

2008年台灣西南部地區TRMM降雨雷達與七股雷達 回波觀測比較分析及降雨估計應用研究

蔡國榮 林沛練 廖宇慶

國立中央大學 大氣物理研究所

摘要

由於熱帶降雨觀測計畫TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)已成功執行長達十年，現在已有能力提供地基式雷達與星載雷達之間具有較高準確度的比較。因此本研究選取2008年較顯著的降雨事件作為研究對象，並且使用同時間所通過的降雨雷達 (PR)及七股雷達掃描資料，再以地面雨量站的資料作驗證，以期能夠藉由降雨雷達改進七股雷達的降雨估計能力。

研究結果顯示，高度小於五公里的區域，PR與七股雷達的回波分佈相當接近；但在五公里以上的高度，地面雷達的回波則有高估的情形。分析回波與高度的機率密度函數，發現兩者在三公里高度的分佈較一致，因此後續研究統一使用三公里高度的回波作分析。

比較兩種雷達所辨識的降雨類型，在針對大於18dBZ的回波時，兩者的分類一致性相當高，可達83%。此外，對於不同降雨型態及不同下表面時的分佈情形也相當一致，顯示PR所觀測的回波在台灣西南部地區仍具有相當高的可信度。值得一提的是兩種雷達的回波差異量，會隨著回波值的大小而呈現線性相關，而非單一的常數。

在估計降雨能力的部份，過去使用Z-R關係式估算降雨率時，時常會低估強降雨事件的降雨率。利用PR所修正後的七股雷達回波重新估算降雨，並且利用08年和雨量站資料的線性回歸式調整高降雨率的部份，能有效改進地基式雷達的降雨估計能力。而針對不同年份的強降雨個案所作的估計累計降雨，也比使用傳統Z-R關係式所估計的降雨來的準確許多。

關鍵字：TRMM PR 降雨雷達

一、前言及研究動機

由於熱帶降雨觀測計畫TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)已成功執行長達十年，現在已有足夠能力提供地基式雷達與星載雷達之間具有較高準確度的比較分析。Simpson et al. (1996)提到TRMM PR雷達是第一部搭載在衛星上，並且專門由太空觀測熱帶降雨系統的雷達。透過降雨雷達的觀測可以提供在廣大熱帶洋面上各個降水系統的內部結構等資訊。

過去由許多的研究顯示，藉由許多內部及外部的檢驗過程，皆顯示了TRMM PR的回波觀測能力具有相當高的精確度，其精確度可達 $\pm 1\text{dB}$ 的範圍。因此可以作為兩個相鄰近雷達之間的校正參考值。

(Kawanishi et al. 2000; Kozu et al. 2001; Takahashi et al. 2003; Anagnostou et al. 2001)

而在地面雷達的部份，Ulbrich and Lee (1999)與Houze et al. (2004)的研究中指出，除了Z-R關係式本身具有較高的不確定性之外，若缺乏正確的調校過程，可能會導致地面雷達在作降雨估計時會

產生相當大的誤差。另外地面雷達的調校偏移量會隨著回波值的大小有所改變，回波越強時偏移量會越大，並非單一的固定常數。因此在做地面雷達的調校時需採用線性回歸的方式作調整。

目前有許多種的方式可以得到降雨雷達與地基式雷達之間的偏移量，主要的兩種方法分別是網格配對法 (Grid Matching Method, GMM) 與區域配對法 (Area Matching Method, AMM)。若要應用在雷達估計降雨及回波的比較時，網格配對法 (GMM)會比較適當。(Bolen and Chandrasekar 2000; Anagnostou et al. 2001; Liao et al. 2001, Schumacher and Houze 2000; Wang et al. 2009)

但是無論如何，在台灣地區目前尚未有使用PR資料來對地面雷達回波進行比較的相關研究。因此本研究除了檢驗PR標準產品 2A25 在台灣地區的表現能力之外，亦希望能夠得到降雨雷達及地基式雷達之間的調校經驗式，以改善傳統都卜勒雷達的降雨估計能力。

二、資料來源

本研究所使用的資料來源分以下四個部份。

(一) PR資料

PR資料是TRMM衛星level2的標準產品2A25，此產品已經過資料檢錯，解析度為 $5 \times 5 \times 0.25$ 公里。資料的時間選取2008年有顯著降水通過七股雷達的時間，共計有23筆。

(二) 七股雷達資料

為了使降雨雷達及七股雷達間時間及空間不連續性能減小，選擇PR刈幅通過時間前後三分鐘內的七股雷達PPI掃描資料作比較分析。並且將資料內插成解析度為 $5 \times 5 \times 1.5$ 公里的網格資料。

(三) 自動雨量站資料及地形資料

本研究採用2008年整年的自動雨量站資料作雨量驗證，解析度為1hr/筆，共計有385個測站。地形資料是為了區分下表面的不同，解析度為 0.0083×0.0083 度。

(四) 個案驗證資料

在做雨量估計應用驗證的部份，分別使用2008年9月29日蜜蕾颱風及2009年8月9日莫拉克颱風的七股雷達PPI資料及時雨量資料。

三、研究方法

使用網格配對法(GMM)比較兩種雷達資料時，必須先將資料放入共同的三維網格座標上。因此，首先挑出2008年通過台灣地區且有顯著降水事件的PR刈幅資料，以及相對應時間前後三分鐘內的七股雷達PPI資料後，將兩種雷達資料以七股雷達為中心，皆內插成解析度為 $5 \times 5 \times 1.5$ km的網格資料。

分析的流程首先檢驗兩種雷達資料在垂直方向上的回波分佈特性，探討在亮帶以上與亮帶以下的差異，並且為了使得兩種雷達間因為掃描時間、解析度、觀測幾何原理及儀器限制等原因所造成的不確定性最小，我們選擇一個分析高度作為後續研究資料的選用高度。

為了比較兩種雷達對於同一個降雨系統的分類一致性。在此我們依照兩種雷達資料的各自優勢，使用不同的分類方法進行分類。

地面雷達的分類方法參考(Steiner and Houze,1995)的分類方法，此分類的使用資料為在高度2公里上且解析度為2km的回波資料。在決定降雨種類時，藉由訂定一個對流性降雨核心的閾值(39dBZ)，對流核心区及鄰近的區域皆被分類為對流降水，而非對流降水但回波值大於18dBZ的回波分類為層狀降水，小於18dBZ的回波分類為其他降水。

在TRMM PR的部份，2A25資料中包含了TRMM標準產品2A23，此2A23產品使用了Awaka(1997)年的分類演算法，包含了垂直法及水平法。垂直法首先藉由判斷降雨系

統中的亮帶存帶與否，以及高度在亮帶以下的回波是否小於40dBZ，決定為層狀降水、對流降水或其他降水。而水平法配合PR解析度的不同，以及掃描範圍介於-35度~35度之間的緣故，將原本的水平法作些微調整，其餘分類流程如原本的水平法流程進行分類。TRMM PR最後的分類結果藉由表1所決定。

經過以上分類流程後，我們針對分析高度上的回波進行兩種雷達間的回波資料比對，並且分析在不同降雨類型以及不同的下表面(陸地、海洋)時的回波差異。最後一部分，除了比較兩種雷達原本的降雨估計能力以外，也企圖藉由08年的綜合回歸式改進七股雷達的降雨估計表現。

四、結果與討論

(一) 回波觀測比較分析

1. 比對資料的高度選定

圖1分別是3公里及5公里高度上的PR及七股雷達回波，整體上PR及地面雷達所觀測到的回波分佈是相當一致的，無論是小範圍的對流系統或是大範圍的層狀系統，在分佈上皆相當一致。但細看回波值的大小可以發現七股雷達的回波比起PR有稍弱的趨勢。而在6公里和7.5公里的高度上，同樣回波的分佈相當一致，但在回波的量值上，PR卻有明顯大於七股雷達的情形。此差異是由於七股雷達的PPI資料在垂直方向上做內插時，是採取雙線性內插的方法，因此會將低層較強的回波往上層作內插，使得兩種雷達在亮帶以上的高度差異較大。(圖2)

若我們將各層的回波作平均，可得到兩種雷達回波的平均垂直剖線(圖3)。從此圖來看可以發現無論適合種類型的降雨，在亮帶以下(5km)兩者的平均是較接近的；相反地在亮帶以上的高度則彼此的差距較大。

從個數分佈圖來看，由於兩種雷達敏感度的限制，在不同的高度上會有不同的分佈情形。因此若要比較兩種雷達資料時必須使用個數分佈上較接近的資料分析。而從圖4來看，在大於18dBZ的回波部份，兩種雷達在3公里與4.5公里的高度是較為接近的。進一步利用圓點數量散佈圖表示，其中圓點的大小代表資料點的個數，每一個圓點皆代表某一時間點的資料。我們同樣發現在3公里及4.5公里的高度上，兩種雷達的相關性較高，且3公里高度的回波值方均根誤差比起4.5公里來的更小(圖5)。因此在接下來的分析，兩種雷達均採用3公里高度的資料進行分析。

2. 兩區分類結果比較

藉由垂直法(Awaka,1997)及水平法(Steiner and Houze, 1995)，我們可以針對降雨雷達與七股雷達所共同觀測到的系統進行分類。圖6與圖7分別是2008

年6月15日與2008年7月8日的個案，從圖上我們可以清楚的看到小範圍的對流性降水以及大範圍的層狀降水。沿著AB線切出一條剖面，我們可以清楚的從PR與七股雷達剖面中看到對流降水在垂直方向上的強回波，且從PR的剖面中更可在層狀降水中看到清晰可見的亮帶存在於約5公里的高度上。從剖面圖上方對應的顏色來看，大致上兩種雷達皆能分類出正確的降水種類。

統計所有回波大於18dBZ，且資料點數大於50點的兩種雷達降雨分類結果。我們可以發現兩者的分類一致性還不錯，分類一致性約為83%。基於兩種雷達的分類結果還算一致的情況下，我們未來可利用PR在垂直方向上高解析度的優勢，並配合降雨分類的結果進行相關的個案研究。

3. 偏移量

從3公里的高度，依照降雨的類型(對流、層狀)以及不同的下表面(陸地及海洋)所作的機率密度函數中來看(圖9)，下表面的不同，並沒有讓兩種雷達的回波分佈產生太大差異。但是在對流類型的部份，兩者差異較大。若利用散佈圖的形式來看彼此的差異，同樣無論在陸地、海洋或是層狀將水中的相關性及方均根誤差皆較小，顯示兩種雷達觀測的一致性(圖10)。這樣的結果與(Liao,2001)的結果一致。

為了更深入探討兩者的差異量，在此定義位移量 $O = Z_{RCCG} - Z_{PR}$ ，利用此位移量來看兩者隨回波值變化的差異量。從圖11可以清楚的看到，所有類型的散佈圖，皆有著位移量會隨著回波值的大小而改變的特性存在。換句話說，降雨雷達PR與七股雷達之間的差異量，會隨著回波值的大小成一個線性變化，回波越強，位移量也就越大。此結果顯示未來要使用降雨雷達校正地基式雷達時，必須使用線性關係式作校正，而非加入單一的常數去作調整。

(二) 雨量估計及應用

1. 降雨估計比較

在定量分析兩種雷達估計降雨能力之前，首先檢視PR對於地面降雨估計的表現。圖12為2008年7月18號的個案，基本上PR雷達是有能力進行地面降雨的估計，且在降雨的分佈上相當一致，也不會受到地形上的限制。

兩種雷達進行降雨估計的方法，首先將地面雨量站資料內插至最接近的網格點上，接著在該網格點上的回波，取半徑25公里內的回波作平均，以避免點對點比較所產生的高不確定性。最後使用此平均回波並搭配2008年統計的Z-R關係式換算時雨量。從散佈圖來看，兩種雷達在時雨量較小時表現較好，而在時雨量大於8mm時則有明顯的偏低。大致上來說PR的方均根誤差略小於七股雷達所估計的雨量(圖13)。若細看大於8mm的部份，PR的散佈情

形相對於七股雷達而言，較集中於自己的回歸線。若我們能想辦法調整大於8mm的時雨量，使其接近一比一的線，是否能得到不錯的結果呢？

圖14為經過調整後的估計雨量散佈圖，我們可以發現表現相當好，但是這有兩個前提，第一是必須要為PR的觀測回波，第二是必須有實際降雨值。因此，我們利用08年PR與七股雷達的回波關係式，將七股雷達調整成與PR相同的頻譜分佈，如圖15所示。透過調整七股雷達的回波特性，我們可以得到類似於PR所觀測的回波特性，再用此回波反演一個降雨估算值。

接著，此降雨估算值仍然會低估強降雨率的部份。因此我們利用08年高降雨率與雨量筒之間的統計回歸式，可以反推一組雨量修正參考值。此雨量參考值再藉由下列兩式改變降雨分佈特性。

$$R_1 = \bar{R} + R'$$

$$R_2 = \bar{R} + R' \times \sqrt{\frac{\sum A}{\sum B}}$$

R_1 是原本的降雨估算值， R_2 是修正後的降雨估算值， \bar{R} 是降雨平均， R' 是降雨擾動， $\sum A$ ：實際雨量方差， $\sum B$ ：雨量修正參考值方差。利用調整降雨擾動場的方差，我們可以得到一組較佳的雨量修正參考值。最後利用此雨量修正參考值將反演得到的降雨估算值且大於8mm的部份往上作調整，我們可以得到圖16。透過這樣的方式調整原本七股雷達所估計的降雨表現，方均根誤差下降，且在高降雨率的部份也不再嚴重低估。

2. 個案驗證

在此選擇兩個顯著降水的個案來看改進方法的表現，分別如圖17和圖18所示。圖17為08年薔蜜颱風在7/29的修正前及修正後所估算的日累積雨量。而圖18則為09年莫拉克颱風在8/9的日累積雨量。在兩個個案的方均根誤差皆有非常顯著的下降，相關性也提高。更重要的在高降雨率的部份沒有過份低估的情形產生，也顯示的確改善了傳統都卜勒雷達估算降雨時的限制。

五、結論

在本研究中利用08年具有顯著降水事件的PR資料以及七股雷達PPI資料，探討PR雷達在台灣西南部地區的回波觀測能力，並試圖藉由PR雷達資料改進七股雷達降雨估計能力。

在回波的分佈特性上，無論是何種類型的降雨，PR與七股雷達的分佈特性在亮帶以下的高度皆較亮帶以上來的一致。而雖然兩種雷達使用不同的方法對降雨系統進行分

類,但是針對大於 18dBZ 的回波,其分類的一致性可達 80% 以上。未來可利用 PR 在垂直方向上具有高解析度的優勢,對熱帶降雨系統進行更深入的研究。

而在分析高度上(3km),不同的下表面(陸地、海洋),其頻譜分佈特性並無顯著差異。但是在對流性降雨中,比層狀降雨具有更高的不確定性,因此回波的頻譜分佈的差異也較大。此外,兩種雷達之間的回波差異量,會隨著回波值的大小有所改變,並非單一的常數。因此若要利用 TRMM PR 對兩個相鄰近的地面雷達進行調校時,必須使用線性的方式作調整會較恰當。

最後,透過 08 年 PR 與七股雷達回波的回歸式,將七股雷達調整成 PR 回波分佈特性。再使用高降雨率部份的回歸式調整弱降雨的部份,能夠改進傳統都卜勒雷達的降雨估計能力。透過不同年份的兩個個案(薈蜜、莫拉克)作驗證,也同樣改進了降雨估計的表現。

六、參考文獻

- Anagnostou, E. N., C. A. Morales, and T. Dinku, 2001: The use of TRMM precipitation radar observations in determining ground radar calibration biases. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **18**, 616-628.
- Awaka, J., T. Iguchi, H. Kumagai, and K. Okamoto, 1997: Rain type classification algorithm for TRMM precipitation radar. *Proc. Int. Geoscience and Remote Sensing Symp.*, Suntec City, Singapore, **IEEE**, 1633-1635.
- Bolen, S. M., and V. Chandrasekar, 2000: Quantitative cross validation of space-based and ground-based radar observations. *J. Appl. Meteor.*, **39**, 2071-2079.
- Houze, R. A., Jr., S. Brodzik, C. Schumacher, and S. E. Yuter, 2004: Uncertainties in oceanic radar rain maps at Kwajalein and implications for satellite validation. *J. Appl. Meteor.*, **43**, 1114-1132.
- Kawanishi, T., and Coauthors, 2000: TRMM precipitation radar. *Adv. Space Res.*, **25**, 969-972.
- Kozu, T., and Coauthors, 2001: Development of precipitation radar on board the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **39**, 102-116.
- Liao, L., R. Meneghini, and T. Iguchi, 2001: Comparisons of rain rate and reflectivity factor derived from the TRMM precipitation radar and the WSR-88D over the Melbourne, Florida site. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **18**, 1959-1974.
- Schumacher, C., and R.A. Houze Jr., 2000: Comparison of radar data from the TRMM satellite and Kwajalein oceanic validation site. *J. Appl. Meteor.*, **39**, 2151-2164.
- Simpson, J., C. Kummerow, W.-K. Tao, and R. F. Adler, 1996: On the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). *Meteor. Atmos. Phys.*, **60**, 19-36.
- Steiner, M., R. A. Houze Jr., and S. E. Yuter, 1995: Climatological characterization of three-dimensional storm structure from operational radar and rain gauge data. *J. Appl. Meteor.*, **34**, 1978-2007.
- Takahashi, N., H. Kuroiwa, and T. Kawanishi, 2003: Four-year result of external calibration for Precipitation Radar (PR) of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, **41**, 2398-2403.
- Ulbrich, C. W., and L. G. Lee, 1999: Rainfall measurement error by WSR-88D radars due to variations in Z-R law parameters and the radar constant. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **16**, 1018-1024.
- Wang, J., and D. B. Wolff, 2009: Comparisons of Reflectivities from the TRMM precipitation Radar and Ground-Based Radars. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **26**, 857-875.

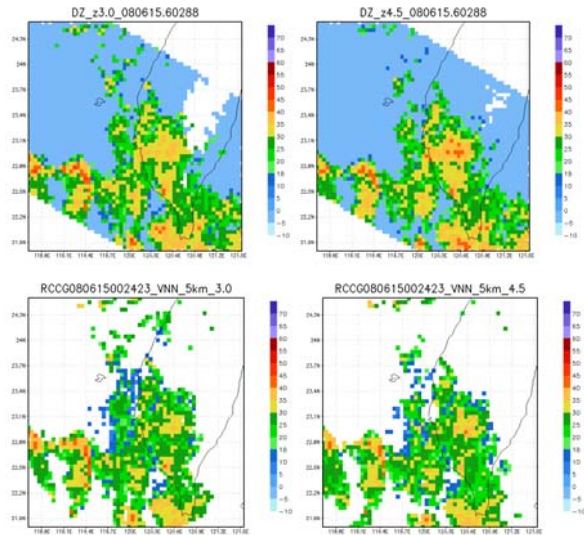


圖1 左上至右下,分別是PR與七股雷達在3公里和4.5公里的回波分佈

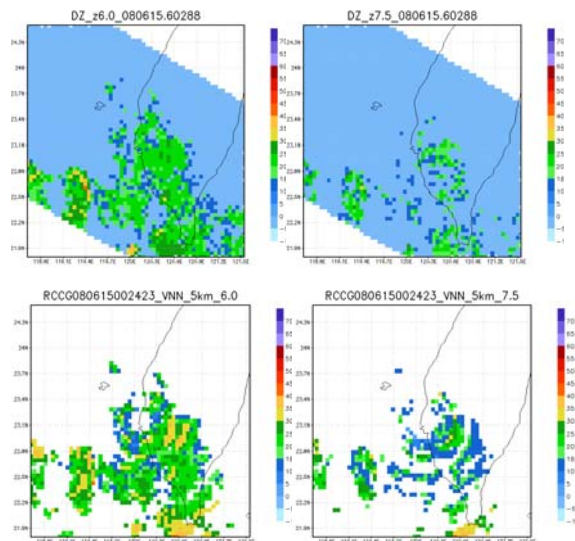


圖2, 左上至右下, 分別是PR與七股雷達在6公里和7.5公里的回波分佈

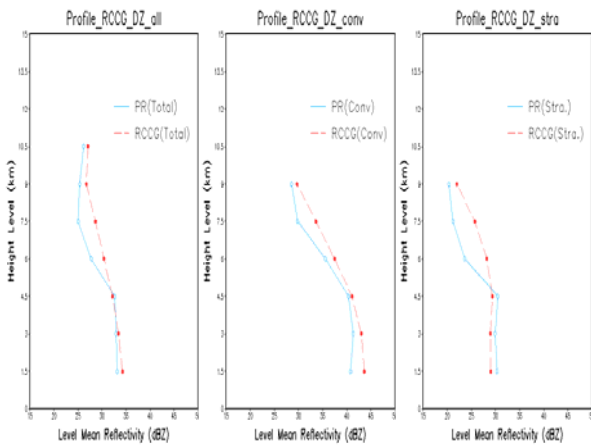


圖3 有左至右, 全部、對流、層狀性平均回波垂直剖線。

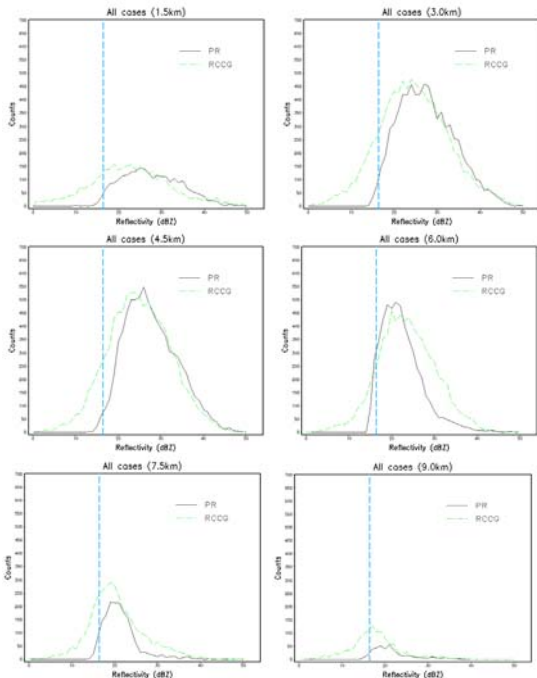


圖4 有左至右, 由上至下分別為1.5km,3km,4.5km, 6km,7.5km,9km回波個數隨回波強度的分佈特性

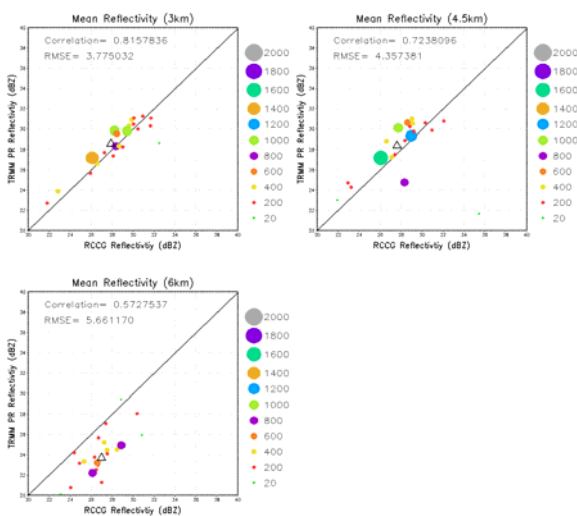


圖5 RCCG回波與PR回波散佈圖, 圓點大小表示資料比數 分別是3公里,4.5公里及6公里。

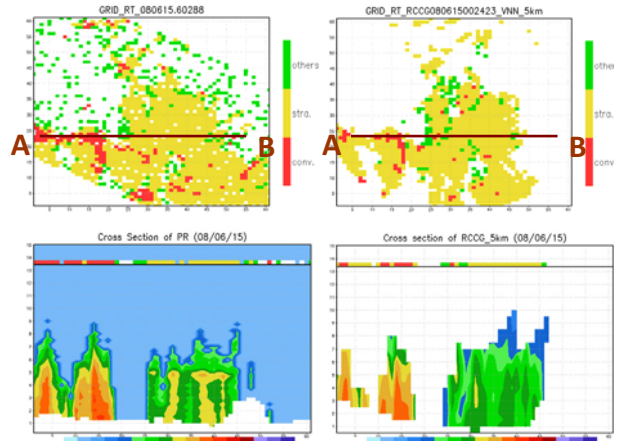


圖6 上方為PR與RCCG分類, 下方為沿AB所切的剖面。

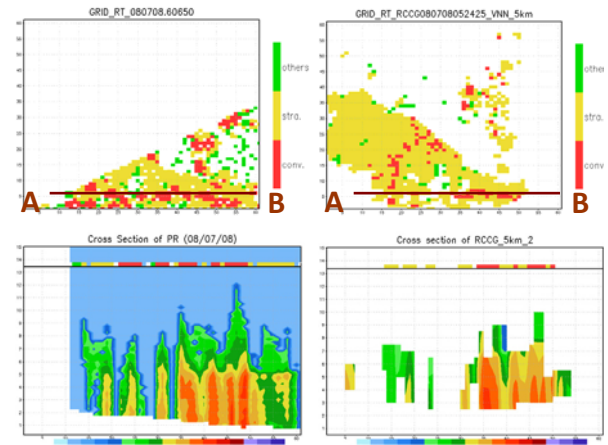


圖7 上方為PR與RCCG分類, 下方為沿AB所切的剖面。

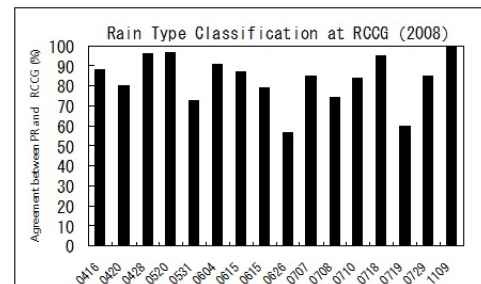


圖8 PR與RCCG分類一致性長條圖。

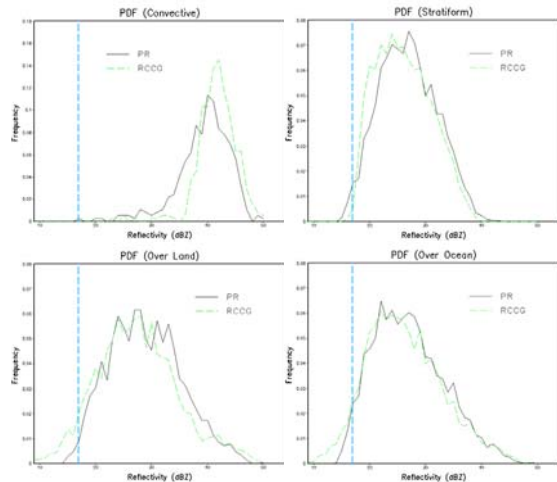


圖9 分別是對流、層狀、陸地及海洋的頻譜分佈圖。

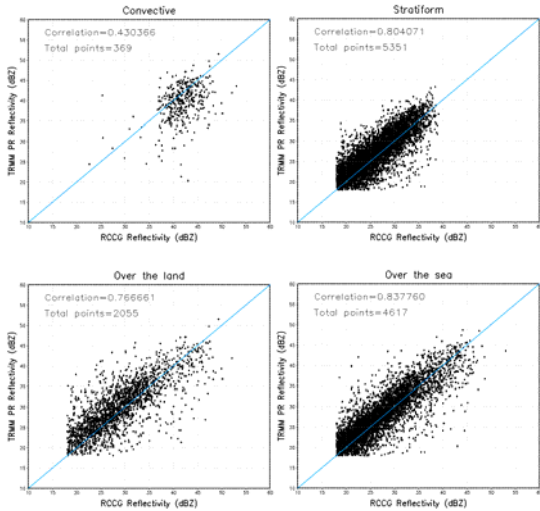


圖10 分別為對流、層狀、陸地及海洋的回波散佈圖。

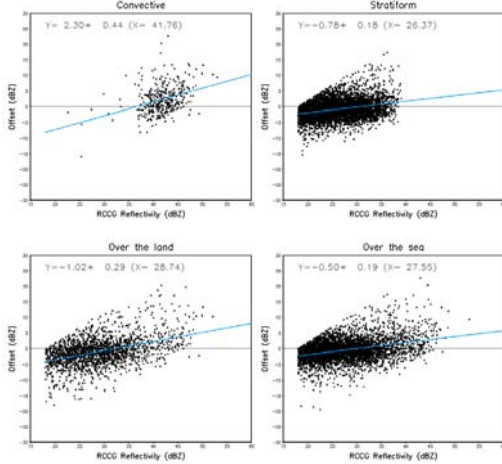


圖11 分別為對流、層狀、陸地及海洋的位移量散佈圖。

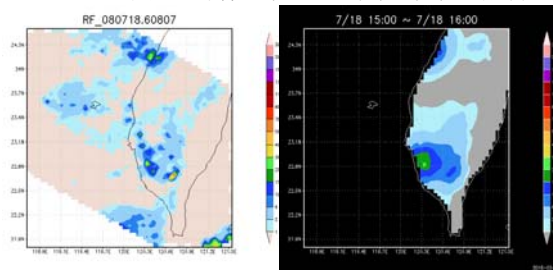


圖12 分別是PR與地面雨量站的時雨量分佈圖(2008/7/18)

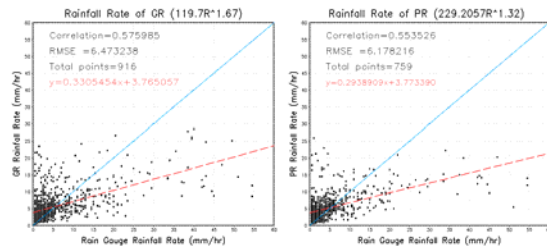


圖13 分別是RCCG與PR對地面雨量站的雨量散佈圖。

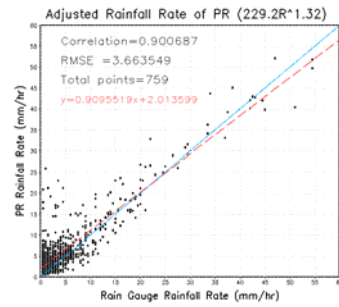


圖14調整後的PR雨量對實際雨量散佈圖。

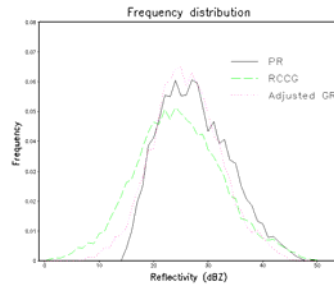


圖15 調整前後的RCCG回波與PR回波頻譜分佈圖

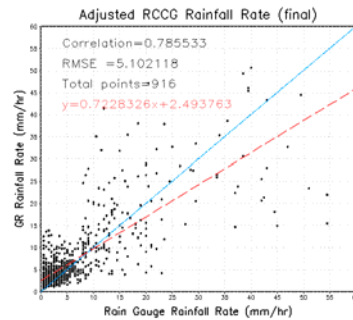


圖16 最後調整完的RCCG估計降雨與實際降雨散佈圖。

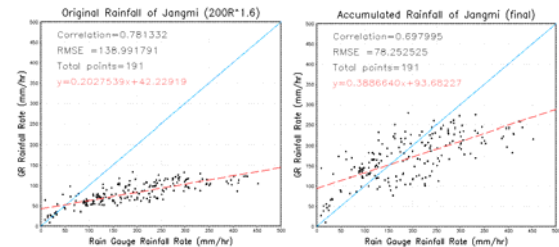


圖17 蕃蜜颱風修正前及修正後的日累積雨量散佈圖。

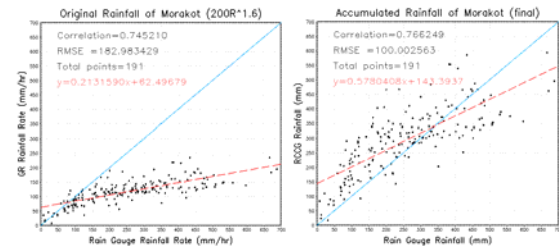


圖18 莫拉克颱風修正前及修正後的日累積雨量散佈