監測系統 (衛星) 地表日射量

日射量是單位時間和面積內透過太陽得到的光能單位。本產品是利用日本新一代向日葵8號(Himawari-8)地球同步氣象衛星的資料，經由本局衛星中心反演出地表日射量後，在透過簡易的運算式估算出太陽能發電量密度。

$$\text{單位面積}((\text{m}^2))\text{的太陽能發電量密度} : (Pt = (SSR \times \eta))$$

(SSR地表日射量， η 為太陽電池的轉換效率。一般常見的矽晶類太陽能模組轉換效率約為14%~16%；薄膜類模組效率約為9%。故在推估太陽能發電量密度計算中太陽電池轉換效率以15%帶入計算。)

什麼是地表日射量？

日射量是一個用來度量在給定的時間和區域內太陽輻射能量的數值，太陽輻射是地面、大氣與生態系的主要能源，亦會影響植被的分佈與生長，且地表緯度、高度、季節與雲均會影響日射量。而太陽輻射依據量測的位置可區分為大氣層頂日射及近地面之全天空日射量(global solarradiation)兩種，首先大氣層頂日射可依緯度、太陽時角、日地距離三種因子決定，其次近地面量測之太陽輻射受大氣分子、懸浮微粒、雲層影響而降低，尤以雲本身較複雜，其中包括雲厚、雲量、雲高、水汽、水滴與冰晶皆會影響太陽光的直射及散射。

地表日射量之估算是利用MTSAT2衛星的可見光(白天)、紅外線1與紅外線2之頻道資料放入臭氧吸收、Rayleigh散射、懸浮微粒散射、水汽吸收及晴空與雲量衰減指數(賴彥任,2010)之公式；其中大氣質量係數須考慮地形效應，因此，本產品採用中央研究院製作解析度為30m臺灣數位地形模式資料；另外，天文因素之中的太陽常數年際變化修正、太陽赤緯、太陽天頂角亦是影響日射量在地表分佈重要因子。

衛星地表日射量的作業說明及反演方式

本局於現階段於每日06~19時逐10分鐘產制衛星日射量資料，衛星資料從接收到轉換成地表日射量，約莫35分鐘。

• 反演所需資料

1. 衛星觀測資料 (Satellite Data) :

衛星名稱：向日葵八號衛星

時間解析度：10 min

使用頻道：

- a. Band 03：可見光 (0.64 μ m) 反照率，空間解析度500m。
- b. Band 13：IR1 (10.4 μ m) 亮溫，空間解析度2km。
- c. Band 15：IR2 (12.38 μ m) 亮溫，空間解析度2km。

• 反演原理

1. 天文效應

a. 太陽常數及太陽常數修正

採用Frohlich and Brusa (1981) 研究8種觀測資料後的太陽常數 (solar constant) , 1367(Wm⁻²)；之後再以 Duffie and Beckman (1980) 提出的方程式進行因日地距離變動的太陽常數修正。

b. 太陽天頂角 (θ ；曾，1988)：

太陽高度角是從觀測者所在地和太陽中心的聯線與 地平面所夾的角度。天頂角是高度角的餘角，當太陽的高度角為90°，即太陽位於頭頂，因此太陽的天頂角為0°。

2. 地形效應 (Kasten, 1966)

空氣大氣光程：太陽輻射經過地球大氣到地表間所會受到的影響係數。

3. 大氣效應 (賴，2003)

a. 直接太陽輻射 (Dir)：太陽輻射能量穿越大氣層，直接到達地面。

$$\text{Dir} = I_0 \cdot \tau_0 \cdot \tau \cdot \tau_w \cdot \tau_a$$

b. 天空輻射：受到大氣裡的水氣、臭氧、懸浮微粒、雲與其他氣體分子吸收、散射等作用而衰減後到達地面之輻射量。

I. Rayleigh散射輻射量 (Difr) (Bird and Hulstrom, 1981)

$$\text{Difr} = I_0 \cdot \tau_0 \cdot 0.5 \cdot (1 - \tau) \cdot \tau_a$$

II. 懸浮微粒散射輻射量 (Difa)

$$\text{Difa} = I_0 \cdot \tau_0 \cdot \tau \cdot \tau_w \cdot F_c \cdot \omega_0 \cdot (1 - \tau_a)$$

c. 大氣效應所使用之參數：

I. 臭氧透射率 (τ_0) (Lacis and Hanse, 1974)：太陽輻射經臭氧層 (ozone) 吸收效應後之透射率，臭氧層厚度會隨緯度與季節改變。

II. 瑞利散射透射率 (τ) (Bird and Hulstrom, 1981)：半徑比光或其他電磁輻射的波長小很多的微小顆粒 (例如單個原子或分子) 對入射光束的散射，以氣體最為顯著。

- III. 水氣透射率 (τ_w) (Chester et al., 1987) : 太陽輻射經過大氣時受到水氣影響後之透射率。本反演程式利用兩個位於大氣窗區的相鄰頻道受大氣水氣影響而衰減 (attenuation) 的程度不同, 來進行大氣中之水氣訂正並計算; 有雲時, 日射衰減大氣參數, 隨著雲的反照率與TBB (Equivalent Black Body Temperature) 值而變動。
- IV. 懸浮微粒透射率 (τ_a) (Macher, 1983) : 進入大氣中的太陽輻射受到懸浮微粒吸收與散射影響後之透射率。
- V. 單次散射反照率 (ω_0) (Christian, 1993) : 懸浮微粒在吸收與散射的比例。本反演程式採用的單次散射反照率, 是利用日光的波長, 從0.0005 μm 開始計算至1000 μm , 每隔0.001 μm 計算後代入懸浮微粒散射公式。
- VI. 懸浮微粒散射量比 (F_c) (Robinson, 1962) : 不同太陽天頂角, 懸浮微粒向下散射, 佔全部散射量之比例。
4. 天空狀況 (雲況判斷) (Tanahashi et al., 2001) : 晴空的條件為太陽天頂角小於50度, 且反照率小於 0.15, 反之則有雲; 晴空與有雲所採用的公式略有不同, 有雲時須考量雲的反射與吸收。

a. 晴空狀態 :

$$\backslash(L_{\text{mas}}=\text{Dir}+\text{Difr}+\text{Difa})$$

b. 有雲狀態 :

$$\backslash(L_{\text{mas}}=(\text{Dir}+\text{Difr}+\text{Difa})(1-a*A))$$

A : B03反照率/ $\cos\theta$

a : 日射量衰減大氣參數

• 地形及地表條件

1. 地形資料 :

資料來源 : NOAA--Global Land One-kilometer Base Elevation

空間解析度 : 1km

2. 地表反照率資料 :

資料來源 : MODIS土地利用分類對照參考地表反照率。

空間解析度 : 500 m

Reference:

胥立南 與賴彥任, 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。

曾忠一, 1988, 大氣輻射, 大學科學叢書5, 聯經出版事業公司出版, 台北, PP.360.

賴彥任, 2003, 集水區內太陽輻射量時空分佈估算之研究, 國立臺灣大學森林所博士論文。

Fröhlich, C., and R.W. Brusa, 1981: Solar radiation and its variation in time. Solar Phys., 74, 209-215.

Kasten, F., 1966: A new table and approximation formula for the relative optical air mass. Arch. Met. Geophys. Biokl., Ser. B, 14 (2), 206-

Macher M. (1983) Parameterization of solar irradiation under clear skies. M.A.Sc. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, Canada.

Robinson N. 1962 Absorption of solar radiation by atmospheric aerosol as revealed by measurements from the ground. Arch. Meteorol. Geophys. Bioclimatol., Ser. B:12, pp.19-40.

Tanahashi, S. H. Kawamura, T. Matsuura, 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. Matsuura, T. Takahashi and H. Yusa, 2001: A system to distribute satellite incident solar radiation in real-time. Remote Sens. Environ., 75, 412-422.

太陽能計算方法

太陽能發電是透過太陽光電板吸收太陽的能量來發電，因此日射量的多寡會直接影響發電量大小，太陽光電板發電量隨著日射量大小隨時在改變，通常不會逐日、逐時計算發電量，通常的做法是觀察一段時間例如一個月或者一年的總值，然後換算相當於ASTM E1036 標準的等效日照小時 (Equivalent Sunshine Hours, ESH)，以簡化計算。等效日射小時，為評估太陽能發電之重要因子，此數值越大表示當地日射能量越強，發電量可以越多，其定義為將當地之日射量換算為1000 W/m²之標準條件下之有效照射時間。

簡易的太陽能計算式可由下式表示:

利用日本向日葵8號衛星資料輸出的網格地表日射量(SSR)來計算各網格的單位面積(m²)的太陽能發電量密度，由於衛星為觀測資料，我們並無2米溫度來做溫度遞減的計算，因此於監測系統中的太陽能發電量密度，暫不考慮溫度遞減的問題。

$$P_t = \{SSR \times \eta\}$$

(SSR為地表日射量，η為太陽電池的轉換效率。)

根據登錄在經濟部能源局太陽能高效率模組產品中常見矽晶類太陽能模組轉換效率約14%~16%；薄膜類模組效率約9%。故在推估太陽能發電量密度計算中太陽電池轉換效率以15%帶入計算式中，最後藉由上述方法來建置太陽能發電量密度評估及監測系統。