

劇烈天氣監測系統(QPESUMS)與客製化防災應用

唐玉霜、黃葦芃、張保亮、陳嘉榮

中央氣象局 氣象衛星中心

摘要

中央氣象局發展的劇烈天氣監測系統(Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor; QPESUMS)整合多重海氣象資料，並結合地理資訊，提供包括即時雷達、雨量站、閃電等資料，並積極開發雷達資料衍生產品，如格點化之定量降雨估計及定量降雨預報產品等，予中央及地方政府機關進行防災應用參考。自 2011 年起，氣象局主動配合各政府機關或防災單位之業務需求，將氣象資訊套疊於各機關日常作業轄管區域之地理圖資，開發客製化網頁操作介面，並且與各單位合作建立其重點監控區域之海氣象資訊顯示及自動化警示等功能。

關鍵字：劇烈天氣監測系統

一、前言

劇烈天氣監測系統(QPESUMS)自 2002 年起，由中央氣象局、美國劇烈風暴實驗室(National Severe Storms Laboratory; NSSL)、經濟部水利署及行政院農業委員會水土保持局共同開發建置，整合多重海氣象資料，並結合地理資訊(Geographic Information System; GIS)，提供劇烈天氣即時監測資訊、定量降水估計、雷達反演風場(張等(2012, 2014))及未來 1 小時定量降水預報產品等。

為因應政府機關的防災需求，劇烈天氣監測系統也積極開發各機關專屬的客製化系統，發展歷程如圖 1。2008 年起，主要針對中央及地方政府防災單位，建置防災版本劇烈天氣監測系統，後針對一般大眾開發了民眾版網頁，即時傳遞氣象資訊給使用者。而自 2011 年起，除了透過劇烈天氣監測系統防災版本網頁提供多項即時氣象資料外，亦開始針對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、新北市政府等政府防災單位開

發專屬之客製化系統，展開了客製化防災服務新里程。藉由主動配合各政府機關或防災單位之業務需求，將氣象資訊套疊於各機關日常作業轄管區域之地理圖資，開發客製化網頁操作介面，並與各單位合作建立重點監控區域之海氣象資訊顯示與警示功能，做為防災、避災、減災、救災行動決策的重要參考依據，落實氣象資訊應用於政府之防災應變作為。截至 2016 年底，劇烈天氣監測系統服務的單位已達 50 餘個。為進一步加強對一般民眾的氣象資訊服務，於 103 年起更開發了「中央氣象局 Q-劇烈天氣監測系統 QPESUMS」APP，希望透過 APP 服務提供民眾隨手可得的降雨資訊及個人化警示服務。



圖 1. 劇烈天氣監測系統(QPESUMS)發展歷程。

二、劇烈天氣監測系統基本產品

劇烈天氣監測系統防災版網頁(以下說明皆以此版本為主)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產品。



圖2. 劇烈天氣監測系統(QPESUMS)首頁。

(一) 基本雷達產品

臺灣作業用氣象雷達總計有7座,對於山脈綿互、地形陡峭的臺灣地區,建立高密度的雷達網,有助於相互彌補因地形阻擋所產生的雷達觀測死角,對天氣系統進行更全面的監測。中央氣象局所屬氣象雷達有4座,分別為位於花蓮、墾丁、七股的都卜勒雷達,以及五分山的雙偏極化雷達,皆為10公分波長(S波段)的氣象雷達。另空軍所屬綠島、清泉崗和馬公3座氣象雷達,則為5公分波長(C波段)的雙偏極化雷達。在劇烈天氣監測系統中,可即時查到各單雷達最低兩層仰角之回波、徑向風和雙偏極化參數場(如圖3),以及每10分鐘1筆的整合雷達回波產品。

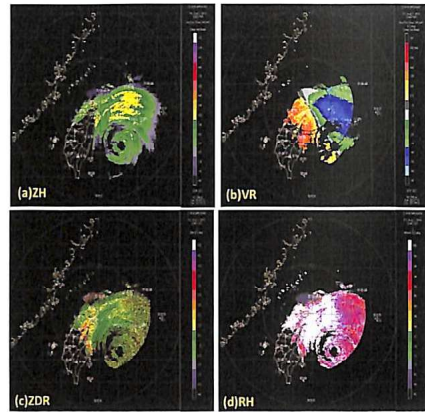


圖3. 五分山雷達觀測參數。(a)回波。(b)徑向風。(c)差異反射率。(d)相關係數。

雷達資料處理程序自美國引進臺灣後,為使其產品能符合臺灣地形特性,氣象局進行許多在地化發展工作。由於個別雷達的掃描策略設定,以及所在環境有所差異,為得到更好的雷達資料品質,需進行不同的資料處理,包括臺灣地形複雜,雷達波束在山區易會產生地形雜訊,於山後則會受到遮蔽影響,可能會使資料缺失或回波量值變弱等(張等, 2004),故需要利用如氣候統計等做法得到各雷達最低可用仰角(Chang et al, 2009)等資訊,來進行雷達資料品質管,得到合理的雷達參數,以利下游進一步應用。

西北太平洋地區為颱風好發之地,颱風每年為臺灣帶來豐沛雨量,也常帶來淹水、土石流等災害。若能在侵襲臺灣前,透過雷達回波先掌握颱風強度結構及降雨分布等颱風動態,不論對於劇烈天氣監測和預報作業,或者是模式雷達資料同化均有很大的助益,目前臺灣單雷達資料觀測範圍最大僅460公里,為有效地擴大雷達觀測區域,目前劇烈天氣系統中除臺灣地區7部作業雷達外,另已整合了日本石垣島,以及菲律賓

北部巴斯可及阿帕里雷達,圖4為整合前後的差異圖。

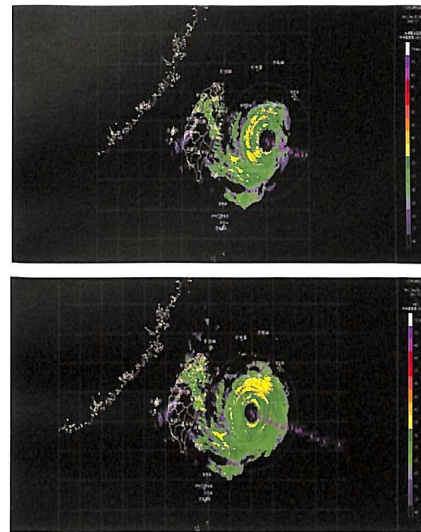


圖4. 杜鵑颱風期間整合雷達回波圖。上圖為僅利用臺灣作業雷達網得到之整合雷達回波圖,未加入日本石垣島,以及菲律賓北部巴斯可及阿帕里雷達,下圖則為加入後結果。

(二) 地面觀測資料

在劇烈天氣監測系統中,匯集包括氣象局、水利署、水保局與臺北市政府4個單位的雨量站觀測,提供每10分鐘1筆的累積雨量資訊,截至2016年12月已達874站。

地面觀測資料選項中的雨量觀測列表(圖5)可快速檢視即時降雨情形,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,並可查詢各站累積雨量時序圖(圖6),有助於使用者掌握當地降雨情勢的趨緩

或持續情形,進行防災應變研判。

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,網頁畫面左上方將自動出現短時雨量觀測警示之閃爍文字,以提醒使用者注意已有強降雨發生。



圖5. 劇烈天氣監測系統中顯示之雨量觀測列表。

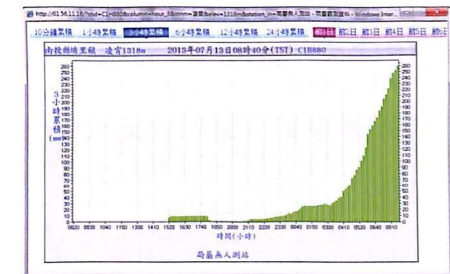


圖6. 雨量時序圖。

(三) 雷達定量降雨估計及信心度產品

雨量器、風向風速計等實地觀測儀器的設置,會受到當地的電力、通訊、成本等因素限制,故如在地形陡峭、人員不易到達之山區,往往難以廣設雨量站,此時利用雷達資料估計的降雨量,即可提供沒有雨量站地區累積雨量的參考。雷達定量估計降雨(Quantitative Precipitation Estimation; QPE, Zhang et al. (2008, 2016))是透過回波、雙偏極化參數與降雨率關係進行估計降雨(Xin et al., 1997, Wang et al., 2013, Ryzhkov et al.

2014)，得到格點上累積雨量的資料，水平網絡解析度為 0.0125° 。自2016年6月起，除都卜勒雷達仍使用回波推估降雨外，雙偏極化雷達則加入比差異相位差(KDP)等雙偏極化參數進行降雨估計，希冀透過雙偏極化參數的觀測，一方面在資料品質技術上，能即時且有效去除非氣象觀測資料，另一方面，利用雙偏極化參數提供的雨滴粒徑分布資訊，幫助改善雷達降雨估計的偏差。

為得到更接近地面觀測資料的降雨，此定量降雨估計使用雨量站即時觀測資料進行降雨修正。方法是利用雨量站與其上雷達估計降雨格點上差值，經過客觀分析，將格點上的差值，加上原本的雷達降雨估計量，得到經雨量站修正後雷達降雨估計產品。圖7為當雨量站觀測資料結合雷達降雨估計後，除了可以得到在無雨量站處的降雨極值外，更可以得到較單用雨量站資料客觀分析結果更細緻的累積降雨分布圖。

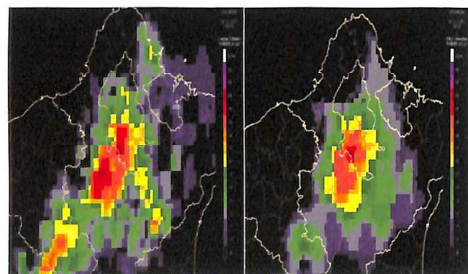


圖 7. 2015 年 6 月 14 日午後雷陣雨個案。

左圖為雨量站經客觀分析後之過去 1 小時累積雨量圖，右圖則為過去 1 小時之經雨量站修正後雷達降雨估計雨量圖。色階為降雨量。

為了提供使用者在使用雷達定量降雨估計產品時的參考依據，氣象局亦研擬雷達定量降雨估計信心度產品，將臺灣地區陸地上格點資料分為三個等級，分別為佳、中等

和不佳，此產品考慮兩個因素，其一為最低可用仰角高度，將各雷達最低仰角高度進行整合（圖 8），且為了解定量雷達降雨估計結果與最低仰角高度間的關係，圖 9 為利用 2016 年強降雨個案的雷達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（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 9 顯示在離地高度 2 公里以下，相關係數均在 0.6 以上，故選擇 2 公里當作其中一個信心度門檻。

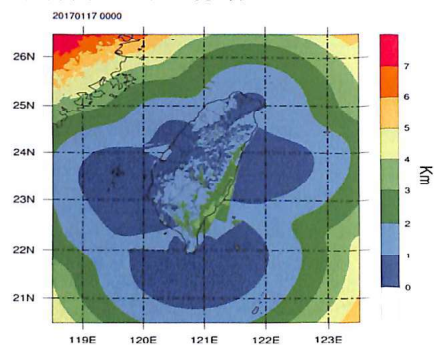


圖 8. 整合 6 部雷達的最低雷達可用仰角高度(km)。

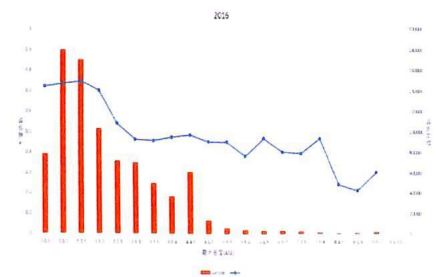


圖 9. 藍色線為雷達降雨估計與雨量站間關係數，以及最低可用仰角高度間關係。直方圖為資料筆數。

另外為了知道雨量站資料對雷達估計降雨修正的影響，設計一權重函數(W)，此參數包括影響格點雨量站數，以及個別雨量站與雷達資料格點的距離：

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。

最後一步驟為結合最低可用仰角高度，以及權重函數，來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。缺少雨量站的位置，根據統計結果發現，最低仰角高度越低，其雷達估計降雨量較接近實際觀測雨量，在此採用高度 2 公里以下做為門檻，此格點資料信心度為中等。當權重函數為 0.3 以下且高度高於 3 公里則分類為不佳等級。格點分類結果如圖 10 所示。

表 1、將雷達降雨估計格點進行信心度分類設定。最低可用仰角單位為公里(km)。

等級	權重函數	最低可用仰角高度
佳	> 0.3	
中等		≤ 2
不佳	≤ 0.3	> 2

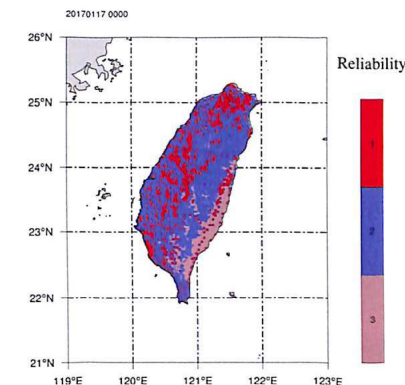


圖 10. 2017 年 1 月 17 日 00UTC 時之雷達定量降雨信心度分級，此時間有 795 個雨量站資料被使用。1 表信心度為佳、2 表信心度為中等、3 表信心度為不佳。

(四) 雷達定量降雨預報

劇烈天氣監測系統利用外延法進行預報(Lakshmanan et al.,2003,2010)，對外提供未來 60 分鐘回波預報，以及未來 60 分鐘定量降雨預報(QPF, Quantitative Precipitation Forecast)。預報原理如圖 11 所示，利用前 1 小時內每 10 分鐘一筆的最大回波資料，得到天氣系統的移動向量，然後利用此移動向量平移降雨率，再將降雨量累加，求得未來 60 分鐘降雨預報。

外延法在世界各國常被應用於極短期預報作業中，能快速而有效地提供預報人員作業上的參考，但外延預報作法上的假設，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。若天氣系統在 60 分鐘前並未出現回波觀測，表示為新生成天氣系統，外延預報將沒有反應，或者天氣系統快速增強，未來 60 分鐘定量降雨預報有可能出現雨量低估或未預報成功的情形；若天氣系統快速減弱，則易出現雨

量高估的情形。

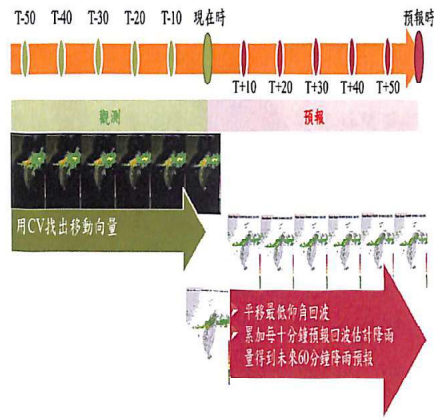


圖 11. 劇烈天氣監測系統未來 60 分鐘定量降雨預報原理。

三、客製化防災應用服務

劇烈天氣監測系統客製化系統服務，主要包括與客製化功能需求單位進行溝通與協調、了解需求，然後協助建置相關硬體及資料傳輸專線，開發符合業務需求的使用頁面，並由客製化單位訂定專屬警戒標準，產製天氣監測及防災警示應用產品，以及教育訓練與後續使用者意見回饋等。在此以 4 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

2010 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。因此氣象局為因應公路總局採取預警性封橋封路等防災決策需求，自 2011 年起與該局之公路防災中心跨機關合作，建置客製化網頁（圖 12），提供重點監控橋樑、路段與淹水泥流水瀑區域的即時性降雨強度，以及全流域、浪襲路段等監測警示資料，以確保民眾行車的安全。

以降雨量的影響而言，瞬間的豪大雨可

能難以宣洩造成淹水，持續不斷的雨量累積也可能造成土石流、山崩等災情，且不同地區、路段，對於雨量也可能具有不同的防災耐受度。因此，例如公總客製化系統中的一級監控橋梁建立警戒表單，選擇各監控點的參考雨量站（圖 13），分為三種等級燈號：預警、警戒和行動，分別對應不同階段的防災應變作為。各警戒表由公路總局根據各個地域特性，設定個別不同之累積時段雨量警戒值，且建立多重警戒指標，適時滾動檢討警戒值的設定，並與氣象局持續密切合作，依需求進行網頁的更新作業。自 2015 年起，氣象局進一步利用所研發之格點化雷達降水估計產品，加上次集水區分區的地理資訊，得到分區內雷達降水估計量網格平均產品，提供雨量警示功能予公總參考。



圖 12. 劇烈天氣監測系統公路總局客製化網頁首頁。

圖 13. 劇烈天氣監測系統公路總局客製化之一級監控路段雨量警戒表。

(二) 觀光局客製化

2013 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。自 2014 年起，氣象局與觀光局合作建置客製化網頁（圖 14），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 15）。另針對沿海地區風景區需求，強化關於長浪警示的功能，以浮標觀測的週期及浪高等監測長浪的發生，並可在天氣概況及即時訊息中，同步查詢到相關的預報和現況（圖 16），供其在全國 13 個風景區管理處進行風景區管理及避災措施參考，以確保遊客的安全。



圖 14. 劇烈天氣監測系統觀光局客製化網頁。

圖 15. 劇烈天氣監測系統觀光局客製化網頁氣象資料警戒表。

圖 16. 劇烈天氣監測系統觀光局客製化網頁中為預報中心發布之天氣概況的長浪訊息(左圖)，右圖則為浮標監測的長浪警示。

(三) 鐵路局客製化

2013年9月自強號列車行經南迴線枋山二號隧道口時，因前方土石流崩塌，列車撞上崩塌而堆積的土石，造成列車出軌重大的災情。氣象局因此為臺灣鐵路管理局開發劇烈天氣監測系統客製化系統(圖17)提供重點監控路段/橋梁雨量監測及警示(圖18)、鐵路路線降雨預報、閃電警示圖/警戒表(圖19)、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 17. 劇烈天氣監測系統臺灣鐵路局客製化網頁。

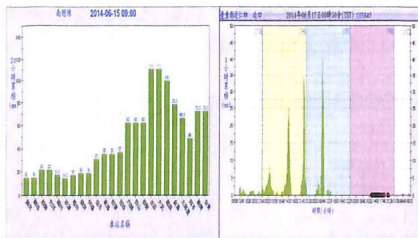


圖 18. 左圖為鐵路沿線車站降雨量，右圖為鐵路沿線附近雨量站降雨量。

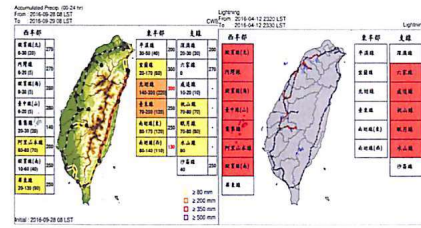


圖 19. 左圖為鐵路沿線降雨預報，右圖為沿線閃電警示產品。

(四) 民用航空局客製化

2014年5月松山機場發生落雷傷人事故，一名華航飛機機師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，氣象局因此為其開發劇烈天氣監測系統客製化系統(圖20)。主要之客製化功能以閃電落雷資料為主，以各機場航空站為圓心，繪製0-3、3-8、8-16公里之同心圓做為警戒範圍(圖21)，協助該局研判閃電落雷的出現位置及移動方向，輔助雷擊示警作業，保障各機場航空站之作業與旅客安全。

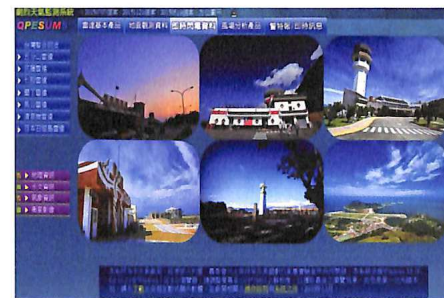


圖 20. 劇烈天氣監測系統民航局客製化網頁。

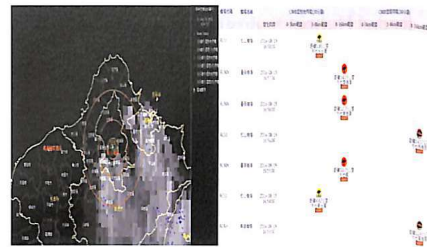


圖 21. 閃電落雷警示，橘線表以松山機場為中心，距離3、8、16公里之區域。

四、結語與未來展望

氣象雷達資料之重要性在於許多偏遠山區受限於交通、電力及成本等考量，無法設置實地觀測儀器，故雷達遙測技術相對重要，可得到範圍更大且水平解析度更好的氣象資料。劇烈天氣監測系統自2002年引進臺灣，經過十多年在地化的努力，除了各單雷達資料品管方法，更致力發展整合全臺雷達相關延伸產品。

各項產品中，藉由整合各單雷達之即時資料，可以推估過去高時空解析度1、3、6、12、24等小時格點上的累積雨量。在作業上，為使雷達降雨估計結果更接近實際觀測，進一步利用雨量站觀測修正降雨估計結果，以得到最佳之格點化的估計雨量。但此雨量估計值之準確性除了會因降雨估計方法本身造成偏差外，也可能會受到雷達觀測限制(例如山脈遮蔽等)，或者資料品管的影響，故氣象局結合雷達最低仰角高度，以及雨量站權重函數的設計，產製雷達估計雨量信心度產品，以提供使用者在應用此雷達降雨估計資料時參考。

在強化雷達觀測資料方面，雷達觀測時之最低仰角高度越低，其雷達估計降雨量會較接近實際觀測雨量。但因臺灣地形複雜，雷達波束受到遮蔽情形非常普遍，因此如今(106)年綠島雷達加入觀測，於東部地區之雷達最低可用仰角降低，對雷達降雨估計等

產品準確性的提升將有顯著的幫助。未來透過執行行政院所核定之「水災災害防救策進計畫-建置區域防災降雨雷達網」及「雲嘉南及宜蘭低窪地區建置防災降雨雷達計畫」，預計在2018年前以降雨觀測為目的，將在北中南地區及雲林、宜蘭陸續建置5部防災降雨雷達，期望可大幅降低臺灣地區最低可用仰角高度，並提供都會區及低窪易淹水區高時空解析度之降雨量估計資訊，應用於淹水潛勢預估及預警。

綜上所述，劇烈天氣監測系統(QPESUMS)整合雷達、雨量站及閃電等多重資料，並結合地理資訊，提供使用者即時且豐富的氣象資料，一般社會大眾可透過民眾版網頁及APP即時獲得，對於政府單位則藉由防災版網頁，以及針對防災單位應變需求所建立之客製化網頁服務，可提供自動監測及預警功能，做為政府單位防災預警決策行動研判之重要參考。藉此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22)。



圖 22. 劇烈天氣監測系統對各政府機關之客製化服務，發揮氣象防災應用之綜效。

五、致謝

感謝中央氣象局氣象衛星中心劇烈天氣監測系統團隊曾俊二技正、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。

六、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。

張保亮與唐玉霜，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.

Lakshmanan, V., R. Rabin, and V. DeBrunner, 2003: Multiscale storm identification and forecast. *J. Atmos. Res.*, 67-68, 367-380.

——, and T. Smith, 2010: An objective method of evaluating and devising storm-tracking algorithms. *Wea. Forecasting*, 25, 701-709

Ryzhkov, A. V., M. Diederich, P. Zhang, and C. Simmer, 2014: Potential utilization of specific attenuation for rainfall estimation, mitigation of partial beam blockage, and radar networking. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 31, 599-619.

Wang Y., J. Zhang, A. V. Ryzhkov, and L. Tang, 2013: C-band polarimetric radar QPEs based on specific differential propagation phase for extreme typhoon rainfall. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 30, 1354-1370.

Xin, L., G. Recuter, and B. Larochele, 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.

——, ——, C. Langston, B. Kaney, Y. Qi, L. Tang, H. Grams, Y. Wang, S. Cockcks, S.

Martinaitis, A. Arthur, K. Cooper, J. Brogden, and D. Kitzmilller 2016: Multi-radar multi-sensor (MRMS) quantitative precipitation estimation., *BAMS*, 14, 621-628.

QPESUMS and Customizing Application of Disaster Prevention

Yu-Shuang Tang, Wei-Peng Huang, Pao-Liang Chang and Chia-Rong Chen

Central Weather Bureau

ABSTRACT

Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor (QPESUMS) integrates multiple ocean-atmosphere data and geographic information to provide real-time radar data, rain gauge, lightning data and etc. The derivative products of radar data were also developed, such as grid data of quantitative precipitation estimation and quantitative precipitation forecast for disaster prevention of central and local government as reference resources. Since 2011, Central Weather Bureau (CWB) has been actively operating with the government or the disaster reduction organizations to overlap the weather information on the map of each administrative region, creating customized websites, and cooperating with each unit to build the function of ocean-atmosphere information display and automatic warning in high-light regional monitoring.

Key words : QPESUMS 、 Radar