

基於測站觀測之地面輻射分析場建立

洪國展¹ 鄭安孺¹ 林秉煜² 黃于盈² 于芃¹ 黃俊翰² 馮欽賜²
多采科技有限公司¹ 交通部中央氣象局²

摘要

透過空間內插的方式，可從測站觀測而得的輻射記錄，推求至所有空間位置中，進而建立地面輻射分析場。本研究採用人工站的實際觀測資料，配合晴空輻射模型的建立，推求測站位置之輻射觀測值與晴空輻射值的比例值，並將此比例值內插至其他空間位置。同時，利用其他氣象因子（氣溫、壓力、相對濕度）的地面分析場資料與長期臭氧觀測值，建置晴空輻射值地面分析場，並進一步以比例值計算地面輻射分析場。

關鍵字：輻射、地面分析場

一、前言

近年來極端天氣發生頻仍，極端高溫或低溫不僅可能造成農漁業災損，並且危害民眾身體健康。舉凡因高溫所造成像是熱中暑、熱衰竭等的熱健康危害，紫外線曝曬過量對人體皮膚、水晶體等的病變等的災害性天氣，皆與太陽對於地球的照射有關。若能建立太陽輻照度(global irradiance)或輻射地面分析場資料，則有助於針對上述的災害性天氣型態提出預警，未來除能做為高溫、紫外線指數的即時推估外，在結合數值預報下，亦可做為災害性天氣造成後續危害的預防機制。

全天空輻射(global radiation, global solar radiation)，又稱總水平輻射(total horizontal radiation)，是指水平面上所接受的全部太陽輻射，包括直接來自太陽之直達輻射(direct radiation)與來自天空(sky)經由雲、空氣分子、灰塵等散射陽光後之漫天輻射(diffuse radiation)。一般而言，全天空輻射可由天空輻射表計(Pyranometer)加以測量。全天空輻射除了與日地關係與氣象因素有關，也與雲條件與大氣濁度有關(Bernhard, 1945)。在上述影響因子中，在考慮無雲的情況下，所測量的資料稱為晴空(clear sky)全天空輻射。

晴空全天空輻射估計流程目前相對成熟，而雲的部分除了雲量觀測本身的問題以外，對於輻射的影響變化性也較大。在Pfister等人(2003)的研究中，利用全天空照相儀分析雲覆蓋量，並以僅考慮天頂角與地日關係的簡單模型估計晴空條件下的全天空輻射值，並透過全天空輻射比例值與雲覆蓋量的分佈圖關係，探討在太陽是否受到遮蔽下，雲覆蓋量與全天空輻射比例值的關係，此研究所探討之場址為紐西蘭Lauder，考量的晴空條件為以全天空照相儀所分析之雲覆蓋量為0%的情況，圖1顯示全天空輻射比例值與雲覆蓋量之間的關係。由左圖顯示，以所

有觀測資料點繪之分佈圖明顯分為兩群，其中橫軸為雲覆蓋分量，縱軸為全天空輻射比例值。進一步分析其影像資料則發現，可利用太陽是否受到雲的遮蔽進行區分。太陽未受遮蔽的情況如中圖，大部分的比例值以1為基準隨雲覆蓋量增加而增加；太陽受遮蔽的情況如右圖，比例值多低於1，而除了雲覆蓋量為90%~100%之間的比例值分佈較分散外，其餘雲覆蓋量下比例值亦有增加的趨勢。

晴空全天空輻射的估計方式，多是考慮地日關係推求地外輻射(大氣層頂輻射)，再進一步考量大氣層的影響條件加以估計。Yang等人(2001、2005)提出混合模型中，以先估算晴空輻射量(以下稱為晴空模型)，在利用Angstrom-type model量化的效應方式，期望建立一組適用於不同場址輻射量估計的通用模型。在本研究中，使用Yang等人所提出的晴空模型。

本研究目的為透過地面測站觀測獲得之小時輻射量，配合空間內插方式，建立臺灣本島之小時輻射量地面分析場，然而，空間內插則與整體的測站空間分佈密度有關，本研究也將初步檢視測站觀測的合理性，並利用他單位測站進行初步比較。

二、資料說明

本研究取得2014年至2017年間之人工站逐時觀測資料，其中與雲、日照相關之參數如表1所列。

表1 氣象局人工站雲、日照相關觀測資料表

| 人工站 | |
|------|--|
| CD11 | Total Cloud Amount(0-10) |
| SS01 | Sunshine Duration(hr) |
| SS02 | Global Solar Radiation(MJ/m ²) |

表1中，CD11為人工站觀測員觀測的雲量，以10分量記錄之，0表示判斷無雲，10表示判斷天空完全由雲覆蓋。SS01為儀器記錄之日照時數，以小時為單位，精度至0.1小時。SS02為儀器記錄之輻射量，

單位為MJ/m²。上述SS01及SS02記錄頻率為1小時1筆，CD11主要為3小時1筆(08、11、14、17時)。另外收集農業站觀測資料，其包含SS01及SS02之記錄。

在其餘使用的觀測參數方面，尚包含氣溫、壓力、相對濕度、露點溫度等氣象觀測因子以及測站之經度、緯度、高程等基本資料。

本研究亦在氣象局協助下協助取得工研院測站之輻射記錄，資料時間為2017年12月~2018年3月，其記錄方式為每10秒鐘記錄一筆能量觀測值，處理上依其時間段進行每小時內記錄累積。

圖2~圖4分別繪製臺灣本島北部、中部、南部位置人工站、農業站以及工研院測站之分佈圖，由圖可知工研院測站主要分佈在臺灣中部與南部區域。

三、晴空資料檢視及晴空模型比較

為了計算地面格點輻射量，本研究首先篩選可能為晴空條件下的觀測記錄。輻射觀測存在極值，出現在極晴朗的天氣條件，晴空條件觀測記錄的篩選目的建立晴空資料集，並檢視晴空條件下的觀測值是否有疑慮。配合上節測站觀測資料說明，在2014年-2017年人工站記錄中，觀測項目中可用於判斷天氣相對晴朗的資料有兩項，分別為CD11與SS01。

若單純以CD11=0的記錄判斷為晴空條件時，由於資料可能過少，參考馮等人(1989)年的研究，對於台北、宜蘭、恆春等三個測站以CD11=0、SS01=1.0之資料集與CD11<=1、SS01=1.0之資料集所進行的分析發現，兩者對於大氣懸浮微粒衰減效應影響的分析結果並無顯著不同，但資料數量可增加一倍以上，再加上由於CD11除台北站466920外主要為3小時1筆資料，為擴充晴空資料數量，本研究對於晴空資料的選擇定義如下：

晴空資料定義：CD11=0或1之前後1小時內，SS01=1.0的記錄。

選擇出晴空資料後，可檢視本研究採用Yang等人所提出之晴空模型的合理性。以台北站為例，依其觀測資料取出2016年2月8日至2月11日共四日的資料比對其輻射觀測值與晴空模型計算值。台北站為本島人工站中每小時皆有雲量觀測之測站，圖5及圖6分別顯示此四日間之CD11與SS01之測站記錄值。由圖可知，2月8日及2月9日為相當晴朗的天氣，其CD11記錄皆為0，且SS01記錄皆為1.0，2月10日則略有雲量觀測，而SS01記錄亦皆為1.0，2月11日則為雲量相對較多、日照時數相對較短的日期。

配合Yang等人所提出之晴空模型並此四日間其他氣象因子進行晴空模型計算值的推求。以台北站

而言，上述四日間逐時晴空模型計算值與輻射觀測值之時間序列如圖7。圖中資料點為觀測輻射值，黑實線則為本研究採用之晴空模型計算值，由圖可知在2月8日~2月10日三日間，由於天氣條件接近為晴空，因此計算值與觀測值接近，2月11日觀測值因雲的影響而明顯較低。圖8為兩資料的散佈圖，橫軸為測站觀測輻射值，縱軸為晴空模型計算值，並以不同符號標記不同日期，在中午前後晴空模型計算值略有低估，三日晴空條件的資料相關性達0.9936，顯見此晴空模型應可適用於計算在無雲條件下的可能輻射值。

另一方面，測站晴空資料可用來建立晴空資料離群值篩選門檻。晴空資料離群值篩選門檻建立的目的，是用於初步檢視測站於晴朗無雲的條件下是否存在觀測偏差的情形。本研究初步檢視本島測站的晴空資料觀測合理性，並探究其是否存在離群資料。本島人工站共有24站，其中淡水(466900)、永康(467420)並無雲量觀測，並初步考量地勢高的玉山(467550)、阿里山(467530)，以剩餘的20站人工站進行離群值篩選門檻建立。經計算四年間晴空資料共有24,987筆，不分測站取出相同季節(spr：3,4,5月；sum：6,7,8月；aut：9,10,11月；win：12,1,2月)相同時間點計算其平均值(μ)與標準差(σ)，並以兩倍標準差($\mu \pm 2 \cdot \sigma$)做為離群值篩選門檻。

依照上述方法，初步建立不分測站於不同季節不同時間點之離群值篩選門檻上下限如表2所列，其單位為MJ/m²。

表2 晴空條件離群值篩選門檻

| Hour | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | |
|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 總筆數 | 2427 | 3179 | 3596 | 2889 | 2840 | 2332 | 2379 | 2265 | 1916 | 1164 | |
| spring | 筆數 | 518 | 592 | 711 | 545 | 518 | 443 | 462 | 439 | 367 | 344 |
| | 上限 | 1.669 | 2.475 | 3.163 | 3.711 | 3.942 | 3.893 | 3.589 | 2.975 | 2.238 | 1.316 |
| | 下限 | 0.473 | 1.019 | 1.634 | 2.104 | 2.409 | 2.529 | 2.315 | 1.915 | 1.252 | 0.634 |
| summer | 筆數 | 796 | 639 | 671 | 474 | 451 | 354 | 355 | 340 | 258 | 271 |
| | 上限 | 1.746 | 2.448 | 3.223 | 3.729 | 3.971 | 4.014 | 3.805 | 3.182 | 2.441 | 1.664 |
| | 下限 | 0.864 | 1.661 | 2.179 | 2.669 | 2.865 | 2.850 | 2.604 | 2.225 | 1.650 | 0.854 |
| autumn | 筆數 | 894 | 1027 | 1110 | 845 | 861 | 668 | 668 | 629 | 564 | 216 |
| | 上限 | 1.351 | 2.184 | 2.976 | 3.541 | 3.756 | 3.601 | 3.261 | 2.622 | 1.801 | 1.056 |
| | 下限 | 0.468 | 0.970 | 1.427 | 1.660 | 1.952 | 1.929 | 1.641 | 1.164 | 0.535 | 0.252 |
| winter | 筆數 | 219 | 921 | 1104 | 1025 | 1010 | 867 | 894 | 857 | 727 | 333 |
| | 上限 | 0.727 | 1.540 | 2.321 | 2.953 | 3.182 | 3.218 | 2.949 | 2.390 | 1.675 | 0.947 |
| | 下限 | 0.204 | 0.612 | 1.129 | 1.306 | 1.805 | 1.745 | 1.544 | 1.134 | 0.602 | 0.290 |

以表2建立的離群值篩選門檻針對各測站晴空資料挑選其離群值，以檢視於年份與日曆天上的分佈情形，並選擇數個挑選結果較具特殊性的測站加

以說明。圖9~圖11呈現花蓮站、梧棲站以及日月潭站，在上述離群值篩選門檻下，所挑選出輻射觀測值落於門檻外的日數與時數分佈圖。如該等圖所示，離群值資料大致可分為三類：

- 個案現象：若離群值資料出現於同一天，可能測站該日受到臨時性的外在因素影響，使得同一日間多數小時輻射記錄被判定為離群值。
- 系統性現象：若離群值重複出現在不同日數同一時數，可能是該測站於該小時時受到固定的外在環境影響。
- 隨機現象：若離群值離散分佈，判斷此離群值可能為隨機出現。

針對圖9~圖11進一步說明系統性現象與個案現象。並以圖12~圖15進一步檢視離群值與晴空模型計算值的分佈情形。由以上針對台北測站的資料比較下，本研究採用Yang等人晴空模型的計算方式應有初步可信度，利用同樣模式，採用各測站晴空時刻下之其他氣象因子，推算其晴空模型計算值，並與挑選出之離群值進行比較。

圖12為花蓮站比較圖，上圖為挑選四年間所有離群值與晴空計算值分佈，下圖為2017年之資料，橫軸為測站輻射觀測值，縱軸為晴空模型計算值。由圖可知觀測值大多高於計算值，且多集中於上午時段。經與氣象局瞭解，花蓮站可能受到本身測站如圖16中中央白色圓球反射影響，使得上午時段測到的輻射量過大。

圖13為梧棲站比較圖，其呈現方式與圖13相同。由圖可知上午11時(空心圓)資料佔大部分比例，且測站觀測皆低於計算值，猜測可能於11時前後測站有受到附近地貌遮蔽影響。

圖14為日月潭站2017年2月18日個案之比較圖，上圖為該日各時點之觀測值(橫軸)與晴空模型計算值(縱軸)之分佈，顯見兩者資料接近，為在高數值時測站觀測高於計算值；下圖為該日逐時之時間序列圖，虛線表示表2所建立之離群值門檻上下限，黑實線表示晴空模型計算值，點資料為測站觀測值，紅色實心點則為挑選之離群值。

圖15為日月潭站2017年不分日數上午9時(上圖)與上午10時(下圖)所挑選出之離群值與晴空模型計算值的比較分佈圖，由圖可知挑選出的結果分為兩群，其中一群觀測值接近於計算值，而另一群為觀測值低於計算值。首先日月潭站高程為1017.5m，與其他測站高程差距較大，資料雖用於建立門檻但仍可能與其他測站高程差異過大。

要特別說明的是，離群值的挑選結果僅代表這些資料落於上述設定門檻之外，其觀測是否正確仍須進一步的檢覈測試。

四、輻射地面分析場建立

綜合以上說明可瞭解到，目前晴空模型計算值通常較為可信，雲對於輻射觀測的影響評估不易進行，但可利用觀測值與晴空值之間的比例，建立初步關係，而本研究雖建立晴空條件離群值挑選機制，但仍須進一步的檢覈方能確認觀測資料正確性。

本研究基於以上結果設計輻射地面分析場建立流程。

如圖17所示，中間兩欄位為主要的計算流程，左側為測站資料的應用，右側為地面格點資料的應用。以測站應用資料而言，由上而下首先依照日曆天、時間、測站經緯度等，計算地外輻射量，並以此地外輻射量，配合測站該時間點的氣象因子觀測(溫度、氣壓、相對濕度、臭氧厚度)與高程資料，計算該氣象條件下的晴空估計值。

計算測站晴空輻射量後，配合測站該時間的實際輻射觀測量(SSO₂)，計算出一測站比例值(r)，此比例值為表現的是該時間點因為其他非晴空因素對輻射量所造成的影響，如雲或其他特殊情形的存在可能對於輻射觀測造成增益或降低。獲得測站比例值後，以普通克利金法將比例值面化，以計算地面格點比例值。在測站資料應用上，獲得的最後產品即為地面格點比例值(r_g)。

在地面格點資料應用方面，首先依照日曆天、時間以及所有1km格點的經緯度等計算地面格點地外輻射量，並利用本研究之成果所產至之地面格點溫度場、地面格點氣壓場、地面格點相對濕度場，計算地面格點晴空輻射量。地面格點晴空輻射量與同網格之地面格點比例值相乘，便可獲得本研究初步提出地面格點輻射場的產製結果。

圖17的流程可以圖18中四個面化圖做為說明。在(a)圖中以測站資料計算其輻射觀測與晴空輻射估計之間的比例值，並以克利金模組面化如(b)圖之地面格點比例值，同時以地面格點氣象因子計算如(c)圖之地面格點晴空輻射量，最後將(b)圖與(c)圖相乘，獲得(d)圖之地面格點輻射量面化圖。

五、輻射地面分析場初步校驗

配合「二、資料說明」，在圖17的流程中，以人工站及農業站進行左側的測站資料應用，並以工研院測站進行初步校驗，表3為本研究蒐集共十處工研院輻射測計基本資料表。本研究所蒐集之資料的重疊時段僅有2017年12月，因此以此時間段進行比較，並以每日上午7時至下午18時的資料進行校驗(單站最大資料筆數為31x12=372)。

表4為各測站於2017年12月間之校驗統計值，結果顯示各測站相關性皆高，最低者為屏東蜈蚣民宅

的0.9246，總體資料相關性達0.9575，均方根誤差為0.1886MJ/m²，平均偏差為低估0.0773MJ/m²，平均絕對誤差為0.1270 MJ/m²。圖19及圖20為相關係數最高(霧峰區公所)及最低(屏東蜈蚣民宅)兩測站之估計值與觀測值之散佈圖，其中橫軸為測站觀測值，縱軸為地面格點估計值。

表3 工研院日射記錄測站基本資料

| 測站代稱 | 測站名 | 資料筆數 | 經度 | 緯度 |
|--------------|---------|------|----------|----------|
| shigang-sun | 石岡區公所 | 372 | 120.7806 | 24.27502 |
| wufeng-sun | 霧峰區公所 | 372 | 120.7001 | 24.06128 |
| gukeng-sun | 古坑鄉立幼兒園 | 132 | 120.558 | 23.6368 |
| shetou-sun | 社頭鄉立圖書館 | 372 | 120.5896 | 23.89749 |
| tienchun-sun | 田中鎮公所 | 0 | 120.5808 | 23.86152 |
| chuchi-sun | 竹崎鄉立圖書館 | 372 | 120.548 | 23.52314 |
| neipu-sun | 內埔鄉立圖書館 | 50 | 120.5696 | 22.61101 |
| wuchi-sun | 屏東蜈蚣民宅 | 372 | 120.6153 | 22.38105 |
| yanpu-sun | 鹽埔鄉立圖書館 | 372 | 120.5517 | 22.74278 |
| fangliao-sun | 枋寮鄉立圖書館 | 72 | 120.5935 | 22.3655 |

表4 工研院日射記錄測站校驗統計值

| 測站名 | 資料筆數 | corr | RMSE | MBE | MAE |
|---------|------|--------|--------|---------|--------|
| 石岡區公所 | 372 | 0.9779 | 0.1886 | -0.0773 | 0.1270 |
| 霧峰區公所 | 372 | 0.9905 | 0.1052 | 0.0091 | 0.0701 |
| 古坑鄉立幼兒園 | 132 | 0.9621 | 0.2331 | -0.0853 | 0.1549 |
| 社頭鄉立圖書館 | 372 | 0.9687 | 0.2327 | -0.0968 | 0.1561 |
| 田中鎮公所 | 0 | - | - | - | - |
| 竹崎鄉立圖書館 | 372 | 0.9466 | 0.2548 | -0.0495 | 0.1702 |
| 內埔鄉立圖書館 | 50 | 0.9315 | 0.2698 | -0.0198 | 0.1659 |
| 屏東蜈蚣民宅 | 372 | 0.9246 | 0.2811 | -0.0368 | 0.1870 |
| 鹽埔鄉立圖書館 | 372 | 0.9530 | 0.2176 | -0.0129 | 0.1364 |
| 枋寮鄉立圖書館 | 72 | 0.9286 | 0.2806 | -0.0752 | 0.2007 |
| total | 2486 | 0.9575 | 0.1886 | -0.0773 | 0.1270 |

配合圖3及圖4之測站分佈圖，可瞭解到中部地區有較密集的人工站與農業站的架設，在霧峰區公所(wufeng-sun)鄰近即有霧峰農試所(G2F820)與台中站(467490)，而屏東蜈蚣民宅(wuchi-sun)鄰近較無其他測站。

六、結論與建議

本研究嘗試使用地面測站觀測之輻射值，建立本島輻射地面分析場。與一般如溫度等氣象觀測因子最主要的差別在於，具有輻射觀測之地面測站數量相對較少，而地面分析場建立的好壞則與測站密度有直接關係。

本研究透過定義晴空資料的方式，選擇測站晴空時間段之資料，並與文獻中的晴空模型計算值相

互比較，結果顯示所採用之晴空模型於高量值時與觀測相比之下略微低估，然其相關性甚高。

透過定義晴空資料的方式，可針對在晴空條件下測站所觀測之晴空輻射值進行檢視，依測站不同挑選出統計上之離群值，而要注意離群值並不代表觀測錯誤，測站觀測的正確性需要在進一步進行檢驗。

本研究利用測站觀測、測站估計晴空輻射值、空間內插方式與晴空輻射值地面分析場，設計輻射地面分析場之建置流程，並以2017年12月工研院測站之觀測輻射記錄進行校驗，結果顯示本研究建立之流程所推估的輻射值與觀測值接近，所有資料於該月份不分時間點之相關係數可達0.95以上，均方根誤差則為0.189MJ/m²，然由於此時段於中南部地區一般而言處於較晴朗穩定的天氣條件，因此在統計表現上尚可接受，未來需要以更多不同時段資料進行校驗。

輻射地面分析場的建立，有賴於測站觀測資料的正確性以及如何間測站影響正確地擴散至其他空間中。建議未來能針對測站觀測資料建立檢驗系統，以篩選不合理之觀測數值，同時參考其他可應用之空間資料(如衛星反演資料)進行整合，以建構更佳之輻射地面分析場。

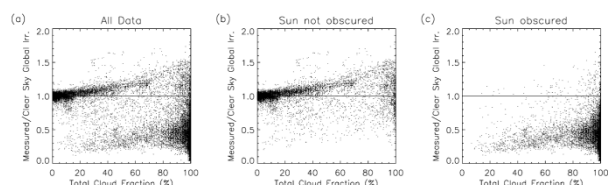


圖1 全天空輻射比例值對雲覆蓋量之分佈圖(Pfister,2003)

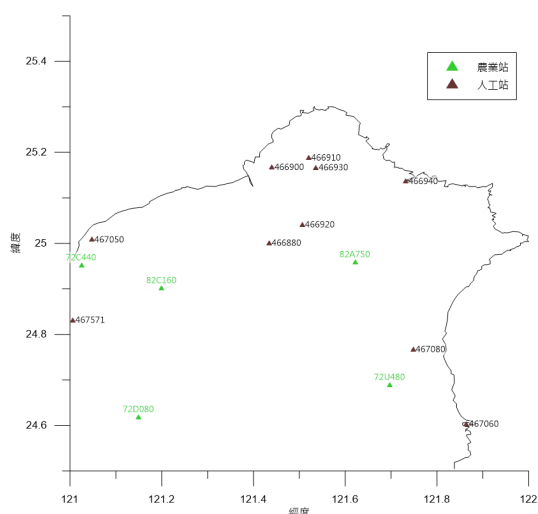


圖2 北部區域測站位置分佈圖

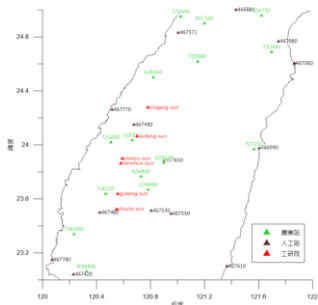


圖3 中部區域測站位置分佈圖

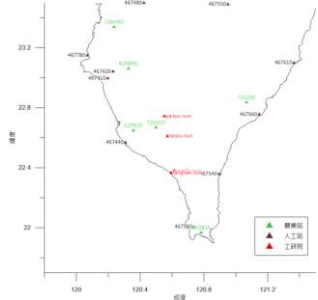


圖4 南部區域測站位置分佈圖

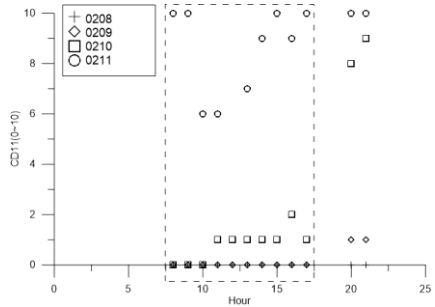


圖5 台北站20160208-20160211 CD11觀測記錄

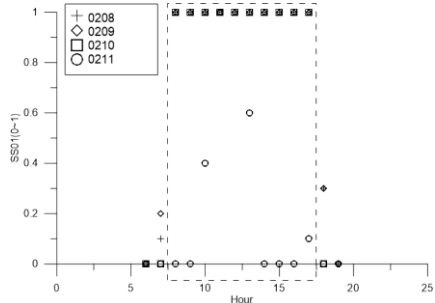


圖6 台北站20160208-20160211 SS01觀測記錄

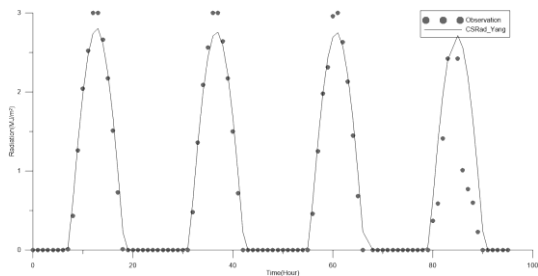


圖7 台北站20160208-20160211晴空模型計算值與觀測值之時間序列

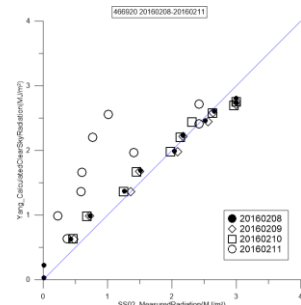


圖8 台北站20160208-20160211晴空模型計算值與觀測值之散佈圖

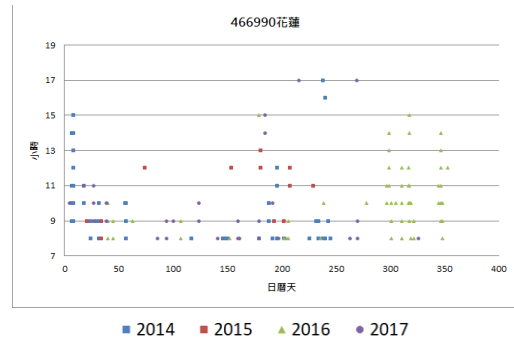


圖9 花蓮站離群值挑選結果分佈情形

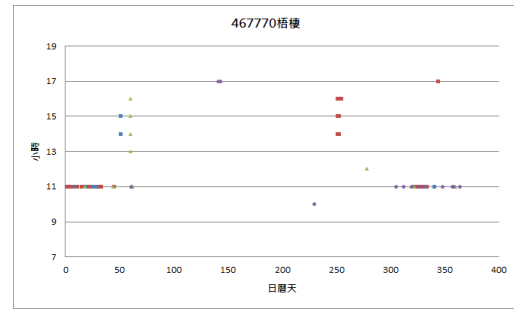


圖10 梧棲站離群值挑選結果分佈情形

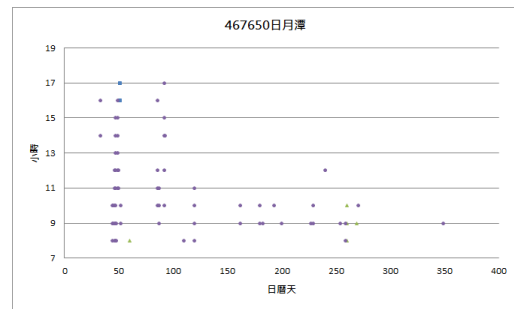


圖11 日月潭站離群值挑選結果分佈情形

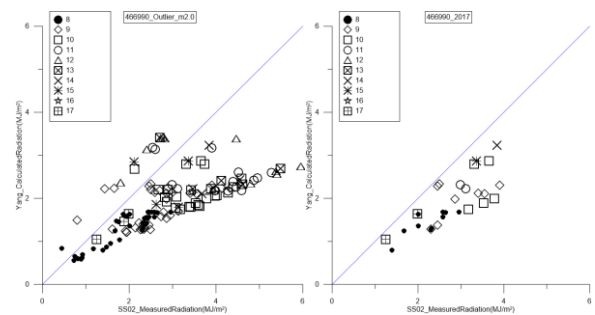


圖12 日月潭站離群值挑選及晴空模型計算值分佈情形(系統性)

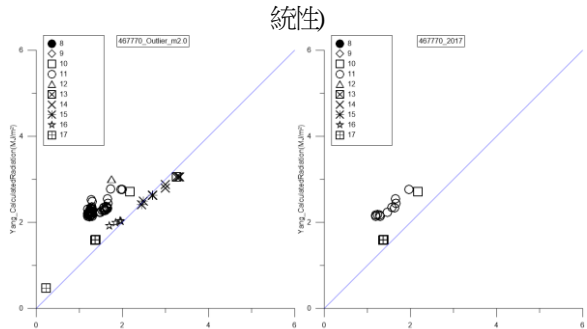


圖13 梧棲站離群值挑選及晴空模型計算值分佈情形(系統性)

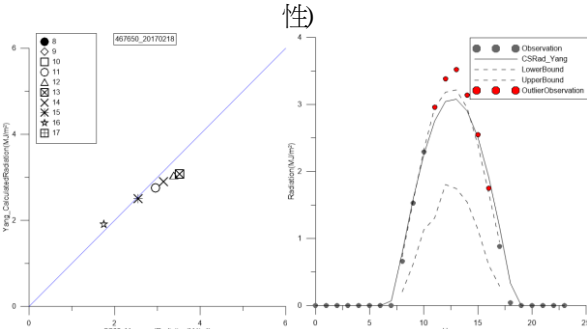


圖14 日月潭站離群值挑選及晴空模型計算值分佈情形(個案)

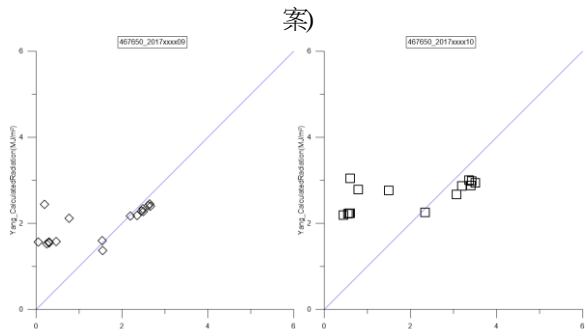


圖15 日月潭站離群值挑選及晴空模型計算值分佈情形(系統性)



圖16 花蓮測站外觀

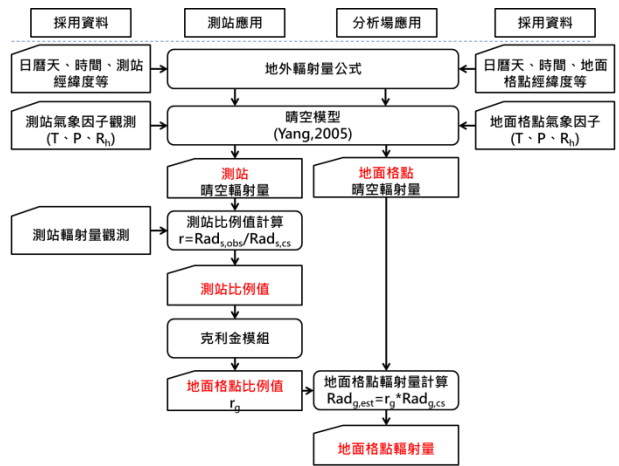


圖17 地面格點輻射量推估流程圖

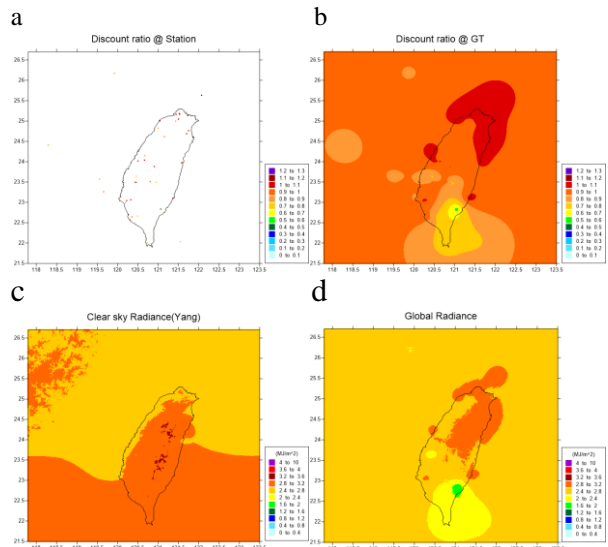


圖18 地面格點輻射量推估流程圖面化圖(a.測站比例值、b.地面格點比例值、c.地面格點晴空輻射量、d.地面格點輻射量)

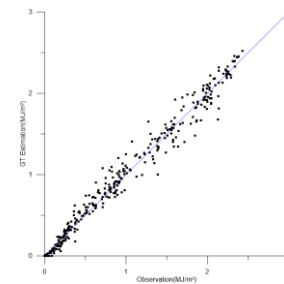


圖19 霧峰區公所輻射觀測與計算值分佈圖

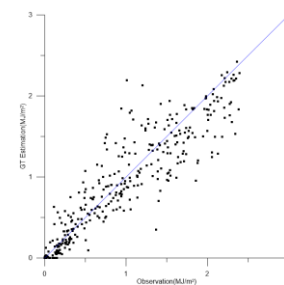


圖20 屏東東興區民宅輻射觀測與計算值