

# 利用臺灣雷達資料精進衛星降水估計之技術發展

許水德<sup>1</sup> 馮智勇<sup>1</sup> 唐玉霜<sup>2</sup> 劉郁青<sup>2</sup> 陳雲蘭<sup>3</sup>  
多采科技有限公司<sup>1</sup> 中央氣象局衛星中心<sup>2</sup> 中央氣象局科技中心<sup>3</sup>

## 摘要

氣象衛星觀測資料具備觀測面積廣大及觀測資料品質一致的特徵，能幫助了解台灣周遭海面無雷達及測站分布區域的降水特徵，另一方面雷達觀測資料會因為距離越遠而不確定性增加，因此能藉由衛星在空間連續的特性修正雷達，且由於在臺灣地區雷達觀測覆蓋率高，在陸地區域降水估計之解析度與精度更優於衛星觀測，因此可進一步發展結合衛星與雷達觀測之降水估計整合技術建立海陸無縫隙降水資料。

本計畫使用雷達降雨率(QPE rain rate)、MWCORB 衛星降水資料與 CMORPH 降水資料，時間起迄為20170501-20181031，實驗方式以 PDF matching 方法校正雷達資料並利用卡門濾波整合雷達與衛星資料，結果為對 MWCORB 衛星資料而言利用卡門濾波整合則能使雷達較高解析的降雨資訊融入衛星較低解析的資料中，進而得到細部的特徵獲得優勢。另一方面對雷達資料來說則修正了在空間範圍內右上及左下角區域的不連續性部分，並補足雷達未看到但衛星有看到降雨的區域，但損失了 QPE rain rate 中較高解析的資訊及強降雨的極值。

關鍵字：卡門濾波、偏差校正、PDF matching

Keyword: kalman filter, bias correction, 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屬有所幫助，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預報系統即時的預報技術，便能使防災預警在極短期降雨事件中，爭取應變時間，達到有效的前期部屬防範及即時因應。

氣象衛星觀測資料具備觀測面積廣大及觀測資料品質一致的特徵，能幫助了解台灣周遭海面無雷達及測站分布區域的降水特徵，而雷達資料在觀測上具有較高解析的特性，但目前雷達觀測資料有隨著距離越遠仰角越高其不確定性增加的現象，考慮衛星在空間誤差分布均勻特性，利用計算雷達與衛星MWCORB相關性，其顯示仰角高度越高相關性越低如圖 1，因此本計畫希望能藉由衛星在空間連續的特性來修正雷達在高仰角時的誤差，又由於在臺灣

地區雷達觀測覆蓋率高，在陸地區域降水估計之解析度與精度更優於衛星觀測，因此可進一步發展結合衛星與雷達觀測之降水估計整合技術建立海陸無縫隙降水資料精進衛星降水。

## 二、資料與方法

本研究使用雷達定量估計降水(QPE rain rate)、及NOAA CPC 所產出的 MWCORB 衛星估計降水產品及 CMORPH 衛星降水資料，時間解析度為30分鐘降雨資料單位為 mm、空間解析度為 0.0125 度，時間起迄為20170501至20181031，區域選擇為118E-123.5E、20N-27N。MWCORB 資料量為10187筆，與雷達QPE資料匹配如圖 2(左)約有6100筆，將兩組資料濾除均為0的時間點如圖 2(右)僅有96個格點資料量大於50%(約5050筆)，降雨季節則分為FMA、MJ、JAS、ON、DJ。

為融合雷達與衛星資料，參考 Joyce et al (2011) 所述利用衛星紅外線(infrared, IR)估計降水、衛星被動微波(passive microwave, PMW)的降水估計資料，

分別以北美地面雷達觀測為依據計算相關係數值，將其計算結果視為估計不確定性，代入卡門濾波最佳估計權重式，而產製CMORPH降水產品的最佳估計架構。

Joyce et al (2011)文獻中式(4)中可以得知最佳估計值必介於觀測及預報間，舉例而言預報存在系統性偏差且量值遠超過觀測時，因而使得觀測及預報特性不同量值差距懸殊，此時不論權重為何都會影響其估計真值，因此須校正預報的系統性偏差，將量值及特性校正至與觀測相同，便能利用卡門濾波整合兩者資料獲得最佳真值。而在使用此方法時需有第三方真值，在原文獻中是以雷達估計降水為參考真值，本計畫則使用 CMORPH 為參考真值改以分季節的 RMSE 作為權重式使用其權重表達式如下：

$$KF = \frac{\sigma_{MWCORB}^2}{\sigma_{QPE}^2 + \sigma_{MWCORB}^2} \cdot QPE + \frac{\sigma_{QPE}^2}{\sigma_{QPE}^2 + \sigma_{MWCORB}^2} \cdot MWCORB \quad (1)$$

其中為  $\sigma$  為分季節之 RMSE。

由前述得知在進行卡門濾波整合兩組資料前為避免資料特性差異太大，希望兩者具有相同資料行為，在此前提下，須對資料系統性偏差進行校正，使得兩組資料特性及量值大小相似。在過去已知資訊中，我們得知雷達QPE估計降水具有受隨雷達觀測距離的增加時，仰角增加使得不確定性增加的特性，而衛星資料則是在空間上誤差較均勻，因此我們將利用衛星空間均勻的行為修正雷達觀測距離越遠不確性增加的特性，我們根據文獻 Xie and Xiong (2011) 中得知可以利用 PDF matching 方法進行校正，PDF matching 方法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 QPE 在頻率與強度上接近 MWCORB，進而達到利用 MWCORB 空間誤差均勻分布的特性，來校正雷達距離越遠不確性越高的系統性偏差目的。最終經PDF校正後便能使得相同降雨頻率下，被調整方

(QPE)在偏低(高)的降水強度修正(低)至與調整方 MWCORB相同之降水強度。

在校正方式上，考慮季節降雨特性不同，針對五個季節上分別建立 CPDF，以及在格點上保持格點的特性，採逐格點校正，但在建模過程中為使得統計資料增多又不願意有過多格點影響特性，本計畫以鄰近1格點方式統計資訊。

為了避免不同雷達間有不同的系統性誤差，因此我們利用格點上每次雷達觀測仰角高度為依據，將格點上相同觀測高度視為同類雷達所觀測，以保證為同類雷達所觀測，配合 MWCORB 30分鐘的資料，我們只採逐30分鐘內3次10分鐘皆為相同高度的資料作為依據使用。在建立過程中我們發現在格點上具有多種觀測高度圖 3(左)，可達30種以上，若改以每0.5km區分圖 3(右)其中最多可分為10種，若以0.5公里區分並統計不同高度的格點資訊資料量將有所不足，因此參考中央氣象局 衛星中心所提出之建議以高度0-0.5公里、0.5-3公里、3公里以上建立格點 3 組高度的 CPDF。在統計 QPE 雷達資料格點上大於0.1mm降雨過程中如圖 4(左)可以看出高度高於6公里後資料量較少約100次以下，因資料量問題我們將只關注在高度0-6公里範圍內的特性，大於高度6公里則僅做為參考。

在使用上利用MWCORB及雷達估計降水建立不同高度及不同季節的 CPDF，其具有相同起訖時間資訊，建立完成後，利用每次觀測所對應的季節及高度資訊，對應相同季節與高度之 CPDF 資訊，便能修正系統性偏差。

為使雷達 QPE 特性偏向 MWCORB 因此在校正後量化分析以 MWCORB 為參考真值，比較校正前後差異，本計畫所使用的量化校驗統計值公式如下：

平均誤差：

$$\frac{\sum(\hat{y}-y)}{n} \quad (2)$$

式中  $y$  為 MWCORB(真值)， $\hat{y}$  為被 QPE 降水估計值， $n$  為樣本數，下同。平均誤差(Mean Error, ME)

為誤差之平均值，用以分析誤差的偏差高或低估程度。  
方均根誤差：

$$\sqrt{\frac{\sum(\hat{y}-y)^2}{n}} \quad (3)$$

方均根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)為誤差的標準偏差，用以分析雷達降水估計值偏離真值的平均程度。

### 三、校正結果與案例討論

比較 MJ、JAS 季節校正結果，以0.5公里高度分類方盒圖圖 5圖 6皆顯示校正後在0-6公里內 ME 接近0，且隨觀測仰角高度的增加，校正後其 ME 都有往0值靠近的特徵，此逐格點按季節校正的方式符合 PDF-matching 方法特性及預期。

#### 1. 個案201808230530

圖 7為時間 201808230530 之個案，可以看出 PDF matching後QPE降水量值接近MWCOMB的量值分佈，也將左下角118.5E、20N附近之降水調整至與MWCOMB相近使其增加連續性此區域為雷達觀測高度較高處(約6公里)，也下修了馬公附近高值區域。此個案中卡門濾波整合後可以看到雷達未觀測到的降雨如122E、23.5N附近能將MWCOMB有觀測整合進去，以及修掉左下角部分的不連續性，在121E、26N附近有保留雷達高解析度的特性將雷達較高降雨值的部分整合進資料中。

#### 2. 個案201807101730

圖 8為時間 201807101730 之個案，可以看出同圖 7結果，QPE降水量值接近MWCOMB的量值分佈。同時右上角123E、26.5N附近之降水調整至與MWCOMB相近使其在雷達觀測高度較高處(約6公里)增加連續性。此個案中卡門濾波整合後修掉右上角部分的不連續性，在121E、26N附近有保留雷達高解析度的特性將雷達較高降雨值的部分整合進資料中。

### 四、結論

由上述內容可知以PDF matching 方式移除QPE系統性偏差的同時能修正雷達較高仰角時的不連續性，並將量值調整至與MWCOMB相同，使降雨特性與MWCOMB相同，符合PDF matching的調整特性。

對衛星資料而言利用卡門濾波整合則能使雷達較高解析的降雨資訊融入衛星較低解析的資料中，進而得到細部的特徵獲得優勢。另一方面也對雷達資料來說則修正了空間範圍(高仰角區域)右上及左下角的不連續性。

### 五、參考文獻

1. Joyce, R. J., P. Xie, and J. E. Janowiak, (2011), Kalman filter-based CMORPH. *J. Hydrometeor.*, 12, 1547–1563.
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

## 六、附圖

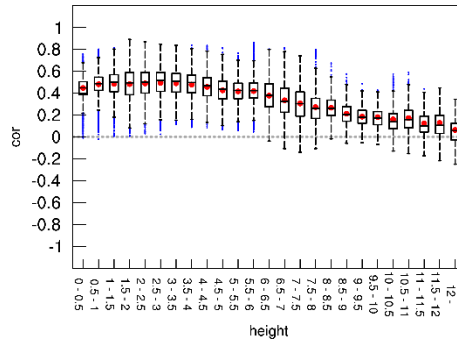


圖 1 逐格點相關性以 0.5 公里分類之方盒圖

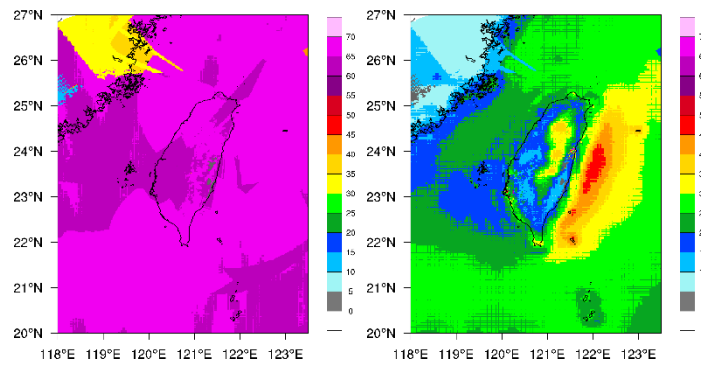


圖 2 左為格點資料量百分比、右為濾除 QPE 及 MWCOMB 兩組均為 0 降雨之資料百分比

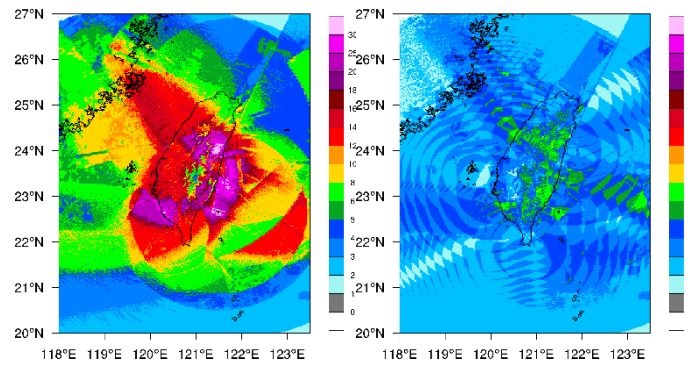


圖 3 仰角高度觀測次數圖(左)分類前(右)分類後

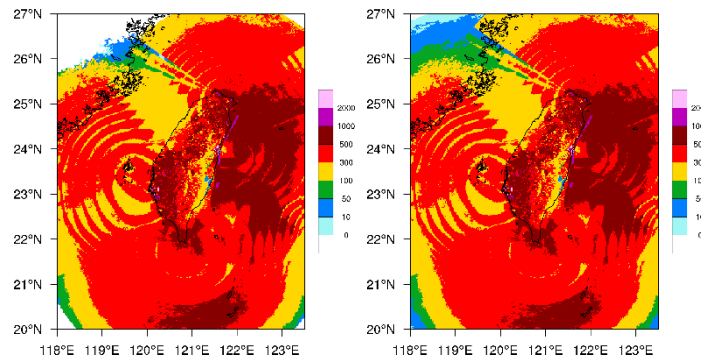


圖 4 仰角高度 0.1mm 降雨次數圖(左)高度 0-6 公里(右)高度 0-12 公里

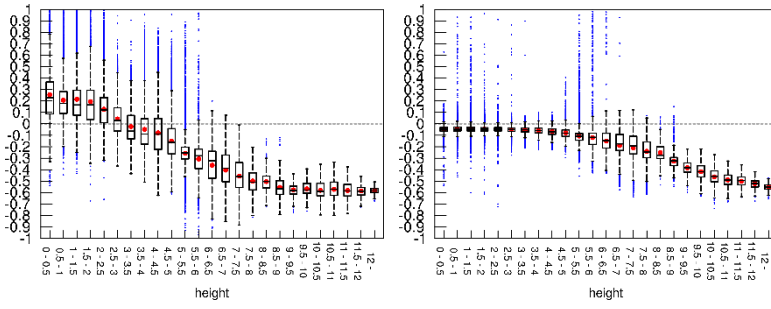


圖 5 MJ 逐格點高度分類 ME(左)校正前(右)校正後 X 軸高度分類 Y 軸 ME 值

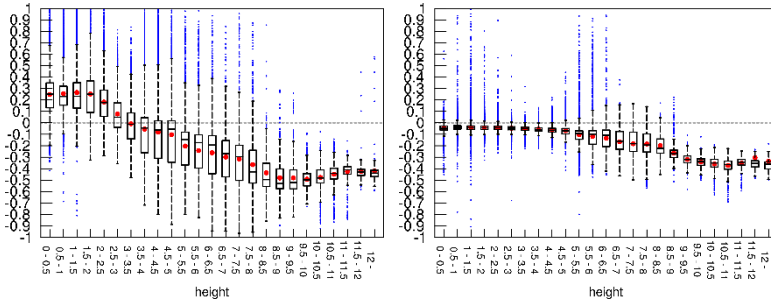


圖 6 同圖五，但為 JAS

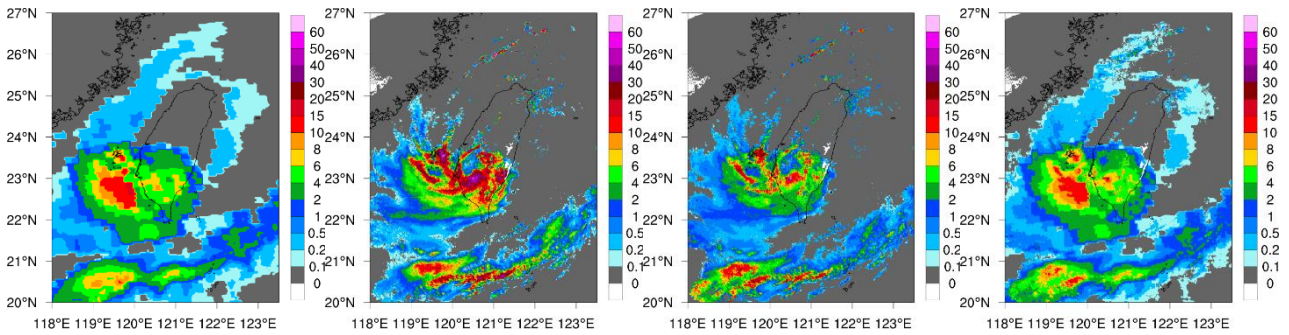


圖 7 個案 201708230530 左至右分別為 MWCOMB、QPE、校正後 QPE、KF 融合結果

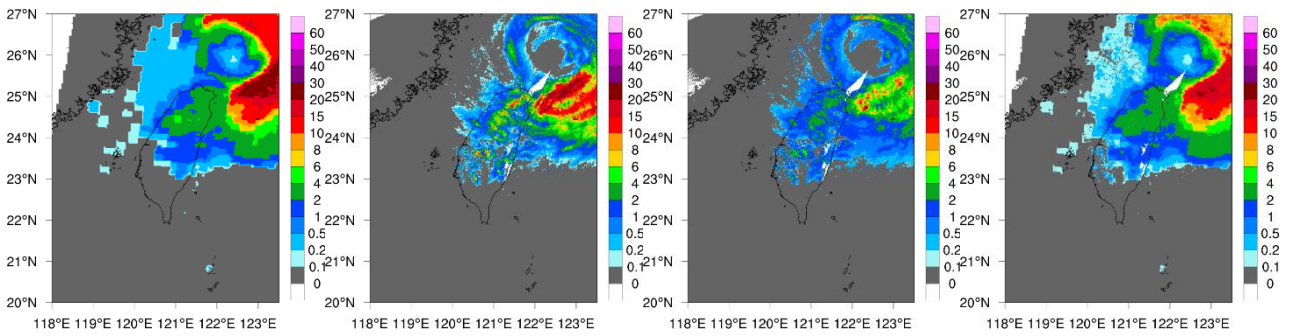


圖 8 同圖 7 個案為 201807101730

# **The development of optimizing the satellite rainfall estimation by using Taiwan radars' data**

**Shui-De Shiu<sup>1</sup>, Chih-Yung Feng<sup>1</sup>, Yu-Shuang Tang<sup>2</sup>, Yu-Ching Liu<sup>2</sup>, Yun-Lan Chen<sup>3</sup>**

**1. Manysplendid Infotech**

**2. Meteorological Satellite Center**

**3. Research and Development Center**

## **Abstract**

The observation data from Meteorological satellites has features of large observing area and consistency quality, and it can help to know the rainfall features between sea surface area that is out of radar range and weather station distribution area. On the other hand, the observation data from radar could increase the uncertainty because of longer distance. However, it has high cover rate in Taiwan, its resolution and accuracy about rainfall estimation in surface area is better than the observation data from Meteorological satellites. Therefore, it is able to build land-sea seamless data by the integration technology from satellites and radars.

This program used QPE Rain rate、MWCOMB satellite rainfall data and CMORPH rainfall data. Time period started from 20170501 to 20181031. This way to do this experiments are calibrating the radar data by using PDF matching method and using Kalman filter to combine radar and satellite data. The result for MWCOMB satellite data is that using Kalman filter combination could make higher resolution radar rainfall data into lower resolution satellite rainfall data, in advance of getting advantage by getting small scale's features. On the other hand this could not only fix the discontinuity part on the upper right and lower left corner area in radar data's spatial scale, but also replenish the rainy area that radar is missed but satellite is captured. Nevertheless, it lost the high resolution information and the extreme value of heavy rainfall from QPE radar data.

Keyword: kalman filter, bias correction, PDF matching