

102 年度
跨領域模式整合預報與災害預警應變管理
計畫成果報告

于宜強、林欣弘、龔楚嫻、張駿暉、林聖琪、劉哲欣

國家災害防救科技中心

中華民國 103 年 02 月

摘要

本計畫目標為透過跨領域合作方式，有效整合雨量預報、災害預報以及社會經濟影響評估等模式，達到快速預報與預警的目的，並經由災害規模與災害損失評估，期望於災害應變期間，有效管理災害預警的反應能力。

研發項目在降雨預報方面，包括使用定量降雨估計的觀測網格雨量以及中尺度氣象模式預報雨量進行下游模式串接工作；災害模式則彙整災防中心坡地洪旱組已經發展之淹水、坡地崩塌的統計機率模式與並持續發展解析度更高的淹水物理模式及邊坡穩定模式；社會經濟影響估計研發則先著重於人口影響以及嘗試評估產物、建物等類型影響規模分析。

本年度技術發展針對災害預警與災害情境研判進行研發，部分研發產品也於 102 年度汛期期間應用測試，也獲得正面評價，對於落實應用與推廣使用，本研發項目有很重大的成果與貢獻。

關鍵詞：機率模式、二維淹水模式、邊坡穩定模式、災害預警

Abstract

The major aims of this project are to integrate the multidisciplinary prediction model by way of interdisciplinary cooperation. In order to response rapidly in the emergency operation and to manage the disaster warning effectively, the rainfall forecast model, disaster prediction models and society-economic impact estimated model are collected to combine to form an integrated warning system.

The items of research and technology development include rainfall forecast combined the Quantitative Precipitation Estimation (QPE) form rain gauge and radar observations and the Quantitative Precipitation Forecast (QPF) from mesoscale weather model forecasting. The flood and slopeland disaster probabilistic models, 2-Dimension flood physical model and slope-stability physical model are injected into the integrated system to predict disaster occurrence. The society-economic estimated methods are developed to estimate the impact scale from disaster attack.

Some practicable products of the development and research in this project are used for disaster warning manages in Central Emergency Operational Center (CEOC) during the typhoon season in 2013. The results of emergency operation are confirmed that the research and development are effective in reality and worth to progress continually.

Keywords : probabilistic model, 2-D flood model, slope-stability model, disaster warning.

第一章 前言

國家災害防救科技中心各專業組多年來致力於發展各專業的災害評估或災害預報模式已有不錯的成果，為了有效落實跨專業組與跨領域技術應用合作成果，透過技術落實計畫推動，整合現有技術於實際防災應用上。今年度技術落實推動的主軸在於串聯氣象、災害與社會經濟影響模式，透過即時運算對災害情境進行客觀性評估，並以網頁等形式提供參考。預警技術整合架構如圖 1，其中氣象方面包括使用定量降雨估計的網格雨量以及系集多成員預報雨量；災害模式則彙整坡地洪旱組已經發展之淹水、坡地崩塌的統計機率模式與物理模式；社會經濟影響則先著重於人口影響以及嘗試評估產物、建物等類型評估方面。

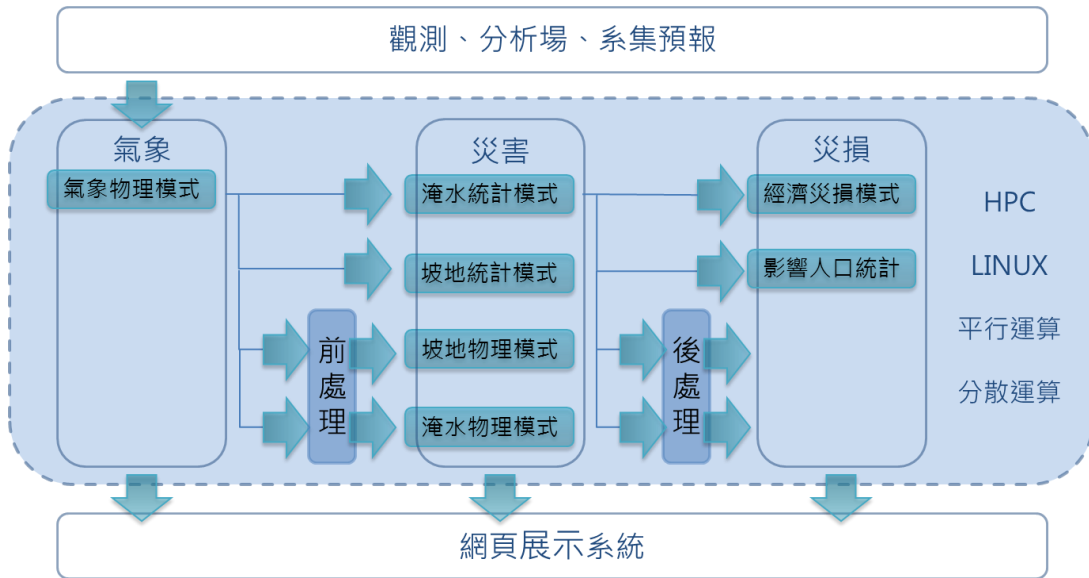


圖 1 氣象模式、災害模式與社會經濟評估模式整合架構

第二章 坡地災害與淹水災害機率模式落實

2.1 方法與模式介紹

坡洪組多年來致力發展淹水與崩塌機率模式，配合今年度氣象組完成的雨量觀測與預報整合，開發即時災害機率預警技術。此外，更結合人口分布，計算災害影響人口期望值，並統計鄉鎮影響總人口，作為災害規模參考指標。目前也已經透過網頁平台發布逐時更新淹水與坡地崩塌機率的分析結果。此外，也發展使用者介面，提供過去資料進行線上計算功能，並產出計算網格資料供進一步研究之用。

為落實防災應用，因此必須做到即時性的災害預測的能力之上，故在氣象的雨量觀測與預報整合部分以逐時更新觀測雨量的方式，達到近即時預報能力。為有效整合觀測與預報雨量，必須先將觀測與預報雨量統一至相同的網格點上，其中，觀測雨量使用 NCDR 研發的雷達回波與自動雨量站的整合估計定量降雨時雨量，網格解析度為經緯度 0.0125° ；而預報雨量則是使用 WRF 的 5 公里解析度預報降雨時雨量，並內插至定量降雨估計的 0.0125 網格點上。之後根據崩塌災害或淹水災害所需的累積雨量時間進行觀測雨量與預報雨量網格點上的總累積計算，隨即進行災害機率模式的運算過程。



災害機率模式使用 NCDR 坡地洪旱組發展的統計機率模式，其中淹水機率模式由張駿暉博士發展的模式，機率方程式如下：

$$\text{淹水機率} = 1 - 1/(1 + R^b \times e^a),$$

其中 R 為 24 小時累積雨量，a、b 為統計參數。統計參數依雨量網格逐一進行統計，完成與雨量網格相同解析度之參數 a、b。

另外，坡地崩塌機率模式則是使用林聖琪助研究員發展的統計機

率模式，機率方程式如下所示：

$$\text{崩塌機率} = 1/(1 + e^{-(a+b \times R)}) ,$$

其中 R 為有效雨場累積雨量，a、b 為統計參數。有效雨場的判定方式為 24 小時累積雨量小於 4 毫米時則歸零重新累積，每個網格點的所判定的雨量總累積時間依各網格點降雨情況而有所不同。

為研判災害規模情境，經由淹水與崩塌機率模式計算後的災害機率值，透過網格點上的人口數統計(圖 2)與災害機率期望值的統計計算，可以獲得災害影響人口期望值，再經由累計各村里行政區的影響人口，作為行政區災害影響規模指標。其中，人口數統計是由 GSI 全台人口點位資料經由網格化累計至 0.0125°的網格人口統計資料，此網格解析度與災害機率模式相同，因此經由相同網格上的災害機率與人口數計算，即可獲得影響人口的期望值。

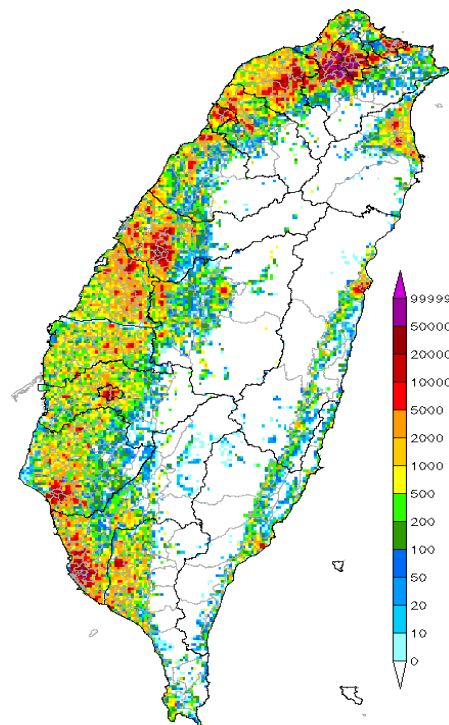


圖 2 全台人口網格分布

2.2 應用落實

統計機率模式在應用落實上分為兩方面，一為即時災害機率研判，另一為研究分析應用。

配合數值天氣預報的預報時間最長為 72 小時，由於前幾個小時的預報作業延遲時間，因此在災害機率預報上設定最長的預報時間為 48 小時，並依序產製預報 3、6、9、12、15、18、21、24、30、36、42 與 48 小時的災害機率預報。另外為了有效的加入即時雨量觀測評估，預報系統會於每小時整點時刻彙整最新雨量資料，配合該時間之後的預報雨量進行運算評估與繪圖，並於網頁上展示，展示網址如下：
<http://watch.ncdr.nat.gov.tw/prob.aspx>

以 2013 年蘇力颱風實際個案為例，坡地崩塌機率會於網頁上展示即時觀測雨量以及預報至 3-48 小時的有效雨場累積雨量(圖 3)，並計算出相對應之坡地崩塌災害機率。此颱風個案崩塌高機率區位於中部山區、雪山山脈南側與台中苗栗平原區域(圖 4 所示)。

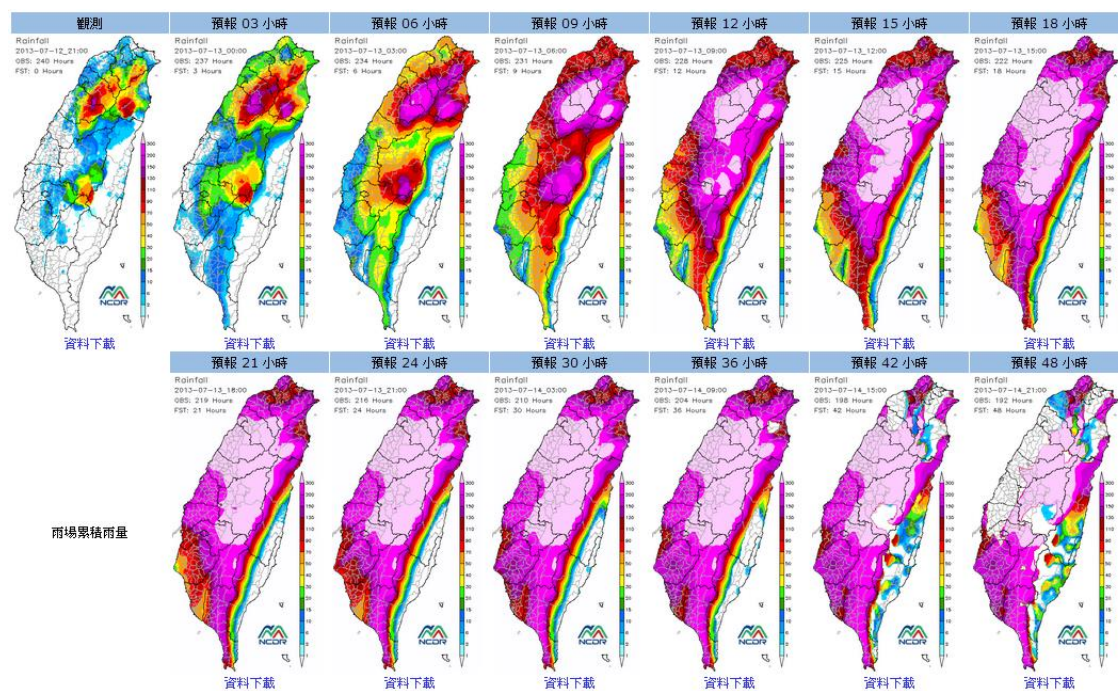


圖 3 坡地崩塌機率模式使用之有效雨場累積雨量各預報時期分布

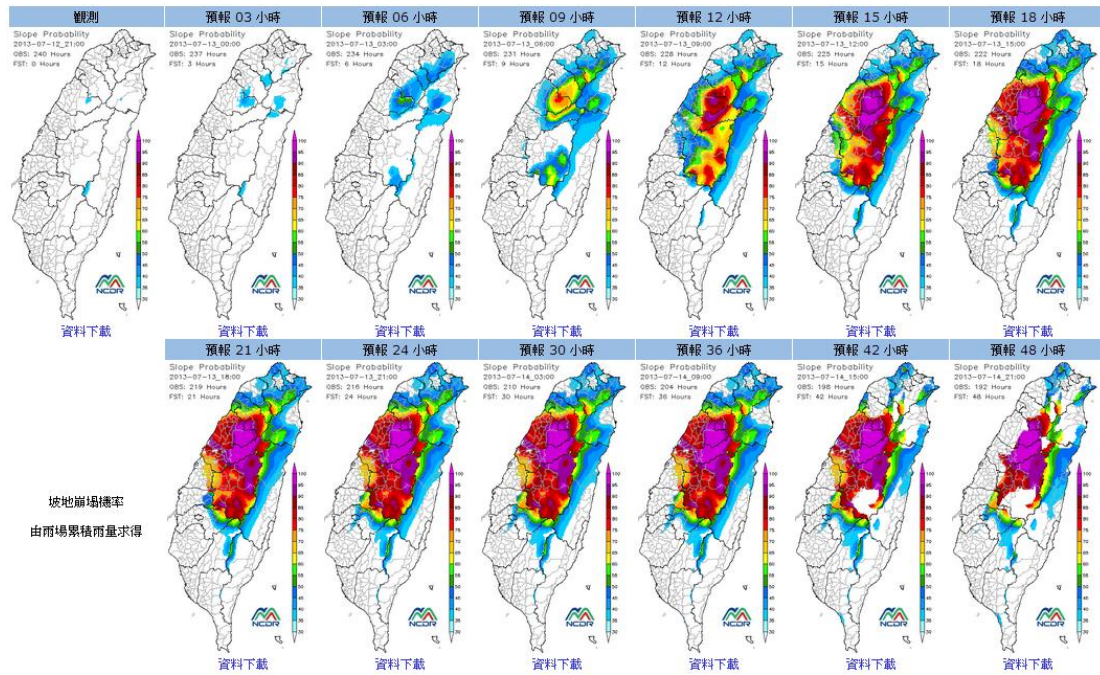


圖 4 坡地崩塌機率各預報期間之機率分布

相同蘇力颱風個案下，因淹水機率模式使用 24 小時累積雨量計算，因此在預報 30 小時之後的累積雨量(圖 5)已逐漸減小，相較於崩塌機率模式有效雨場所使用長延時累積雨量的分布不同。而在淹水機率結果顯示(圖 6)，由淹水機率模式預測在宜蘭與台灣西半部各縣市皆有淹水機率發生，其中，中部縣市有較大的範圍有淹水機率。

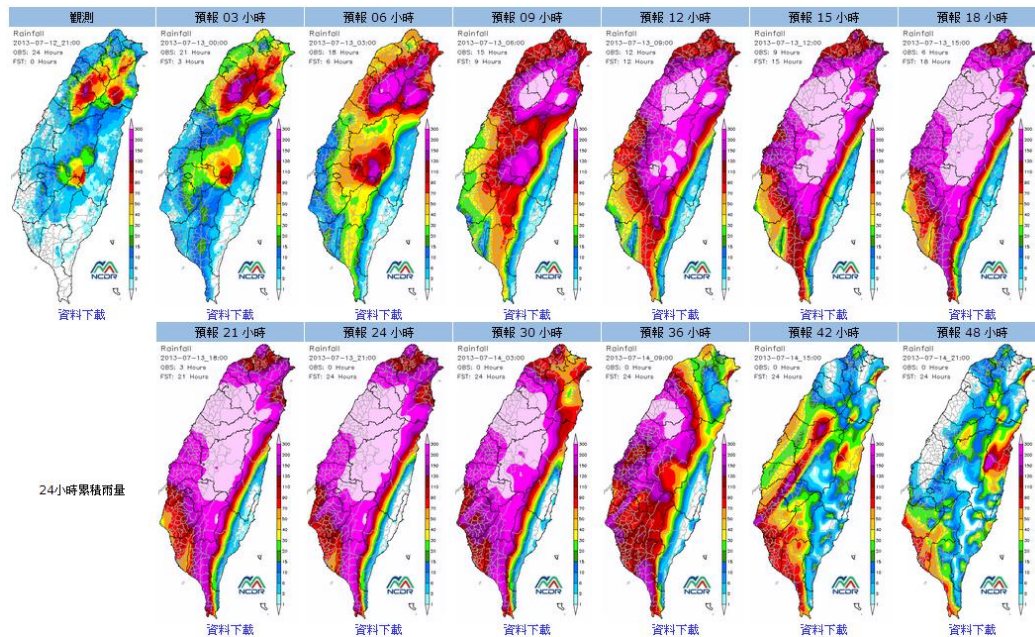


圖 5 淹水機率模式使用之 24 小時累積雨量各預報時期分布

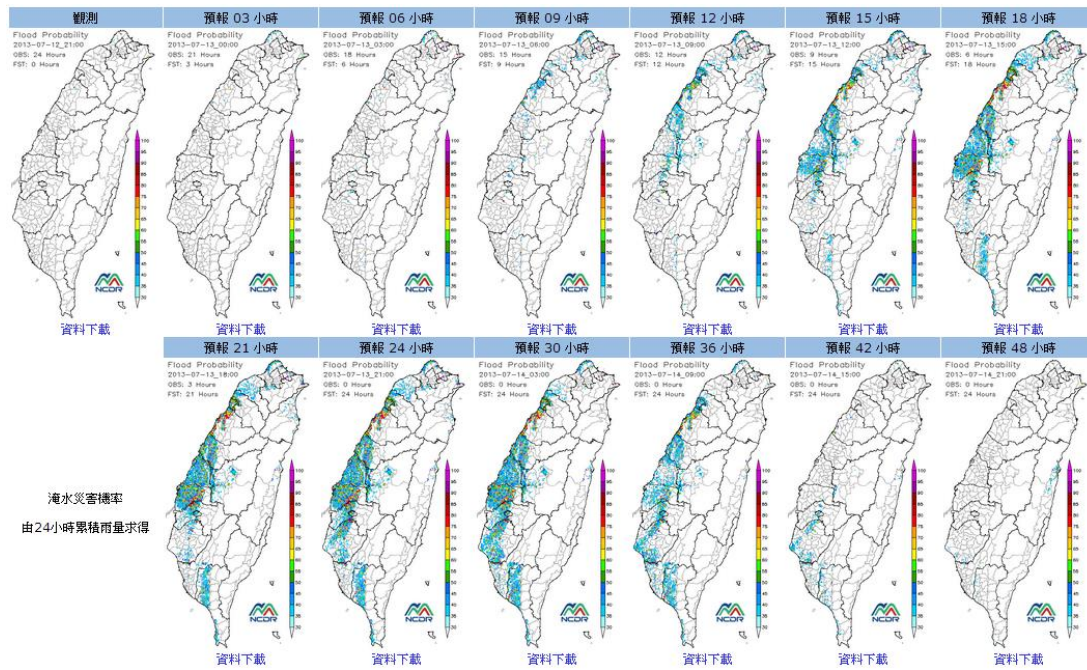
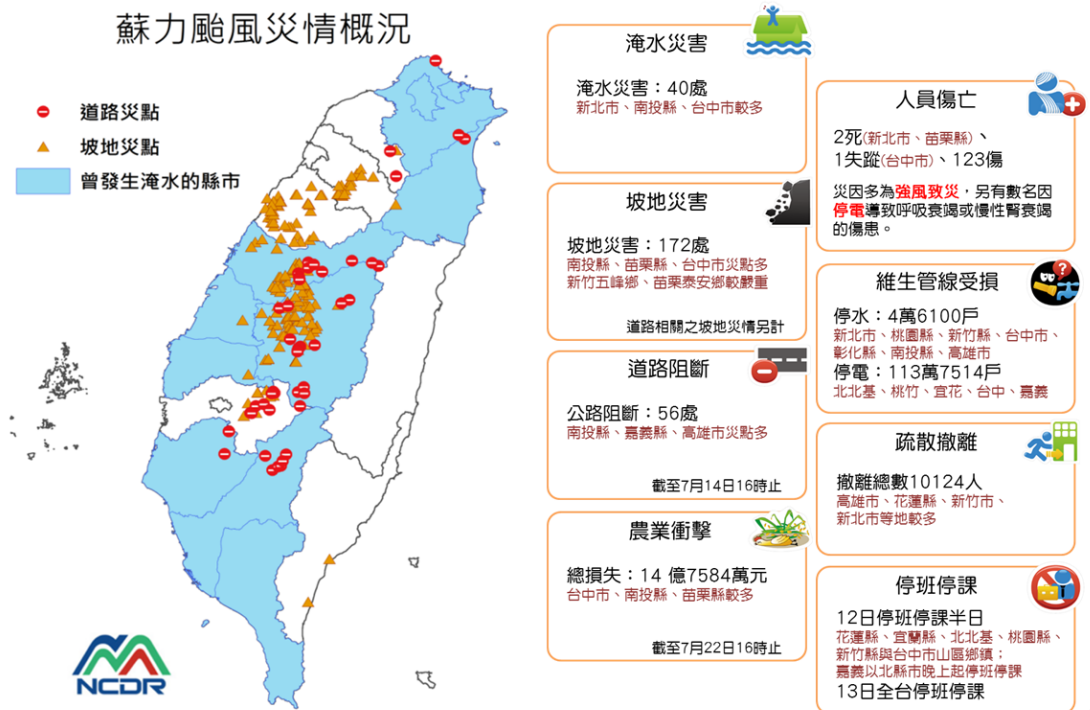


圖 6 淹水災害機率各預報期間之災害機率分布

由實際災害發生的災情分布調查校驗蘇力颱風個案的災害機率預報結果。圖 7 為各政府部門彙整蘇力颱風侵台整場期間造成的災情統計，其中道路災點與坡地災點主要分布在中部山區以及部分台中、苗栗平原區域，與崩塌機率預測的主要分布位置相近。另外實際淹水的縣市分布在大部分的西部縣市，但是淹水機率預報桃園、新竹與苗栗靠海的淹水情境，在實際災情上並無發生，有過度預警的情況，但是對西半部大部分縣市仍為有效預警。



▲ 蘇力颱風來襲造成之災情與衝擊彙整。(資料來源：消防署、公路總局、水利署、水土保持局、農委會；分析與製圖：國家災害防救科技中心)

圖 7 蘇力颱風災情彙整資料

為了針對過去個案進行災害機率模式評估與分析，以及方便其他使用者進行個案研究與分析應用，因此設計一使用者互動網頁介面，可透過網頁介面控制後端伺服器運算並輸出於網頁之上。機率算使用者控制介面主要分為三個步驟選項，分別控制氣象降雨、災害模式與社會經濟三類選項，使用者可針對分析步驟所需，只執行至步驟一或至步驟二，不需執行至最後一個步驟，減少計算時間。此三個步驟選項分述如下：

步驟一、累積雨量選項(圖 8)：必需填入觀測結束時間 12 碼；如果僅計算累積雨量，則需選擇雨量累積類型選項【雨場總累積雨量】或【24 小時累積雨量】；如果需計算至步驟二或步驟三，則雨量累積類型選項將會受步驟二同步控制。

步驟一：☑ 氣象觀測與預報 ▶▶

觀測結束時間：201206120800
(12位數字：201301010000)

※ 觀測資料起始時間為2012/01/01 01:00

雨量累積類型：雨量總累積雨量
(如果要計算災害模式，累積雨量會自動選擇)
24小時累積雨量

標準模式類型：坡地崩塌機率模式

※ 坡地崩塌機率模式計算 雨量累積雨量 的崩塌機率
雨量累積時間每個網格點不同，最長累積240小時

※ 淹水機率模式計算24小時累積雨量的淹水機率

顯示機率篩選：35 %

線上計算與繪圖

執行至 步驟1 -----> 觀測時間：2012年06月12日08時00分

圖 8 累積雨量選項

步驟二、災害模式選項(圖 9)：必需選擇機率模式類型選項【坡地崩塌機率模式】或【淹水機率模式】，當變動機率模式類型選項，會連動同步更動所使用的累積雨量類型選項。另外，在圖形顯示上可以選擇篩選的百分比，小於篩選值的機率將不會顯示於圖上。

步驟一：☑ 氣象觀測與預報 ▶▶

觀測結束時間：201206120800
(12位數字：201301010000)

※ 觀測資料起始時間為2012/01/01 01:00

雨量累積類型：24小時累積雨量
(如果要計算災害模式，累積雨量會自動選擇)

標準模式類型：淹水機率模式
坡地崩塌機率模式

※ 坡地崩塌機率模式計算 雨量累積雨量 的崩塌機率
雨量累積時間每個網格點不同，最長累積240小時

※ 淹水機率模式計算24小時累積雨量的淹水機率

顯示機率篩選：35 %

社會經濟類型：影響人口數

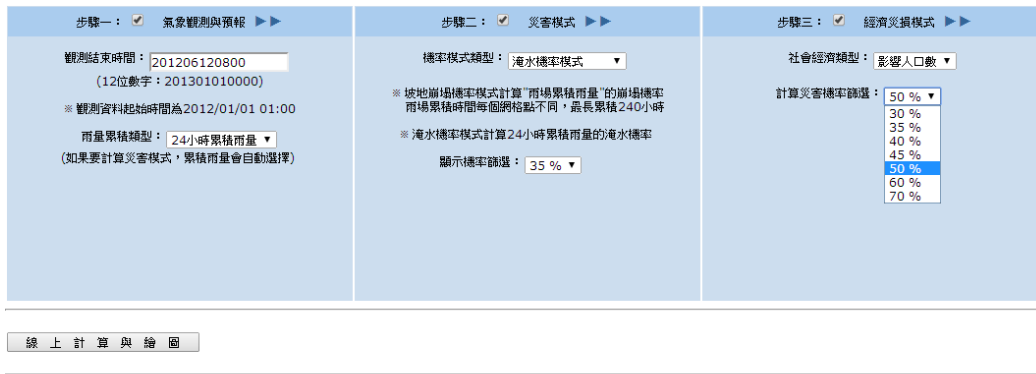
計算災害機率篩選：50 %

線上計算與繪圖

執行至 步驟2 -----> 觀測時間：2012年06月12日08時00分

圖 9 災害模式選項

步驟三、社會經濟類型選項(圖 10)：目前僅針對【影響人口數】進行評估，必須選擇災害機率篩選值，小於篩選值將不進行計算，其計算方式為災害機率乘上相同網格點上的人口數以獲得災害影響人口數期望值。另外，也將鄉鎮上的影響人口數加總之後輸出，藉以評估鄉鎮的影響程度。



執行至 步驟3 -----> 觀測時間：2012年06月12日08時00分

圖 10 社會經濟模式選項

選擇災害機率計算選項之後，點選下方【線上計算與繪圖】選項，系統將會連線至後方 LINUX 計算伺服器上進行計算，並將計算後的結果繪圖傳至前端網路伺服器上展示(圖 11)。

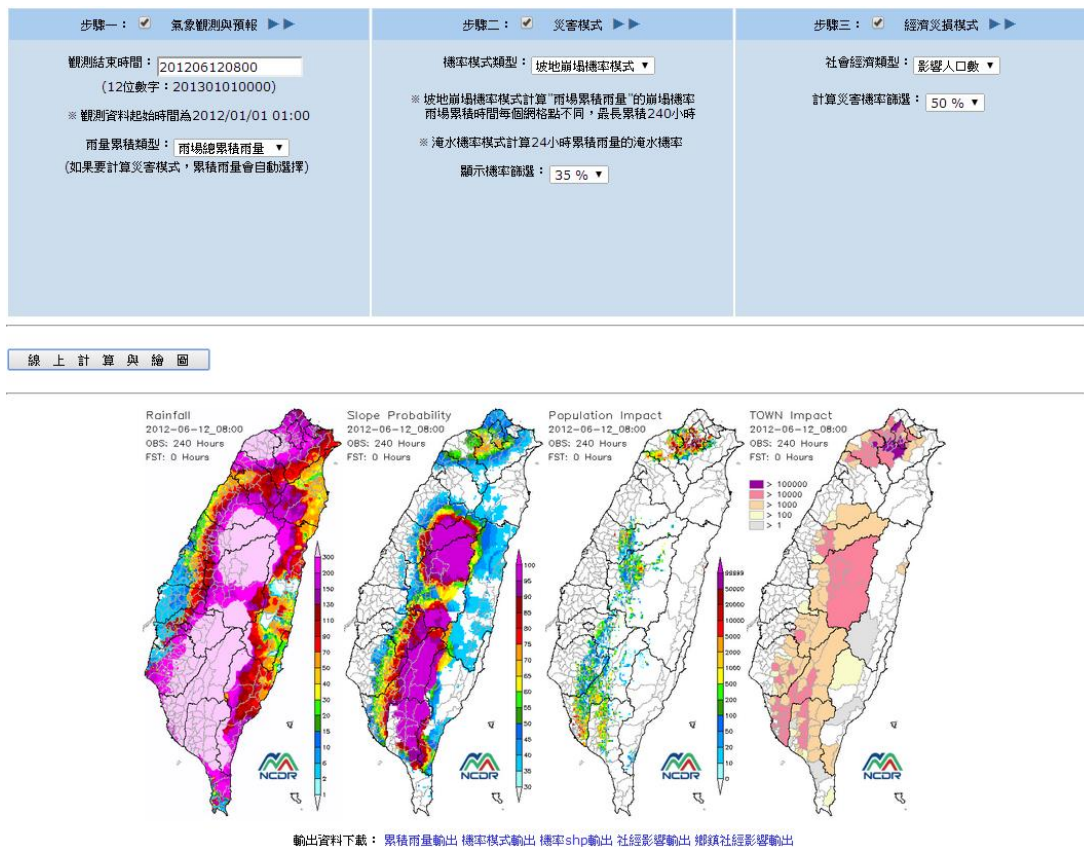


圖 11 線上計算與繪圖產出

圖 12 為 2012 梅雨季 6 月 12 日北台灣淹水個案分析，由於受到滯留鋒的影響，在中部、南部山區與北部造成劇烈降雨。經由機率模式計算，北部台北、桃園及新竹有較大的淹水機率，其中桃園與台北有部分地區淹水機率相當高，經由影響人口期望值統計，在桃園與台北部分鄉鎮區影響人口規模相當的大，與當時淹水實際影響程度與範圍相當。經由降雨、災害機率與人口分布的整合計算可以迅速分析災害影響的規模程度，以供災害應變決策參考。

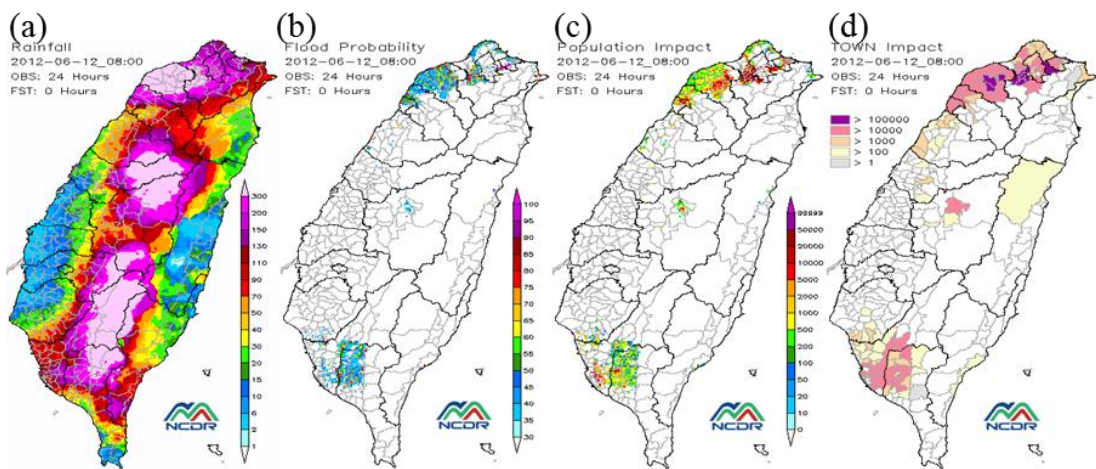


圖 12 2012 年 6 月 12 日梅雨季北台灣淹水個案(a)24 小時累積雨量；(b)淹水機率；(c)影響人口期望值；(d)鄉鎮影響人口統計。

為有利於專業組使用需求，除了繪圖輸出之外，另外也將網格雨量、網格機率值、網格影響人口等資料輸出，另外鄉鎮影響人口數也以鄉鎮代碼方式輸出各鄉鎮的影響人口統計。此外也將 GIS 使用的 shapefile 檔與 google earth 用的 kmz 檔輸出，google earth 使用的 kmz 檔可經點選雨量、災害機率與影響人口網格繪圖，將可連結至 google map 開啟 kmz 檔展示(圖 13)。

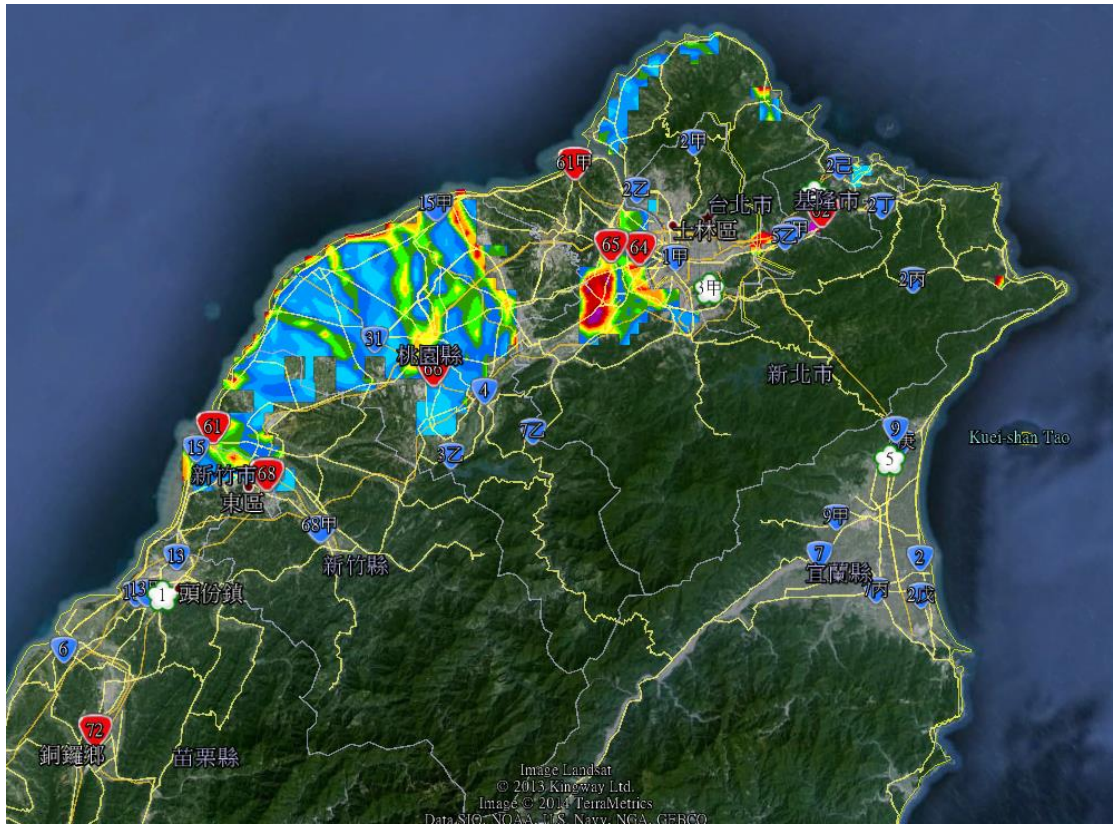


圖 13 Google earth 展示災害機率 kmz 格式畫面

第三章 災害物理模式研發與應用

3.1 淹水物理模式產出應用落實

坡地洪旱組發展多年的快速淹水模式，多用於淹水模擬分析。為了更即時、更有效的應用快速淹水模式的結果，今年度配合各事件的淹水模擬結果進行加值應用研究。二維快速淹水模式目前建置於WINDOWS 的伺服器上採用分散式運算方式進行多流域分散模擬，全台灣共分成 51 個模擬流域，模擬流域範圍大小不一，模擬網格解析度大部分為 200 公尺，少數幾個較小模擬流域以 40 公尺的網格進行模擬，模擬每小時輸出網格淹水高度，並將模擬結果以二度分帶 TWD67 TM2 格式儲存輸出。

為有效快速研判分析，目前整合淹水模式 51 模擬流域的淹水深度分布於全台地圖上(圖 14 a)。另外，為配合未來淹水情境研究與預判作業，也統計其模擬 24 小的內的網格最大淹水深度，並將最大淹水深度網格點位以經緯度座標方式儲存輸出。未來可透過各土地類型的淹水面積統計(圖 14 b)，可以針對災害情境進行快速研判與分析。

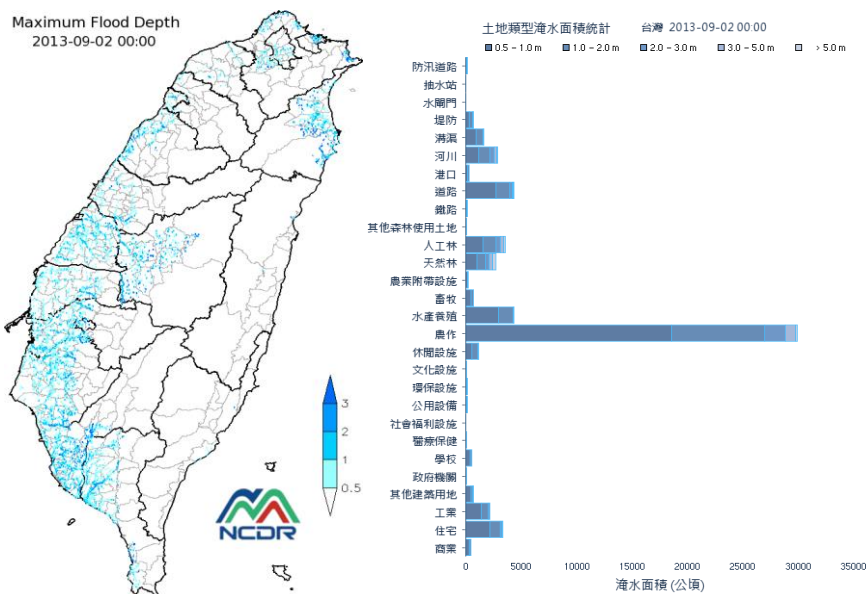


圖 14 二維淹水模式模擬(a)最大淹水深度分布；(b)各種土地類型淹水面積

3.2 坡地物理模式即時運算發展

在坡地物理模式研發採用美國發展的邊坡穩定模式(Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Model)，此模式是美國地質調查所 USGS 所開發之網格式無限邊坡穩定分析程式，在移植至 NCDR 的應用研發上，是經由修改原程式架構成適合在 LINUX 叢集電腦上可多流域分散運算的版本。美國 USGS 發布之 TRIGRS 網址如下：<http://pubs.usgs.gov/of/2002/ofr-02-424/>。

相較於原始 USGS 版本，更改過原始碼僅修改部分檔案路徑與檔名，以及為配合 CPU 最佳化編譯，部分資料輸出格式稍作修改，而物理運算部分皆未更動。

另外，新增的程式為觀測與預報雨量格式轉換與內插至流域網格式。為配合 NCDR 即時產製的觀測與預報雨量網格式資料，撰寫內插與格式轉換程式以提供 TRIGRS 模擬所需資料。此外，流域分散運算採用 Shell Script 的程式語言撰寫，適用於 LINUX 系統叢集架構下可分散數個流域同時運算，提高運算效率。

TRIGRS 模式模擬全台共分成 25 個大小不同的模擬流域，網格式解析度為 200 公尺，模式資料以二度分帶 TWD97 TM2 儲存。模式模擬使用雨量分別採用 7 天觀測雨量與 2 天數值天氣模式 WRF 預報雨量。每隔三小時會更新最新觀測雨量與預報雨量進行模擬與預報，因此每天將會有 8 次啟動模式模擬程序。另外模擬結果僅輸出預報 0 至 48 小時的坡地安全係數，每隔 3 小時輸出結果，前七天的模擬結果僅輸出最後一個時間的資料，其餘皆為預報結果。展示部分則是整合 25 個流域結果至全台地圖上，預報 0-48 小時每三小時輸出一張全台坡地穩定度圖，每次預報共產製 17 張圖，最後會以網頁介面形式模擬結束後即時展示於網頁之上(圖 15)，以利即時分析研判。

第四章 未來展望

4.1 挑戰與未來展望

今年度針對災害預警與災害情境研判進行研發，部分研發產品也於 102 年度汛期期間應用測試，也獲得正面評價。然而，對於落實應用仍需更客觀的評估後才能真正的推廣使用，尤其對於鄉鎮地方政府的使用上，是災害預警研發的一大挑戰，除了要提升預警技術的精確度、細緻度之外，還需讓使用者了解預警的可信度。

今年度所發展的技術，包含系集多成員雨量預報、淹水物理模式、坡地穩定度模式以及災害情境推估等，如何有效的整合這些上下游方法與模式，以及應變期間如何有效且即時的應用這些產品，將會是下一階段的重大挑戰。由於這麼多跨領域的預報模式、評估方法的研發需要各組的專業支援，未來仍需透過跨專業組的合作，才能快速且正確的將這些研發技術真正的落實。

參考文獻

- 林沛練、于宜強、李宗融、龔楚嫻、王安翔、林又青、王俞婷、傅鑣漩、葉森海、陳怡臻、黃泰霖、張志新、張駿暉 (2013)。颱風災害規模研究。國家災害防救科技中心，NCDR 101-T21。
- 李欣輯、陳怡臻、郭玫君 (2013)。台灣颱風災損評估系統之建置與應用。《農業工程學報》，**Vo59(4)**，42-55。
- 黃成甲、許銘熙、陳彥宏 (2014)。格網局部細化之淹水模式。《臺灣水利》，**62(1)**，第 1-12 頁。
- Jiun-Huei Jang, Pao-Shan Yu, Sen-Hai Yeh, Jin-Cheng Fu and Cheng-Jia Huang. (2011) A probabilistic model for real-time flood warning based on deterministic flood inundation mapping. *Hydrological Processes*, **26(7)**, 1079–1089.