

大氣水文整合模擬技術研發

The development of integrated hydro-meteorological simulation technology

執行單位：國家實驗研究院 台灣颱風洪水研究中心

石棟鑫	王毓麒	王豪偉	何瑞益
Shih, Dong-Sin	Wang, Yu-Chi	Wang, Hau-Wei	Ho, Jui-Yi
李士強	洪健豪	張雅琪	郭文達
Li, Shih-Chiang	Hong, Jian-Hao	Chang, Ya-Chi	Kuo, Wen-Da
陳政欣	楊勝崎	楊尊華	樺順忠
Chen, Cheng-Hsin	Yang, Sheng-Chi	Yang, Tsun-Hua	Tsung, Shun-Chung

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。本計畫為延續型計畫，配合定量降雨預報實驗與試驗流域建置，逐步於不同區域建構颱風洪災整合研發平台，包含大氣-水文整合系統、洪水模擬展示系統與台灣都會區淹水快速評估系統。藉由發展整合定量降雨預報技術、中上游集水區降雨逕流模式、河道洪水演算模式與區域淹水模式，進而降低颱風洪水的災害損失。

關鍵詞：大氣-水文整合模擬技術、試驗流域、定量降雨系集預報實驗

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. In order to mitigate flood disasters and its loss, this continuing project established an Integrated Research Site of Typhoon-Flood Disaster cooperated with Taiwan Quantitative Precipitation Ensemble Forecast Experiment (TAPEX) and experimental watershed, including hydro-meteorological integrated simulation, flood simulation expression, inundation potential forecasting for urban area of Taiwan.

Keywords: integrated hydro-meteorological simulation technology, experimental watershed, Taiwan Quantitative Precipitation Ensemble Forecast Experiment (TAPEX).

一、前言

由於位於西北太平洋颱風活動的主要路徑上，台灣是全世界受颱風影響最顯著的地區之一，颱風與豪雨造成的高強度降雨與降雨總量，往往使得台灣遭受嚴重的颱風災害；而台灣的複雜地形與高人口密度除提高防洪減災的困難度外，亦使台灣的颱風災害研究具有相當高的特殊性。

工程性的防洪方法有其限制，欲更有效降低颱風、豪雨與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。其中可行且有效的方式，莫過於有效的災害預警和應變措施，透過掌握豪雨與颱風動態，搭配災前的淹水預警，並適時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，整合颱風或豪雨期間的定量降雨預報技術、中上游集水區降雨逕流模式、河道洪水演算模式與區域淹水模式，發展大氣水文整合模擬技術有其必要性。研究成果除降低洪水預警的不確定性、提高國內的模式研發能量外，亦可提供相關應用單位作為災害潛勢分析及啟動災害防救機制之參考，進而協助防救災單位改善作業效能、減少洪災損失。

本計畫為延續型計畫，配合定量降雨預報實驗與試驗流域建置，逐步於不同區域建構颱風災害整合研發平台、大氣-水文整合系統、洪水模擬展示系統與台灣都會區淹水快速評估系統。

二、颱風災害整合研發平台建置

以宜蘭河流域及典寶河流域作為試驗基地，進行長期且全面大氣、水文資料密集觀測，將蒐集與分析的資料，結合颱風中心現有運算資源，整合成為一颱風災害整合研發平台。平時可在平台上進行流域淹水模擬、洪水演算或其他模式模擬驗證之用，後續則可利用校驗好的模式，於颱風或豪雨事件發生時，利用雷達降雨推估及模式降雨預報等資料，對選定流域進行模式模擬，以提供相關作業單位防減災及緊急應變之用。

為了能即時展示各測站目前資訊，建置一套即時資料監測系統，利用 Google Map API、jQuery API、PHP 及資料庫建立一個視覺化介面，不僅能讓使用者能

利用熟悉的 Google Map 工具快速點選欲監測測站資料，更能於 Google Map 上呈現各測站之即時與歷史資料，使得能讓使用單位及作業單位更為方便的監測。以下監測系統以宜蘭河流域為例，如下圖 1 (b) 為水位監測展示，選點右邊員山大橋後，畫面就會移至員山大橋測站位置，並顯現即時資料，與過去 24 小時水位歷線。其他像圖 1 (a) 雨量展示及圖 1 (c) 表面流速展示都採用相同功能。

流量推估係利用上述水位及表面流速資料，再透過河川斷面及經驗公式，當接收到即時資料後，會有一支程式利用上述資料計算成流量，並同步寫入資料庫內，再利用 PHP 和 jQuery API 將河川斷面及水位展示於網頁上，並顯示計算時間與流量資料。透過上述觀測資料，利用降雨預報資料，經過資料轉換成模式可讀格式後，對研究流域進行模式校驗與模擬，利用中心高速運算資源進行快速運算後，進而推測是否可能發生災害，如圖 1 (d) 所示，模式模擬預測研究區域內之水位及研究區域內可能淹水範圍，透過這些研究模擬結果，及縮短演算時間，使作業單位能提前預警，降低災害衝擊性，又透過此平台提高模式研發能量，協助改善作業效能。

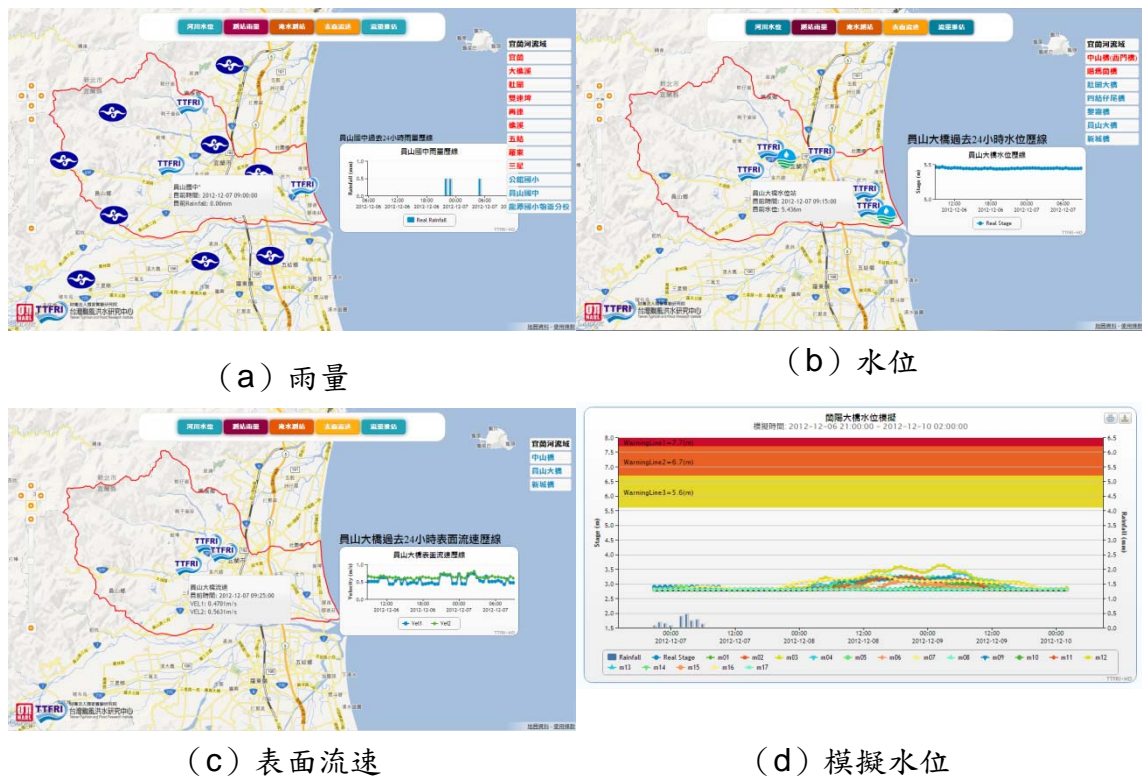


圖 1 颱洪災害整合研發平台 (宜蘭河為例)

三、大氣-水文整合模擬

為進行大氣水文整合模擬，利用颱風中心之定量降雨系集預報實驗結果、河道演算模式、以及海洋大學李光敦教授所開發的逕流模式(KW-GIUH)，以烏溪與濁水溪流域為例，進行全流域之即時降雨逕流模擬。在進行集水區水文分析前，首先針對河川上所選定之控制點，並利用數值高程模式劃分集水區及推求各分區地文因子，包括集水區面積、河流長度、次集水區面積、次集水區平均坡度及荷頓比值等，爾後根據各次集水區範圍內之雨量站，計算其分區之逐時平均降雨量，接著針對上游次集水區，應用運動波-地貌瞬時單位歷線模式(KW-GIUH)，進行各次集水區之降雨逕流模擬，以求得各次集水區之出流量，所計算之各集水分區逕流演算結果，可作為一維河道演算模式(WASH123D)所需之入流邊界條件。

在結合定量降雨系集預報實驗進行水位預報前，先以歷史颱風事件進行參數校驗，圖 2 與圖 3 分別為烏溪流域烏溪橋在四場歷史颱風事件(2007 年克羅莎颱風、2008 年辛樂克颱風、2008 年卡玫基颱風及 2009 莫拉克颱風)與濁水溪流域溪洲大橋在兩場歷史颱風事件(2008 年卡玫基颱風與 2009 莫拉克颱風)的模擬與觀測水位結果。最後利用整合設定之自動化排程進行河川即時水位預報，先將定量降雨系集預報實驗結果的雨量資料內插至所模擬區域的雨量站位置，接著用 KW-GIUH 計算各次集水區之降雨逕流，作為 WASH123D 一維河道演算的入流邊界條件，此外，利用水利署防災資訊服務網的即時水位資料，瞭解研究區域水位站的水位資料，以便挑選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。最後當 WASH123D 一維河道模式執行結束後，將所產生的即時水位結果呈現於網頁上(如圖 4 與圖 5)，並與實際水位作比較，未來將持續校驗模式參數，提高模式之應用性。

由於宜蘭河與典寶溪兩試驗流域的資料仍持續在蒐集與分析中，本年度先初步嘗試利用迄今已獲得之觀測資料，搭配 HEC-HMS、HEC-RAS 及 FLO-2D 等模式，進行降雨逕流、河道演算及二維淹水的模擬測試，上述模式不論在國內或國際皆有眾多使用者與極高之接受度。以宜蘭河於蘇拉颱風期間為例，結果顯示試驗流域之設置可提昇模式輸入條件之品質，進而提高模式模擬結果之準確度。未來可對其它常用模式，如降雨逕流模式的 KW-GIUH、河道演算與淹水模式的 WASH123D，又或者 CCHE1D、CCHE2D 水理及輸砂模式等，於資料蒐集較完

備後進行測試與應用。

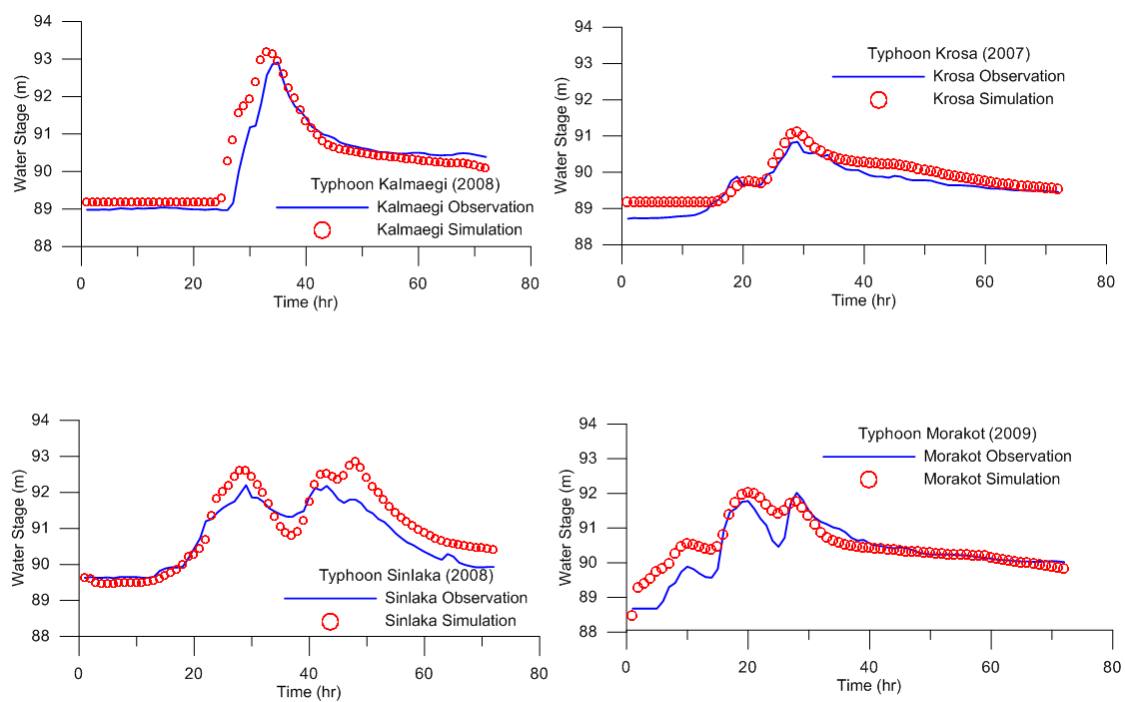
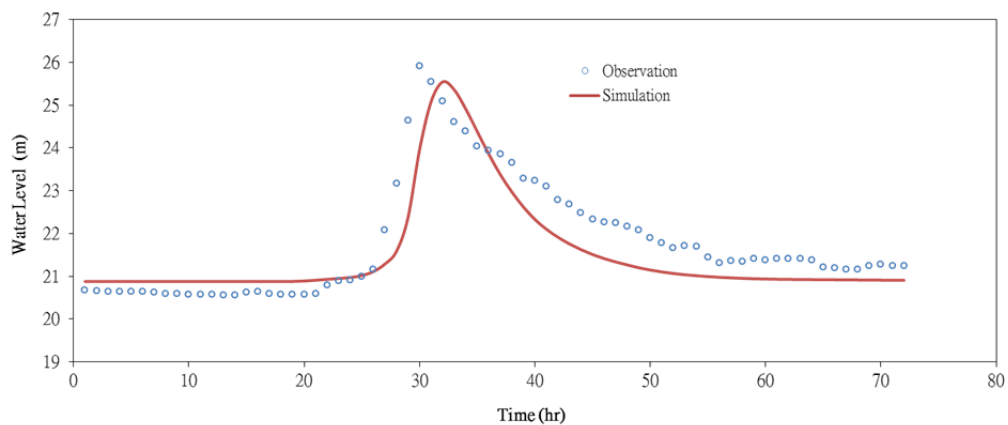
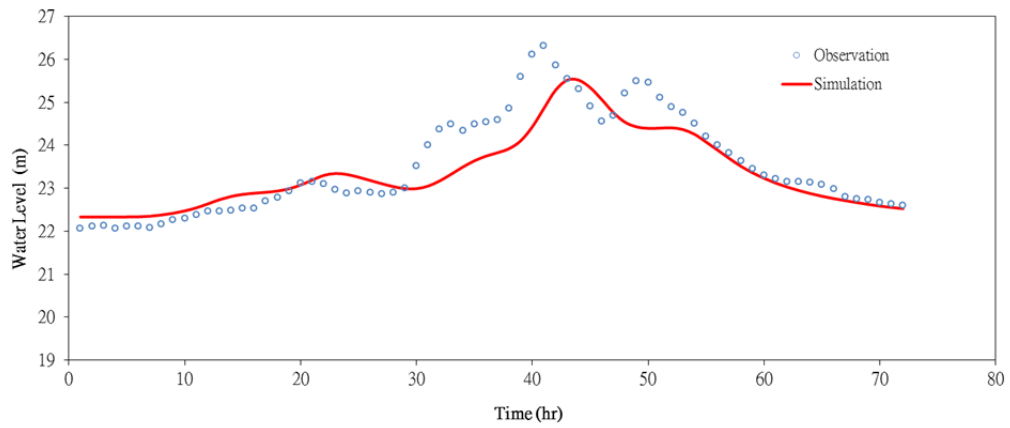


圖 2 歷史颱風事件之烏溪流域烏溪橋水位模擬比較圖



(a) 卡玫基颱風



(b) 莫拉克颱風

圖 3 濁水溪流域溪洲大橋水位模擬比較圖

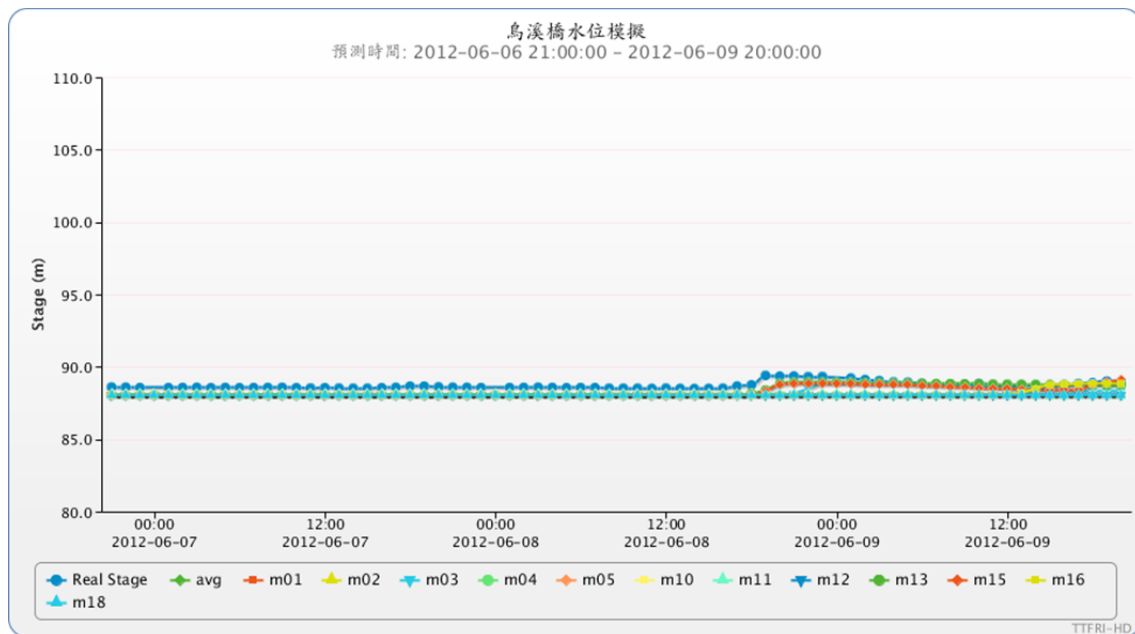


圖 4 烏溪橋即時水位模擬與觀測結果

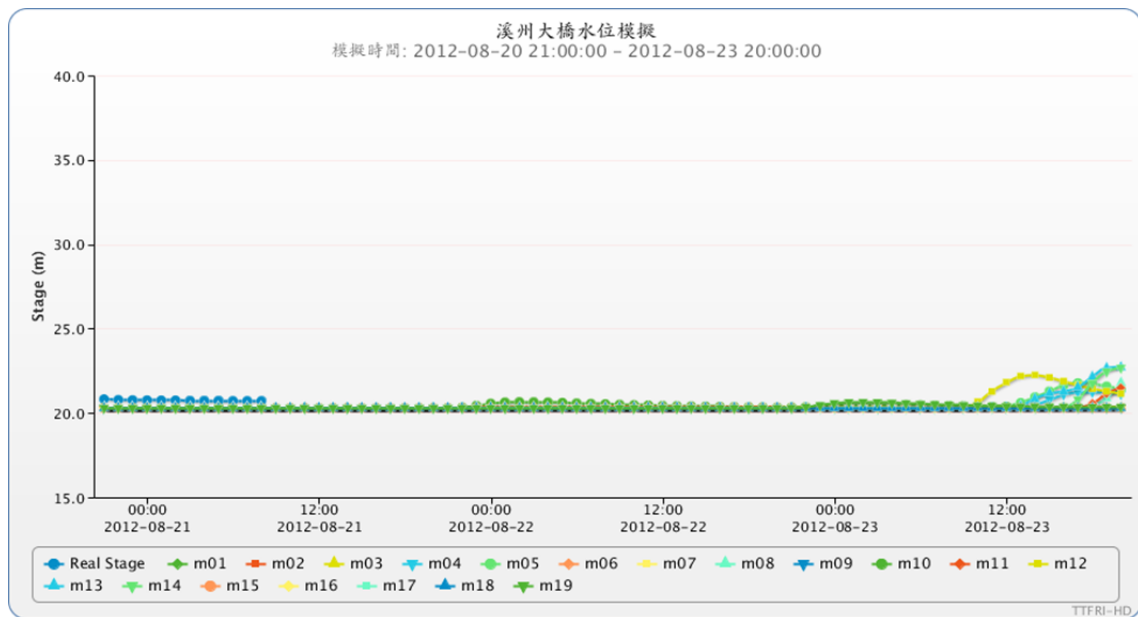


圖 5 溪州大橋即時水位模擬與觀測結果

四、洪水模擬展示系統

颱洪中心已於 2010 年起邀請學界、氣象局及災防中心共同進行「颱風定量降雨數值模式系集預報實驗」，實驗主要採用 WRF 模式進行，成果顯示系集預報技術對於 99 年之颱風路徑與雨量預報成果表現良好。而本實驗之雨量預報結果可經由自動排程之設定，直接做為 WASH123D 之輸入雨量，並進行洪水預報。而大氣水文即時模擬結果可藉由 3D 展示系統進行即時展示，本系統主要採用 World Wind 3D 空間網路資訊應用平台進行開發，本平台為一前瞻高解析數位地球空間地理資訊展現平台，其原始碼為美國國家太空總署(NASA)所釋出，為三維立體視覺化地理資訊系統工具，主要提供予地球科學與自然環境應用研究等。考量防災決策需求，本研究採用此平台進行客制化，並根據開放空間資訊協會 OGC (Open Geospatial Consortium) 國際標準與規範進行建構，以便連結網路地圖 WMS(Web Map Service) 或網路圖徵 WFS (Web Feature Service) 等網路圖資服務。而本平台已可連結由國網中心建構之福衛二號災害相關大量衛星影像資料及其他單位提供影像資料所彙總之資料庫，整合建立成為歷史數位化地理資訊展示與應用兼具之系統平台，系統主視窗如下圖 6 所示，主要控制面板及 3D 模擬視窗則如圖 7 所示。本平台實際應用上可支援防災任務，持續開發平台新應用，同時可結合防災資料與即時防災訊息，將各項天然災害之模擬或觀測影像資料與此展現平台套疊，並輔助建立政府救災決策系統。

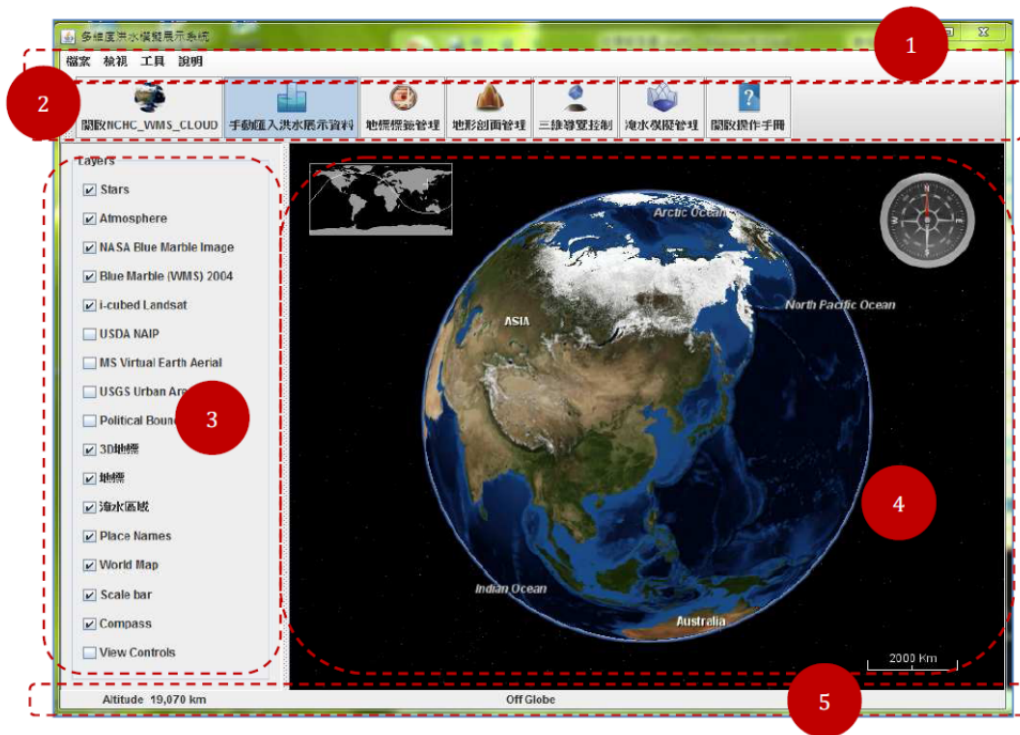


圖 6 洪水模擬展示系統主介面

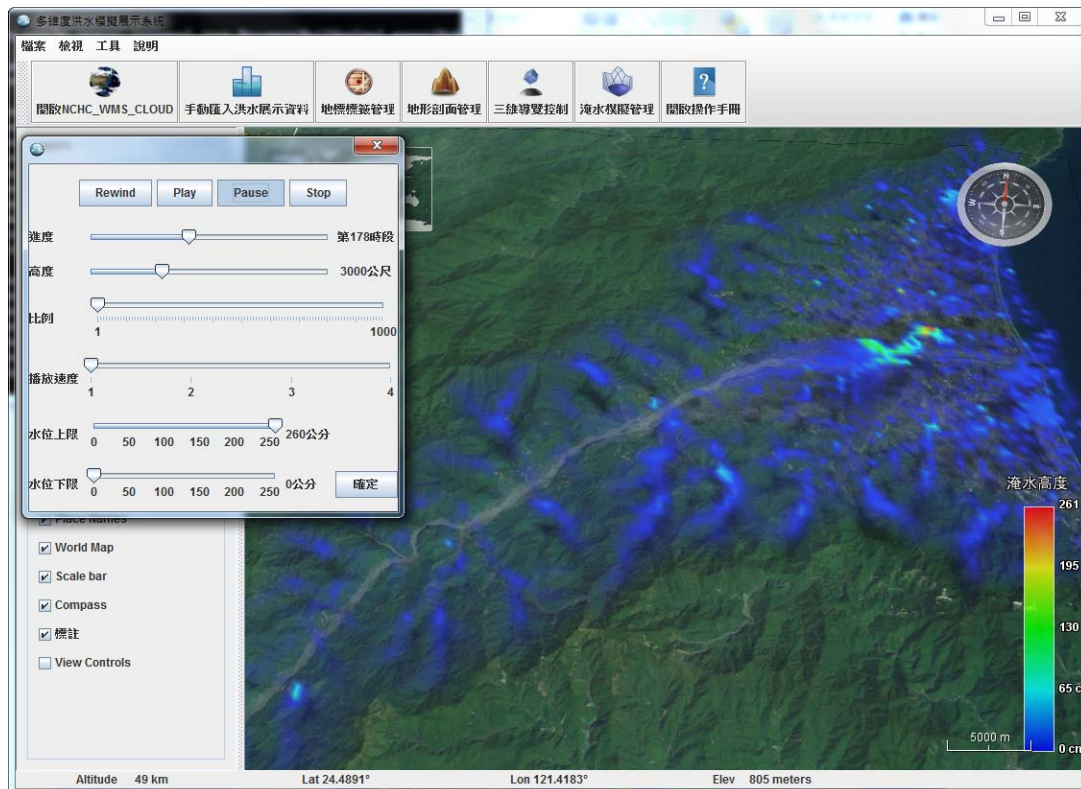


圖 7 播放控制面板與模擬視窗

五、台灣都會區淹水快速評估系統

綜觀一般淹水發生原因不外忽以下幾種：(1)河川水位過高溢淹過堤防、(2)潰堤造成淹水、(3)強降雨造成排水不及、(4)暴潮或海嘯引起海水倒灌，其中與降雨有直接相關的為(1)及(3)兩項，其他兩項則與潮位、堤防本身結構或其他因素較相關，除此之外還有其他人為因素或器械故障造成的淹水，如水門未關閉或抽水機故障等。由於本研究承接定量降雨預報之結果建構快速淹水評估系統，因此僅考慮前述強降雨造成排水不及之淹水情況，至於其他因素及人為造成之淹水由於不確定性太高，因此不列入本系統考慮範圍之內。本系統主要考慮都市內排水不及之內水淹水狀況，因雨水下水道有其固定之保護標準，但隨著都市化之土地利用，都市地區逕流量加大，集流時間縮短，既有之雨水下水道常不能容納短時間降下之豪雨，造成人孔溢流形成都市區淹水之情況。所以，本研究採用各都會區雨水下水道系統之降雨強度設計標準值與定量降雨預報資料直接比較之方式，以判定造成淹水之可能性。

雨水下水道是現代化都市基礎建設之一，其主要功能為即時排除地表逕流，使都市免於水患，因此如何使下水道功能正常運作，為健全都市排水之首要課題。而長久以來，雨水下水道之維護管理普遍不受重視，工地污泥流入管路、砂石業者違法排放洗砂廢水、民眾廢置雜物、各事業單位管線橫越交錯等各式各樣的人為或是自然因素，皆對下水道既有功能造成重大的衝擊。總而言之，雨水下水道排水系統可能會受到一些因素而失去原本該有的容許降雨強度標準值，例如：人孔管線之阻塞或損壞或管理不當。為了考量到雨水下水道系統本身應該無法完全發揮百分百的功能，故本研究將原本之設計標準值乘上不同的係數倍數，以區分出不同之淹水可能性，再進行與預報雨量值之比較，則較能獲得接近實際現況之淹水機率預測結果。

本研究選取部分歷史事件進行分析，研擬以下 4 種淹水可能性：

- (a) 不淹水：預測雨量小於設計標準值之 55 %。
- (b) 低機率：預測雨量介於設計標準值之 55 %與設計標準值之 85 %之間。
- (c) 中機率：預測雨量介於設計標準值之 85 %與設計標準值之 115 %之間。
- (d) 高機率：預測雨量大於設計標準值之 115 %。

本研究參考 WWRP/WGNE Joint Working Group on Forecast Verification Research 中之 dichotomous (yes/no) forecasts 的校驗方法。利用 Contingency Table 將預報結果計算四個評估指標來校驗淹水預報，分別為：

(a) 偏倚評分 (Bias Score)

$$\text{Bias} = \frac{\text{hits} + \text{false alarms}}{\text{hits} + \text{misses}}$$

若 BS 大於 1 表示過度預報，小於 1 表示不足預報。僅用以描述預報與觀測之間的相對關係，並不能用以描述預報結果有多接近觀測。

(b) 可偵測機率 (Probability of Detection, POD)

$$\text{POD} = \frac{\text{hits}}{\text{hits} + \text{misses}}$$

POD 描述的是有多少比例的事件發生被正確的預報。此數值僅考慮 hits 而忽略 false alarms，對於稀少個案的預報數值會偏高。使用時應同時考慮誤報率。

(c) 誤報率 (False Alarm Ratio, FAR)

$$\text{FAR} = \frac{\text{false alarms}}{\text{hits} + \text{false alarms}}$$

有多少比例的事件是預報錯誤的假警報。

(d) T 得分 (Threat Score, TS)

$$\text{TS} = \frac{\text{hits}}{\text{hits} + \text{misses} + \text{false alarms}}$$

TS 又可稱為 CSI (Critical success index)，此得分計算可視為描述模式預報的“正確率”；無預報能力時，TS 為 0。透過上述分析，可瞭解此淹水評估系統之預報情形。

為測試本系統評估結果，並去除雨量預報誤差之影響，本研究先介接雨量站觀測雨量進行淹水機率評估，並與實測淹水範圍進行比較，以瞭解本淹水評估系

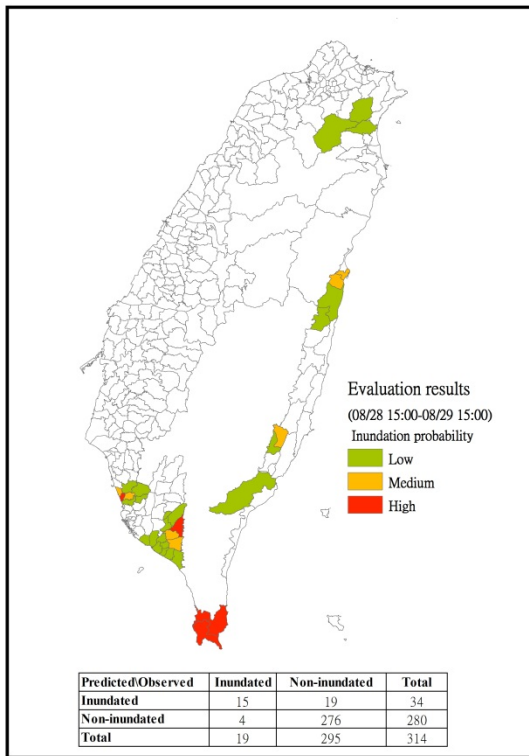
統之準確度。本研究以梅姬颱風及南瑪都颱風兩事件進行測試，收集發生淹水時段之 24 小時觀測雨量，以此 24 小時內發生之最大 1 小時及累積最大 2 小時雨量進行系統淹水機率評估，測試結果如圖 8，基本上以實測雨量進行淹水評估，皆大致可偵測到淹水發生之範圍。

結合定量降雨之校驗結果如圖 9 所示。由圖中可知介接 TYQPFE 雨量後，系統加入了雨量預報方面之誤差，因此淹水機率評估之結果較以實測雨量進行評估時為差，但結果已屬不錯，如梅姬颱風事件，實際淹水皆發生在宜蘭縣內，而由圖 9 可顯示本系統可提供相當程度的參考價值。而花蓮台東部分預報發生淹水但實際未發生，原因除了雨量預報之誤差外，另外可能原因還有因東部都市化程度較少，實際發生都市淹水之機率較低，或是淹水發生在曠無人跡之處，故無法監測到實際淹水發生之範圍。而南瑪都事件也有類似的情形，但屏東部分評估結果較差，除了上述原因外，屏東地區因實際發生淹水的時間較晚，因此預報前置時間(Leading Time)較長，故不確定性也較大。為明確量化校驗結果，相關校驗指標如表 1 所示。整體而言，經由以上之校驗與比較，可證明本系統的確有提早預估可能淹水區域之能力，後續將繼續相關即時展示之介面，並將其建置成一個快速、穩定、即時、自動化的都會區淹水評估系統，以提供颱風或暴雨之預警、應變決策及減災措施之參考。

表1、歷史事件之校驗結果

指標	利用觀測雨量推估淹水		利用定量降雨推估淹水	
	南瑪都颱風	梅姬颱風	南瑪都颱風	梅姬颱風
BS	1.789	2.714	1.158	3.286
POD	0.789	1.000	0.474	0.857
FAR	0.559	0.632	0.591	0.739
TS	0.395	0.368	0.281	0.250

(a) 南瑪都颱風



(b) 梅姬颱風

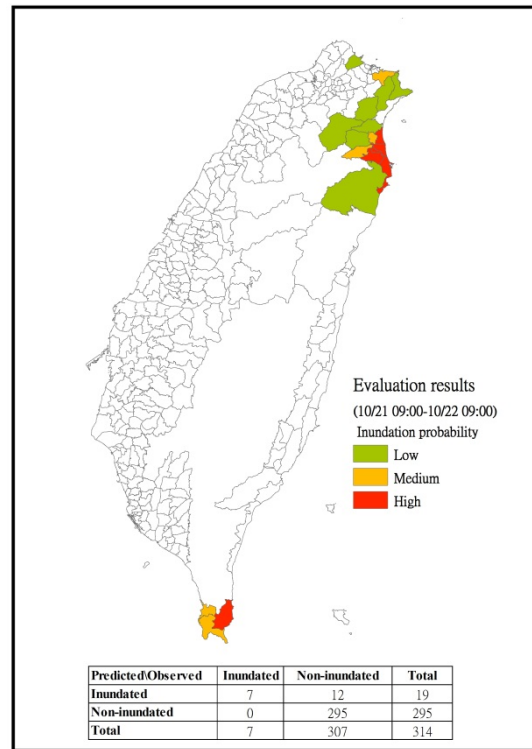
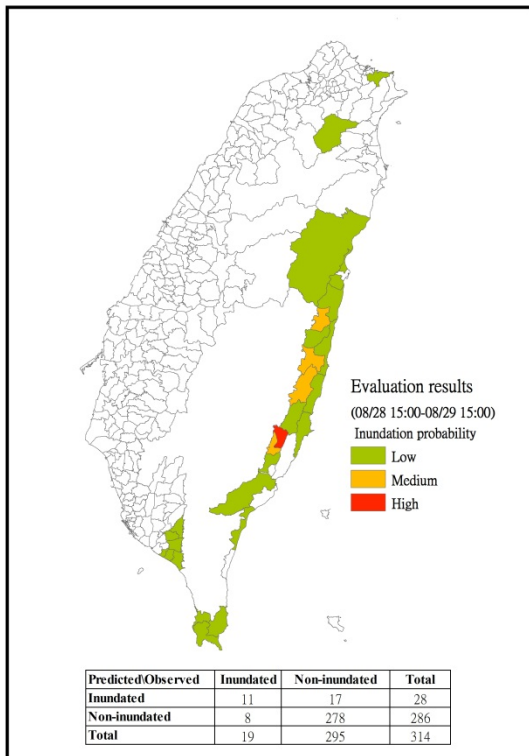


圖 8 利用實測雨量之淹水機率評估結果

(a) 南瑪都颱風



(b) 梅姬颱風

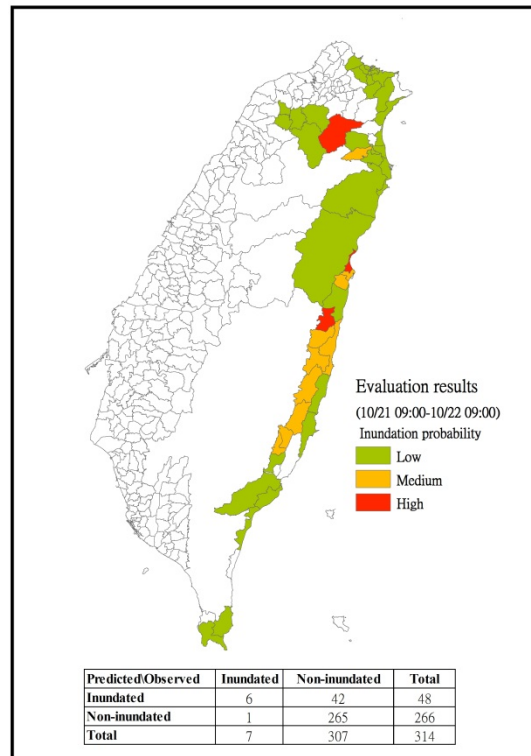


圖 9 利用定量降雨預報之淹水機率評估結果

六、結論

- 「颱風災害整合研發平台」以宜蘭河與典寶河流域作為試驗基地，結合颱風中心現有的運算資源，除提供現有觀測資訊外，亦會透過程式即時計算流量，並透過平台展示。透過此平台可以提高國內模式研發能量，並協助作業單位改善作業效能。
- 大氣-水文整合模擬結合颱風中心之定量降雨系集預報實驗結果、河道演算模式、及海洋大學李光敦教授所開發的逕流模式(KW-GIUH)，進行全流域之即時降雨逕流模擬，結果顯示提前 6 小時的水位估計值與實測值平均誤差低於 50 公分（以烏溪橋的模擬成果為例）。另，本年度亦初步嘗試利用試驗流域迄今已獲得之觀測資料，搭配 HEC-HMS、HEC-RAS 及 FLO-2D 等模式進行模擬，結果顯示試驗流域之設置可提昇模式輸入條件之品質，進而提高模式模擬結果之準確度。
- 洪水模擬展示系統主要透過 World Wind 3D 空間網路資訊應用平台進行開發，並結合颱風中心颱風定量降雨數值模式系集預報實驗產品與 WASH123D。本系統可以模擬與展示洪水事件，亦可連結由國網中心建構之福衛二號災害相關大量衛星影像資料及其他單位提供影像資料所彙總之資料庫，整合成為歷史數位化地理資訊展示與應用兼具之系統平台。
- 今年度以梅姬颱風及南瑪都颱風兩事件進行台灣都會區淹水快速評估系統測試，介接雨量站 24 小時內發生之最大 1 小時及累積最大 2 小時雨量的淹水機率，可大致偵測到淹水發生之範圍；而當介接定量降雨系集預報實驗之雨量時，本系統在都會區具有相當程度的參考價值，但在都市化程度較低的東部區域則有過度預報的情形產生。