

中央氣象局局屬氣象站全天空短波輻射資料之品質管理與分析

王聖翔^{1,2*}、陳映潔¹、林昆緯^{1,3}、李育棋³、葉子嫻³、鄭光浩³、張育承³

¹國立中央大學大氣科學系 ²國立中央大學環境監測技術聯合中心 ³交通部中央氣象局

(中華民國 111 年 5 月 10 日收稿；中華民國 111 年 7 月 4 日定稿)

摘要

全天空短波輻射量為主要的常規氣象觀測參數之一，此資料廣泛應用於氣候變遷與太陽能應用領域。自 2002 年起，中央氣象局於各局屬氣象站全面更新為 Eppley 公司出產的 Precision Spectral Pyranometer (PSP)進行觀測，屬於具有高準確度符合 A 級(class A)之輻射計，然而，未搭配統一的校正程序及資料品質管理流程(Quality Control, QC)，以致資料應用上產生疑慮。因此，本研究建置一套適合臺灣氣象局輻射資料之 QC 流程，檢視 2002 至 2020 年共達 19 年，30 個局屬氣象站地面自動氣象觀測系統(ASOS)之全天空短波輻射資料，標註可疑或異常的觀測資料，並給予資料相對應之旗標(Flag 0-7)，以提升大氣輻射資料的可用性。

長期資料品質管理流程可分為兩階段檢驗流程，第一階段以單站長期資料進行處理，先濾除異常值後，進行物理可能極限(Physically Possible Limits)與極端最小極限(Extremely Rare Minimum Limits)檢定，用以偵測資料中異常大的誤差值與較大的隨機誤差，此階段 30 個局屬站之資料品質保可用率皆超過 90%，接著進行每日氣候最大值(Daily Climate Maximum)檢定，檢視資料於連續 6 個月期間，掌握是否存在儀器老化、校正係數偏離、儀器毀損故障等情形，扣除有上述疑慮之資料後，各測站之資料品質保可用率下降至 53-95%之間，其中校正係數偏離是影響資料品質的主要原因，凸顯定期校正輻射儀器之重要性。第二階段為使用第一階段篩選出的高品質資料，進一步加入鄰近測站兩兩進行相關性及時序比較，我們進一步檢查出資料處理器(data logger)所記錄的異常值，並予以濾除；同時在這個階段我們也加入人工判定，註記有疑慮的觀測資料區間。最後，本研究以 2020 年為基礎，比對 QC 後高品質地面觀測資料與 Himawari-8 衛星反演日射量差異，結果顯示兩者的相關係數高達 0.96，各月的相關係數介於 0.94 至 0.97。進一步檢驗衛星反演在時空上的表現，結果顯示，在花蓮地區衛星反演比地面觀測高約 27.9%，北部地區則有約 4.6%的低估，月份上，偏高情形以 3 月的 6.5%最為明顯，整體來說，衛星反演相比地面觀測普遍呈現高估的情形。本研究發展出一套嚴格的輻射資料 QC 流程，確認過去長達 19 年的地表太陽輻射資料可靠度，有利於後續科學研究發展。

關鍵詞：全天空短波輻射、資料品質管理、衛星反演日射量、資料比對

* 通訊作者：王聖翔 carlo@g.ncu.edu.tw

一、前言

太陽提供地球主要能量之來源，而大氣輻射收支主宰了大氣與海洋的熱力條件與環流系統，進而改變地球的氣候特徵，因此地面太陽輻射對於理解氣候過程與輻射收支至關重要(Ohmura et al., 1998)。過去科學家利用大氣輻射資料計算輻射強迫 (Radiative forcing) (Bush and Valero, 2002, 2003; Garcia et al., 2008)、地球的能量收支(Wild, 2005; Augustine and Dutton, 2013)以及氣候趨勢(Wild, 2009)等，準確的輻射觀測資料也對太陽能發電設施的發展，以及太陽能系統的效率和壽命等評估貢獻良多(Patsalides et al., 2007, 2012)。為了獲得更精確的大氣輻射資料，世界氣象組織(World Meteorological Organization, WMO)在瑞士設立世界輻射中心(World Radiation Center, WRC)，作為全球氣象輻射儀器標準的國際校準中心，並為此目的維護標準元件。此外，世界氣象組織(WMO)、國際科學理事會(International Council for Science, ICS)與政府間海洋學委員會(Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC)聯合發起全球氣候研究計畫(World Climate Research Programme, WCRP)，並於1988年建立了背景地面輻射觀測網(Baseline Surface Radiation Network,

BSRN)進行地面背景大氣輻射之觀測，期望能提供連續、長期、高準確性與高時間解析度的大氣輻射觀測資料，並為人造衛星之地球輻射收支觀測提供地面資料校驗，同時作為全球氣候模式之驗證(Ohmura et al., 1998)。

BSRN 於1992年由9個測站正式上線觀測，直至今日全球總計共有74個正式站，分布於北極、中緯度森林與平地、高山、熱帶雨林、沙漠及熱帶島嶼等氣候地區，涵蓋的緯度範圍從80°N到90°S(更多詳細資料可上BSRN網站查詢：<https://bsrn.awi.de/>)。臺灣的蘭嶼及玉山站已分別於2019年8月及12月成為正式站，玉山站架設於玉山北峰頂，可代表周邊玉山山脈至中央山脈山區山頂之輻射通量；蘭嶼站之觀測則可代表周遭海面之輻射通量，符合BSRN測站站點之要求，周邊應盡量無障礙物遮蔽太陽，且能代表周邊一定區域的特性，避免受小尺度地形變化、人造建物或氣候特性干擾，並避免設於機場或工業區附近。在標準地面輻射觀測資料之品質管理方面，主要參考Long and Dutton (2002)以及Long and Shi (2006)的文獻，進行物理可能極限(Physically Possible Limits)、極端最小極限(Extremely Rare Minimum Limits)與觀測交互比對(Comparison Tests)等分析，以符合BSRN標準的資料品管流程，並檢視

其資料品質。

自 1960 年代衛星數據出現以來，人們致力於開發和改進衛星的地表日射量估計。Huang et al. (2019)將這段歷史大致分為三個階段：1960-1970 年代地表日射量遙測概念的起步階段，科學家使用早期氣象衛星來估算地球的輻射收支(Rasool, 1964)。隨後的 1980-1990 年代為快速發展期，歸功於新的 NASA 項目和衛星任務，以及在此期間提出的眾多演算法(例如 Gautier et al., 1980; Cess and Vulis, 1989; Pinker and Laszlo, 1992; Rossow and Zhang, 1995)，對整個大氣柱中全球輻射收支有了更準確的測量。2000 年之後，衛星估算地表日射量變得越來越成熟，許多感測器搭載了輻射校準系統來量化觀測，並陸續開發更複雜的演算法，其中考慮了詳細的輻射傳輸過程(Huang et al., 2016; Huang et al., 2011; Kim and Liang, 2010; Tang et al., 2016; Zhang et al., 2018)。在臺灣地區，蕭等人(2011)利用 MTSAT 衛星影像資料及高解析度臺灣地區數位地形資料，估算全島向下太陽輻射通量，在晴空條件下與地面觀測之相關係數達 0.93 以上。胥(2015)利用 MTSAT-2 衛星之可見光、IR1 及 IR2 頻道資料，加入臭氧吸收、雷氏散射、懸浮微粒散射、水汽吸收及晴空與雲量衰減指數等，估算疏雲(雲量介於八

分之三~到八分之四)情況下與平地測站相關係數亦達 0.9 以上。鄭等人(2017)使用向日葵 8 號衛星(Himawari-8)之高時空解析度資料估計臺灣地區地表日射量，在西半部與平地測站觀測的相關係數達 0.95 以上。

中央氣象局(以下簡稱氣象局)自 1980 年代以來，於臺灣各氣象站逐步增設全天空短波輻射量之觀測項目，紀錄於地面自動氣象觀測系統(Automated Surface Observing System, ASOS)，使用美國 Eppley 公司出品的 Precision Spectral Pyranometer (PSP)進行觀測，氣象局目前有長達約 40 年的地面全天空短波輻射觀測紀錄。過去氣象局曾針對 1982-2002 年的全天空短波輻射計進行室內校驗與戶外比對實驗(林等人, 2004)，結果顯示全天空短波輻射積算量有 15.2%-32.6%低估的誤差，經儀器的壓電係數(或本文稱校正係數)修正後，誤差值可縮小至約 2.6%。自 2002 年起，氣象局於各局屬氣象站全面更新 PSP 儀器設備，新型 PSP 屬於具有高準確度符合 A 級(class A)之輻射計，當時氣象局同步採用一套校正程序，提供觀測網內一致的儀器校正係數，然而，王(2021)指出，此校正程序上因為標準件追溯層級較低可能存在些微誤差，又部分測站儀器校正係數更新的頻率不定且偶有較長的情事，以致衍生出校正係數偏移

等問題。整體來說，全天空短波輻射資料因缺乏一套完整性的校正程序及資料品質管理流程(Quality Control, QC)，以致資料應用上產生疑慮。

本研究的主要目的為，建置一套適合臺灣氣象局全天空短波輻射資料之 QC 流程，針對 2002-2020 年長期輻射資料，進行資料品質管理，標註可疑或異常的觀測資料，並給予資料相對應之旗標(Flag)，以提升大氣輻射資料的可靠度，並有利於後續的應用。

二、資料使用

本研究主要使用的資料為氣象局屬氣象站觀測的全天空短波輻射量，以及向日葵 8 號衛星所反演的日射量產品。氣象局自 1980 年代以來，於臺灣各氣象站逐步增設全天空短波輻射量之觀測項目，使用 PSP 進行觀測並記錄於地面自動氣象觀測系統，PSP 的儀

器規格如表 1 所示，表中的餘弦響應(cosine response)為全天空短波輻射通量計的主要誤差來源之一，餘弦響應係由於全天空短波輻射通量計在製造時，玻璃圓頂與感測器表面之不均勻所致，尤其太陽位在低仰角時，餘弦響應造成的量測偏差特別明顯。此外，熱偏移誤差(thermal offset error)亦是全天空短波輻射通量計觀測中主要的誤差來源之一，由於感測器為一個熱電堆(thermopile)，它會將接收太陽輻射的表面之溫度與儀器內部的參考溫度之溫差，轉換為電壓訊號，因此當太陽輻射通量愈大，該溫差即愈大；然而，任何會影響感測器表面溫度的因子，都有可能使得此溫差改變，進而造成量測的偏差，即為熱偏移誤差。

圖 1 為氣象局 30 個局屬氣象站之位置分布，圖 2 為各站開始進行全天空短波輻射量觀測之年份。雖然 PSP 儀器量測的解析度

表 1、氣象局於 2002-2020 年所使用的全天空短波輻射計 PSP 之儀器規格。

分類	A 級(class A)
光譜範圍	285-2800 nm
反應時間	1 秒
溫度相依(Temperature Dependence)	±1%，環境溫度範圍-20 至+40°C
線性度(Linearity)	±0.5%，0 至 2800 W m ⁻²
餘弦響應(Cosine Response)	±1%，天頂角 0-70°；±3%，天頂角 70-80°
內/外層圓頂(dome)材質	玻璃

之設定為每分鐘一筆，然而氣象局於資料庫紀錄時僅為小時資料，並以輻射小時積算量 ($\text{MJ m}^{-2} \text{ hour}^{-1}$) 記錄。原始的分鐘資料記至小數點後 2 位，將此資料進行單位轉換，換算為標準輻射通量單位 W m^{-2} ， $0.01 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ 換算為 166.66 W m^{-2} ，因此在分分鐘資料上僅有機會出現 166.66、333.33、500、666.66、833.33、1000、1166.66、1333.33 W m^{-2} 。上述資料無論時間解析或有效位數解析度皆無法有效代表太陽輻射隨時間之變化，因太陽可能在數分鐘內受雲遮蔽而由每平方公尺數百瓦瞬間驟降至每平方公尺幾十瓦。在此，本研究仍使用氣象局對外釋出之太陽輻射觀測

資料的小時平均輻射通量資料進行分析，資料下載來源為大氣水文資料庫(網址：<https://dbar.pccu.edu.tw/>)。

向日葵 8 號(Himawari-8)衛星於 2014 年 10 月 7 日由日本發射，2015 年 7 月 7 日測試完成正式投入運作，為目前西北太平洋地區主要的氣象觀測同步衛星之一，衛星軌道位於在東經 140.7 度的赤道上空，波長範圍從 0.47063 至 13.2807 μm ，範圍涵蓋可見光、近紅外光及紅外光共 16 個頻道，空間解析度在可見光波段為 0.5 至 1 公里、近紅外光為 1 至 2 公里、紅外光為 2 公里，觀測頻率為每 10 分鐘 1 次。本研究在第四節與 Himawari-8 衛

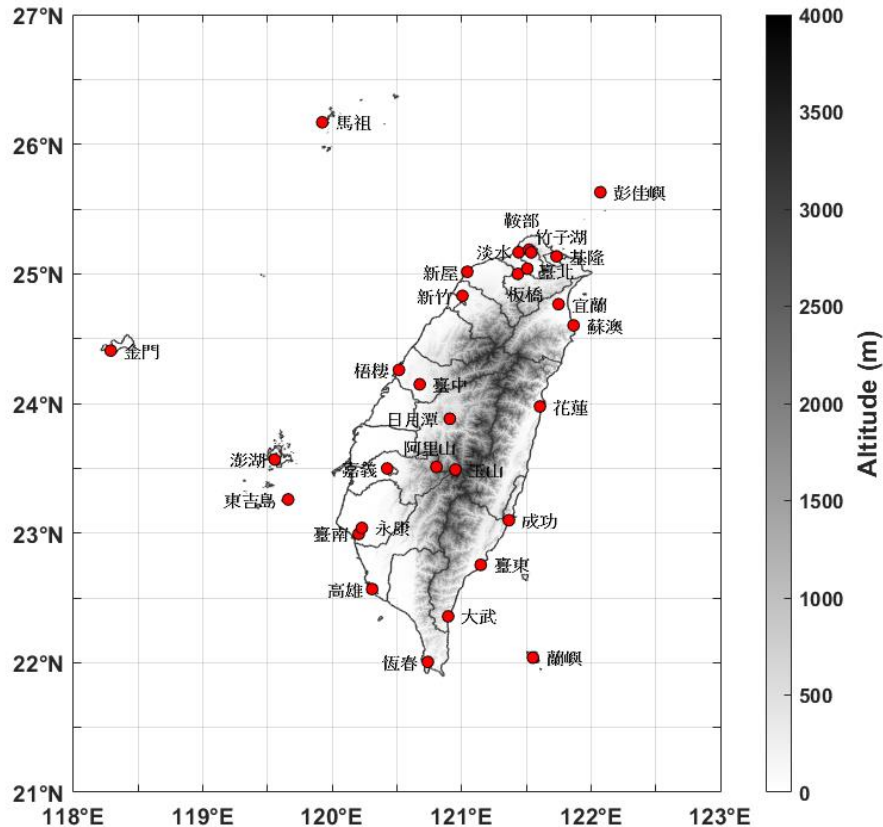


圖 1、氣象局局屬氣象站位置分布圖。

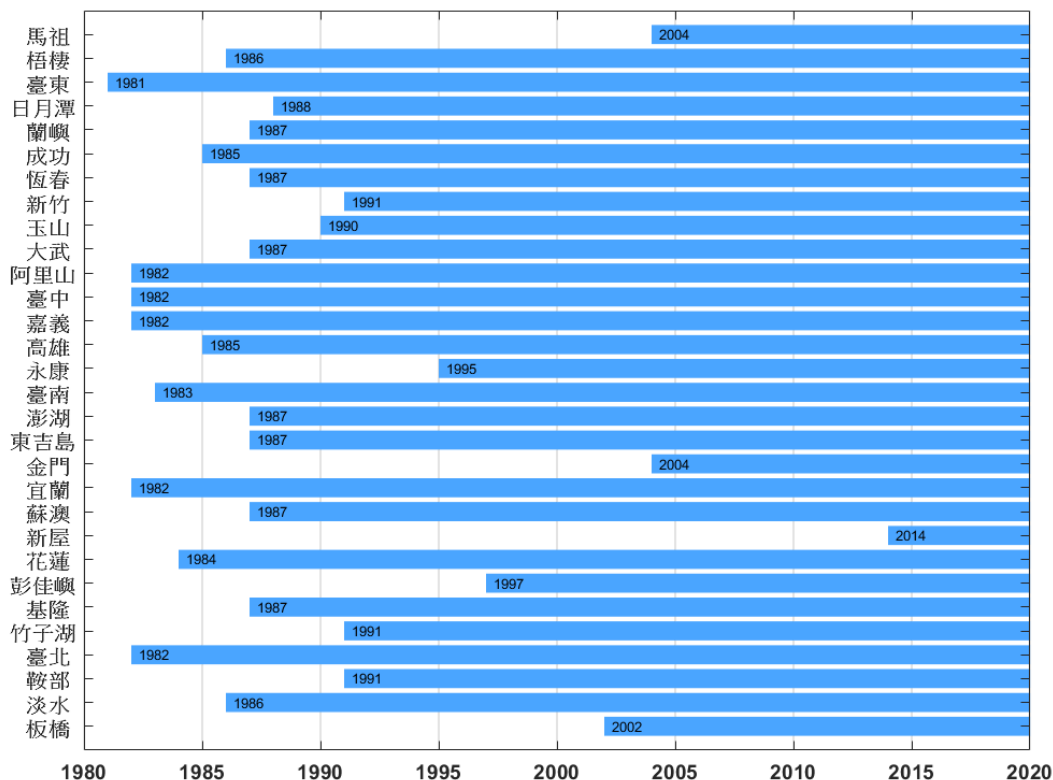


圖 2、氣象局局屬氣象站開始使用 PSP 進行全天空輻射觀測之年份。

星日射量之比對中，使用氣象局衛星中心的日射量反演產品，其空間解析度為 0.01°，範圍為東經 117.78°至 123.52°、北緯 21.48°至 26.72°，時間解析度為每小時 1 筆，每日臺灣時間(UTC+8)的 6 點至 19 點。

三、長期輻射資料品質管理方法之建立

本研究針對 2002-2020 年，氣象局完整的 ASOS 系統之全天空短波輻射資料，建置一套適合臺灣全天空短波輻射資料的 QC 流程，標註可疑或異常的觀測資料，並給予資料相對應之旗標(Flag)，Flag 共有 8 個，Flag

0-7，數字越大表示資料可用性越低，Flag 相對應之說明見表 2，以下將分別說明各 Flag 標記之方法。

首先是 Flag 7 系統資料存取錯誤，在檢視各站輻射資料時，發現資料處理器(data logger)所記錄之異常值，在 166.7、333.3、500、666.7、833.3、1000 及 1166.7 W m⁻²時，輻射值出現有效位數轉換異常屏障，以及測站紀錄儀器故障但對外釋出之資料並未標記為-9997 (因不明原因或故障而無資料)，當發生以上情況時，將資料標註為 Flag 7。接著參考 Long and Shi (2006)對標準地面輻射觀測資料 QC 提出的方法，物理可能極限(Physically

表 2、資料品質管理輸出之 Flag 說明。

	Flag 相應之說明	備註
Flag = 0	資料通過檢定	資料可使用
Flag = 1	誤差可能來自校正係數偏離	為有疑慮期間，使用者可自行判斷是否使用。
Flag = 2	資料筆數不足以代表該期間	
Flag = 3	小於極端最小極限	不建議使用該筆資料。
Flag = 4	大於極端最小極限	
Flag = 5	小於物理可能極限	
Flag = 6	大於物理可能極限	
Flag = 7	系統資料存取錯誤	

Possible Limits)、極端最小極限(Extremely Rare Minimum Limits)與觀測交互比對(Comparison Tests)等分析，作為資料 Flag 3-6 之參考。由於氣象局常規的輻射資料僅量測全天空向下短波輻射量，並未包括完整的地面輻射觀測資料(例如:向上短波輻射量、全天空短波散射量、短波直射量、向上/下長波輻射量等)，因此在資料品管的程序無法進行觀測交互比對分析方法，僅能進行物理可能極限及極端最小極限的分析。物理可能極限用以偵測觀測資料中異常大的誤差值以及較大

的隨機誤差，Flag 以 5 和 6 表示，通過檢定之資料將進到極端最小極限檢定，對各項大氣輻射觀測的最小值與最大值做進一步的篩選，Flag 以 3 和 4 表示，上述兩種分析利用日地平均距離下的太陽常數(S_a)與太陽天頂角的餘弦值(μ_0)去計算大氣輻射觀測的最大值(表 3)。一般情況下，超過設定的最大、最小值之輻射量通常是在一段非常短的時間內發生，是極少發生的情況，因此後續分析將標為無效值，此階段資料不建議使用。

表 3、物理可能極限與極端最小極限之閾值。

	最小值 ($W m^{-2}$)	最大值 ($W m^{-2}$)
物理可能極限	-4	$S_a \times 1.5 \times \mu_0^{1.2} + 100$
極端最小極限	-2	$S_a \times 1.2 \times \mu_0^{1.2} + 50$

透過上述檢定方法(Flags 3-6)，較難發現儀器老化、長時間未進行校正造成校正係數偏離或儀器更換觀測地點等所造成的異常值，因此本研究利用大氣輻射觀測之長期趨勢，發展出一個檢定程序，進一步篩選出資料有疑慮的期間。首先將通過檢定之資料，進行資料筆數代表性測試，輻射資料每日小時有效資料之筆數須超過一天的四分之三(18 筆)，否則視為不通過，接著將通過的每日小時有效輻射資料做日平均，每月日平均有效值之筆數須超過 20 筆，以確保資料有足夠的代表性，否則視為不通過，Flag 以 2 表示。接著進入每日氣候最大值(Daily Climate Maximum)檢定，利用單站長期資料檢視自身

異常偏低的輻射值，檢視資料於連續 6 個月期間，是否存在儀器老化、長時間未進行校正造成校正係數偏離，或觀測地點有遮蔽物、儀器更換觀測地點、儀器毀損故障等情形。一般來說，輻射量在中午的誤差約為 10 W m^{-2} (Ohmura et al., 1998; Wild et al., 2013; Stephens and L'Ecuyer, 2015)，因此將每日 12 點的太陽輻射通量，與 2002 年至 2020 年共 19 年的每日 12 點太陽輻射通量氣候最大值做相減(D12-DoYmax)，且須連續超過 6 個月，每月 0 筆 D12-DoYmax 小於等於 -10 W m^{-2} ，透過與氣候最大值相減，檢視自身是否存在一段異常偏低的輻射值，以討論扣除週期變化(日變化、季變化)後的長期趨勢，若通過，

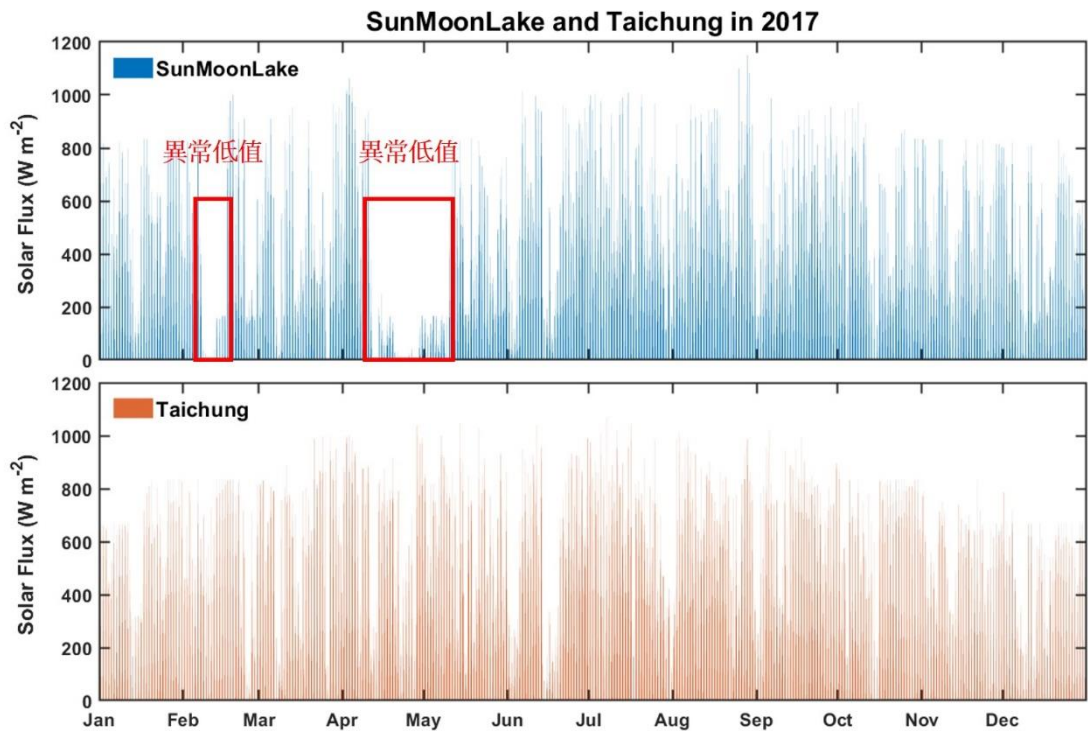


圖 3、2017 年日月潭站(圖上)及臺中站(圖下)之全天空短波輻射時序圖。紅色方框為輻射異常低值區間。

表示此段期間的輻射值持續 6 個月以上呈現相對低值，可能存在校正係數偏離等情形，視此期間之輻射值為異常偏低，Flag 以 1 表示；若不通過將視為此資料為可以使用之資料，Flag 以 0 表示。Flag 定為 0 到 7，數字越大表示資料品質越差，吾人將 Flag 等於 1 和 2 之資料視為有疑慮之資料，可能出現儀器老化、校正係數偏離、儀器毀損故障等不明原因，使用者可自行判斷是否使用此期間之資料。

第二階段為使用第一階段篩選出的高品質資料(Flag 0)，進一步加入鄰近測站倆倆進

行相關性及時序比較，我們意外地檢查出測站無異常紀錄之輻射異常低值，以 2017 年日月潭站為例，鄰近測站(臺中站)輻射值呈現正常的日變化，日月潭站之輻射值卻突然從 800-1000 W m⁻² 驟降至 200 W m⁻² 以下，甚至輻射值直接為 0，並持續一段不超過 6 個月的期間(圖 3)，此期間人工判定為異常，予以濾除，並將此類異常值納入 Flag 7，因此，系統資料存取錯誤(Flag 7)總計包含以下三種異常之資料，分別為 data logger 所記錄之異常值、測站紀錄儀器故障及人工判定為異常的觀測資料期間。完整 QC 流程如圖 4 所示。

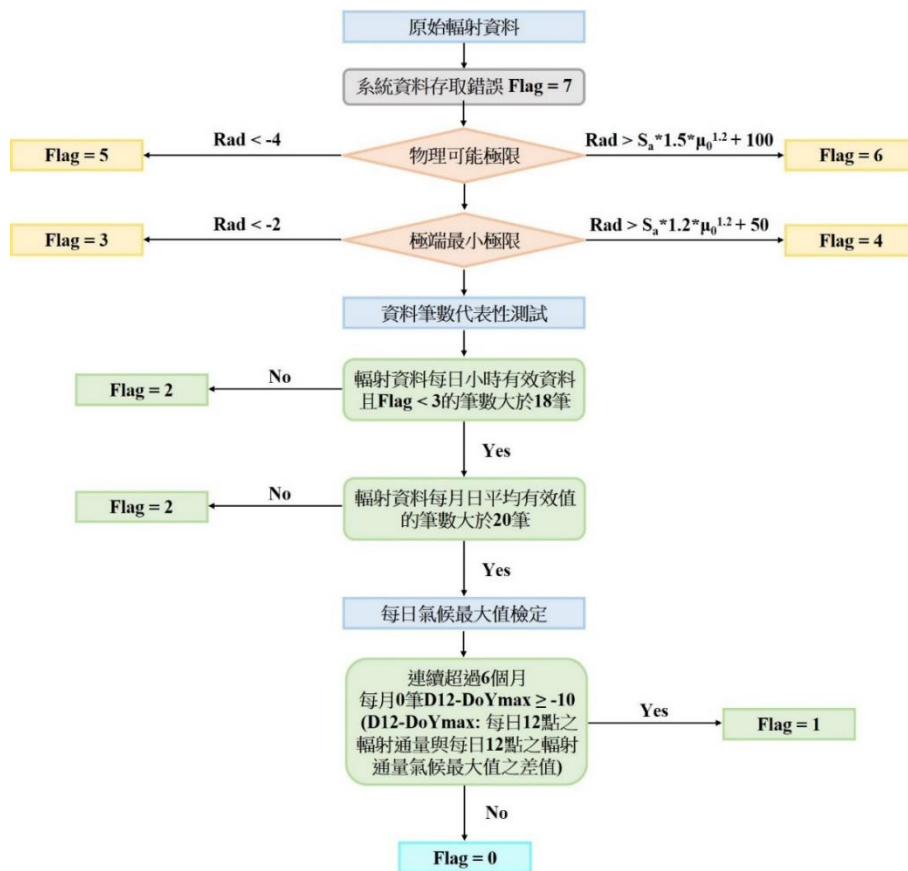


圖 4、資料品質管理流程圖。

表 4、氣象局局屬氣象站 2002-2020 年輻射資料品保可用率。

編號	站名	時間區間	應有資料筆數	實際資料筆數	Flag 7 (%)	Flag 3-6 (%)	資料品保可用率 (%)	Flag 1-2 (%)	扣除有疑慮期間之資料品保可用率 (%)
466880	板橋	2002.01-2020.12	166560	166308	5.3	0.2	94.5	5.9	88.6
466900	淡水	2002.01-2020.12	166560	166189	5.0	0.1	94.9	33.6	61.2
466910	鞍部	2002.01-2020.12	166560	166556	1.5	0.0	98.5	3.9	94.6
466920	臺北	2002.01-2020.12	166560	166490	3.1	0.1	96.9	11.9	84.9
466930	竹子湖	2002.01-2020.12	166560	166200	2.5	0.2	97.4	42.0	55.4
466940	基隆	2002.01-2020.12	166560	165108	4.2	0.1	95.7	18.8	76.9
466950	彭佳嶼	2002.01-2020.12	166560	155985	3.2	0.2	96.7	18.9	77.7
466990	花蓮	2002.01-2020.12	166560	165822	8.9	0.1	91.0	11.8	79.2
467050	新屋	2014.01-2020.12	61368	60916	3.8	0.3	96.0	0.5	95.5
467060	蘇澳	2002.01-2020.12	166560	166536	5.8	0.0	94.2	7.3	87.0
467080	宜蘭	2002.01-2020.12	166560	166114	4.0	0.0	95.9	7.7	88.2
467110	金門	2004.01-2020.12	149040	148626	4.7	0.0	95.3	8.2	87.0
467300	東吉島	2002.01-2020.12	166560	166329	3.7	0.2	96.1	27.4	68.7
467350	澎湖	2002.01-2020.12	166560	166286	4.3	0.1	95.6	25.5	70.2
467410	臺南	2002.01-2020.12	166560	166511	3.6	0.2	96.2	36.2	60.0
467420	永康	2002.01-2020.12	166560	162691	3.7	0.2	96.1	21.0	75.1
467440	高雄	2002.01-2020.12	166560	166261	5.0	0.1	94.9	8.9	86.1
467480	嘉義	2002.01-2020.12	166560	166433	3.7	0.1	96.2	32.2	64.0
467490	臺中	2002.01-2020.12	166560	163724	3.3	0.1	96.6	8.2	88.4
467530	阿里山	2002.01-2020.12	166560	166549	2.1	0.3	97.7	6.9	90.8
467540	大武	2002.01-2020.12	166560	166556	4.3	0.0	95.7	25.5	70.2
467550	玉山	2002.01-2020.12	166560	160671	7.2	1.9	91.0	21.6	69.3
467571	新竹	2002.01-2020.12	166560	166508	4.3	0.0	95.6	5.5	90.1
467590	恆春	2002.01-2020.12	166560	165631	3.3	0.4	96.4	28.6	67.7
467610	成功	2002.01-2020.12	166560	166048	4.3	0.0	95.7	22.7	73.0
467620	蘭嶼	2002.01-2020.12	166560	164012	1.6	0.4	98.0	22.9	75.1
467650	日月潭	2002.01-2020.12	166560	165271	4.1	0.2	95.8	6.3	89.4
467660	臺東	2002.01-2020.12	166560	166050	4.6	0.0	95.3	14.4	80.9
467770	梧棲	2002.01-2020.12	166560	166560	4.7	0.1	95.2	41.8	53.4
467990	馬祖	2004.01-2020.12	149040	148890	5.0	0.0	94.9	6.0	88.9

表 4 呈現 2002-2020 年氣象局 30 個局屬氣象站之輻射資料，經過上述完整品質管理流程後的輻射資料可用率，其中，資料品保可用率為扣除系統資料存取錯誤，並通過物理可能極限與極端最小極限，即 $\text{Flag} < 3$ 之資料可用率；而扣除有疑慮期間則僅有 $\text{Flag} 0$ 之資料品保可用率。資料品保可用率之計算方式如下：

$$\text{資料品保可用率}(\%) = \frac{\text{QC 資料筆數}}{\text{實際資料筆數}} \times 100\% \quad (1)$$

透過此設定之結果顯示，各測站的資料品保可用率皆超過 90%，系統資料存取錯誤 ($\text{Flag} 7$) 的比例落在 1.5-8.9%，物理可能極限與極端最小極限 ($\text{Flag} 3-6$) 的比例則落在 0-1.9%，呼應上述輻射量超過設定的最大、最小值是極少發生的情況。接著扣除有疑慮期間之資料，發現所有測站之品保率皆下降，各測站之資料品保可用率下降至 53-96% 之間，顯示儀器仍有存在老化、校正係數偏離等疑慮，其中又以竹子湖及梧棲站下降較為明顯，扣除有疑慮期間之資料品保可用率低於 60%。

為了探討可能造成輻射值有疑慮的原因，本團隊收集各測站所記載的大氣輻射觀測重要紀事 (王, 2021)，進一步分析此疑慮值發生之當時測站活動。以成功站為例，圖 5 顯示 2002 年、2005 年至 2007 年的太陽輻

射通量月平均值偏低，每日 12 點之太陽輻射通量與每日 12 點太陽輻射通量氣候最大值的差值中，可以明顯得到 2002 年 2 月至 2003 年 2 月以及 2005 年 4 月至 2007 年 8 月的太陽輻射通量月平均值異常偏低，經資料品質管理測試後將此時間區間視為有疑慮的期間，比對測站輻射儀器更動紀錄，2002-2020 年共有 6 次的更換紀錄，其中註記於 2003 年 3 月 17 日及 2007 年 7 月 20 日的前兩次儀器校驗換新，與異常低值的結束時間不謀而合，顯示校正係數偏離是影響此兩段資料品質的主要原因，凸顯定期校正輻射儀器之重要性。然而，並非各測站皆有詳細的儀器更動紀錄，因此許多異常值的原因仍有待討論，例如前述扣除有疑慮期間之資料品保可用率低於 60% 之竹子湖及梧棲站，異常低值發生於較早的年份，卻缺乏測站註記輻射儀器更動之紀錄，導致輻射值偏低之原因較難解釋。另一方面，各站之輻射觀測值在 2003 年以前皆明顯偏低，目前尚無法得知原因，但推測可能與觀測系統之設置相關，為一系統性之偏差。然而事後檢討，僅能確保資料的可用性，並無法提升資料的可用率，因此真正解決之道為定期校正儀器，確保儀器校正係數之準確。

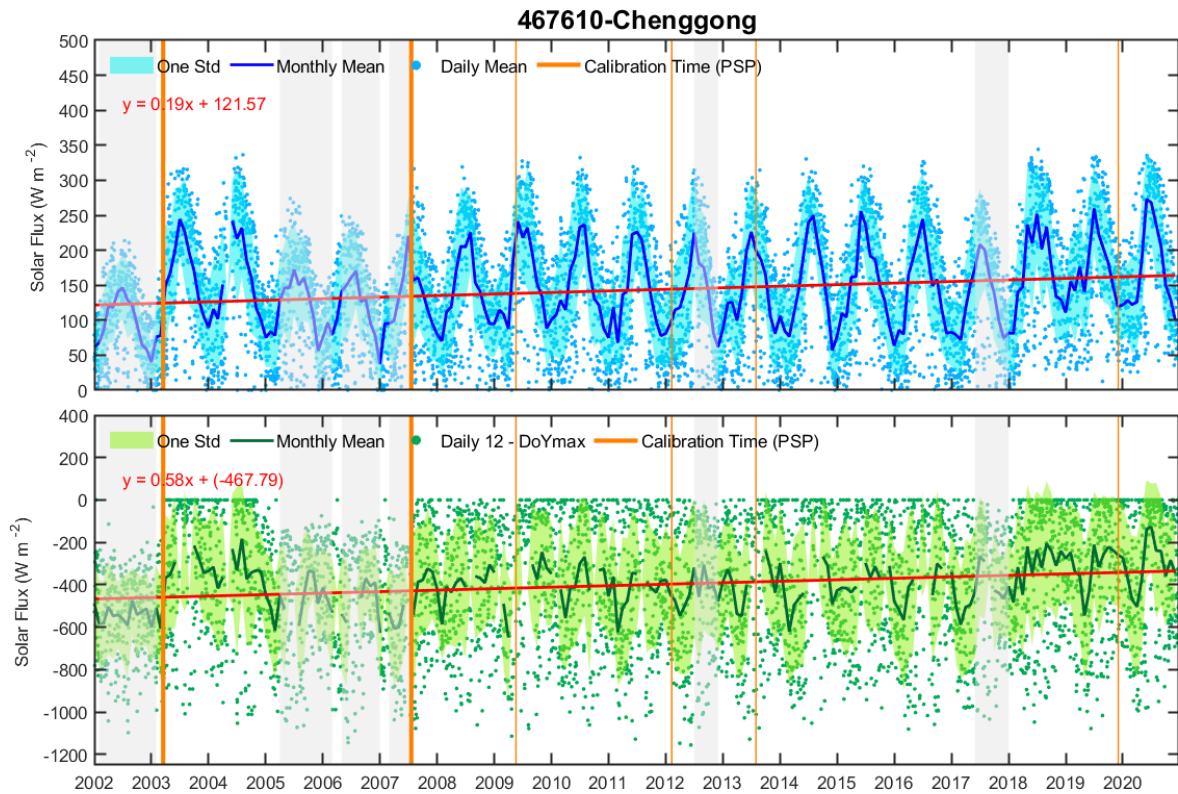


圖 5、成功測站大氣輻射觀測之長期趨勢。全天空太陽輻射通量(上)；每日 12 點之太陽輻射通量與每日 12 點太陽輻射通量氣候最大值的差值(下)。藍、綠色陰影為一倍標準差；實線為月平均值；點分別為日平均值以及每日 12 點之太陽輻射通量與每日 12 點太陽輻射通量氣候最大值的差值；灰色陰影為有疑慮期間；橘色實線為儀器校驗換新的日期。

四、與鄰近測站及衛星日射量之比對

(一) 與鄰近測站之比對

此階段使用 QC 篩選出的高品質資料 (Flag 0)，加入鄰近測站兩兩進行相關性及時序比較。首先將每個測站分別與其餘 29 個測站做相關性，選出相關係數最高的測站做為鄰近測站進行比對，比對結果如表 5 所示，相關係數介於 0.67 至 0.92，其中相關係數低於 0.7 的測站分別為阿里山、玉山與蘭嶼、大

武，阿里山及玉山為高山測站，除了海拔高度不同外，易受到雲層的影響，而蘭嶼為離島測站，與大武站距離較遠且環境差異大，因此相關性較低，亦顯示輻射存在區域差異。

然而，相關係數僅能看出兩者之間的相關程度，雖然相關係數高，但資料可能存在偏差，以臺南、永康和板橋、臺北為例，臺南與永康站的相關係數高達 0.92；板橋與臺北站的相關係數則為 0.87，然而臺南與永康站的平均偏差(Mean Bias Error, MBE)為-44.28 $W m^{-2}$ ，明顯高於板橋與臺北站的-3.94 $W m^{-2}$

表 5、與鄰近局屬氣象站全天空短波輻射量(Flag 0)之比對。*符號為兩測站(測站與鄰近測站)互為彼此相關性最高之測站。

	測站	鄰近測站	比對期間	N	r	RMSE (W m ⁻²)	MBE (W m ⁻²)
1*	臺南	永康	2002.01.01-2020.12.31	35188	0.92	112.34	-44.28
2	新屋	新竹	2014.01.01-2020.12.31	20645	0.88	134.75	-38.87
3*	板橋	臺北	2002.01.01-2020.12.31	44334	0.87	126.6	-3.94
4*	澎湖	東吉島	2002.01.01-2020.12.31	32960	0.86	134.37	28.2
5*	宜蘭	蘇澳	2002.01.01-2020.12.31	41171	0.85	147.23	0.49
6	高雄	臺南	2002.01.01-2020.12.31	33738	0.85	137.49	22.47
7	淡水	臺北	2002.01.01-2020.12.31	29953	0.84	147.59	-28.94
8*	臺東	成功	2002.01.01-2020.12.31	35632	0.84	161.72	-29.2
9	竹子湖	淡水	2002.01.01-2020.12.31	29611	0.83	157.28	24.41
10	嘉義	臺南	2002.01.01-2020.12.31	21944	0.83	154.55	26.72
11*	臺中	梧棲	2002.01.01-2020.12.31	30758	0.83	145.4	-3.84
12	大武	臺東	2002.01.01-2020.12.31	34123	0.82	163.77	7.94
13	鞍部	竹子湖	2002.01.01-2020.12.31	29291	0.80	181.27	83.39
14	新竹	淡水	2002.01.01-2020.12.31	32429	0.80	158.92	3.18
15	基隆	宜蘭	2002.01.01-2020.12.31	35105	0.78	179.72	7.42
16	彭佳嶼	淡水	2002.01.01-2020.12.31	26988	0.78	179.85	-12.88
17	恆春	高雄	2002.01.01-2020.12.31	38188	0.76	169.53	-11.56
18	花蓮	成功	2002.01.01-2020.12.31	33801	0.74	202.04	37.49
19	金門	梧棲	2004.01.01-2020.12.31	29990	0.73	182.59	28.97
20	日月潭	臺中	2002.01.01-2020.12.31	51985	0.73	180.06	55.25
21	馬祖	金門	2004.01.01-2020.12.31	37609	0.71	190.47	44.77
22*	阿里山	玉山	2002.01.01-2020.12.31	37800	0.67	230.48	91.29
23	蘭嶼	大武	2002.01.01-2020.12.31	36409	0.67	227.38	66.07

，分析此兩組的小時輻射資料分布，圖 6 顯示臺南與永康站的輻射資料相關性良好，然而永康站卻有一部分的輻射資料明顯低於臺南站，比對時序圖(圖 7)發現，2012-2014 年永康站的輻射量相對臺南站來得低，2015 年後兩站的輻射量趨於一致，然而，永康站經 QC 後 2012-2014 年的輻射量並未被標記為

有疑慮，大氣輻射觀測之長期趨勢圖(圖 8)顯示，此段期間每日 12 點之太陽輻射通量與每日 12 點太陽輻射通量氣候最大值的差值中，差值為 0 的密集程度較 2015 年後低，但並未出現連續超過 6 個月，每月 0 筆 D12-DoYmax 小於等於-10 W m⁻²，因此通過 QC 檢測，比對測站輻射儀器更動紀錄，此期間並未有儀

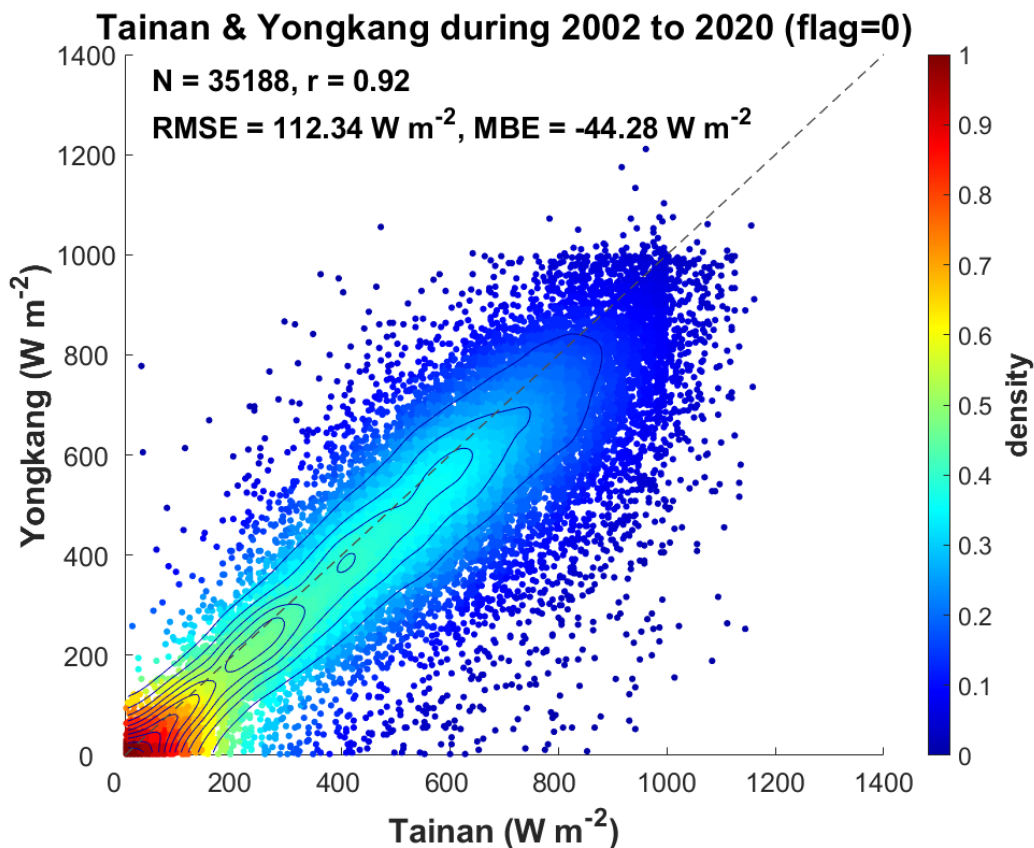


圖 6、2002-2020 年臺南站與永康站 QC Flag 0 之全天空短波輻射量散布圖。

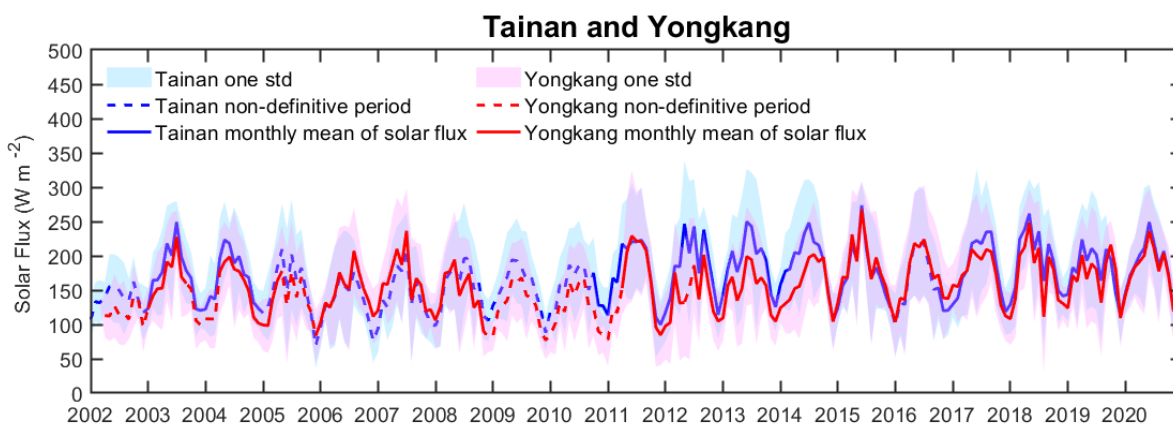


圖 7、2002-2020 年臺南站與永康站之全天空太陽輻射通量。陰影為一倍標準差；實線為月平均值；虛線為有疑慮期間之月平均值。

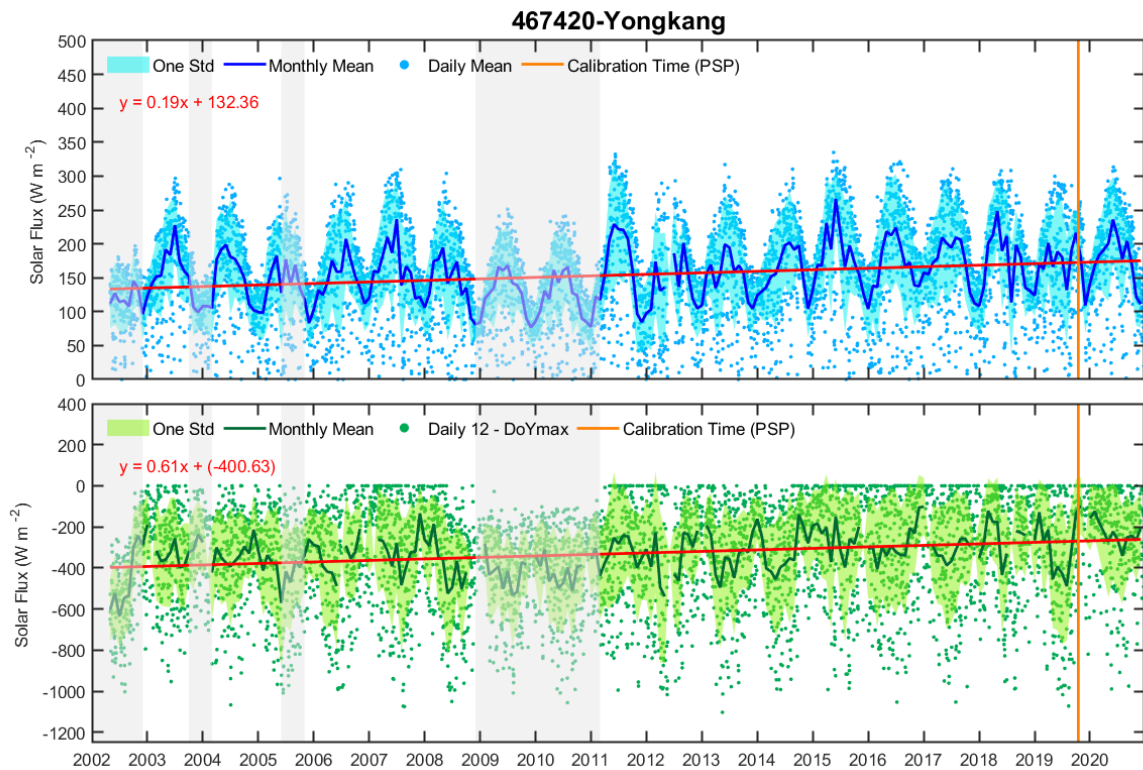


圖 8、永康測站大氣輻射觀測之長期趨勢。內容說明如圖 5。

器更動及其相關紀錄。板橋與臺北站的輻射資料相關性雖然沒有臺南與永康站來得高，但從資料分布密度圖可以看出兩者偏差較少(圖 9)，圖 10 為兩站的輻射時序圖，2010 年和 2011 年夏季臺北站輻射值較低，2020 年臺北站輻射值則較高，因此互相抵銷後 MBE 較臺南與永康站來得小。另外，在與鄰近測站之比對中，亦發現有多個測站在少數中午時分，輻射值在約 800 及 1000 $W m^{-2}$ 左右出現屏障，但非一定值(為一小範圍)，板橋與臺北站即有發生(圖 9)，此現象主要出現在夏季(6-8 月)輻射值較高的季節，但年份上並無固定，此少部分的資料無法由本研究所定義的 QC 程序中剔除。

(二) 與衛星日射量之比對

王(2021)的報告中指出，氣象站於 2019 年陸續更換統一校正過之 PSP 儀器，全臺 30 個局屬氣象站之 PSP 已於 2020 年更新為具國際標準追溯的校正係數，因此本研究進一步比對 2020 年臺灣不同區域 QC 後品質較高的地面觀測資料與 Himawari-8 衛星反演之日射量，在空間上分別以臺北、新竹、臺中、阿里山、臺南、高雄、宜蘭、花蓮以及成功氣象站，代表北部、桃竹苗、中部、山區、雲嘉南、高屏、宜蘭、花蓮以及臺東地區(表 6)，後續僅使用 2020 年 Flag 0 (資料可用性較高)之輻射資料，進行輻射差異之比對。圖 11 為 2020

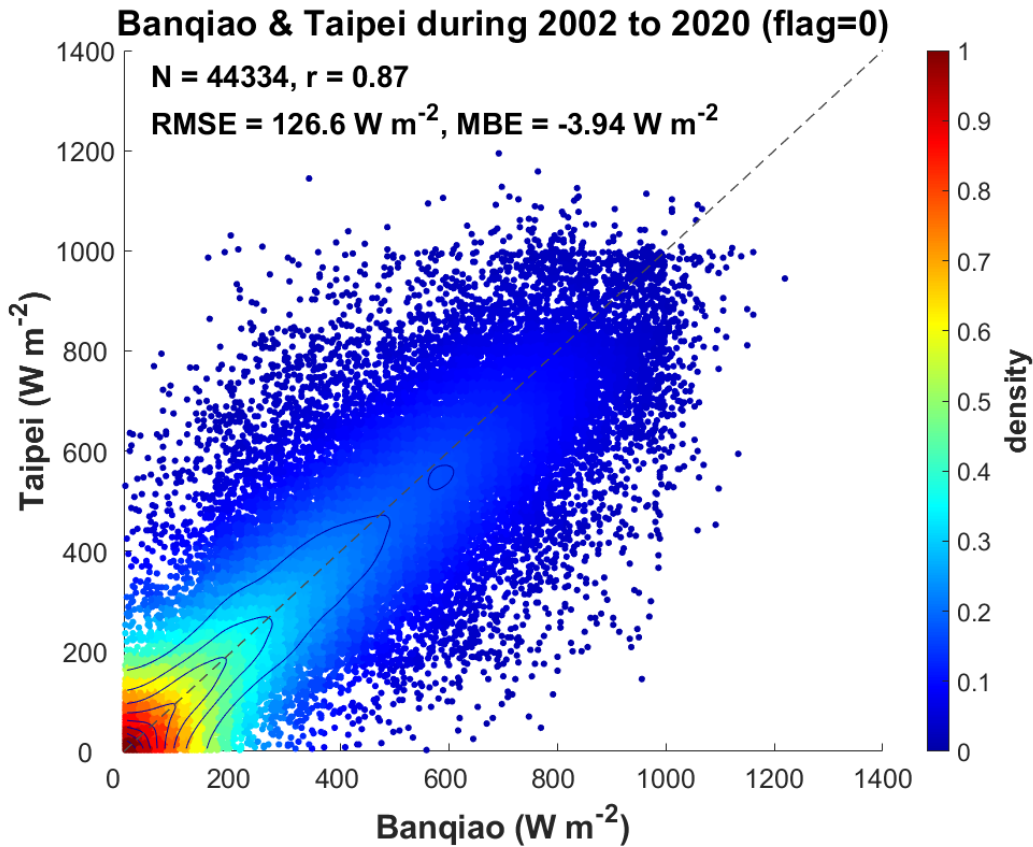


圖 9、2002-2020 年板橋站與臺北站 QC flag 0 之全天空短波輻射量散布圖。

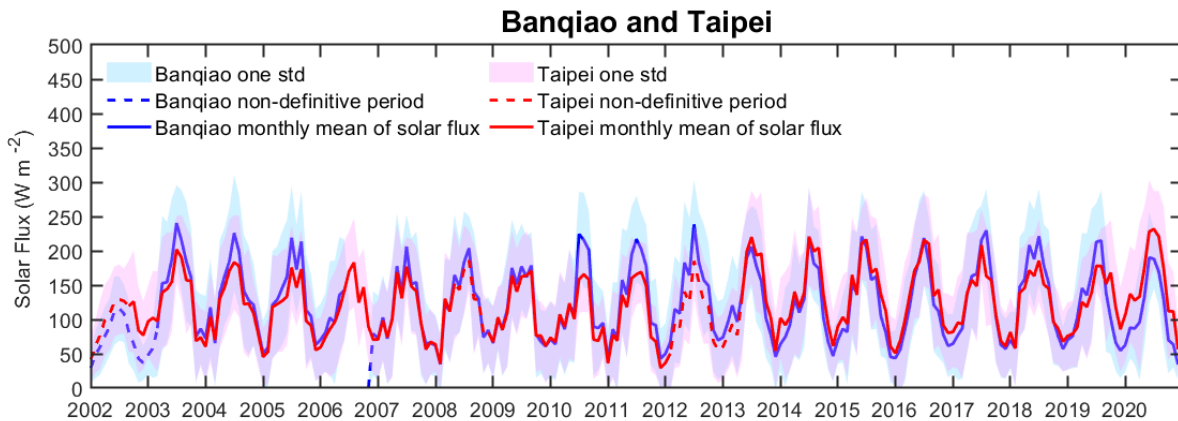


圖 10、2002-2020 年板橋站與臺北站之全天空太陽輻射通量。內容說明如圖 7。

年氣象局地面 9 個比對測站與衛星反演之輻射資料散布圖，衛星資料選用離各比對測站最近的網格資料進行比對，結果顯示地面觀測與衛星反演的相關係數高達 0.96、RMSE 為 88.25 W m^{-2} 、MBE 為 10.23 W m^{-2} ，表示衛星反演結果相對於地面觀測高估約 10.23

W m^{-2} ；各月的輻射資料散布圖顯示，地面與衛星反演具有高度相關，相關係數介於 0.94 至 0.97 (圖 12)，然而，衛星反演之日射量在約 930 W m^{-2} 出現明顯的屏障，導致斜率上衛星比地面低了約 10%。

分別比對代表不同區域的 9 個氣象局地

表 6、本研究選用之氣象局比對測站。

代表地區	氣象局地面比對測站	2020 年扣除有疑慮期間之 資料品保可用率 (%)
北部	臺北站	96.6
桃竹苗	新竹站	96.2
中部	臺中站	96.8
山區	阿里山站	97.3
雲嘉南	臺南站	96.0
高屏	高雄站	95.4
宜蘭	宜蘭站	95.8
花蓮	花蓮站	97.9
臺東	成功站	99.3

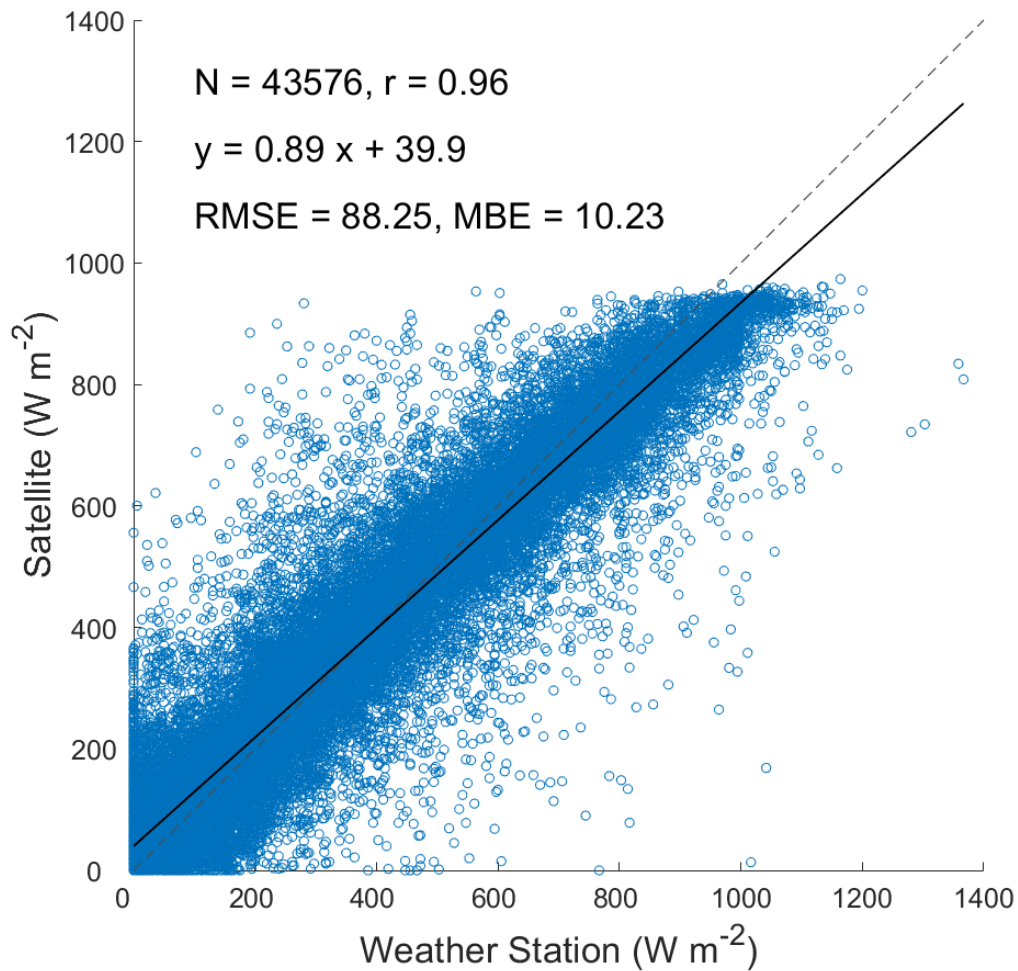


圖 11、2020 年氣象局地面比對測站與衛星反演之輻射資料散布圖。

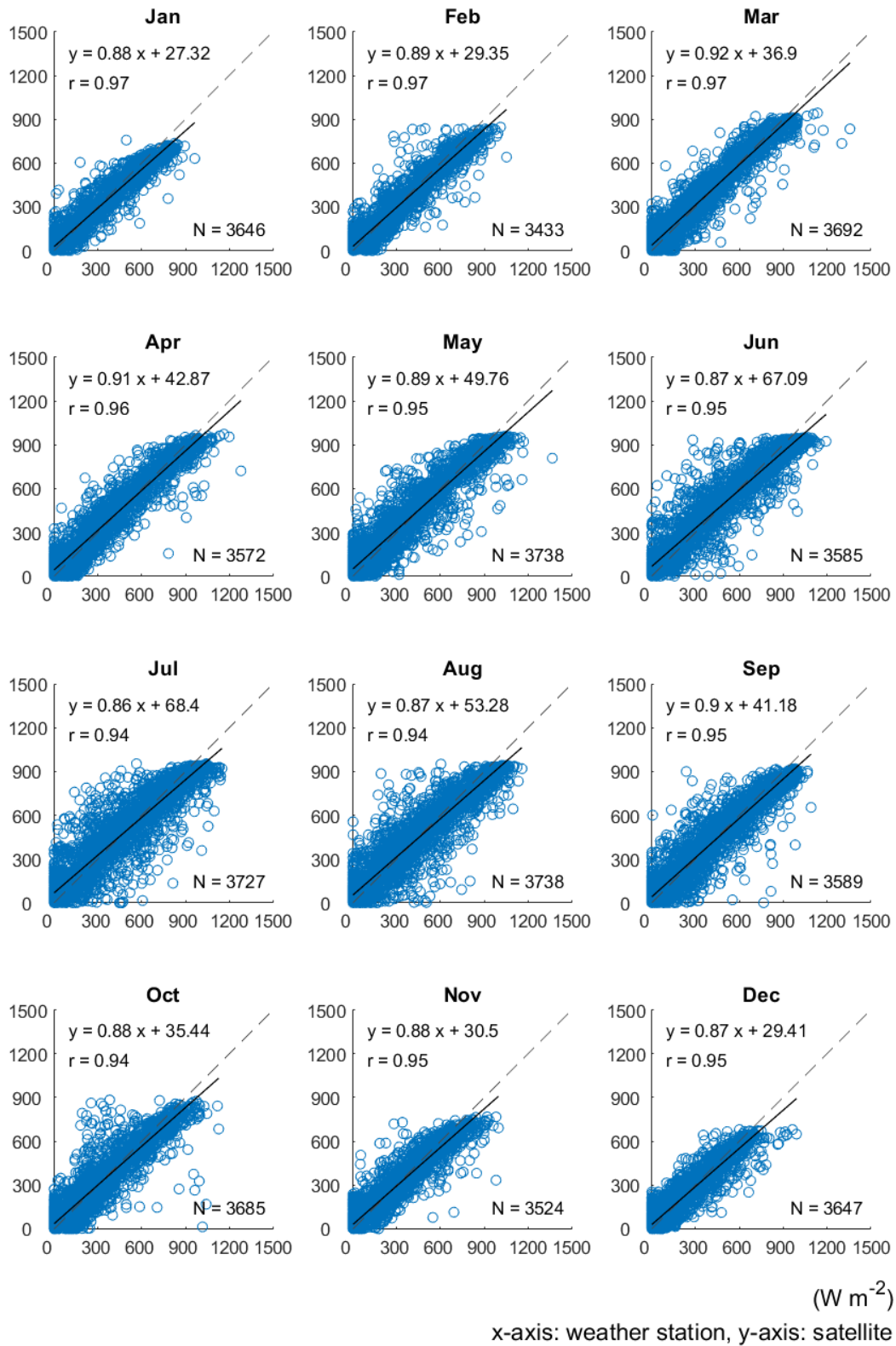


圖 12、2020 年氣象局地面比對測站與衛星反演各月之輻射資料散布圖。

面測站觀測與衛星反演資料之日射量，其中地面觀測中最低的年平均日射量出現在花蓮地區，年平均日射量為 212 W m^{-2} ，最高的年平均日射量為高屏地區之 352.9 W m^{-2} ；然而衛星反演中最低的年平均日射量出現在宜蘭地區，年平均日射量為 244.8 W m^{-2} ，花蓮地區則為 271.1 W m^{-2} ，最高的年平均日射量同樣出現在高屏地區(344.7 W m^{-2})，衛星反演在

花蓮地區存在嚴重高估的情形(27.9%)，在日射量最強的高屏地區則差異較小(1.6%)，桃竹苗地區則是衛星反演較地面觀測來得低，差異約為 4.6%。月份比對中則顯示，3 月衛星反演高估情形較為明顯，衛星反演較地面觀測高約 6.5%，各月份之平均日射量見**錯誤！書籤的自我參照不正確。**。

表 7、臺灣各區域鄰近測站與衛星每月平均日射量，單位為 W m^{-2} 。

		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均	差異(%)
北部	地面	189.4	241.8	221.5	243.4	306.8	401.6	400.8	386.0	311.0	201.4	198.9	101.0	267.0	-4.6
	衛星	178.0	226.3	224.1	235.6	299.6	385.4	383.9	369.7	292.0	182.2	182.5	96.8	254.7	
桃竹苗	地面	165.4	220.6	198.7	243.3	293.0	417.9	410.2	345.7	289.8	275.7	217.0	130.3	267.3	9.2
	衛星	185.7	243.6	233.4	272.1	326.6	445.7	433.5	366.8	314.7	293.2	236.0	150.5	291.8	
中部	地面	234.0	282.7	299.6	321.5	330.5	409.0	396.5	333.7	332.9	303.5	230.2	197.0	305.9	2.4
	衛星	239.3	284.9	317.7	337.5	342.6	414.0	402.0	336.6	340.6	303.3	237.7	203.7	313.3	
山區	地面	284.1	292.7	284.5	301.0	270.4	337.0	314.2	239.7	270.1	289.0	283.0	230.5	283.0	-0.4
	衛星	258.5	274.5	279.3	306.3	279.6	368.4	329.5	278.9	282.3	284.6	245.2	197.2	282.0	
雲嘉南	地面	261.2	307.6	328.3	357.0	367.5	437.5	383.4	326.2	364.6	308.5	221.9	212.9	323.0	1.8
	衛星	256.6	305.9	352.2	379.6	379.0	449.4	384.0	319.6	357.5	311.0	231.0	220.4	328.8	
高屏	地面	288.2	321.6	356.3	402.6	382.0	494.5	426.2	355.3	433.2	311.6	249.1	214.5	352.9	-2.3
	衛星	275.5	313.7	362.4	407.7	380.1	463.2	415.5	330.4	405.8	307.7	252.0	222.8	344.7	
宜蘭	地面	173.2	186.8	215.8	206.3	260.6	407.4	393.4	407.0	261.6	117.0	112.3	72.7	234.5	4.4
	衛星	180.7	185.7	225.9	218.8	283.1	433.0	410.0	406.2	269.3	119.2	122.2	83.1	244.8	
花蓮	地面	105.0	141.6	172.7	151.9	220.3	400.0	398.6	358.7	249.6	144.3	132.0	69.1	212.0	27.9
	衛星	156.3	187.5	223.7	208.4	287.3	459.8	463.5	417.7	311.1	210.9	192.9	133.7	271.1	
臺東	地面	210.1	220.9	210.6	217.7	319.3	471.1	462.9	407.3	355.5	257.5	223.5	173.8	294.2	1.6
	衛星	199.5	216.9	218.5	233.9	330.3	478.3	481.2	411.4	364.6	257.6	218.1	175.8	298.8	
全臺	地面	212.3	246.3	254.2	271.6	305.6	419.5	398.5	351.1	318.7	245.4	207.5	155.8	282.2	3.6
	衛星	214.4	248.8	270.8	288.9	323.1	433.0	411.5	359.7	326.4	252.2	213.1	164.9	292.2	
	差異(%)	1.0	1.0	6.5	6.4	5.7	3.2	3.3	2.5	2.4	2.8	2.7	5.9	3.6	

五、結論

氣象局自 2002 年起，於各局屬氣象站全面更新為 Eppley 公司出產的 PSP 輻射儀進行觀測，但因為搭配一套統一的資料品質管理程序，以致資料應用上常有疑慮，因此本研究檢視過去 2002-2020 年局屬站 ASOS 系統之全天空短波輻射資料，建置一套適合臺灣氣象局輻射資料之 QC 流程，標註可疑或異常的觀測資料，給予資料相對應之旗標 (Flag 0-7)，Flag 數字越大表示資料可用性越低，以此提升大氣輻射資料的可用性，並計算出資料品保可用率以利未來氣象局或相關使用者參考。

長期資料品管流程可分為兩階段檢驗流程，第一階段以單站長期資料進行處理，先濾除系統資料存取錯誤(Flag 7)之異常值，包含資料處理器所記錄之異常值、測站紀錄儀器故障及人工判定為異常的觀測資料期間，之後參考 Long and Shi (2006)對標準地面輻射觀測資料 QC 提出的方法，進行物理可能極限(Flag5-6)與極端最小極限(Flag3-4)檢定，用以偵測資料中異常大的誤差值與較大的隨機誤差，此階段 30 個局屬站之資料品保可用率皆超過 90%，Flag \geq 3 的資料不建議使用。接著進行資料筆數代表性(Flag2)及每日氣候最大值檢定(Flag1)，利用長期氣候資料檢視

自身異常偏低的輻射值，檢視資料於連續 6 個月期間，是否存在儀器老化、校正係數偏離等情形，此階段為有疑慮期間，使用者可自行判斷是否使用此期間之資料。若通過上述所有檢定則視為此資料為可以使用之資料 (Flag0)，扣除有以上疑慮之資料後，各測站之資料品保可用率下降至 53-95%之間，其中校正係數偏離是影響資料品質的主要原因，凸顯定期校正輻射儀器之重要性。

第二階段為使用第一階段篩選出的高品質資料，進一步加入鄰近測站兩兩進行相關性及時序比較，選出相關係數最高的測站做為鄰近測站進行比對，兩兩測站之相關係數介於 0.67 至 0.92，其中相關係數低於 0.7 的測站分別為阿里山、玉山與蘭嶼、大武，阿里山及玉山為高山測站，除了海拔高度不同外，易受到雲層的影響，而蘭嶼為離島測站，與大武站距離較遠且環境差異大，因此相關性較低，顯示輻射存在區域差異。另外，我們意外地發現有多個測站在少數中午時分，輻射值在約 800 及 1000 W m⁻² 左右出現屏障，但非一定值(為一小範圍)，此現象主要出現在夏季輻射值較高的季節，但年分上並無固定。最後，本研究比對 2020 年臺灣不同區域 QC 後品質較高的地面觀測資料與 Himawari-8 衛星反演之日射量，結果顯示兩者的相關係數

高達 0.96 ，MBE 為 10.23 W m^{-2} ，表示衛星反演結果相對於地面觀測高估約 10.23 W m^{-2} ，各月的相關係數介於 0.94 至 0.97 ，同時，本研究亦指出衛星反演之日射量在約 930 W m^{-2} 出現一明顯屏障，此將為氣象局衛星資料反演法中預計改進的重點之一。在空間區域比較方面，衛星反演在花蓮地區可能存在高估的情形，衛星反演比地面高約 27.9% ；於北部地區則有約 4.6% 的低估，整體而言，衛星資料相比地面觀測仍稍偏高，偏高情形以 3 月的 6.5% 最為明顯，此分析結果可作為未來衛星反演日射量的改進依據。

透過上述完整的輻射資料 QC 流程，標註可疑或異常的觀測資料，本研究具體建議，未來需要使用此筆大氣輻射資料之使用者，應搭配相對應的 QC 旗標，以獲得可信的分析成果。值得一提的是，自 2021 年開始，氣象局局屬氣象站全面更新為地面氣候自動觀測系統(Automatic Climate Observing System, ACOS)，全天空短波輻射計亦更換為 Eppley 公司新型號的 Standard Precision Pyranometer (SPP)，ACOS 系統提升輻射資料於分鐘資料記錄上的有效位數，以修正過去 ASOS 系統存在有效位數代表性不足的問題，能更精準地保留太陽短波輻射資料。在儀器校正作業上，氣象局氣象儀器檢校中心導入符合全球

標準的輻射儀校正程序，並建立觀測儀器履歷與追蹤系統，確實掌握儀器校正更新時效與狀態，減少儀器老化、校正係數偏移的問題，提供準確可靠的太陽短波輻射通量觀測資料。

致謝

感謝中央氣象局氣象資訊之智慧應用服務計畫(II)提供活化在地氣象資訊應用系統發展案(計畫編號：1101G089)之研究經費支持，以及長期輻射資料，包括地面輻射觀測資料與 Himawari-8 衛星反演之日射量，使本研究能順利進行。

參考文獻

- 王聖翔 (2021)，活化在地氣象資訊應用系統發展案，交通部中央氣象局一百一十年資訊委託服務計畫期末報告。
- 林博雄、劉紹臣、馮欽賜、周宗元、葉瑞元 (2004)，台灣地區太陽輻射量之校驗與長期趨勢，天氣分析與預報研討會論文集，天氣分析與預報研討會，交通部中央氣象局。
- 胥立南 (2015)，應用 MTSAT2 衛星資料估算臺灣地表日射量，104 年天氣分析與預

- 報研討會論文全文彙編，交通部中央氣象局。
- 鄭光浩、葉子葵、胥立南、章鶴群、張育承 (2017)，應用 Himawari-8 估計臺灣地表日射量之校驗及探討，106 年天氣分析與預報研討會論文全文彙編，交通部中央氣象局。
- 蕭鋒、林博雄、賴彥任 (2011)，由 MTSAT 衛星影像及數位地形資料估算臺灣地表太陽輻射量，大氣科學，39 期，53-67。
- Augustine, J. A., and Dutton, E. G.: Variability of the surface radiation budget over the United States from 1996 through 2011 from high-quality measurements, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 43-53, 2013.
- Bush, B. C., and Valero, F. P.: Spectral aerosol radiative forcing at the surface during the Indian Ocean Experiment (INDOEX), *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107, INX2 2-1-INX2 2-10, 2002.
- Bush, B. C., and Valero, F. P.: Surface aerosol radiative forcing at Gosan during the ACE-Asia campaign, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108, 2003.
- Cess, R. D., and Vulis, I. L.: Inferring Surface Solar Absorption from Broadband Satellite Measurements, *Journal of Climate*, 2, 974-985, 10.1175/1520-0442(1989)002<0974:issafb>2.0.co;2, 1989.
- García, O., Díaz, A., Expósito, F., Díaz, J., Dubovik, O., Dubuisson, P., Roger, J. C., Eck, T., Sinyuk, A., and Derimian, Y.: Validation of AERONET estimates of atmospheric solar fluxes and aerosol radiative forcing by ground-based broadband measurements, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113, 2008.
- Gautier, C., Diak, G., and Masse, S.: A Simple Physical Model to Estimate Incident Solar Radiation at the Surface from GOES Satellite Data, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 19, 1005-1012, 10.1175/1520-0450(1980)019<1005:aspmte>2.0.co;2, 1980.
- Huang, G., Ma, M., Liang, S., Liu, S., and Li, X.: A LUT-based approach to estimate surface solar irradiance by combining MODIS

- and MTSAT data, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116, 2011.
- Huang, G., Li, X., Ma, M., Li, H., and Huang, C.: High resolution surface radiation products for studies of regional energy, hydrologic and ecological processes over Heihe river basin, northwest China, *Agricultural and Forest Meteorology*, 230, 67-78, 2016.
- Huang, G., Li, Z., Li, X., Liang, S., Yang, K., Wang, D., and Zhang, Y.: Estimating surface solar irradiance from satellites: Past, present, and future perspectives, *Remote Sensing of Environment*, 233, 111371, 2019.
- Kim, H.-Y., and Liang, S.: Development of a hybrid method for estimating land surface shortwave net radiation from MODIS data, *Remote Sensing of Environment*, 114, 2393-2402, 2010.
- Long, C. N., and E. G. Dutton (2002), BSRN Global Network recommended QC tests, V2.0, BSRN Technical Report.
- Long, C. N., and Y. Shi (2006), The QCRad value added product: Surface radiation measurement quality control testing, including climatology configurable limits (No. DOE/SC-ARM/TR-074), DOE Office of Science Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Program (United States).
- Ohmura, A., Dutton, E. G., Forgan, B., Fröhlich, C., Gilgen, H., Hegner, H., Heimo, A., König-Langlo, G., McArthur, B., and Müller, G.: Baseline Surface Radiation Network (BSRN/WCRP): New precision radiometry for climate research, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, 2115-2136, 1998.
- Patsalides, M., Evagorou, D., Makrides, G., Achillides, Z., Georghiou, G. E., Stavrou, A., Efthimiou, V., Zinsser, B., Schmitt, W., and Werner, J. H.: The effect of solar irradiance on the power quality behaviour of grid connected photovoltaic systems, *International Conference on Renewable Energy and Power Quality*, 2007, 1-7,
- Patsalides, M., Stavrou, A., Efthymiou, V., and Georghiou, G. E.: Towards the establishment of maximum PV generation limits due to power quality constraints, *International Journal of*

- Electrical Power & Energy Systems, 42, 285-298, 2012.
- Pinker, R. T., and Laszlo, I.: Modeling Surface Solar Irradiance for Satellite Applications on a Global Scale, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 31, 194-211, [10.1175/1520-0450\(1992\)031<0194:mssifs>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1992)031<0194:mssifs>2.0.co;2), 1992.
- Rasool, S.: Global distribution of the net energy balance of the atmosphere from TIROS radiation data, *Science*, 143, 567-569, 1964.
- Rossow, W., and Zhang, Y. C.: Calculation of surface and top of atmosphere radiative fluxes from physical quantities based on ISCCP data sets: 2. Validation and first results, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 100, 1167-1197, 1995.
- Stephens, G. L., and L'Ecuyer, T.: The Earth's energy balance, *Atmospheric Research*, 166, 195-203, 2015.
- Tang, W., Qin, J., Yang, K., Liu, S., Lu, N., and Niu, X.: Retrieving high-resolution surface solar radiation with cloud parameters derived by combining MODIS and MTSAT data, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 2543-2557, 2016.
- Wild, M.: Solar radiation budgets in atmospheric model intercomparisons from a surface perspective, *Geophysical Research Letters*, 32, 2005.
- Wild, M.: Global dimming and brightening: A review, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114, 2009.
- Wild, M., Folini, D., Schär, C., Loeb, N., Dutton, E. G., and König-Langlo, G.: The global energy balance from a surface perspective, *Climate dynamics*, 40, 3107-3134, 2013.
- Zhang, Y., He, T., Liang, S., Wang, D., and Yu, Y.: Estimation of all-sky instantaneous surface incident shortwave radiation from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data using optimization method, *Remote sensing of environment*, 209, 468-479, 2018.

Quality control and analysis on long-term (2000-2020) global solar radiation data of CWB weather stations

^{1,2}Sheng-Hsiang Wang ¹Ying-Chieh Chen ^{1,3}Kun-Wei Lin ³Yu-Chi Lee ³Tzu-Ying Yeh
³Kuang-Hao Cheng ³Yu-Cheng Chang

¹Department of Atmospheric Sciences, National Central University, Taiwan

²Center for Environmental Monitoring and Technology, National Central University, Taiwan

³Central Weather Bureau, Taiwan

(manuscript received 10 May 2022 ; in final form 4 July 2022)

Abstract

Solar shortwave irradiance is one of the main conventional meteorological observation parameters which is widely used in the fields of climate change and solar energy. Since 2002, the Central Weather Bureau (CWB) in Taiwan has upgraded its weather stations' pyranometer with the Precision Spectral Pyranometer (PSP) manufactured by Eppley Company. The PSP is a class A pyranometer with high accuracy. However, the lack of complete procedures for calibration and data quality control (QC) has led to doubts about the data usage. Therefore, this study aims to establish a research-based QC procedure for the solar radiation data obtained from 30 weather stations of CWB in 2002 to 2020 (a total of 19 years). Suspicious or abnormal data are given corresponding flags (Flag 0-7) which can serve as a guidance to users who using the data set.

The long-term data quality control procedure we developed can be divided into a two-stage inspection process. The first stage is to process long-term data station-by-station. For any station, the procedure starts with filtering out abnormal values, then the Physically Possible Limits and Extremely Rare Minimum Limits are applied, these two limits testing are used to detect abnormally large error values and large random errors in the data. At this stage, the data quality assurance availability rate of the 30 weather stations is all greater than 90%. Finally, the Daily Climate Maximum test (i.e., verifying within 6 consecutive months, whether there exists a circumstance of instrument aging,

calibration coefficient drafting, instrument damage, etc.) is applied. After removing the data with the above test, the data quality assurance availability rate of each weather station drops to 53-95%. It is worth to mention that the calibration coefficient drafting is the main reason that affects the quality of the data. It highlights the necessary of a periodic calibration for solar radiation instruments in the network. For the second stage, we used the high-quality data screened in the first stage, and further diagnose the correlation and liner regression between two adjacent stations. We accidentally found the outliers recorded by the data logger. The bad data has been filtered out from the data set. In this stage, we also considered a manual judgment and marked the questionable data.

In this study, we further compared the high-quality surface solar radiation data (applied abovementioned QC procedure) with the data retrieved from Himawari-8 satellite in 2020. The results show that the overall correlation coefficient between the two data sets is extremely high, up to 0.96. The correlation coefficient among each month ranges from 0.94 to 0.97. Overall, the satellite retrieved data shows overestimation. A largest overestimation was found for Hualien region (27.9%), while for the northern region tends to underestimation (4.6%) as compared with observation. For monthly comparison, the month of March revealed a larger overestimation of 6.5%. This study has developed a strict QC process for surface solar radiation data and has reviewed the data reliability for the past 19 years. The high-quality data produced from this study is beneficial to the development of subsequent scientific research.

Keywords: solar radiation, data quality control, satellite retrieval solar irradiance, data comparison. doi:10.53106/025400022022075002002