

氣候變遷情境下日輻射量資料之衍生

Generation of Daily Radiation Dataset Based on Climate Scenarios

國家災害防救科技中心 專案研究助理	國家災害防救科技中心 副研究員	國家災害防救科技中心 助理研究員	國家災害防救科技中心 助理研究員
林以淳	朱容練	劉俊志	蘇元風*
Yi-Chun Lin	Jung-Lien Chu	Jun-Jih Liou	Yuan-Fong Su

摘 要

日輻射量是農業領域重要的變數，對作物生長有直接的影響。然而，由於歷史觀測資料的匱乏與氣候模式資料的不足，直接推估氣候變遷情境下日輻射量的變化並不容易。另一方面，日輻射量被發現與其他氣象變數有關，有間接推算的可行性。本研究以日夜溫差估算日輻射量，利用統計方法與歷史觀測資料建立日輻射量與日夜溫差的迴歸式；而氣候變遷情境的日夜溫差資料則由天氣衍生器繁衍、計算而得；最後將未來的日夜溫差代入迴歸式，即可估算氣候變遷情境下未來的日輻射量。研究成果除了氣候變遷情境下日輻射量資料產製、未來時期相對於基期的日輻射量變化趨勢評估，亦加入衛星影像反演之日輻射量資料進行比較。

關鍵詞：氣候變遷，統計降尺度，日輻射量，天氣衍生器。

ABSTRACT

Having a direct impact on crop growth, solar radiation is a crucial variable for agricultural risk assessments. However, projecting daily solar radiation based on climate scenarios is difficult due to the lack of sufficient observed data and the insufficiency and the incompleteness of current climate models. A number of researches have indicated that radiation can be derived from other climate variables. In this study, daily maximum temperature and daily minimum temperature are used to generate daily solar radiation. The regression function relating radiation to temperature is built using the observed data, while the future daily weather data is produced by stochastic weather generator. Finally, substituting the future daily weather data into the regression function, the daily radiation data based on climate scenarios are generated. Differences between baseline and future

*通訊作者，國家災害防救科技中心計畫助理研究員，23143 新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓，yuanfongsu@ncdr.nat.gov.tw

projections of solar radiation are estimated. Furthermore, an inter-comparison of three solar radiation datasets derived from synthetic data, measured by weather stations, and derived from satellite imagery is evaluated.

Keywords: Climate Change, Statistical Downscaling, Daily Solar Radiation, Weather Generator.

一、前言

氣候變遷相關研究提供對未來氣候的描述，藉由各個氣象參數的推估，得以量化氣候變遷的程度，進一步應用到各個研究領域。在農業領域，氣候變遷資料常用來當作作物生長模式的輸入資料，評估未來情境下作物產量的變化(姚與陳，2009；Vanuytrecht *et al.*, 2014)。在各個氣象變數中，日輻射量(daily solar radiation)對許多作物生長有直接的作用，是許多農業作物模式的重要因子。然而，目前研究大多著重於探討未來氣候情境下氣溫的變化趨勢，日輻射量則較少受到重視。另一方面，台灣日輻射量的歷史觀測資料亦相當缺乏，僅有中央氣象局與農委會農業試驗所的部分測站有年限約 20 年的觀測資料，這樣的資料量無論在時間長度或空間分布上，對於了解日輻射資料之特性、評估未來變化趨勢都非常不足。因此，許多研究亦發展利用其他氣象變數估算日輻射量的方法，例如日照時數、雲量、日夜溫度差及降雨日數等(Halawa *et al.*, 2014; Besharat *et al.*, 2013)。現階段的研究都大多止於歷史資料的估計，尚未進展到對未來情境的推估。本研究的目標即為利用日溫度資料(氣候變遷模式中最基本的變數)估算未來情境下的日輻射量。

在氣候資料的部分，本研究承接台灣氣候變遷推估與資訊平台(Taiwan Climate Change Projection and Information Platform, TCCIP)計畫所產製的 AR4 (Fourth Assessment Report)統計降尺度資料，此資料屬台灣地區 5 公里網格之月資料，本研究進一步以天氣衍生器繁衍日資料。天氣衍生器是一種產生隨機天氣數據的統計模型(Richardson, 1981)，其可根據某地區之歷史觀測

資料，衍生該地區長時間的合成序列氣象資料，且此資料具有與歷史資料相近的統計特性。目前許多研究已證實天氣衍生器可應用於繁衍未來氣候情境下之天氣資料(Wilks 1992; Mearns *et al.*, 1997; Harrison *et al.*, 1995)。本研究使用 LARS-WG 繁衍 AR4 ensemble 模式的日氣象資料，作為推估日輻射量的基礎。LARS-WG 是英國洛桑實驗室開發的天氣衍生器(Racsko *et al.*, 1991)，其特色為使用較複雜之半經驗分佈模型，因此衍生資料較擬合歷史觀測資料的統計特性，對於極端氣候之模擬能力較佳(Mavromatis & Hansen, 2001)。Ensemble 模式則是將 CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project)中多個氣候模式計算平均值而得，可表現出不同氣候模式呈現出的一致的趨勢，在所有模式之中具指標性。

針對未來情境之日輻射量產製，本研究首先根據姚銘輝等人(2002)的研究，建立測站歷史觀測資料中日輻射量與日夜溫差之迴歸關係式，再將天氣衍生器產製之未來情境下的日最高溫、日最低溫代入，推估未來情境下之日輻射量。比較未來時期之日輻射量與基期之日輻射量，即可評估氣候變遷下之未來日輻射量變化趨勢。另外，作為驗證，本研究亦比較未來情境下基期的日輻射量、測站觀測之日輻射量與衛星反演之日輻射量的差異，以進一步了解日輻射量資料的特性。

二、研究方法

本研究以天氣衍生器繁衍未來的日氣象資料，計算未來的日夜溫差；另一方面，根據歷史觀測資料，以統計迴歸式建立日輻射量與日夜溫差的關係；最後將未來的日夜溫差輸入迴歸式求

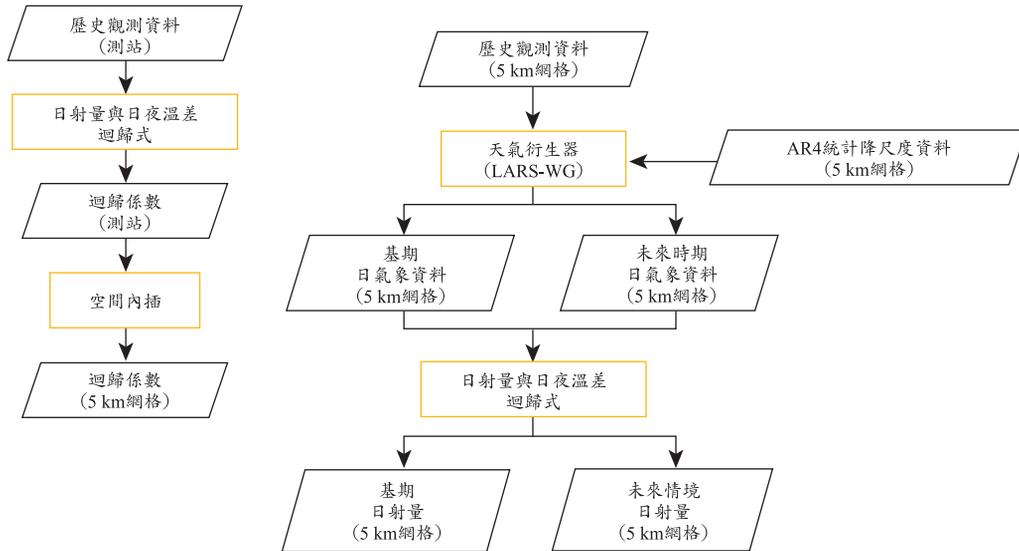


圖 1 研究流程

得未來的日輻射量。研究流程如圖 1，以下分兩部分介紹：以天氣衍生器產製未來日氣象資料，以及建立日輻射量與日夜溫差迴歸式。

2.1 以天氣衍生器產製未來日氣象資料

本研究使用 LARS-WG 繁衍 CMIP3 之 Ensemble 模式的日雨量、日最高溫以及日最低溫。衍生方法分為兩部分介紹：基期與未來時期。

AR4 基期的定義為 1980~1999 年，因此基期的繁衍係以 LARS-WG 根據輸入的歷史觀測資料(選擇 1980~1999 年的資料)，衍生一筆統計特性與歷史觀測資料相似的氣象資料。由於基期資料與歷史觀測資料之時間區間相同，差異僅在於基期資料為 LARS-WG 衍生而歷史觀測資料為實際測量成果，因此兩相比較即可衡量 LARS-WG 模擬氣象資料的能力。

未來時期的定義在 TCCIP 之 AR4 統計降尺度資料中分為近未來(2020~2039)和世紀末(2080~2099)兩個時期。衍生未來時期的氣象資料除了需要輸入歷史觀測資料予 LARS-WG 外，亦須輸入 AR4 情境檔(即統計降尺度資料)。情境檔描述未來情境的各氣象變數相對於基期的改變

量，LARS-WG 將依照此改變量修正歷史觀測資料的統計特性，推得未來氣候資料的統計特性，再依此繁衍日氣象資料。換句話說，未來時期資料(LARS-WG 衍生)與歷史觀測資料的統計特性的差異，應符合 AR4 情境檔的描述。

LARS-WG 繁衍之日氣象資料將作為後續日輻射量推估的基礎。值得一提的是，LARS-WG 本身亦具有衍生日輻射量的功能，但由於欠缺統計模型不可或缺的長時間、完整之觀測資料，故此處無法直接以 LARS-WG 衍生日輻射量。

2.2 建立日輻射量與日夜溫度差迴歸式

先前研究顯示日輻射量與某些氣象變數有關，例如日最高溫、日最低溫、降雨量與雲量。本研究以姚銘輝等人(2002)的研究為基礎，利用日最高溫與日最低溫推估日輻射量。其推估模式如下：

$$\frac{R_{sp}}{R_a} = a(T_{max} - T_{min})^b \dots\dots\dots (1)$$

其中， R_a 為大氣層外日輻射量(MJ/m^2)、 R_{sp} 為近地表之全天空日輻射量(MJ/m^2)、 T_{max} 與 T_{min} 為日最高溫與日最低溫($^{\circ}C$)、 a 與 b 則為迴歸係

數。針對大氣層頂外日輻射量 R_a ，則以 Bristow and Campbell (1984)之公式推算：

$$R_a = 117.5(h \sin(\lambda) \sin(\delta) + \cos(\lambda) \cos(\delta) \sin(h)) / \pi \dots\dots\dots(2)$$

其中， δ 為赤緯(declination)， λ 為緯度， h 為半日長(half-day length)：

$$h = \cos^{-1}(-\tan(\lambda) \tan(\delta)) \dots\dots\dots(3)$$

將式(1)取對數後，即得日輻射量與日夜溫差(日最高溫減去日最低溫)之關係式：

$$\ln\left(\frac{R_{sp}}{R_a}\right) = \ln(a) + b \times \ln(T_{max} - T_{min}) \dots\dots\dots(4)$$

假設未來日輻射量與日夜溫差的關係與歷史資料相似，則依據迴歸分析原理、台灣地區氣象測站之觀測資料以及 LARS-WG 繁衍之未來情境下的天氣資料，即可推估未來情境下的日輻射量。首先，以各測站的觀測資料為基礎，分別建立 1 至 12 月各月份的迴歸式，推估每測站每月的迴歸係數 a 、 b 。欲使未來情境的日輻射量推估以均勻網格的形式呈現，因此將迴歸係數(a 、 b)以距離平方反比法內插至全臺 5 公里解析度的均勻網格上。最後，將每個網格的 R_a (根據式(2)、(3)計算而得)、迴歸係數 a 、 b 以及由 LARS-WG 衍生的日最高溫、日最低溫(亦為網格資料)代入式(4)，即可求得每個網格的近地表日輻射量 (R_{sp})。

三、資料說明

本研究使用的資料包括 TCCIP 歷史觀測網格資料、AR4 統計降尺度資料、測站觀測資料，以及作為驗證用的衛星影像反演日輻射量資料，以下分別介紹之。

3.1 TCCIP 歷史觀測網格資料

本研究使用 TCCIP 所產製的歷史觀測網格資料作為天氣衍生器的輸入資料，包括日最高溫、日最低溫與日雨量等變數。該筆資料係收集台灣過去各式測站之紀錄，將紙本資料數位化

後，經過資料均一化(刪除資料錯誤、缺漏的測站，合併或刪除重複測站)，再透過距離反比權重法將空間分布不均勻的測站資料內插到 5 公里解析度的均勻網格上，詳見 TCCIP 第一期第二年成果報告書(科技部，2011)。

TCCIP 歷史觀測網格資料在本研究中作為 LARS-WG 的輸入資料，用以繁衍每個網格未來情境下的天氣資料。由於 AR4 對基期的定義是 1980 年至 1999 年，本研究使用相同時段的歷史觀測資料作為 LARS-WG 的輸入資料，使得歷史觀測資料的期程與基期一致。使用的參數包括日雨量、日最高溫與日最低溫等等。

3.2 TCCIPAR4 統計降尺度資料

對於未來情境的模擬，本研究使用 TCCIP 產製之 AR4 統計降尺度資料，包含月平均日最高溫、月平均日最低溫與月平均降雨等三個變數，空間解析度均為 5 公里。TCCIP 採取的統計降尺度方法誤差校正空間分解法，為了避免直接由全球氣候模式(解析度約 300 公里)降尺度至 5 公里解析度時誤差修正過度而產生平滑效應，因此採兩階段的方式進行。第一階段將原始氣候模式資料降尺度至解析度 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (降雨) 或 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (最高溫、最低溫)；第二階段再統一降至 5 公里解析度。兩階段降尺度使用的觀測資料是不同的。第一階段的降雨資料來自日本 APHRODITE (Asia Precipitation Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the Water Resources) 計畫 (Yatagai *et al.*, 2012)，其解析度為 25 公里(約等於 0.25°)；而月平均日最高溫、月平均日最低溫則為英國 East Anglia 大學 Climate Research Unit (CRU) 的 CRU TS3.21 版資料 (Mitchell and Jones, 2005)，其解析度為 0.5° 。第二階段三個變數的觀測資料均使用 TCCIP 歷史觀測網格資料，詳細產製內容請參閱 TCCIP 第一期第二年成果報告書(科技部，2011)。

AR4 報告包含數個未來氣候情境及多個氣候變遷模式，本研究選擇 A1B 情境下 CMIP3 有提供月平均最高溫與月平均最低溫等參數的 8 個模式的平均(multi-model ensemble)作為情境資

料。A1B 描述的是在全球經濟快速發展、區域差異降低且石化燃料和再生能源平衡使用的情境，亦是 TCCIP 計畫統計降尺度資料唯一涵蓋降雨、最高溫、最低溫等三個變數的情境。另一方面，ensemble 模式能突顯各模式由於結構差異、初始條件或參數設定不同造成的不確定性，故相較於使用單一模式，本研究由 ensemble 著手，以掌握未來氣候變遷的趨勢。

3.3 測站觀測資料

測站觀測資料來自農試所與氣象局，全台共有 33 個測站，記錄年限超過 15 年以上，包含日最高溫、日最低溫、日雨量和日輻射量等氣象變數，空間分布位置見圖 2。本研究使用 2003-2012 年之測站觀測資料建立日輻射量與日夜溫差的迴歸關係。不使用 2002 年以前的觀測資料是由於氣象局於 2002 年底進行輻射儀的檢校，根據林博雄等人(2004)，檢校前之觀測量有 15%~33% 低估的系統性誤差(圖 3(a)顯示檢校前後日輻

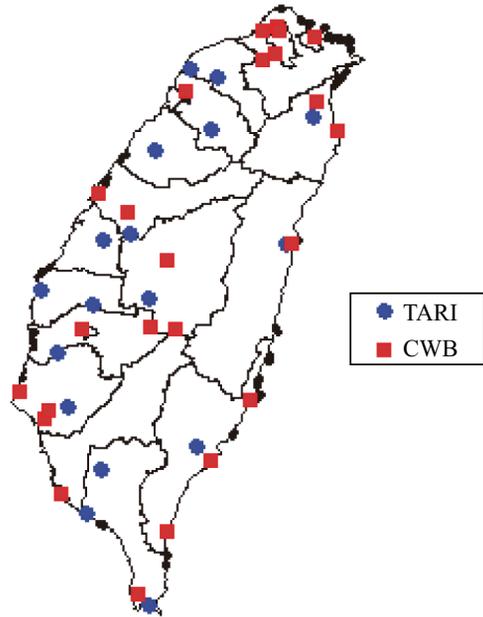
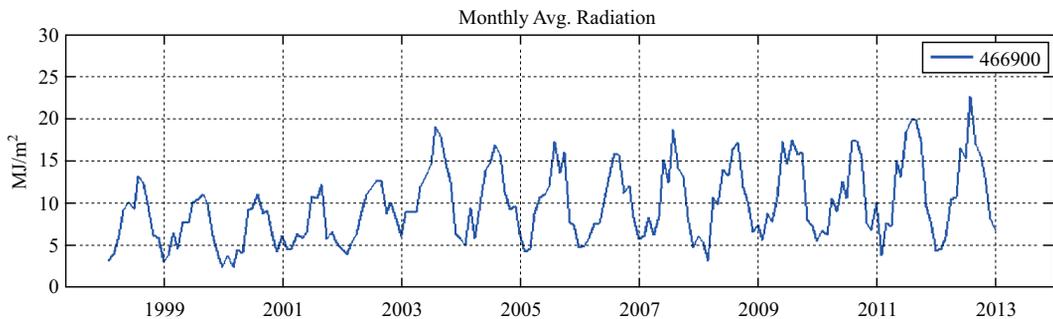
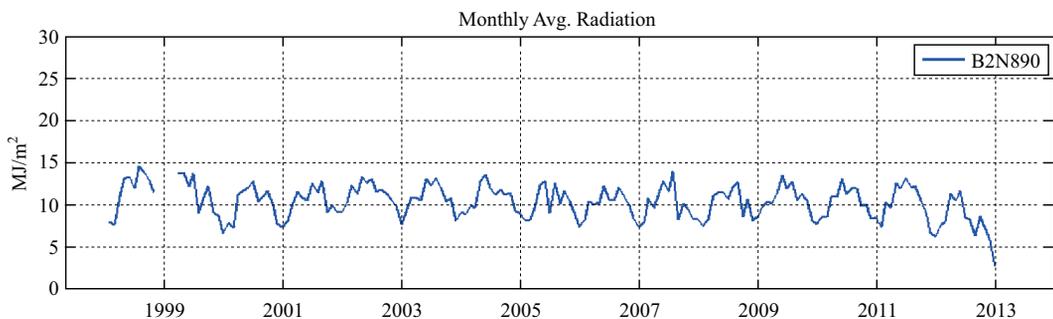


圖 2 日輻射量測站空間分布圖，其中藍色圓形為農試所(TARI)測站、紅色方形為氣象局(CWB)測站



(a) 氣象局淡水氣象站(編號466900)



(b) 農試所台南新化站(編號B2N890)

圖 3 月平均日輻射量序列

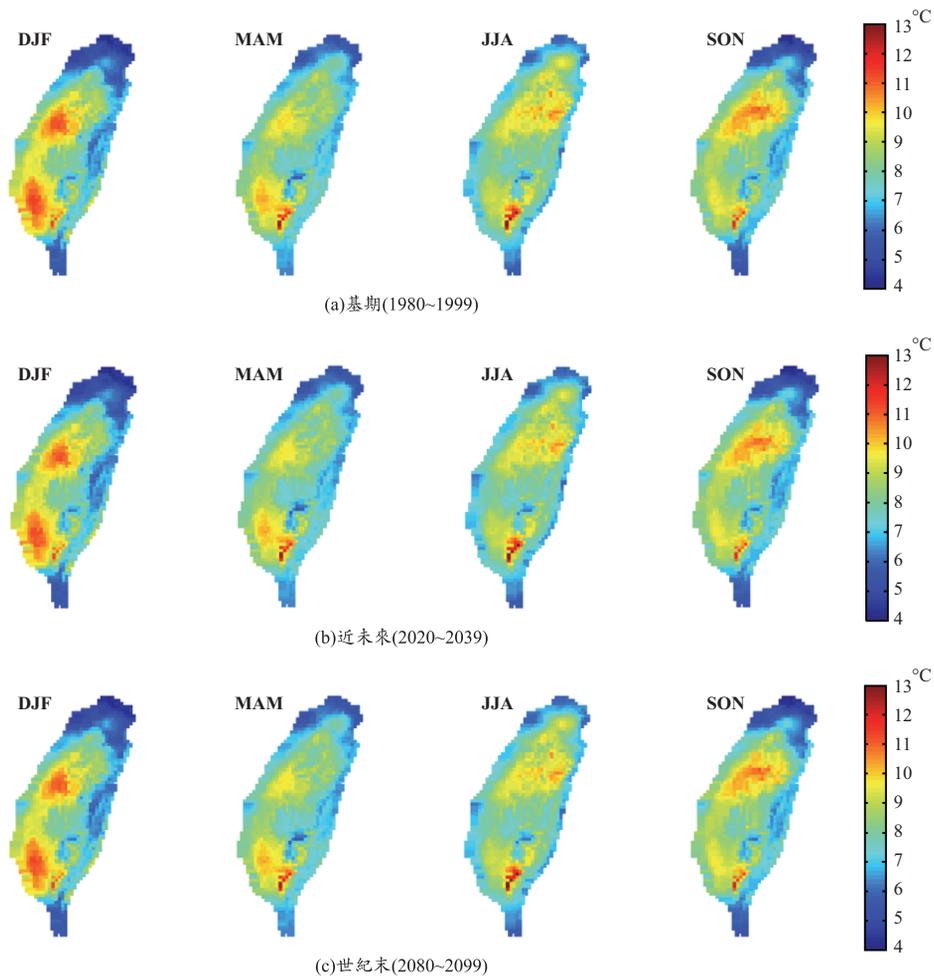


圖 4 LARS-WG 衍生之台灣地區 200 年平均日夜溫度差資料

射量特性之差異)，故捨去之。農試所測站之日輻射量特性如圖 3(b)所示，為使觀測資料年限一致，亦僅採用 2003 年以後的觀測資料。

3.4 衛星影像反演之日輻射量資料

衛星影像反演之日輻射量資料(賴，2003；Lai *et al.*, 2010；蕭等人，2011)係由氣象局衛星中心提供，為台灣地區空間解析度 1 公里的網格資料，記錄年限 1 年(2014 三月-2015 二月)，是最新的日輻射量觀測資料。本資料利用日本 MTSAT 地球同步氣象衛星影像(使用包括可見光與紅外光波段 1 和波段 2 之資料)，考慮天文因素、大氣效應、地形效應(採用中央研究院製作之

台灣地區 30 m 數位地形資料)的影響計算而得(蕭等人，2011)。

四、結果與討論

本研究成果可分為四個部分：未來情境下之日最高溫、日最低溫與日雨量的模擬(使用 LARS-WG)、日輻射量與日夜溫差迴歸關係式之迴歸係數推定、未來情境下日輻射量資料衍生，以及日輻射量之資料驗證，以下分別說明之。

4.1 天氣衍生器產製之日夜溫度差資料

本研究以 LARS-WG 產製日氣象資料，根據輸入的 TCCIP 歷史觀測資料和 AR4 ensemble 模

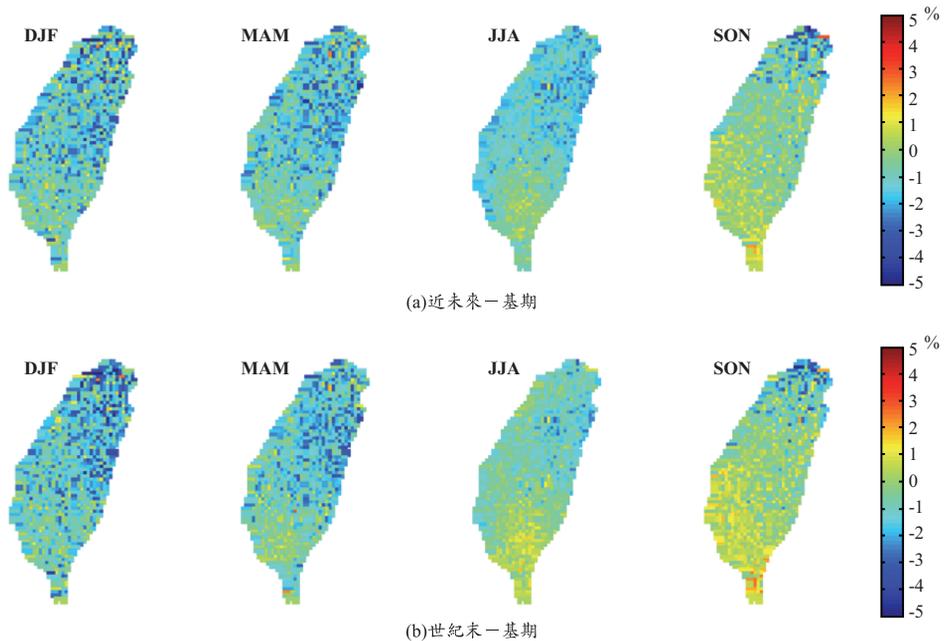


圖 5 未來時期相對於基期的日夜溫度差改變率

式統計降尺度資料，分別繁衍基期(1980~1999)、近未來(2020~2039)和世紀末(2080~2099)等三個時期，每個時期各 200 年的日氣象資料，變數包括日雨量、日最高溫與日最低溫。將 LARS-WG 衍生的日最高溫減去日最低溫，即為推估日輻射量資料所需的日夜溫度差資料。圖 4 展示三個時期(基期、近未來、世紀末)台灣地區四個季節、200 年平均之日夜溫差值，其中四個季節分別為 12~2 月(DJF)、3~5 月(MAM)、6~8 月(JJA)以及 9~11 月(SON)。從圖 4 可看出日夜溫差空間分布的趨勢、極值出現的位置；在時序上則無顯著變異。進一步分析兩個未來時期相對於基期的改變率，如圖 5，顯示未來日夜溫差呈現北部減少、南部略為增加的變化趨勢，且世紀末較近未來更為明顯，時序上則是 6~11 月的改變率較 12~5 月的明顯。另外，圖 4 與圖 5 中，台灣西部海岸附近區域呈現水平一致的變化，是因為西部沿海地區 TCCIP 網格資料不足，造成海岸線附近的網格資料均須以最鄰近者替代。

4.2 日夜溫度差與日輻射量關係之建立

由式(4)分別推估 1 至 12 月的迴歸係數，結果如圖 6 至圖 8 所示。由圖 6 與圖 7 可發現迴歸係數 a 跟 b 兩者的空間分布隨著月份改變，而且存在一週期特性，例如圖 6 在 1~5 月時為北低南高的分布，而到了 7~8 月熱點則移到北部，至 9~12 月又逐漸回到南部。類似的週期特性也可在圖 7 中發現，顯示出依每月各自建立迴歸模式的重要性，因為其迴歸係數會隨著季節而變動，而這樣的週期特性可能與太陽、地球的幾何關係及太陽與地球的距離有關。圖 8 則為迴歸模式的判定係數(R-square)分布，由圖可發現除了少部分東部沿海一帶以外，大部分的區域的 R-square 值大於 0.3，顯示迴歸模式在大部分的區域可算是可靠的。

4.3 未來日輻射量資料產製

結合天氣衍生器產製的日夜溫度差資料與前一節建立的迴歸式，估算 AR4 (ensemble 模式) 基期和兩個未來時期的日輻射量，分四個季節計算每時期日輻射量的平均值，成果如圖 9。由圖可看出日輻射量隨季節變化大，空間分布則呈

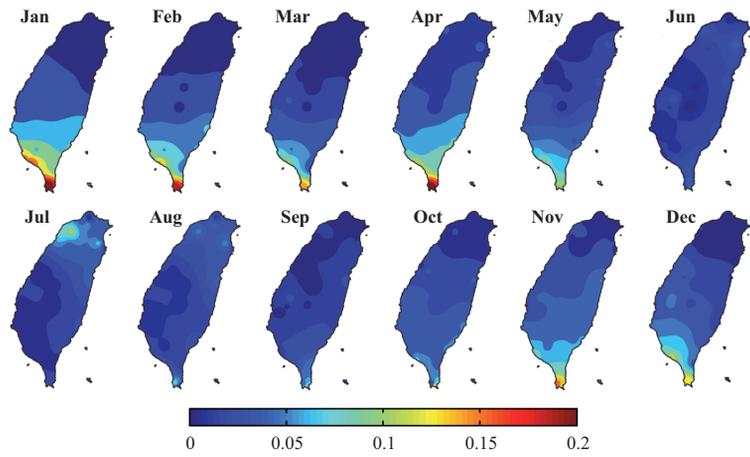


圖 6 1 至 12 月之迴歸係數 a

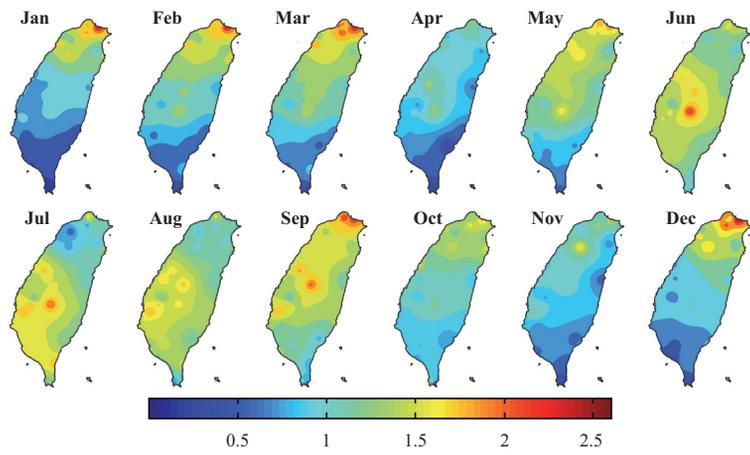


圖 7 1 至 12 月之迴歸係數 b

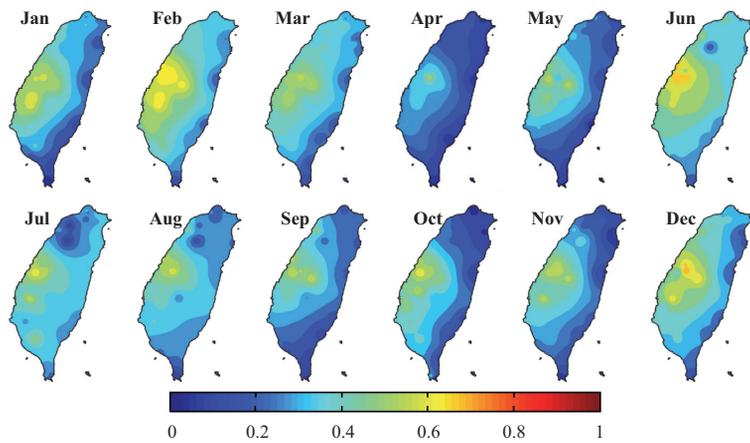


圖 8 1 至 12 月迴歸模式之判定係數(R-square)

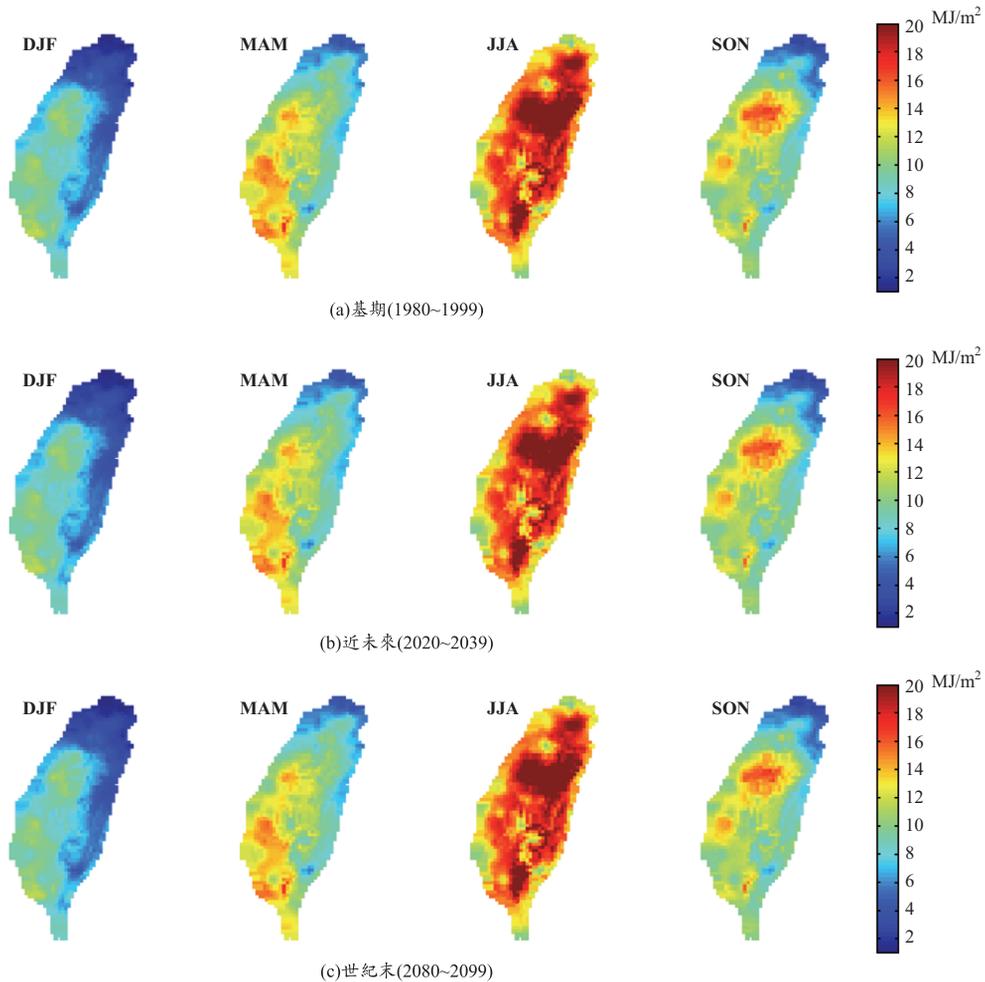


圖 9 台灣地區 200 年平均日輻射資料

現東北部偏低、西南部偏高的趨勢。接著計算未來時期相對於基期的改變率(如圖 10)，結果顯示未來時期輻射量相對於基期的變異不大，變化量大致呈現北部減少、南部略為增加的趨勢。

4.4 不同來源日輻射量資料之比較

圖 11 為未來情境下基期的日輻射量、測站歷史觀測資料與由衛星影像反演之觀測資料之空間分布圖。比較基期與測站觀測資料，兩者數值範圍較接近，但空間分布趨勢均不明顯。衛星影像反演資料的主要用途為了解日輻射量之空間分布細節，其可反映出日輻射量在空間上受緯

度與地形影響；數值範圍相較於測站觀測資料則明顯偏高，由於衛星影像反演資料只有一年的紀錄年限(2014 年 2 月-2015 年 2 月)，而 AR4 (ensemble 模式)與測站觀測資料為多年平均，因此是否存在系統性偏差仍需更多資料評估。由於本研究中日輻射量與日夜溫差的迴歸關係是根據測站資料建立，從圖 11(a)與(b)可看出基期資料能較合理反映測站觀測資料的數值；而測站資料與衛星反演資料的比對則顯示由於測站個數稀少，即使內插為網格資料也無法顯現空間分布的特性，是以測站資料和基期資料的空間分布皆不明顯。

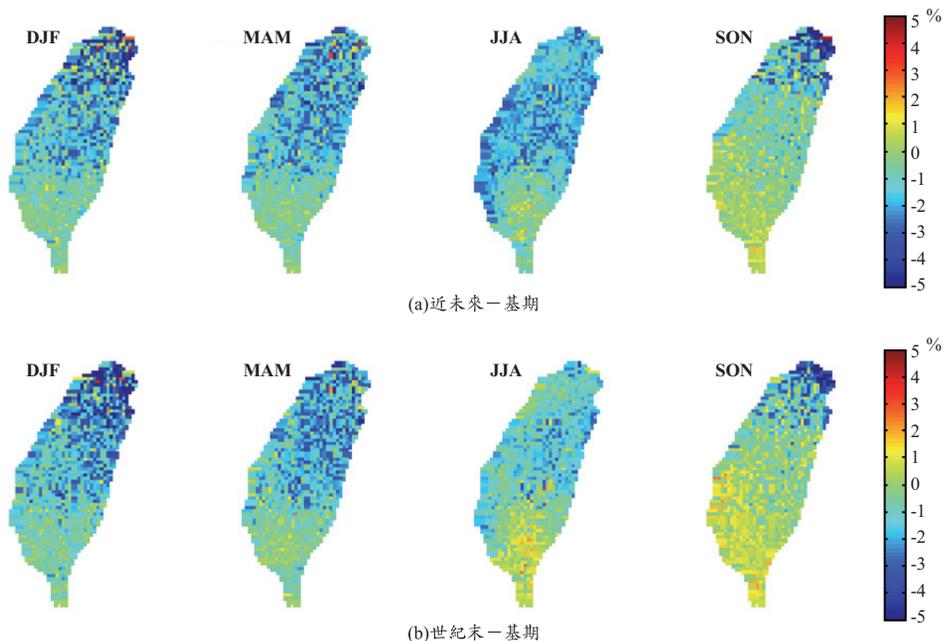


圖 10 未來時期相對於基期的日輻射量改變率

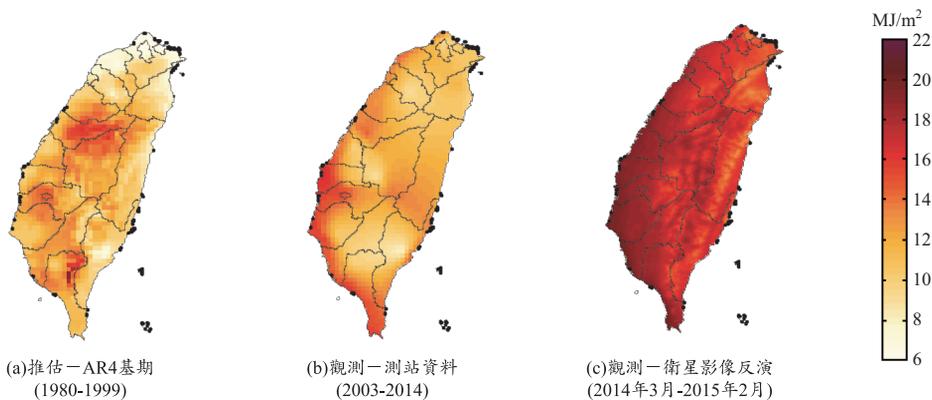


圖 11 未來推估日輻射量與歷史觀測資料(包括測站與衛星影像反演資料)之比較，其中測站的空間分布圖係由各測站資料內插至全台 5 公里網格的結果

五、結論與建議

本研究以天氣衍生器根據 AR4 統計降尺度資料繁衍氣候變遷下的日氣象資料，並根據測站觀測資料建立日輻射量與日夜溫差之迴歸式，結合兩者計算氣候變遷情境下的日輻射量資料，最後以衛星影像反演之日輻射量資料輔以比較。研究重點結論與建議整理如下。

5.1 結論

本研究之重點與結論整理如下：

1. 根據 AR4 統計降尺度資料，以 TCCIP 歷史觀測網格資料作為歷史觀測資料，使用 LARS-WG 產製 A1B 情境 ensemble 模式基期與未來時期的日氣象資料(包括日雨量、日最高溫與日最低溫)，資料性質為台灣地區 5 公里解析度之網格資料。

2. 根據測站觀測資料，建立日輻射量與日夜溫差(日最高溫減日最低溫)的迴歸關係式。
3. 利用 LARS-WG 繁衍之 AR4 日氣象資料(包括日最高溫、日最低溫)，代入日輻射量與日夜溫差之迴歸式，推算未來情境下之日輻射量。
4. 未來時期之日輻射量資料相對於基期的變化呈現北部減少、南部增加的趨勢，但變化率不大(約為正負 5%)。
5. 日輻射量與日夜溫差的迴歸式的建立乃根據測站觀測資料，由於有日輻射量觀測值的測站僅 33 站，除了資料來源不同之外，測站數量少、空間分布不均、使用資料年限短等因子均為影響日輻射量推估品質的主要因素。

5.2 建議與未來工作

根據本研究的研究成果，建議未來工作可針對：

1. 由於過去日輻射量的觀測資料相當匱乏，因此是否能整合衛星影像反演資料與測站觀測資料的特性，提供合理的日輻射量描述，是值得進一步研究的議題。
2. 日輻射量地面觀測資料來源主要為氣象局與農試所，建議兩單位之觀測儀器應互相進行校準，使觀測資料品質一致，以利後續研究使用。
3. 建議應建立長期之衛星影像推估日輻射量之資料庫，以提供長期變遷分析之使用。
4. 為了評估衛星反演資料與測站資料的差異，可使用測站資料作為基準，挑選衛星反演資料中與測站位置鄰近的網格，計算日輻射量的平均值，再與測站資料比較。
5. 針對未來推估之日輻射量，可引入原始氣候模式之估計值(但解析度較粗糙)，作為驗證與比較的依據。

參考資料

1. 林博雄、劉紹臣、馮欽賜、周宗玄、葉瑞元，台灣地區太陽輻射量之校驗與長期趨勢，第八屆全國大氣科學研討會，桃園，2004。
2. 姚銘輝、陳述、漆匡時、蔡金川，溫度估算日輻射量之可行性評估，中華農業研究，第 51 卷，第 4 期，第 73-83 頁，2002。
3. 姚銘輝、陳守泓，氣候變遷下水稻生長及產量之衝擊評估，作物、環境與生物資訊，第 6 卷，第 3 期，第 141-156 頁，2009。
4. 科技部，「臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫(2/3)年度成果報告書」，2011。
5. 賴彥任，2003，集水區內太陽輻射量時空分佈估算之研究，台灣大學森林所博士論文。
6. 蕭鋒、林博雄、賴彥任，由 MTSAT 衛星影像和數位地形資料估算臺灣地表太陽輻射量，大氣科學，第 39 頁，第 1 期，第 53-68 頁，2011。
7. Besharat, F., Dehghan, A. A., & Faghieh, A. R., "Empirical models for estimating global solar radiation: A review and case study," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 21, pp. 798-821, 2013.
8. Halawa, E., GhaffarianHoseini, A., & Li, D. H. W., "Empirical correlations as a means for estimating monthly average daily global radiation: a critical overview," *Renewable Energy*, Vol. 72, pp. 149-153, 2014.
9. Harrison, P. A., Butterfield, R. E., & Downing, T. E., "Climate change and agriculture in Europe: assessment of impacts and adaptations", *Environmental Change Unit*, University of Oxford, 1995.
10. Lai, Y. J., Chou, M. D., & Lin, P. H., "Parameterization of topographic effect on surface solar radiation," *Journal of Geographical Research*, Vol. 115, pp. D01104, doi: 10.1029/2009JD012305, 2010.
11. Mavromatis, T., & Hansen, J. W., "Interannual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators," *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 109, No. 4, pp. 283-296, 2001.
12. Mearns, L. O., Rosenzweig, C., & Goldberg, R., "Mean and variance change in climate scenarios: methods, agricultural applications, and measures

- of uncertainty,” *Climatic Change*, Vol. 35, No. 4, pp. 367-396, 1997.
13. Mitchell, T. D., & Jones, P. D., “An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids,” *International Journal of Climatology*, Vol. 25, No. 6, pp. 693-712, 2005.
14. Racsco, P., Szeidl, L., & Semenov, M., “A serial approach to local stochastic weather models,” *Ecological Modelling*, Vol. 57, No. 1, pp. 27-41, 1991.
15. Richardson, C. W., “Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation,” *Water Resources Research*, Vol. 17, No. 1, pp. 182-190, 1981.
16. Wilks, D. S., “Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies,” *Climatic change*, Vol. 22, No. 1, pp. 67-84, 1992.
17. Vanuytrecht, E., Raes, D., Willems, P., & Semenov, M. A., “Comparing climate change impacts on cereals based on CMIP3 and EU-ENSEMBLES climate scenarios,” *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 195, pp. 12-23, 2014.
18. Yatagai, A., Kamiguchi, K., Arakawa, O., Hamada, A., Yasutomi, N., & Kitoh, A., “APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges,” *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 93, No. 9, pp. 1401-1415, 2012.

收稿日期：民國 104 年 7 月 7 日

修正日期：民國 104 年 10 月 1 日

接受日期：民國 104 年 10 月 14 日