

降雨預報資料在水利防災上之應用

李戎威¹ 鄭安孺¹ 方裕仁¹
多采科技有限公司¹

摘 要

近年來，高度都市化及大量農地減少的結果，造成地表不透水面積增加，使得降雨產生的地表逕流快速集中，再加上地球暖化造成雨量豐枯劇烈變化，導致市區低窪地區積水及河川潰堤溢堤等水患發生機會逐年增加。雖然台灣地區的河川水利防洪建設十分發達，但是，在許多區域排水或都市雨水下水道建設率偏低的區域，因排水不良而發生洪澇的現象幾乎年年發生，影響地方的經濟發展及人民生活，因此，水利防災成為政府的重要施政方向。防災方法中的非工程方法或稱為避洪措施，包括集水區管理、洪災保險、土地利用管制、洪水預報及淹水預警，其中洪水預報及淹水預警，以及預警報後的緊急應變作為，在近10年來實際操作驗證後，其減災效果極為顯著。

過去的洪水預報及淹水預警，所使用的降雨資料來源為雨量站觀測紀錄，如今隨著科技進步，中央氣象局提供了高解析度的雷達觀測資料，以及各種降雨預報產品，即由點提升到面的降雨觀測及預報，促使原有的洪水預報及淹水預警工作，尤其在水文模擬方面，產生了巨大的影響。前述高解析度的降雨觀測及預報網格資料，在水利防災方面，係提供各地洪水預報系統，進行集水區水文模擬，作為河川變量流水理演算的輸入條件，以及各鄉鎮網格最大預報降雨，作為各鄉鎮淹水警戒。而水庫部分，由於水庫操作需考量水庫上游集水區降雨入流量、庫容現況以及未來天氣條件，亦可計算水庫集水區網格平均預報降雨量，進而使用水文模式計算未來入流量，提供水庫操作之參考。然而，過去依各項預警加值應用經驗，降雨預報準確度是影響預警的關鍵，降雨預報成效評估並且依防災需求(如抽水機入流量估計等)進行加值，成為防災單位在應用降雨預報產品進一步的研究課題。

本文基於實際水利防災之需求，以智慧預警、預報加值及視覺強化等三大原則，整合開發網頁型式的洪水預警整合平台，充分呈現降雨預報在空間與時間上的特性，以及降雨預報在水利防災預警之應用，如洪水預報、水庫入放流及放流機率、鄉鎮淹水預警及其他加值資訊等，俾利水利防災決策單位快速綜覽各項水情資訊，增進決策效率及精準度，降低洪災損失。

關鍵字：洪水預報系統、高解析度降雨預報網格、洪水預警整合平台

一、前言

當台灣進入颱洪發生頻繁時期，各級防災單位繃緊神經面對所可能的水患災情，水利署當災害緊急應變小組成立後，係負責執行「蒐集氣象、水文、蓄水庫現況與水災災情等資訊，經分析研判後適時陳報緊急應變小組，並且發布水情通報與洪水預警報」。過往，水利防災單位進行洪水預報以及淹水預警時，最主要仰賴雨量站觀測與過去颱風路徑綜合解析後，供洪水預報系統演算以及即時研判淹水警戒資訊。然而面對日以漸劇的天氣變化，極端降雨事件增加，水利署為達到災前超前佈署、提前預警、災中即時掌握水患災情的目標，逐漸以智慧防災為主軸，發展各種預警報系統，但欲達到災前提前預警，現階段利用現有觀測資料是不足夠的，所幸隨著氣象單位的努力，逐年提升降雨預報技術，已可提供更高解析度降雨預報產品，對於防災應用上更為多元，本文中將說明水利防災單位如何利用解析過後的降雨預報資料，應用於非工程防災預警。

二、降雨預報解析及傳輸

為讓降雨預報資料能即時供水利署防災應用，中央氣象局提供一台專責伺服器點對點將資料傳輸至水利署進行資料解析及防災應用(圖1)。由於各種降雨預報資料時

間及空間解析度不同，如定量降雨預報(QPF)為6小時累積預報降雨，空間解析度為0.05度，相較於QPESUMS預報資料為逐時且空間解析度為0.0125度較粗，為方便防災應用期間視降雨模式的準確度可以快速地調整降雨預報，亦可讓防災應用上易於維護、管理、展示，當接收降雨預報資料後，另由一台解析伺服器將各種降雨預報產品解析成相同的輸出格式、解析度，並且統一命名方式，使後續應用便利。各降雨預報產品中，以QPESUMS網格有最高解析度(空間解析度為0.0125度及時間為逐時資料)，因此解析過程中以QPESUMS網格為基準，將所有的降雨預報資料均輸出到QPESUMS網格位置上，且由於水利署所注重的是陸地降雨所可能造成的水患災情，為減少傳輸量，因此去除台灣本島外資料，資料格式是遵循荷蘭Utrecht大學地理科學系(Faculty of Geographical Sciences)所制定儲存GIS資料的PCRaster格式，可參考網頁：<http://pcraster.geo.uu.nl/documentation/pcrman/x761.htm> 說明。同時為瞭解逐時降雨預報全台分布狀況以及累積預報降雨量，本文發展一套自動化繪圖程式，當資料完成解析過後即時繪製時雨量及累積雨量分布圖(圖2)，以圖形化網頁展示及下載。

三、降雨預報格網加值應用

中央氣象局可提供高解析度的雷達觀測資料，以及各種降雨預報產品，經由空間及時間一致性解析後，可從原始點雨量資料提升到面的降雨觀測及預報，此部分對於水利防災上產生巨大的影響，防災應用上更為多元。由於降雨預報資料為格網資料，為達到防災應用需求，本文利用集水區劃分概念，分別劃分水位站上游集水區、水庫上游集水區。自劃分集水區至計算最大及平均降雨流程如下：
(一)彙整流域數值地形模型資料(Digital Terrain Model, DTM)

本文中使用的DTM資料來劃分水位站上游集水區範圍，因此蒐集2006年行政院內政部地政司重新量測之TWD97座標系統的5公尺解析度DTM資料，取其中XY為40公尺倍數的資料點進行分析，缺資料部分以農業委員會委託林務局農林航空測量所測製之TWD67座標系統的40公尺解析度DTM資料進行雙線性內插補遺，如圖3、圖4為例，分別為大安河流域農委會以及內政部資料基本圖幅圖號分布圖，其中數字代表圖資編號。由於兩組資料的座標系統不同，因此進行內插前需要做座標系統轉換。

(二)劃分集水區範圍

集水區的劃分，需設定一控制點，使得降雨落於陸地後，水依地形抵達所設定之控制點，若是水庫集水區則以水庫壩體為控制點，若為水位站上游集水區則以水位站為控制點，劃分方式則利用地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)軟體，依DTM資料分析地形坡度、坡向，完成集水區劃分作業。

(三)擷取集水區內QPESUMS降雨格網資料編號

確認集水區範圍後，將QPESUMS網格點資料套配集水區邊界後，分析得集水區內部的QPESUMS網格點，然後將分析結果輸出後，製作一集水區對應QPESUMS網格點資料供集水區平均及最大雨量演算程式讀用。由於QPESUMS網格點是GRS-67經緯度坐標系統，因此資料匯入前，必須先將網格點轉換成TWD97二度分帶坐標。

(四)集水區最大及平均降雨計算

完成集水區劃分以及擷取集水區內QPESUMS格網資料後(圖5)，將讀取各降雨預報資料之網格雨量，根據集水區對應網格點，比較其集水區內部所有格網點的預報時雨量，取出其中最大雨量值，以及計算集水區內所有網格點之平均雨量值，最後將相關資訊包括降雨預報資料、演算時間、預報領先時間、最大降雨經緯度、以及最大與平均預報時雨量等資料寫入資料庫供後續應用。

然而，鄉鎮區最大降雨及平均降雨計算，則不需經由DTM資料劃分，經取得行政院內政部國土測繪中心之鄉鎮區域邊界，再依據第3至第4方式完成計算，俾利後續應用。

利用降雨預報資料取得集水區最大及平均降雨，對於河川預警上著重於水位站上游集水區降雨量，可利用逕流模式加值計算各水位站入流量預測，進而推算河川水位流量；對於水庫啟閉操作上，過去配合雨量觀測推算可能入流量配合庫區啟閉標準以及操作員經驗，若取得庫區上游集水區未來可能預報降雨量，則可提早研判可能入放流量；對於都市淹水部分則可取得鄉鎮區可能最大預報降雨

量，依過去淹水狀況所定義之雨量警戒值，進行即時鄉鎮淹水警戒。

四、降雨預報應用於洪水預報系統

近十年來，主要的水系已建置洪水預報系統，於豪雨或颱風時期自動化演算、儲存及展示。透過降雨數值預報驅動降雨逕流、河川變量流計算，以獲得河川預報水位及流量。透過洪水預報的水情資訊，對於洪氾淹水潛勢地區則可據以了解河川水位變化情形，提供防救災單位準備應變措施之參考，期減少災害的損失。

由於洪水預報系統係依據降雨數值預報而驅動河川變量流演算河道水位及流量，降雨數值預報主導了河川水位流量的變化，所以，降雨數值預報若能充分掌握降雨的時空分配，就能增加洪水預報有可靠度。在洪水預報系統建置初期，為取得較長期(4~72小時)的降雨數值預報時間序列，係採用颱風氣候法定量降雨預報模式，做為洪水預報系統的降雨輸入條件，惟颱風氣候法僅於颱風時期能進行預報，豪雨時期尚無法預報；直到2006年氣象局QPESUMS降雨預報產品釋出後，豪雨時期即可使用氣象局提供之1~3小時QPESUMS降雨預報，而颱風時期則使用颱風氣候法去降雨預報。

如今，氣象局提供各種高解析度降雨預報產品，且因應防災應用需求，即時解析為時空一致之資料，使洪水預報系統可依不同的降雨預報產品進行演算。當取得降雨預報資料後，依各流域範圍取得其降雨預報格網資料，作為流域降雨逕流演算之用(圖6)，其降雨逕流量則作為河川變量流演算的邊界或側入流輸入條件，再加上河川下游的邊界條件，透過數值方法，即可得到河川水位流量，而洪水預報可預報之時間長度將會隨著降雨預報產品資料長度而定。

然而，目前水利署所轄10個河川局皆已完成建置各自洪水預報系統，水利署為期能在颱風時期掌握各流域水情，各河川局定時會將定性、定量預報資訊上傳至水利署指定伺服器中進行彙整，並且將分析研判結果上呈至中央災害應變中心提供決策研判(圖7)。

五、決策支援服務

水利署防災中心為即時綜整各項預警應用成果，並考慮適用於各種行動裝置如手機及平板電腦，遂整合開發響應式網頁的洪水預警整合平台(圖8)，充分呈現降雨預報在空間與時間上的特性，以及降雨預報在水利防災預警之應用，如洪水預報、水庫入放流及放流機率、鄉鎮淹水預警及其他加值資訊等，俾利水利防災決策單位快速綜覽各項水情資訊，增進決策效率及精準度，降低防災損失。而除此之外，若使用者需瞭解上述決策應用之細部資訊，整合洪水預警、淹水預警、水庫預警、降雨預警等四大分平台，其各平台功能重點說明如下：

(一)洪水預警分析展示平台-經由氣象局降雨預報資料進行水文水理模式模擬後，由水利署各河川局提供洪水預報、預警之定性及定量資訊，可清楚明瞭各水位站所對應之保全鄉鎮警戒狀況及水位預報時間序列，藉此掌握各流域之水情。

(二)淹水預警分析展示平台-主要利用降雨觀測結合降雨預報提供之淹水警戒資訊，依據各鄉鎮警戒雨量門檻值，進行淹水預警研判，有助於防災作業之進行，及評估未來水情災情之發展趨勢，以提供最佳防災整備與應變調度之決策支援方案之參考。

(三)降雨預警資訊展示平台-為便於防災人員或其他使用者，直接以視覺化方式明瞭全臺各地，未來降雨預報分布空間及時間分布狀況，提供水情研判參考。為求清晰起見，係採用圖形化方式展示全臺逐時降雨及累積降雨量分布資訊，網頁中提供展示河川局雨量站與流域預報時雨量及累積雨量時間序列圖功能，同時以地圖標示所屬水位站及流域所在位置，以利使用者掌握整體降雨之趨勢。

(四)水庫預警資訊展示平台-可依人工進行填報及彙整未來可能放流機率，並且搭配其水庫過去12小時放流量，提供防災人員掌握水庫放流預警資訊。

在平台整合設計主要以智慧預警、預報加值及視覺強化等三大原則建置，並且展示以資訊金字塔方式，由關鍵精簡至細緻的預警資訊，提供不同層級使用者決策支援服務，以達到全方位資訊展示效果。

六、未來展望

由於近年極端氣候的劇烈變化，使得造成降雨枯豐的情況明顯，再加上都市化日趨嚴重，導致地表不透水面積的增加，當強降雨來襲時，使得地表逕流快速集中，導致市區低窪地區積淹水及河川潰堤等水患發生機會逐年增加。目前河川水利防洪設施已達到一定程度，多數中央管河川已完成高保護防洪設施，反觀還有許多區域排水或者都市地下水建設率偏低的地區，仍經常發生積淹水現象，但這些地區若要完成整治，將花費極長時日及經費，也會遭遇用地取得，並非一蹴可幾，在整治措施完成前，非工程的水利防災措施，成為政府必須執行的減災措施。

鑒於氣象局降雨預報產品隨著技術精進，已發展出多種降雨預報產品，在現階段多種降雨預報產品的輔助及相關之加值應用，使得防災單位擁有多元資訊以評估未來可能致災情況，進行各項決策(如水庫啟閉、抽水機及防汛備塊調度、降雨區域是否可能淹水、河川是否可能暴漲之封橋依據等等)。然而，過去在眾多防災應變預警加值應用經驗上，降雨預報準確度會是影響預警的重要關鍵之一，降雨預報成效評估，成為防災單位在應用降雨預報產品進一步的研究課題。

七、參考資料

1. 水文模式與分散式洪水預報系統整合應用計畫(1/3)~(3/3)，經濟部水利署，2007~2010。
2. 機率式洪水預報系統之研發(1/2)~(2/2)，經濟部水利署，2010~2011。
3. 系集降雨預報應用於洪水預報之研究(1/2)~(2/2)，經濟部水利署，2012~2013。
4. 系集洪水預報系統資訊整合及加值應用，經濟部水利署，2014。
5. 颱風定量降雨氣候預報模式之研究，碩士論文，國立臺灣大學土木工程學研究所，蔡孝忠，2000。

6. 系集洪水預報決策支援服務之研發應用，經濟部水利署，2015。
7. 洪水預報決策支援服務建置及加值應用，經濟部水利署，2016。
8. Chow, Ven Te, "Applied Hydrology", McGraw-Hill, Inc, Singapore, 1988.
9. Kutija, V., 'A generalized method for the solution of flows in networks', J. hydraul. res., Vol.33, No.4, p.535-554, 1995.
10. Kutija, V., 'On the numerical modeling of supercritical flow', J. hydraul. res., Vol.31, No.6, p.841-848, 1993.
11. Kutija, V., and Hewett, C. JM., 'Modelling of supercritical flow conditions revisited; NewC scheme', J. hydraul. res., Vol.40, No.2, p.145-152, 2002.
12. 荷蘭 Utrecht 大學地理科學系 (Faculty of Geographical Sciences) 所制定儲存 GIS 資料的 PCRaster 格式說明 (<http://pcraster.geo.uu.nl/documentation/pcrman/x761.htm>)

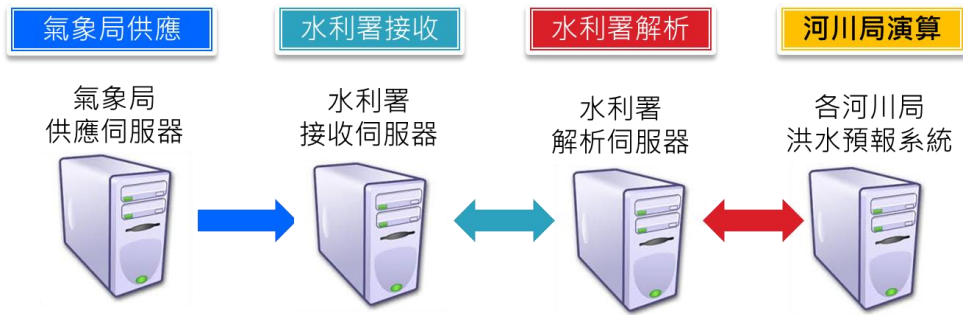


圖1 氣象局降雨預報解析資料流

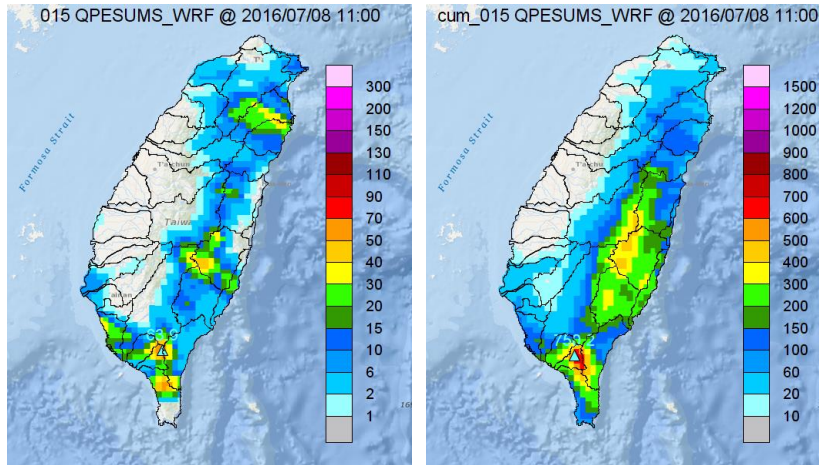


圖2 自動化產製降雨預報時雨量及累積雨量分布圖

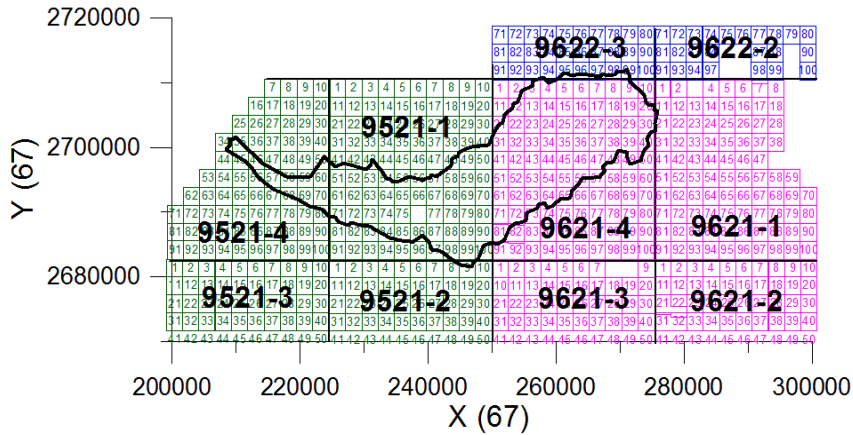


圖3 大安溪流域農委會40公尺解析度數值地形圖號分布

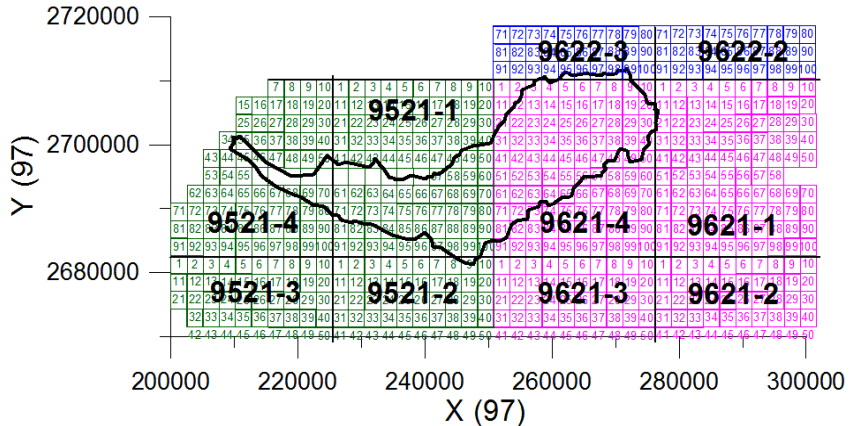


圖4 大安溪流域內政部地政司5公尺解析度數值地形圖號分布



圖5 集水區QPESUMS格網劃分示意圖

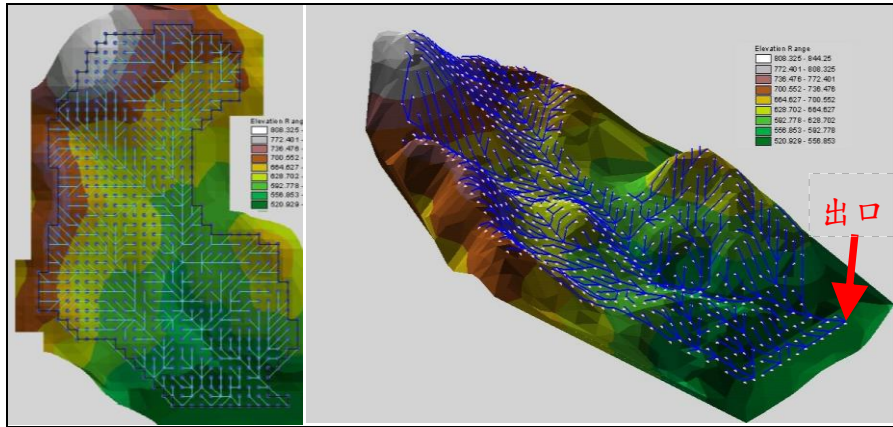


圖6 集水區流經網路示意圖

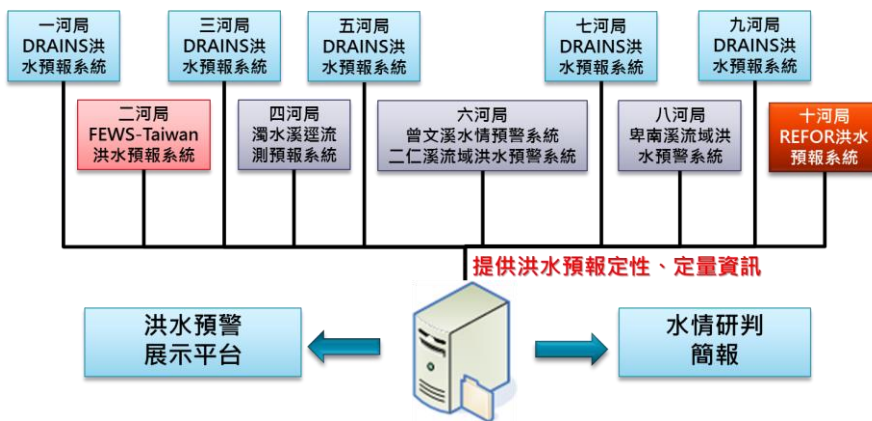


圖7 各河川局洪水預報資料彙整

水利署洪水預警展示平台

觀測水位上升速率排名

排名	狀態	流域	水位站	速率(mv/hr)
1	↑	雙陽溪	北成橋	0.03
2	↓	雙陽溪	清水大橋	0.00
3	↓	雙陽溪	家源橋	0.00
4	↓	雙陽溪	西門橋	0.00
5	↓	雙陽溪	雙陽大橋	0.00
6	↓	雙陽溪	中門(3)	-0.01

河川水位站洪水預警

水系	站名	1~3小時	4~6小時
烏溪	南崗大橋	正常	正常
烏溪	莒英橋	正常	正常
北港溪	溪口	三級	三級
八掌溪	八掌溪橋	一級	一級
八掌溪	洪水港橋	一級	一級

預報產品: QPESUMS_WRF 現在時間: 2016/06/13 09:00 對於未來1-6小時預警狀況

預警時間: 2016/06/13 09:00

流域洪水預警

排名	流域	水位站	警戒現況	警戒差(m)
1	急水溪	香寮橋	3	-1.70
2	八掌溪	精口	3	-2.49
3	烏溪	農路橋	0	-0.80
4	曾文溪	竹圍橋	0	-0.85
5	荖寮溪	六連橋(1)	0	-0.92
6	中港溪	永興	0	-1.26

一級 二級 三級

雙陽溪 烏溪

圖8 洪水預警整合展示平台