

降雨預報在智慧防災上之評估應用

于裕仁¹ 于芃¹ 楊志偉² 郭純伶² 李戎威¹ 鄭安孺¹
多采科技有限公司¹ 經濟部水利署水利防災中心²

摘要

近年來雨量豐枯劇烈變化，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，起因為高度都市化及大量農地減少結果，以致於地表不透水面積增加，使得降雨產生的逕流快速集中。台灣河川水利防洪設施十分發達，但許多區域排水及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。除以工程方法整治外，非工程方法或稱避洪措施，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。

隨著氣象科技進步，中央氣象局提供高解析度雷達觀測資料及各種降雨預報產品，將過去以雨量站觀測紀錄作為預警來源，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。在水利防災方面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，是目前防災單位在應用降雨預報產品進一步探討課題。本文中颱風事件降雨成效分析模組，以氣象常用且符合防災需求之TS、POD技術得分，挑選2017年梅姬颱風及尼莎暨海棠颱風對於現有各種降雨預報產品(QPF、WRF_W0、ETQPF、WEPS_PM)進行各流域特性瞭解及分析，其中以12小時預報累積降雨評估，北、中部WRF_W0及WEPS_PM較佳、南部WRF_W0較佳、東部以ETQPF較佳，然而從降雨分布來看WRF_W0及WEPS_PM與觀測降雨分布較為一致，整體得分WEPS_PM針對高累積雨量門檻值之技術得分較佳。

此外，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，其中，水庫入放流模組降雨損失及基流量估計採用修正Horton's法可大幅提升計算準確性，利用此平台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、降雨成效分析模組、洪水預警整合平台

一、前言

當台灣進入颱風發生頻繁時期，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，經分析研判後適時通報緊急應變小組，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，應用於非工程智慧防災預警。

二、降雨預報解析及加值應用

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，相對於QPESUMS預報資料為逐時且空間解析度為0.0125度較粗，為讓降雨預報資料能即時提供水利署防災應用，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，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。其中，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，如圖1。

為達到防災應用需求，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，如圖2，計算流程如下：1.彙整集水區數值地形模型資料、2.劃分集水區範圍、3.擷取集水區內QPESUMS降雨格網資料編號、4.集水區最大及平均降雨計算。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。

三、降雨成效評估

近年來氣象單位預報技術提升，使得在水利防災應用上可使用預報降雨來源多樣化，解決了過去洪水預報及淹水預警僅能依靠觀測雨量紀錄之困境，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。如今，在充足的預報降雨資料及歷年水情預警使用經驗逐漸累積的情況下，各項預報降雨之準確度已是影響水情預警之關鍵，因此，降雨預報成效評估係水情預警重要關注課題。

以氣象的觀點來看預報降雨成效，氣象單位著重的是整個分析區域之降雨中心累積雨量。若降雨中心鄰近區域的觀測與預報累積雨量結果相近，即表示有不錯之結果，但對於水利防災來說，降雨中心以外區域，部分低窪地區亦可能因短延時弱降雨影響於短時間內發生水患，凡降雨區域皆需要關注。

對於大量之降雨預報資訊，氣象單位常使用客觀分析中多種技術得分，如預兆得分(Threat Score, TS)、偏差指數(bias score, BS)、及公正預兆得分(Equitable Threat Score, ETS)、偵測率(Probability of Detection, POD)、誤報率(False Alarm Rate, FAR)、漏報率(Missed Rate, MS)等進行成效評估。但當多種指標一併呈現時，難以有客觀的方法可以來自動化判斷模式的表現。在水利防災上，水利人員關心的是預報降雨是否低估，而較不在意是否高估，因此，本文將以POD及TS技術得分作為降雨預報成效評估的標準。其中，TS表示排除觀測及預報降雨皆未達門檻值的情況下，預報命中所佔的比例；POD表示觀測降雨達門檻值的情況下，預報降雨亦達門檻值的比例。

研究中以全台25條中央管河川作為分析範圍，分別計算流域內各網格降雨過去6小時之觀測與QPF、WRF、ETQPF、及PM等四種產品於2016年梅姬颱風、2017年尼莎暨海棠颱風之預報時間長度6、12、24小時之預報累積雨量的TS和POD分析結果。

由於不同數值模式所提供之預報資訊時間和頻率不同，降雨預報成效評估模組提供資訊係以產品預報結果之

每6小時輸出一次的頻率作為計算技術得分時間，例如颱風警報發布後，於每日2、8、14、20時，分別計算各模式過去6小時之觀測與預報累積雨量之技術得分，後續亦增加過去12小時和24小時之觀測與預報累積雨量之技術得分。

以觀測累積雨量誤差百分比探討時，各項產品於不同預報時間長度會有不同的成效。以預報6小時之累積雨量誤差百分比而言，北部地區WRF預報效果較佳，其次為PM；中部地區WRF及PM預報效果較佳；南部地區於尼莎暨海棠颱風時PM預報效果較佳；東部地區各項預報產品無明顯優劣。以預報12小時之累積雨量誤差百分比而言，北部地區梅姬颱風時WRF及PM預報效果較佳；中部地區亦為WRF和PM之預報效果較佳；南部地區以WRF預報效果較佳，其次為PM；東部地區ETQPF預報效果較佳。以預報24小時之累積雨量誤差百分比而言，北部地區於尼莎暨海棠颱風期間未有流域超過強降雨門檻值(200毫米)，而梅姬颱風期間以PM預報效果較佳；中部地區於梅姬颱風期間，WRF預報效果較佳，PM次之，但於尼莎暨海棠颱風期間，以ETQPF預報效果較佳；南部地區以WRF預報效果較佳，PM次之；東部地區梅姬颱風期間以WRF及ETQPF預報效果較佳。

地區	累積延時	6小時	12小時	24小時
北部		WRF	WRF、PM	PM
中部		WRF、PM	WRF、PM	WRF(梅姬) ETQPF(尼莎)
南部		PM	WRF	WRF
東部		無	ETQPF	WRF、ETQPF

以降雨分布觀點探討時，無論何種預報時間長度，WRF及PM與觀測降雨分布較為一致，PM於部分時刻會高估降雨集中地區之雨量，WRF於部分時刻會略為低估東北部地區雨量，而ETQPF多為低估。以技術得分探討時，各流域、預報時間皆以PM得分較佳，WRF次之，而PM於高累積雨量門檻值之得分多優於WRF及ETQPF。

本文分析僅依據梅姬與尼莎暨海棠颱風事件之強降雨時段總結結果，未來可以納入更多颱風資料進行統計，並以各流域為單位進行分析，取得較精確之評估成果，供防汛人員參考。

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，對於共汜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，惟颱風氣候去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3)，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4)。

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5)，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。而除此之外，若使用者需瞭解上述決策應用之細部資訊，去年以洪水預警、淹水預警、水庫預警、降雨預警等四大平台，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。此外，針對石門、翡翠水庫開發入流量預報模組(圖6)，其中，降雨損失及

基流量估計採用修正Horton's法可大幅提升計算準確性，可充分模擬石門及翡翠水庫入流量，整合水庫相關資料庫，可即時根據觀測降雨及各種預報降雨水庫預報入流量，提供防汛參考。

為求完整提供防災相關聯結訊息，增進防災應變效率，開發即時關聯式水情預警整合平台，免除需於其他系統調閱相關資料之時間，綜整流域縣市降雨、淹水、洪水、水庫預警資訊。整體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

由於極端氣候的劇烈變化當強降雨來襲時，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，並且經由相關之加值應用，使得防災單位擁有更多資源資訊以評估未來可能致災情況，進行各項決策(如水庫啟閉及入放流量推估、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，研究中已完成降雨預報成效評估，不同流域降雨產品之適用性亦不同，後續除持續針對個案評估分析外，將以滾動式方式自動化即時研判各降雨產品，藉以快速切換最適用之降雨產品，提供準確之預警資訊。

另外，水利署及氣象局合作建置之區域型防災降雨雷達將於明(108)年底前陸續完工，可提升區域降雨觀測精度，可應用於淹水積淹之防治工作，配合易淹水區域積淹監測點，建立快速預測積淹水模式，提升整體內水積淹之防災能量。

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. 106年洪水預警決策支援服務技術研發及加值應用，經濟部水利署，2017。
9. Chow, Ven Te, "Applied Hydrology", McGraw-Hill, Inc, Singapore, 1988.
10. Kutija, V., 'A generalized method for the solution of flows in networks', J. hydraul. res., Vol.33, No.4, p.535-554, 1995.
11. Kutija, V., 'On the numerical modeling of supercritical flow', J. hydraul. res., Vol.31, No.6, p.841-848, 1993.
12. 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.

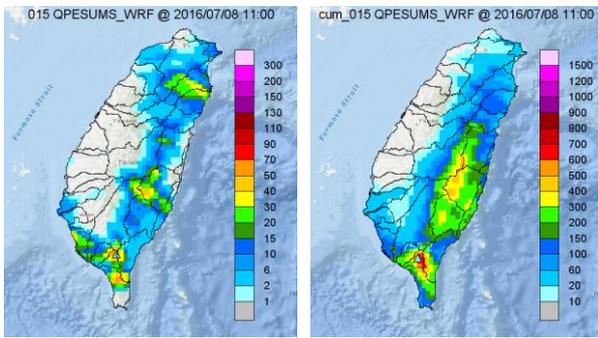


圖1 降雨預報時雨量及累積雨量分布圖



圖2 集水區QPESUMS格網劃分示意圖

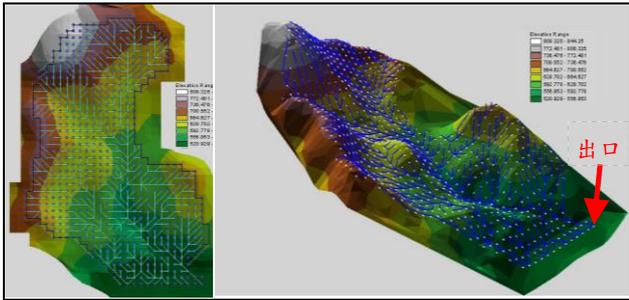


圖3 集水區流經網路示意圖

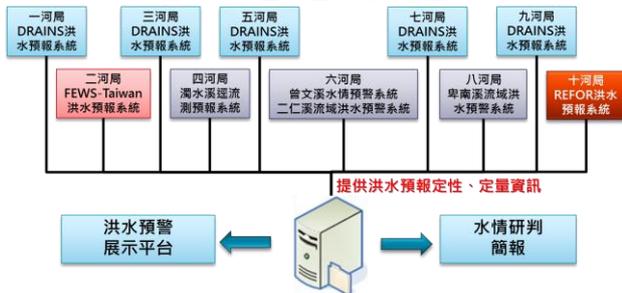


圖4 各河川局洪水預報資料彙整



圖5 洪水預警整合展示平台

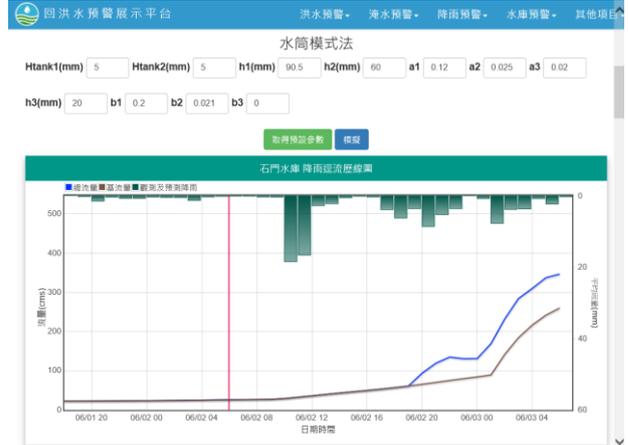


圖6 水庫集水區水筒模式模擬之逕流歷線圖

