

高時空解析降水資料在台灣及周邊氣候監測應用的比較分析

曾翊涵¹ 陳雲蘭¹ 劉郁青² 吳冠伯² 唐玉霜² 馮智勇³ 許水德³

中央氣象局科技中心¹ 中央氣象局衛星中心² 多采科技有限公司³

摘 要

本研究為中央氣象局 109 年度「同步衛星定量降水估計技術發展」計畫（下稱本計畫）下工作的一部分，主要為檢視本計畫所產出之同步衛星高時空解析降水估計初步產品(IRQPE V0 版)之可用性。檢視方式乃透過與幾類常用降水資料進行比較，包含地面雷達估計降水(QPESUMS)、地面雨量站網格化資料(CWBSK)及繞極衛星微波降水(CMORPH)。比較方式乃先著重於氣候應用的角度，分析日尺度以上的氣候監測表現，探討各降水分析值在台灣周邊對於乾、濕分布的掌握度及其資料應用的可能限制，同時並對 IRQPE 在陸地上日夜變化的掌握情形進行初步的分析。

從氣候監測應用角度比較四種資料，結果顯示 IRQPE V0 的表現，整體與 CMORPH 非常相似，且在月、季尺度分析以及台灣周邊波動的掌握性佳，可應用於氣候監測。然而在台灣陸地的降雨分佈方面，對照於 CWBSK 及 QPESUMS，可見 IRQPE V0 與 CMORPH 對陸面小區域降水特徵的掌握仍不足。由於 IRQPE 仰賴紅外頻道雲頂溫度與微波估計降水真值之間統計關係的正確建立，陸地降水真值的有效參考性將是影響 IRQPE 成效的重要關鍵之一。目前新版的 IRQPE 將以雷達降雨率置換台灣陸地參考真值，以期結合衛星及雷達的優勢，完成一套可同時滿足海陸應用需求的降水集。本研究透過比較四種不同觀測來源之降水資料，幫助對 IRQPE 初版產品在氣候監測可用性的了解，並提供後續改進參考。

關鍵字：同步衛星降水估計、氣候監測

Comparison and Analysis of High Temporal and Spatial Resolution Precipitation Data in Climate Monitoring around Taiwan

I-Han Tseng¹, Yun-Lan Chen¹, Yu-Ching Liu², Guan-Bo Wu², Yu-Shuang Tang², Chih-Yung Feng³, Shui-De Shiu³

Research and Development Center, Central Weather Bureau¹

Meteorological Satellite Center, Central Weather Bureau²

Manysplendid Infotech, Ltd.³

Abstract

This study is a part of the project “Development of Quantitative Precipitation Estimation Technology of Geostationary Satellite Data” in Central Weather Bureau, Taiwan. To verify the IR-based QPE (IRQPE) products made from geostationary satellite, several commonly used precipitation data sets are analyzed and compared, including QPESUMS, CWBSK and CMORPH. The comparison is focused on the applications of climate, analyzing the performance from daily to seasonal timescales as well as the performance of diurnal cycle over land, and the applicability of each data set around Taiwan is discovered.

The result shows that IRQPE V0 has similar performance as CMORPH in the application of climate monitoring, and it has good grasps at the monthly and seasonal timescales analyses and fluctuations around Taiwan. However, comparing to CWBSK and QPESUMS, IRQPE V0 and CMORPH still need some improvements on the performance over land, especially the rainfall on small region. Because the IRQPE is fully affected by the establishment of the statistical relationship between the TBB and the true value of MW-based precipitation estimation, the effectivity of precipitation

true value over land will be one of the important keys affecting the result of IRQPE. The new version of IRQPE is planned to use radar data as the reference true value over Taiwan to combine the advantages of satellite and radar, and produces a data set that can satisfy the demand over land and ocean. This research provides some understanding of the first version of IRQPE on the application of climate monitoring, and points out some shortcomings of the IRQPE product requiring further improvements to the above project.

Keywords: Quantitative precipitation estimation, Geostationary satellite data, climate monitoring,

一、前言

降水是水循環重要的一部分，且能夠代表一地的天氣與氣候現象。準確且完整的降水資料不僅可以記錄該地當時的降水情形，也能夠提供長時間的氣候資訊，對於水資源管理、天氣、氣候、水文模擬等也有其重要性 (Larson and Peck, 1974; Liu et al., 2017)。以全球氣候的應用來說，目前的預報模式主要使用 50km 甚至 100km 解析度，而國際常用降水真值以 WCRP GPCP 為例，其日資料解析度為 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ (Huffman et al., 2001; Huffman and Bolvin, 2013)，而目前解析度較高的 NOAA CMORPH 日資料則為 25km 解析度 (Joyce et al., 2004)，以上述的資料解析度來說，在全球尺度的研究中是足夠的，但對於台灣附近的應用卻稍嫌不足。

本研究針對四種不同來源之降雨資料，包含地面雨量站、地面雷達降水估計、衛星微波降水估計以及衛星紅外降水估計等資料，評估上述資料在台灣周圍海陸區域的應用性以及優缺點，期望能提供研究人員在台灣附近的氣候監測方面的降水真值的參考依據。地面雨量站在地表直接觀測降水量，是最傳統的觀測方式，也常被認為具有最大可信度，但設站密度往往與人口密集度有關，且平時難以到達的地方，例如洋面、高山等，缺乏地面觀測資料 (Kidd et al., 2017)。地面雷達的發展，提升地面觀測資料的準確度，除了以往單點式的地表累積雨量，雷達能夠提供高時空解析度的格點雨量資訊，對於降水系統的掌握度更高，但與雨量站相同的是，雷達的觀測範圍仍受到設站位置的限制。衛星觀測的發展，彌補了地面觀測資料在空間上的缺陷，提供了空間上更為均勻且涵蓋範圍廣的觀測資料，有助於對天氣系統移行的長時間監測 (Kucera et al. 2013)。衛星觀測又分為繞極衛星及地球同步衛星，其中繞極衛星所提供的微波資料，能夠直

接觀測到雲中的含水量資訊，而地球同步衛星所提供的紅外資料，能夠長時間監測同一區域，具有時間連續性，且隨著向日葵八號同步衛星的發射，空間解析度也有所提升。然而，與地面資料相較之下，衛星資料的歷史記錄較短，且衛星紅外估計降水資料是透過雲頂亮溫跟雨量的關係來估計降水，此為一間接關係，上述原因使衛星降水資料的準確度及使用情形有所限制 (Sapiano and Arkin 2009)。除了上述四種不同來源之降雨資料，目前國際上也有發展出結合不同來源觀測資料的降水資料，例如 GPCP (Adler et al., 2003)，結合地面觀測及衛星資料的優勢，希望產出最佳降水資料，但本研究希望呈現各種不同來源資料的優劣之處，因此著重比較上述四種不同來源之降雨資料在氣候監測上的應用。

在「同步衛星定量降水估計技術發展」計畫(下稱本計畫)中，引進美國氣候作業單位 (NOAA CPC) 所產製全球衛星反演降水資料的統計後處理技術，利用向日葵八號同步衛星觀測紅外線頻道資料，發展估計定量降水的作業流程，並利用繞極衛星微波資料作為訓練真值而產出未經優化的初版紅外估計降水資料 (IRQPE V0)。經本研究分析並掌握初步 IRQPE 產品的特性後，接下來會改善台灣陸地之訓練真值，開發整合台灣及周圍區域衛星反演降水及地面雷達觀測資料，再以其做為參考真值而產製新版無縫連結定量降水估計產品。

地面及雷達觀測資料常被認為是地面最佳真值，衛星資料則能彌補地面觀測不易的地區。本研究欲探討各資料在不同使用情形下的優缺點，以及發展中的衛星紅外估計降水之實用性。以下分章節說明，第二章說明資料使用情形，第三章說明各資料在台灣周邊的應用，第四章則提出結論。

二、資料說明

本研究共採用四組資料做比較，包含兩組地面觀測降水產品 QPESUMS 和 CWBSK，以及兩組衛星降水產品 CMORPH、IRQPE V0。QPESUMS (劇烈天氣監測系統) 為氣象局對外提供之經過雨量站校正之雷達整合回波降水估計資料，原始空間解析度為 1.25 公里，每 10 分鐘一筆，資料範圍涵蓋台灣及周圍海域。CWBSK (Simple Kriging) 為氣象局發展之將地面站點雨量觀測值，以克利金法產製之網格化雨量資料，原始空間解析度為 1 公里，每小時一筆，資料有效範圍僅限台灣陸地。CMORPH (CPC Morphing Technique) 是由 NOAA 氣候預測中心所製，以低軌道衛星微波降水估計資料為主，當一地微波資料有時間上的不連續時，透過同步衛星的紅外資料觀測的天氣系統移行向量外推，產製高時空解析全球降水網格分析資料 (Joyce et al., 2004)，其日雨量空間解析度為 25 公里。本計畫產品 IRQPE V0 是使用非線性百分位函數 (PDF Matching) 建立降雨訓練真值與同步衛星的紅外線頻道(11.2 μ m) 亮溫之關係，進而估計目標時間之紅外線頻道降雨，初版產品的訓練真值為微波頻道反演之降雨產品 MWCOMB (Joyce et al., 2004)。IRQPE V0 之空間解析度為 5 公里，每 30 分鐘一筆，資料範圍為經度 75°E~155°W、緯度 60°S~60°N。為方便分析比較，上述資料除了 CMORPH 使用原本的解析度，其他資料皆整合成空間解析度 25 公里及 5 公里解析度的日資料與時資料，主要分析時間為 2017 年 6 月至 2020 年 5 月。

三、降水估計資料的應用比較

本研究分析方法以氣候監測為主，呈現各降水資料在不同時間尺度下的表現，包含三年平均的季節表現、逐月變化以及台灣附近的波動表現情形等，說明包含各資料表現、地面資料與衛星資料之優劣、地面資料之間以及衛星資料之間的差異，並說明本計畫產品之發展意義。

(一) 台灣及周邊

首先以氣候應用角度，針對所選區域 (118°E~123.5°E, 20°N~27°N)，分析 QPESUMS、CMORPH 及 IRQPE V0 三種資料在三年平均的各季節日平均雨量之空間分布 (圖 1a~c)。整體來說，三種資

料都大致能掌握不同季節的降雨分布情形，春季降雨集中在東部外海，且有北大於南的情形，夏季在台灣西南部以及南海、巴士海峽海域降雨較多，秋季降雨多在台灣東部外海及南海附近，冬季則在台灣東部及東北部外海降雨較多。除了各季節空間分布，圖 4a 及 4b 呈現了三種資料分別在海、陸的時序圖，趨勢皆在 6 月及 8 月有極大值，在 2、3 月則有極小值，說明了不僅是地面雷達觀測資料，衛星資料也能大致掌握台灣附近的降雨季節變化。

以逐月監測的角度來看，以 2019 年的 1、4、7、10 月的距平值為例，三種資料的乾濕分部幾乎是一致的(圖 2a~c)。1 月時台灣本島及西北部外海偏乾，4 月時整體為偏濕，7 月在台灣本島皆為偏乾，以及 10 月整體偏乾。除了降雨分布的呈現，三種資料在區域平均的月距平雨量的時序表現，也都有類似的趨勢(圖 4c,d)。綜合以上，我們認為這三種資料對於台灣周邊區域的表現，在氣候應用的角度下表現是非常類似的。然而，除了上述一致的部分，各資料間仍存在一些差異，於下面段落分別說明。

首先比較地面資料與衛星料的差異，以 QPESUMS 及 CMORPH 的比較來說明。一般認為地面觀測資料對於地形的解析度較衛星資料佳，由圖 1 可以明顯看到此結果。除了夏季以外，只有 QPESUMS 能夠反映出春季台灣中部以及秋冬季東北部的降雨極值，CMORPH 與 IRQPE V0 等兩種衛星資料對於台灣的地形掌握度較差。在圖 3a 中，CMORPH 在陸地上呈現小雨偏多、大雨偏少的情形，相關性僅在秋季達 0.82，其他季節相關性較低，說明了衛星資料在台灣陸地表現仍有改進空間。相對於陸地，海上觀測一般會以衛星資料為主，圖 1a 可以明顯看到 QPESUMS 在南邊異常的圓弧形分布，顯示其在觀測距離上的限制。

再者，比較根據不同基準所反演之衛星降水估計產品。兩者的降雨空間分布幾乎一致，海上的相關性在四季都達 0.8 以上 (圖 3b)，除此之外，IRQPE V0 能夠良好的掌握台灣附近的波動情形，如圖 5 所示。圖中為凸顯主要波動信號，使用了 5 天滑動平均方法濾除高頻天氣訊號，結果呈現 IRQPE V0 是能夠有效應用於氣候監測的。但從圖 3b 可以看出，IRQPE V0 降雨偏大，即相較於 CMORPH 有明顯的正偏差，且

IRQPE V0 有明顯海陸不連續 (圖 1c)。前者目前被認為是因為紅外衛星估計降水是透過雲頂亮溫 (TBB) 與降水訓練真值的統計關係來估計降水情形，只透過單變數的關係來估計，但雲高與降水並非完全呈線性關係，例如高空卷雲並不會降雨，因此之後也會著重改善這方面的估計方式；後者則與 IRQPE 的估算方法有關，因 IRQPE 估計過程是將海陸分開計算，因此會有一定程度的不連續，這也是未來需要改進的地方。

(二) 台灣陸地

為了說明上述資料在台灣陸地更高時空解析的表現，我們針對台灣陸地區域，進一步分析了 5 公里解析度的日夜變化表現，並加入網格化雨量站資料 CWBSK 比較。而在上述分析中，衛星資料在陸地的表現較差，因此在這部分的分析中，只採用 IRQPE V0 作為代表。

首先以氣候應用角度說明 CWBSK 的表現，在圖 1d 及圖 2d 中可以發現，CWBSK 的降雨分布情形與 QPESUMS 非常相似，包含極值的位置、降雨分布情形，兩資料在夏、秋、冬季的空間相關性都達 0.8 以上，春季相關性也有 0.71 (圖 3c)。另外，我們也做了時間相關性的空間分布，全台灣陸地幾乎都在 0.8 以上，其中北部比南部稍微差一點。

以氣候平均日夜變化的空間分布表現來說(圖 6,7)，CWBSK 與 QPESUMS 在各季節的表現都非常接近 (此處僅呈現夏季及冬季)，而 IRQPE_V0 差異較大，以冬季最為明顯。以夏季來說，三種資料的降雨都集中在西南部及中部山區，並在下午雨勢達最強，僅 IRQPE_V0 有降雨偏大的情形；冬季時，前二者降雨集中在東北部地區，並在東部及中部山區有些微雨勢，但 IRQPE_V0 雨勢偏大，且雨勢集中在北部及西部沿海地區。以區域平均降雨來看，前二者在四季的量值與時序變化皆非常相似，春、夏及秋季的單日降雨最大值皆發生在 15~17 時，而冬季則在 11 時左右有降雨極小值(圖 8)，而 IRQPE_V0 僅掌握了春、夏、秋等三個季節在下午發生的降雨極值，但在冬季的表現較差。

這部分的分析，說明了 CWBSK 在高時空解析上的可用性，僅須注意 CWBSK 與 QPESUMS 相較之下降雨些微偏少，且 CWBSK 的空間分布明顯比

QPESUMS 更為平滑，需再確認是否受到資料內插方法的影響。而 IRQPE_V0 在陸地以及日尺度以下的應用的不足，則說明了本計畫接下來將發展的改善陸地訓練真值的紅外降水估計產品的重要性。

四、結論

本研究主要探討四種不同降水資料在日尺度以上的應用比較分析，以台灣周邊地區的氣候監測應用為主。以台灣陸地來說，QPESUMS 為目前台灣陸地最佳真值，能夠反映地形對於降雨分布的影響，並具有高時空解析度的特性，但在海上的觀測距離限制仍對於其應用面產生限制。除此之外，以測站資料為主的 CWBSK 的表現與 QPESUMS 非常相似，同樣為高時空解析資料，可作為 QPESUMS 資料有缺失時的替代資料，但同樣缺乏海上觀測資料。CMORPH 作為氣候監測的常用參考值，可以提供台灣附近包含海上的均勻觀測資料，應用範圍較廣，但其部分產製過程為紅外資料向量外推的結果，難免對於天氣系統的移行有偏移的情形。本計畫產品 IRQPE_V0，雖然是以紅外資料 TBB 反演之產品，表現與 CMORPH 極為相似，且 TBB 具有時間連續性、高空間解析度，只需再經優化並改善訓練真值，於氣候監測應用上將有良好的可用性。

本計畫也將發展以結合衛星微波及地面雷達資料為訓練真值之紅外估計降水產品，希望透過真值之改善，能夠改善 IRQPE 對於地形效果的表現，產製一套海陸最佳降水產品。

參考文獻

- Adler, R. F., Huffman, G. J., Chang, A., Ferraro, R., & Ping-Ping, X. (2003). The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present). *Journal of Hydrometeorology*, 4, 1147–1167.
- Huffman, G. J., R. F. Adler, M. Morrissey, D. T. Bolvin, S. Curtis, R. Joyce, B. McGavock, and J. Susskind, 2001: Global precipitation at one-degree daily resolution from multisatellite observations. *J. Hydrometeor.*, 2, 36–50.

Huffman, G. J., & Bolvin, D. T. (2013). Version 1.2 GPCP one-degree daily precipitation data set documentation.

Joyce, R. J., J. E. Janowiak, P. A. Arkin, and P. Xie, 2004: CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydrometeor.*, 5, 487–503.

Kidd, C., Becker, A., Huffman, G. J., Muller, C. L., Joe, P., Skofronick-Jackson, G., & Kirschbaum, D. B. (2017). So, how much of the Earth’s surface is covered by rain gauges? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98, 69–78. <https://doi.org/10.1175/bams-d-14-00283.1>.

Kucera, P. A., and Coauthors, 2013: Precipitation from space: Advancing Earth system science. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 94, 365–375, doi:10.1175/BAMS-D-11-00171.1.

Larson, L. W., & Peck, E. L. (1974). Accuracy of precipitation measurements for hydrologic modeling. *Water Resources Research*, 10(4), 857–863. <https://doi.org/10.1029/WR010i004p00857>

Liu, X., Yang, T., Hsu, K., Liu, C., & Sorooshian, S. (2017). Evaluating the streamflow simulation capability of PERSIANN-CDR daily rainfall products in two river basins on the Tibetan Plateau. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(1), 169–181.

Sapiano, M. R. P., and P. A. Arkin, 2009: An intercomparison and validation of high-resolution satellite precipitation estimates with 3-hourly gauge data. *J. Hydrometeor.*, 10, 149–166, doi:10.1175/2008JHM1052.1.

附圖

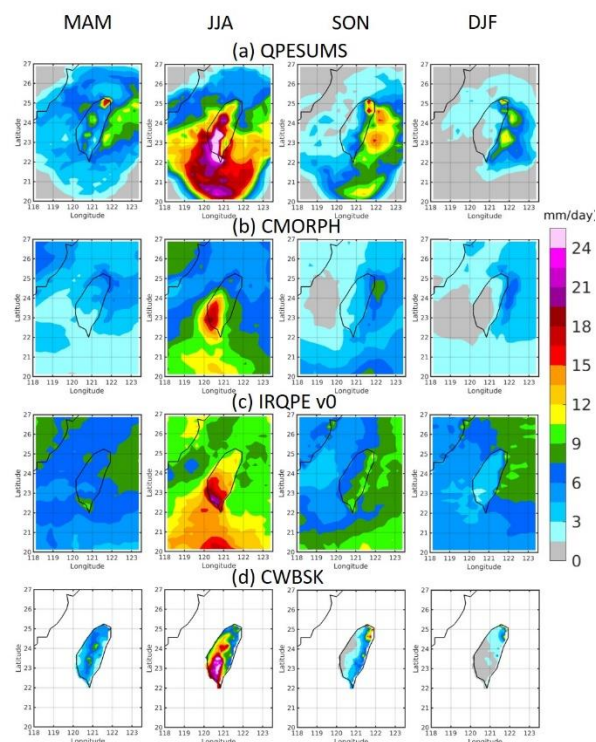


圖 1、各降水資料於台灣周邊三年平均(2017/6~2020/5)的季節表現。(a) QPESUMS (b) CMORPH (c) IRQPE V0 (d) CWBSK。其中除了(d)的解析度為 5 公里，其他皆為 25 公里。

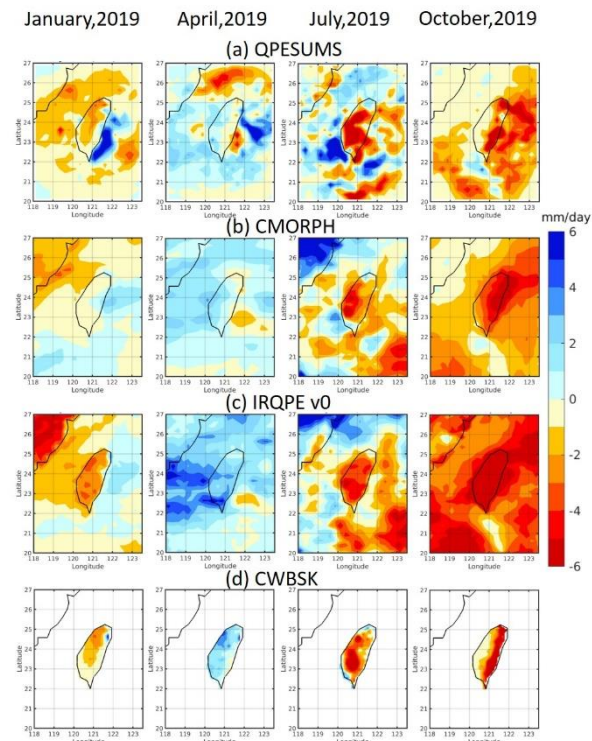


圖 2、各降水資料於台灣周邊之月平均距平，包含 2019 年的 1 月、4 月、7 月及 10 月。(a) QPESUMS (b) CMORPH (c) IRQPE V0 (d) CWBSK。其中除了(d)的

解析度為 5 公里，其他皆為 25 公里。

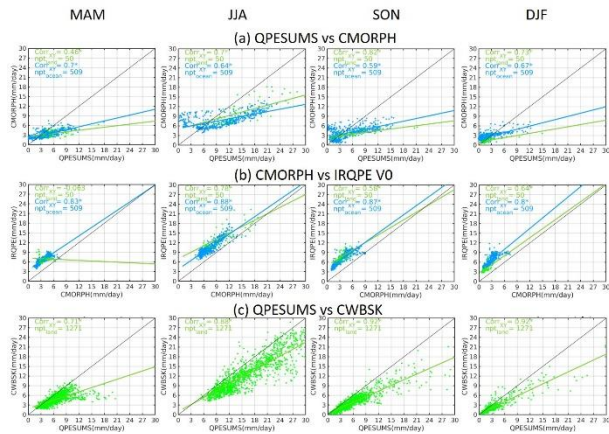


圖 3、各降水資料於台灣周邊三年平均的各季節分布圖及相關性，其中綠色代表陸地格點，藍色代表海洋格點，彩色直線為線性迴歸結果。(a) QPESUMS 及 CMORPH (b) CMORPH 及 IRQPE V0 (c) QPESUMS 及 CWBSK。

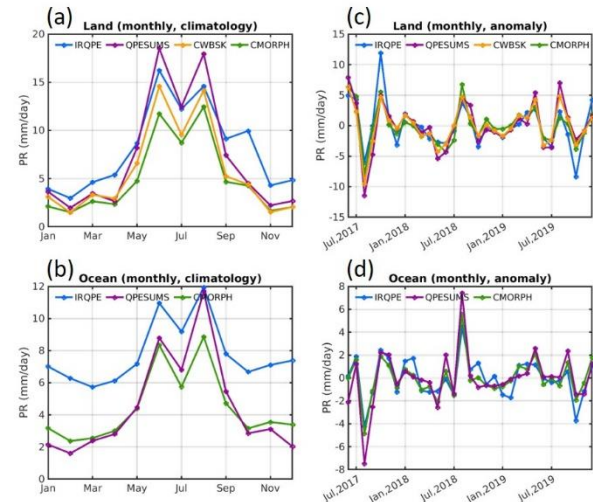


圖 4、四種降雨資料的區域月平均降雨時序圖。(a)台灣陸地三年平均月平均降雨 (b)台灣附近海域三年平均月平均降雨 (c)台灣陸地三年逐月月平均降雨 (d)台灣附近海域三年逐月月平均降雨。

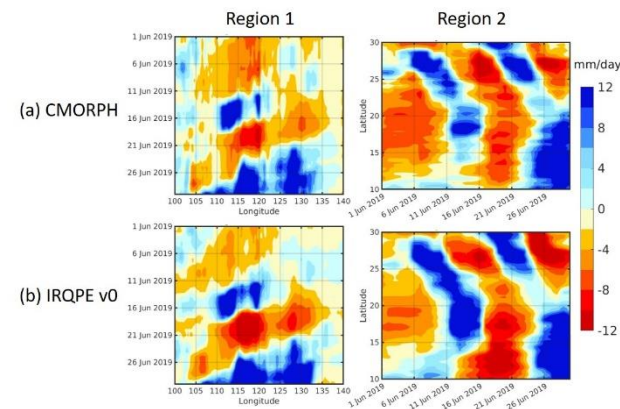


圖 5、台灣附近 2019 年 6 月之波動移行圖。(a) CMORPH (b)IRQPE V0，Region 1 為緯度 10°N~20°N 平均之東西向波動移行，Region 2 為經度 115°E~125°E 平均之南北向波動移行。

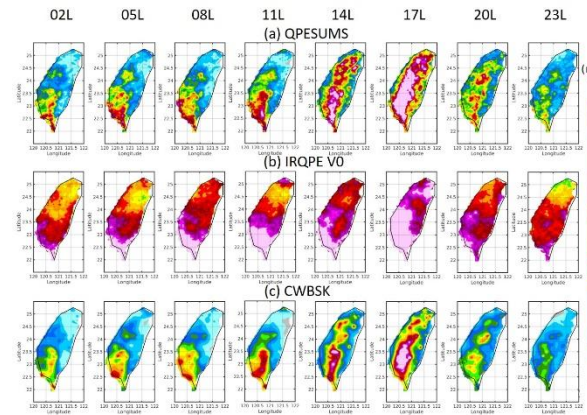


圖 6、各降水資料於 5 公里解析度的台灣陸地三年平均時雨量的日夜變化(JJA)空間分布。(a)QPESUMS (b)IRQPE V0 (c)CWBSK。

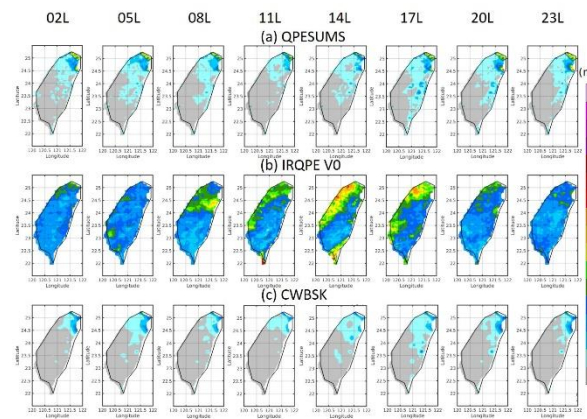


圖 7、各降水資料於 5 公里解析度的台灣陸地三年平均時雨量的日夜變化(DJF)空間分布。(a)QPESUMS (b)IRQPE V0 (c)CWBSK。

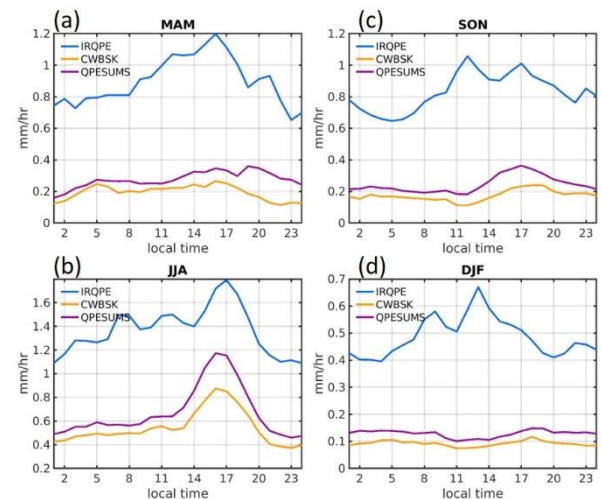


圖 8、各降水資料於各季節的台灣陸地區域平均日夜
變化。(a)MAM (b)JJA (c)SON (d)DJF。