

利用多重濾鏡旋轉輻射儀探討鹿林山氣膠光學特性

張廷豪¹ 林能暉² 王聖翔³

國立中央大學大氣物理所

摘要

本研究乃利用多重濾鏡旋轉輻射儀(Multifilter rotating shadowband radiometer; MFRSR)觀測 2006 年 4 月至 2008 年 12 月鹿林山大氣背景站(23.47°N, 120.87°E; 2862 m) 氣膠光學特性(ex: 氣膠光學厚度(aerosol optical depth, AOD)和 Ångström exponent)。觀測期間, AOD、CO 與 PM₁₀ 濃度最高值皆發生在春季(3-5 月), 主要受到東南亞生質燃燒污染影響。AOD 與 PM₁₀ 月平均變化趨勢相似, 其最高值皆發生在 3 月份。Ångström exponent 月平均值在 5-8 月相對較低; 冬季 12-3 月較高, 而相對濕度與垂直水氣量則呈現相反之趨勢。AOD 之日變化在中午過後有上升的現象, 與 PM₁₀ 濃度變化趨勢類似, 而 Ångström exponent 於午後則明顯驟降, 其相對濕度於午後則逐漸攀升。

AOD 與 PM₁₀ 在相對高壓天氣狀況下有較好相關性, 而高度相關發生在冬季(R: 0.82); 相關性較差則在夏季與秋季。利用 HYSPLIT 後推軌跡模式將氣團來源分類, 其中來自乾淨海洋之氣膠導致的 AOD 值最小, 來自東南亞則最大。Ångström exponent 最小值為來自海洋性氣團之氣膠; Ångström exponent 最大值則來自高層之氣團。

在沙塵與生質燃燒事件中, 伴隨氣團之 AOD 值明顯上升, 分別約為海洋性氣團的 2.5 倍與 15 倍。由粒徑分布與 Ångström exponent 值得知沙塵氣膠為粗粒徑的顆粒較多; 生質燃燒氣膠則是細粒徑顆粒較多。直射通量與散射通量之比值在污染事件下明顯小於乾淨背景值, 而各事件中最大之比值分別為 7.42 (沙塵事件)、1.41 (生質燃燒)與 15.32 (乾淨背景), 顯示在生質燃燒事件中垂直氣柱之氣膠容載量 (Aerosol loading) 最大, 而乾淨環境下氣膠總容載量則最小。

關鍵字: 氣膠光學厚度、Ångström exponent

一、前言

近年來，由於世界各地異常天氣現象頻傳，造成嚴重的傷亡及經濟損失，使得全球氣候變遷成為相關領域中的研究重點之一，尤其是全球暖化(Global warming)的成因。普遍研究人員認為全球暖化為人類活動導致，也有部分研究人員認為是自然界的正常循環現象，此兩種說法皆有相關數據佐證。IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 於 2007 年 2 月公布最新的氣候變遷報告 (Climate Change 2007)，利用近六年來觀測資料，進行複雜的分析與精確的模擬，計算出由人類活動所導致的輻射驅動力(Radiative forcing)約為 1.6 W m^{-2} ，自然界循環的輻射驅動力約為 0.12 W m^{-2} ，明顯看出人類活動對於全球氣候暖化的影響遠大於自然界的循環變化。報告中指出溫室氣體的輻射驅動力約為 2.63 W m^{-2} ，而氣膠的輻射驅動力總貢獻約為 -0.5 W m^{-2} ，顯示全球暖化的驅動力主要來自於溫室氣體(Greenhouse gases)的增溫效應，而大氣中氣膠(Aerosol)的降溫效應可減緩全球暖化趨勢。然而，氣膠種類相當複雜，包括鹽類、生質燃燒排放、化石燃料燃燒以及沙塵等，不同種類的氣膠對太陽輻射的影響力亦不同，如黑碳顆粒以吸收太陽輻射，海鹽以散射太陽輻射為主，所以，氣膠在大氣中的濃度及不同種類之光學特性仍有待評估，這也是預測全球氣候變遷時最大的不確定因素之一。

近年來亞洲地區大氣氣膠對台灣的長程輸送在國內受到廣泛的注意，台灣正好位處於東亞大氣污染物及東南亞生質燃燒傳送路徑之下風處。每當沙塵暴、生質燃燒發生時，除台灣空氣品質受到衝擊外，亦可能會導致

區域環境與氣候衝擊。東南亞所排放的生質燃燒量相當驚人，僅次於南美和非洲，這些排放物可能經長程輸送至下游地區，影響空氣品質。環保署的沙塵暴監測計畫中，中央大學研究群林等(2002)曾在北部陽明山區觀測到雲霧水有非常迥異的特性，由衛星資料與氣流來源追蹤，判斷極可能伴隨東南亞霾害長程輸送到達台灣。因此，考量不受當地區域性污染物干擾之觀測分析，鹿林山大氣背景站為絕佳之觀測點。對於自上游氣流有較佳掌握，以探討背景大氣中氣膠之特性，以量化境外影響。

二、觀測時間與測站位置

本研究於鹿林山帶大氣背景站 (23.469°N , 120.874°E ; 2862 m MSL)進行觀測，觀測時間為2006年4月1日至2008年12月31日，共計1006天。多重濾鏡旋轉輻射儀於觀測期間共有效取得281日氣膠光學厚度。

鹿林山大氣背景站(圖 1)位於嘉義、南投縣山區，為玉山國家生態管制區，周圍無當地污染物排放源。鹿林山地理位置優勢，作為自上游中南半島、中國南方、西太平洋夏威夷一線大氣污染監測之中繼站，相當具優勢，且鹿林山海拔 2862 公尺，已位於大氣邊界層以上，平地區域性污染物不易穿過邊界層頂而傳送至鹿林山大氣背景站。觀測結果能代表東亞大氣氣膠光學垂直特性之背景值。對於來自上游氣流有較佳掌握，並顯示乾淨海洋性氣團可供比對，以量化境外影響。

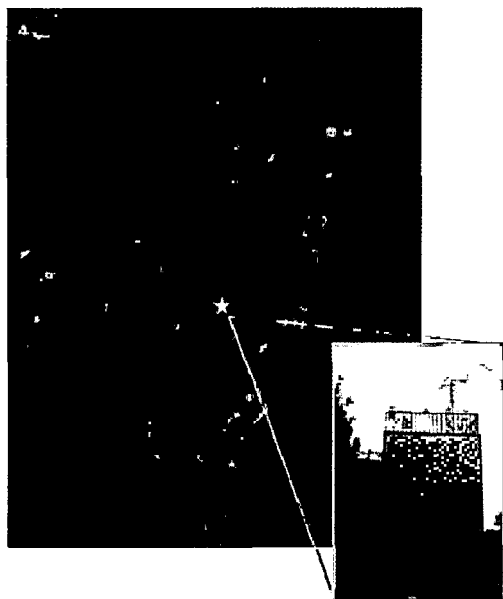


圖 1 鹿林山大氣背景站地理位置。

三、研究方法

3.1 實驗設備與觀測原理

多重濾鏡旋轉輻射儀 (Multifilter rotating shadowband radiometer, MFRSR) 為美國 Yankee Environmental Systems, Inc. 所研發製造，其操作原理及觀測方法詳情請見 Harrison et al. (1994)，在此僅以簡單描述介紹。MFRSR 使用的濾鏡為一個寬頻波段 300 - 1100 nm，與 6 個窄頻波段，分別是 415、500、615、673、870 與 940 nm，其窄頻波段之頻寬皆為 10 nm。MFRSR 觀測原理是利用遮蔽帶在不同位置時所量測各種的輻射通量 (圖 2)。當遮蔽帶位於 step(1) 時所觀測為全天空輻射通量，位於 step(3) 時，遮蔽帶則完全遮住散光儀 (Diffuser)，此時所量測到為散射輻射通量，但遮蔽帶會隨著天頂角的變化，導致遮蔽帶在不同天頂角時有過多遮蔽現象 (陰影面積過大)，所以再利用 step(2)、(4) 所量測到輻射通量，經由內部微電腦處理器校正 step(3) 散射輻射通量，最後取得校正後正確的

散射輻射通量。將全天空輻射通量減去校正後的散射輻射通量後，得到直射輻射通量。

3.2 Ångström exponent 計算方法

此參數是利用不同波長輻射對氣膠粒子之米氏散射特性差異估算垂直氣柱中氣膠粗粒氣膠與細粒氣膠之比例。本研究利用 Sano et al. (2003) 所列出之公式進行計算，方法如下：

$$\alpha = -\ln(AOD_{\lambda_1} / AOD_{\lambda_2}) / \ln(\lambda_1 / \lambda_2)$$

利用兩組不同波長 (λ) 之氣膠光學厚度 (AOD) 代入公式中得到 α ，其中 α 即為 Ångström exponent。根據 Eck et al. (2005) 之研究， α 值 < 0.8 表示垂直氣柱內之氣膠主要由粗粒氣膠所支配，而 α 值 > 1.5 則為細粒氣膠佔多數，介於 0.8 至 1.5 之間表示在垂直氣柱中粗粒氣膠與細粒氣膠比例概略相當。

四、反演方法

由於 MFRSR 觀測數據僅有太陽輻射通量值 (全天空、散射及直射)，所以必須自行將直射輻射通量反演成 AOD。吾人參考 Krotkov et al. (2005a) 概念，並結合 AERONET 處理太陽輻射儀數據之濾雲及 QC (Quality control) 方法，建立一套高時間解析度 (每分鐘 1 筆) 且自動化的反演方法。

4.1 I_0 與 AOD 之反演方法

吾人參照 Krotkov et al. (2005a) 的概念，利用太陽輻射儀 (往後簡稱 CIMELs) 與 MFRSR 兩台儀器在同一觀測點同步觀測。

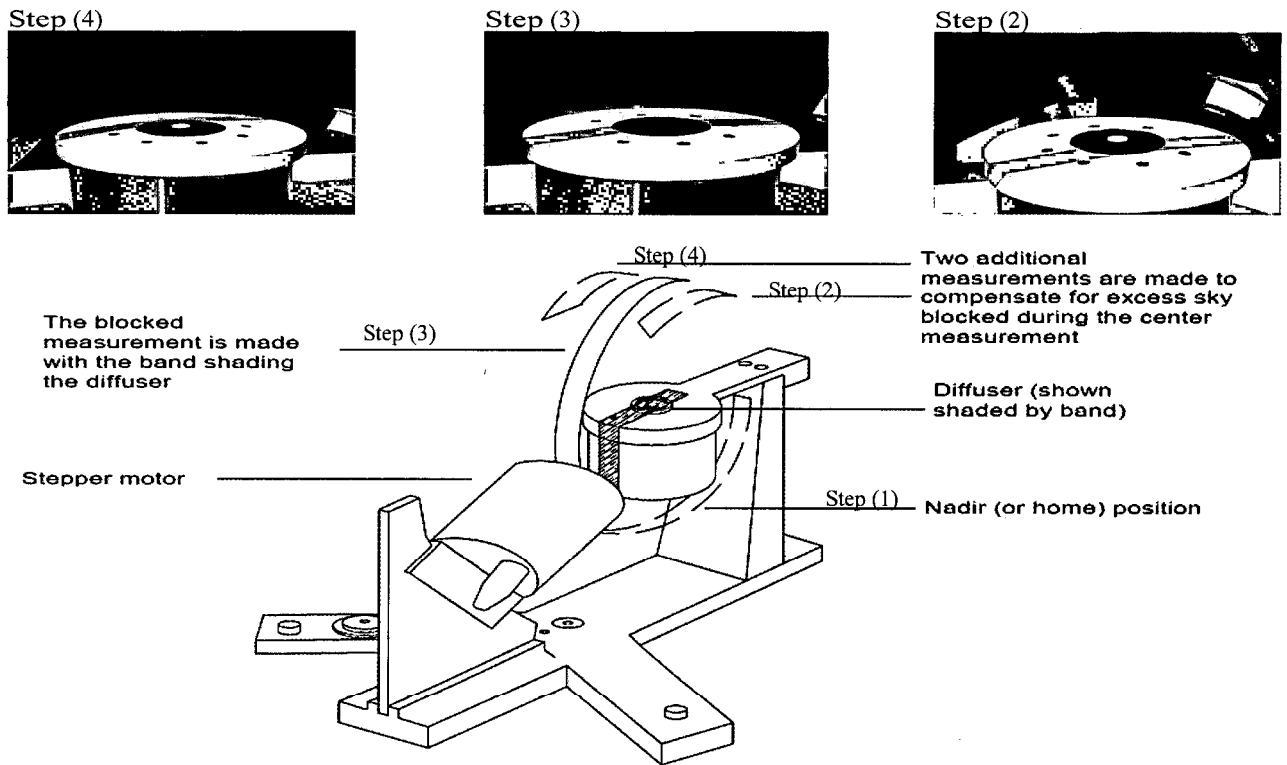


圖 2 MFRSR 觀測原理，Step(1)觀測全天空輻射通量值，Step(3)散射通量值，Step(2)與 Step(4)為校正散射通量值。

首先，利用 AERONET Level 2.0 數據帶入輻射方程式求得 MFRSR 各波段的 I_0 值後，再將求得 I_0 值帶入輻射方程後即可反演出 MFRSR 各波段 AOD 值。本研究反演 AOD 的基本輻射方程式為 Beer-Lambert- Bouguer law，方程式如下：

$$I(\lambda) = I_{0(\lambda)} \times \exp [-(m_a \tau_{aod(\lambda)} + m_r \tau_r(\lambda) + m_{O3} \tau_{O3(\lambda)})] \quad (4.1)$$

$I(\lambda)$ 為儀器觀測的直射通量， $I_0(\lambda)$ 為大氣層頂的直射通量， m_a 、 m_r 與 m_{O3} 分別為氣膠、雷氏散射與臭氧的氣體質量數，即 air mass number。 $\tau_{aod}(\lambda)$ 、 $\tau_{O3}(\lambda)$ 與 $\tau_r(\lambda)$ 分別為氣膠、臭氧與大氣分子雷氏散射的光學厚度。由於(4.1)中含指數項，則取自然對數將其簡化：

$$\ln I(\lambda) = \ln I_{0(\lambda)} - (m_a \tau_{aod(\lambda)} + m_r \tau_r(\lambda) + m_{O3} \tau_{O3(\lambda)}) \quad (4.2)$$

其中 m_a 、 m_r 、 m_{O3} 、 τ_{O3} 與 τ_r 可由過去統計經驗式得知。所以(4.1)只剩 $I_0(\lambda)$ 與 $\tau_{aod(\lambda)}$ 兩個未知數，若設法將 MFRSR 之 I_0 值求得後，帶入(4.1)中，則 MFRSR 的 $\tau_{aod(\lambda)}$ 即可計算出來。

首先，吾人必需先求得 MFRSR 之 I_0 值，如之前所述，(4.1)方程式只剩 $I_0(\lambda)$ 與 $\tau_{aod(\lambda)}$ 兩個未知數，所以利用 AERONET CIMELs Level 2.0 之 $\tau_{aod(\lambda)}$ 值帶入(4.1)即可求得 $I_0(\lambda)$ 。但 CIMELs 觀測的波長及數據時間點皆與 MFRSR 不同，且 MFRSR 頻寬皆為 10 nm，所以必須先利用最小平方法(least-squar fit)內插求得 MFRSR 相對應之波段 τ_{aod} 值，並再對時間點做內插取得每分鐘 τ_{aod} 。考慮

MFRSR 觀測濾鏡有頻寬的設計，利用以下公式逐步計算出各波段 I_0 值。

$$T_{(\text{channel})} = \frac{\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} I_{0(\lambda)} F_{(\lambda)} T_{(\lambda)} d\lambda}{\int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} I_{0(\lambda)} F_{(\lambda)} d\lambda} \quad (4.3)$$

利用(4.3)式取得 MFRSR 各波段輻射穿透率 T (transmittance)。 F 為不同波長直射通量通過濾鏡的 response function，其數據由 Yankee Environmental Systems, Inc. 取得，吾人以 500 nm 為例。 I_0 是利用衛星觀測到的數值，數據來源為 Dr. Bernhard Mayer (Institute of Atmospheric Physics of DLR, Germany) 所提供。其中穿透率 $T_{(\lambda)}$ 可由 $\exp[-(m_a \tau_{\text{aod}(\lambda)} + m_{\text{O}_3} \tau_{\text{O}_3(\lambda)} + m_r \tau_{r(\lambda)})]$ 求得。並將(4.3)與(4.2)式結合改寫為：

$$\ln I_{0(\text{channel})} = \ln I_{(\text{channel})} + \ln T_{(\text{channel})} \quad (4.4)$$

最後利用(4.4)式將可計算出每分鐘 MFRSR 各波段之 $\ln I_0$ 值，並將其常態化於太陽與地球的平均距離 r (1AU)。隨後扣除偏離 3 倍標準偏差及人為篩選後取日平均值。隨後，吾人取觀測期間個別之年平均值帶入方程式求 AOD 值。但因頻寬問題，為了避免計算上困難，利用(4.5)式取得相當波長(λ_{equ})後結合(4.2)式改寫為(4.6)式：

$$T_{(\lambda_{\text{equ}})} = T_{(\text{channel})} \quad (4.5)$$

$$\ln I_{(\text{channel})} = \ln I_{0(\text{channel})} - (m_a \tau_{\text{aod}(\lambda_{\text{equ}})} + m_r \tau_{r(\lambda_{\text{equ}})} + m_{\text{O}_3} \tau_{\text{O}_3(\lambda_{\text{equ}})}) \quad (4.6)$$

隨後將可利用 (4.6)式反演出各波段之 AOD 值。

4.2 濾雲法

吾人參照 AERONET 處理 CIMELs 資料之濾雲法(Sirnov et al., 2000)，其方法共有 4 個步驟。第一步，將 $\text{AOD} > 2$ 與 < -0.01 去除掉，並將 $\text{airmass} > 5$ 之時間點上 AOD 也去除掉。原因是由過去 AERONET 反演出來的鹿林山背景站 AOD 值皆未高於 2，且當 airmass 較大時，則太陽輻射受到大氣折射影響較多，算出來的 AOD 誤差較大。第二步為 Triplet stability，其方法為隨時間排序，每 3 個 AOD 為一組，將每組中最大 AOD 與最小 AOD 相減，其值若大於 0.03(AERONET 由過去經驗顯示，未受雲影響時之 AOD 變化量小於 0.03) 則將此組 AOD 全部捨去。第三步為將剩下之 AOD 值做標準偏差(σ)，若 $\sigma < 0.015$ ，則將此些 AOD 皆認定為有效 AOD 值；若 $\sigma > 0.015$ ，則持續進行下一步驟進行篩選。第四步為 Diurnal Stability，是利用以下方程式進行篩選：

$$\tilde{D} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum D_i^2} \quad (4.7)$$

$$D_i = \frac{\ln \tau_i - \ln \tau_{i+1}}{t_i - t_{i+1}} - \frac{\ln \tau_{i+1} - \ln \tau_{i+2}}{t_{i+1} - t_{i+2}} \quad (4.8)$$

其中 t 表示時間點， n 為總筆數。若 $\tilde{D} > 16$ ，則找出最大的 D_i 值，並將此組中的最大 AOD 去除後，再重新做(4.7)式，以此類推直至 $\tilde{D} < 16$ 為止。若 $\tilde{D} < 16$ 時，僅剩 AOD 值之筆數少於 2 筆，則此些 AOD 值也將去除。經 Diurnal Stability 方法篩選後所剩下之 AOD

值，再將 AOD 超過 $\pm 3\sigma$ 與 Ångström exponent (α) 超過 $\pm 3\sigma$ 之 AOD 刪除，最後剩下 AOD 值即為濾雲後之有效數值。

五、結果與討論

自 2006/4/1 鹿林山大氣背景站開始進行觀測至 2008/12/31，此 3 年觀測期間共取得 281 天 MFRSR 所反演出來的 AOD_{500nm} 日平均值。本研究中基本統計之數據探討皆是以日平均值做分析(日變化以外)。圖 3 顯示此 3 年觀測期間，鹿林山大氣背景站 MFRSR 所觀測之 AOD_{500nm} 與 PM₁₀ 及 CO 濃度逐日變化，圈起來的部分是經人為分析後判定受到嚴重東南亞生質燃燒影響，明顯地，AOD_{500nm}、PM₁₀ 與 CO 受到事件影響時，主要發生在每年春季，且變化趨勢相似，顯示生質燃燒期間，不僅將污染物隨氣流帶來鹿林山背景站，也造成 AOD_{500nm} 升高。從圖中也可發現，污染物高值主要受生質燃燒影響，沙塵暴幾乎不影響鹿林山背景站，此現象與徐 (2007) 探討中壢與鹿林山背景站在沙塵事件中的分析相似，中壢測站可明顯觀測到沙塵事件導致 AOD_{500nm} 與 PM₁₀ 升高；而鹿林山背景站較不受影響。

5.1 月平均變化

圖 4 顯示觀測期間 AOD_{500nm} 與 Ångström exponent 資料之總月平均，並搭配垂直氣柱水氣量及鹿林山大氣背景站地面監測資料 PM₁₀ 與相對溼度之總月平均，探討鹿林山大氣背景站環境特性與氣膠光學參數之間關係。圖中顯示 AOD_{500nm} 與 PM₁₀ 變化趨勢類似，其中 AOD_{500nm} 及鹿林山大氣背景站 PM₁₀ 最大月平均值皆發生在 3 月，其 AOD_{500nm} 為 0.31 ± 0.26 。而 6 月至隔年 1 月 AOD_{500nm} 則呈

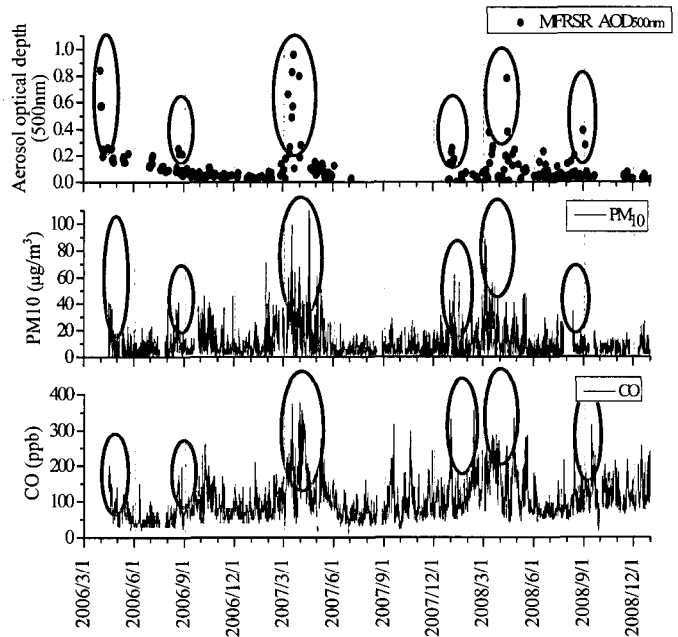


圖 3 觀測期間 AOD_{500nm}、CO 與 PM₁₀ 逐日變化。

現穩定的變化，其 AOD_{500nm} 變化幅度為 0.043-0.083。從圖中也可發現 AOD_{500nm} 極小值普遍介於 0.01-0.035 之間。綜合以上結果可知，當不受污染事件影響時，鹿林山環境背景為極乾淨之狀態，而當受到嚴重生質燃燒影響時，其 AOD_{500nm} 極大值可高達 0.85 左右，為極小值 25-80 倍。圖 4 顯示較低 Ångström exponent 月平均值發生在 5-8 月，而較高 Ångström exponent 月平均值則在 10 月至隔年 3 月。相對濕度與垂直氣柱水氣量則呈現與 Ångström exponent 反相位之關係，此現象似乎顯示鹿林山在水氣含量較多之環境下，Ångström exponent 則會較小；反之，水氣含量較少時，Ångström exponent 則會較大。所以將 AOD_{500nm}、Ångström exponent、PM₁₀、相對濕度與垂直氣柱水氣量 (AERONET level 2.0) 同樣時間點之數據做月平均(表 1)，進一步詳細探討之間關係。表 1 顯示 AOD_{500nm} 相對高值在 2-5 月，其值範圍分別為 0.065-0.301。PM₁₀ 同樣也在這些月份有相對高值，其值範圍為 15-34 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，而其

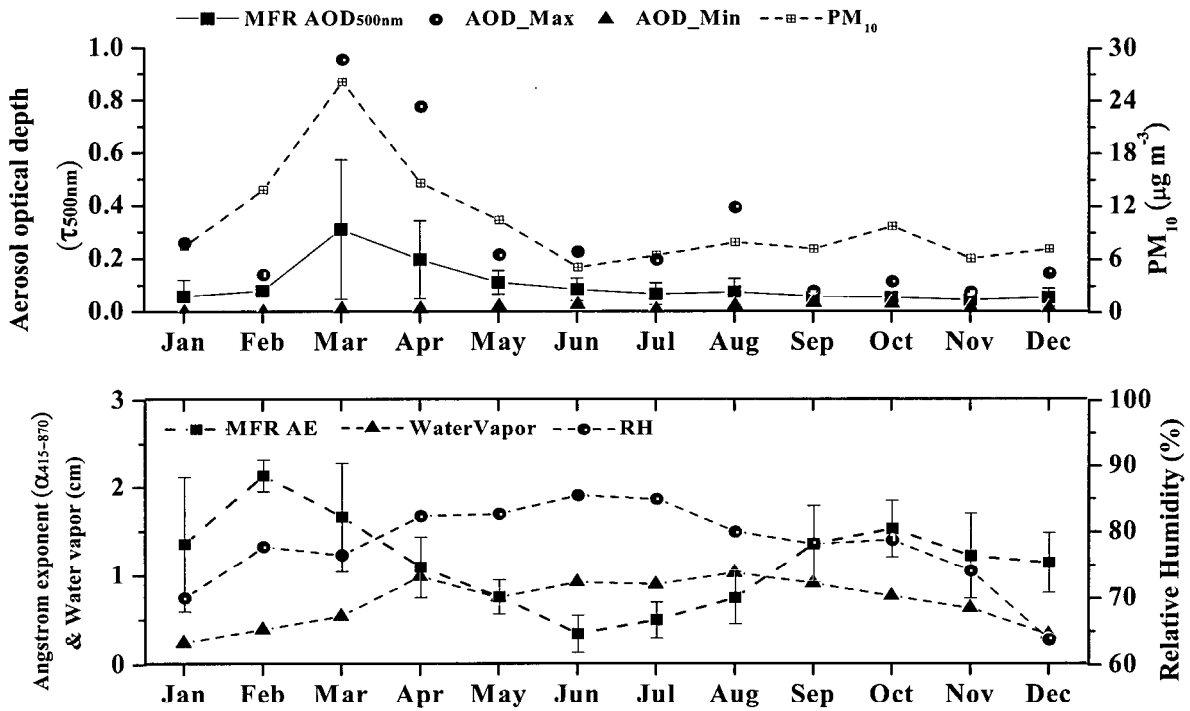


圖 4 MFRSR 所觀測之 AOD_{500nm}、Ångström exponent 月平均變化及鹿林山地面監測資料 PM₁₀ 與相對溼度之月平均變化。AE 為 Ångström exponent，RH 為相對濕度。

他月份 AOD_{500nm} 與 PM₁₀ 則較低。由表中可知 AOD_{500nm} 與相對濕度及垂直氣柱水氣量並無明顯的關係，反而 Ångström exponent 則與相對濕度及垂直氣柱水氣量呈現相反的趨勢。

在 5-9 月期間，Ångström exponent 值相對較低，其值範圍分別為 0.33-1.03，相反地，相對濕度為 74-85 %，與垂直氣柱水氣量為 0.80-1.05 cm，則相對較高。而在 12 月至隔年 3 月，Ångström exponent 值相對較高，其值範圍為 1.18-1.74，則相對濕度(46-66 %)與垂直氣柱水氣量(0.19-0.53 cm)則相對較低。由於氣膠在潮濕環境中會吸收水氣成長，則氣膠粒徑增大，進而導致 Ångström exponent 變小；冬季期間，因氣流大至來自於乾燥且寒冷的中國內陸，則氣膠無法有效吸濕成長，所以氣膠粒徑主要為細顆粒，則 Ångström exponent 值較大。

5.2 日變化

如之前所述，PM₁₀ 明顯增加時 AOD_{500nm} 有升高之趨勢。相對濕度與 Ångström exponent 之間似乎有反相位之關係，則進一步利用 MFRSR 觀測數據並搭配同時間點鹿林山背景站地面觀測資料之相對濕度、PM₁₀ 與 CO 濃度數據做日變化之探討(圖 5)。圖中顯示，AOD_{500nm}、PM₁₀ 與 CO 濃度隨時間逐漸上升，吾人推測可能受到山谷風影響。其山谷風可能將平地污染物傳至鹿林山背景站，造成白天 AOD_{500nm}、PM₁₀ 與 CO 濃度呈現增加趨勢。由於氣膠會吸濕成長，預期相對濕度增加時 Ångström exponent 會減小(相對粗粒徑氣膠較多)。從圖中可知 10-12 點期間相對濕度維持一定值，Ångström exponent 卻逐漸增加(相對細粒徑氣膠較多)，且在 12 點時 Ångström exponent 有極大值(1.21±0.97)，而相

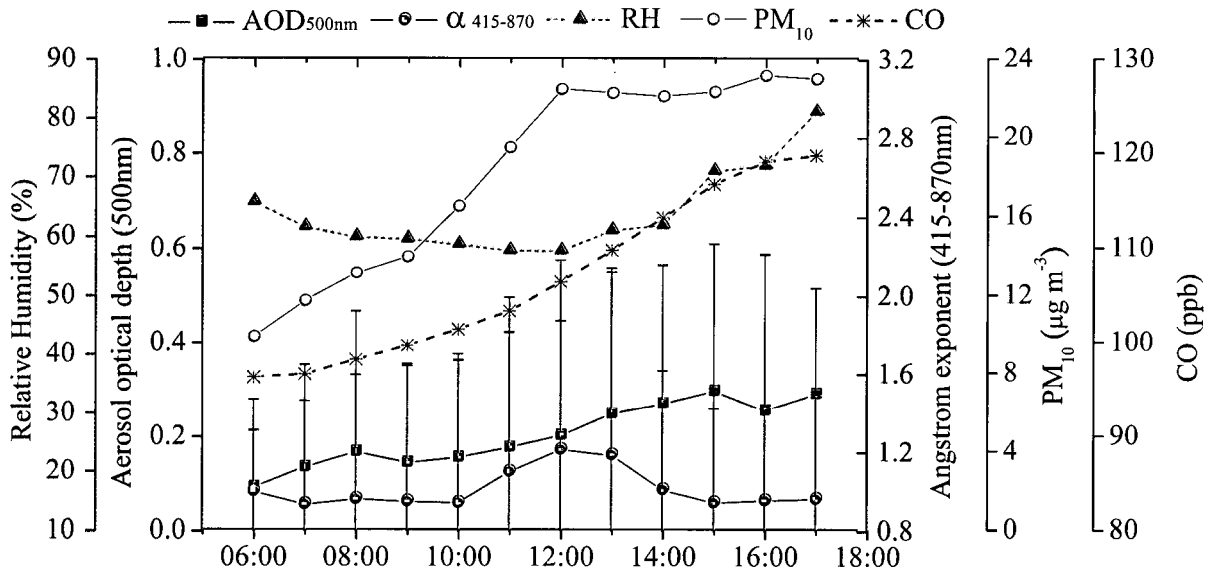


圖5 MFRSR觀測數據與鹿林山PM₁₀、相對濕度與CO濃度之日變化圖。

表1 相同觀測天數之各參數月平均值。

MFRSR						
	N ^a	τ (500nm)	α (415-870)	PM ₁₀ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	RH (%)	WV ^b (cm)
Jan	13	0.074±0.080	1.18±1.09	10±6	49.7±19.4	0.19±0.13
Feb	23	0.085±0.033	1.67±0.82	17±8	55.9±19.9	0.34±0.17
Mar	25	0.301±0.279	1.74±0.58	34±14	66.9±16.5	0.53±0.18
Apr	24	0.171±0.157	1.19±0.37	15±6	70.1±17.6	0.97±0.10
May	32	0.105±0.050	0.82±0.25	17±9	74.1±16.2	0.80±0.37
Jun	15	0.071±0.056	0.33±0.24	7±3	74.6±16.0	0.90±0.38
Jul	29	0.075±0.049	0.53±0.25	8±3	77.4±10.8	0.89±0.20
Aug	36	0.074±0.077	0.73±0.33	9±6	82.1±10.1	1.05±0.18
Sep	23	0.070±0.049	1.03±0.45	9±6	85.5±10.8	0.90±0.29
Oct	24	0.057±0.022	1.41±0.33	11±5	73.0±17.8	0.73±0.24
Nov	18	0.048±0.014	1.16±0.53	8±4	58.4±25.0	0.63±0.19
Dec	12	0.052±0.035	1.24±0.37	9±4	45.9±21.8	0.43±0.25

^a資料天數。

^b垂直水氣量，資料來自 AERONET level 2.0。

對濕度則有最小值(57.6%)。推估由於日照強度逐漸加強至中午，蒸發效應大，導致氣膠無法有效吸收水氣成長，且PM₁₀濃度在此段期間迅速上升，造成細粒徑氣膠所佔的比例增長。中午過後12-15點期間，明顯Ångström exponent逐漸下降，相對濕度則迅速上升，其原因可能為日照強度下降，蒸發效應減弱，

且午後熱對流將水氣帶來高空，導致氣膠能有效吸濕成長，進而使Ångström exponent下降。

5.3 氣膠光學厚度與PM₁₀之相關性

過去研究指出，觀測平地AOD與PM₁₀之相關係數介於0.51-0.62之間(郭，2006; 徐，2007; 賈，2008)，其相關性並沒有很好。過去研究發現垂直消光係數在2000公尺以下變化幅度大，且在垂直高度500公尺有極大值，導致地面量測之PM₁₀無法與垂直氣柱AOD有很好的相關性。而在2000公尺以上的垂直消光係數呈現穩定且均勻之變化。因此吾人利用相同時間點MFRSR所觀測之AOD_{500nm}日平均值與PM₁₀進行相關性之探討。如圖6所示，PM₁₀與AOD_{500nm}相關係數為0.75，其相關性明顯高於過去研究結果。吾人預期在相對高壓下，垂直氣柱中大氣密度較大，且邊界層高度也會降低，進而使氣膠存於低層地方，則地面氣膠濃度與AOD相關性將提高。反之，在相對低壓下地面氣膠濃度與AOD相關性將減小。進而將觀測數據

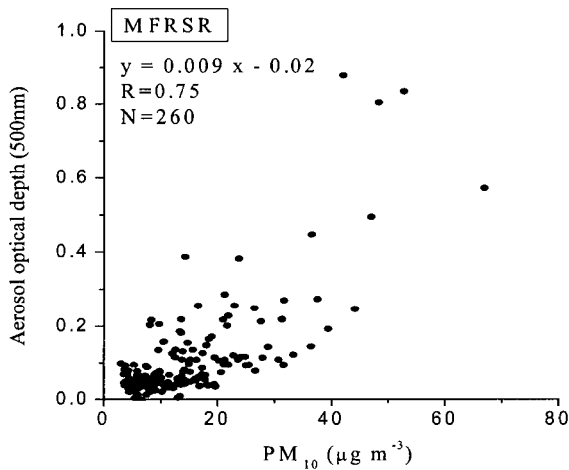


圖 6 全年之 AOD_{500nm} 日平均值與 PM₁₀ 日平均值散布圖。

分成大於鹿林山大氣背景站三年平均氣壓值及小於平均氣壓值(圖 7)做探討。由圖 7 顯示, PM₁₀ 與 AOD_{500nm} 相關係數在相對高壓下(0.81)明顯比相對低壓狀態(0.48)高許多。吾人進一步分成四季進行探討(表 2), 由表中顯示在相對高壓下 PM₁₀ 與 AOD_{500nm} 相關係數普遍高於相對低壓下, 而在夏季與秋季時 PM₁₀ 與 AOD_{500nm} 相關係數普遍皆很差, 甚至在高壓下之相關係數仍小於不分高低壓之相關係數。春季及冬季之 PM₁₀ 與 AOD_{500nm} 相關係數相對較高(0.62-0.86), 而高度相關則發生於冬季相對高壓下(0.82)。由上述結果顯示, 在較乾淨的夏季與秋季之 PM₁₀ 與 AOD_{500nm} 之間較無相關性, 似乎 PM₁₀ 在低值時無法敏感地反應出 AOD_{500nm} 之特性。而在生質燃燒盛行的春季, 發生 PM₁₀ 高值頻率多, 其 AOD_{500nm} 也會伴隨提高, 其可能是春季相關係數較高之因素。

5.4 境外氣膠對鹿林山背景站之影響

為了探討背景大氣中氣膠之特性及境外不同區域來源之氣膠對鹿林山氣膠光學特性影響, 吾人利用 Hysplit 後推軌跡模式於觀測期間將來源分為東南亞與華南(SA)、中國

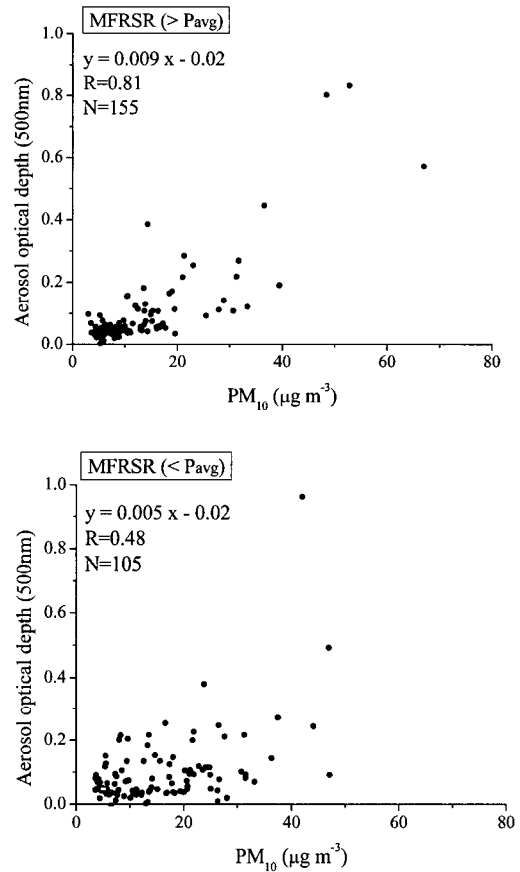


圖 7 (上)高於平均氣壓值與(下)低於平均氣壓值之 AOD_{500nm} 日平均值與 PM₁₀ 日平均值散布圖。

(CH)、日本與韓國(JK)、高層傳送(HI)及海洋(OC)。高層傳送定義為氣流 5 日後推軌跡中皆在 2862 公尺以上高空。如圖 8 顯示, 來自海洋與高層傳送之氣膠所造成 AOD_{500nm} 普遍皆小於 0.1, 但兩者 Ångström exponent 卻有很大的不同, 海洋氣團 Ångström exponent 主要集中於 1 以內, 而高層傳送氣團 Ångström exponent 主要集中於 1.5 之上, 凸顯來自海洋與高層傳送之氣膠皆較乾淨, 其氣膠粒徑分布卻不同, 高層傳送之氣膠粒徑主要以相對細顆粒氣膠佔絕大多數; 而海洋氣團則是相對粗顆粒氣膠佔絕大比例。來源為中國之氣膠造成 AOD_{500nm} 與 Ångström exponent 範圍較廣, 顯示來自中國之氣膠包含各種型態, 有工業污染及人為活動排放氣

表 2 AOD_{500nm} 日平均值與 PM₁₀ 日平均值的相關係數。分成大於平均氣壓值、小於平均氣壓值與全部數值在四季中之相關係數。

	MFRSR		
	All	>P _{avg}	<P _{avg}
Spring	0.75(83)	0.80(48)	0.65(35)
Summer	0.53(74)	0.57(33)	0.47(41)
Fall	0.44(56)	0.55(42)	0.20(24)
Winter	0.63(47)	0.82(25)	0.63(22)

括弧內為資料天數。

All 為不分高低壓之全部數值。

膠，也有生質燃燒影響及沙塵之氣膠。而東南亞區域所排放之氣膠造成 AOD_{500nm} 與 Ångström exponent 分布也較廣，但從圖中發現，當 AOD_{500nm} 大於 0.4 時，其 Ångström exponent 介於 1.0-1.6 之間，經人為驗證此些 AOD_{500nm} 高值皆受到嚴重生質燃燒影響，由此結果驗證出生質燃燒所排放之氣膠，主要為細粒徑之氣膠佔多數。

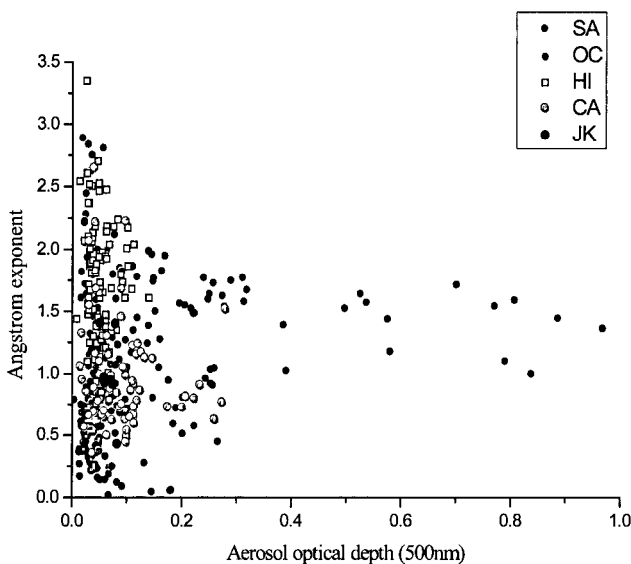


圖 8 MFRSR 所觀測之 Ångström exponent 與 AOD_{500nm} 散布圖。

5.5 背景、生質燃燒與沙塵個案討論

挑選氣流來源為海洋之 2008/7/1 觀測值為鹿林山背景值，2007/3/16 觀測值代表生質燃燒事件及 2008/5/12 代表沙塵事件。以 500nm 波段為例，利用 MFRSR 將此 3 天的各輻射通量值做一比較，並探討直射通量與散射通量之比值(圖 9)。如圖顯示，排除雲的影響，直射通量與散射通量之比值在污染事件下明顯小於乾淨背景值，而各事件中最大之比值分別為 7.42(沙塵事件)、1.41(生質燃燒)與 15.32(乾淨背景)。為了探討不同事件下之輻射量值之差異，吾人取 3 個案皆不受雲影響的時段(8-11 點)做探討(圖 10)，並取此時段各觀測值之平均值(圖 11)來分析之間差異。

圖 10 顯示，沙塵與生質燃燒事件之散射量值皆大於乾淨背景值，而生質燃燒事件之總輻射量值明顯小於乾淨背景值；沙塵事件之總輻射量值則與乾淨背景質差異不大。表示生質燃燒氣膠顯著降低鹿林山背景站之太陽總輻射量；而沙塵氣膠較難達至鹿林山背景站，則總輻射量值較不受到氣膠衰減之影響。圖 11 為直射通量與散射通量之比值及各輻射通量之平均狀態，總輻射量之平均值在沙塵、生質燃燒與乾淨背景狀態下分別為 1.39、0.78 與 1.40 W m⁻²，顯示鹿林山大氣背景站受到此生質燃燒事件影響，接收到之總太陽輻射量值約為乾淨背景值的一半。而從散射通量(沙塵：0.19，生質燃燒：0.53，乾淨背景：0.10 W m⁻²)可看出，生質燃燒事件下，氣膠將大量太陽輻射量給散射掉，導致鹿林山背景站接收到的太陽輻射量減少。直射通量與散射通量之比值在沙塵、生質燃燒與乾淨背景狀態下分別為 6.34、0.78 與 12.75，表示在生質燃燒事件中垂直氣柱之氣膠容載量最大；則乾淨環境下氣膠容載量最

Dust

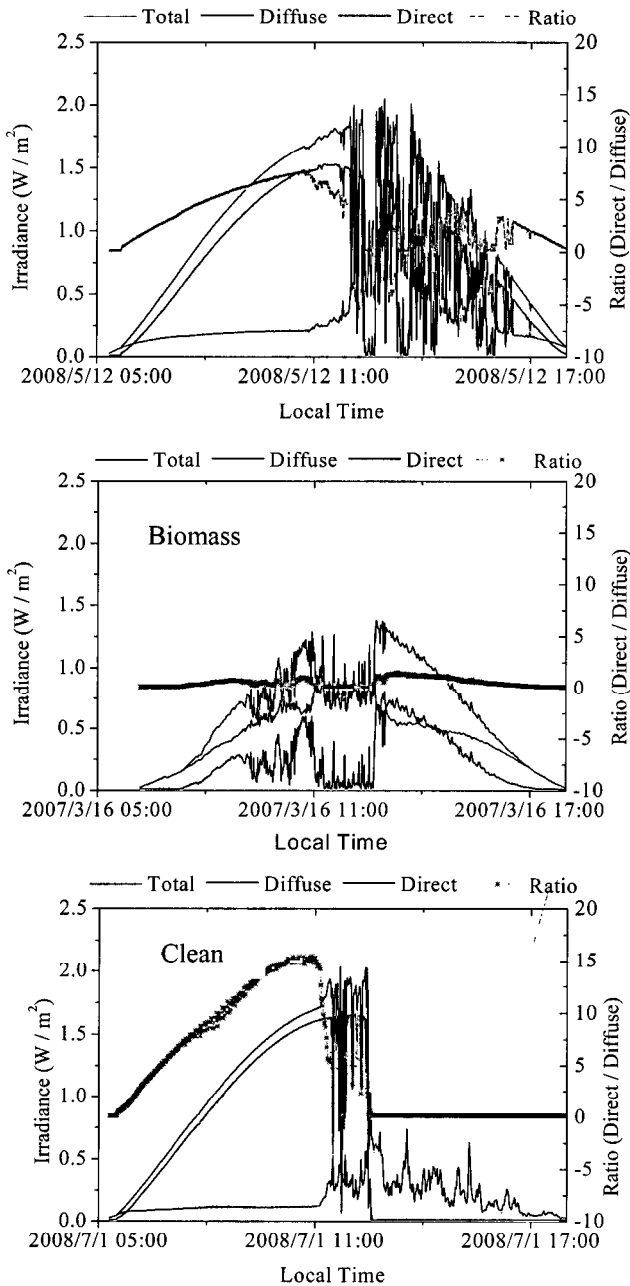


圖 9 不同事件中的各種輻射通量(500nm)。藍線：直射通量，紅線：散射通量，黑線：全天空輻射通量，粉紅交叉點：直射與散射通量之比值。

小。此結果與 Kim et al. (2006)研究韓國在生質燃燒事件下，其直射通量與散射通量之比值皆在 1 以下的情形相似。然而，Kim et al. (2006)在研究韓國處於沙塵暴期間，其直射通量與散射通量之比值也都在 1 以下，此結果則不同於吾人的研究，由圖 9 顯示鹿林山背

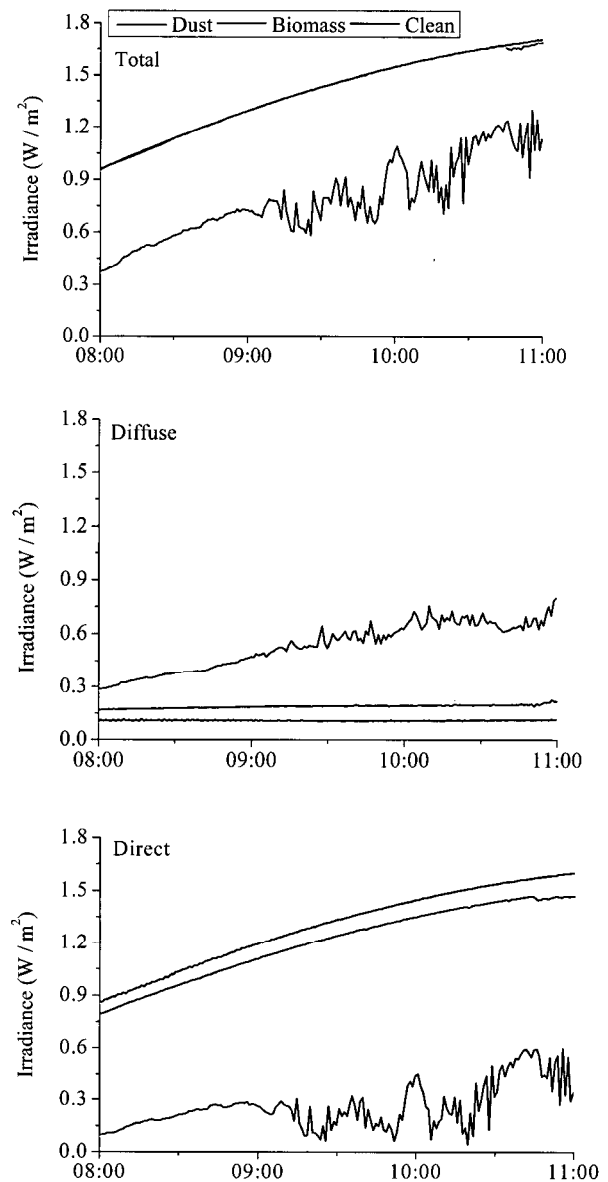


圖 10 於 8:00-11:00 之不同事件中的各種輻射通量(500nm)。藍線：乾淨背景，紅線：生質燃燒，黑線：沙塵。上圖：全天空輻射通量，中圖：散射通量，下圖：直射通量。

景站在沙塵事件下直射通量與散射通量之比值普遍大於 1。這之間的差異為主要的西風帶範圍未包括台灣，所以未將大量沙塵氣膠傳至鹿林山，進而大大減少鹿林山背景站受到沙塵的污染。乾淨背景狀態之日平均 PM_{10} 值僅有 $6.07 \mu g m^{-3}$ 明顯低於沙塵事件 ($21.2 \mu g$

m^{-3}) 與生質燃燒 ($52.8 \mu\text{g m}^{-3}$) 期間。乾淨狀態下之日平均 $\text{AOD}_{500\text{nm}}$ 為 0.032，而當受到生質燃燒影響時，其 $\text{AOD}_{500\text{nm}}$ 上升至 0.83；沙塵事件期間，其 $\text{AOD}_{500\text{nm}}$ 上升至 0.11。根據以上結果凸顯出，鹿林山背景站未受到污染事件影響時，其大氣環境極為乾淨，若受到特殊事件衝擊時，則 $\text{AOD}_{500\text{nm}}$ 與 PM_{10} 將大幅提升，尤其是生質燃燒期間更為顯著。

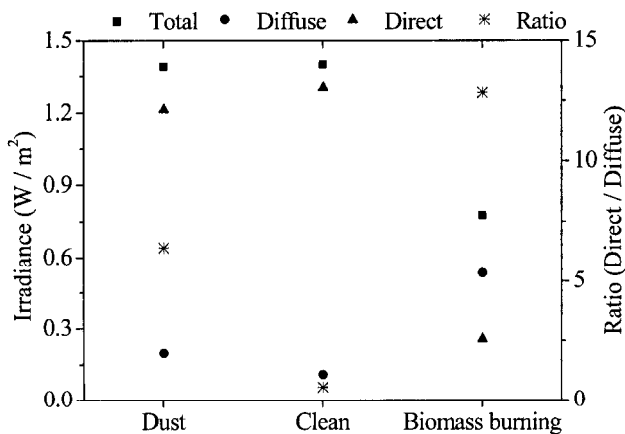


圖 11 於 8:00-11:00 之不同事件中的各觀測參數平均值(500nm)。藍三角形：直射通量，紅圓形：散射通量，黑方形：全天空輻射通量，粉紅交叉點：直射與散射通量之比值。

六、總結與討論

鹿林山大氣背景站所觀測之 $\text{AOD}_{500\text{nm}}$ 、 PM_{10} 與 CO 在每年春季皆明顯上升，此時正是東南亞生質燃燒盛行期間，且鹿林山位於污染源下風處。顯示生質燃燒期間，不僅將污染物隨氣流帶來鹿林山測站，也造成 AOD 升高。5-9 月期間， Ångström exponent 值相對較低，而相對濕度與垂直氣柱水氣量卻較高。而在 12 月至隔年 3 月， Ångström exponent 值相對較高，則相對濕度與垂直氣柱水氣量相對較低。此現象似乎顯示水氣含量較多之環境下，氣膠因吸濕成長

導致 Ångström exponent 變小；反之，水氣含量較少時， Ångström exponent 則會較大。

日變化中， $\text{AOD}_{500\text{nm}}$ 與 PM_{10} 隨時間逐漸上升，可能受到山谷風影響。其山谷風可能將平地污染物傳至鹿林山測站，造成 $\text{AOD}_{500\text{nm}}$ 與 PM_{10} 濃度呈現增加趨勢。10-12 點期間 Ångström exponent 逐漸增加，且在 12 點時 Ångström exponent 有極大值 (1.21 ± 0.97)，而相對濕度則有最小值 (57.6%)。中午過後 12-15 點期間， Ångström exponent 逐漸下降，相對濕度則迅速上升。

PM_{10} 與 $\text{AOD}_{500\text{nm}}$ 相關係數為 0.75，其相關性明顯高於過去研究結果。而在相對高壓下之相關係數 (0.81) 明顯比相對低壓狀態 (0.48) 高許多。來自海洋與高層傳送之氣膠所造成 $\text{AOD}_{500\text{nm}}$ 皆小於 0.1，但海洋氣團 Ångström exponent 主要集中於 1 以內，而高層傳送氣團 Ångström exponent 主要集中於 1.5 之上，凸顯來自海洋與高層傳送之氣膠皆較乾，而高層傳送之氣膠粒徑主要以相對細顆粒氣膠佔絕大多數；而海洋氣團則是相對粗顆粒氣膠佔絕大比例。

直射通量與散射通量之比值在沙塵、生質燃燒與乾淨背景狀態下分別為 6.34、0.78 與 12.75，表示在生質燃燒事件中垂直氣柱之氣膠容載量最大；則乾淨環境下氣膠容載量最小。總輻射量之平均值在沙塵、生質燃燒與乾淨背景狀態下分別為 1.39、0.78 與 1.40 W m^{-2} ，顯示鹿林山背景站受到此生質燃燒事件影響，接收到之總太陽輻射量值約為乾淨背景值的一半。而沙塵氣膠較難達至鹿林山背景站，則總太陽輻射量值較不受到氣膠衰減之影響。

參考文獻

- 林能暉、劉振榮及倪簡白 2002: 高污染區域大氣邊界層密集觀測及對污染物擴散之研究，行政院環境保護署。
- 徐睿鴻 2007: 鹿林山與中壠氣膠光學垂直特性之監測與比較。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
- 郭俊江 2006: 光達及太陽輻射儀之應用：2005 年中壠氣膠光學垂直特性及邊界層高度之變化。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
- 賈浩平 2008: 微脈衝光達及太陽輻射儀之應用：2005-2007 年中壠地區氣膠光學垂直特性分析。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
- Eck, T. F., B. N. Holben, O. Dubovik, A. Smirnov, P. Goloub, H. B. Chen, B. Chatenet, L. Gomes, X.-Y. Zhang, S.-C. Tsay, Q. Ji, D. Giles, and I. Slutsker, 2005: Columnar aerosol optical properties at AERONET sites in central eastern Asia and aerosol transport to the tropical mid-Pacific, *J. Geophys. Res.*, **110**, 451-467.
- Harrison, L., J. Michalsky and J. Berndt, 1994: Automated multifilter rotating shadow-band radiometer: an instrument for optical depth and radiation measurements, *Applied Optics*, **33**, 5,118-5,125.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007: *Climate Change 2007: Technical Summary*, edited by F. Joos et al., Cambridge Univ. Press, New York.
- Kim, J.E., S.Y. Ryu, Z.H. He, and Y.J. Kim, 2006: Spectral aerosol optical depth variation with different types of aerosol at Gwangju, Korea, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **68**, 1609-1621.
- Krotkov, N., P.K. Bhartia, J. Herman, J. Slusser, G. Scott, G. Labow, A.P. Vasilkov, T.F. Eck, O. Dubovik, and B.N. Holben, 2005a: part 1: ultraviolet multifilter rotating shadowband radiometer calibration and intercomparison with CIMEL sunphotometers, *Opt. Eng.*, **44**, 4, 041004-1 - 041004-17
- Sano, I., S. Mukai, Y. Okada, B. N. Holben, S. Ohta, and T. Takamura, 2003: Optical properties of aerosols during APEX and ACE-Asia experiments, *J. Geophys. Res.*, **108**, D23, doi:10.1029/2002JD003263.
- Smirnov A., B.N. Holben, T.F. Eck, O. Dubovik, and I. Slutsker 2000: Cloud-Screening and Quality Control Algorithms for the AERONET Database, *Rem. Sens. Environ.*, **73**, 337-349.

Application of multifilter rotating shadowband radiometer : A study of aerosol optical properties in Mt.Lulin during

Ting-Hao Chang¹ Neng-Huei Lin² Sheng-Hsiang Wang³

Institute of Atmospheric Physics, National Central University

Abstract

The purpose of this study is to study the vertical optical properties of aerosols observed at Mt. Lulin Atmospheric Background Station (2862 m; 23.47°N, 120.87°E) from April 2006 to December 2008 with simultaneous measurements with a multifilter rotating shadowband radiometer (MFRSR). The AOD500nm, CO and PM10 were relatively high in spring (March-May), due to the impact of biomass burning from Southeast Asia. The variation of monthly mean AOD500nm and PM10 was similar, with the maximum values occurring in March. Monthly mean Ångström exponent values were lower between May and August and higher between December and March. However, relative humidity and columnar water vapor showed an opposite trend. Besides, the AOD500nm increased in the afternoon, as well as the PM10. The Ångström exponent significantly decreased in the afternoon, but relative humidity gradually increased.

AOD500nm and PM10 had a better correlation, relative high-pressure weather conditions under particularly in winter (R:0.82), while a poor correlation in the summer and autumn. The HYSPLIT trajectory analysis helped classify air mass sources. The minimum AOD500nm was associated with the air mass from the ocean, while maximum value was associated with the air mass from Southeast Asia. The minimum and maximum Ångström exponent were associated with the air mass from the ocean and from the high-level, respectively.

The AOD500nm evidently increased during the dust and biomass burning events, and was about 2.5 times and 15 times that in maritime air mass. Based on particle size distribution and Ångström exponent, the dust aerosol had a large mode, while biomass burning aerosol had a fine mode. The ratio of direct flux to diffuse flux in the dust event, biomass burning, and background were 7.42, 1.41, and 15.32, respectively, indicating that the largest vertical column as aerosol loading appeared in the biomass burning event, while the smallest occurred in the clean background air.

Key Words : aerosol optical depth , Ångström exponent