

劇烈天氣監測系統(QPESUMS)之防災應用

唐玉霜 黃葳凡 張保亮 陳嘉榮

中央氣象局氣象衛星中心

摘 要

中央氣象局為即時提供降雨相關資訊，於民國 97 年針對防政府救災單位及的需求，開發了劇烈天氣監測系統 (Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor; QPESUMS)，提供包括即時雷達資料、雨量站資料、閃電資料、雷達資料衍生產品如格點化之定量降雨估計及定量降雨預報產品等資訊予中央及地方政府機關防災應用參考。

因了解各防災單位管轄之區域易發生坍方、土石流、淹水現象等不同特性，本系統於民國 100 年開始主動推展各政府機關的客製化系統服務，以適時對外界提醒易出現豪大雨造成淹水土石流的區域。陸續針對交通部公路總局、臺灣鐵路管理局、觀光局、經濟部水利署、行政院農業委員會水土保持局及臺北市等縣市政府的需求，提供公路路段與橋梁、鐵路沿線、各風景區景點、水庫及土石流潛勢溪流等不同管轄區域的即時雨量及警示功能。當大雨發生時，透過公路總局封橋封路、鐵路局對鐵路緩駛停駛、觀光局關閉風景區的預警決策行動，與水利署進行水位之警戒、水保局對各縣市政府通報土石流可能發生之區域，以及各縣市政府對民眾進行災害的提醒及通報，來串連各單位進行區域聯防，將雨量資訊於防災之應用效能發揮至最大，保障民眾的安全。

關鍵字：劇烈天氣監測系統 (QPESUMS)、防災應用、客製化系統

一、前言

為即時監控降雨系統的強度變化，得到最新的雨量等資訊，本局在民國 97 年開發劇烈天氣監測系統 (QPESUMS)，整合即時雷達資料、雨量站資料、閃電資料、雷達資料衍生產品如格點化之定量降雨估計及定量降雨預報產品等資訊，提供即時天氣監測及診斷應用。

本局於民國 97 年與 98 年分別針對防政府救災單位及一般大眾的需求，開發 QPESUMS 的防災版及民眾版網頁，且因了解各防災單位管轄之區域易發生坍方、土石流、淹水現象等不同特性，於民國 100 年開始主動推展各政府機關的客製化網頁服務，陸續針對交通部公路總局、臺灣鐵路管理局、觀光局、經濟部水利署、行政院農業委員會水土保持局及臺北市等縣市政府(圖 1)的需求，提供公路路段與橋梁、鐵路沿線、各風景區景點、水庫及土石流潛勢溪流等不同管轄區域的即時雨量，以適時對外界提醒易出現豪大雨造成

淹水土石流的區域。



圖 1、QPESUMS 系統發展進程。

截至本(105)年 7 月底止，針對各防災單位之需求 QPESUMS 已發展 10 餘個客製化系統，連同防災版之使用單位，共提供給中央災害應變中心（內政部消防署）、行政院農業委員會水土保持局、經濟部水利署、交通部公路總局、鐵路管理局、高速公路局、觀光局、民用航空局、臺北市政府、新北市政府、空軍氣象中心、國家災害防救科技中心等 51 個單位使用，輔助各單位進行防災預警行動。

二、防災版主要產品

QPESUMS防災版系統匯集各項資料，提供包括雷達基本產品、地面觀測資料、降水估計產品、降水預報產品、劇烈天氣分析、風場分析產品、警特報/即時訊息及預報等資訊，首頁如圖2所示。各大項分類中尚有諸多細項分類產品，在此僅介紹其中數項主要的防災應用產品。

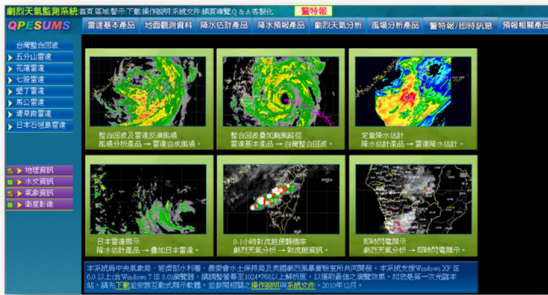


圖2、QPESUMS防災版首頁。

(一)雨量觀測列表

在QPESUMS防災版系統中，地面觀測資料選項中的雨量觀測列表(圖3)相當方便用於檢視即時降雨情形，使用者可藉由下拉式選單選定時間、區域及雨量門檻，即可得知最新雨量大小之排名及數值。亦可利用點選表格第一列不同之累積雨量時間欄位(10分鐘、1小時、3小時、6小時...至72小時)，得到不同累積時段之雨量排名。

且另當時雨量大於等於50毫米或10分鐘雨量大於等於15毫米時，另有短時雨量觀測警示之閃爍文字於畫面左上方出現，以提醒使用者注意已有強降雨發生。

縣市	編號	雨量站	觀測高度	10分鐘	30分鐘	1小時	3小時	6小時	12小時	24小時	48小時	72小時
基隆市	40101	三芝	111									
基隆市	40102	金山	180									
基隆市	40103	瑞芳	70									
基隆市	40104	八堵	50									
基隆市	40105	深澳	425									
基隆市	40106	平頂山	1210									
基隆市	40107	九芎林	100									
基隆市	40108	七堵	150									
基隆市	40109	瑞芳	180									
基隆市	40110	瑞芳	180									
基隆市	40111	瑞芳	180									
基隆市	40112	瑞芳	180									
基隆市	40113	瑞芳	180									
基隆市	40114	瑞芳	180									
基隆市	40115	瑞芳	180									
基隆市	40116	瑞芳	180									
基隆市	40117	瑞芳	180									
基隆市	40118	瑞芳	180									
基隆市	40119	瑞芳	180									
基隆市	40120	瑞芳	180									

圖3、QPESUMS系統中顯示之雨量觀測列表。

(二)雷達定量降雨估計及信心度產品

地面雨量觀測可提供實際觀測雨量，但雨量站的設置會受到當地的電力、通訊等因素限制，特別是在山區因地勢陡峭且位置偏僻，往往難以廣設雨量站。為在無雨量站地區得到降雨資訊，因此可利用雷達之回波來推估降雨量，以提供格點化之雨量資訊。所謂雷達定量降雨估計(Quantitative Precipitation Estimation; QPE) (Zhang et al.(2008))即是利用雷達資料品管處理後之最低仰角回波，透過回波與降雨率關係(Z-R關係式)估計降雨，現行採用之經驗式為 $Z=32.5R^{1.65}$ (Xin et al., 1997)，其中Z為回波，R為降雨率。此產品水平網格解析度為 0.0125° ，且為使此網格估計值更接近地面觀測資料，亦使用雨量站即時觀測資料進行修正。此方式之優點在於藉由雨量站觀測資料與雷達降雨估計結合，除可反應雨量站之實測資料外，更能在無雨量站處藉由雷達觀測得到降雨資訊，提供更細緻的格點化降雨資訊(圖4)。

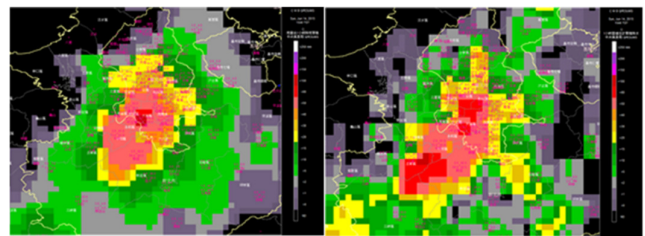


圖4、2015年6月14日午後雷陣雨個案之雨量分布圖，左圖為雨量站經客觀分析之雨量圖，及右圖為雷達降雨估計經雨量站修正後之雨量圖。

此項經雨量站資料修正之QPE產品，其資料之準確性會因為雷達觀測時受到地形遮蔽、雷達掃描策略以及距離雨量站之遠近等因素的影響，所以本局同時提供應用雷達QPE的信心度產品給使用者參考，產品中將臺灣地區陸地之格點資料分為佳、中等和不佳三個等級，主要考慮兩個因素，一為雷達最低可用仰角高度，根據Chang et al.(2009)的氣候統計法，得到整合全臺6部雷達的最低可用仰角高度(圖5左)，經由2014年梅雨季個案的雷達回波估計降雨量及雨量站資料相互比對，發現高度越低，兩者的相關係數越高，表示雷達回波高度越低，估計的雨量越接近實際觀測值。

圖5右圖橫軸為最低可用仰角離地高度。藍色線為利用雷達降雨估計值與雨量站雨量算得之相關係數，直方圖表在最低可用仰角離地高度上雷達回波資料筆數。圖5顯示在離地高度3公里以下，相關係數均在0.8左右，故選擇3公里當作信心度門檻。

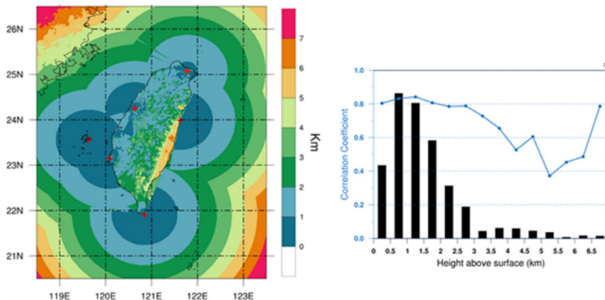


圖5、左圖為整合6部雷達的最低雷達可用仰角高度(km)分布圖，紅色十字表雷達中心位置。右圖藍色線為雷達降雨估計與雨量站間相關係數，以及最低可用仰角高度間關係；直方圖代表資料筆數。

另外為了呈現雨量站資料對雷達估計降雨修正的影響，訂定一權重函數(W)，此參數包括影響格點雨量站數，以及各別雨量站與雷達資料格點的距離：

$$W_{i,j} = \sum_{n=1}^M \frac{1}{r}$$

其中，M表半徑30公里內雨量站個數，最多僅取最近6站，r則為雷達定量估計降雨格點與雨量站距離，W為格點雨量站與格點距離倒數之和。權重函數愈大，代表雷達格點30公里半徑內之雨量站數愈多，或者間距愈短，雷達定量估計降雨受雨量站資料修正程度愈大。

如此結合最低可用仰角高度及權重函數，即可定義格點上雷達降雨估計量信心度等級。如表1所示，當權重函數大於0.3，表格點受到雨量站修正，此時等級為佳。至於缺少雨量站的位置，就僅考慮雷達觀測之最低仰角。根據過去統計結果可發現，最低仰角高度越低，其雷達估計降雨量越接近實際觀測雨量，在此採用高度3公里以下做為門檻，低於3公里之格點資料信心度為中等。其他高度高於3公里則分類為不佳等級。分類結果如圖6所示，其中共使用全臺共785個雨量站資料進行校正，其中34%為佳、51%為中等、15%為不

佳。

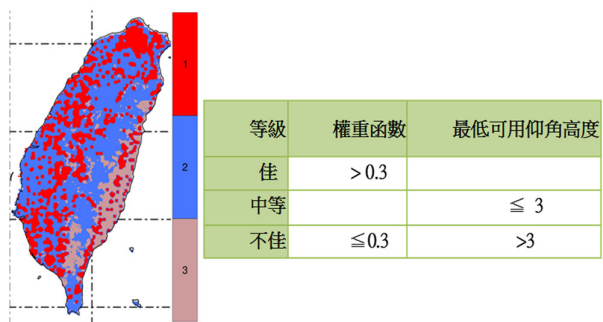


圖6、左圖為雷達定量估計(QPE)信心度產品。1表信心度為佳；2表中等；3表不佳。右表為信心度分級之條件，其中最低可用仰角單位為公里(km)。

(三)雷達定量降雨預報及鄉鎮分區雨量警示產品

QPESUMS系統除開發QPE外，也發展未來60分鐘回波及定量降雨預報(Quantitative Precipitation Forecast；QPF)產品，以應用於即時預報(nowcast)作業。此項產品運用之方法是利用雷達回波外延法進行預報，流程如圖7所示，即是利用前1小時內每10分鐘一筆的最大回波資料來得到天氣系統的移動向量，然後利用此移動向量來平移現在的最低仰角回波，以得到未來每10分鐘最低仰角回波預報，此回波值透過Z-R關係式換算可得到每10分鐘預報降雨量，再將此降雨量累加，即可求得未來60分鐘降雨預報。

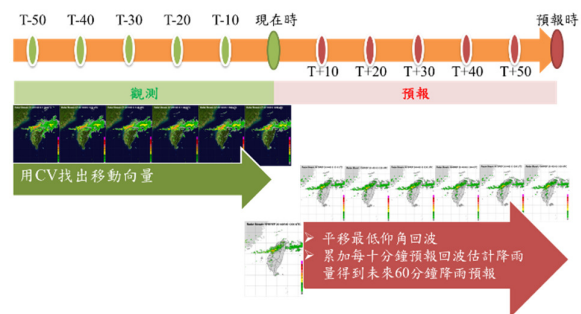


圖7、QPESUMS未來60分鐘定量降雨預報方法。

於天氣系統變化較不明顯時，雷達回波外延法所產生的即時預報產品能夠快速地提供雨量預報予預報人員參考，因此在世界各國廣為應用於即時預報作業。

但此外延法的假設係不考慮天氣系統的增強或減弱，也不考慮移動方向、速度上的變化，所以較適用於穩定發展和持續線性移動的天氣系統。若為新生成之降雨系統，或者天氣系統處於快速增強階段，未來60分鐘定量降雨預報有可能出現未掌握到或是雨量低估的情形(如圖8中藍框)；若天氣系統快速減弱，則會出現雨量高估(如圖8中紅框)的情形。

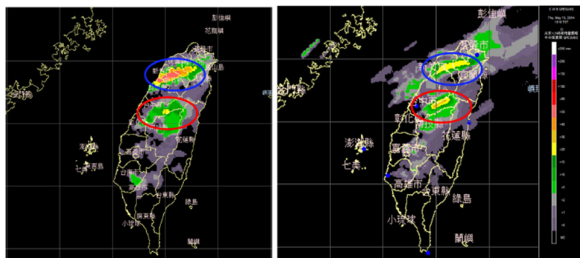


圖8、左圖為觀測累積雨量圖，右圖為未來60分鐘定量降水預報圖。

為提供防救災單位可更直接應用之降雨預報產品，本(105)年度另根據此格點化降雨預報資料產製未來60分鐘鄉鎮分區雨量警示產品，即當該區域(區/鄉/鎮)即時之預報時雨量達40毫米/小時，將會以紅色燈號閃爍方式提醒(圖9)。



圖9、QPESUMS未來60分鐘雨量警示。

三、客製化防災應用產品

QPESUMS 自民國 100 年起，已因應各政府機關之防災作業需求，開發十餘個客製化系統(圖 1)，在此以四個具有代表性的系統為例說明客製化功能及產品。

(一)公路總局-客製化公路路段閃燈警示

民國 99 年 10 月 23 日蘇花公路受梅姬颱風重創，

公路路段多處坍方，旅遊團 4 百多人受困，經陸空搜救仍有數十人死亡，因此為因應公路總局採取預警性封橋封路等防災決策求，自 100 年起氣象局與該局公路防災中心進行跨機關合作，提供重點監控橋樑與路段即時性降雨強度監測資料，以確保的民眾行車安全。

QPESUMS 公總版客製化系統主要提供了公路總局管轄之監控路段/橋梁/易發生淹水泥流及水瀑區域之即時雨量顯示及警示等功能，以閃燈方式提醒該局採取封橋封路行動(圖 10)。就使用效益而言，該局於 104 年於 0520 豪雨、蘇迪勒颱風等 5 次劇烈天候期間，參考本系統共監控 488 小時，實施公路預警性封閉 160 次，其中 88 次封閉道路後發生災情，有效防患於未然。

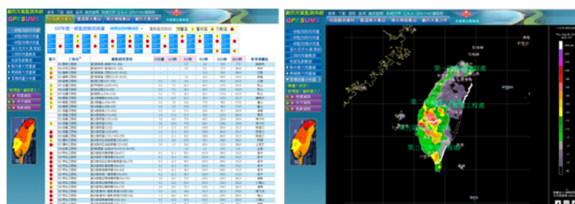


圖 10、QPESUMS 公路總局客製化一級監控路段雨量景警戒表(左)及疊加各養護工程處管轄路段之累積雨量圖。

(二)臺灣鐵路管理局-客製化鐵路沿線閃燈警示

102 年 9 月自強號列車行經南迴線枋山二號隧道口時，因前方土石流崩坍，列車撞上崩塌而堆積的土石，造成列車出軌重大的災情。本局因此為臺灣鐵路管理局開發 QPESUMS 客製化系統，以提供鐵路沿線之降雨、閃電等警示產品，輔助該局進行即時性防災決策的參考依據。

在 QPESUMS 臺鐵版客製化系統中提供重點監控路段/橋梁雨量警示(圖 11)、鐵路路線降雨預報、閃電警示圖/警戒表(圖 12)、警特報(地震、天氣)及天氣即時訊息等訊息，以作為劇烈天氣發生時火車緩駛或停駛之參考。



圖 11、QPESUMS 鐵路管理局客製化重點路段雨量警戒表。

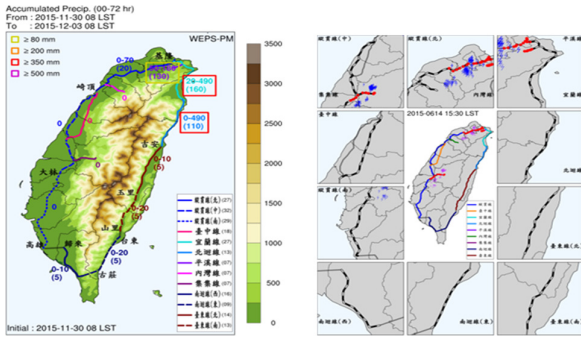


圖 12、QPESUMS 鐵路管理局客製化鐵路路線雨量預報圖(左)及閃電分布圖(右)。

(三)觀光局-客製化風管區景點閃燈警示

民國 102 年 11 月強烈颱風海燕侵襲菲律賓，外圍環流在臺灣東北角風景區引發長浪，造成的瘋狗浪導致多名遊客傷亡。因此本局於 102 年起與觀光局合作開發 QPESUMS 客製化系統，提供各風景區景點的即時氣象資訊(含雨量、風、溫度等)顯示及警示外，亦特別針對長浪及浪高等海象資訊開發警示產品，供其在全國 13 個風景區管理處進行遊客避災措施參考，以確保遊客的安全。

在 QPESUMS 觀光局客製化系統中提供各風景區景點之即時氣象資訊，並綜合不同閃燈符號來提醒各風景管理處針對不同重要的天氣狀況採取應變措施，包括雨量警示、長浪警示、大風警示、高/低溫警示等(圖 13)。

另為因應部分位於沿海地區之風景區需求，亦提供海象監測資訊如浪高、波週期、波向等資訊供濱海風景區之風管處參考，以保障遊客之遊憩安全。



圖 13、QPESUMS 觀光局客製化風景區景點警戒表(左)及疊加各景區地理位置之 60 分鐘雨量預報產品(右)。

(四)民航局-客製化機場閃電落雷警示

103 年 5 月松山機場發生落雷傷人事故，一名華航飛機修護員在松山機場引導飛機後推時，遭雷擊送醫。為提供民航局自動化之閃電落雷監測資訊，輔助其雷擊示警作業，以確保機場工作人員、旅客安全，並保障飛航監測儀器的正常運作，本局因此為其開發 QPESUMS 客製化系統。

針對民航局對於閃電落雷資訊之自動化顯示需求，本局自 104 年起為其發展客製化即時自動化的閃電落雷顯示及警示功能。即以各機場航空站為中心，疊加 0-3/3-8/8-16 公里之圓形區域(圖 14 及 15)，協助研判閃電落雷的出現位置及移動方向，輔助雷擊示警作業，保障各機場航空站於劇烈天氣時之作業與旅客安全。

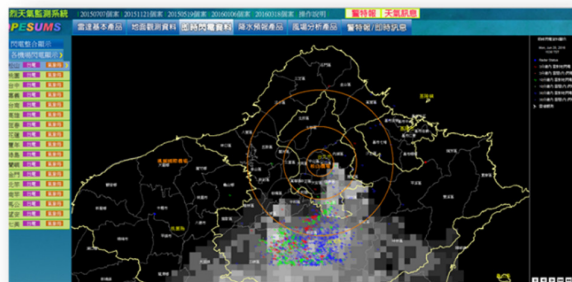


圖 14、QPESUMS 民航局客製化系統各機場航空站閃電資料顯示畫面。



圖 15、QPESUMS 民航局客製化閃電資料警戒表。

四、結語及未來展望

針對氣象災害事件之發生，除了藉由本局各項資訊傳播管道如本局全球資訊網、生活氣象 APP 及大眾傳播媒體等傳播防災資訊外，也進一步藉由本局所開發之 QPESUMS 防災版及各客製化系統之應用，串聯各政府防災單位的防災行動，以更全面性地落實對民眾安全的預警服務。例如在大雨發生時，透過公路總局封橋封路行動、鐵路局對鐵路緩駛停駛決策、水保局對各縣市政府通報土石流可能發生之區域、水利署進行河川水位之警戒、觀光局關閉風景區，以及各縣市政府對民眾進行災害的提醒及通報，來連結各政府單位進行區域聯防，整合防災加乘效用，將氣象資訊對防災之應用發揮最大功效(圖 16)。



圖 16、本局以與公路總局之合作為範例，推廣 QPESUMS 客製化服務至各政府機關，進行全面之氣象防災應用。

五、致謝

感謝中央氣象局氣象衛星中心 QPESUMS 團隊曾俊二技正、梁信廣課長、張良傑、吳佳蓉、鄭龍聰、鄭丞衡、劉郁青等人於系統功能開發、客製化服務等事項之共同努力。

參考文獻

- 張保亮，丘台光，王碧霞，林品芳，2004：網連雷達雜波統計特性分析，大氣科學，57-72 頁。
- 張保亮與林品芳，2012：雙都卜勒雷達合成風場在颱風環流之應用分析。101 年天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，1-6，臺北。
- 張保亮，唐玉霜，2014：雙都卜勒雷達風場分析在侵臺颱風海面風力估計之研究，103 年天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，1-6，臺北。
- Chang, P.-L., P.-F. Lin, B. J.-D. Jou and J. Zhang, 2009: An Application of Reflectivity Climatology in Constructing Radar Hybrid Scans over Complex Terrain. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **26**, 1315-1327.
- Xin, L., G. Recuter, and B. Larochelle, 1997: Reflectivity-rain rate relationship for convective rainshowers in Edmonton. *J. Atmos. Ocean*, **35**, 513-521.
- Zhang, J., K. Howard, P.- L. Chang, P. T.-K. Chiu, C. -R. Chen, C. Langston, W. -W. Xia, B. Kaney, and P- F. Lin, 2008: High-Resolution QPE System for Taiwan, Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic, and Hydrologic Applications. S. K. Park, L. Xu, Ed(s), Springer-Verlag, 147 - 162.
- Zhang, J., K. Howard, C. Langston, S. Vasiloff, B. Kaney, A. Arthur, S. V. Cooten, K. Kelleher, D. Kitzmiller, F. Ding, D.-J. Seo, E. Wells and C. Dempsey, 2011: National mosaic and multi-sensor QPE (NMQ) system. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 92, 1321–1338.