

應用Himawari-8估計臺灣地表日射量之校驗及探討

鄭光浩 葉子葵 胥立南 章鶴群 張育承
第四組
中央氣象局

摘要

胥（2015）以MTSAT-2衛星資料估計臺灣地區地表日射量，與地面測站之觀測資料比較後得到良好的相關性。本研究利用日本向日葵8號衛星（Himawari-8）之高時間及空間解析度資料，應用其Band 03、Band 13及Band 15頻道以此演算法來估計臺灣地區地表日射量，並與氣象局各局屬測站之觀測數據比對其適用性。初步結果顯示，向日葵8號衛星估計之地表輻射日累積量與實際觀測，在西半部平地測站的相關係數均達0.95以上，顯示利用向日葵8號衛星資料以胥（2015）之演算法，對臺灣地區地表日射量估計仍有相當良好之參考性。此外，亦嘗試對不同因素造成的日射量誤差進行修正，提高日射量估算之準確性，以期在未來能利用向日葵8號衛星之高時空解析度資料，建立臺灣地區日射量網格資料庫，準確地估算臺灣地區太陽能分佈。

關鍵字：日射量、衛星反演、Himawari-8

一、前言

太陽能為目前臺灣主要發展的再生能源之一，其發電量與太陽日射強度息息相關，因此對於地表日射量估計之準確度更顯重要，過去有不少研究以太陽同步衛星來估計地表日射量，如蕭等（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）則利用MTSAT-2衛星之可見光、IR1及IR2頻道資料，並加入臭氧吸收、瑞利散射（Rayleigh scattering）、懸浮微粒散射、水汽吸收及晴空與雲量衰減指數等，估算疏雲情況下平地測站日射量相關係數亦達0.9以上。

前人研究均已顯示使用衛星觀測資料來估計地表日射量有相當大的參考價值，而新一代的向日葵8號衛星（Himawari-8）提供了比MTSAT-2衛星更高空間解析度及時間解析度的觀測，故本研究根據胥（2015）之演算法，代入向日葵8號衛星之資料估算日射量後與實際觀測值比較，評估此演算法的適用性，探討可能造成日射量估算誤差之因素，並進一步地嘗試最佳化本演算方法。

二、資料來源及估算方法

向日葵8號衛星為目前西北太平洋地區主要的氣象觀測同步衛星之一，由日本所發射，自2015年7月7日開始作業化觀測。衛星軌道位於在東經 140.7° 的赤道上空約35,800km，觀測範圍為東經 108° 至 180° ，

觀測波段包含可見光、近紅外光及紅外光範圍共16個頻道，星下點的空間解析度在可見光波段為0.5~1.0km，近紅外光及紅外光為1~2km，觀測頻率在臺灣附近為10分鐘，因此無論是空間或時間解析度均較前一代的MTSAT-2衛星來得優異。

本研究根據胥（2015）估計地表日射量之方法對向日葵8號衛星之遙測資料反演出日射量，估算過程主要考慮天文因素及大氣效應兩大要素，為了瞭解可見光反照率以及水汽之影響，故本研究主要採用Band 03（可見光， $0.64\mu\text{m}$ ）、Band 13（IR1， $10.4\mu\text{m}$ ）以及Band 15（IR2， $12.38\mu\text{m}$ ）等三個頻道的資料。而在考慮大氣光程時需要知道地形資訊，使用中央研究院所提供之臺灣地區30m解析度地形資料，並利用QGIS獲得各個網格點的坡向、坡度等資訊。地表日射量之估算方法如後：

（一）天文因素

1. 太陽常數修正（ I_0 ）

太陽常數為大氣層頂在日地平均距離時，單位面積所接收到太陽垂直入射的輻射強度，採用Frohlich and Brusa（1981）研究所得的 1367Wm^{-2} ，並依Duffie and Beckman（1980）提出之方法修正因實際日地距離變動而造成的太陽常數變化。

2. 太陽赤緯（solar declination, δ ）

太陽赤緯乃由於地球繞太陽公轉平面（黃道面）與地球自轉平面並非平行，加上地球的公轉軌道為橢圓形，故產生赤緯角。根據Cooper（1969）之赤緯角定義：

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \sin \left[\frac{360}{365} (J + 284) \right]$$

J：太陽日 (Julian Day)

3. 太陽天頂角 (θ)

太陽天頂角為太陽與天頂之間的夾角，即太陽高度角的餘角，當太陽位於天頂時天頂角為 0° ，天頂角之餘弦值則為：

$$\cos\theta = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega$$

其中 θ 為太陽天頂角， φ 為地理緯度， δ 為太陽赤緯， ω 為時角，單位均為度。 ω 定義為：

$$\omega = 15^\circ(t - 12)$$

t：當地時刻。

(二) 大氣效應

太陽輻射由外太空穿越大氣層後，直接到達地表的部分稱為直接太陽輻射 (Direct irradiance)，另一部分則受到水汽、臭氧、懸浮微粒、雲及其他氣體吸收或散射作用影響衰減，稱為天空光散射輻射量。

1. 直接輻射量：

$$Dir = I_0 \cos\theta \tau_o \tau_r \tau_w \tau_a$$

2. 天空光散射輻射量：

(1) 瑞利散射輻射量：

$$Dif_r = I_0 \cos\theta \tau_o \cdot 0.5 \tau_a (1 - \tau_r)$$

(2) 懸浮微粒散射輻射量：

$$Dif_a = I_0 \cos\theta \tau_o \tau_r \tau_w F_c \omega_0 (1 - \tau_a)$$

τ_o ：臭氧透射率

τ_r ：瑞利散射透射率

τ_w ：水汽透射率

τ_a ：懸浮微粒透射率

ω_0 ：單次散射反照率

F_c ：懸浮微粒散射量佔全部散射量之比例

3. 雲量影響

雲層覆蓋與否對於地表日射量影響甚大，因此計算過程必須納入雲的影響，Tanahashi (2000、2001) 對於判定有無雲量的定義為：當太陽天頂角小於 50° 且反照率小於0.15時為晴空條件，反之為有雲。依據前述定義將地表接收日射量之方程式分為兩類如下：

(1) 晴空狀態

$$I_{mts} = (Dir + Dif_r + Dif_a)$$

(2) 有雲狀態

$$I_{mts} = (Dir + Dif_r + Dif_a)(1 - a \cdot A)$$

a：日射衰減係數

A：衛星接收之反照率

三、估算結果校驗

利用向日葵8號衛星以胥 (2015) 之演算法反演出的臺灣地區日射量分布與當時的衛星雲圖如圖 1，由於雲量判定方程主要是參考衛星資料的反照率，因此估算之日射量分布與雲量分布十分吻合。本研究估算2016年10月至2017年5月間各氣象站之地表輻射日累積量，比對用的測站資料採用中央氣象局25處有日照觀測之局屬測站，逐日觀測數據包含當日的全天空日射量及天文日照率，並定義晴空日為天文日照率 $\geq 80\%$ 者，反之則為有雲日。

由臺中、嘉義、臺南及高雄測站的估計日射量與實際日射量之散布圖 (圖 2) 顯示，兩變數間具備良好的線性關係，決定係數 (R^2) 在0.94以上，其他測站的估算值與實際觀測線性迴歸結果則如表 1所示。整體結果顯示，除了花蓮測站及地勢較高的玉山與日月潭測站的相關係數未達0.9以外，其他測站的相關係數均在0.9以上，其中西部平地測站除恆春站相關係數較低之外，各站相關係數均在0.95以上，且都達到統計上的顯著水準。各站迴歸方程式之觀測值 (X) 迴歸係數均趨近於1，則表示此演算法已經能夠有效掌握日射量日累積量之趨勢。進一步挑選臺南測站的逐日資料比對 (圖 3)，顯示衛星估計之地表輻射日累積量可合理掌握到季節尺度的變化趨勢，但估計值有普遍較觀測值高估情形，尤其在日光較充足的日子高估幅度較明顯，經過統計迴歸法修正後可以適度減少估計誤差的程度。

逐時日射量反演校驗方面，圖 4為臺灣本島平地測站的日射量時資料反演結果與觀測值之散布圖，決定係數為0.84，顯示出兩者間相當好的相關性，故本反演方法不僅能針對日累積的日射量，亦適用於估算每小時的實際日射量。圖 5為臺南測站2017年6月11日至7月4日的日射量時序變化，顯示衛星資料反演結果能合理呈現出輻射量日變化之趨勢，且與觀測資料大致相符。

根據胥 (2015) 的研究指出，晴空條件下逐時日射量的估算表現會優於有雲條件，並有上午低估、下午高估之現象。挑選板橋、高雄及花蓮等三站，6月26日 (晴空) 以及6月17日 (有雲) 之日射量估算結果及觀測值時序變化如圖 6。結果顯示，板橋與高雄測站的表現相近，呈現上午低估，下午3時後高估之特徵，在晴空情形下與觀測值較為一致，而有雲的情形則誤差較大。此外，亦發現花蓮測站在晴空條件下，日射量低估情形非常明顯，衛星估計值均小於 $4\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ，但觀測值卻有超過 $4\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ，甚至到達 $5\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ 以上之現象。

表 1 地表日輻射估計量與測站觀測之線性迴歸

測站	線性迴歸式 Y估計值、X觀測值	相關 係數	P值 < 0.001
梧棲	Y= -0.524 + 1.063X	0.985	Y
新竹	Y= -0.711 + 1.213X	0.984	Y
新屋	Y= -0.610 + 1.037X	0.984	Y
臺北	Y= -0.514 + 1.048X	0.983	Y
蘇澳	Y= -0.514 + 1.163X	0.982	Y
高雄	Y= -0.077 + 1.081X	0.981	Y
宜蘭	Y= -0.160 + 1.136X	0.980	Y
大武	Y= -0.610 + 1.105X	0.977	Y
基隆	Y= -0.422 + 1.001X	0.977	Y
臺中	Y= -1.101 + 1.033X	0.977	Y
嘉義	Y= -0.610 + 1.157X	0.976	Y
臺東	Y= 0.032 + 1.154X	0.975	Y
臺南	Y= 0.335 + 1.049X	0.973	Y
淡水	Y= -1.09 + 1.104X	0.972	Y
板橋	Y= 0.165 + 1.090X	0.965	Y
鞍部	Y= 0.473 + 1.020X	0.956	Y
竹子湖	Y= -0.843 + 1.039X	0.956	Y
永康	Y= 0.373 + 0.962X	0.954	Y
成功	Y= 0.242 + 1.169X	0.946	Y
蘭嶼	Y= -0.487 + 0.999X	0.945	Y
恆春	Y= 0.909 + 1.045X	0.936	Y
阿里山	Y= 0.292 + 1.125X	0.923	Y
玉山	Y= -0.437 + 1.046X	0.878	Y
花蓮	Y= 0.419 + 0.901X	0.872	Y
日月潭	Y= 8.183 + 0.541X	0.553	Y

四、討論及結論

過去利用同步衛星估算地表日射量之研究相當多，也多能掌握到日射量的大致趨勢，然而大氣層內氣體及懸浮微粒濃度變化對太陽輻射的吸收及散射程度，仍然可能會讓估算結果有較大誤差。本研究演算法的大氣透射率係由參數化法的氣膠光學厚度 (Aerosol Optical Depth, AOD) 推估而得(蕭, 2011)，但此參數化法的AOD僅與地理位置及海拔高度有關，無法反映出實際氣膠濃度變化造成的影響，然而臺灣本地的氣膠及懸浮微粒主要排放源為工業區及交通工具，氣膠濃度在日間與夜間或週間與週末都會

有顯著差異，若要更進一步估算逐小時的日射量變化，此參數化法可能會較不適合。

過去研究顯示繞極軌道衛星 (如Terra及Aqua MODIS) 反演之AOD與地面空氣品質監測站的懸浮微粒濃度有部分程度相關(王, 2017)，因此亦希望藉由分析過去衛星反演臺灣地區的AOD資料與地面空氣品質監測站之懸浮微粒濃度，建立兩者之間的關係式，以推得測站AOD。

本研究利用日本向日葵8號衛星之高時間及空間解析度資料，應用其Band 03、Band 13及Band 15頻道以此演算法來估計臺灣地區地表日射量，並與氣象局各局屬測站之觀測數據比對其適用性。初步結果顯示，向日葵8號衛星估計之地表輻射日累積量與實際觀測，在西半部平地測站的相關係數均達0.95以上，顯示利用向日葵8號衛星資料以胥(2015)之演算法，對臺灣地區地表日射量估計仍有相當良好之參考性。

參考文獻

- 賴彥任與林博雄, 2005: “到達地面太陽輻射量之空間分布推估模擬”，94年天氣分析與預報研討會論文全文彙編，中央氣象局，臺北市。
- 蕭鋒、林博雄與賴彥任, 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。
- 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，中央氣象局，臺北市。
- 王偉齊、張成網、臧增亮、王體健、尤偉, 2017: “Terra和Aqua衛星MODIS 3 km AOD與北京PM2.5對比分析”，氣象科學, 37期, 93-100。
- Cooper, P. I., 1969: “The absorption of solar radiation in solar stills”, *Solar Energy*, 12, 333-346.
- Duffie, J. A. and W. A. Beckman, 1980: *Solar Engineering of Thermal Processes*, Chapter 1, John Wiley & Sons, Inc., New York, 762 pp.
- Fröhlich, C. and R.W. Brusa, 1981: “Solar radiation and its variation in time”, *Solar Physics*, 74, 209-215.
- Tanahashi, S., H. Kawamura, T. Takahashi, and H. Yusa, 2000: “Improved Estimates of Hourly Insolation from GMS S-VISSR Data”, *Remote Sens. Environ.*, 74, 409-413.
- Tanahashi, S., H. Kawamura, T. Takahashi, and H. Yusa, 2001: “A system to distribute satellite incident solar radiation in real-time”, *Remote Sens. Environ.*, 75, 412-422.

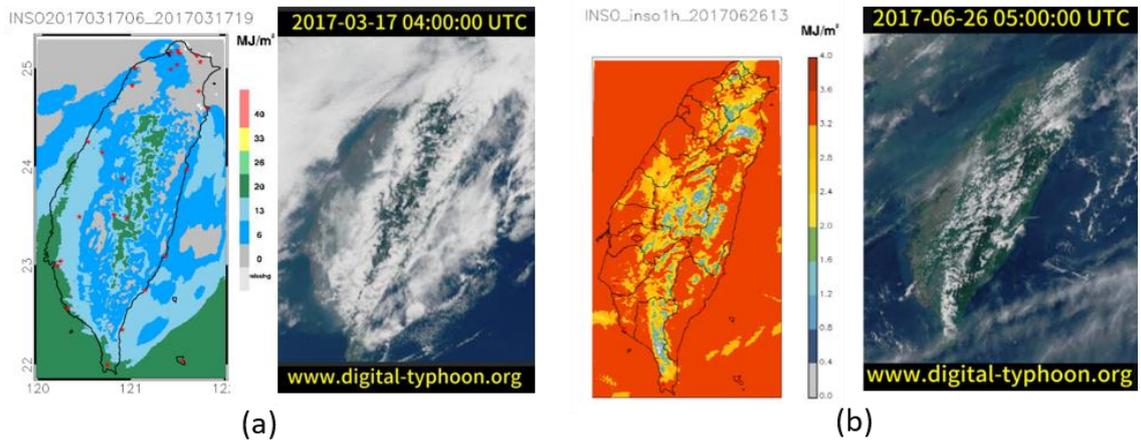


圖 1 衛星資料反演臺灣之日射量分布與當時之衛星雲圖，(a)為 2017 年 3 月 17 日全天日射量，(b)為 2017 年 6 月 26 日 13 時之小時日射量。

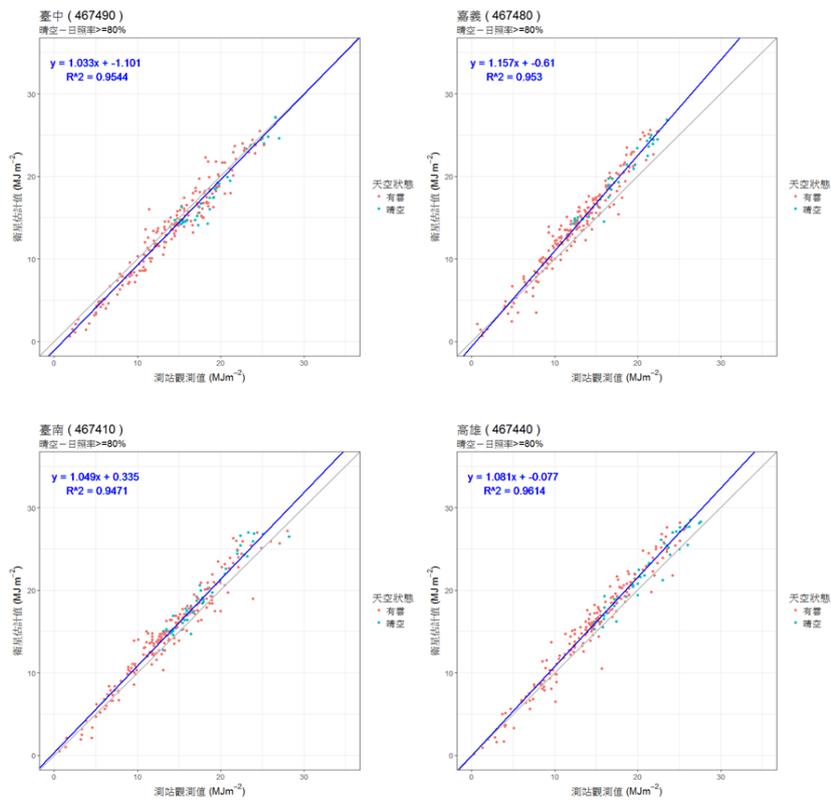


圖 2 向日葵衛星估算臺中、嘉義、臺南及高雄測站地表輻射量日累積值與實際觀測之散布圖及線性迴歸結果，天文日照率 80% 以上為晴空（藍點），反之為有雲（紅點）。

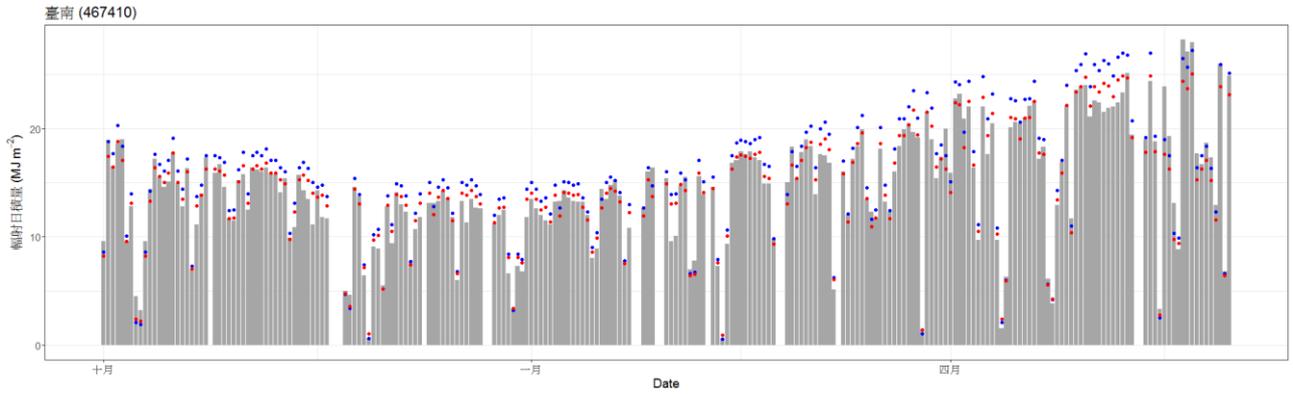


圖 3 臺南測站之實際日射量（柱狀圖）、衛星反演估計值（藍點）及經過線性回歸後之估計值（紅點）。

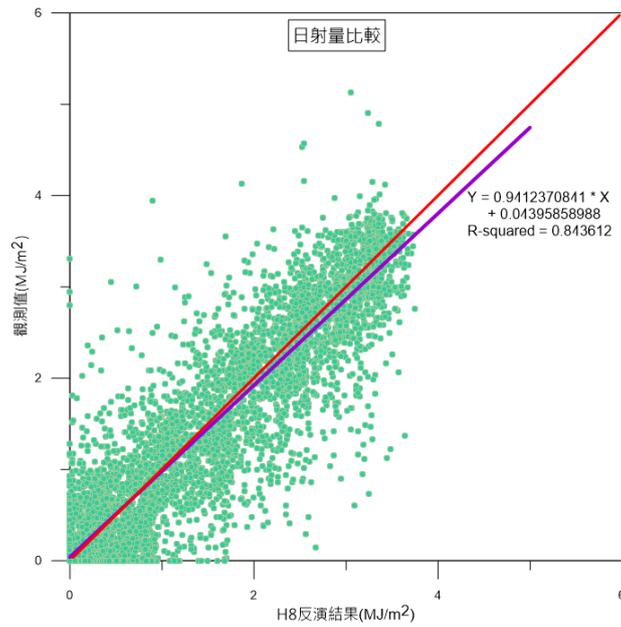


圖 4 臺灣本島平地測站之逐時日射量反演及觀測值散布圖。

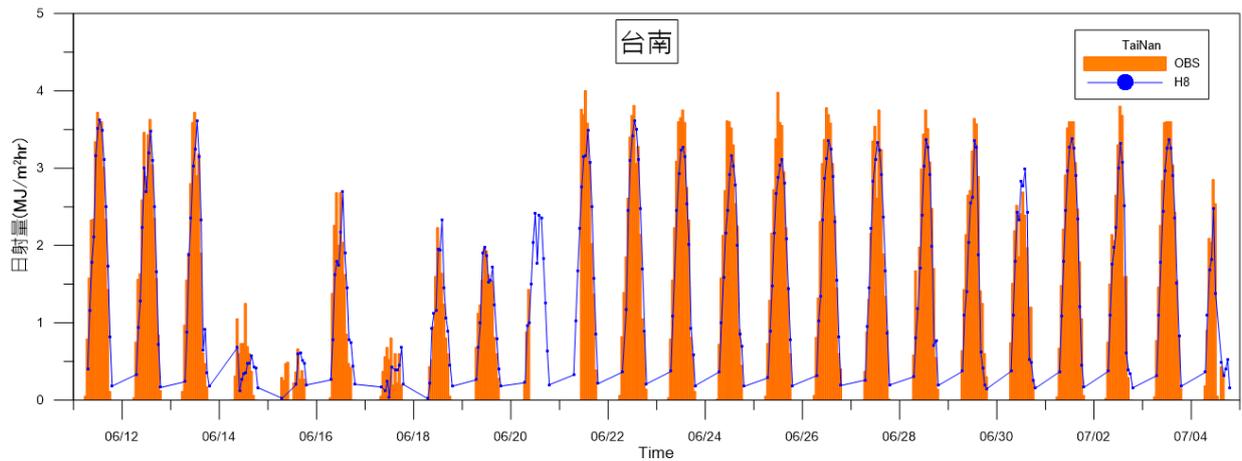


圖 5 臺南測站逐時日射量觀測值（柱狀圖）及衛星估計值（藍點線）。

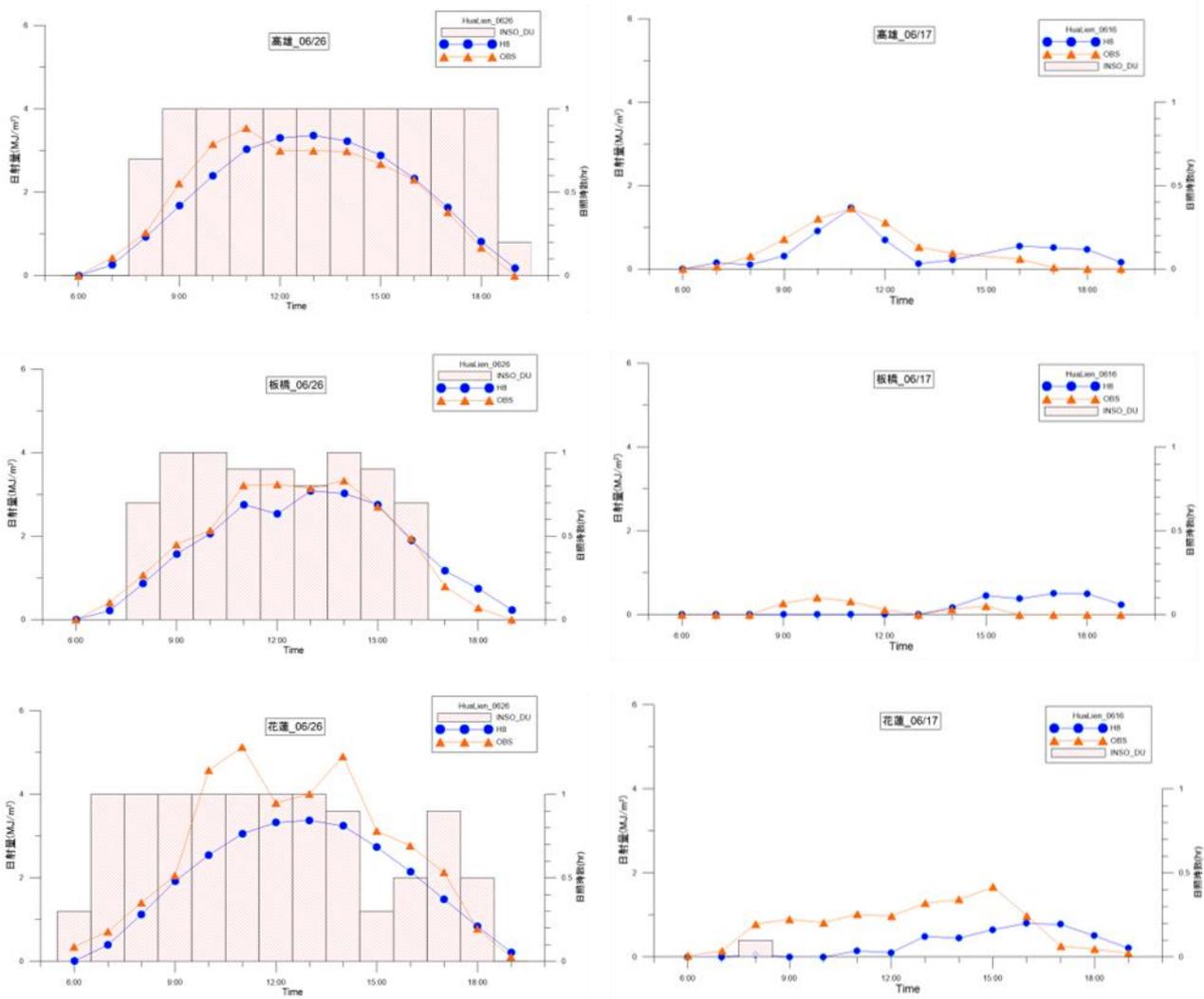


圖 6 高雄、板橋及花蓮測站於 2017 年 6 月 26 日（左，晴空）及 6 月 17 日（右，有雲）之日射量逐時變化，藍線為衛星反演結果，橘線為觀測值，柱狀圖為逐時的日照時數。