

劇烈天氣系統(QPESUMS)發展與客製化服務

唐玉霜 張保亮

中央氣象局

摘 要

劇烈天氣系統整合多重觀測資料，並結合地理資訊，提供劇烈天氣即時監測資料。劇烈天氣系統發展全臺 6 部雷達的整合資料，並且積極開發延伸的應用產品，如雷達降水估計及雷達回波外延預報等，提供使用者更實用且多元的氣象參考資料。自 2011 年起，主動配合各政府機關或防災單位之業務需求，將氣象資訊套疊各機關轄管日常作業使用之地理圖資，開發客製化網頁操作介面，並且與各單位合作建立重點監控區域之雨量資訊顯示與警示等功能。

一、前言

劇烈天氣系統 (QPESUMS, Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor) 自 2002 年起，由中央氣象局、美國劇烈風暴實驗室 (NSSL, National Severe Storms Laboratory)、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，整合多重觀測資料，並結合地理資訊 (GIS, Geographic Information System)，提供劇烈天氣即時監測資訊、定量降水估計及短時定量降水預報產品等 (Zhang et al., 2011)。

本系統主要提供雨量站、雷達及閃電即時觀測資料展示，以及相關監測、警示產品開發。雨量站來自中央氣象局、水利署、水保局及臺北市政府等單位，截至 2014 年底，劇烈天氣系統可顯示全臺雨量站資料達 700 餘站，提供每 10 分鐘一筆各雨量站不同延時的累積雨量 (例如：1、3、6、12、24 小時累積雨量等)。雷達資料則來自氣象局局屬五分山、花蓮、墾丁和七股 4 部雷達，以及空軍的馬公和清泉崗雷達。劇烈天氣系統中除可直接查詢到單雷達產品外，並包括雷達降水估計、雷達回波外延預報、雷達反演風場(張等 (2012, 2014))等全臺整合雷達產品。

劇烈天氣系統目前服務的單位，截至 2014 年已達 49 個，包括中央機關、地方縣市政府等，服務內容除了即時與歷史個案氣象資料的提供外，自 2011 年起，

更展開客製化服務新里程，主動配合各政府機關或防災單位之業務需求，將氣象資訊套疊各機關轄管日常作業使用之地理圖資，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雨量資訊顯示與警示功能等，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防災應變。

二、劇烈天氣系統發展

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。由於各別雷達掃描策略設定，以及所在環境的差異，為得到更好的雷達資料品質，需做不同的資料品管處理。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)。Chang et al. (2009) 考慮氣象局屬 4 部雷達掃描策略和地理特性，利用長時間統計回波發生頻率的做法，得到未受非氣象回波影響之臺灣地區最低可用仰角分布。

利用連續的雷達觀測，可以得到在時間、空間上高解析度的三維資料，對天氣系統移動、發展變化能快速掌握。在劇烈天氣系統中，除了可查詢單雷達的回波和徑向風外，整合 6 個雷達的回波資料，一方面對於降雨區的分布，有更完整的了解。另一方面將雷

達觀測資料進行進一步計算、應用，得到雷達降水估計、反演雷達風場，以及進行外延預報等。

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，故如在山區，往往難以廣設雨量站，此時利用遙測技術，例如雷達回波估計的降雨量，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(QPE, Quantitative Precipitation Estimation, Zhang et al.(2008))是利用資料品管處理後之最低仰角回波，透過回波與降雨率關係進行估計降雨： $Z=32.5R^{1.65}$ (Xin et al., 1997)，其中 Z 為回波，R 為降雨率，又稱為 Z-R 關係式，此產品水平網格解析度為 0.0125°，為得到更接近地面觀測資料的降雨，使用雨量站即時觀測資料進行降雨量修正。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 1 為當雨量站觀測資料加上雷達降雨估計後，除了可能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。

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，劇烈天氣系統團隊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，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 2），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 3 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 3 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 公里當作其中一個信心度門檻。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，以及各別雨量站與雷達資料格點的距離：

$$W_{ij} = \sum_{n=1}^M \frac{1}{r}$$

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。

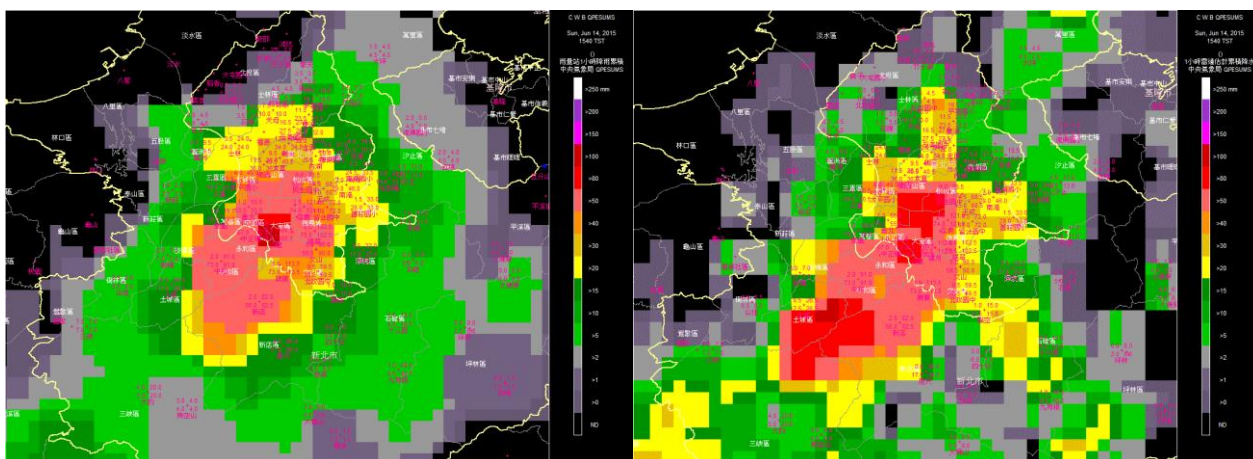


圖 1、2015 年 6 月 14 日午後雷陣雨個案。左圖為雨量站經客觀分析後雨量圖，右圖則為經雨量站修正後雷達降雨估計雨量圖。色階為降雨量。

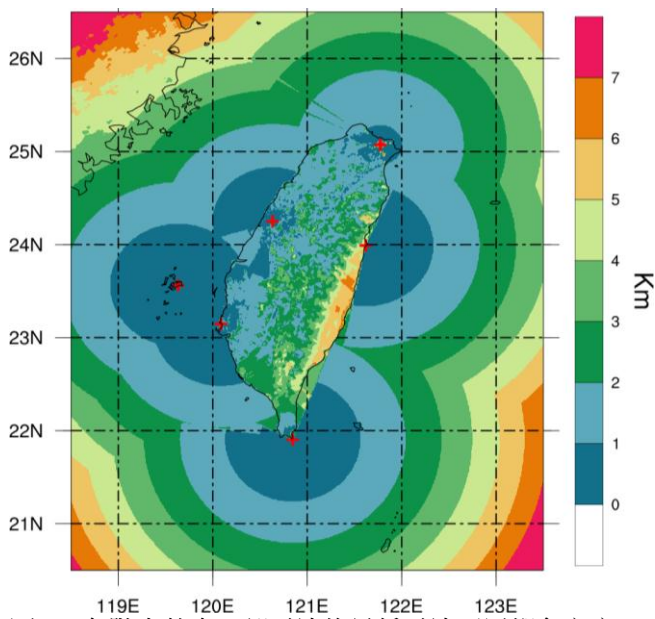


圖 2、色階表整合 6 部雷達的最低雷達可用仰角高度 (km)，紅十字表雷達中心位置。

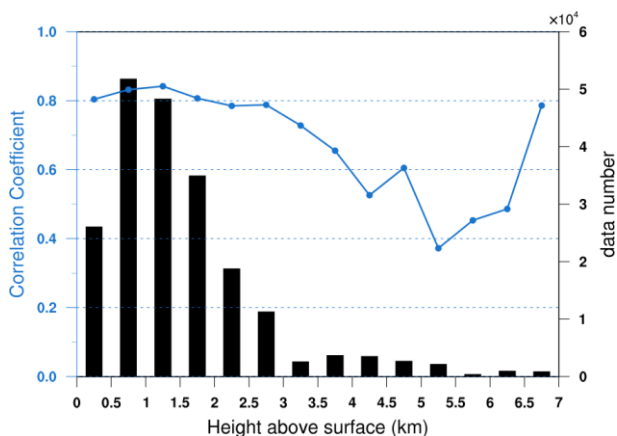


圖 3、藍色線為雷達降雨估計與雨量站間相關係數，以及最低可用仰角高度間關係。直方圖為資料筆數。

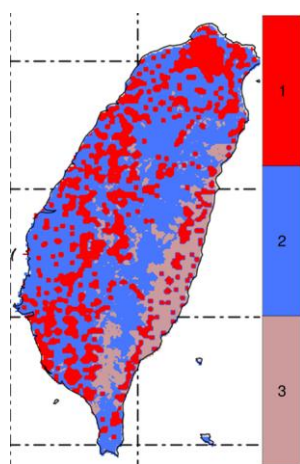


圖 4、雷達定量降雨信心度分級。1 表信心度為佳、2 表信心度為中等、3 表信心度為不佳。

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 3 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 4 所示，使用 785 個雨量站資料，其中 34% 為佳、51% 為中等、15% 則為不佳。

劇烈天氣系統利用外延法進行預報，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)。預報方法如圖 5 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，平移最低仰角回波，得到未來每 10 分鐘最低仰角回波圖，回波值透過 Z-R 關係式換算，得到每 10 分鐘預報降雨量，將此降雨量累加，求得未來 60 分鐘降雨預報。

外延法在世界各國也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，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(如圖 6 藍框)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(如圖 6 紅框)的情形。

等級	權重函數	最低可用仰角高度
佳	> 0.3	
中等		≤ 3
不佳	≤ 0.3	> 3

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)。

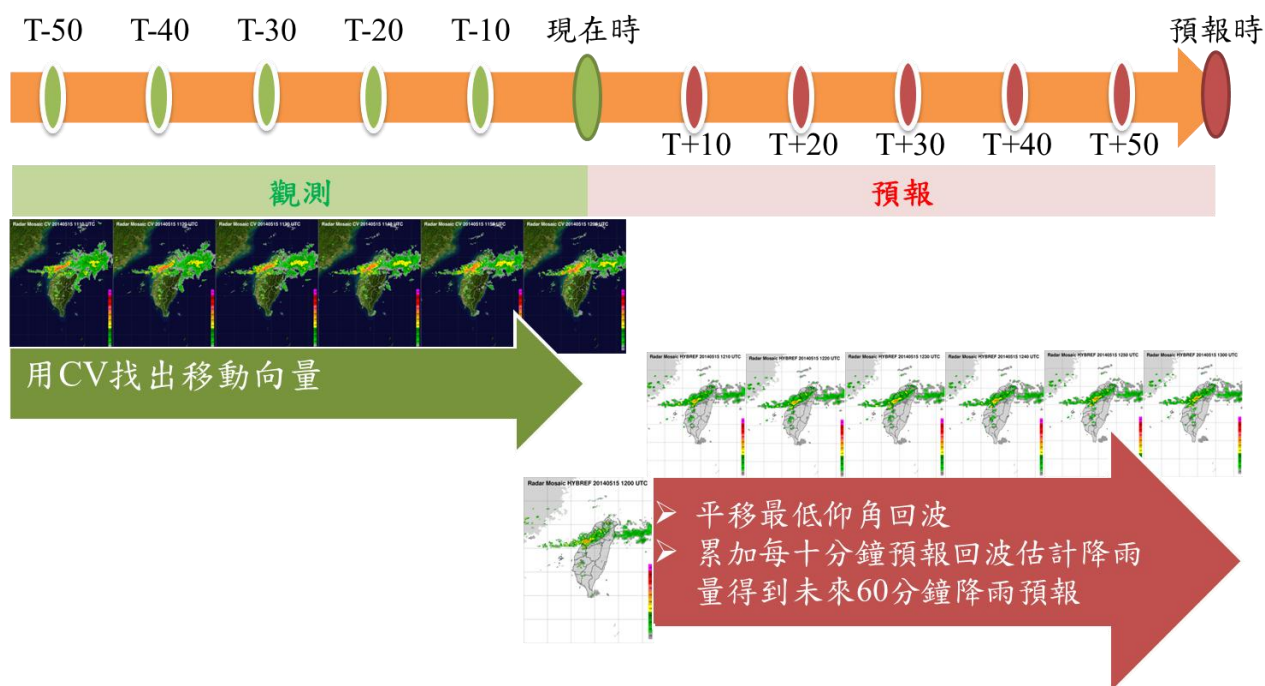


圖 5、劇烈天氣系統未來 60 分鐘定量降雨預報原理。

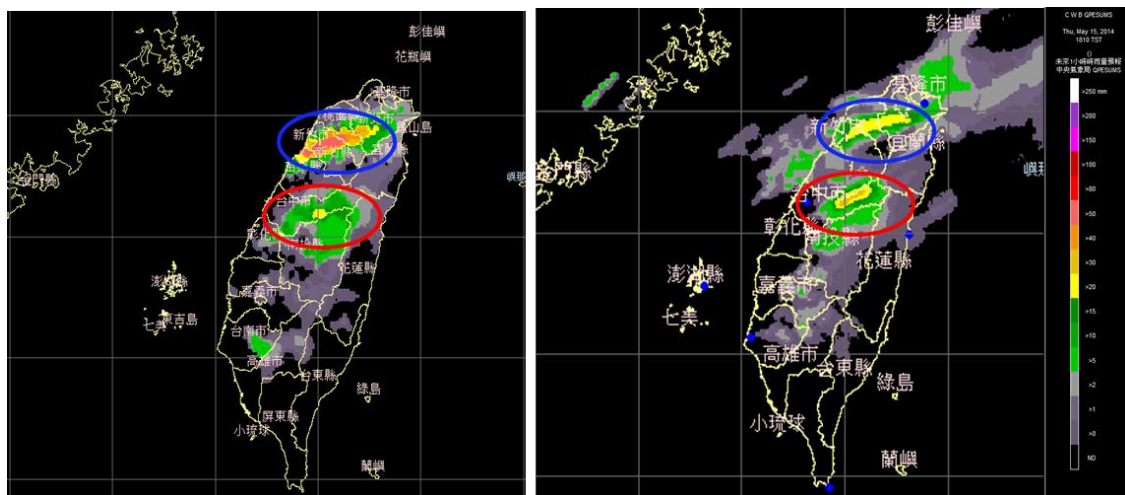


圖 6、左圖為雨量觀測累積雨量圖，右圖則為未來 60 分鐘定量降水預報圖。

三、 氣象資料監測與應用

隨著科技的進步，氣象資料能快速整合、進行運算或其他加值服務，提供自動監測及預警功能，做為防災單位應變研判之參考。劇烈天氣系統客製化網頁服務，一般會先與客製化需求單位進行溝通與協調，然後建置相關硬體及資料傳輸專線，開發符合需求的使用頁面，並針對各單位相關的業務需求，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。

以降雨量而言，除瞬間的豪大雨可能造成積水難以宣洩，進而淹水外，持續的雨量累積也可能造成土石流、山崩等災情，針對不同地區、路段，對於雨量可能具有不同的防災耐受度。目前客製化網頁提供之警示功能，由各中央、縣市防災單位依據不同的業務需求，針對監控防災點，選擇參考雨量站，設計不同的警戒表單，提供應變研判的參考。

以公路總局為例(如圖 7)，針對一級、二級監控路



圖 7、左圖為劇烈天氣系統公路總局客製化首頁，右圖則為一級監控路段雨量警示頁面。



圖 8、左圖為劇烈天氣系統觀光局客製化首頁，右圖則為長浪警示頁面。

段，以及一級監控橋梁建立警戒表單，選擇各監控點的參考雨量站，分為三種等級燈號：預警、警戒和行動，分別對應不同的防災應變作為。由公路總局根據不同地域特性，設定不同延時累積雨量警戒值，且同時設計邏輯值，建立多重警戒指標，適時滾動檢討警戒值的設定，並與氣象局端密切合作，進行網頁的更新作業，自梅姬颱風(2010)之後，於劇烈天氣影響下路段為零死亡事件紀錄，有效防患於未然。自 2015 年起，進一步利用雷達降水估計產品，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，開始進行雨量警示產品測試。

劇烈天氣系統提供氣象資料的整合顯示平台，目前主要以雨量資料為主，自 2014 年起，透過與觀光局合作建置客製化網頁(圖 8)，除增加了溫度、風速等氣象資料的警示，更增加海象資料的顯示，並針對觀光遊憩安全需求，強化關於長浪警示的功能，以浮標觀測的週期及浪高等進行長浪的監測，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。

四、 未來展望及結語

劇烈天氣監測系統整合雷達、雨量站及閃電等多重觀測資料，並結合地理資訊，提供使用者即時且豐富的氣象資料，更針對防災單位應變需求，建立客製化網頁服務，提供自動監測及預警功能，做為研判之重要參考。

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，可幫助人們得到範圍更大且水平解析度更好的氣象資料。劇烈天氣系統自 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產品。

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，並且透過徑向風場，能幫助預報人員更精準定位颱風環流中心，目前臺灣單雷達資料觀測範圍最大僅 460 公里，若能加上鄰近國家的雷達觀測網(例如：日本、菲律賓等)，可以有效地擴大雷達觀測

區域。未來劇烈天氣系統預計將先整合日本石垣島雷達，以及菲律賓北部兩部雷達(Aparii 和 Basco 雷達)，擴大觀測範圍的雷達資料，不論對於劇烈天氣監測，或者是模式雷達資料同化均有很大的助益。

整合全臺最低仰角雷達回波透過 Z-R 關係式，經過計算後，可直接得到過去 1、3、6、12、24……小時累積雨量，在作業上，為了使雷達降雨估計結果更接近實際觀測，利用雨量站觀測修正降雨估計結果。因為此產品為遙測技術的估計量，除了本身使用的 Z-R 關係式計算產生的誤差外，也可能會受到雷達觀測限制(例如山脈遮蔽等)，或者資料品質的影響，故結合雷達最低仰角高度，以及雨量站權重函數的設計，得到雷達估計雨量信心度產品，能提供使用者在臺灣陸地上格點取舍的參考。

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，臺灣地形複雜，雷達波束受到遮蔽情形非常普遍，未來透過行政院所核定之「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，將在北中南地區及雲林、宜蘭陸續建置 5 部防災降雨雷達，以降雨觀測為目的，期望可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。降雨雷達為雙偏極化雷達，加上目前臺灣已有的 3 部，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。

未來 60 分鐘定量降雨預報係利用外延法進行預報，其準確性受到天氣系統移動和發展變化影響，未來劇烈天氣系統將引進整合更多觀測，或是預報資料，提供使用者更多元的選擇，並且也將利用雷達等觀測資料，持續發展監測警示產品，例如對流胞警示等，提供防災應用單位更有效的研判參考。

五、 致謝

本報告感謝中央氣象局氣象衛星中心陳嘉榮主任，以及 QPESUMS 團隊黃葳芃課長、曾俊二課長、梁信廣課長、張良傑、吳佳蓉、鄭龍聰、鄭丞衡等人

於系統功能開發、客製化服務等事項之共同努力，一併感謝方偉庭、鄭丞衡先生提供本文所需之圖表。

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，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.