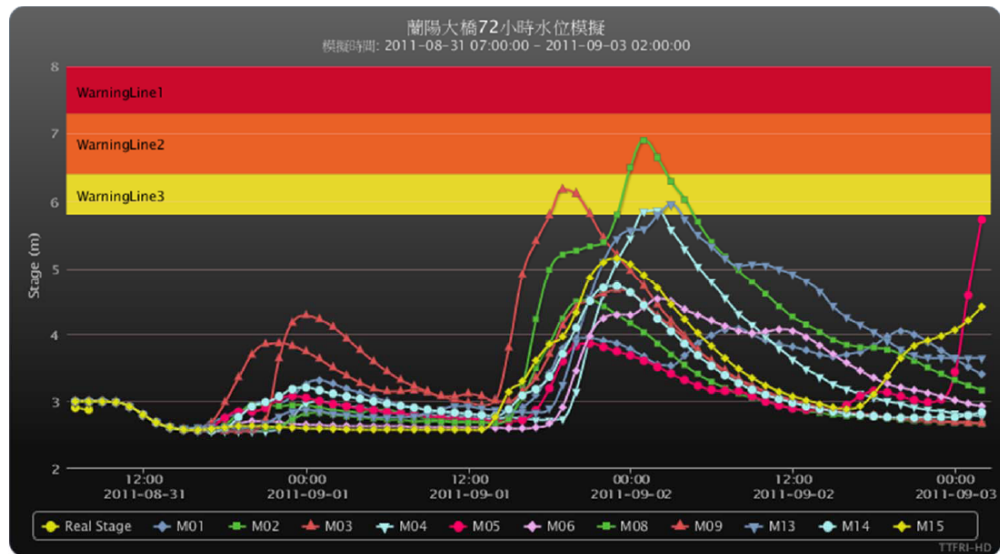
如圖 9 所示，系統於格林威治標準時間(UTC)00:00(台灣時間 08:00)開始啟動，而 WRF 模式為區域模式，故需要等待美國國家環境預報中心全球模式(NCEP GFS)完成模擬後提供邊界資料方可啟動，等待時間約需 4 小時，而 WRF 計算時間約需 2 小時，WASH123D 計算時間約需 3 小時，因此在經過約 9 小時後可進行未來 72 小時之洪淹水預報。所有計算流程均已能自動化排程進行模擬。



圖 9、大氣水文即時模擬系統排程圖

本研究針對蘭陽溪流域進行模擬環境重建與改進，修改後的環境可涵蓋整個宜蘭地區，除結合本中心定量降雨預報結果外，亦承接中央氣象局及水利署降雨及水位資料，並於汛期時，即時運算各研究區域之模擬水位與可能淹水範圍，並將模擬結果即時展示於網頁上(如圖 10 所示)。

## 宜蘭地區蘭陽大橋水位模擬



依據定量降雨預報實驗結果(11 組成員)進行水文模擬，未來 24 小時內，蘭陽大橋發生三級警戒(以上)之機率為 0%。

圖 10、大氣水文整合即時模擬成果(宜蘭地區)

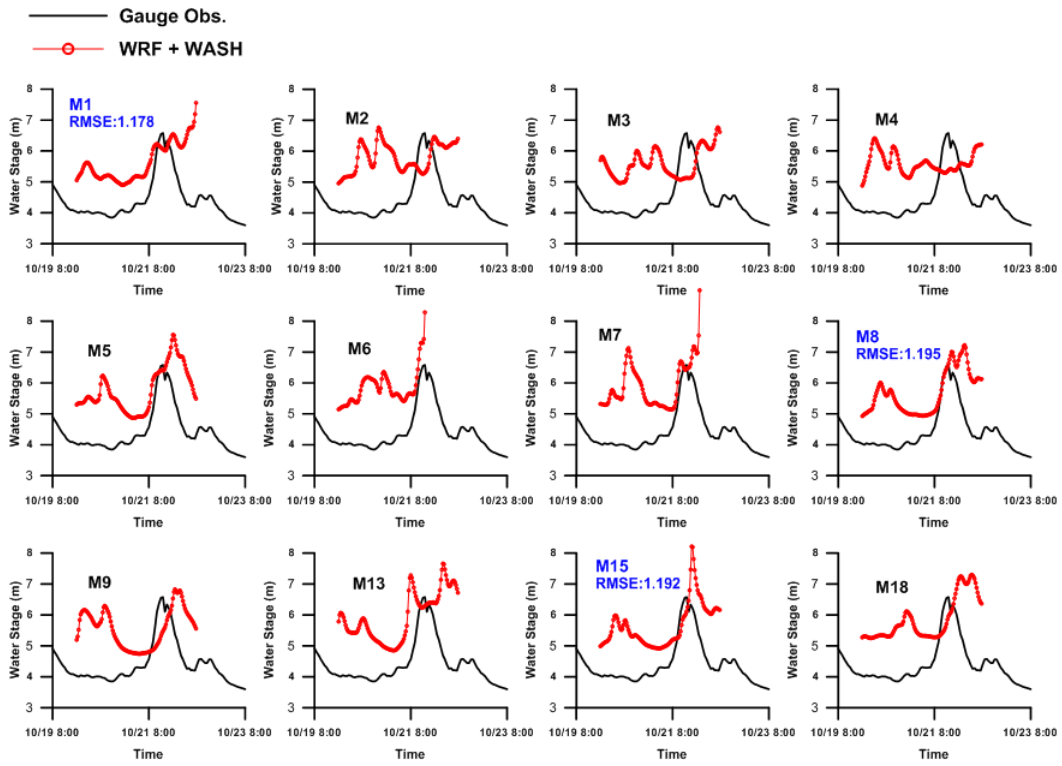
此系統目前將研究區域應用在宜蘭的蘭陽地區，並以蘭陽溪作為主要河道演算，測試模式的適用性，並以泰利(2005)、龍王(2005)兩場事件進行模式率定與測試，利用 WRF 不同累積參數化格式方法測試適合台灣地區之參數。

### 4.1 執行結果-以梅姬颱風(2010)為例

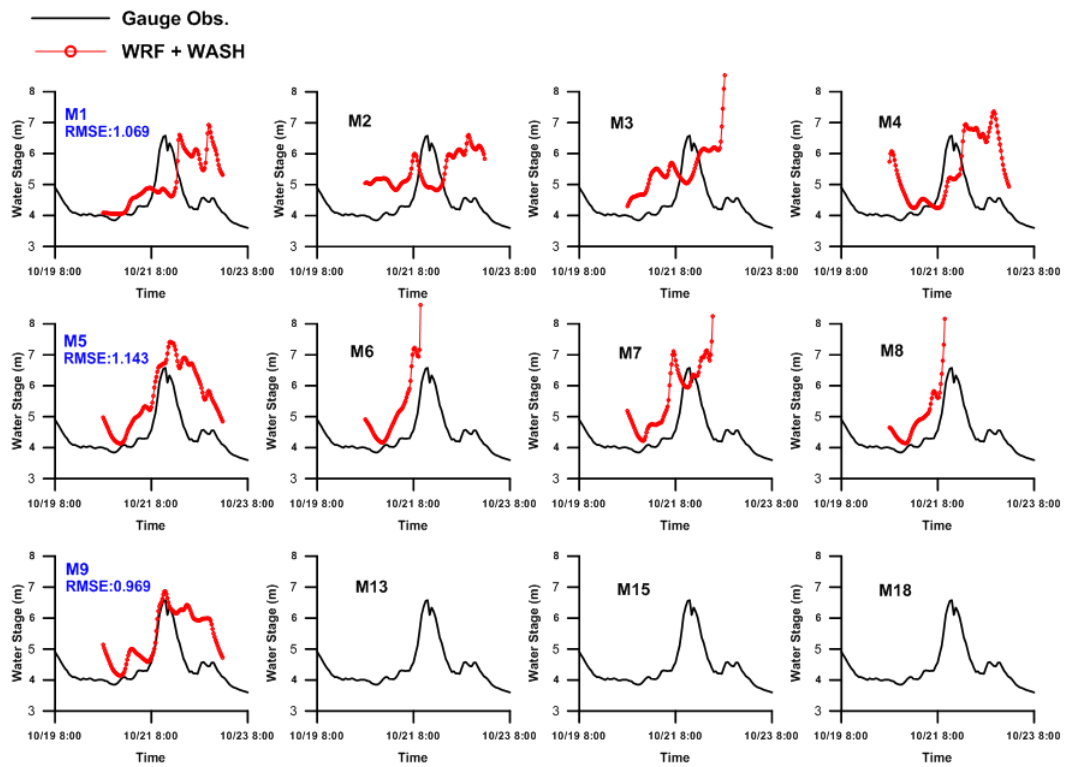
根據系集定量降雨預報實驗結果取四個時間做比較，大氣水文即時整合模擬之結果如圖 11 所示，以蘭陽大橋水位做為比較標準，可顯示各成員間雨量預報結果有頗大差異因此造成水位預報結果也各自不同，而黑色線條為實測水位結果，由於長延時之定量降雨預報本屬不易，因此結合大氣水文之即時預報能有此結果已可接受，且有多組成員在水位尖峰時間之預報上皆有明確之掌握。



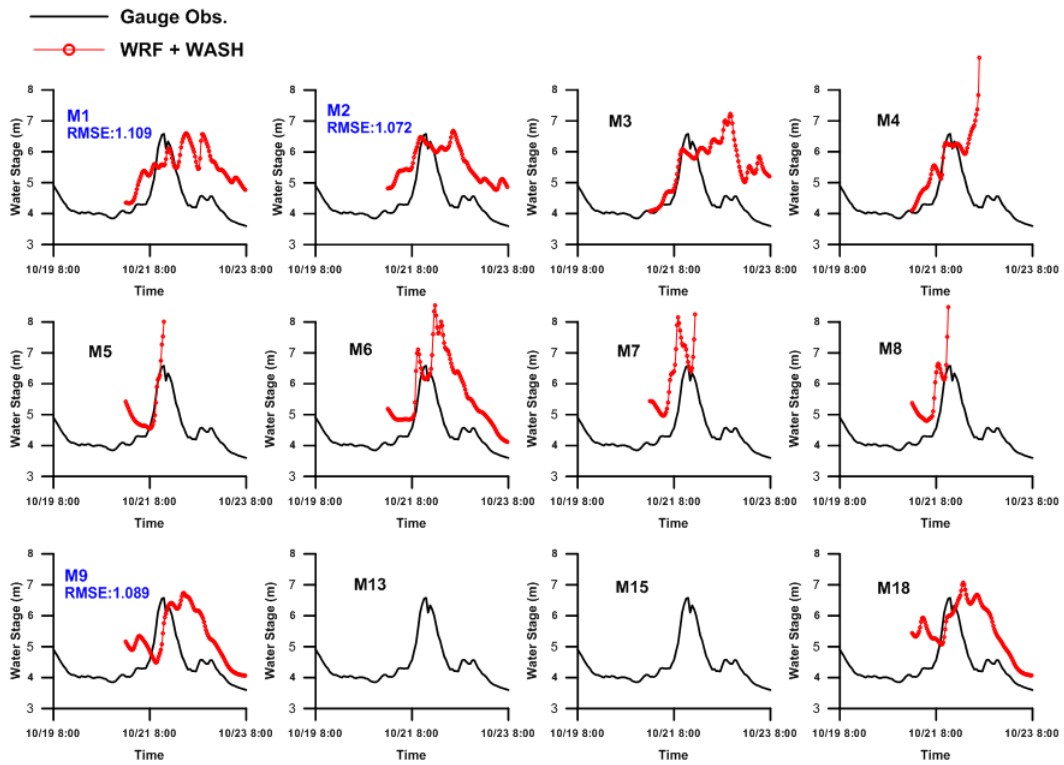
### Typhoon Megi (Oct. 19, 08:00, 2010)



### Typhoon Megi (Oct. 19, 20:00, 2010)



### Typhoon Megi (Oct. 20, 08:00, 2010)



### Typhoon Megi (Oct. 20, 20:00, 2010)

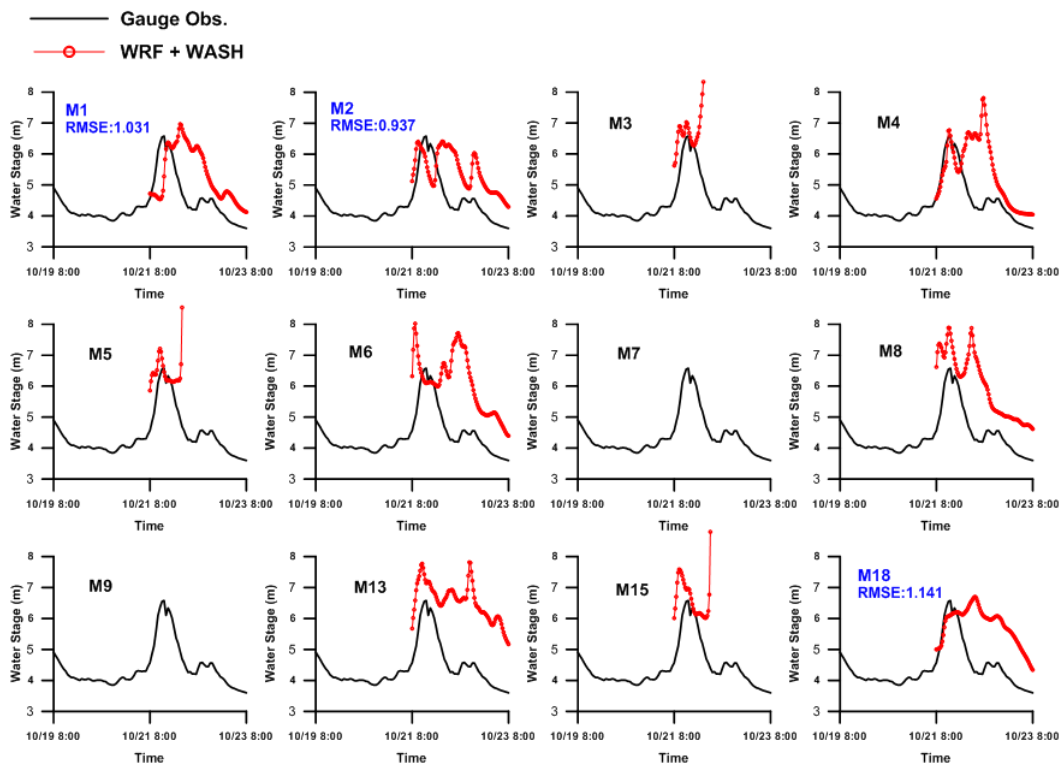


圖 11、梅姬颱風(2010)大氣水文整合預報結果

## 五、結論

- 建立大氣水文整合即時模擬系統，利用集水區模式(WASH123D)承接大氣模式(WRF)所模擬之雨量資料，進行颱風期間每日四次的 72 小時模擬，並將模擬結果輸出至網頁，以供相關單位參考。本年度針對蘭陽溪流域進行模擬環境重建與改進，修改後的環境可涵蓋整個宜蘭地區；同時亦針對 2010 年的梅姬(Megi)颱風，利用整合設定之自動化排程進行河川水位模擬測試與驗證等工作。
- 考量防災決策需求，發展 3D 應用展示系統，此系統採用 World Wind 3D 空間網路資訊應用平台進行客制化開發，並根據開放空間資訊協會 OGC 國際標準與規範進行建構，以便連結網路地圖 WMS 或網路圖徵 WFS 等網路圖資服務。目前已完成部分功能，可將大氣水文整合模擬結果，載入本 3D 展示系統，以動態且立體地展示淹水深度及範圍，提供視覺化與互動化的即時預報展示。
- 整合逕流模式(KW-GIUH)與河道模式(HEC-RAS)建立即時模擬平台，並應用本中心之定量降雨預報實驗結果，進行全流域之即時降雨逕流模擬。針對大里溪流域在梅花颱風期間之測試結果顯示，採用 3 組系集成員的大里溪溪南橋之水位預報，與實測值之間有所誤差，可能與入滲率有關。未來將持續改進入滲機制，以提升水位模擬結果之準確度。
- 參考聯合國教科文組織 HELP 計畫中各國試驗流域建置資料，選定宜蘭河、中港溪流域、烏溪流域及濁水溪流域建置試驗流域，並已完成 9 座水位測站之建置；未來將陸續增加測站密度，並進行資料整合，此外並將自動化方式快速的進行水位資料檢核，以利於汛期間迅速提供可靠水位資訊。

## 參考文獻

1. Feldman, A.D. (1981), HEC models for water resources system simulation: theory and experience, Adv Hydrosoci 12, p. 297– 423。
2. Kalman, R.E. (1960), A new approach to linear filtering and prediction problems, Journal of Basic Engineering 82 (1), p. 35–45。
3. Lee, K.T. and Yen, B.C. (1997), Geomorphology and kinematic-wave based hydrograph derivation, J. Hydraulic Eng. ASCE, 123(1), p. 73-80。
4. Yeh, G.T., Huang, G.B., Zhang, F., Cheng, H.P. and Lin, H.C. (2006), WASH123D: A numerical model of flow, thermal transport, and salinity, sediment, and water quality transport in WaterShed Systems of 1-D Stream-River Network, 2-D Overland Regime, and 3-D Subsurface Media, A Technical Rep. Submitted To EPA. Dept. of Civil and Environmental Engineering, Univ. of Central Florida, Orlando, FL。

