

地面輻射測站觀測之基本檢覈與地面輻射分析場建立

洪國展¹ 鄭安孺¹ 黃椿喜² 林秉煜² 黃于盈²
于芃¹ 黃俊翰² 林重光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

地面分析場的建立有賴於適宜的初次猜值以及細部調整機制。本研究首先針對地面輻射測站建置初步的檢覈機制，以測站本身的歷史觀測資料以及氣象因子所建置的晴空輻射值，設置合理性檢覈的標準。此外，配合衛星反演的短波輻射場，利用通過檢覈的測站資料，進行同位置之校正，以產製經檢覈觀測輻射值所整合的地面輻射分析場。

關鍵字：輻射、合理性檢覈、晴空輻射值、地面分析場

The Basic Quality Check of Radiation Observation on Stations and The Establishment of Ground Truth

Kuo-Chan Hung¹ Anne Ru Cheng¹ Treng-Shi Huang² Ping-Yu Lin² Yu-Ying Huang²
Peng Yu¹ Chun-Han Huang² Chung-Kung Lin² Chin-tzu Fong²
Manysplendid Infotech, Ltd.¹ Central Weather Bureau²

Abstract

The establishment of the ground truth depends on an appropriate first guess and a detailed adjustment mechanism. We propose a basic quality check of radiation observation on stations based on the historical observations and the clear sky radiation calculations to set the criterion of upper value. The radiation derived from satellite data is adjusted with quality checked observation to establish the ground truth of radiation.

Keyword : radiation, quality check, clear sky radiation, ground truth

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。

地面分析場的建立，有賴於分析場初始猜值以及根據能取得之可信觀測資料進行調整，而觀測資料主要來源為地面天空輻射表計(Pyranometer)所接

收到的全天空輻射(global radiation, global solar radiation, total horizontal radiation)，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)。全天空輻射與日地關係及氣象因素有關，也與雲條件與大氣濁度有關。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。

在分析場初始猜值方面，洪等人(2019)過去採用Yang等人(2005)所提出的混合模型，以日地關係估計每日逐時的地外輻射值(extraterrestrial radiation)，並配合各網格地表的經緯度、高程、氣象因子(氣溫、氣壓、相對濕度、臭氧)等，估計地表位置的晴空模型值。接著以測站輻射觀測值計算測站同網格位置處的輻射比例值($r = R_{obs}/R_{clearsky}$)，將各測站同網格的輻

射比例值進行空間內插，以將各網格輻射比例值與各網格晴空模型值相乘，以獲得各網格的輻射估計值，進而建置整體的輻射地面分析場。

本研究基於地面分析場建置的概念，採用衛星反演的短波輻射場做為分析場初始猜值，並建置地面測站的合理性檢覈基本標準，將通過檢覈之地面測站資訊，整合於衛星反演短波輻射場中，建置輻射地面分析場。

二、合理性門檻建置

合理性門檻主要用於檢覈測站逐時的輻射觀測記錄是否有過大的情形，若觀測記錄超過門檻值，則視該筆資料為可疑記錄。

2.1 晴空輻射值

本研究對於上限合理門檻值的建置係以晴空輻射值為主。由於到達地面的全天空輻射量主要受到時間(日地關係)與天氣條件影響，晴空輻射值可視為一種在天氣條件極為晴朗下，該時間該位置所可能達到的觀測值(以下稱為晴空觀測值)，當多年同時間皆為晴空觀測值時，其觀測值特性可視為該時間可能達到的觀測極值，也適合用於建立上限合理門檻值。

本研究使用氣象局人工站中針對雲量、日照時數等兩項逐時觀測，決定該小時是否為晴空條件。在雲量部分(CD11, 0~10)，人工站除臺北站(466920)外主要為3小時1筆(08、11、14、17時)，日照時數(SS01, 0.0~1.0)則有逐時記錄。因此本研究對於晴空條件之選擇定義如下，所篩選出的輻射觀測(SS02)於此稱為晴空觀測值：

晴空資料定義：CD11=0或1之前後1小時內，SS01=1.0的記錄。

然而，有上述CD11及SS01觀測的測站僅有人工站，晴空條件並不容易達到，其對應的晴空觀測值數量也相對的少，為了能針對各測站都能建立上限門檻值，另外利用測站本身的地理位置與氣象因子，以晴空模型加以計算，此計算於此稱為晴空模型值。在洪等人(2019)的研究中所採用Yang等人所提出的晴空模型，進行2月8日~2月10日三日間，天氣條件接近為晴空條件時的晴空觀測值與晴空模型值的比較，此三日間晴空條件的資料相關性達0.9936。

2.2 資料說明

在所使用的資料部分，本研究取得2014~2019年間測站記錄，依照上述晴空條件定義，分析本島平地人工站共22站之晴空觀測值，並依照季節區分(2~4月為春季、5~7月為夏季、8~10月為秋季、11~1月為冬季)及各往前後延伸10天內，視為同季節之資料(如春季門檻建置時所採用的資料為1月22日~5月10日)分析時取出同小時之晴空觀測值進行統計分析。統計各小時於四季出現晴空條件之資料筆數如表1所

列(僅列出07時至18時)。由表1整理可知，不分季節同小時(上午10時, 5,816筆)最大晴空條件數量也僅有約12.07%的比例，在季節區分上則以夏季的晴空條件數量最少，冬天晨間與傍晚因為日照較少因此晴空條件數量也較少。

表1 本島平地22站人工站晴空觀測值數量列表

	07	08	09	10	11	12
SPR	104	1,028	1,385	1,576	1,293	1,229
SUM	534	897	755	822	578	542
AUT	528	1,606	1,467	1,533	1,123	1,102
WIN	4	824	1,609	1,885	1,669	1,708
季\時	13	14	15	16	17	18
SPR	1,001	1,017	992	878	833	36
SUM	462	459	433	356	352	166
AUT	930	938	885	801	588	62
WIN	1,427	1,418	1,376	1,229	411	0

在晴空模型值部分，配合所採用的晴空模型，本研究利用測站過去五年(2015年~2019年)觀測之氣溫、氣壓、相對濕度等逐日逐時觀測，以及將過去五年臺北、成功月平均臭氧量資料之平均值視為背景值，進行各測站五年間(2015年~2019年)逐時晴空模型值的計算。對於部分未包含氣象因子觀測或觀測經檢覈挑出的測站記錄而言，則利用對應氣象因子地面分析場之測站同網格資料做為代替。原則上若以一個月為30日計算，各測站於同月份同小時共可計算150筆晴空模型值。

2.3 上限門檻值建置

由於晴空觀測值數量較少，因此以季節為劃分方式，利用其同時間點資料計算其平均值(μ)與標準差(σ)，並以兩倍標準差($\mu \pm 2 \cdot \sigma$)做為分季分時的通用上限門檻值，如表2所示。

表2 分季分時不分測站通用上限門檻值(MJ/m²)

季\時	07	08	09	10	11	12
SPR	0.665	1.440	2.285	3.035	3.627	3.844
SUM	0.979	1.884	2.675	3.323	3.825	4.042
AUT	0.688	1.526	2.352	3.133	3.698	3.916
WIN	0.19	0.965	1.652	2.338	2.957	3.059
季\時	13	14	15	16	17	18
SPR	3.849	3.546	2.947	2.145	1.198	0.431
SUM	3.958	3.736	3.191	2.465	1.654	0.850
AUT	3.872	3.549	2.952	2.177	1.412	0.651
WIN	3.059	2.972	2.676	2.093	1.367	-

同樣採用各測站分月分時晴空模型值資料進行計算同時間點資料計算其平均值(μ)與標準差(σ)，並以兩倍標準差($\mu \pm 2 \cdot \sigma$)做為分月分時的測站上限門檻值，以呈現各測站的差異，以臺北站(466920)而言，節錄其07時~18時之分月分時門檻值如表3所示。

表3 臺北(466920)分月分時上限門檻值(MJ/m²)

月時	07	08	09	10	11	12
Jan	0.021	0.571	1.301	1.930	2.376	2.636
Feb	0.137	0.916	1.683	2.325	2.798	3.069
Mar	0.545	1.406	2.148	2.759	3.198	3.431
Apr	0.944	1.707	2.394	2.953	3.337	3.533
May	1.022	1.744	2.392	2.930	3.312	3.507
Jun	0.993	1.722	2.374	2.904	3.276	3.469
Jul	0.951	1.668	2.315	2.848	3.233	3.44
Aug	0.803	1.550	2.231	2.797	3.210	3.436
Sep	0.649	1.445	2.166	2.757	3.184	3.410
Oct	0.506	1.331	2.065	2.619	3.043	3.231
Nov	0.285	1.057	1.752	2.299	2.653	2.817
Dec	0.091	0.738	1.382	1.902	2.261	2.420
月時	13	14	15	16	17	18
Jan	2.694	2.535	2.179	1.641	0.962	0.197
Feb	3.114	2.942	2.567	1.988	1.271	0.439
Mar	3.442	3.230	2.812	2.219	1.478	0.652
Apr	3.515	3.289	2.871	2.286	1.574	0.796
May	3.496	3.28	2.877	2.327	1.669	0.942
Jun	3.465	3.269	2.90	2.377	1.738	1.019
Jul	3.453	3.274	2.907	2.388	1.747	1.031
Aug	3.463	3.319	2.934	2.412	1.761	1.025
Sep	3.402	3.201	2.801	2.229	1.528	0.725
Oct	3.163	2.891	2.443	1.834	1.068	0.241
Nov	2.756	2.490	2.012	1.346	0.607	0.028
Dec	2.394	2.180	1.792	1.254	0.597	0.035

最後，整合以上兩種門檻值，以同月份同小時之大值做為檢覈用上限門檻值，部分測站於清晨及傍晚的時間點，係另外檢視其實際資料進行調整。

在未來資料的規劃使用上，晴空觀測值由於數量較少，原則上將以逐年持續累積的方式增加資料集，在晴空模型值由於可逐站逐時計算，因此在每年更新門檻值時係以近五年資料為主。

三、上限門檻值檢覈流程

組合表2與表3之測站分月分時上限門檻值，用於即時測站的檢覈。

對於本研究所建置之即時檢覈流程而言，所使用之原始檔案為與其他氣象因子檢覈使用之相同檔案格式(以下稱為common檔)，common檔為每小時進行檢覈時自資料庫撈取對應資料所組成之檔案，而由於內容為每日0時所開始之累積記錄，因此進行時資料檢覈時需要前有一小時之common檔記錄。

圖1為本研究設計之檢覈流程，目前共包含以下幾項檢覈內容，並分述如下。

缺值檢覈(NULL)，測站記錄為無值或空白值。

記錄不連續，由於輻射檢覈需要前一小時之common檔記錄，當某測站出現於此小時common檔但未見於前一小時common檔時，記為記錄不連續。

最小合理值，目前檢覈機制中所採用之最小合理值門檻為0MJ/m²，亦即小時測站輻射觀測記錄只要非負值即為合理，考量因素如下。首先WMO認為合理的輻照度應介於0~1600W/m²，若依此標準換算之小時輻射量即為0MJ/m²。在BSRN中雖定義有最小值容許為負值的輻照度門檻，或像是TOACs法中定義雖最小值門檻為0.03倍的大氣層頂輻照度，但以小時輻射量而言並不適用。由於此種設定方式，當測站觀測記錄連續回傳為0時，目前會視為記錄合理，但實際上可能是測站本身觀測能力已經失效，因此檢覈時設定其為黑名單，記錄直接不予參考，主要發生在外單位合作站。

物理極限值，WMO規定中認為合理之輻照度最大值为1600W/m²，對應最大合理輻射量為5.76MJ/m²。若小時輻射量之計算數值大於此值且連續發生時，可能是測站儀器失效或需要校正。

上限合理值，即為本研究中根據晴空觀測值、晴空模型值所建立之測站分月分時門檻，當小時輻射量之計算數值大於此值時，視其為可疑資料，而不於後續地面輻射分析場建置中使用。

四、地面輻射分析場建置流程

地面輻射分析場建置，需要一初始猜值。本研究採用之初始猜值為衛星反演的短波輻射場(以下稱為衛星輻射值)，並配合前節地面測站的合理性檢覈，將通過檢覈之地面測站資訊視為正確值，整合於衛星反演短波輻射場中，建置輻射地面分析場。

圖2為分析場建置流程，在取得衛星輻射值後，配合測站坐標篩選出測站同網格衛星輻射值，若該測站觀測記錄通過檢覈時，以測站觀測為真值，計算測站差異，如下式計算：

$$\Delta R_{\text{Diff}} = R_{\text{Satellite @ GridMappingToStation}} - R_{\text{OBS @ Station}}$$

獲得測站位置差異後，利用克利金空間內插方法，計算所有網格位置的差異量或比例值，獲得 $\Delta R_{\text{Diff @ AllGrids}}$ ，目前的克利金模組影響半徑採用0.5°。

最後，將衛星流程計算得到的 $\Delta R_{\text{Diff @ AllGrids}}$ 與衛星輻射值整合，獲得以衛星反演輻射入射量為基底的輻射地面分析場，如下式計算：

$$R_{\text{Estimation @ AllGrids}} = R_{\text{Satellite @ AllGrids}} - \Delta R_{\text{Diff @ AllGrids}}$$

由上式可獲得衛星反演輻射入射量之範圍，整合經檢覈測站觀測輻射量之地面輻射分析場。

四、結果說明

以2019年8月1日00時~8月8日15時為例，說明此時段資料之檢覈結果，並以8月1日08時~17時為例，

說明地面輻射分析場產製結果。此處所使用於建立上限門檻值之來源為累積至2018年底的資料。

4.1 檢覈結果

配合局內資料來源，分為作業機環境與Docker環境資料，兩者主要差異為測站數量不同，在說明的範例時間段裡，Docker環境中的資料共包含88站，作業機環境包含37站，差異的部分主要在於Docker環境中包含更多的外單位合作站。

表4為作業機環境資料於上述時段逐時資料的檢覈情況。由表可知，人工站部分未通過檢覈比例除前時刻未有數值(檢覈碼70)以外，以466910鞍部站、466940基隆站、467080宜蘭站出現數筆超過上限門檻值之記錄，而合作站傳回空值比例極高(檢覈碼-99)，A0G720彰師大站資料不穩定，甚至可能高於物理極限值(檢覈碼40)。

表3 作業機環境輻射資料檢覈結果

8月1日00時~8月8日15時，共183筆逐時資料						
測站	未通過檢覈碼之資料筆數					比例(%)
	-99	70	40	41	51	
466880				1		0.55%
466900		3				1.64%
466910				6		3.28%
466940				4		2.19%
467060		1				0.55%
467080				4		2.19%
467350		1				0.55%
467570				1		0.55%
467650				1	1	1.09%
A0A9M0	178					97.27%
A0C540	180					98.36%
A0G720			16	93		59.56%

Docker環境資料檢覈情況與作業機環境相同，人工站未通過檢覈比例與作業機環境相近，但前時刻未回傳值(檢覈碼70)數量較多，Docker環境使用更多外單位測站，包含466860桃園國際機場站以及許多農業站或合作站，其前時刻未回傳值(檢覈碼70)數量較同時段人工站為高，顯見回傳情形不穩定；另外檢覈出部分資料為負值(檢覈碼51，如120570嘉南水利站4筆)，超過上限門檻值(檢覈碼41，CAAH60大安森林站36筆、72S590賓朗果園站15筆、82H840凍頂茶改站12筆...等)的部分，顯示其資料品質問題需要注意。

4.2 地面輻射分析場建置結果

在圖3中，第一欄為原始衛星反演輻射入射量；第二欄為以通過檢覈之測站觀測值及入射量之差值進行空間內插後的差值分佈，灰色系表示在以通過檢覈之測站觀測值為真值下衛星低估，藍綠色系表示衛星高估；第三欄為第一欄與第二欄相加後產製

的輻射地面分析場結果。以09時、10時的結果而言，第二欄顯示於紅色圈內衛星估計與466900淡水站觀測值相比下呈現高估情形，因此於第三欄處將其向下調整；同樣的，以15時的結果而言，第二欄顯示於紅色圈內衛星估計一帶與467050新屋站觀測值相比下呈現低估情形(以此時間點為例，衛星估計與西部沿海測站相比之下多為低估)，因此於第三欄處將其向上調整，要注意的是有時候調整幅度並不會使其超過色階的設定範圍。

此外，為了提供下游使用，在目前上線模組的地面輻射分析場產製流程中，係提供瞬時量輻照度做為下游使用產品。輻射量為輻照度在一段時間內的積分，由於上述產製的結果為小時輻射量，因此換算成瞬時量時可視為該小時內的平均輻照度，其換算方式如下：

$$\text{irradiance} [\text{W}/\text{m}^2] = \text{radiation} [\text{MJ}/\text{m}^2] \times 10^6 / 3600$$

圖3中第四欄為1km解析度下以輻照度為輸出的產品。

五、結論與建議

本研究利用地面測站觀測之輻射值進行檢覈，並以輻射反演之地面入射場做為初始猜值，進行地面輻射分析場線上建立之流程建置。

由於輻射測站本身數量不多，具備觀測品質之測站亦少，未來建議可納入更多測站(如合作站、工研院測站等)之資料，在經過基本資料品質檢視之後，建立例如參考相鄰測站的方式建置空間檢覈機制，或是可結合其他觀測因子(如氣溫、紫外線等)進行跨因子的檢覈機制研究。

在地面輻射分析場建置部分，前期研究以晴空模型值做為初始猜值，而於本研究中以衛星反演地面入射場做為初始猜值。其最主要差異在於衛星輻射量分佈較為細緻，可將雲分佈的影響直接反映於衛星輻射量中，原則上為較佳之初始猜值及建置流程，然而在考量衛星設備維護、調整等停機時間時，為使供應下游之流程不致中斷，可考慮以前期產製方式做為備援產品。

六、參考文獻：

1. 基於測站觀測之地面輻射分析場建立，洪國展、鄭安孺、林秉煜、黃于盈、于芃、黃俊翰、馮欽賜，
2. Yang, K. and K. Toshio, 2005. A general model to estimate hourly and daily solar radiation for hydrological studies, Water Resources research, Vol. 41, W10403, doi:10.1029/2005WR003976

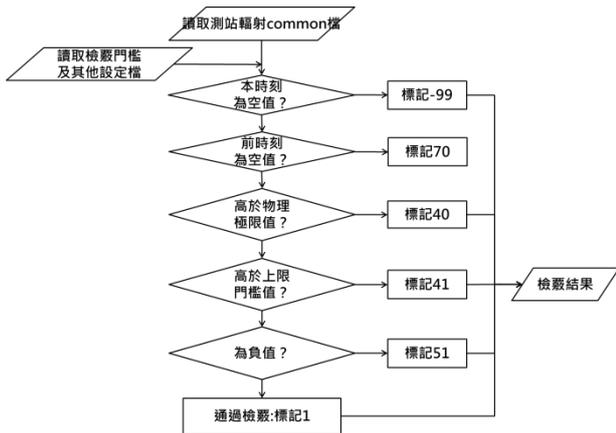


圖1 測站輻射值即時檢覈流程

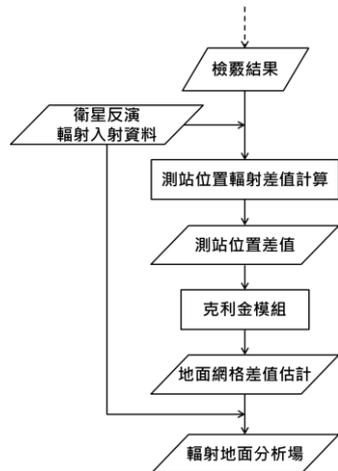
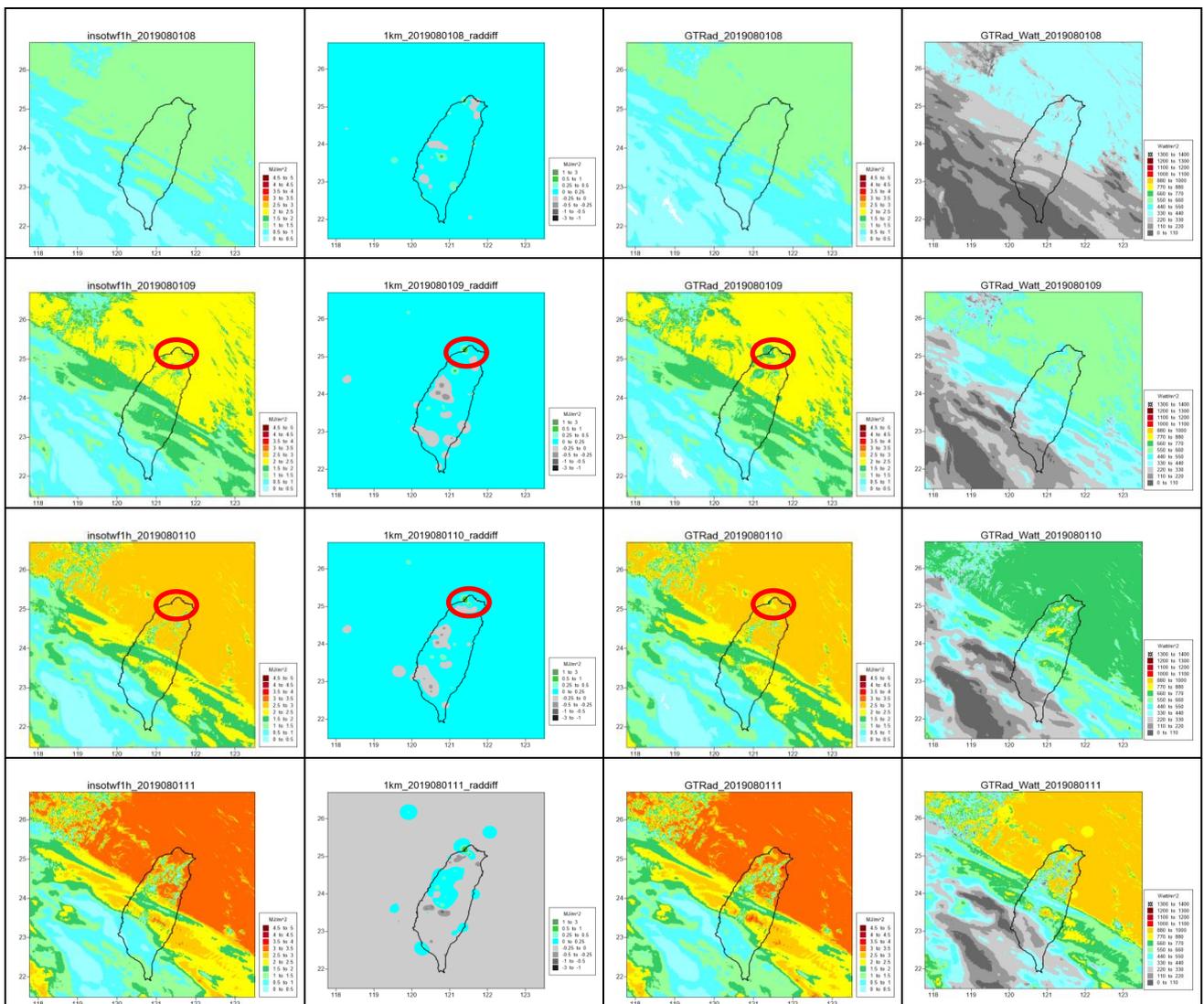


圖2 地面輻射分析場產製流程



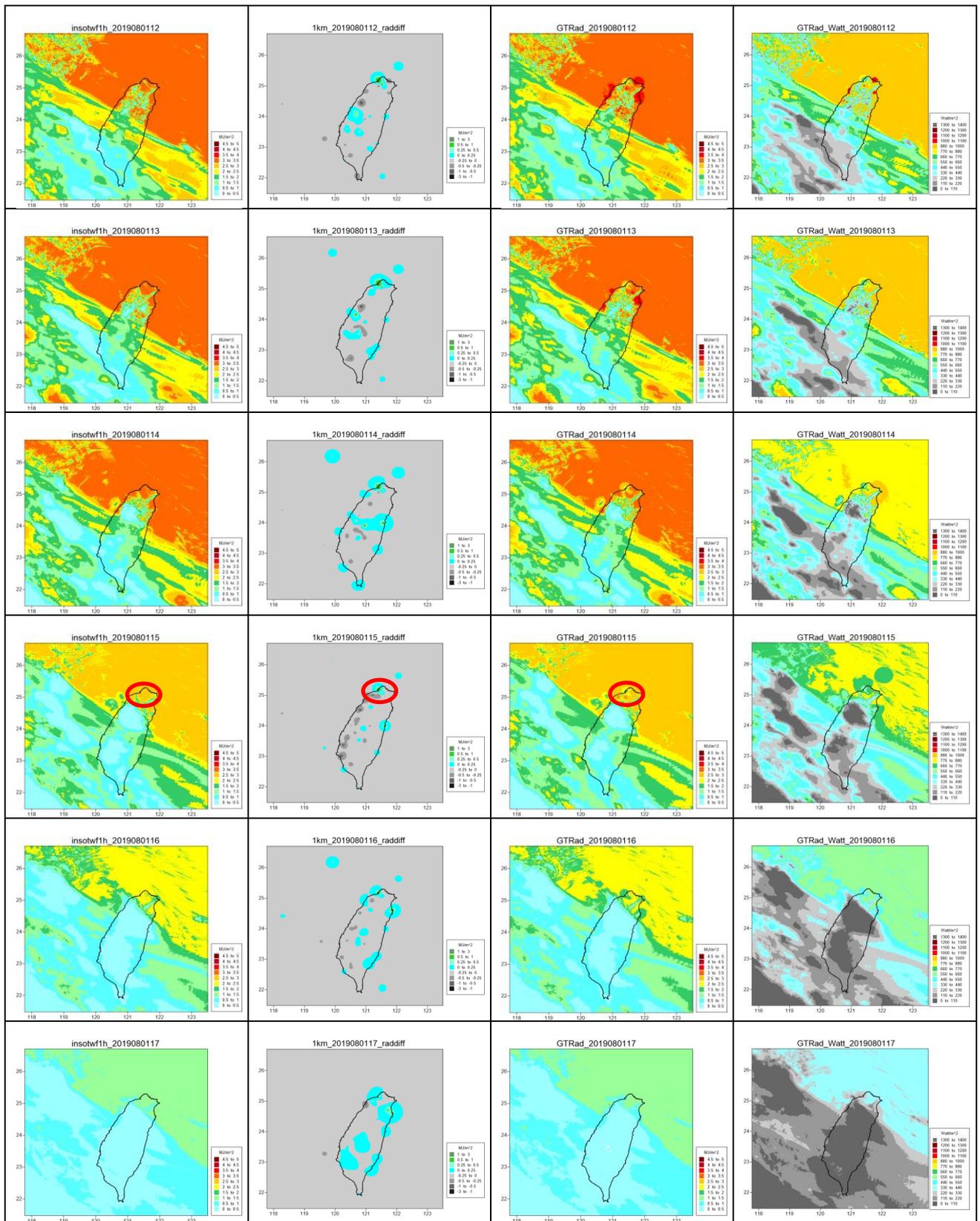


圖3 輻射地面分析場產製結果(2019年8月1日08時~17時)