

由不同公式組估算日射量

胥立南
第四組
中央氣象局
摘要

日射量的計算可由多種的公式組估計，而各模式考量的物理因子、參數，或多或少不同，是故，嘗試利用相同資料不同的模式估算，以探究何種公式組較精確，以能截長補短現行作業模式上的缺失；之前採用較早期天文因子與大氣效應之公式及利用 Mitsat-2 衛星資料估計地表日射量；從 2015 年始用 Himawari8 之 channel_3(0.53~0.66 μ m)，channel_13(1.03~1.06 μ m)與 channel_15(1.22~1.25 μ m)的衛星資料估計地表日射，且為使地表日射量更精確，試用較近期的天文演算式、大氣效應的公式，並考慮地表性質對日射的影響，以估計地表日照。

關鍵字:HIMAWARI8

一、前言

太陽輻射至地面，須考慮天文因素、大氣狀態與地表性質，尤以大氣狀態對日射影響最為顯著，如雲厚、雲量、雲類、水汽、水滴與冰晶及大氣成分如氧、二氧化碳、臭氧、懸浮微粒等均會影響太陽光的直射與散射。又，地表緯度、高度、地形(坡度、坡向)與地物亦會影響日射量，且地球冷、暖亦受天文因子控制。因此，地球大氣現象、生態與環境皆受日射主宰。

二、資料來源與處理

資料採用衛星中心接收之 Himawari8 紅外線 channel 13、channel 15、可見光頻道 channel 3，紅外線星下點的解析度是 2km，可見光星下點解析度是 500m；另從網路下載的 HSD 檔可轉換成 Seaspace TDF 格式，且 SeaSpace 可提供一些應用程式，如 Tmaster 可萃取所需區域、Angles 可擷取資料經緯度，之後再利用 Expbin 輸出為二進位格式。

為了估算 rayleigh 散射對日射的影響，其中相對光程氣團(relative optical air mass)須加入地形資料，故下載中央研究院人社中心地裡資訊科學研究專題中心製作，臺灣數位地形模式資料解析度為 30m，然後再利用 QGIS(Quantum Geographic Information System)軟體萃取臺灣區域。

一般利用公式估算的資料，需用別組資料驗證其值是否合理，因此，利用中央氣象局觀測站全天空日射計的資料和之前用的公式組所估算的日射量做比對。

三、計算方法

(一)天文因素

1.日地距離太陽常數修正：

太陽常數(solar constant)是日地平均距離(1.5*10⁸km)，在大氣層頂，垂直入射在每單位面積上的太陽輻射強度。採用 Frohlich and Brusa (1981) 研究 8 種觀測資料後的太陽常數(solar constant, I_{sc})，1367Wm⁻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。

2.太陽赤緯

太陽赤緯又稱赤緯角，地球繞太陽公轉的平面(黃道面)與地球自轉的平面並非平行，其間有 23.45° 的差異，再加上地球繞太陽公轉的軌道(黃道)是橢圓形而非正圓形，因此會產生為赤緯角(solar declination)。本研究採用 Spencer (1971)：

$$\text{gama}=(2*\text{pi}*(\text{jd}-1))/365 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{delta}=&0.006918-0.399912*\text{cos}(\text{gama})+ \\ &0.070257*\text{sin}(\text{gama})-0.006758*\text{cos}(2*\text{gama})+ \\ &0.000907*\text{sin}(2*\text{gama})-0.002697*\text{cos}(3*\text{gama})+ \\ &0.00148*\text{sin}(3*\text{gama}) \end{aligned} \quad (2)$$

3.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°。

$$\cos \theta = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (3)$$

θ : 太陽天頂角 degree .

ϕ : 地理緯度 degree

δ : 太陽赤緯 degree

ω : 時角 degree

(二)大氣效應

太陽輻射能量穿越大氣層，一部分到達地面，稱為直接太陽輻射；另一部分受到大氣裡的水汽、臭氧、懸浮微粒、雲與其他氣體分子吸收、散射等作用而衰減；因此，以各類之相關公式推估此效應。

Mixing gas::

$$\text{taug}=\exp(-0.0127*m_a_1^{0.26}) \quad (4)$$

(Corripio, 2002)

Rayleigh scattering 減光效應的大氣透射率(τ_r):

$$\tau_r=\exp[-0.0903m_a^{0.84}(1.0+m_a-m_a^{1.01})] \quad (5)$$

大氣質量係數(Kasten, 1966):

$$m_r=1/[\cos\theta+0.15(93.885-\theta)^{-1.253}] \quad (6)$$

m_r : relative air mass

不同海拔高度的大氣質量(m_a)::

$$m_a=m_r(p/p_0) \quad (7)$$

不同海拔(Elev)的大氣壓力與海平面的壓力比

(Lunde,1980)::

$$p/p_0=\exp(-0.0001184 \cdot \text{Elev}) \quad (8)$$

(List,1984、Kreith and Kreider, 1978)

p : surface air pressure

p_0 : 1013.25mb

Elev: 不同的海拔高度，是採用中研院製作的數值地形模型(DEM)資料，解析度為 30m。

$$Y=2.13134-0.792060\ln(m_a)+0.024749[\ln(m_a)]^2 \quad (9)$$

(Davies,1987)

臭氧層 (ozone) 吸收效應之大氣透射率 (τ_o)(Lacis ,Hanse ,1974):

$$\tau_o=1-0.02118*Lo_3*m_r/(1+0.042*Lo_3*m_r+3.23*10^{-4}*(Lo_3*m_r)^2)-1.082*Lo_3*m_r/(1+138.6*m_r^{0.805})-0.0658*Lo_3*m_r/(1+(103.6*Lo_3*m_r)^3) \quad (10)$$

$$Lo_3=0.235+(0.150+0.04*\sin(x*2.\pi/365.25))+0.02*\sin((lon+20.)*3)*\sin(1.28*lat)*2 \quad (11)$$

(Van Heuklon, 1979)

其中 Lo_3 厚度會隨緯度與季節改變，而臺灣因地狹，故也可用定值取代，如 Lo_3 等於 0.4cm(Lacia and Hansen,1974)。

$$x=jd-30 \quad (12)$$

Lo_3 : 垂直臭氧層含量(cm)

jd : Julia day

Lat : 緯度

Lon : 經度

pi : 3.14159

懸浮微粒減光效應的大氣透射率(τ_a)(Macher,1983):

進入大氣中的太陽輻射會受到懸浮微粒吸收與散射，而懸浮微粒存在的高度，氣溫可能升高，其他地區相較則變冷。

$$\tau_a=0.12445\alpha-0.0162+(1.003-0.125\alpha)\cdot\exp[\beta m_r(1.089\alpha+0.5123)] \quad (13)$$

— Angstrom 紊濁係數 $\alpha = 1.3$

— Angstrom 紊濁係數 $\beta = 0.1$ (11-3 月)

$\beta = 0.2$ (4-10 月)

水汽(water vapour)的大氣透射率(τ_w):

水汽(滴)是吸收日射最強的介質，且到處都是吸收帶，主要吸收帶處於可見與紅外光的紅光部分，因水對紅外線有極大的影響。另外由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，故可藉此差異來進行大氣中之水氣訂正

$$W_u=214.82555*vis+6.97216*(ir1-ir2)-6.94939 \quad (14)$$

(武永利,2013)

$$aw=2.4959*W_u*M_r*[(1+79.034*W_u*M_r)*0.6828+6.385*W_u*M_r]^{-1} \quad (15)$$

(Bird and Hulston,1981)
vis:ch3,ir1:ch13,ir2:ch15

採用的單次散射反照率，是利用日光的波長，從 0.0005 μ m 開始計算至 1000 μ m，每隔 0.001 μ m 計算 1 次，之後得至結果，才放入懸浮微粒散射公式。

$$\omega_0=0.8569+0.0436*\lambda \quad (16)$$

$$\lambda < 2\mu\text{m}$$

$$\omega_0=0.9441-0.08817*\exp(1-3.3815*\lambda) \quad (17)$$

$$\lambda \geq 2\mu\text{m}$$

$$\lambda : 0.0005\sim 1000\mu\text{m}$$

$$\delta : 0.001$$

(Christian,1993)

不同太陽天頂角，懸浮微粒向下散射，佔全部散射量之比例(Fc)；本研究採用下列二種公式，可相互驗證懸浮微粒日射量向下散射比例。

$$Fc=-0.2562\theta^2+0.1409\theta+0.9067 \quad (18)$$

(Robinson,1963)

θ ：太陽天頂角

Transmittance by uniformly mixed gases :

$$\tau_{\text{aug}}=\exp(-0.0127*ma_1^{0.28})\dots\dots\dots(19)$$

(Corripio,2002)

$$\tau_{\text{autot}}=\tau_{\text{aur}}*\tau_0*\tau_{\text{aug}}*(1-aw)*\tau_{\text{aua}} \quad (20)$$

$$\beta_{\text{tas}}=2.2*10^{-5}*tt \quad (21)$$

(Corripio,2002)

$$d_{\text{ward_s}}=0.9751*I_{\text{sc}}*\cos\theta*(\tau_{\text{autot}}+\beta_{\text{tas}}) \quad (22)$$

The tauaa is the transmittance of direct radiation due to aerosol absorbance :

$$\tau_{\text{auaa}}=1-(1-\omega_0)*(1-ma_1+ma_1^{1.06})*(1-\tau_{\text{aua}}) \quad (23)$$

(Corripio,2002)

The Rayleigh-scattered diffuse irradiance is computed :

$$r_{\text{leigh1}}=0.79*\cos\theta*I_{\text{sc}}*E_0*\tau_0*\tau_{\text{aug}}*(1-aw)*\tau_{\text{auaa}}*(1-\tau_{\text{aur}}) \quad (24)$$

$$r_{\text{leigh2}}=2*(1-ma_1+ma_1^{1.02}) \quad (25)$$

$$r_{\text{ayleigh}}=r_{\text{leigh1}}/r_{\text{leigh2}} \quad (26)$$

(G. Formetta,et al.,2013)

The aerosol-scattered diffuse irradiance component :

$$\tau_{\text{auas}}=\tau_{\text{aua}}*\tau_{\text{auaa}}^{-1} \quad (27)$$

(Corripio,2002)

$$a_{\text{ero_s}}=0.79*solarze*ic*E_0*\tau_0*\tau_{\text{aug}}*(1-aw)*\tau_{\text{auaa}}*(1-\tau_{\text{auas}}) \quad (28)$$

(Corripio,2002)

$$a_{\text{ero_s0}}=1-ma_1+ma_1^{1.02} \quad (29)$$

$$a_{\text{erosol_s}}=a_{\text{ero_s}}/a_{\text{ero_s0}} \quad (30)$$

To compute the multiply-reflected irradiance, the atmospheric albedo is computed as:

$$\alpha=0.0685+(1-fc)*(1-\tau_{\text{auas}}) \quad (31)$$

(Corripio,2002)

The diffuse irradiance from multiple reflections between the earth and the atmosphere

$$d_{\text{iffuse}}=((d_{\text{ward_s}}+r_{\text{ayleigh}}+a_{\text{erosol_s}})*\alpha*s_{\text{fc_alb}})/(1-\alpha*s_{\text{fc_alb}}) \quad (32)$$

sfc_alb:modis 10 years climate data

(Corripio,2002)

The surface receive irradiance :

$$t_{\text{otgs}}=d_{\text{ward_s}}+d_{\text{iffuse}} \quad (33)$$

四、結論與討論

通常反衍的資料，均會找另外的資料做比對，故作者採用本局觀測站全天空輻射儀之資料及原先所反衍的日射量做比較。圖(a)為臺北市之日射量，時間為2018年5月20日06時至19時CST，左圖曲線圖右縱軸(棕色)是雲量(10分量)，為棕色三角形，一般日射量均以晴空估算，晴空或疏雲時日射量較易估計，雲多時日射量誤差較顯著，是故，北市當天雲量稍多，左縱軸(黑色)是日射量，綠色曲線是觀測值，黃色曲線是舊的反衍值，紫色曲線是新的反衍值，橫軸是小時，在早上、下午新的反衍值與觀測值較接近，至午間舊的反衍值與觀測值較接近，另右是臺北市日射量散布圖，藍色菱形是新的日射量反衍值與觀測值比較，相關係數為0.896，紅色三角形是原有的反衍值與觀測值比較，相關係數為0.902，在臺北市兩者相關係數較接近。圖(b)為臺中地區、圖右為曲線圖，棕色曲線顯示雲量稍多，且在日出，舊的日照反衍值(黃色)與觀測值(綠色)較接近，午間與日落，新的日照反衍值(紫色)與觀測值(綠色)較接近，圖左為散布圖，新的反衍值相關係數為0.98，舊的反衍值相關係數為0.96，兩者較接近迴歸曲線。圖(c)為臺南市、圖右為曲線圖，棕色曲線顯示雲量，日出與日落稍多，正午雲量較少；且舊的日照反衍值(黃色)與觀測值(綠色)較接近，新的日照反衍值(紫色)與觀測值(綠色)較大，圖左為散布圖，新的反衍值相關係數為0.87，舊的反衍值相關係數為0.92。圖(d)為花蓮地區、圖右為曲線圖，棕色曲線顯示雲量隨時間增加，且舊的日照反衍值(黃色)、新的日照反衍值(紫色)與觀測值(綠色)差距皆較大，圖左為散布圖，新舊的反衍值相關係數均為0.67。圖(e)為臺東市、圖

右為曲線圖，棕色曲線顯示雲量較稀疏，且舊的日照反衍值(黃色)與觀測值(綠色)較接近，在下午，新的日照反衍值(紫色)與觀測值(綠色)較接近，圖左為散布圖，新的反衍值相關係數為 0.94，舊的反衍值相關係數為 0.95。

是故，地表日射量能精確的估計，實屬不易，須考量天文、大氣與地表性質，且演算式是否不斷的修正，之前日射量的估算曾引用 Tanahashi,H,S,2000 雲的衰減係數，而雲的屬性甚為複雜，需探研更好的係數與較精益之經驗式估算。另對日射有甚大影響的是地形，作者曾將 svf(sky view factor)與坡度(向)放入漫射與直射中，成效並非理想，等來日有較可靠的方式再加入。

參考文獻

G. Formetta¹, R. Rigon¹, J. L. Chavez², and O. David²
 2013 Modeling shortwave solar radiation using the JGrass-NewAge system, *Geosci. Model Dev.*, 6, 915–928

Corripio, 2002: Modelling the energy balance of high altitude glacierised basins in the Central Andes

solar radiation in real-time. *Remote Sens. Environ.*, 75, 412-422.

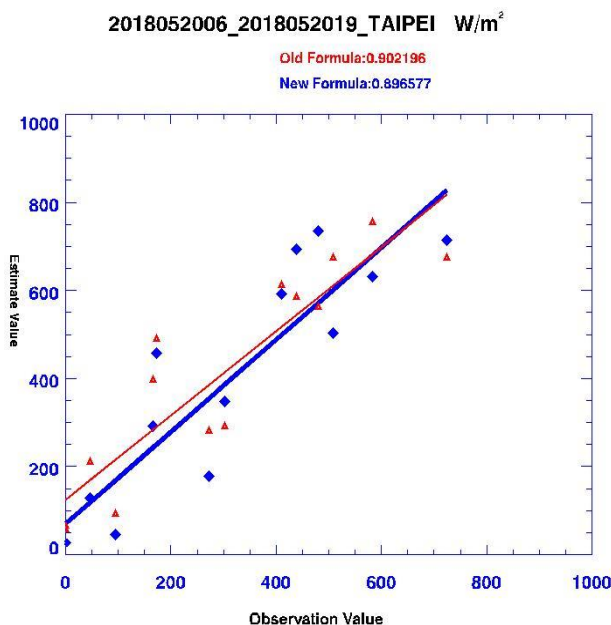
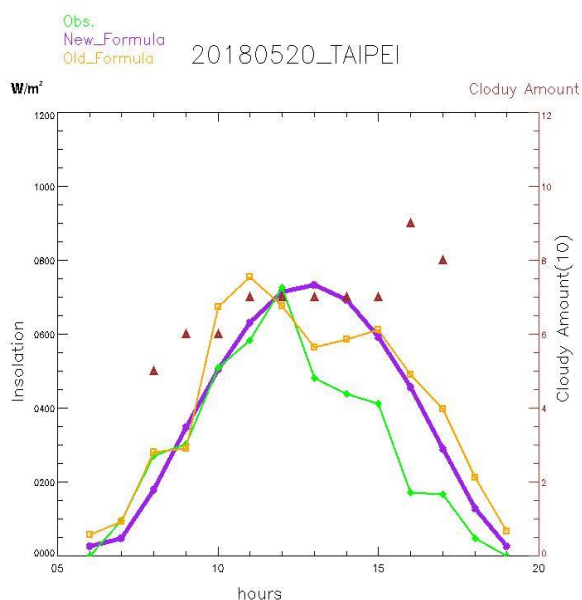
Yoshimi Kawai, Hiroshi Kawamura, 2005: Validation and Improvement of Satellite-Derived Surface Solar Radiation over the Northwestern Pacific Ocean *Journal of Oceanography*, Vol. 61, pp. 79 to 89,

Gueymard, C., 1994. Simple model of the atmospheric radiative transfer of sunshine, version 2 (SMARTS2): algorithms description and performance assessment. Florida Solar Energy Report, FSEC-PF-271-94.

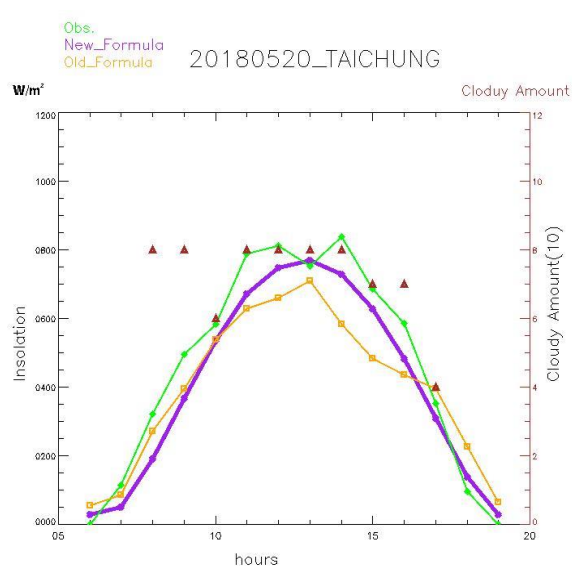
Christian Piedallu, Jean-Claude Gégout, 2007: Multiscale computation of solar radiation for predictive vegetation modelling, *Ann. For. Sci.* 64 899–909; DOI: 10.1051/forest:2007072

武永利; 張洪濤; 田國珍; 趙永強;; 複雜地形下山西高原太陽潛在總輻射時空分佈特徵分析 [A]; 中國氣象學會 2008 年年會氣候資源應用研究分會場論文集 [C]; 2008 年

(a)

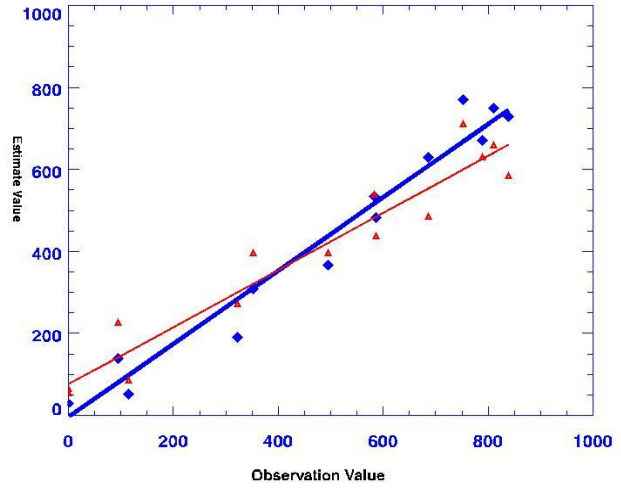


(b)

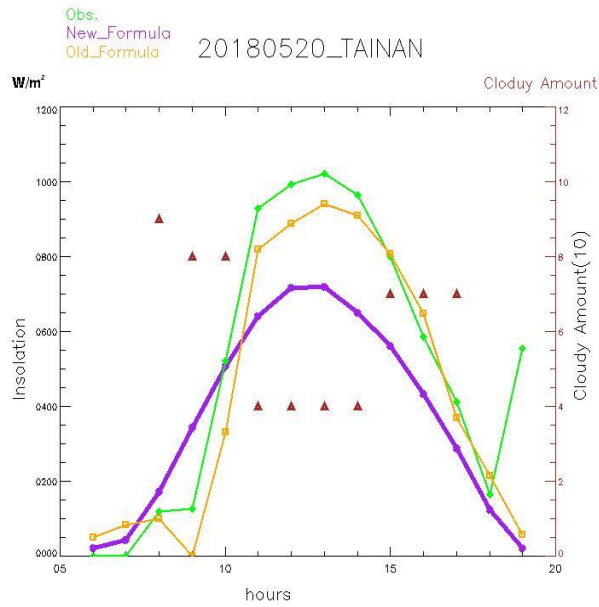


2018052006_2018052019_TAICHUNG W/m²

Old Formula:0.962653
New Formula:0.982493

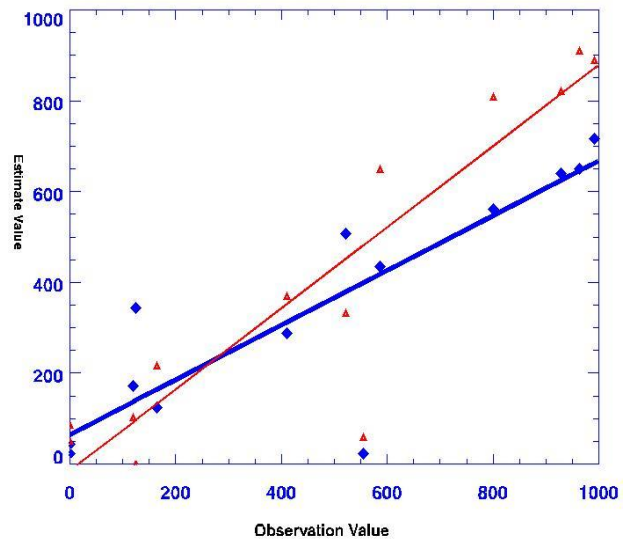


(c)

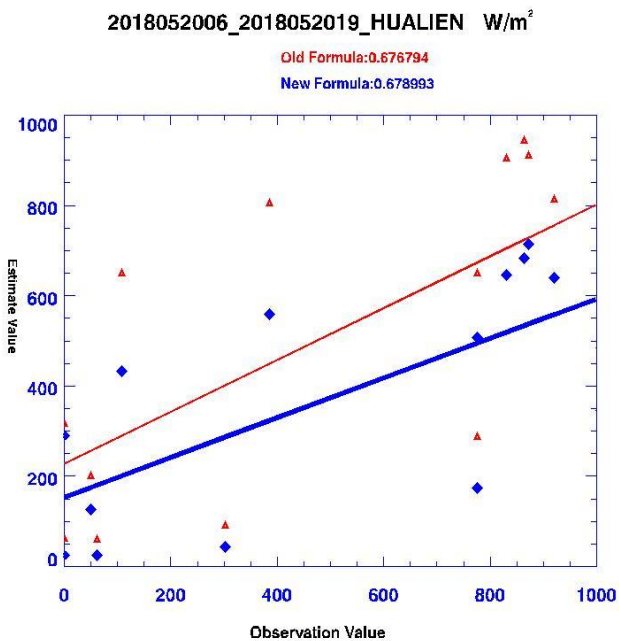
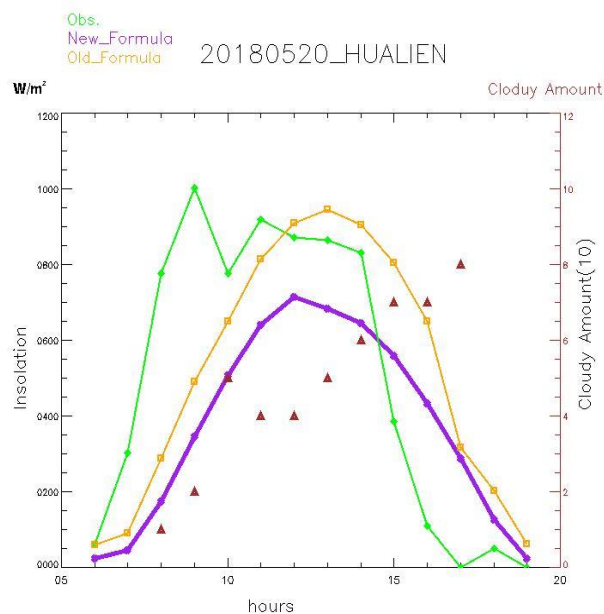


2018052006_2018052019_TAINAN W/m²

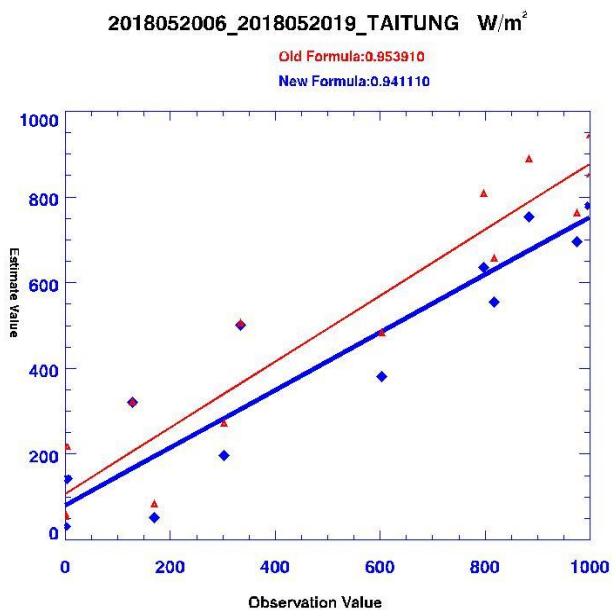
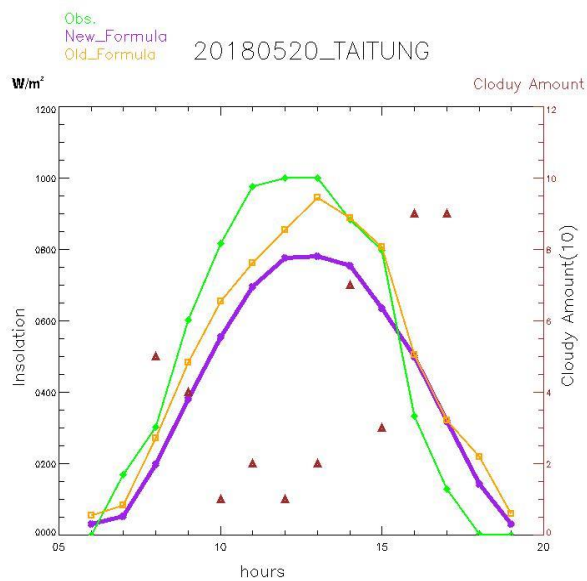
Old Formula:0.924124
New Formula:0.876139



(d)



(e)



圖(a)至(e)，左圖為 2018 年 5 月 20 日 06 至 19 時 CST，臺北、臺中、臺南、花蓮、臺東之日射量曲線圖，橫軸是小時，左縱軸(黑色)是日射量，單位為 W/m^2 ，右縱軸(棕色)是雲量 (10 分量)。另，右圖為 2018 年 5 月 20 日 06 至 19 時 CST，臺北、臺中、臺南、花蓮、臺東之日射量散布圖，橫坐標是觀測值，縱座標是反衍值，單位為 W/m^2 。