

衛星紅外線亮溫與雨量關係於臺灣區域特性分析-使用 PDF Matching 法

吳冠伯¹ 劉郁青¹ 王建国¹ 陳雲蘭² 曾翊涵²

中央氣象局氣象衛星中心¹ 中央氣象局科技中心²

摘要

中央氣象局於 2019 年底引入 PDF Matching 新衛星降水估計技術(簡稱 IRQPE)，使用資料分別為日本同步衛星 HIMAWARI-8 之紅外線頻道亮溫資料(11.2 μ m)以及混和式降雨率資料 MWCOMB，並於 2020 年上半年完成程式模組建置。

本 PDF Matching 技術採用「發展越高的雲，衛星紅外線亮溫越低，越容易降水」的假設。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，以符合基本假設。其技術針對每 0.5 度 x 0.5 度之網格點，分成海洋與陸地，利用非線性百分位數函數建立微波降水與紅外線頻道亮溫的關係。

本文透過蒐集 2017 年 5 月至 2019 年 12 月近三年紅外線亮溫與微波降水之關係式，分析近三年臺灣周邊區域亮溫與降水之氣候特徵，了解亮溫與降水之關係於海洋與陸地隨時空之變化特性，進而從亮溫與降水之氣候特徵，提出參數調整之方案。初步結果顯示，亮溫與降水之關係於海洋與陸地的表現於季節表現中，夏季為四季中相對穩定的一個季節，春季、秋季、冬季相對不穩定，且亮溫與降水之關係隨著亮溫越高低溫所對應到之降水越不穩定。季節之年際變化結果顯示，除夏季之外，亮溫與降水之關係於每年皆有著不同的特性。本研究亦會以紅外線亮溫與微波降水於台灣之氣候特性，作為 PDF Matching 參數調整依據。

關鍵字：紅外線亮溫、微波降水

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。因此，為了能在廣大範圍內正確且有效地估計降雨量，改善衛星估計降雨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 法的程式模組已於上半年建置完成，為進一步瞭解 PDF-Matching 法應用在衛星估計降水的表現，分析亮溫與降雨率在不同時空下關係的變化趨勢是很重要的。本研究透過分析近三年臺灣周邊區域的亮溫與降水關係式，在不同季節、區域及天氣系統下之氣候特徵，期望能對 PDF-Matching

法在台灣周邊的特性有較好的掌握，此分析結果同時也能作為後續在地化參數調整之參考依據。

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。

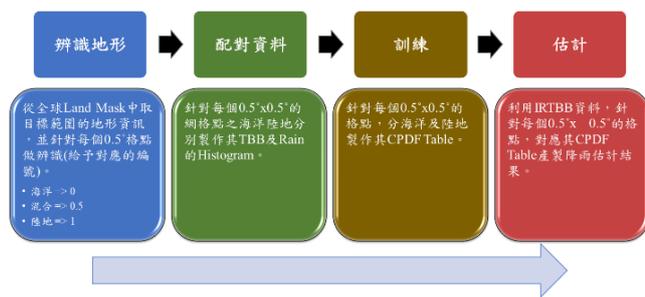


圖1 PDF Matching 降雨估計流程圖。

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。

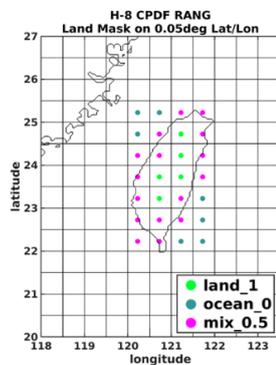


圖2 地形辨識圖。

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。

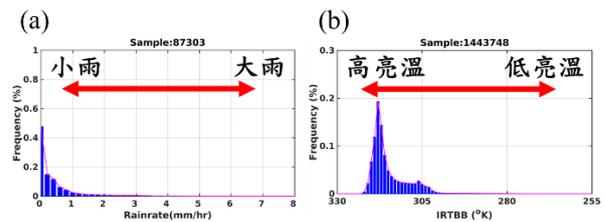


圖3 頻率分布圖(Histogram)。(a) 雨量；(b) 亮溫。

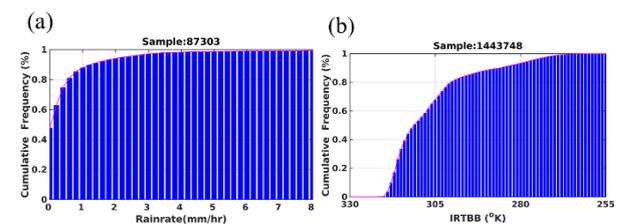


圖4 累積機率密度函數圖。(a) 雨量；(b) 亮溫。

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：

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

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， $Per_{n_{Rain}}$ 為雨量第n類百分位數， $Per_{n_{TBB}}$ 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。

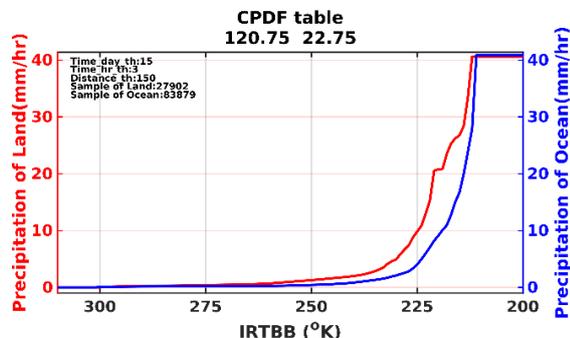


圖5 亮溫與雨量之關係圖，紅線為陸地，藍線為海洋。

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)。

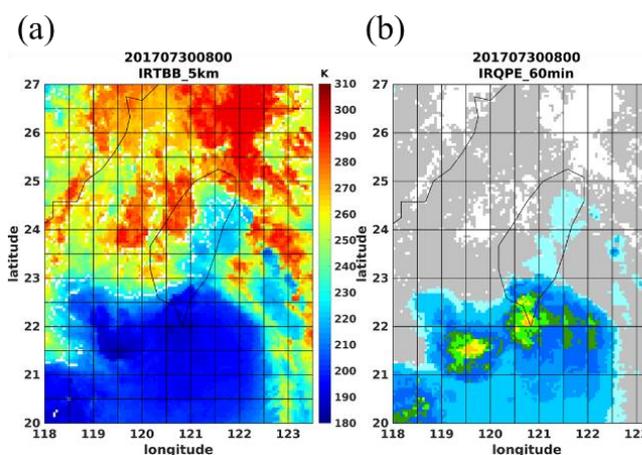


圖6 2017年7月30日08UTC估計降雨示意圖。(a)目標時間之紅外線亮溫資料；(b)目標時間之降雨估計結果。

本研究產製了近三年的CPDF-V0表及IRQPE-V0資料(2017年5月至2019年12月)，藉由氣候統計特性幫助了解亮溫與雨量在台灣周邊區域之關係，特性分析將分時間及空間兩部分，第一部分是分別取海及陸四個格點做統計分析，分別為台灣陸地(121.25E、23.75N)、臺灣西南方海面(119.25E、

21.75N)、東南方海面(122.25E、21.75N)、東北方海面(122.25E、26.25N)，探討有無地形對於關係式之影響為何；第二部分從時間的角度，將近三年的資料分四個季節，探討不同季節和年際變化對於亮溫與雨量關係式之影響，除此之外，由於台灣周邊區域的降雨型態會因天氣系統而不同，本研究也嘗試針對短時間的天氣個案做CPDF表特性分析。挑選的天氣個案包括颱風(24天)、滯留鋒面(19天)、東北季風(28天)、冷鋒鋒面(29天)，為表現單一天氣系統的特性，這四類天氣事件的天數中，已將複合型的天氣型態(多種天氣事件影響的環境)之天數給濾除。

PDF-Matching降水估計法現階段的訓練參數為參考美國NOAA/CPC使用的全球參數，適合用於氣候應用，若要符合即時作業需求，則須針對時間及空間參數做調整。因此，為解決即時作業可能有無法涵蓋到未來降水系統特徵的問題，本研究引入氣候法的概念，嘗試用過去相同時間的亮溫及雨量產製一年的關係式(後稱CPDF-Climate表)，與CPDF-V0表做比對，初步評估其可用性。CPDF-Climate表的參數為收集目標時間過去3年(2017年5月至2019年12月)的亮溫和雨量資料進行訓練，其時間窗區(前後15天、前後3小時)與空間窗區(外擴150km)設定皆不變。

三、紅外線亮溫與微波降水時空特性分析

圖7顯示CPDF-V0表(以台灣陸地及其東南方海面為例)在不同時空下降雨率隨著亮溫的變異量，變異量大的地方代表在相同亮溫下所對應之估計降雨量可以差異很大。從整體來看，亮溫與雨量之關係式皆有隨著亮溫越低，降雨率的變異量越大的趨勢，可以粗略以225K作為一分界，亮溫大於225 K時對應到的降雨率變異量較小，越冷則降雨估計的不確定性較大，差異可至100mm以上；而從細部表現來看，亮溫與雨量之關係式則會因不同的地理位置、不同的季節、以及不同的年份而有著不同的特性表現。四個季節中，關係式於夏季的變化特性相對於其他季節穩定，變化趨勢於年際間較為一致。關係式於海洋與陸地相較之下，海洋之關係式隨著亮溫越低所對應之降水的變異量較陸地大。

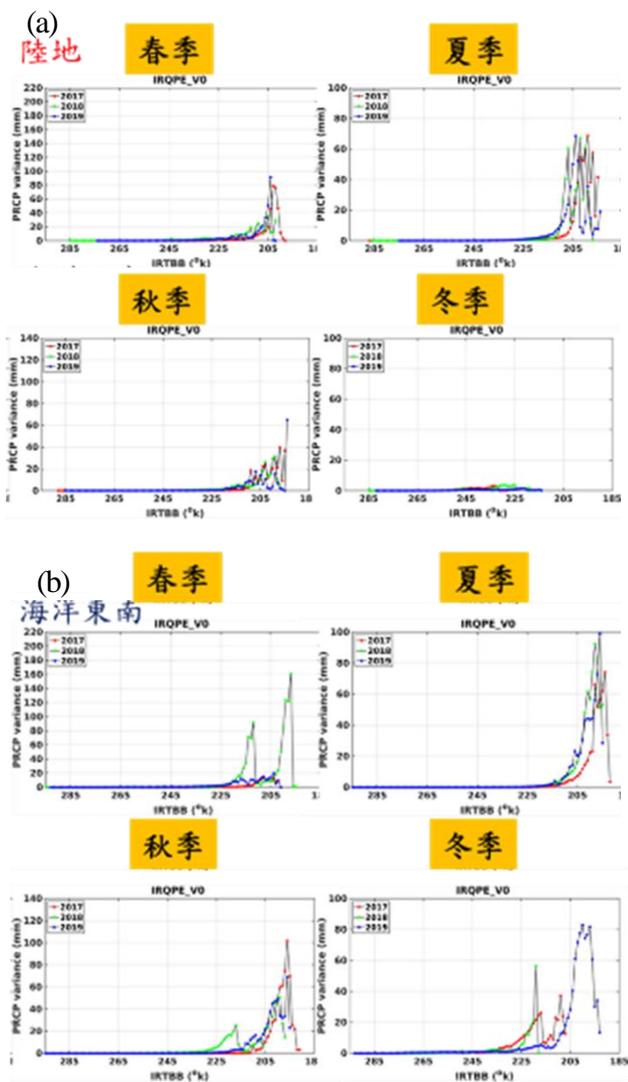


圖7 亮溫與雨量在(a)台灣陸地；(b)海洋東南之變異量圖。圖中紅線為2017年，綠線為2018年，藍線為

進一步探討CPDF-V0表陸地上不同天氣系統之特性(經度121.25、緯度23.75)，統計結果顯示(圖8)，除了冷鋒鋒面亮溫與雨量的對應關係變化大，在亮溫245K時就出現大於10mm/h的訊號外，關係式於颱風、滯留鋒面、東北季風三種天氣系統的表現相對一致，只有在雲頂亮溫分布及低亮溫對應到的雨量會隨著不同天氣系統而有差異。

藉由上述對CPDF-V0表的分析結果可知，亮溫與雨量之關係式會隨著亮溫越低，對應到的雨量變異越大，而越低的亮溫能否真實反映當下雨量值取決於模組訓練時，資料採樣是否有收集到對應天氣系統的亮溫和雨量資訊。根據其結論，本研究於下章節進一步將氣候法實踐於PDF-Matching降水估計中，初步評估氣候法在即時作業使用的可行性。

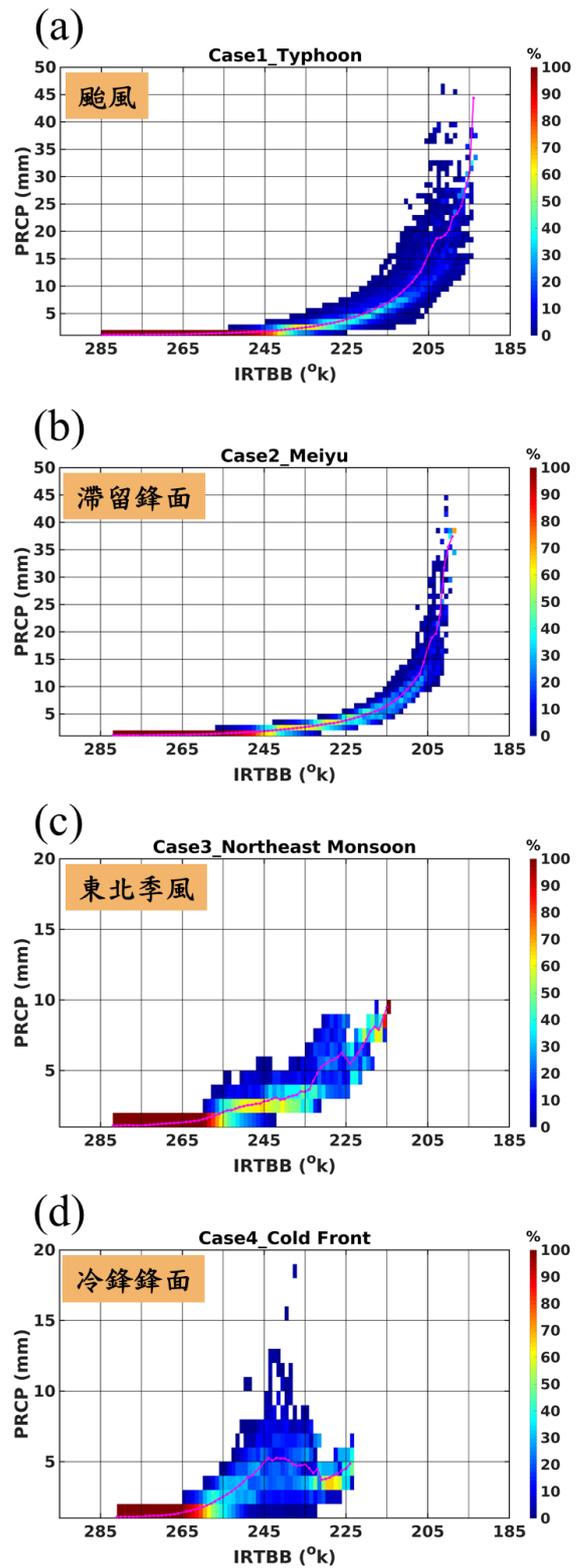


圖8 亮溫與雨量於不同天氣系統之特性圖。(a)颱風；(b)滯留鋒面；(c)東北季風；(d)冷鋒鋒面。

四、參數調整之影響

將CPDF-V0及CPDF-Climate兩組對照表分不同季節做比較，分析結果如圖9。結果顯示，使用氣候法概念所訓練出來的結果，於不同季節的表現皆與原始模組設定所訓練之結果很接近，不同亮溫所對應之降雨估計值分布趨勢兩組資料之結果很接近。

進而將兩組資料做資料的配對，將同時間同亮溫的情況下所估計之降雨量做相關性分析，如圖10。於不同季節之相關性分析結果皆有達0.9以上(春季相關性0.97、夏季相關性0.96、秋季相關性0.97、冬季相關性0.95)。估計弱降水的表現掌握較佳，估計強降水時的表現就會開始出現不穩定的情況。

進一步利用氣候法之參數設定所產製之亮溫與雨量之關係式，做個案降雨估計之初步分析，比對參數調整前與調整後之降雨估計結果差異。初步挑選午後對流(圖11)以及東北季風(圖12)的個案做分析。於夏季午後對流以及冬季東北季風個案表現中，顯示以氣候法參數設定所產製之降雨估計結果一樣能掌握到對應的天氣系統降雨分布情形。說明了此氣候法的概念方案是可行的。從冬季個案中，也可發現陸地的降雨型態掌握不佳，不管是參數調整前後，估計的結果皆一致。推測是因訓練真值MWCMB對於冬季的層狀降雨與地形性降雨表現不佳，導致其反演結果偏乾。對此後續將利用臺灣QPESUMS所反演之降雨資料，作為臺灣陸地的訓練真值，測試是否會改善此情況。

五、結論

透過蒐集2017年5月至2019年12月近三年紅外線亮溫與微波降水之關係表，分析近三年臺灣周邊區域亮溫與降水之氣候特徵，了解亮溫與降水之關係於海洋與陸地隨時空之變化特性，以及於不同天氣系統下之特性變化，進而從亮溫與降水關係式之氣候特徵，提出參數調整之方案。總結如下：

- (1) 亮溫與雨量之關係式會因不同的地理位置、不同的季節、以及不同的年份而有著不同的特性表現，夏季的變化特性較小較為穩定。
- (2) 不同亮溫對應之雨量值在亮溫大於225K時的變異小，而在亮溫小於205°K時變異量較大(最少有20mm，最多有到100mm以上)。

- (1) 亮溫能否真實反映當下雨量值取決於模組訓練時，資料採樣是否有收集到對應天氣系統的亮溫和雨量資訊。
- (3) 使用氣候法所訓練出的CPDF-Climate表，於不同季節的表現皆與CPDF-V0表很接近，相關性達0.9，說明了此氣候法的概念方案是可行的。本研究亦會透過氣候法概念的模組設定，針對不同個案之降雨估計結果進行量化評估，並進一步測試空間窗區不擴點(參數調整)對於關係式之影響，以及替換臺灣陸地真值(以臺灣QPESUMS資料作為訓練真值)之結果比較。

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.

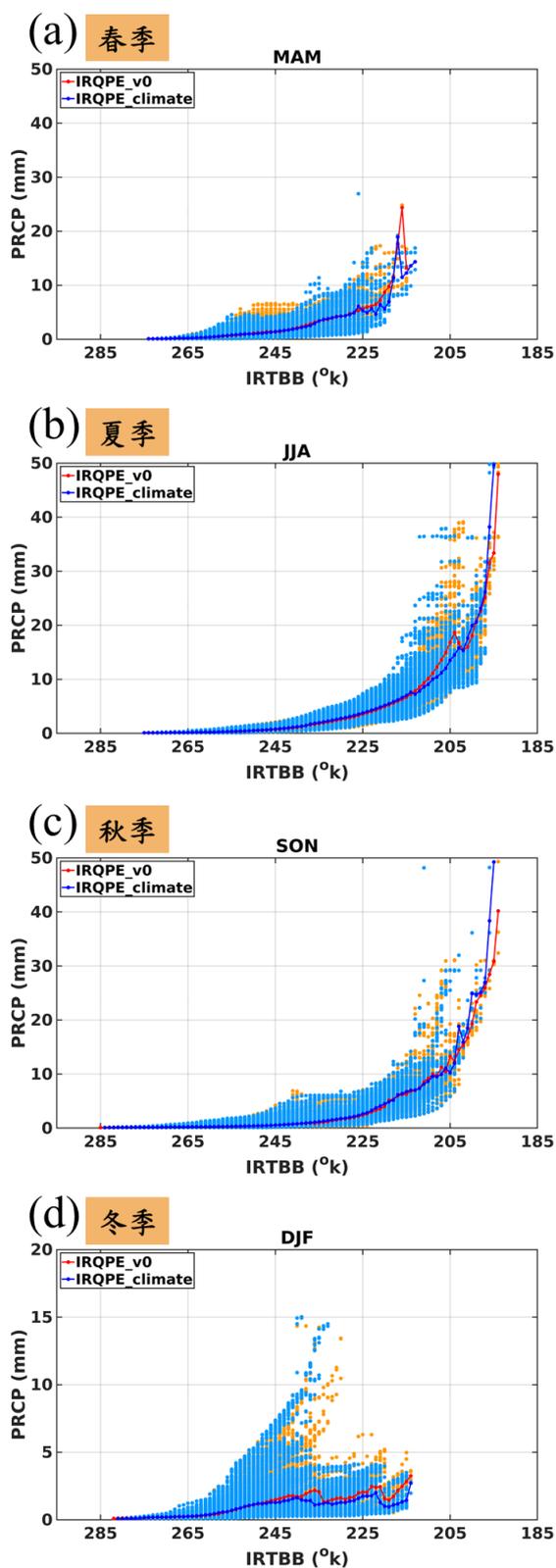


圖9 不同季節參數調整後之比較圖。紅線為原模組設定，藍線為使用氣候法設定。橘點為原模組設定之亮溫對應雨量，藍點為氣候法設定之亮溫對應雨量。(a)春季；(b)夏季；(c)秋季；(d)冬季。

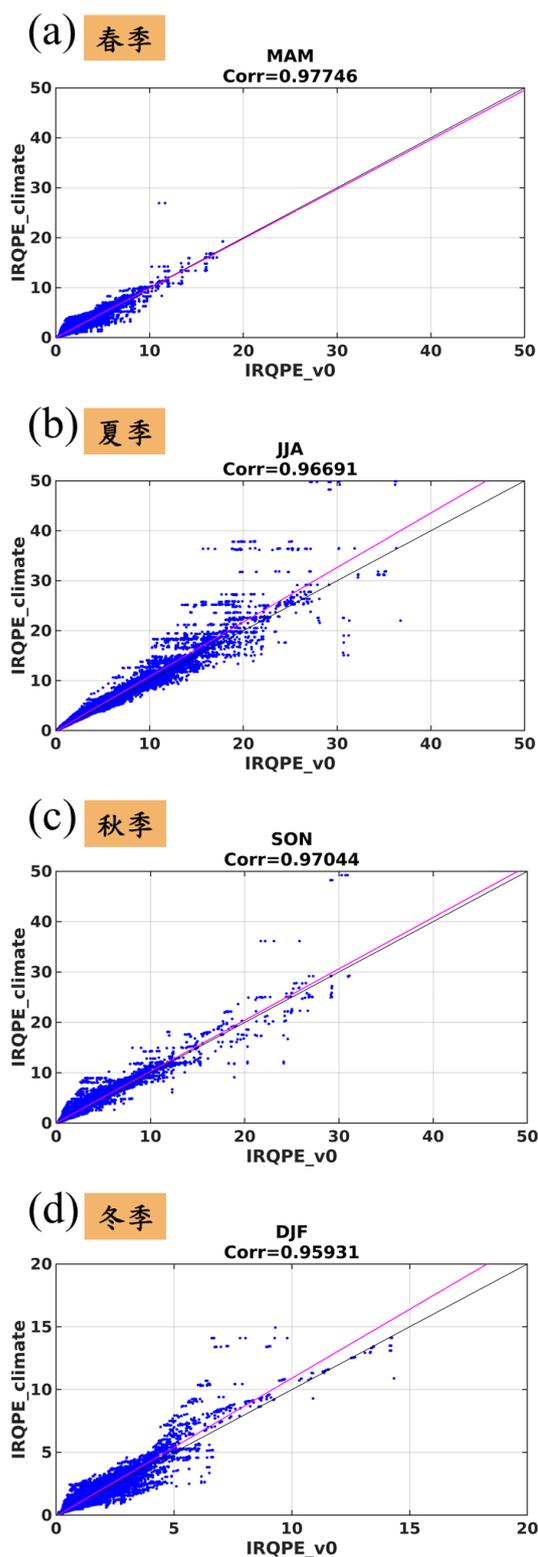


圖10 不同季節之估計雨量相關性分析圖。X軸為原模組設定之估計雨量，Y軸為氣候法設定之估計雨量。(a)春季；(b)夏季；(c)秋季；(d)冬季。

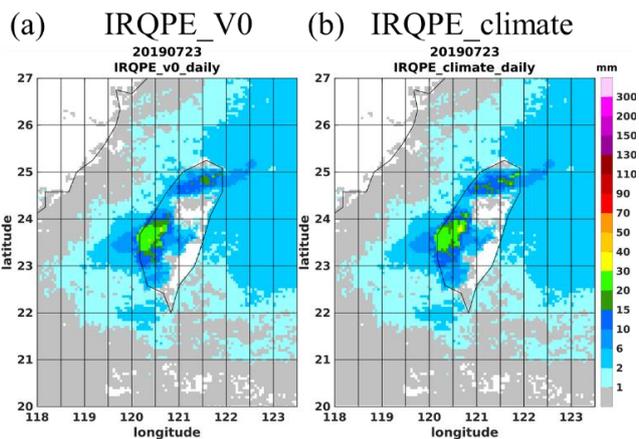


圖11 2019年7月23日午後對流個案 降雨估計之日
累積雨量空間分佈圖。(a)原始模組設定 (b)氣候法
模組設定。

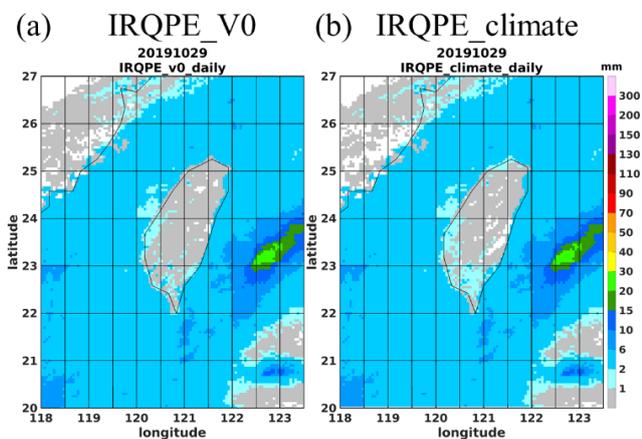


圖12 2019年10月29日東北季風個案 降雨估計之
日累積雨量空間分佈圖。(a)原始模組設定 (b)氣候法
模組設定。

Analytical characteristics of the relationship between Infrared Brightness Temperature and Rainfall of Taiwan by using PDF Matching method

Guan-Bo Wu¹, Yu-Ching Liu¹, Jian-Guo Wang¹, Yun-Lan Chen², and I-Han Tseng²

1. Meteorological Satellite Center, Central Weather Bureau

2. Research and Development Center, Central Weather Bureau

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 MWCOMB. Completion of the program module construction in the first half of 2020.

The PDF Matching technology used in this research adopts the hypothesis that “The cloud develop more higher that infrared brightness temperature must been more colder, and easily to produce more rain”. The warmer brightness temperature value corresponds to the smaller rainfall value and the colder brightness temperature value corresponds to the larger rainfall rate value to meet the basic hypothesis. This technology divided each grid point of 0.5 degree x 0.5 degree into ocean and land, and used the nonlinear percentile function to establish the relationship between microwave precipitation and infrared brightness temperature.

The purpose of this research is to understand the relationship between infrared brightness temperature and microwave precipitation. The researchers apply the data of the relationship between the two, and analyzed the climatic characteristics of them in the surrounding areas of Taiwan from May 2017 to December 2019. Parameter adjustment program was made that based on the climatic characteristics of brightness temperature and microwave precipitation.

Preliminary results show that the relationship between brightness temperature and precipitation was reflected different seasonal performance of the ocean and land. Summer was relatively stable in the four seasons. Spring, autumn, and winter were relatively unstable. The relationship which became more unstable with the colder brightness temperature. The results of seasonal show that the relationship between brightness temperature and microwave precipitation have different characteristics at every year. This research will use the climatic characteristics of infrared brightness temperature and microwave precipitation in Taiwan as the basis for adjusting the parameters of the PDF Matching.

Keywords : Infrared brightness temperature, Microwave precipitation