

# C 波段雙偏極化雷達定量降雨估計法比較分析

唐玉霜<sup>1</sup>、張保亮<sup>2</sup>

中央氣象局氣象衛星中心<sup>1</sup>、中央氣象局氣象資訊中心<sup>2</sup>

## 摘要

本研究選取 2017 年 6 月 1 日至 6 月 4 日的個案，利用五分山 C 波段雙偏極化雷達資料進行定量降雨估計法比較。透過五分山 S 波段及 C 波段雷達兩種波段雷達的原始觀測參數的比較，以評估個別參數的表現特性。本研究藉由回波資料比對、統計分析，進行了資料品管，並與雨滴譜儀反演之雷達觀測回波比對，以確認其合理性，最後則比較不同 C 波段定量降雨估計法，並進行方法特性分析。

關鍵字：雙偏極化、雷達定量降雨估計

## 一、前言

雷達可以提供高時間、空間解析度的資料，幫助了解並掌握天氣系統中風雨的移動和變化趨勢。雷達資料經過計算，產製延伸相關產品，可更為直接且有效地進行預警及後續的應用，其中雷達定量降雨估計(QPE, Quantitative Precipitation Estimation)提供使用者面化的雨量格點資訊，除了可供即時雨量分布的查找、自動化警示應用外，亦作為模式預報校驗比對的重要參考依據。

影響雷達定量降雨估計準確性，很重要兩個因素，分別是雷達本身的資料品管，以及定量降雨估計法。雙偏極化雷達觀測可得到額外的雙偏極化參數，包含差異相位差( $\Phi_{DP}$ )、相關係數( $\rho_{HV}(0)$ )、比差異相位差( $K_{DP}$ )、比差異反射率( $Z_{DR}$ )等，在處理雷達資料品質上，可利用相關係數，或者透過各參數的特性，有效分辨氣象與非氣象粒子，保留有用的氣象資料(Tang et al., 2014)。當雷達波束通過強降雨區時，部分能量被降水粒子吸收、散射或折射，回波、差異反射率觀測因能量衰減造成值減弱，C 波段雷達較 S 波段能量衰減效應更為明顯，而差異相位差與比差異相位差不受此影響，常被用來做為修正的參考量(Bringi et al., 1990；紀，2005)。張等(2017)對於不同波段雷達觀測參數，已做過初步的比對分析，結果顯示 S 波段相較 C 波段雷達，C 波段具有較高的相位解析靈敏度，對於  $Z_{DR}$  之靈敏度亦優於 S 波段雷達。不同波段

具有不同特性，需要做不同的資料處理，才能將其效能發揮到最大。

Wang et al. (2013)利用  $K_{DP}$  進行定量降雨估計法，並對於地形上資料進行垂直修正，發展適用於臺灣的演算法。陳等(2017)也分析了不同波段雷達定量降雨公式的表現。本研究希望利用 S 波段五分山雷達(RCWF)，以及五分山 C 波段雷達(RCMD)，兩種波段雷達同步觀測的資料，透過資料統計分析，比對不同波段雷達觀測參數的差異和特性，以五分山雷達修正五分山 C 波段雷達之觀測結果，最後利用五分山 C 波段雷達資料，比較各種定量降雨估計法，希望了解各方法表現特性，以供後續應用之參考。

## 二、研究方法

本研究選擇 2017 年 6 月 1 日至 6 月 4 日的個案進行資料處理以及方法探討。

雷達資料品質品管部分，透過比較兩種波段的原始觀測參數，如：相關係數、反射率、比差異反射率等，先了解個別參數表現特性，幫助調整利用多參數進行去除非氣象資料時，所應用之各參數及其設定門檻。接著以 S 波段雷達反射率觀測值為輔，進行五分山 C 波段雷達觀測反射率之資料品管，並與雨滴譜儀反演之雷達觀測反射率進行比對，確認其合理性。

C 波段定量降雨估計法比較，則選用三類定量降雨估計法，並測試不同關係式係數，綜計五種算法。

包括傳統單偏極化使用回波進行降雨估計，以及使用雙偏極化參數中的比差異相位差( $K_{DP}$ )，以及體現兩種方法特性之混合法，分別如下：

1.  $R(Z)$ ：(1)式為  $RZ1$ ，(2)為  $RZ2$ 。

$$Z=150R^{1.51} \quad (1)$$

$$Z=32.5R^{1.65} \quad (2)$$

2.  $R(K_{DP})$ ：以下簡稱  $RKDP$ 。

$$R=35.36K_{DP}^{0.799} \quad (3)$$

3. 混合法：同時使用  $R(Z)$ 、 $R(K_{DP})$ ， $R(K_{DP})$ 適用於液態降水，故假設融化層高度位於 5 公里，當回波高度小於 5 公里，且  $R(K_{DP})$ 小於或等於 13mm/hr，使用  $R(Z)$ ； $R(K_{DP})$ 大於 13mm/hr，使用  $R(K_{DP})$ ；當回波高度大於 5 公里，使用  $R(Z)$ 。 $R(Z)$ 使用(1)式、 $R(K_{DP})$ 使用(3)式，以下稱  $MIX1$ ； $R(Z)$ 使用(2)式、 $R(K_{DP})$ 使用(3)式，以下稱  $MIX3$ 。

本研究以時雨量與定量降雨估計值進行校驗分析，根據理想大氣方程得到雷達波束最低可用高度分布，以及雨量站所在高度，分別比較並分析不同高度雷達資料，以及山地或平地地區的定量降雨估計結果。

### 三、雷達資料處理

C 波段雷達波束經過強降雨系統，易受到能量衰減影響，影響降低觀測值，觀測之反射率及比差異反射率兩參數都有顯著偏弱的情形(如圖 1)，需要進行資料品管，得到合理可用的雷達資料。本研究針對反射率，利用兩部雷達同步觀測的  $0.5^\circ$ 仰角資料比對及統計，進行五分山 C 波段雷達反射率觀測值修正，以利後續定量降雨估計應用。

圖 2 利用同一時間的  $RCWF$  以及  $RCMD$  反射率觀測之差值，取其反射率值進行統計分析。橫軸為差值，其值為正，顯示  $RCMD$  回波值較低，縱軸為資料點筆數，發現  $RCMD$  整體回波偏弱。C 波段較 S 波段雷達易受到能量衰減的影響，在此利用衰減量和相位差之間的線性關係進行修正。為求得此個案最佳的衰減修正係數  $\alpha$ ，將  $RCMD$  回波值使用不同修正係數進行修正後，與  $RCWF$  回波值計算其相關係數(如圖 3)，當  $\alpha$  等於 0.077 時，相關係數最大。當  $RCMD$

回波值經過資料處理後，其主要資料點(資料點數大於 1000 點)越來越靠近且集中  $RCMD$  與  $RCWF$  相等之參考線。圖 4 為比較 6 月 2 日 0018UTC 之  $RCMD$  及  $RCWF$  原始雷達回波觀測，以及  $RCMD$  資料品管後結果，顯示  $RCMD$  修正後有效改善原本觀測低估的情形，其值較為合理，可進行後續定量降雨估計之應用。

圖 5 是雨滴譜儀反演之雷達回波與  $RCMD$  回波繪製之散布圖，左圖縱軸為原始  $RCMD$  雷達回波值，右圖縱軸則為經過去除非氣象回波等資料品管後之雷達回波值。雷達回波去除非氣象雜訊後，特別是弱回波，減少許多雜訊，經過衰減等修正，其結果與雨滴譜儀反演結果較接近一致。

### 四、定量降雨估計法比較

為比較不同定量降雨估計法的表現，先以雷達波束高度 5 公里以下之定量降雨估計量與雨量站進行比較(圖 6)。整體而言，使用雙偏極化定量降雨估計法表現佳，特別是在強降雨下表現穩定，相關係數均可達 0.795，其中以  $MIX1$  表現最佳，傳統  $R(Z)$ 則較低，其值約 0.66， $R(K_{DP})$ 則於弱降雨時常有奇異點發生； $R(Z)$ 則以  $RZ2$  表現較  $RZ1$  佳， $R(Z)$ 相較於  $R(K_{DP})$ ，在較大降雨強度時，其值分布較為離散。

圖 7 為在雷達波束高度 2 公里以下雨量站與雷達定量降雨估計量散布圖，使用  $R(Z)$ 與  $R(K_{DP})$ 混合式作法，其相關係數均逾 0.9， $MIX1$  可達 0.917， $RKDP$  則為 0.88， $RZ1$  也有 0.79。深入研究各種定量降雨估計法的表現，以不同降雨強度來看，小於 10mm 時， $R(Z)$ 法表現最佳， $R(K_{DP})$ 偏差量最大，10mm 以上則以  $R(K_{DP})$ 表現最佳， $R(Z)$ 均為低估，而混合法則結合兩者的優點。雖  $RZ2$  整體表現較  $RZ1$  佳，但  $RZ2$  在小於 2mm 以下有將近三倍的高估，而此個案在小於 2mm 時資料筆數也最多，故反而在混合法時， $MIX1$  優於  $MIX3$ 。相較 5 公里與 2 公里，顯示越接近地面其定量降雨估計結果越佳。

以高度 2 公里以下之雷達資料，比較了平地和山區之定量降雨估計(圖 8)，平地表示雨量站所在高度小於 500 公尺，山地則反之。在平地地區，不論哪一

種降雨估計法，其整體相關係數均可達 0.874，混合法表現最佳，相關係數均有 0.95 以上，不論大雨或小雨，雙偏極化參數定量降雨估計法偏差量均小於 20%，其中小雨時，偏差量最小為 MIX1，在大雨時，三種方法偏差量均在 2% 以內。山區常會出現錯誤估計資料，如：降雨估計量小於 2mm，但雨量觀測值卻大於 20mm，RZ1 及 RZ2 之整體相關係數均低於 0.6，雙偏極化參數定量降雨估計法在山區表現相對穩定，其中尤以混合法表現最佳，MIX1 相關係數仍有 0.803。總體而言，在此個案中，雙偏極化雷達定量降雨估計法優於單偏極化定量降雨估計法，混合法又優於單參數( $K_{DP}$ )定量降雨估計法。

## 五、 結論

透過 RCMD 及 RCWF 的同步觀測比較，發現不同波段、不同規格雷達之觀測參數特性差異，除了可供學術研究外，對於實際作業技術研發，可以將 S 波段雷達的資料處理經驗，透過資料的直接比較，了解兩者的異同，進行資料處理時參數及技術上的改進，增進 C 波段雙偏極化雷達的雷達技術研發工作。

本研究比較 C 波段雷達三類定量降雨估計法，包括 R(Z)、R( $K_{DP}$ )，以及 R(Z)與 R( $K_{DP}$ )混合法，並測試不同關係式係數，綜計五種算法。整體而言，雙偏極化定量降雨估計法表現較佳，特別是在強降雨表現穩定，惟 R( $K_{DP}$ )於弱降雨時常有奇異點發生；R(Z)則以 RZ2 表現較 RZ1 佳，相較於 R(KDP)，在較大降雨強度時，其值分布較為離散。相較高度 5 公里與 2 公里以下雷達降雨估計結果，顯示越接近地面其定量降雨估計結果越佳。總體而言，在此個案中，雙偏極化雷達定量降雨估計法優於單偏極化定量降雨估計法，混合法又優於單參數(R(KDP))定量降雨估計法。

臺灣環島雷達網包括不同波段的雷達，鄰近雷達除可交互比對，維持其雷達資料品質外，未來透過廣布各地的雨滴譜儀觀測網，可反演雷達參數，除發展即時雷達觀測資料品管技術，經統計回歸得到適用臺灣地區、對應不同降雨類型的定量降雨估計式係數，進行雷達降量降雨估計法在地化的工作。

## 六、 致謝

感謝財團法人國家實驗研究院臺灣海洋科技研究中心曾吉暉博士，對於雨滴譜儀資料處理的技術諮詢，並感謝美國劇烈風暴實驗室(NSSL, National Severe Storms Laboratory)的張健、唐琳博士，提供技術支援，精進雙偏極化雷達資料處理工作。

## 七、 參考文獻

- 張保亮、林品芳、陳怡甄、秦新龍，2017：五分山 S 波段與 C 波段雷達觀測比對初步分析。106 年天氣分析與預報研討會論文集編，中央氣象局，臺北。
- 陳如瑜、張偉裕、陳台琦，2017：北台灣 S 與 C 波段雙偏極化雷達定量降雨估計之比較。大氣科學期刊，45(1)，57-80。
- 紀博庭，2005：利用中央大學雙偏極化雷達資料反求雨滴粒徑分佈及降雨率方法的研究。國立中央大學大氣物理碩士論文，70 頁。
- Bringi, V. N., V.Chandrasekar, N. Balakrishnan, and D.S. Zrnich, 1990: An Examination of propagation effects in rainfall on radar measurements at microwave frequencies. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **7**, 829-840.
- Tang L., J. Zhang, C. Langston, J. Krause, K. Howard and V. Lakshmanan, 2014: A physically based precipitation–nonprecipitation radar echo classifier using polarimetric and environmental data in a real-time national system. *Wea. Forecasting*, **29**, 1106-1119.
- 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.

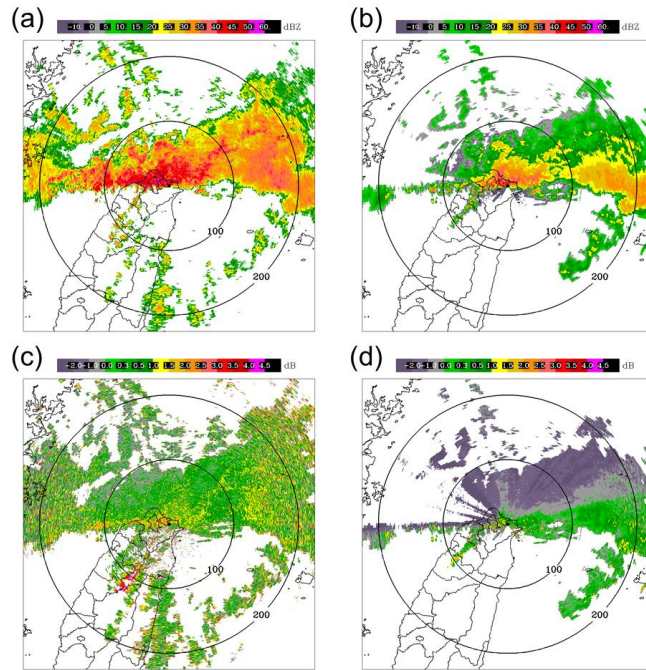


圖 1、(a)(c)來自 RCWF 觀測、(b)(d)來自 RCMD；(a)(b)為雷達反射率、(c)(d)為比差異反射率。

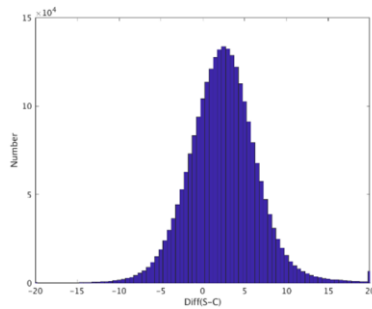


圖 2、橫軸為 RCWF 以及 RCMD 反射率觀測之差值(dBZ)，縱軸則為資料筆數。

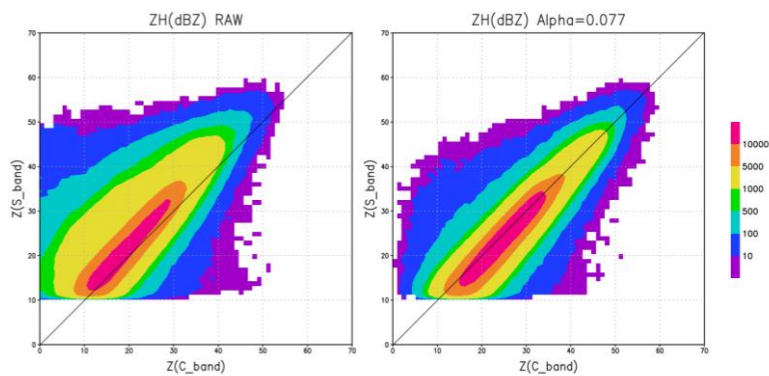


圖 3、縱軸為 RCWF 之回波值、縱軸為 RCMD 之回波值，色階則為資料點數。RCWF 回波值不變，從左而右((a)-(c))分別為 RCMD 原始雷達回波、經資料品管後之 RCMD 回波。

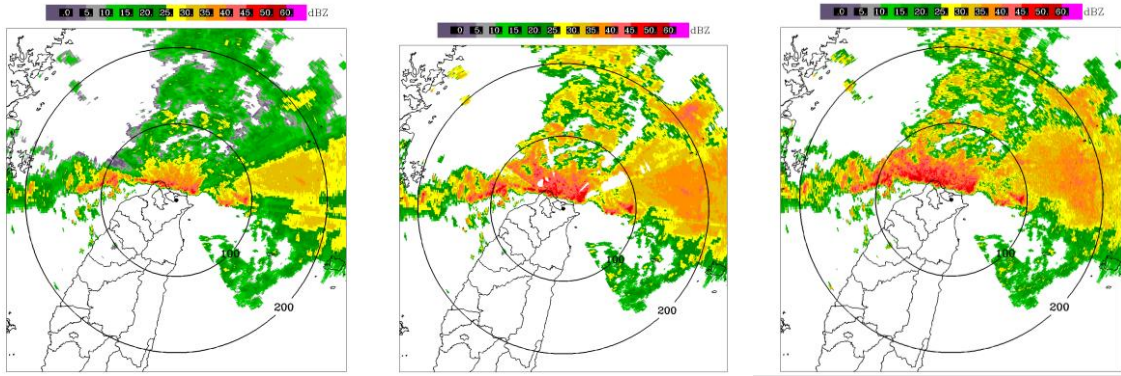


圖 4、6 月 2 日 0018UTC 之雷達觀測。從左而右分別為修正前 RCMD 反射率、修正後 RCMD 反射率、RCWF 反射率。

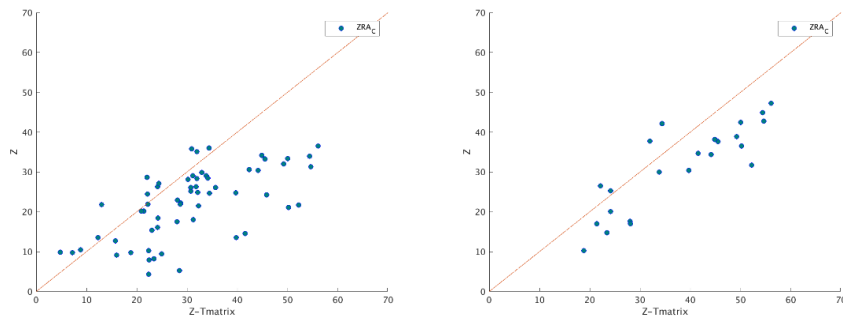


圖 5、雨滴譜儀反演之雷達回波與 RCMD 回波繪製之散布圖。橫軸為雨滴譜儀反演之回波值，左圖縱軸為原始 RCMD 雷達回波值，右圖縱軸則為經過資料品管後之雷達回波值。

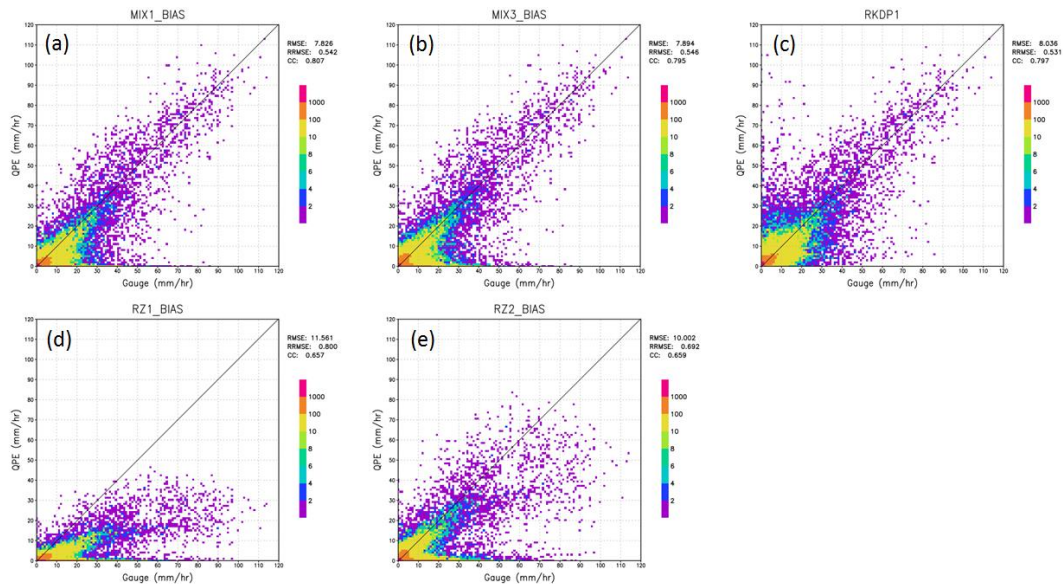


圖 6、雷達波束高度 5 公里以下雨量站與雷達定量降雨估計量散布圖，橫軸為雨量站觀測，縱軸為雷達定量降雨估計值，色階為資料個數。雷達定量降雨估計法分別如下：(a)MIX1。(b)MIX3。(c)RKDP。(d)RZ1。(e)RZ2。



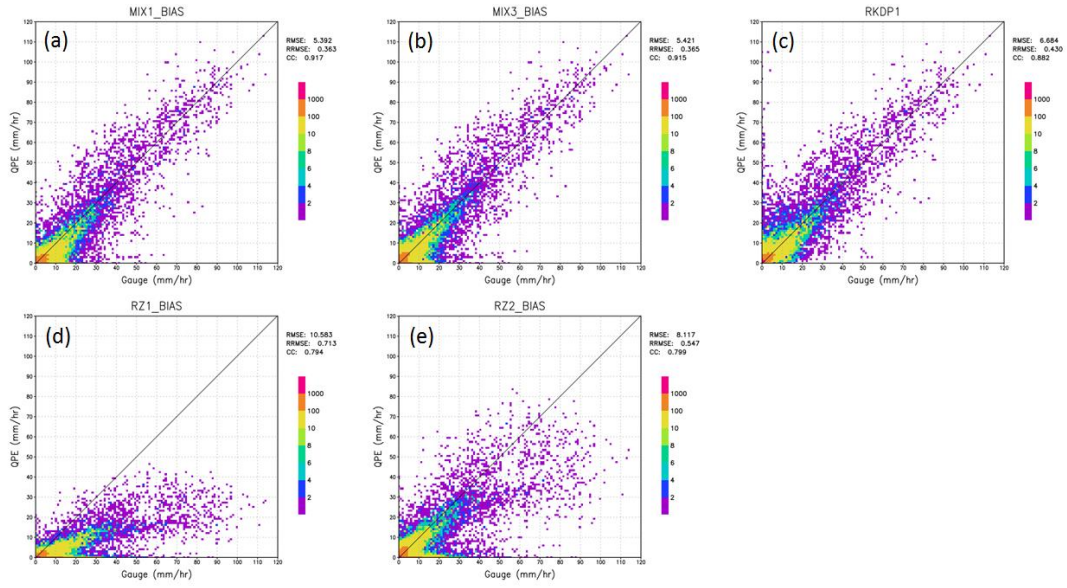


圖 7、取雷達波束高度 2 公里以下之雨量站，同圖 8。

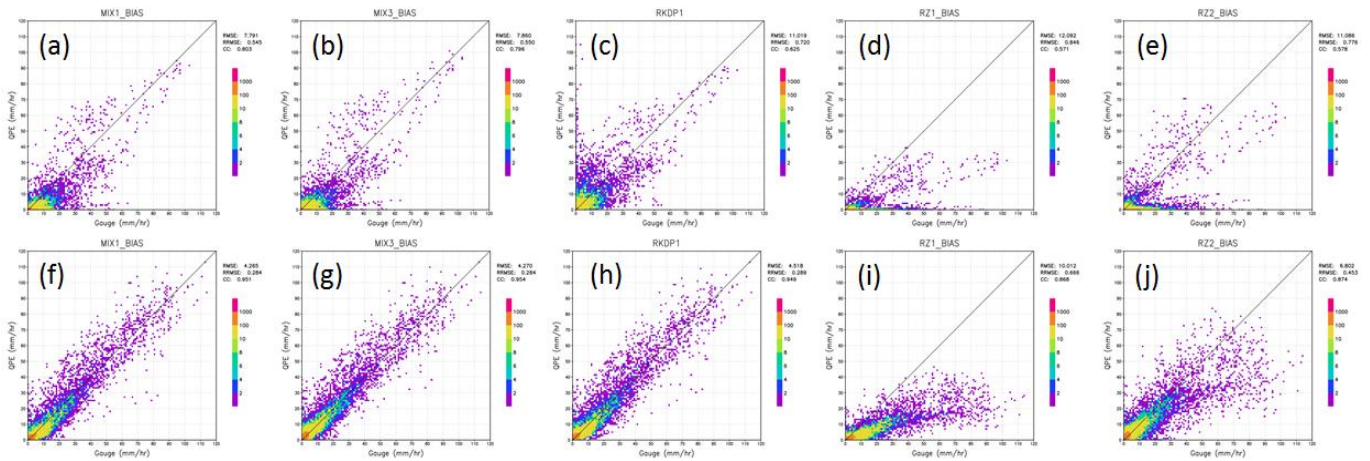


圖 8、取雷達波束高度 2 公里以下之雨量站與雷達定量降雨估計量散布圖，橫軸為雨量站觀測，縱軸為雷達定量降雨估計值，色階為資料個數。雷達定量降雨估計法分別如下：(a)(f)MIX1。(b)(g)MIX3。(c)(h)RKDP。(d)(i)RZ1。(e)(j)RZ2。(a)-(e)為山地站、(f)-(j)為平地站。