

IRQPE 新衛星估計降水改進研究

Improving IRQPE by adjusting the PDF matching setting

吳冠伯² (Wu G.-B.) 陳雲蘭¹ (Chen Y.-L.) 劉郁青² (Liu Y.-C.) 唐玉霜² (Tung Y.-S.)
王建國² (Wang C.-K.) 陳德璋¹ (Chen D.-W.)

¹中央氣象局科技中心 ²中央氣象局衛星中心
¹Research Development Center, Central Weather Bureau
²Meteorological Satellite Center, Central Weather Bureau

摘要

本報告為氣象局「同步衛星定量降水估計技術發展」計畫工作，該計畫自國外引入機率密度函數擬合 (Probability Density Function Matching, PDF-Matching) 方法建立微波降雨率與紅外線頻道亮溫之非線性關係，完成訓練模組建置後，接續產製近 3 年的衛星估計雨量 (IRQPE)。經資料品質評估及應用測試，初步結果顯示 IRQPE 初版資料已可以有效表現亞太地區大範圍兩區分布型態，不過對於區域性數十公里內降水特徵的掌握仍不完全。故本研究針對臺灣周邊區域進行降水估計技術改進，於雲與降水關係式建立程序中進行調整測試，除了調整 CPDF 建表之空間採樣單元解析度及時間參數之外，亦善用台灣本地觀測資料置換建立關係式時所需之地面參考真值。初步分析結果顯示，將空間採樣單元解析度由 50 公里提高至 10 公里，在雨型特徵及雨量估計量值都有改善案例，不過對於一些弱降水個案，亦有錯估情形，並考量於不同季節降雨特性情況下，仍需搭配其他參數之調整進行優化改善。在替換真值方面，雲與降水的關係式亦可見改善，估計值可較好反應台灣各區雨量的細部表現，惟此方面在訓練時需注意雨量站網小時降雨率估計值的穩定性。

關鍵字：衛星估計降水

一、前言

衛星的降水估計技術自1980年代開始發展，具備觀測範圍廣，可提供海上的觀測資料，且不受地形遮蔽影響之特性，廣為世界氣象單位發展降水估計技術所採用 (George et al. 2006)。隨著衛星觀測技術的進步，衛星降水估計技術也持續精進中，但其估計結果仍差強人意，其原因除了受限於衛星觀測資料的特性外，降雨分布在時間及空間上的變化大，加上其複雜的物理機制，都增加了衛星降雨估計的難度(王，2001)。因此，為了能在廣大範圍內正確且有效地估計降雨量，改善衛星估計降水技術一直都是氣象遙測努力的方向及目標。

為符合降雨隨時且隨地變化的特性，氣象局發展的衛星降水估計技術著重於整合微波頻道及紅外線頻道資料，利用微波頻道能穿透雲層直接觀測到雲層內含水量的特性，動態修正紅外線頻道亮溫與降雨率的關係，同時也彌補了微波資料時空解析度

低的缺點。衛星中心現行作業的降雨估計產品為改良美國 NOAA/NESDIS/ STAR 於 2010 年發展的 SCaMPR法(Self-Calibrating Multivariate Precipitation Retrieval)。此法雖根據台灣地區的降水特徵不斷進行參數優化，卻始終受限於其用線性回歸建置關係式的做法，而使降雨估計結果不是很令人滿意。為改善此缺點，本中心於2019年底引入由謝平平博士提供之機率密度函數擬合(Probability Density Function Matching, 後稱PDF-Matching)法，此法是使用累積百分位函數，建立微波降雨率與紅外線亮溫的關係，藉由實際觀測資料的統計特性來估計目標時間降水，打破原本只能用線性回歸建置關係式的限制。

PDF-Matching法的程式模組已於計畫第一年建置完成，並產製了近3年衛星估計雨量資料(IRQPE)，經資料品質評估及應用測試分析，初步結果顯示 IRQPE初版資料已可有效表現亞太地區大範圍兩區分布型態，不過對於區域性數十公里內降水特徵的掌握仍不完全。故本研究將針對臺灣周邊區域進行

降水估計技術作改進，於雲與降水關係式建立程序中進行調整測試，除了調整CPDF建表之空間採樣單元解析度及時間參數之外，亦會善用台灣本地觀測資料置換建立關係式時所需之地面參考真值。

二、資料與方法

PDF Matching法是基於「發展越高的雲，雲頂溫度越低，也越容易降水」的原理，針對每 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 之網格點，分陸地和海洋，建立其紅外線亮溫與微波降雨率之關係式，所使用之資料說明如下：

(一) 微波頻道所反演之降雨資料為使用混和式降雨率資料(MWCOMB)，整合了多種衛星之微波反演降雨率，並以日本GPM(Global Precipitation Measurement)衛星為基準做星際校對((Inter-Satellite Calibration)，空間解析度為 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ ，時間解析度為30分鐘，是PDF-Matching法使用的訓練真值。

(二) 紅外線亮溫資料使用日本同步衛星HIMAWARI-8之第14頻道($11.2\mu\text{m}$)亮溫資料，空間解析度2公里，為配合其訓練真值，統一調整其空間解析度為 $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 之等經緯網格資料。

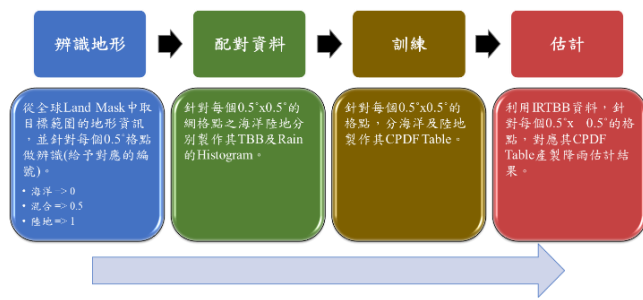


圖1 PDF Matching 降雨估計流程圖。

PDF-Matching法的流程圖如圖1，各步驟的詳細說明如下：

2.1 辨識地形

辨識每個 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 之網格點，並給予其編號，海洋為0，混合為0.5，陸地為1，辨識結果如圖2。

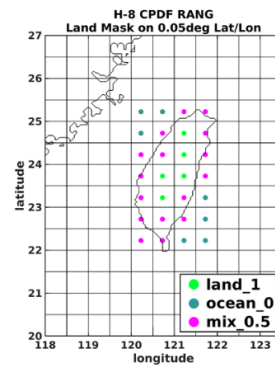


圖2 地開辨識圖。

2.2 配對資料

以 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 為一個範圍，微波降雨以每0.2mm做分類，共分255類(0mm ~ 51mm)；亮溫以每1K做分類，共分255類 (330K ~ 76K)。計算在每一個分類下的個數，將越暖的亮溫值對應到較小的雨量值；將越冷的亮溫值對應到較大的雨量值，以符合「發展越高的雲，雲頂溫度越低，越容易降水」的假設。

為了使亮溫與雨量之關係式更具有代表性，以2000筆資料為門檻。針對目標時間(即後續估計流程所要估計降雨之亮溫資料時間)作時間窗區以及變動空間窗區的資料數據的累積計算，如圖3。

- (1) 時間窗區：目標時間前後15天及前後3小時。
- (2) 空間窗區：初始距離門檻為150km，依2000筆的降雨次數作為門檻改變採樣半徑。(150km =>250km=>500km=>750km)

亮溫和雨量數據累積完後，分別除以總數整合成累積機率密度函數(Cumulative Probability Density Function, 後續稱CPDF-V0表)之形式，如圖4。

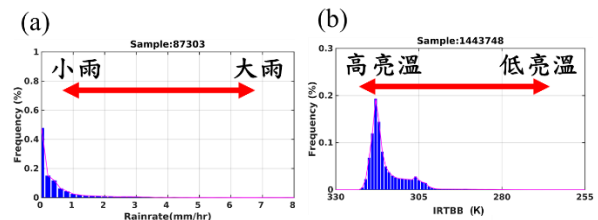


圖3 頻率分布圖(Histogram)。(a) 雨量；(b) 亮溫。

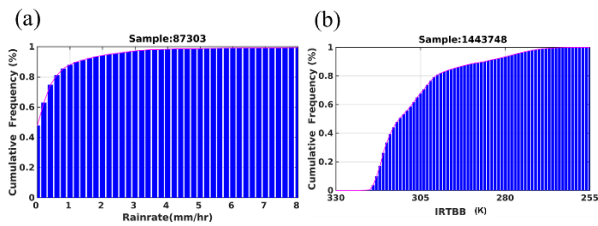


圖4 累積機率密度函數圖。(a) 雨量；(b) 亮溫。

2.3 訓練

透過亮溫與雨量之CPDF百分位數值，內插降雨估計數值(PRCP)，針對每一K皆對應到一個降雨值。當亮溫之百分位數值介於雨量的第n類百分位數與第n+1類百分位數之間，就會以下列內插公式計算估計值：

$$PRCP = Rain_n - 0.1 + 0.2x[(Per_{n+1Rain} - Per_{nTB}) / (Per_{n+1Rain} - Per_{nRain})]$$

其中n為第幾類(1~255類)，PRCP為降雨估計值， $Rain_n$ 為第n類雨量值， Per_{nRain} 為雨量第n類百分位數， Per_{nTB} 為亮溫第n類百分位數。訓練完之亮溫與雨量關係式如圖5。

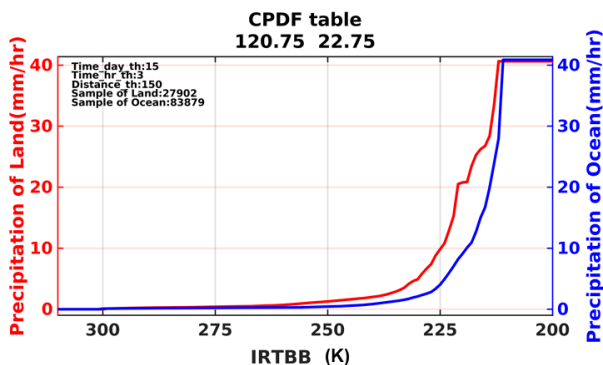


圖5 亮溫與雨量之關係圖，紅線為陸地，藍線為海洋。

2.4 估計

根據訓練好的亮溫與雨量之關係式，將每個 0.05° 亮溫資料對應其 0.5° 之關係式估計降水值，產製目標時間之降水估計資料(後稱IRQPE-V0)。

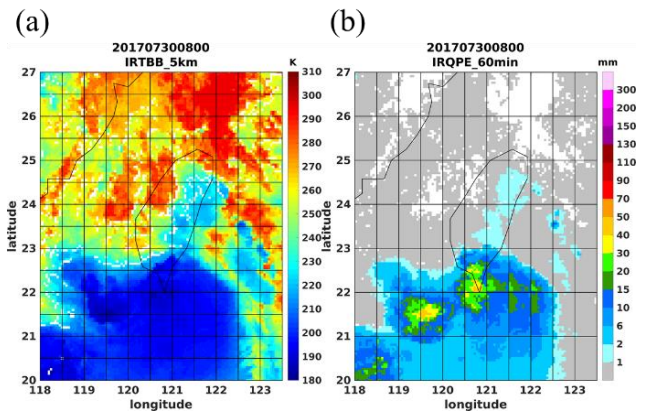


圖6 2017年7月30日08UTC估計降雨示意圖。(a)目標時間之紅外線亮溫資料；(b)目標時間之降雨估計結果。

本研究針對臺灣周邊區域(經度 $118.0E \sim 123.5E$ 、緯度 $20.0N \sim 27.0N$)進行降水估計技術作改進，研究時間區間為2021年1月至2021年8月。本研究可分為兩部份，第一部份改進將於雲與降水關係式建立程序中進行調整測試，調整CPDF建置之空間採樣單元解析度，從每 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 建置改至每 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 建置，並與國際參考真值CMORPH (CPC Morphing Technique)進行海上的比較，進而評估對於區域性數十公里內的降水系統特徵辨識度之掌握有無改善提升。第二部分為善用台灣本地觀測資料，將建立關係式時所需之地面參考真值由原本的MWCMB資料置換成地面雨量站網之資料，置換後將IRQPE結果與地面雨量站網(後稱STN)之觀測分布作比對，評估善用台灣陸地觀測真值之改善效益如何，降雨估計值有無反映出台灣各區域雨量之細部表現。

三、CPDF表空間採樣單元解析度調

整測試分析

本節主要是探討在建置CPDF表過程中，將空間採樣單元解析度從每 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 建置改至每 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 建置，如圖7示意圖之改法，後續產製之IRQPE估計降雨資料分別以IRQPE_50km及IRQPE_10km作命名。

首先從降水空間分佈圖來看個案海上估計結果之比較，圖8個案時間為2021年4月14日，可以很明顯看到訓練過程中不同採樣單元解析度對於後續IRQPE降雨估計的結果是有明顯影響的，與CMORPH相比之下，IRQPE_10km較IRQPE_50km看

到更多的降雨細節，IRQPE_10km的降雨細節辨識度是提高了。從雨強頻率圖(圖9a)顯示IRQPE_10km在降雨發生機率的分布較接近參考真值CMORPH的分布，IRQPE_50km估計值大多落在0-5mm這個區間。從頻率散佈圖(圖9b,c)中可以很明顯看到提高採樣單元解析度後，整體分布趨勢IRQPE_10km較IRQPE_50km往對角線集中，IRQPE_50km有很明顯低估的情形。進一步再透過季節的量化分析來看，圖10a雨強頻率分布圖顯示IRQPE_10km在雨量大於30mm的降雨機率分布有較貼近CMORPH的發生機率；相對的雨量小於30mm的部分除了冬季有IRQPE_10km發生機率接近CMORPH，春夏兩季則為調整前後皆有小雨偏多的現象。從季節頻率散佈圖(圖10b,c)中分布顯示冬春夏三季的表現於採樣單元解析度調整後，整體皆有往對角線集中的現象。

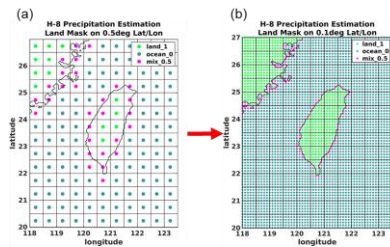


圖7 CPDF表不同採樣單元解析度示意圖。(a) CPDF_50km；(b)CPDF_10km。

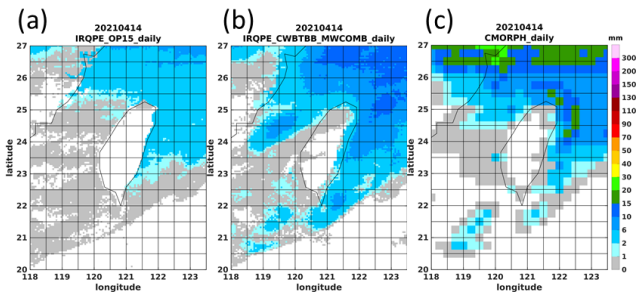


圖8 2021年4月14日 IRQPE日累積雨量空間分布圖。(a)IRQPE_50km；(b)IRQPE_10km；(c)CMORPH

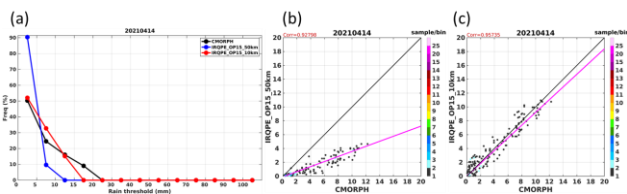


圖9 2021年4月14日 量化分析圖。(a)雨強頻率分布圖，藍線IRQPE_50km，紅線IRQPE_10km，黑線CMORPH；(b)頻率散佈圖，x軸為CMORPH，y軸為IRQPE_50km；(c)頻率散佈圖，x軸為CMORPH，y軸為IRQPE_10km。

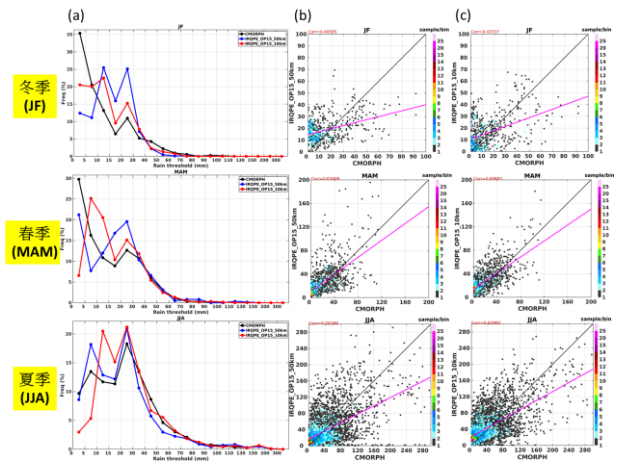


圖10 2021年季節量化分析圖，由上而下分別為冬季、春季、夏季。(a)雨強頻率分布圖，藍線IRQPE_50km，紅線IRQPE_10km，黑線CMORPH；(b) 頻率散佈圖，x軸為CMORPH，y軸為IRQPE_50km；(c)頻率散佈圖，x軸為CMORPH，y軸為IRQPE_10km。

四、台灣陸地降水訓練真值置換之效益評估

本節善用台灣本地觀測資料，將建立關係式時所需之地面參考真值由原本的MWCOMB資料置換成地面雨量站網(STN)之資料，且採樣單元解析度採用 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ ，後續產製之IRQPE估計降雨資料以IRQPE_10km_STN作命名。首先先從個案空間降雨分布來比較，圖11個案時間為2021年1月11日冬季個案，可以很明顯看到此個案降雨分布有很大的不一樣，圖11a中IRQPE_10km雨區主要分布於台灣西北側，與圖11c參考真值STN相比後，東半部宜蘭花蓮的訊號並無掌握到，反觀圖11b中置換的陸地訓練真值後，在相同的雲頂亮溫下IRQPE_10km_STN有把東半部宜蘭花蓮的雨區估出來，且南部原本有雨的區域也修正掉了。接著從個案量化分析的結果來看，從雨強頻率圖(圖12a)顯示陸地訓練真值置換前後有

著顯著的差異，置換前小雨的發生機率過多，置換後與參考真值STN的機率分布更貼近了；且從頻率散佈圖(圖12b,c)中可以很明顯看到空間上點對點的比對下，置換前IRQPE_10km大多都是低估，置換後有往對角線修正，仍有過度預報之處，尚須改善。進一步再透過季節的量化分析來看，圖13a兩強頻率分佈圖顯示置換真值後IRQPE_10km_STN於冬春夏三個季節皆與參考真值STN有著較接近的機率分布，尤其於夏季的置換前後的差異較為明顯。從季節頻率散佈圖(圖13b,c)中分佈顯示冬春夏三季表現明顯顯示了置換訓練真值後，整體分佈表現皆有往對角線集中，於冬季的差異更為顯著，代表台灣陸地訓練真值置換後是有改善估計之表現，使估計結果與地面測站實際觀測結果更為貼近。

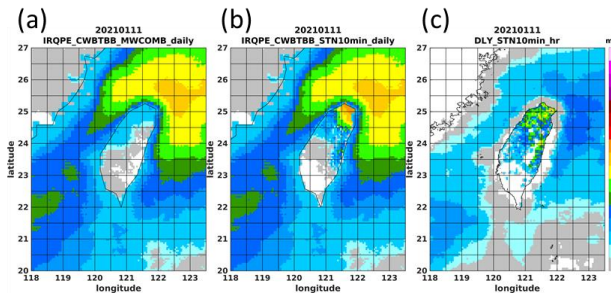


圖11 2021年1月11日 IRQPE日累積雨量空間分佈圖。(a)IRQPE_10km；(b)IRQPE_10km_STN；(c)STN。

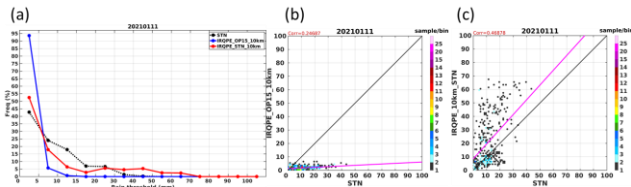


圖12 2021年1月11日 量化分析圖。(a)兩強頻率分佈圖，藍線IRQPE_50km，紅線IRQPE_10km，黑線CMORPH；(b)頻率散佈圖，x軸為STN，y軸為IRQPE_10km；(c)頻率散佈圖，x軸為STN，y軸為IRQPE_10km_STN。

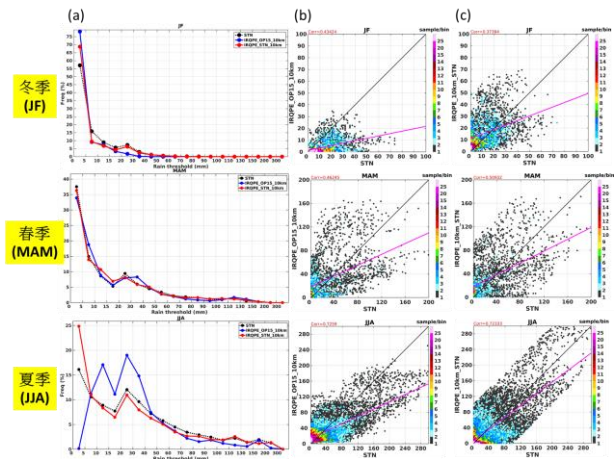


圖13 2021年季節量化分析圖，由上而下分別為冬季、春季、夏季。(a)兩強頻率分佈圖，藍線IRQPE_50km，紅線IRQPE_10km，黑線CMORPH；(b)頻率散佈圖，x軸為STN，y軸為IRQPE_10km；(c)頻率散佈圖，x軸為STN，y軸為IRQPE_10km_STN。

五、結論

本研究針對臺灣周邊區域(經度118.0E~123.5E、緯度20.0N~27.0N)進行降水估計技術作改進，研究時間區間為2021年1月至2021年8月。本研究可分為兩部份，第一部份改進將於雲與降水關係式建立程序中進行調整測試，調整CPDF建置之空間採樣單元解析度，從每 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 建置改至每 $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ 建置。第二部分為善用台灣本地觀測資料，將建立關係式時所需之地面參考真值由原本的MWCMB資料置換成地面雨量站網之資料。總結如下：

- (1) 透過調整CPDF建置解析度，結果顯示提高建置CPDF之解析度後，增加了IRQPE對於區域性數十公里內的降水系統特徵辨識度，改善了IRQPE的估計表現。
- (2) 將台灣陸地訓練真值做置換後，空間分佈上有很大的改善，修正了降雨空間分佈的表現，於相同亮溫下使IRQPE估計結果與實際觀測結果分布更貼近。

本研究亦會透過不同參數組合調整設定(天數窗區、小時窗區)，針對台灣區域提出最佳的參數組合方案，並提供個案改善評估結果。同時也將引入雷達降水資料作測試，評估引入雷達後有無更進一步的改善IRQPE估計結果。

參考文獻

王光華，2001：由衛星資料探討台灣地區降雨雲特性與降雨量關係。*大氣科學*，**29**，109-124。

Huffman, G. J., and Coauthors, 2007: The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales.*J. Hydrometeor.*, **8**, 38–55.

Kidd, C., Kniveton, D.R., Barrett, E.C., “The advantages and disadvantages of statistically derived–empirically calibrated passive microwave algorithms for rainfall estimation,” *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 55, Issue 9, pp. 1576–1582, 1998.

Abstract

The Central Meteorological Bureau introduced the PDF Matching new satellite precipitation estimation technology (IRQPE) at the end of 2019. This technology used the infrared channel brightness temperature data (11.2 μ m) of the Japanese geosynchronous satellite HIMWARI-8 and the mixed rainfall rate data MWCORB. The technique was developed and its 3-year daily rainfall outputs from the first preliminary version has shown qualified for the large-scale rainfall pattern monitoring applications. This study further aim for improving the IRQPE by adjusting the PDF matching setting. Two main tasks are (1) adjusting the sampling collection unit from 50km to 10km in formulating the relationship between cloud and surface precipitation, (2) incorporating the surface rain gauge network observations as the reference ground true over land. The preliminary results from both adjusting approaches are promising.

Key words: Satellite precipitation estimation, PDF matching