

亞洲地區懸浮微粒之時空分布分析

林瑋翔 陳盈蓁 余嘉裕

中國文化大學地學研究所大氣科學組

摘要

本研究主要使用 TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) 繞極衛星所量測之懸浮微粒指數，並使用 NCEP/NCAR 再分析之風場資料、CMAP 降水資料分析亞洲地區懸浮微粒時空分布特徵。

由經驗正交函數分析結果得知亞洲地區懸浮微粒分布以大陸及中南半島地區較為顯著，發生時間皆在春季時期，而其中東南亞地區以 3、4 月時較為顯著，其發生原因跟東南亞（中南半島）地區的生質燃燒現象有關。根據大氣氣流場分析得知東南亞生質燃燒在春季有向東高空輸送至台灣地區之情形。另外根據大陸地區的經驗正交函數分析得知大陸地區以 3~5 月發生頻率最高，發生原因與大陸沙塵暴現象有關，且其分佈範圍廣大，甚至有涵蓋至韓國與日本境內。

關鍵詞：懸浮微粒，經驗正交函數，沙塵暴，生質燃燒

一、前言

全球大氣中懸浮微粒來源有很多種，有沙塵暴造成之無機物沙塵，工廠排放的煙煤，海洋的硫酸鹽懸浮微粒，以及森林火災所產生的霾害...等等。全球懸浮微粒濃度分布最大區域是在非洲地區，其境內多屬沙漠地區及雨林地區，因而時常有沙漠沙塵暴及燃燒雨林所造成的懸浮微粒產生。

近年來，亞洲地區懸浮微粒現象漸受重視，亞洲地區大氣中懸浮微粒來源有二：一為大陸地區之沙漠沙塵暴所造成，為自然產生之現象，在春季（3~5 月）的發生頻率最高，而其產生的懸浮微粒有向東及向東南輸送之現象。另一為東南亞（中南半島）地區之生質燃燒（Biomass Burning）現象，根據 INDOEX (Indian Ocean Experiment) 報告指出，亞洲地區上空有由生質燃燒（Biomass Burning）及工業排放所造

成之厚達 3 公里名為「亞洲褐雲」的霾雲。

本研究主要在探討亞洲大陸地區沙塵暴及東南亞地區生質燃燒所產生之懸浮微粒的時空分布特徵。生質燃燒為人為活動所造成，包括：燃燒石化燃料、使用木材或牛糞作為燃料、為開墾取得農地或土地建設時的森林及草原的焚燒，以及每年農耕收穫後殘枝和稻穀的焚燒等的低科技污染源。

而燃燒所產生之懸浮微粒為具有吸收及放射大氣中短波輻射的黑碳粒子，IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 指出其可使到達地面及海洋的陽光減少 10%~15%，使海洋及地表溫度較低，而大氣層的溫度上升，也影響到雨季的降水型態改變 (Rotstayn and Lohmann, 2002)。燃燒過程也可將較大的氣懸粒子轉變成大量的超微粒子，對固定質量濃度而言，超微粒子更能散射光線，因此影響大氣能見度及輻射平衡

(陳, 2002)。其所造成之影響不亞於沙塵暴所帶來的影響, 而懸浮微粒對於區域空氣品質和氣候(透過改變輻射平衡)有顯著之衝擊。

懸浮微粒對於跟氣候系統的交互作用有很多的方法, 有分為直接作用與間接作用。直接作用為對太陽短波輻射和陸地長波輻射的吸收與散射。由於懸浮微粒的產生導致進來的淨太陽輻射散射, 使得淨太陽輻射的減少, 因此造成氣候系統的冷卻(Penner et al., 1998; Tegen et al., 1996; Hobbs et al., 1997)。且部分懸浮微粒中包含有黑碳粒子, 類似黑體輻射, 具有吸收性, 可吸收太陽短波輻射, 因此加熱了充滿懸浮微粒的大氣層, 此結果會造成當地的雲覆蓋減少及佔據新雲的形成機會(Hansen et al., 1997; Ackerman et al., 2000)。

間接作用為改變雲的輻射特性(Nober et al., 2003), 特別是跟雲滴光譜有關, 因為懸浮微粒可改變雲的反照率(Lohmann and Feichter, 1997; Lohmann et al., 2000; Twomey, 1977)、雲的生命期和潛熱釋放而降水型態過程的改變(Lohmann and Feichter, 1997; Albrecht, 1989), 尤其是深對流雲系統的生成影響(Nober et al., 2003)。

二、資料來源與研究方法

本研究所採用資料包括(1) NCEP/NCAR 再分析之月平均 700hPa 風場資料。水平解析度為 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 經緯網格, 選用資料時間從 1997 至 2001 年。(2) CMAP (Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation) 所提供之月平均降水資料, 空間上解析度為 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 經緯網

格, 資料選用時間為 1997 至 2001 年。

(3) 美國國家航空太空總署 (NASA) 提供之 Earth Probe 繞極衛星 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) 所量測之逐日及月平均懸浮微粒指數 (Aerosol Index) 資料, 其水平解析度為 $1.25^\circ \times 1^\circ$ 經緯網格。Earth Probe 衛星資料選用時間為 1997 年至 2003 年。為了解懸浮微粒的時空分布特徵, 本研究使用經驗正交函數分析 (EOF), 以及使用緯向及經向平均的分析來初步探討懸浮微粒的大尺度輸送狀況。

三、懸浮微粒及其背景場之時空特徵分析

為初步了解全球懸浮微粒的空間及時間的分布, 吾人將 1997 年至 2002 年 Earth Probe 衛星所量測之懸浮微粒指數 (Aerosol Index) 之月平均資料作經驗正交函數 (EOF) 分析, 圖 1 為 EOF1 分析結果, 上圖是懸浮微粒指數的全球分布, 下圖是相對於此分布的主分量時間序列, 其可解釋訊號變異量為 37.78%。由分析可發現懸浮微粒的主要變異中心在每年北半球夏季時期, 在西北非地區, 有較強的懸浮微粒訊號出現, 此地區多為沙漠分布, 最可能是沙漠沙塵暴所產生之訊號, 尤其是以 1998 年略為顯著, 2001 年較微弱。而大西洋地區在此時也有較大的懸浮微粒訊號出現, 其形成的原因可能為撒哈拉沙漠西傳沙塵的結果。而亞洲地區的訊號相對於非洲地區來的弱, 在 EOF1 分析中看不到其訊號分布。圖 2 為 EOF2 分析結果, 其可解釋訊號變異量為 13.78%。可以發現全球懸浮微粒訊號分布還是以非洲地區所

主宰，但值得注意的是在亞洲地區也有訊號值出現，其主分量時間序列分布約為北半球春季，而仍是以 98 年較為顯著。此訊號分佈包含有沙漠沙塵暴及東南亞地區的生質燃燒現象，圖中可得知中南半島地區的生質燃燒情形，在此時期較大陸蒙古地區沙塵暴顯著。

圖 3 為 1997 至 2002 年大陸地區的經驗正交函數之 EOF1 分析結果，懸浮微粒訊號主要分布中心在華中、華北及渤海灣地區附近，為蒙古地區沙塵暴東傳沙塵的結果，其可解釋變異量為 39.04%，主分量時間序列為 3 月至 5 月左右，而以 4 月時較為顯著，其中在 99 至 01 年時期較為顯著，而 02 時與其它年份相比，此區域出現沙塵的現象則弱了許多。圖 4 為 1997 至 2002 年東南亞地區的經驗正交函數之 EOF1 分析結果，其主要變異中心在海南島地區附近，可解釋訊號變異量為 66.35%，主分量時間序列為 2 月至 4 月左右，以 3 月較為顯著，在 98、99 年時較為顯著。由此分析可更明確得知東南亞地區生質燃燒現象主要發生時間及其分布。

圖 5 為東南亞地區 1997 年至 2003 年懸浮微粒指數之緯向平均分析，可以明顯發現懸浮微粒的季節變化循環，其強值區分布都在 $15^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 之間，分布時間為北半球春季時期，值得注意的是在 1997 年赤道地區附近有高值分佈出現，與當年印尼森林大火所造成之霾害有關，也可發現中南半島地區之生質燃燒強度跟印尼森林大火所產生之懸浮微粒強度相當。圖 6 為 1997 年至 2003 年中南半島地區春季時（3~5 月）懸浮微粒指數值大於

2.1 的日數統計分析，可以發現在 1998、1999、2002 年有日數較多的情形，這是否跟 El Nino 發生有關，需要進一步資料分析。

圖 7、圖 8 為 97、98 年 3、4 月之懸浮微粒指數緯向與經向平均分析，可看到在 98 年時懸浮微粒訊號強度明顯增加，且由分析也可發現高懸浮微粒值隨著時間有向東及向北移動的現象，從經向平均分析結果更可知其向東移動非常快速，且有傳送影響至東經 120 度台灣附近。而根據其環境背景場分析，圖 9、圖 10 為亞洲地區 700hPa 氣流場及降水距平場，可發現懸浮微粒約是以 700hPa 之高度向東及向北輸送，此時中南半島地區為西風到西南風分量分佈；而此時降水場之分佈為負距平分佈，顯示此地區較為乾燥，有利於懸浮微粒濃度的增加。

四、結論

經由經驗正交函數 (EOF) 分析結果得知全球懸浮微粒的分布地理位置，在非洲西北部沙漠地區長年有高懸浮微粒訊號分布，尤其以 3~9 月這段時期較強，為沙塵暴所造成之沙塵現象，且在北半球的夏季時期，北非地區之撒哈拉沙漠的沙塵有向西輸送至大西洋地區的現象。而亞洲地區也有高懸浮微粒的訊號分布，由大陸與東南亞地區的經驗正交函數 (EOF) 分析結果，得知高懸浮微粒濃度發生時間約為每年的 2 至 5 月份，在華中、華北與渤海灣地區與中南半島地區。其中大陸地區可能為內、外蒙沙塵暴東傳的結果；而中南半島地區的高懸浮微粒現象為東南亞生質燃燒所造成之現象。由氣流場和懸浮微粒指數的

緯向及經向平均分析結果，可初步推估中南半島的懸浮微粒輸送方向，有以 700hPa 高度向東及向北輸送之情形，但南北方向的輸送情形較不顯著。而根據東南亞地區降水場距平分析及懸浮微粒的日數統計，可得知其降水分布和懸浮微粒的關係，當降水較少時，則大氣較為乾燥，而懸浮微粒的量測濃度則會較大，直至夏季季風肇始之後較為和緩。而懸浮微粒濃度的增多可能與 El Nino 發生時，造成亞洲地區降水減少現象有關，也代表著懸浮微粒與區域氣候有直接及間接的相關性，而為了更進一步了解當東南亞地區生質燃燒所產生之懸浮微粒濃度增加時，是否會對於區域氣候的降水強度改變及其分布之地理位置的變動，未來將利用簡單大氣數值模式來檢驗其生質燃燒所產生黑碳懸浮粒子對於區域降水的影響。

五、參考資料

陳正平, 2002: 燃燒廢氣中之再凝結核化機制, 自然科學簡訊, 14-1, 23-27.

Dubovik, O., Brent Holben, Thomas F. Eck, Alexander Smirnov, Yoram J. Kaufman, Michael D. King, Didier Tanre, and Ilya Slutsker, 2002: Variability of Absorption and Optical Properties of Key Aerosol Types Observed in Worldwide Locations. *J. Atmos. Sci.*, **59**, 590-608.

Liu, H., W. L. Chang, Samuel J. Oltmans, L. Y. Chan, and Joyce M. Harris, 1999: On springtime high ozone events in the lower troposphere from Southeast Asian biomass burning. *Atmos. Environ.*,

33, 2403-2410.

Nober, F. J., Hans -F. Graf, and Daniel Rosenfeld, 2003: Sensitivity of the global circulation to the suppression of precipitation by anthropogenic aerosols. *Global and Planetary Change*, **37**, 57-80.

Rotstayn, L. D., and Ulrike Lohmann, 2002: Tropical Rainfall Trends and the Indirect Aerosol Effect. *J. Climate*, **15**, 2103-2116.

Torres, O., P. K. Bhartia, J. R. Herman, A. Sinyuk, Paul Ginoux, and Brent Holben, 2002: A Long-Term Record of Aerosol Optical Depth from TOMS Observations and Comparison to AERONET Measurements. *J. Atmos. Sci.*, **59**, 398-413.

圖表

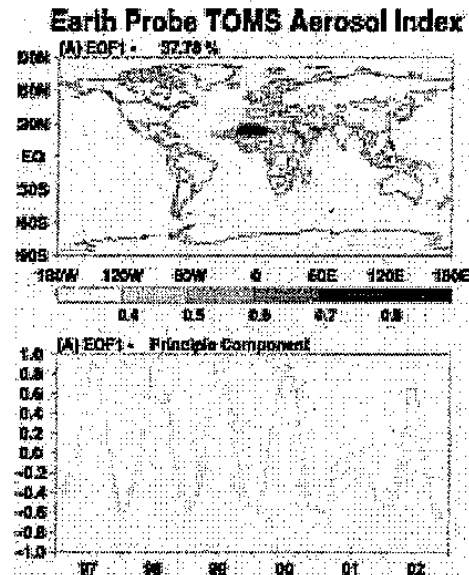


圖 1：1997 至 2002 年全球懸浮微粒指數之經驗正交函數分析 (EOF1)。

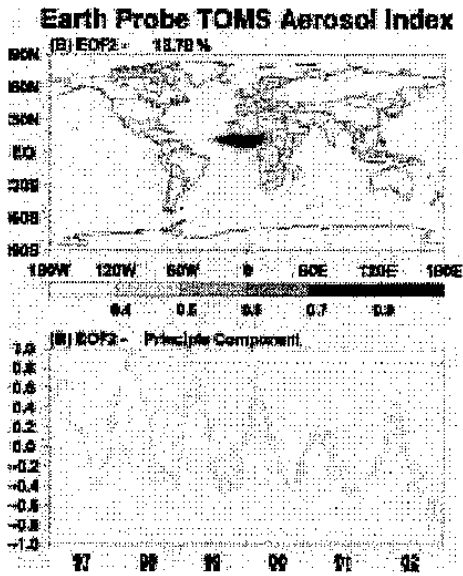


圖 2：1997 至 2002 年全球懸浮微粒指數之經驗正交函數分析 (EOF2)。

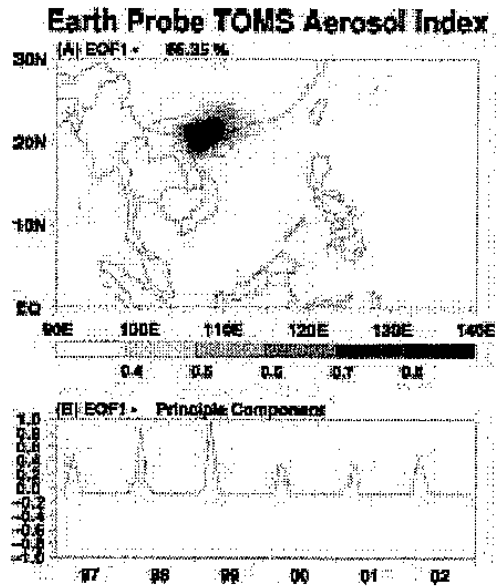


圖 4：1997 至 2002 年東南亞地區懸浮微粒指數之經驗正交函數分析 (EOF1)。

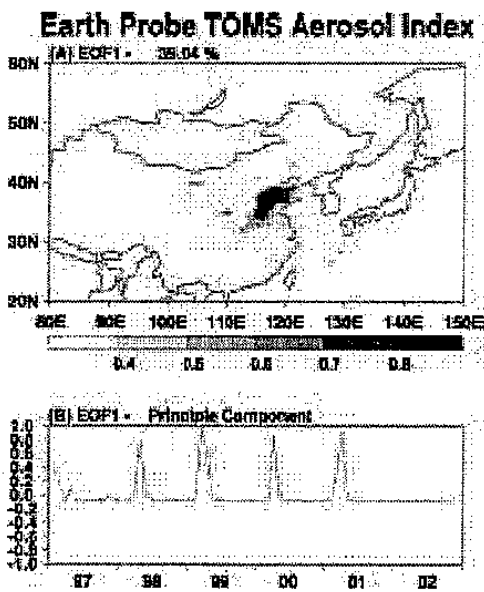


圖 3：1997 至 2002 年大陸地區懸浮微粒指數之經驗正交函數分析 (EOF1)。

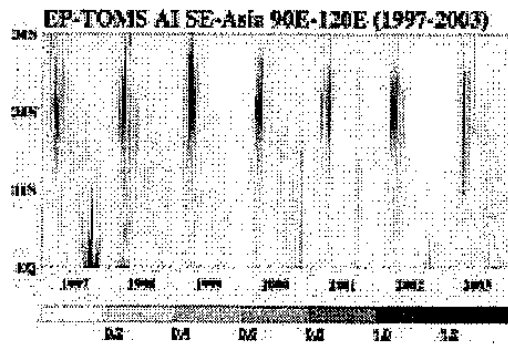


圖 5：1997 至 2003 年東南亞地區懸浮微粒指數之緯向平均分析。

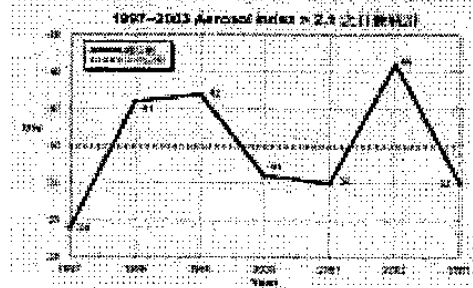


圖 6：1997 至 2003 年東南亞地區春季 (3~5 月) 懸浮微粒指數值 > 2.1 之日數統計

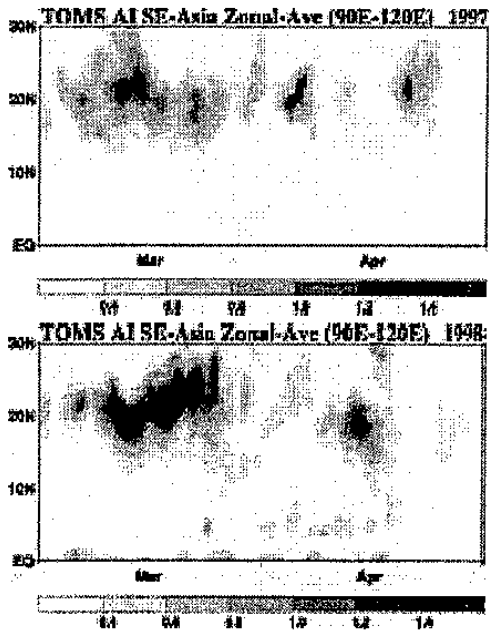


圖 7：1997、1998 年 3、4 月東南亞地區的懸浮微粒指數之緯向平均分析。

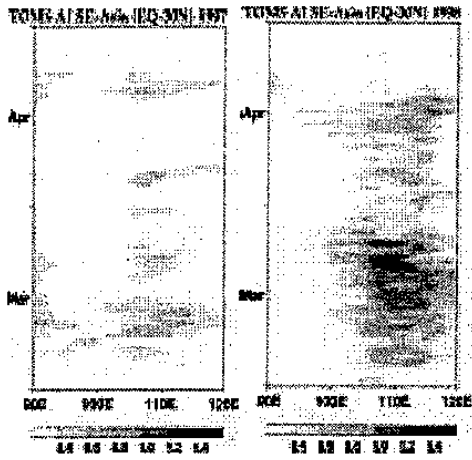


圖 8：1997、1998 年 3、4 月東南亞地區的懸浮微粒指數之經向平均分析。

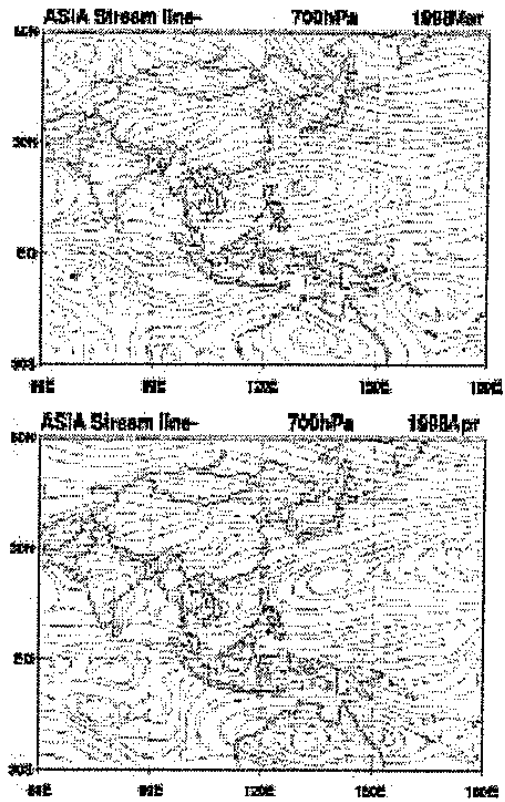


圖 9：1998 年 3、4 月之東南亞地區 700hPa 流線場。

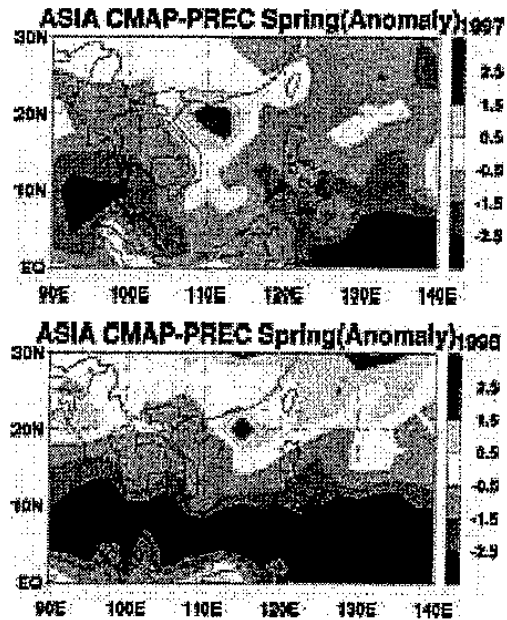


圖 10：1997、1998 年春季 (3~5 月) 東南亞地區降水距平分析。