

基於測站及衛星觀測校正雷達觀測降水估計之技術開發

許水德¹ (Shiu S.-D.) 馮智勇¹ (Feng C.-Y.) 唐玉霜² (Tang Y.-S.)
劉郁青² (Liu Y.- C.) 陳雲蘭³ (Chen Y.- L.)

¹多采科技有限公司 ²中央氣象局衛星中心 ³中央氣象局科技中心

摘要

以具有空間連續特性的衛星觀測降水資料作為參考值，透過PDF-matching方法可校正雷達觀測資料高仰角的系統性偏差與不連續現象，但也會失去低仰角觀測臺灣近海高解析優勢以及平滑了降雨極值的問題。此項技術開發目標即是為了在移除雷達高仰角觀測偏差現象時，同時保有雷達觀測臺灣陸地與近海可得的高解析及強降雨優勢。

本研究使用劇烈天氣監測系統(QPESUMS)雷達估計降雨率產品QPE Rain rate(RR)、CMORPH衛星降水資料與測站觀測資料，時間起迄為2017/05/01-2018/10/31。實驗以季節及雷達觀測高度差作為分類，採逐海上格點方式建立RR對應CMORPH頻率分布函數資訊(PDF)，陸地上則是建立一組RR對應測站觀測網格化資料的PDF而應用於台灣陸地範圍所有格點。校正時，以雷達觀測高度差為依據選擇使用海上或陸地PDF資訊，並設計以格點雷達觀測高度差3-4公里作為轉換區間，在3公里以下格點使用陸地PDF資訊，在3~4公里則使用陸地、海上PDF的權重平均方式，而4公里以上則僅使用海上PDF資訊。個案校正的整體結果在空間表現上無異常不連續現象，且能在台灣陸地及近海地區利用與測站的關係保留原先希望保留的降雨強度，同時也利用了與CMORPH的關係修正了高仰角海上格點的不連續性。

關鍵字：偏差校正、PDF matching

一、前言

隨著氣象預報與防災結合，日、週尺度的短期預報已能對防災前期部署有所幫助，然而在短延時強降雨事件逐漸增多的現在，若能利用即時雷達資訊並整合衛星紅外線降水估計技術及即時地面測站降水資料，將上述降水資訊整合，當作台灣區域降水初始真實場降水資料，加上現有中央氣象局即時預報技術，便能使防災預警在極短期降雨事件中，爭取應變時間，達到有效的前期防範及緊急應變。

雷達觀測資料具隨著距離越遠、仰角越高而增加估計不確定性現象，許等(2020)以具空間誤差分布均勻特性的衛星觀測降水資料MWCORB為參考值，應用Xie and Xiong (2011)提出的PDF matching方法校正雷達觀測資料高仰角的系統性偏差與不連續現象，但同時也損失雷達低仰角觀測臺灣近海高解析優勢與無法保留降雨極值的問題。

考量雷達在低仰角及近海區域其降雨強度的可靠性較高，因此本研究技術開發目標為在移除雷達

高仰角觀測偏差現象的同時，仍可保有雷達觀測臺灣陸地與近海地仰角區域的高解析強降雨優勢。而海上雷達觀測資料移除高仰角觀測偏差後，除了可應用於東亞區域氣候監測上之外，也能利用此校正資料結合衛星MWCORB資料建立東亞地區海陸無縫隙降水作為同步衛星高時空解析降水估計降水IRQPE(曾等,2020、劉等,2020)所需校正真值使用。

二、資料與方法

本研究使用劇烈天氣監測系統(QPESUMS)雷達估計降雨率產品QPE rain rate 以下簡稱RR(Chang et al., 2020)為逐10分鐘小時降雨資料及CMORPH 衛星估計降水產品為逐30分鐘小時降雨資料、測站網格化資料為逐10分鐘小時降雨資料，單位皆為mm/hr、空間解析度皆調整成與RR相同1.3公里，時間起迄為2017/05/01至2018/10/31，資料空間範圍涵蓋118° E-123.5° E、20° N-27° N。

本研究使用PDF matching方法校正雷達觀測資料，其方法特性其核心概念是假設在過去一段時間中，要求兩組資料具有單調遞增的特性，以降雨而言，將使得在相同降雨頻率下會具有相同的降雨強度使得兩組資料具有相同的降雨特性，利用此方法將預期RR在頻率與強度上接近參考真值，最終達到修正雷達偏差的目的。PDF資訊建立將針對陸地及海洋建立陸地及海洋兩組校正所需PDF，並依此設計客觀校正沿海格點雷達降雨率的合理流程，以期能提高台灣周遭區域雷達估計降水的準確性。區分資料為春雨2-4月(FMA)、梅雨5-6月(MJ)、颱風季7-9月(JAS)、秋季10-11月(ON)以及冬季12-1月(DJ)等五個季節後，陸地PDF建立方式為利用測站小時降雨網格化資料、RR及雷達觀測高度差進行配對，為使RR經校正後能更符合地面觀測的資料特性，在真值的配對上，僅使用在1.3公里解析度的網格化資料內需至少包含1個測站資訊的格點，也就是說資料配對上僅使用測站周圍四格點資料作為配對統計之用，最後將所配對到的格點利用逐0.5公里高度差與5季作為分類，建立出一組逐高度差、逐季節之陸地PDF資訊應用在全陸地格點之用。

海上PDF建立方式則採逐格點建立方式，利用5個季節CMORPH逐30分鐘小時降雨率資料與RR及雷達觀測高度資料進行配對，逐格點建立高度差(0-4、4公里以上兩類)作為海上格點的PDF資訊應用。其中為配合陸地PDF作法，同樣採取雷達觀測高度差做為分組，但海上並無雷達觀測高度差資訊，因此以海平面高度為零使得雷達觀測高度即為雷達觀測高度差。另一方面位於澎湖本島附近區域時有不合理RR高值出現，針對此區域附近格點119° -120.25° E、22.5° -24.3° N之海上 PDF 因此區域觀測高度差多為0.5公里以下，因此在此區域上高度差則改為(0-0.3、0.3-0.5、0.5以上)3組另做使用。

陸地及海上 PDF 建立完成後，每個格點即擁有兩種分別為陸地 PDF 及海上 PDF 資訊，便能依當下雷達觀測格點的觀測高度差作為選擇依據。然而有效觀測距離的選擇上，本研究利用平均誤差(ME)、

平均絕對誤差(MAE)及相關係數作為選擇有效觀測距離的參考依據其公式分別如下：

平均誤差 ME:

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y)}{n} \quad (1)$$

平均絕對誤差 MAE:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{y}_i - y|}{n} \quad (2)$$

其中 n 為個數、y 為真值、 \hat{y}_i 為 RR。

相關係數：

$$\text{correlation} = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2} \sqrt{\sum(y-\bar{y})^2}} \quad (3)$$

在陸地及海洋格點高度差在3-4公里間平均誤差最接近零及平均絕對誤差較小於其他高度差組(圖1、圖2)，且從逐0.5公里高度差計算相關性分析(圖3)中看出鄰近測站之格點多位於2.5-3公里高度差以下，於3公里高度差以上格仔資料量較少，4-4.5公里高度差除平均相關性低於0.6外Q1及Q3也低於0.6，其餘高度差多位於0.6以上，而海上格點不論哪類高度差皆較陸地格點來的低。為了讓依測站觀測所建置之陸地CPDF能用在最多的高度差範圍內，及考量格點的資料量、ME、MAE盒鬚分布以及相關性，因此選取至少有0.6相關性的高度差及在3-4公里高度差有較好表現的4公里以內，作為陸地PDF可用範圍。此外，為避免單高度分界且因海、陸PDF特性差異過大時造成顯著不連續性，因此在3-4公里間建立轉換區間，權重組合海、陸校正值的方式，漸進將陸地校正結果轉為海上校正結果。其中，在3-3.5公里範圍陸地與海洋校正權重分別為2:1、3.5-4公里則為1:1。而在澎湖附近區域常年雷達觀測高度差位於0.5公里以下且位於陸地PDF校正範圍內，但因陸地PDF為利用本島測站與RR所建立，與澎湖區域特性較不同，因此改採海上格點校正，同時為避免轉換高度差時有不合理不連續現象，在119-120.25E、22.5-24.3N區域內同樣設一轉換區間在0.5-0.6公里，以0.5-0.6公里間陸地、海洋PDF校正2:1方式進行。

圖4為2017/05/01-2018/10/31鄰近測站的陸地格點校正前後的ME隨不同高度的變化，可看出3公里以下校正後趨近0符合PDF matching校正特性，然而3

公里以上可能受到格點資料量較少所影響以致較不趨近0。

三、校正結果與案例討論

個案挑選以台灣有局部強降雨且位於台灣東北海面高仰角有雨量低估降雨不連續的現象個案時間2018/07/10 17:30、台灣北部及局部強降雨案例個案時間2017/06/01 22:30、台灣南部強降雨案例個案時間2018/08/23 05:30 及挑選澎湖有異常高值及台灣有局部強降雨的個案時間2017/05/15 11:30，其討論分別如下

1. 個案2018007101730

圖5(左)可看出位於台灣東北海域123E、26.5N左右有雨量低估且不連續，經海及陸PDF校正後圖5(中)可看到在空間上無明顯不連續現象，且能保留台灣區域降雨極值及修正高仰角區降雨量低估的問題，達到設計實驗目的，校正後差異圖5(右)顯示在台灣本島多數降雨下修約2.5mm/hr，而在降雨高值區則有5mm/hr的下修幅度，主要下修為多的區域為台灣東半部海域，多數下修約2.5-5mm/hr左右，高仰角區域部分位於台灣東北方上修約1-2.5mm/hr左右。利用測站網格化資料作為參考真值比較鄰近測站格點校正前後散布圖(圖6)可看出RR有下修及校正後RR低估的情形。

2. 個案201706012230

圖7(左)可看出此個案強降雨為於台灣北部及中部局部區域，校正後差值圖7(右)可看出北部強降雨區雨量下修達10mm左右，而在海上高仰角格點有雨量上修的情形。利用測站網格化資料作為參考真值比較鄰近測站格點校正前後散布圖(圖8)可看出RR有下修及校正後RR高估的情形。

3. 個案201808230530

圖9(左)可看出此個案強降雨位於台灣南部及南部外海區域，校正後差值圖9(右)可看出陸地及近海強降雨區雨量下修可達10mm左右，在海上高仰角格點則雨量有上修。利用測站網格化資料作為參考真值比較鄰近測站格點校正前後散布圖(圖10)可看出RR有下修及校正後RR靠向對角線。

4. 個案201705151130

圖11(左)為原始RR面化圖位於澎湖區域有異常高值，圖11(中)校正後RR面化圖可看出校正後空間中無不合理的不連續現象，圖11(右)可看出位於在台灣本島及鄰近海域格點多數為雨量下修，而較高仰角的地區格點採海洋則將雨量上修。在澎湖區域的異常高值的校正上可看出圖12不合理高值降雨有下修，幅度可達10mm/hr，且因有轉換區的應用，在空間上無明顯的不連續存在。

四、結論

由上述內容可知以PDF matching 方式移除RR系統性偏差的同時能修正雷達較高仰角時的不連續性，並利用台灣陸地RR與測站的關係保留原先希望保留的降雨強度，同時也利用了RR與CMORPH的關係修正了高仰角的不連續性。然而不同個案校正後雖仍有高低估但較長時間統計結果仍符合PDF matching校正特性其ME趨近0。

利用轉換區的設計，在使用兩種陸地海上的不同PDF資訊時可減少因PDF特性不同造成的不連續性，因此能使得校正後在空間連續上更為適當。

經由校正雷達高仰角的偏差後，在海上高仰角格點便因此受到校正，此校正資料便可能可直接應用在高仰角區域的海上觀測而不在限於陸地及近海觀測使用，或者此校正資料可結合衛星MWCMB資料建立東亞地區海陸無縫隙降水作為同步衛星高時空解析降水估計降水IRQPE所需校正真值使用，並同時作為東亞氣候監測之使用。除此之外此校正方法未來也許可採動態方式即時更新歷史季節之PDF，作為即時逐10分鐘雷達降雨校正之用。

五、參考文獻

1. Chang, P.; Zhang, J.; Tang, Y.; Tang, L.; Lin, P.; Langston, C.; Kaney, B.; Chen, C.; Howard, K. An Operational Multi-Radar Multi-Sensor QPE System in Taiwan. Bull. Am. Meteorol. Soc. 2020, 1–56.

2. Xie, P. P., and A. Y. Xiong (2011), A conceptual model for constructing high-resolution gauge-satellite merged precipitation analyses, *J. Geophys. Res.* , 116, D21106
3. 曾翊涵、陳雲蘭、劉郁青、吳冠伯、唐玉霜、馮智勇、許水德,2020, 109年天氣分析與預報研討會,A3-20
4. 劉郁青、陳雲蘭、王建國、吳冠伯、曾翊涵、唐玉霜、謝平平,2020, 109年天氣分析與預報研討會, A1-38
5. 許水德、馮智勇、唐玉霜、劉郁青、陳雲蘭,2020 109年天氣分析與預報研討會,A1-46

六、附圖

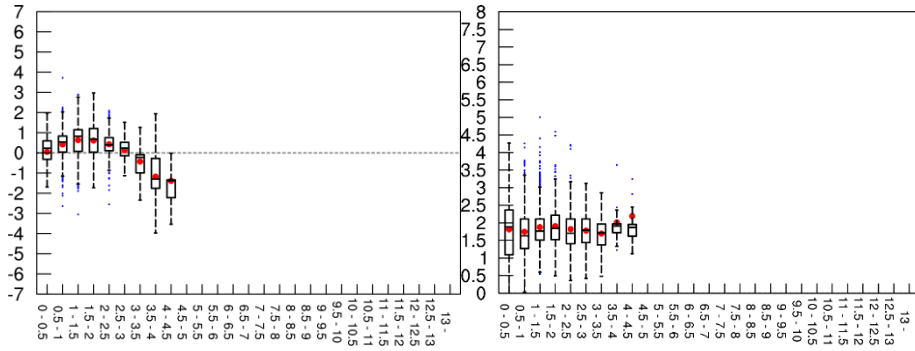


圖 1 陸地鄰近測站格點逐 0.5 公里高度差之盒鬚圖(左)ME(右)MAE

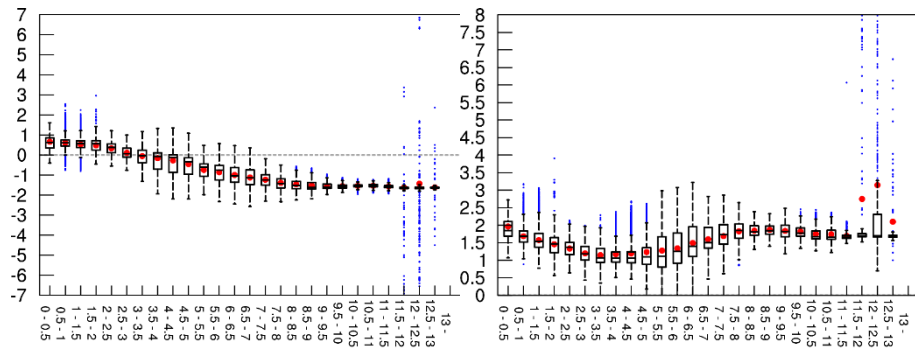


圖 2 海上格點逐 0.5 公里高度差之盒鬚圖(左)ME(右)MAE

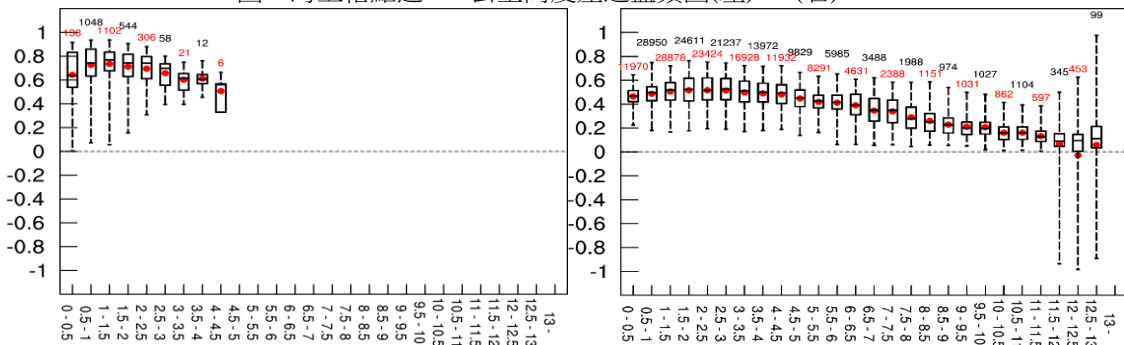


圖 3 逐格點逐 0.5 公里高度差相關性之盒鬚圖(左)陸地鄰近測站格點(右)海上格點

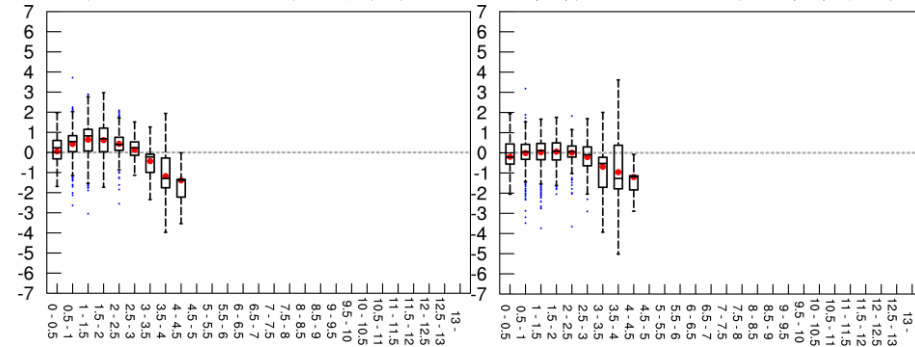


圖 4 陸地鄰近測站格點逐 0.5 公里高度差之 ME 盒鬚圖 (左)校正前(右)校正後

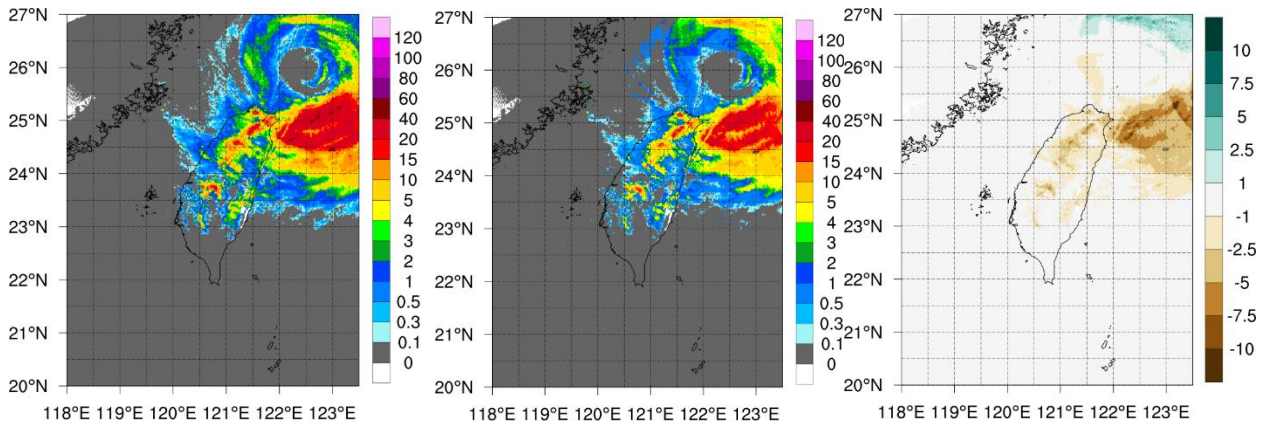


圖 5 時間 201807101730 降雨面化圖(左)RR 校正前(中)RR 校正後(右)校正後-校正前

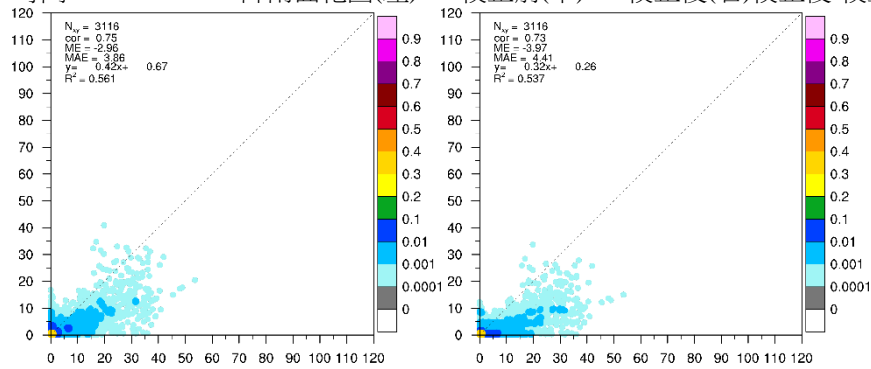


圖 6 時間 201807101730 鄰近測站 1.3 公里格點 RR 原始值(Y 軸)與真值(X 軸)散佈圖(左)校正前(右)校正後

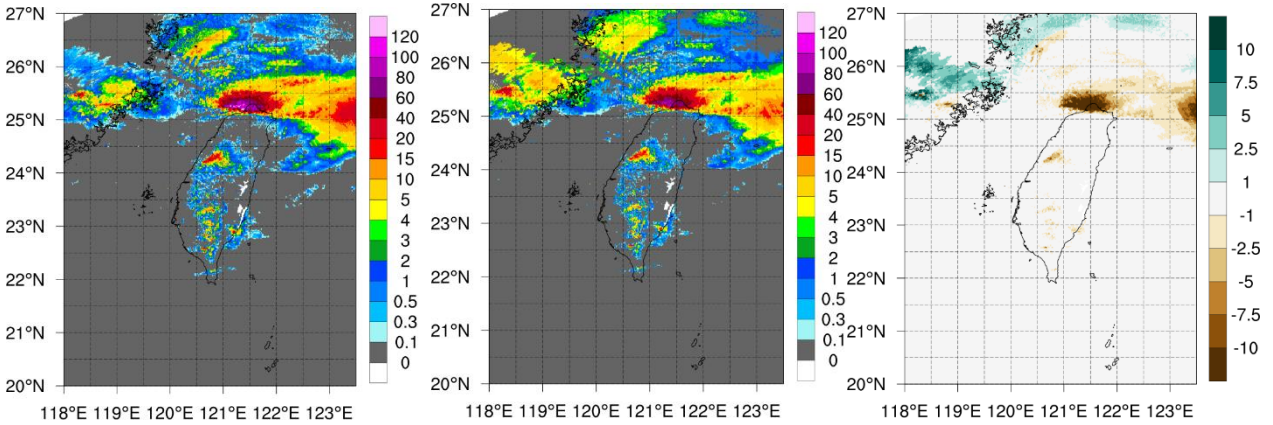


圖 7 時間 201706012230 降雨面化圖(左)RR 校正前(中)RR 校正後(右)校正後-校正前

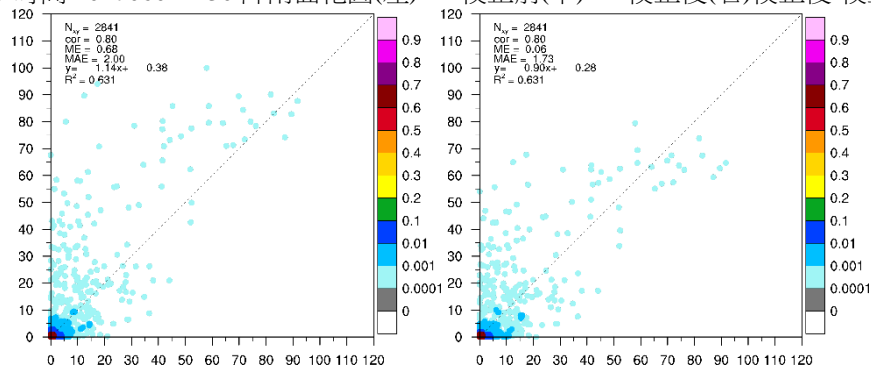


圖 8 時間 201706012230 鄰近測站 1.3 公里格點 RR 原始值(Y 軸)與真值(X 軸)散佈圖(左)校正前(右)校正後

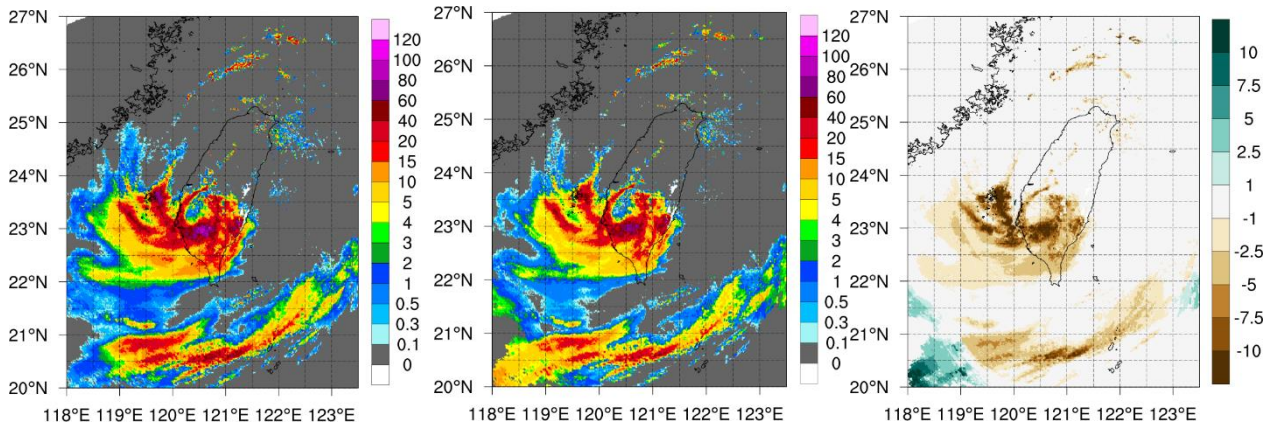


圖 9 時間 201808230530 降雨面化圖(左)RR 校正前(中)RR 校正後(右)校正後-校正前

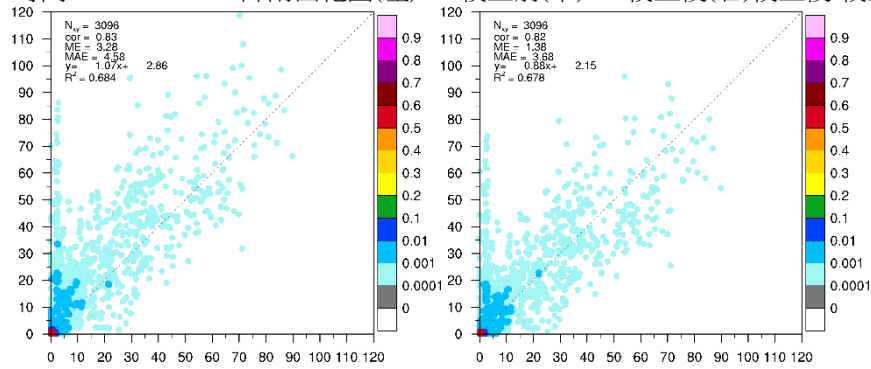


圖 10 時間 201808230530 鄰近測站 1.3 公里格點 RR 原始值(Y 軸)與真值(X 軸)散佈圖(左)校正前(右)校正後

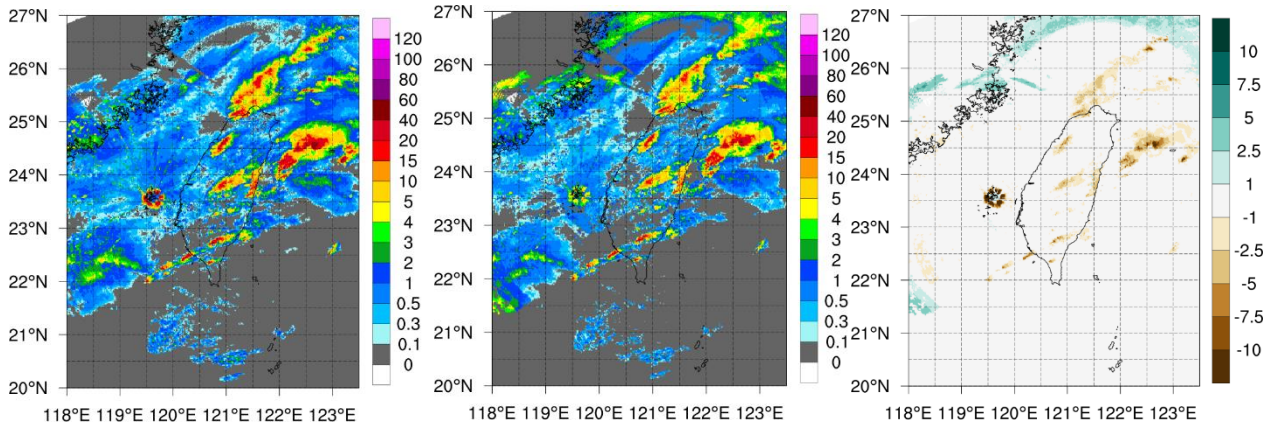


圖 11 降雨面化圖(左)RR 校正前(中)RR 校正後(右)校正後-校正前

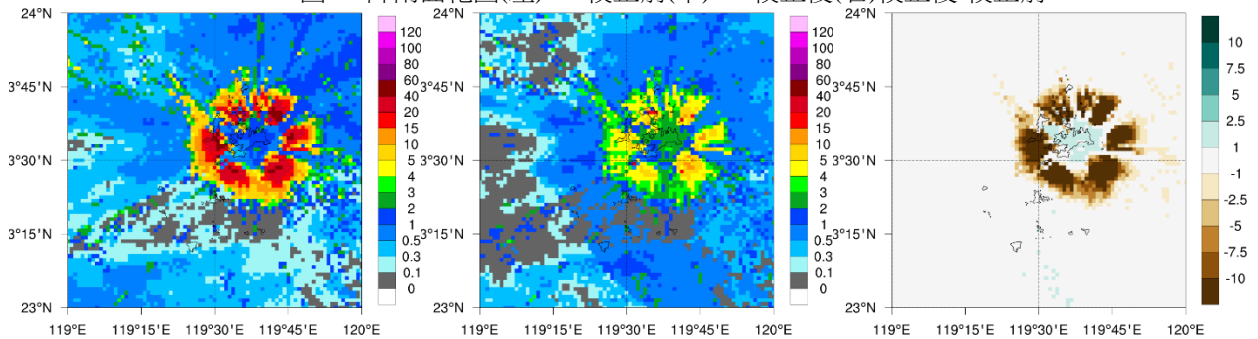


圖 12 降雨面化圖(左)RR 校正前(中)RR 校正後(右)校正-校正前

Developing radar rain rate bias correction technique based on observations of rain gauges and CMORPH satellite product

Shui-De Shiu¹, Chih-Yung Feng¹, Yu-Shuang Tang², Yu-Ching Liu², Yun-Lan Chen³

1Manysplendid InfoTech, Co. Ltd.

2Meteorological Satellite Center, Central Weather Bureau

3Research and Development Division, Central Weather Bureau

Abstract

Regarding the satellite precipitation product as the ground truth, removing bias in the radar rain rate (RR) estimates by probability distribution function (PDF) matching method can recover the continuity across the high-angle radar beams. The corrected radar rain rate, however, suffers from losing spatial detail and over-smoothing extremes in Taiwan coastal areas. By combining the rain gauge and satellite data, this study develops a procedure to keep the advantages of high resolution and rainfall extremes in the bias-free radar estimates on the land and near sea region of Taiwan.

Using data between 2017/05/01 and 2018/10/31, the seasonal RR and rain gauge gridded data pairs for constructing land PDF relationships are collected over the whole land grids and classified according to the difference of observed RR elevation and grid height, while the seasonal RR and CMORPH data pairs are collected at each marine grid for marine PDF. To remove rain rate bias on each marine grid, the marine PDF relation will be used when the observed RR elevation is higher than 4 km; otherwise, the land PDF relation will be adopted when the observed RR elevation is below 3 km. For marine grids where the observed RR elevations belong to 3~4 km, both land PDF and marine PDF will be used separately and the corrected RR will be weighted average. Case study shows that the corrected RR not only keeps the heavy rainfall observation on the land and coast of Taiwan but also eliminates the intensity gaps across the high-angle radar beams.

Keyword: bias correction, PDF matching