

# 從不同海拔高地之向下太陽輻射通量觀測估計雲輻射驅動力

周立人<sup>1</sup> 林博雄<sup>1</sup> 魏聰輝<sup>2</sup> 賴彥任<sup>2</sup>

<sup>1</sup>臺灣大學大氣科學系

<sup>2</sup>臺灣大學實驗林管理處

## 一、前言

Chou and Zhao (1997)分析熱帶海洋大氣偶合實驗(TOGA/COARE)密集觀測期間(1992年11月~1993年2月),晴空(clear-sky)和有雲(cloudy-sky)輻射傳遞模式和地面測站的向下太陽輻射通量(downward solar irradiance, DSI),估計西太平洋暖池地區雲輻射驅動力(cloud radiative forcing, CRF)介於 $-79\sim-112\text{Wm}^{-2}$ 之間,平均值為 $-99\text{Wm}^{-2}$ 。Wang et al. (2004)結合ERBE(Earth Radiation Budget Experiment)的DSI、ISCCP-C2的cloud cover和中國地面測站資料,以及AMIP-II模式模擬比對,指出華南長江流域地區5~6月夏季風肇始期間,短波CRF可達到 $-110\text{Wm}^{-2}$ 極值。Gautier and Landsfeld (1997)以美國Atmospheric Radiation Measurement (ARM)之衛星資料及地面輻射觀測資料,估計Oklahoma在14個月期間,其中5月份的日平均太陽短波輻射CRF最大值可達 $200\text{Wm}^{-2}$ ,不同月份之平均值則介於 $21.6$ 與 $89.5\text{Wm}^{-2}$ 之間。臺灣地區中央氣象局測站DSI數據由於品質問題,過去鮮少被引用探討,林等(2004)在整理修正上述觀測資料品質後,發現過去20年臺灣西岸都市地區DSI遞減大於高山地區,Chou et al. (2006)也利用晴空個案估計出台南都市的氣膠輻射驅動力(aerosol radiative forcing, ARF)約 $-39\text{Wm}^{-2}$ 。截至目前臺灣地區尚未利用觀測資料來估算CRF。本研究利用新中橫公路同一山區( $45\text{km}\times 15\text{km}$ )不同海拔高度的地面DSI觀測資料和雲量和雲狀觀測,仔細篩選出clear-sky個案及cloudy-sky個案,來分析和估計該地區CRF的月際與年際變化,並透過clear-sky個案來估算DSI隨高度下降的遞減率。

## 二、資料與研究方法

本文使用中央氣象局測站日月潭、阿里山、玉山等氣候站逐日、逐時觀測資料(1995~2005年),及臺灣大學實驗林微氣象站(和社)以及臺灣長期生態研究網(TERN)所架設的微氣象站(觀山、塔塔加草原區)逐日與逐時觀測資料(1996~2005年;姚等,1999),來探討臺灣高地CRF的變化。上述測站海拔如表1所示,除日月潭地理位置較為偏北以外,其餘氣象站均在15-20 km以內的範圍,其中和社、觀山、塔塔加草原區位於新中橫公路上的不同高度,均在陳有蘭溪集水區範圍內,因此本文將之視為同一地區大氣垂直剖面來進行分析運用。

### (一)雲量資料檢定

我們分析1995-2005年日月潭、阿里山、玉山雲量與日照率的月平均情況,三站呈現類似的趨

勢,雲量多而日照率低,雲量少日照率高,其中以玉山測站雲量最少,而日照率最高。如圖1所示,圖中顯示三站的相關性相當接近,雲量主觀觀測與日照率儀器觀測兩者特性一致,顯示雲量人工觀測資料在此一區域內用來做為CRF計算的可用性。DSI與雲量的相關性分析也顯示三測站均呈現良好的負相關。值得注意的是,玉山測站在無雲條件下,DSI變動可達2倍,由於其測站高度已超過大氣邊界層,氣膠濃度理應在乾淨大氣背景濃度範圍,因此我們推估其DSI資料品質不穩定而無法採用。以阿里山11月份為例,當雲量較少時,DSI變動較小,當雲量較多時,DSI變動性較大(圖2)。該圖的線性迴歸方程式斜率,代表著單位雲量對DSI的影響。以5、6月份期間這一斜率平均值為 $-15.9\text{Wm}^{-2}$ ,與Wang et al. (2004)估計東亞夏季季風發展時期華南地區單位雲量的CRF值 $-15.5\text{Wm}^{-2}$ 數值相近。

### (二)CRF估算

由於臺大實驗林所屬微氣象站並無雲量、雲種、雲狀、視障及能見度的觀測,因此本研究以中央氣象局測站資料,篩選出clear-sky及cloudy-sky條件下DSI的日累積量,並定義:

$$\text{CRF} = \text{DSI}_{\text{cloudy}} - \text{DSI}_{\text{clear}} \dots\dots\dots (1)$$

同時透過雲量雲狀觀測記錄,來探討CRF在不同雲量、雲種之間的差異。本文選取資料的方法與程序如圖1所示,首先從阿里山測站逐日、逐時資料中篩選出clear-sky與cloudy-sky個案,在相同月份條件下估算(1)式數據。選定clear-sky個案來制定逐月的 $\text{DSI}_{\text{clear}}$ 數據是首要之務,過去諸多研究均以輻射傳遞模式來給定clear-sky條件下的理想 $\text{DSI}_{\text{clear}}$ 數據,本研究則從觀測資料中設定條件進行篩選,並經其他方法進一步驗證。篩選clear-sky個案的流程如圖1右所示,首先以雲量(十分量小於2)作為資料庫篩選條件,然後人工檢視當日DSI逐時變化是否吻合太陽天頂角變化呈現上午遞增、下午遞減趨勢,再比對不同年份相同月份個案的差異程度,以及不同月份個案的 $\text{DSI}_{\text{clear}}$ 大小是否符合赤緯的天文條件變動趨勢。

### (三)晴空條件下DSI垂直變化之評估

因臺大實驗林微氣象站分布於新中橫公路不同海拔高度,但無雲種、雲量、日照時數、視障及能見度觀測。所以我們以日月潭阿里山玉山等三處測站同日雲量為0的嚴格條件,篩選出clear-sky個案日期,再以和社、觀山、塔塔加草原區逐時DSI資料,來分析這一全天空條件下DSI在不同高度的數據。為避免高山地區日射易受山地坡向、植被等環境因素影響,因此我們僅討論太陽天頂角最小的中午時

段(12-13時)來分析 DSI 隨高度變化，並以百公尺為單位計算 DSI 的垂直梯度。

### 三、分析結果與討論

#### (一) CRF 的頻次分析

依據圖 4 的月際 CRF 數值與發生頻率直方圖所示，CRF 月平均值 1~4 月逐月增加，各月最高頻次的 CRF 值也呈類似趨勢，7 月份的 CRF 月平均值達到最大 ( $176.8 \text{ Wm}^{-2}$ )，隨後再逐月減少，單日 CRF 最大值可達  $340 \text{ Wm}^{-2}$  以上。9~12 月 CRF 月平均值逐月減少，各月最高頻次的 CRF 值也逐漸左偏，而 12 月為 CRF 月平均值為最小的月份。

#### (二) CRF 的月際與年際變化

資料分析顯示 CRF 平均值月際變化在  $-72 \text{ Wm}^{-2}$  ~  $-177 \text{ Wm}^{-2}$  之間，而乾季月份(9 月至隔年 1 月) CRF 之年際變化相對較小。月際之間單位雲量的 CRF 值則介於  $-20.2 \text{ Wm}^{-2}$  ~  $-31.4 \text{ Wm}^{-2}$ ，7 月份仍有單位雲量 CRF 值之最大值。年際平均的 CRF 逐月變化有季節趨勢，並且 CRF 夏季大於冬季。若扣除雲量因素則單位雲量的 CRF 值月際變化相對縮小，由此可見雲量為影響 CRF 的主要因素(圖 5)。

#### (三) CRF 的個案探討(雲種的影響及小時平均的 CRF 估計)

圖 6 是有雲個案(3/17, 2005)及晴空個案(3/6, 2005)的 DSI 的逐時變化，資料顯示當日從早到晚均存在著一個穩定的 DSI 差值；當日 14 時出現 CRF 最大值  $-456 \text{ Wm}^{-2}$ ，由觀測資料顯示高雲 Ci 與低雲 Sc 的重疊效應，為出現 CRF 最大值的主因。本個案中也初步分析了當日 14 時因層積雲所造成 CRF 變化亦可達  $-303 \text{ Wm}^{-2}$ 。由上述個案可知，CRF 的逐時變動頗大，主要是因為雲參數(雲量、雲狀、雲厚等)變因複雜，釐清這些雲參數對 CRF 的影響程度，是未來努力的方向。

#### (四) 晴空條件下，DSI 的垂直梯度

1995~2005 年期間日月潭、阿里山、玉山三地同日晴空無雲個案共有 8 個，其中 2003 年之後的 4 個個案三地均具有完整的 DSI 資料，這恰好與和社、觀山、塔塔加草原區完整資料期間相符，故本研究將以這 4 個案作為探討。個案顯示不同晴空日期 DSI 的逐時變化都有 DSI 隨海拔高度而增加的共同點。表 2 顯示在 4 個不同日期中午時刻，在不同高度層的 DSI 垂直梯度；就個案平均而言，晴空下 DSI 的變化程度，約為百公尺  $4.8 \text{ Wm}^{-2}$ ，2003/12/29 個案顯示較

高的 DSI 垂直梯度為百公尺  $7.5 \text{ Wm}^{-2}$ ，2005/3/6 個案則顯示較小垂直梯度(約為百公尺  $2.7 \text{ Wm}^{-2}$  左右)。同時上層高度 DSI 的變化程度(約百公尺  $4.26 \text{ Wm}^{-2}$ ) 較下層高度(約百公尺  $5.35 \text{ Wm}^{-2}$ ) 小。就 2005/3/6 個案(晴朗乾燥乾淨大氣)而言，DSI 垂直梯度  $2.8 \text{ Wm}^{-2}$  是 2003/12/29 個案  $7.52 \text{ Wm}^{-2}$  的 1/3，此一結果與 Iziomon and May (2002) 針對德國西南部山區的觀測研究結果相近。

### 參考文獻

- 林博雄，劉紹臣，馮欽賜，周宗玄，葉瑞元，2004：臺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，桃園龍潭。
- 姚榮華、陳信雄、魏聰輝，1999：塔塔加地區不同坡向日射量分布特性之探討。國立臺灣大學農學院實驗林研究報告，13，129-144。
- Chou, M. D. and W. Zhao, 1997: Estimation and model validation of surface solar radiation and cloud radiative forcing using TOGA COARE measurements. *J. Clim.*, 4, 610-620.
- Chou, M. D., P. H. Lin, P. L. Ma and H. J. Lin, 2006: Effects of aerosols on the surface solar radiation in a tropical urban area. *J. Geophys. Res.* 111, D15207, doi:10.1029/2005JD006910.
- Gautier, C., and Landsfeld, M., 1997: Surface solar radiation flux and cloud radiative forcing for the Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Southern Great Plains (SGP): a satellite, surface observations, and radiative transfer model study. *J. Atmos. Sci.*, 54, 1289-1307.
- Iziomon, M. G. and H. Mayer, 2002: Characterisation of the shortwave radiation regime for locations at different altitudes in south-west Germany. *Climate Research*, 20, 203-209.
- Wang, W. C., Gong, W., W.-S., Kau, C.-T., Chen, H.-H., Hsu, and C.-H., Tu, 2004: Characteristics of cloud radiation forcing over east China. *J. Clim.*, 17, 845-853.

表 1：本文使用的測站海拔高度與設站日期。

站名	海拔	設站日期
和社測站	777m	1941
日月潭測站	1015m	1941
觀山測站	1700m	1996/1/18
阿里山測站	2413m	1933
塔塔加草原區	2655m	1997/2/13
玉山測站	3845m	1943

表 2：新中橫地區晴空個案DSI之垂直梯度，單位為每 100 公尺 $Wm^{-2}$ 。

Date	LST	2655-777m	2655-1700m	1700-777m
2003/2/10	12	5.78	1.75	9.89
2003/2/10	13	5.98	2.37	9.68
2003/12/29	12	7.45	8.74	6.12
2003/12/29	13	7.59	7.54	7.65
2004/12/15	12	3.40	4.12	2.66
2004/12/15	13	2.67	3.22	2.11
2005/3/6	12	2.25	2.43	2.06
2005/3/6	13	3.29	3.92	2.66
Average		4.80	4.26	5.35
Max.		7.59	8.74	9.89
Min.		2.25	1.75	2.06

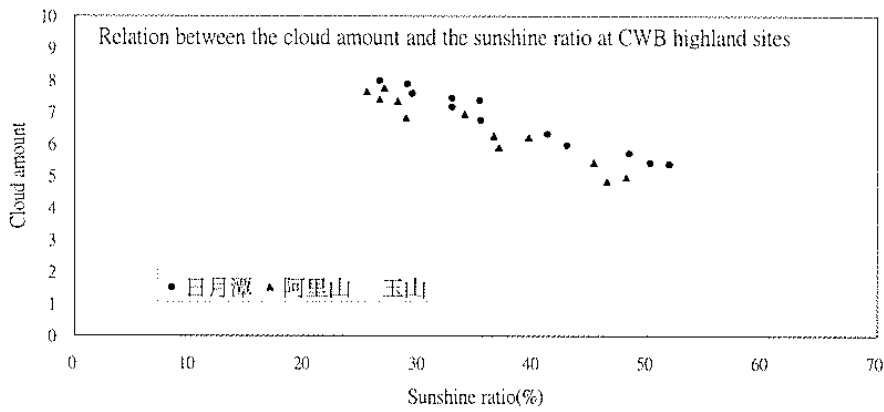


圖 1：1995-2005 年日月潭、阿里山、玉山雲量與日照率的月平均之相關性分析。

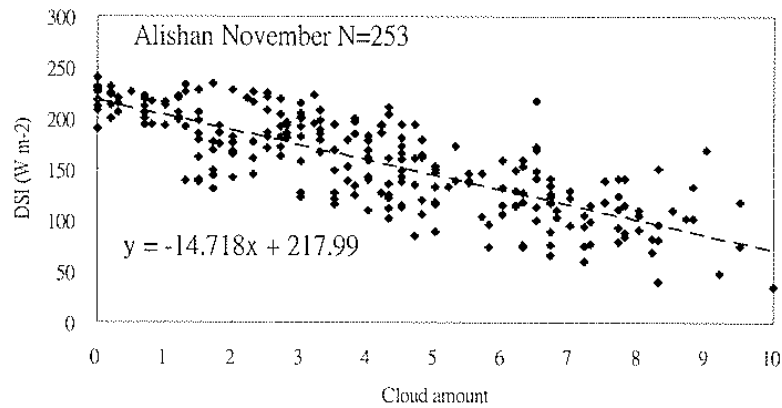


圖 2：阿里山 DSI 與雲量的迴歸分析，粗虛線表線性趨勢。

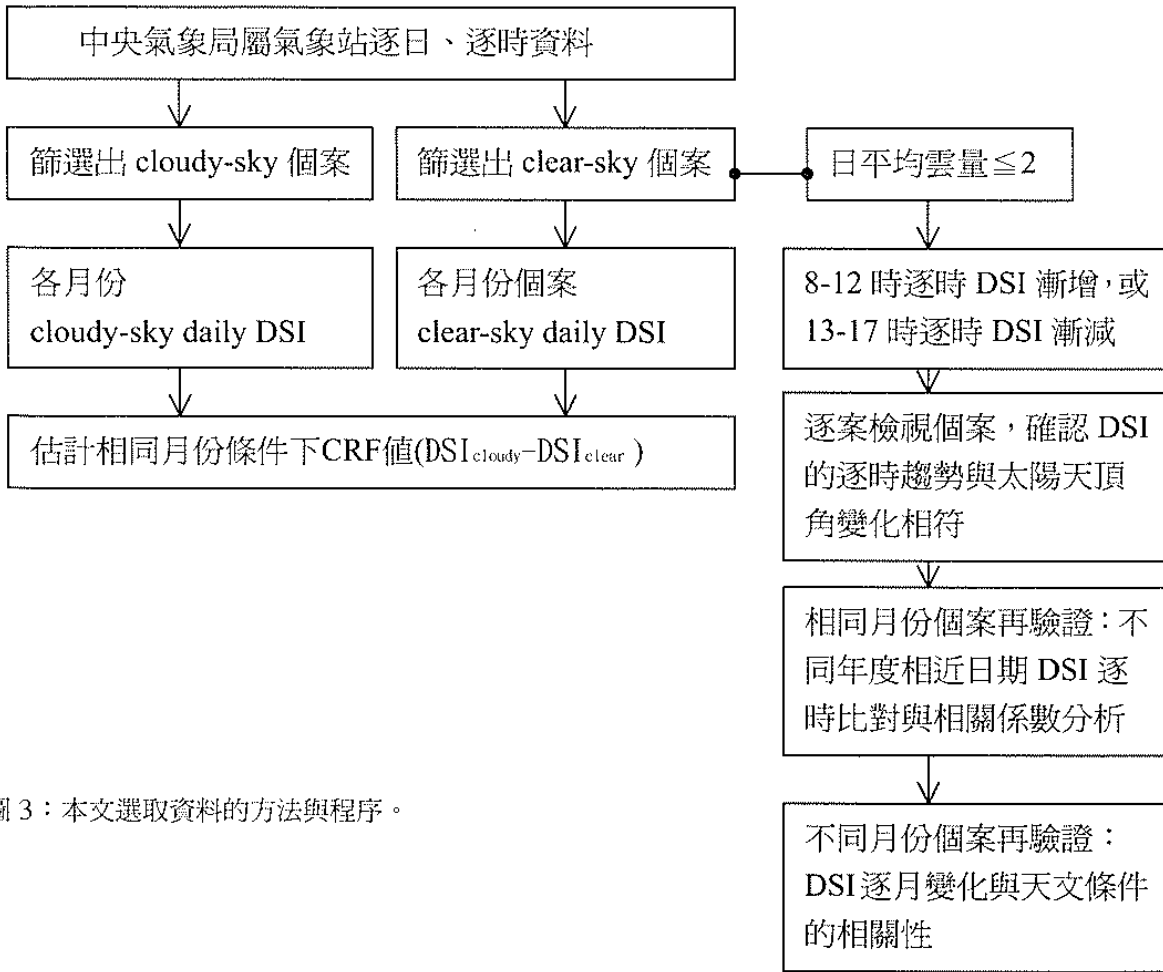


圖 3：本文選取資料的方法與程序。

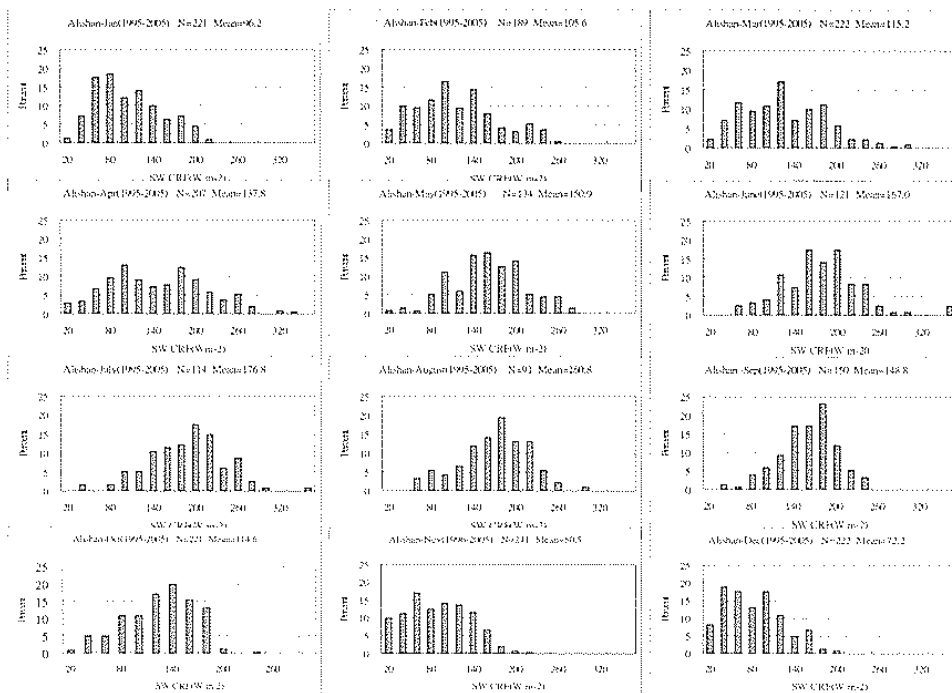


圖 4：阿里山 CRF 值與頻次直方圖分析，縱坐標是發生頻率百分比，單位是%，橫坐標是日均量之 CRF 值，單

位是 $Wm^{-2}$ 。

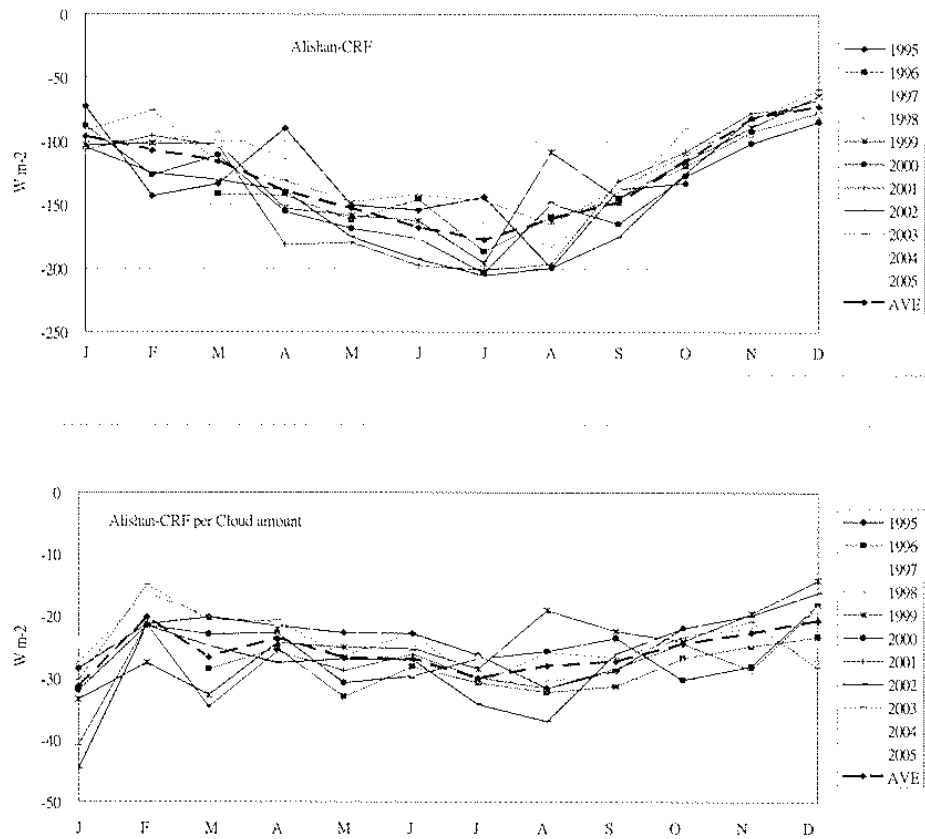


圖 5：上圖為阿里山CRF值月際與年際變化，下圖是單位雲量CRF值月際與年際變化，縱坐標是CRF，單位是 $Wm^{-2}$ ，橫坐標是 1 月至 12 月，粗虛線為年際平均值。

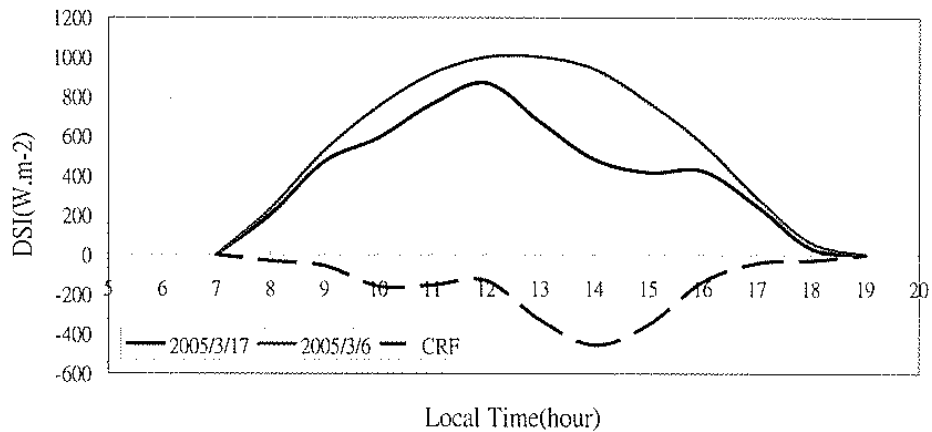


圖 6：晴空個案 2005/3/6 及有雲個案 2005/3/17，DSI 與 CRF 的逐時變化，粗虛線為 CRF 值，實線則為 DSI 值。