

# 洪災減災模式發展與應用策略研擬

## Development and Application of High-performance Early Warning System for Flooding Disaster Prevention and Mitigation

主管單位：國家災害防救科技中心

張志新<sup>1</sup> 江申<sup>1</sup> 郭文達<sup>1</sup> 魏曉萍<sup>1</sup> 林嫩嫻<sup>1</sup> 葉森海<sup>1</sup> 陳偉柏<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 國家災害防救科技中心

### 摘要

本研究計畫 109 年度災害預警技術研發工作可分為兩大主軸，包括「水文水理新模擬技術開發」及「水動力數值模擬技術改進與擴充應用」。在「水文水理新模擬技術開發」方面，本年度將資料驅動技術應用於河川流量與水位模擬，流量部分以橫溪集水區流量站以及大豹、三峽、中正橋及大桶山等雨量站進行模式之訓練及驗證，測試結果顯示，訓練用資料年限愈長模式之表現愈好；但即使資料訓練年限僅 2 年亦可得到可接受之模式驗證結果。水位部分以應用四種機器學習技術，包括：支援向量迴歸(Support Vector Regression, SVR)、隨機森林迴歸(Random Forest Regression, RFR)、多層感知機迴歸(MultiLayer Perceptron Regression, MLPR)、以及決策樹迴歸(Decision Tree Regression, DTR)，已完成三個示範區域(蘭陽溪、濁水溪以及北港河流域)之河川水位數據驅動模式建置與驗證，整體而言，支援向量迴歸模型 SVR 具有較佳的河川水位模擬表現，有助於未來河川水位數據驅動預報系統之研究發展。在洪水及淹水數值模式改良及擴充方面，除提升模式運算效能外，並增加其應用性，以達到真正科技防災效果，本年度完成建置荖濃溪上游與寶來溪匯流處(寶來社區)高解析度高地洪氾區淹水預警系統。平地淹水預警速算模組也於年度完成開發與初步建置，在高速有限元水動力模式運算下，可於 14-16 分鐘，完成過去 24 小時淹水模擬與未來 24 小時淹水預警，成果可結合 Google Earth 軟體進行地圖式展示。

**關鍵詞：**資料驅動、水文水理、支援向量迴歸、山區閃洪、淹水預警速算模組

### Abstract

This study is composed of two main tasks including “data-driven techniques for hydrology and hydrodynamic” and “improvement of numerical hydrodynamic models”. The data-driven techniques were applied to simulate the river discharges and stages. The recorded rainfall, discharge data in Hengxi watershed was used to construct and train the artificial neural network (ANN). The testing results indicated that the performance of ANN model on river discharge simulation was acceptable even if the ANN model was trained for 2-year recorded data. Four machine learning techniques, the support vector regression (SVR), random forest regression (RFR), multilayer perceptron regression (MLPR) and decision tree regression (DTR), were employed for river stage simulation.

The compared results revealed that the SVR owns the best performance on simulation of river stage for the Lanyang, Choshui and Beigang River. Additionally, the operational high-performance early warning system for fluvial and pluvial flash floods in mountain and city-scale plain areas were implemented. The warnings are finally demonstrated by a map-oriented visualization tool.

**Keywords** : data driving, hydrology and hydrodynamic, support vector regression, flash floods in mountain area, high-performance computing module

## 一、前言

本研究計畫目的在發展最新颱風災害預警技術，並將科學與技術應用至實際防減災層面。109年度災害預警技術研發工作分為兩個主軸，包括「水文水理新模擬技術開發」及「水動力數值模擬技術改進與擴充應用」。本年度研究成果詳細彙整如下列章節。

## 二、資料驅動水文水理模擬技術開發

人工智慧法應用在水文水理的研究已行之有年，而科技中心累積長時間收集氣象局與水利署的雨量、河川水位及流量等觀測數據，已可應用於機器學習之訓練測試。本專案今年度以河川流量與水位架構水文水理數據驅動模式。另建立區域淹水的雨量和潮位聯合函數，以及數值淹水、水位資料庫，可做為應用機器學習方法於淹水預警之先期研究與訓練材料。

### 2.1 水文數據驅動模式發展

數據驅動模式之特徵值選用以及訓練資料之長度對於模式之訓練及驗證結果均有顯著影響，本研究計畫在數據驅動模式之特徵值選取方面有詳盡探討，在資料訓練長度及模式預警方面亦進行一系列分析。模式與資料分述如下：

- 數據驅動模式：研究中使用之支持向量機原始碼為台大資工之林智仁教授所開發之 SVM 的函式庫 libsvm，該函式庫目前為世界各地在本主題下引用最多之軟體與文獻。
- 集水區雨量、水位及流量資料：研究中使用橫溪集水區之流量站以及大豹、三峽、中正橋及大桶山等雨量站進行模式之訓練及驗證。使用資料如圖1所示。以大豹雨量站之結果作為重點整理。研究中收集1991年6月至2015年12月之流量、水位及雨量資料。研究中使用2010至2015之6年資料區間作為模式驗證使用；訓練則使用1991至2009之19年資料長度、2005至2009之6年資料長度及2008至2009之2年資料長度進行模式訓練。評估模式表現使用之指標為Nash-Sutcliffe efficiency coefficient。圖2為不同資料長度模式訓練後以2012年蘇拉颱風進行驗證之結果，模式訓練特徵值之選用為流量及水位0至前3時刻，及雨量0至前6時刻，之交叉組合。由圖中可看出特徵值之數量愈多、訓練用資料年限愈長模式之表現愈好；但即使資料訓練年限僅2年亦可得到可接受之模式驗證結果。

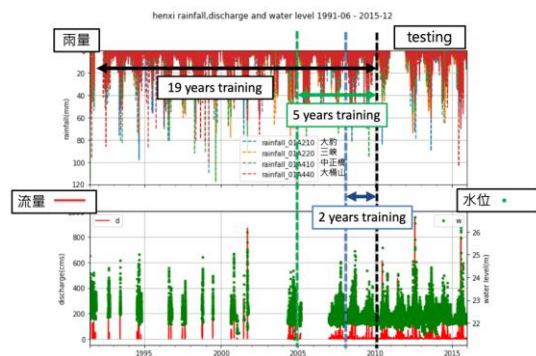


圖1、資料驅動流量模擬之訓練及驗證



圖2、不同資料長度模式訓練後以2012年蘇拉颱風進行驗證之結果

另外研究中使用19年資料長度進行模式訓練之參數，特徵值以每時之前二時刻之流量及水位及前三時刻之雨量進行未來0-6小時之預報，圖3為以2012年蘇拉颱風為例之模擬結果。由圖中可看出隨預報延時增加模式之表現隨之變差，另水位模擬之結果較流量為佳，此因水位資料記錄數量較流量為多之緣故。

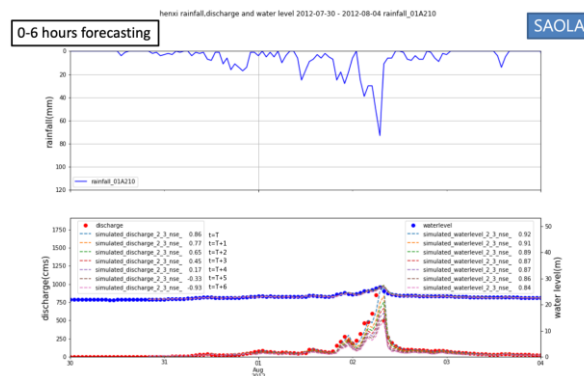


圖3、雨量站進行模式之訓練及驗證。使用資料

## 2.2 水理數據驅動模式發展

本年度應用四種機器學習技術，包括：支援向量迴歸(Support Vector Regression, SVR)、隨機森林迴歸(Random Forest Regression, RFR)、多層感知機迴歸(MultiLayer Perceptron Regression, MLPR)、以及決策樹迴歸(Decision Tree Regression, DTR)，已完成三個示範區域(蘭陽溪、濁水溪以及北港河流域)之河川水位數據驅動模式建置與驗證。本研究蒐集彙整2004年至2017年之颱風或豪雨事件之雨量、水位以及潮位逐時觀測資料，並將資料劃分為訓練(Training)與測試(Test)；訓練資料乃作為模型建構之使用，用以學習輸入與輸出因子之關係，測試資料則作為模型驗證之使用。為提升模型準確度，本研究選擇過去1至6小時之雨量、水位以及潮位時序列資料作為輸入因子，並透過貝葉斯優化與10組數據交互檢驗，尋找出四種模型之最佳參數組合。關於模型建構，圖4顯示濁水溪流域自強大橋之模型訓練結果，結果顯示四種模型之相關係數均大於0.9。當模型建構完成後，使用測試集資料中之輸入因子，驅動已完成訓練之模型，即可獲得河川水位模擬結果，以蘭陽溪蘭陽大橋與北港溪土庫大橋為例(圖5)，可看出SVR的模擬結果較為接近實測水位，並以DTR之表現最差。為更進一步探討四種模型於河川水位模擬之表現能力，本研究採用尖峰水位誤差(Peak Water-level Error, PWE)及洪峰抵達時間誤差(Error of Time to Peak water-level, ETP)，以評估四種模型於三個示範流域之整體模擬表現，並將結果彙整於圖6；結果顯示四種模型(SVR, RFR, MLPR以及DTR)在三個流域PWE中之最大絕對值分別為0.78、1.40、0.76以及1.54公尺，ETP中之最大絕對值則分別為2、2、3以及3小時。

整體而言，支援向量迴歸模型SVR具有較佳的河川水位模擬表現，有助於未來河川水位數據驅動預報系統之研究發展。

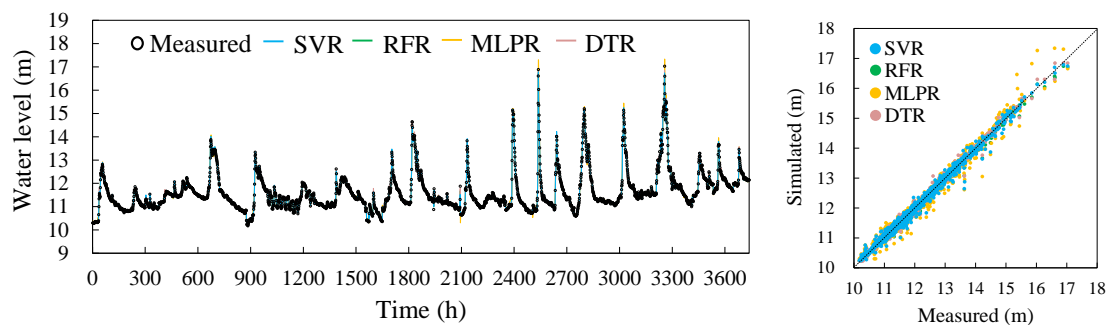


圖4、濁水溪流域自強大橋河川水位之四種模型訓練結果

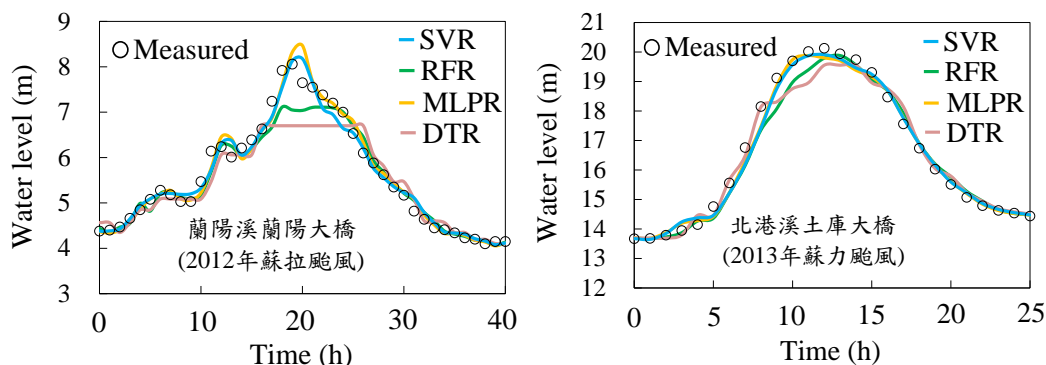


圖5、蘭陽大橋與土庫大橋河川水位之四種模型模擬結果

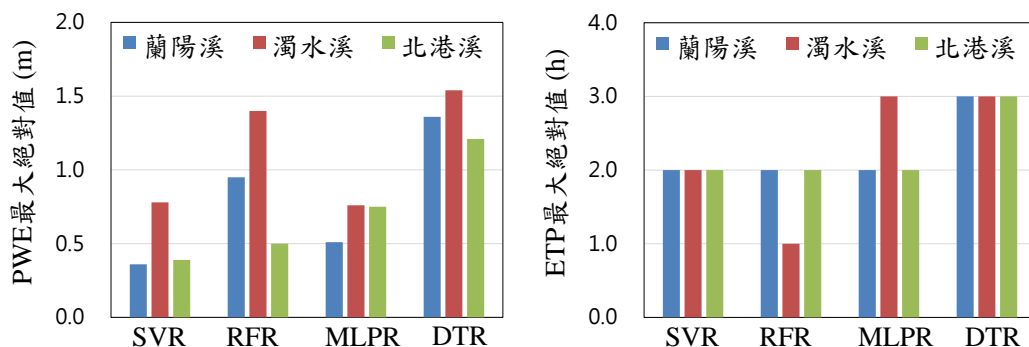


圖6、四種模型在三個示範流域之河川水位模擬表現比較

### 三、建立易淹水區之雨量與潮位聯合風險指標

本年度應用觀測資料建置雲林和嘉義沿海易淹水區的聯合風險指標，探討雨量和沿海潮位對台灣沿海地區淹水風險的影響。傳統淹水風險分析方法，僅使用雨量作為淹水指標，常有誤判情形。為提升淹水預警訊息的準確度，針對沿海潮位和雨量兩項指標，進行淹水風險評估。關聯結構函數Copulas可用來解釋兩個以上的隨機變數之間的相關，隨著機器學習方法的發展，Copulas亦可用來訓練模式辨別資料的統計特性，進而產生符合函數分布的虛擬資料，提供預警訊息。分析關聯結構所使用的工具是CRAN (Comprehensive R Archive Network)，分析步驟包含計算觀測資料的統計特性、使用最大似估計方法找出最適合之關聯結構、計算關聯結構的相關係數、使用蒙地卡羅模擬法產製符合關聯結構分布型態的虛擬資料，最後將分析結

果繪製成圖。以2001-2015年期間發生在雲林和嘉義鹽地區的淹水事件為例，圖7顯示觀測資料的統計特性，圖8顯示最適合之關聯結構函數為法蘭克聯合函數(Frank Copula)的分布情形，相關參數為-4.83。颱風暴潮的發生會增加淹水風險，我們使用蒙地卡羅模擬法，依颱風的歷史特性，以颱風路徑、最大暴風速度和中心氣壓等颱風參數，設定400場以上的颱風侵台情境，求得雲林、嘉義沿海的暴潮機率分布，如圖9所示。多數颱風引發的暴潮可使沿海水位上升約0.8-0.9公尺，出現機率達16%。極端情境下，颱風可引發的最大暴潮約2公尺，出現機率約為0.74%。淹水風險受暴潮和雨量影響的情形，如圖10所示，最適合之關聯結構為法蘭克聯合函數，相關參數為-6.2。

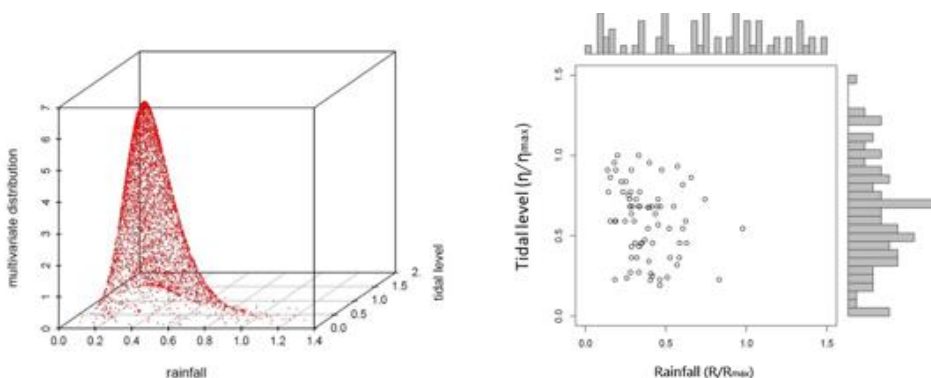


圖7、比較淹水事件的雨量和潮位分布情形(右)，極其最適合之機率分布曲線(左)

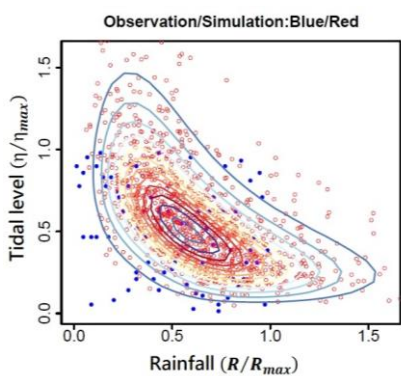


圖8、淹水風險受雨量和潮位影響下的關聯結構分布情形。最大時雨量  $\eta_{max}$  為82毫米，最大潮高  $R_{max}$  為2.2公尺

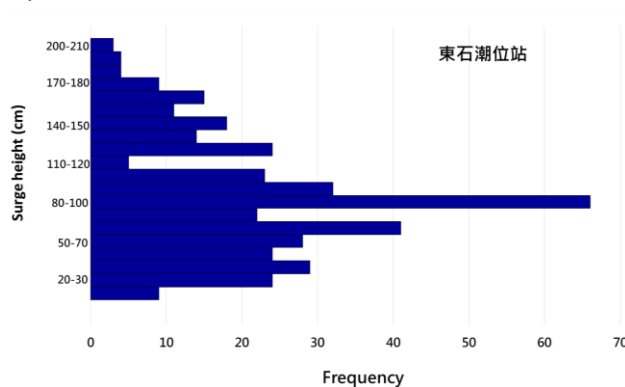


圖9、雲林和嘉義沿海地區的暴潮機率分布，颱風暴潮事件數共405場

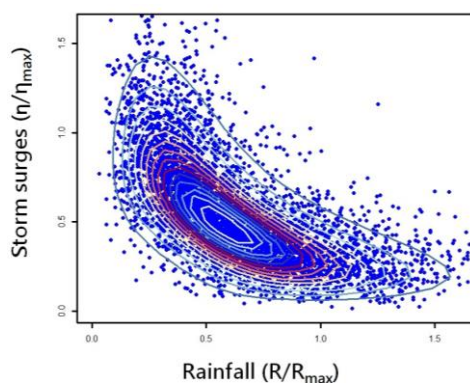


圖10、雲林和嘉義沿海地區的暴潮機率分布，颱風暴潮事件數共405場

#### 四、數據驅動模式訓練用淹水資料庫建置

由於淹水範圍及深度之觀測資料不足，因此需藉由數值模式產製大量淹水資料庫提供數據驅動模式訓練之用。首先以研究區域內具有代表性之雨型，套用定量降雨值經由雨型分布比例重新分配24小時後之時雨量資料。目前已完成宜蘭、雲林、嘉義三縣市，延時為24小時的雨量情境，情境包含水利署淹水潛勢圖之雨量情境，其中各縣市雨量情境為50場三縣市共150場。圖11為宜蘭、雲林、嘉義三縣所挑選具有代表之雨型。淹水模組為經濟部水利署所提供，依據水利設施所建立的第三版淹水潛勢圖之SOBEK專案檔。進行淹水模擬前，將淹水模組進行模式檢驗，目前完成嘉義(北港溪流域、朴子溪流域、布袋沿海流域、八掌溪流域與宜蘭(頭城沿海流域、蘭陽溪流域、南澳沿海流域、和平溪流域)共8流域的淹水模組檢驗，圖12為宜蘭、雲林、嘉義三縣市流域之淹水模組分區。研究中將所產製的50場雨量情境，進行宜蘭、雲林、嘉義淹水模擬，三縣市淹水情境分為頭城沿海流域、蘭陽溪流域、南澳沿海流域、和平溪流域、雲林北部區域、雲林西南沿海區域、北港溪流域(雲林)與北港溪流域(嘉義)、朴子溪流域、布袋沿海流域、八掌溪流域共11流域。

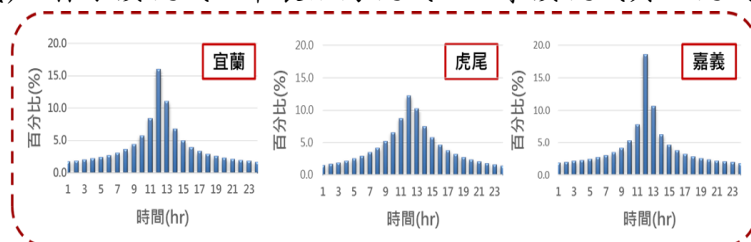


圖11、宜蘭、雲林、嘉義三縣代表之雨型



圖12、宜蘭、雲林、嘉義三縣市流域之淹水模組分區

## 五、水動力數值模擬技術改進與擴充應用

數值模式因為技術成熟、具備物理意義且無須大量觀測資料，因此目前仍然是各項天然災害預警的主流工具。本計畫今年度進行洪水及淹水模式改良並擴充其應用性，以真正落實科技防災。

### 5.1 二維淹水模式基礎資料更新

本年度更新既有二維淹水模式之地文資料，採用內政部提供之 2017 年 20 公尺 x 20 公尺解析度數值地形資料，及 2018 年土地利用資料，進行宜蘭、雲林、嘉義等縣市二維淹水模式基礎資料建置。宜蘭、雲林、嘉義等縣市數值地形資料及二維淹水模擬範圍如圖 13 所示，土地利用資料則如圖 14 所示。

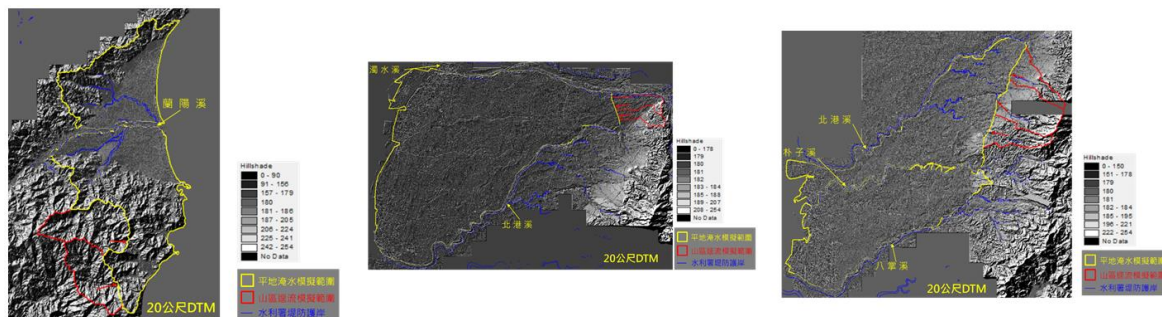


圖13、宜蘭縣(左)、雲林縣(中)、嘉義縣(右)數值地形資料及二維淹水模擬範圍

### 示範區基礎資料更新

更新土地利用資料(2018年)

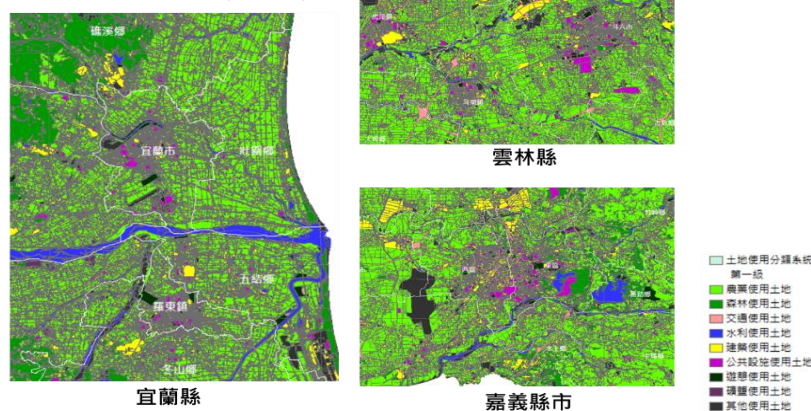


圖14、宜蘭、雲林、嘉義等縣市土地利用資料

### 5.2 高地洪氾區淹水預警系統開發與建置

本年度將空拍建置山區河川及洪氾區數值高程工作擴展至荖濃溪上游與寶來溪匯流處，並以寶來社區為保全對象，開發建置高解析度高地洪氾區淹水預警系統，並將無人機空拍資料轉換成系統所需之數值高程。災防科技中心所建置之水動力模式可一併模擬河道內水位與河川溢堤之淹水現象，無須透過串接一、二維水理演算。圖 15 為預警區域網格布置，荖濃溪、寶來溪匯流處，水動力模式建置流程。在整合水動力、降雨及山區逕流模式後，已完成寶來社區之二維平面動態地圖式高地洪氾區淹水預警系統，圖 16 為系統結合影像與水位即時監視資料，並於颱風、豪雨應變時，提供河川水位及溢淹研判情資。





圖15、高地洪氾區淹水預警系統之水動力核心模式建置流程

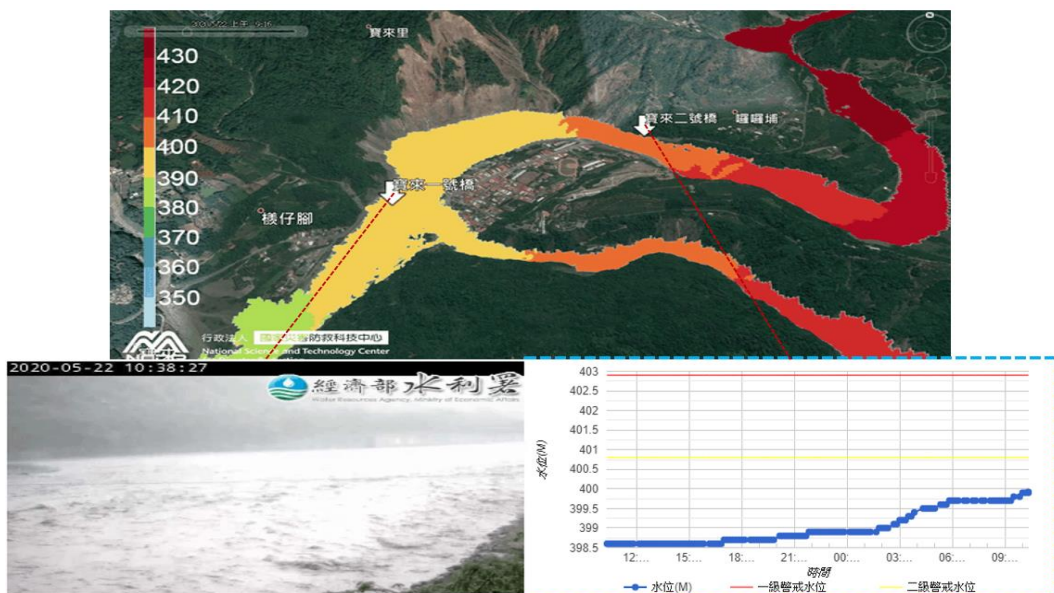


圖16、地圖式高地洪氾區淹水預警結合CCTV與監測水位展示

### 5.3 平地淹水速算模組開發與建置

以往執行二維淹水模擬時，80%-90%的時間經常消耗在水動力模式求解控制方程式的過程。因此，目前許多已經開發完成的淹水模式僅能用於事後模擬，而無法滿足事前預警的需求。災防科技中心以達到防、減災「超前部屬」為目的，與氣象組合作，於本年度開發平地淹水速算模組，模組由降雨預警模式、高速有限元水動力模式及視覺化展示等元件構成(如圖 17 所示)，可於 14-16 分鐘，完成過去 24 小時淹水模擬與未來 24 小時淹水預警，並結合 Google Earth 軟體進行地圖式展示。圖 18 為 2020 年 8 月 26 日，臺南市豪雨淹水事件預警與淹水感測器比對成果，在雨量準確下，淹水速算模組可掌握多數淹水點位。未來亦可於都會區加入下水道模組、沿海地區加入潮位預警模組。

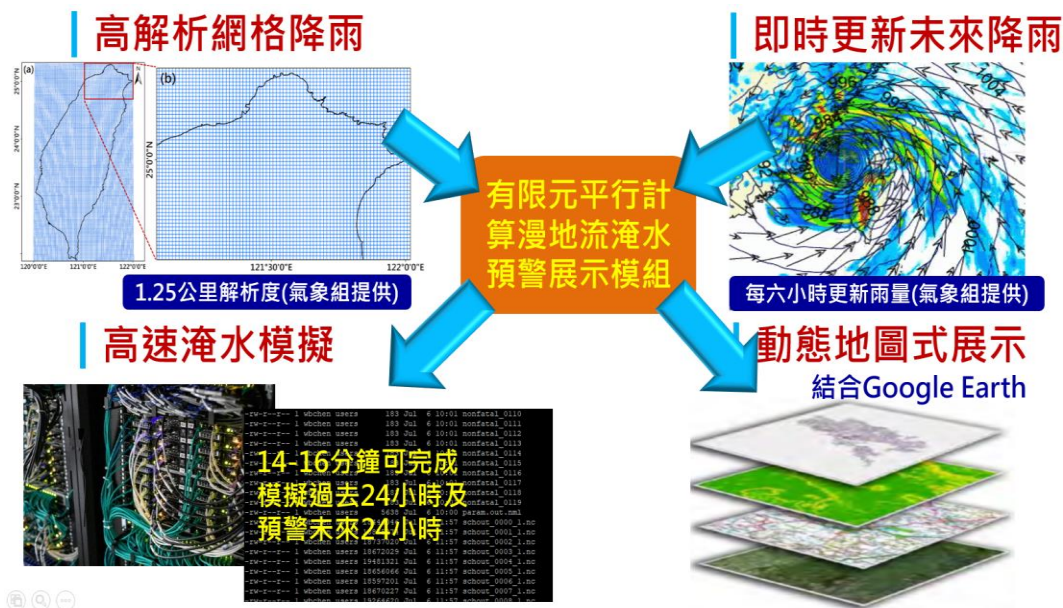


圖17、淹水預警速算模組主要元件



圖18、臺南市淹水速算模組預警地圖式展示並與感測器淹水紀錄比對

## 六、結論

本研究計畫以開發各項洪氾災害預警技術為主要任務，並將發展成熟之技術應用於實際防救災工作，今年度(109年)成果可歸納如下：

1. 已完成應用資料驅動技術於河川流量與水位模擬之初步測試，結果顯示資料驅動技術在水文水理模擬有很好的成果，未來可考慮結合物理模式，提供更多元之水文水理預警成果。
2. 已完成應用觀測資料建置雲林和嘉義沿海易淹水區的聯合風險指標，探討雨量和沿海潮位對台灣沿海地區淹水風險的影響，未來將沿海潮未列入淹水預警參考因子之一。
3. 已完成宜蘭、雲林、嘉義三縣市淹水模式地形高程及土地利用資料更新，以及

各 50 場不同情境淹水時序資料，未來可用於機器學習淹水模擬訓練。

4. 已完成荖濃溪寶來社區山區洪氾溢淹預警系統，今年度已提供颱洪情資研判使用，未來將陸續擴應用於其他山區危險水域。
5. 已完成平地淹水速算及展示模組，可於 14-16 分鐘，完成過去 24 小時淹水模擬與未來 24 小時淹水預警，結合地圖展示介面，可讓使用者易於辨識 24 小時內可能淹水區域，未來將陸續擴應用於其他都市平原區域。