

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

子計畫四：氣候分析與動力機制探討

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2111-M-034-002-AGC

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：中國文化大學大氣科學系

計畫主持人：余嘉裕

共同主持人：周佳

計畫參與人員：周佳、卓盈旻、林瑋翔

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 26 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

亞洲大氣污染物之長程輸送與衝擊研究

子計畫四：氣候分析與動力機制探討

The Impact of Long-range Transport of Asian Atmospheric Pollutants: Climate Analysis and Examination of Dynamical Mechanisms

計畫編號：NSC 93-2111-M-034-002-AGC

執行期限：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

主持人：余嘉裕 中國文化大學大氣科學系

一、摘要

亞洲地區氣膠主要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，所產生的氣膠有向東及向東南輸送之現象。另一為中南半島地區之生質燃燒現象。

氣膠空間和時間分佈與區域降水氣後特徵有密切關係。UCLA QTCM 數值模擬結果顯示，在春季時期，中南半島地區的降水分佈呈現顯著減少的情形，以 4、5 月份減少程度較大，減少約 2 mm/day 左右，而中南半島與孟加拉灣地區的反氣旋式環流距平明顯加強。另外，在印度半島地區的降水差異則呈現顯著增加的情形。

關鍵詞：沙塵暴、生質燃燒

Abstract

The Asian aerosols come from two major sources: one from the dust storm originated over desert regions, which is regarded as natural source, while the other from the Southeast Asia owing to bio-mass burning processes.

The spatial and temporal distribution of aerosols is highly modulated by regional precipitation. The UCLA QTCM was employed to simulate the impact of bio-mass aerosols on regional

climate variability. The numerical results indicated that the bio-mass aerosols over Southeast Asia in springtime results in significant reduction of precipitation over Southeast Asia in association with anti-cyclonic anomalous circulation there. On the contrary, the precipitation over Indian Peninsula will be enhanced.

Key words: Dust Storm, Biomass Burning

二、前言

近年來，亞洲地區對於氣膠現象所造成的影響漸受重視，分佈於大東亞地區大氣中之氣膠來源有二：一為大陸西北地區之沙漠沙塵暴所造成，為自然產生之現象，其在春季(3~5 月)的發生頻率最高，而產生的氣膠除了滯留於沙塵源區外，大部分則為向東及向東南輸送之情形，對於台灣地區春季時期亦造成了相當程度的影響(余等，1996，2002)。另一種氣膠來源為東南亞(中南半島)地區之生質燃燒(Biomass Burning)現象所造成，根據 INDOEX (Indian Ocean Experiment) 之報告指出，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」的霾雲分佈，除了影響到當地的生活環境外，對於南亞地區的氣候型態可能造成相當程度的改變。

本研究主要採用美國國家航空太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)提供之 Nimbus 7 與 Earth Probe 繞極衛星 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) 所量測之逐日及月平均氣膠指數 (Aerosol Index) 資料來分析東南亞地區生質燃燒現象所產生之氣膠時空特徵分佈, 並使用資料包括美國國家環境預測與大氣研究中心 (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research, 簡稱 NCEP / NCAR) 之再分析資料與 CMAP (Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation) 所提供之月平均降水資料等分析東南亞氣候場, 以探討東南亞地區生質燃燒現象所產生之氣膠對於區域氣候的影響。

第一年(2003.8~2004.7)完成的工作以收集氣膠資料進行統計和氣候分析為主, 以作為未來二年研究之基礎。今年工作重點再探討東南亞生質燃燒產生之氣膠對區域氣候之影響。

三、資料與模式

(一) 資料來源

本文所採用的資料包括美國國家航空太空總署 (National Aeronautic and Space Administration, NASA) 所提供 Earth Probe 與 Nimbus 7 人造衛星之 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) 反演氣膠指數資料、NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research) 再分析大氣資料、CMAP (Climate

Prediction Center Merged Analysis of Precipitation) 降水資料。

(二) UCLA QTCM 模式

為了探討東南亞地區生質燃燒對亞洲短期區域氣候之影響, 除了透過衛星觀測資料分析之外, 本文另外使用一簡單的大氣環流模式 QTCM。QTCM 模式為 UCLA 之 Climate Systems Interactions group 所發展的一個介於 GCMs 與簡單模式之間的中度複雜模式, 其建立在簡單的數學式上, 可用來模擬整個熱帶地區的氣候, 且相對於簡單模式來說有較完整的物理參數化, 尤其是在長波、短波輻射與雲輻射回饋參數方面, 與 GCMs 相比, 此中度複雜模式的分析及運算速度皆較快及容易, 主要因為簡化了一些方程式, 如在垂直結構方面的簡化, 使其忽略地形的高度差異, 加快運算速度。

四、氣膠對區域氣候(降水)之關係

當大氣中出現氣膠分佈時, 可造成大氣上層的溫度增加, 底層地表部份則溫度下降, 其主要原因是受輻射改變的影響。王與林(2005)利用高解析太陽輻射傳送模式來估計亞洲生質燃燒所產生之氣膠對輻射的影響, 其結果發現此含碳氣膠微粒造成地表輻射量減少 10%~15%, 而上層則增加 5%~10% (王聖翔與林能暉, 2005), 進而使得地表降溫而高層增溫。依據其結果, 於是吾人透過改變 QTCM 模式中因含碳氣膠分佈所造成之 2~5 月中南半島地區地表向下短波輻射接收量減少約 10%, 其中減少比例從 2 月開始逐漸增加, 至 4 月時減少至 10%, 而 5 月開始降低減少的幅度, 6 月後輻射變化回復正常, 用以探討其對東南

亞地區降水強度的改變情形。

(一) 氣膠與降水時空特徵

圖 1 為東南亞地區包含季節效應之 TOMS 氣膠指數與 CMAP 降水場之第一個奇異值分解 (SVD1) 特徵向量分佈，其中圖 A 為 TOMS 氣膠指數之空間特徵分佈，圖 B 為 CMAP 降水場之空間特徵分佈，圖 C 為此兩變數之主分量時間序列分佈 (紅線代表 TOMS AI 之分佈，藍線代表 CMAP 降水分佈)，而 TOMS 氣膠指數與 CMAP 降水之相關百分比為 74%。從圖 A 可看到氣膠指數的主要正變異量區域分佈在整個中南半島北部地區，其中以海南島附近地區為最大正變異量分佈中心。由圖 C 之氣膠指數時間序列來看，其發生時間約在北半球春季時期，與前面章節所討論之中南半島地區氣膠指數 EOF1 分析結果一致，為東南亞地區春季時期生質燃燒現象所造成之高氣膠指數分佈。另外，從圖 B 之降水特徵向量分佈可以發現其主要之負變異量分佈在中南半島地區，其中最大負變異量中心位於大陸南部與海南島地區，與 TOMS 之氣膠指數分佈相反，由其時間序列來看，中南半島的降水分佈較少時間為北半球春季時期，也與氣膠指數之分佈類似，即表示在春季時期，當中南半島地區生質燃燒所造成之氣膠濃度增加時，此時期的中南半島地區降水分佈亦呈現減少的情形。

由於 TOMS 所量測之氣膠指數為分佈在大約 3000 公尺上下之高度，因此吾人亦利用 SVD 來分析東南亞地區 TOMS 氣膠指數與 700hPa 高度之相對溼度場之時空特徵分佈與相關性。圖 2 為東南亞地區包含季節效應之 TOMS

氣膠指數與 NCEP 700hPa 相對溼度場之第一個奇異值分解 (SVD1) 特徵向量分佈，圖 A 為氣膠指數之空間特徵分佈，圖 B 為 700hPa 相對溼度之空間特徵分佈，圖 C 為此兩變數之主分量時間序列分佈 (紅線代表 TOMS AI 之分佈，藍線代表 700hPa 相對溼度分佈)，而氣膠指數與 700hPa 相對溼度之相關百分比為 58%。從圖 A 可以看到其分佈與圖 1A 分佈相似，主要的正變異量區域在中南半島北部地區，最大正變異中心亦在海南島附近，其時間序列的分佈情形也與圖 1C 類似，皆在北半球春季時期有曲線高峰出現。圖 B 為 700hPa 高度之相對溼度空間特徵分佈，從圖可以看到中南半島地區，尤其是在海南島附近，有最大負變異量分佈出現，而由圖 C 之主分量時間序列來看，其分佈時間亦在春季時期左右出現高峰，跟 TOMS AI 之時間曲線分佈相似，與圖 1 之氣膠指數和降水 SVD 分析結果比較結果也呈現相同的情形，即表示在中南半島地區有氣膠分佈時，此區的大氣亦呈現降水減少與較乾燥之情形。

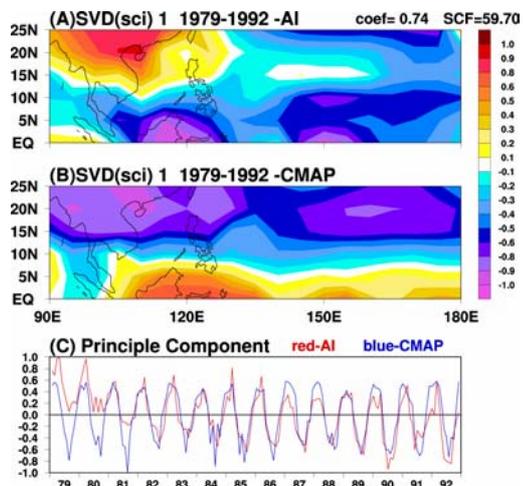


圖 1：1979~1992 年 TOMS 氣膠指數與 CMAP 降水資料之 SVD1 分析結果，其中主分量時間序列之紅色線條為 TOMS AI，藍色線條為 CMAP 降水。

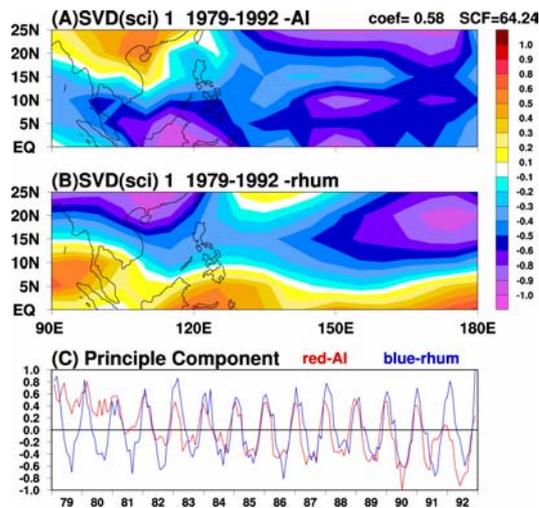


圖 2：1979~1992 年 TOMS 氣膠指數與 NCEP 700hPa 相對溼度場之 SVD1 分析結果，其中主分量時間序列之紅色線條為 TOMS AI，藍色線條為 700hPa 相對溼度場。

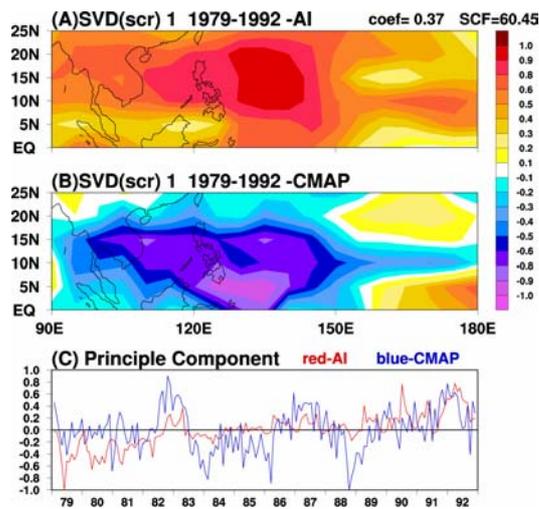


圖 3：1979~1992 年 TOMS 氣膠指數與 CMAP 降水資料去除季節效應之 SVD1 分析結果，其中主分量時間序列之紅色線條為 TOMS AI，藍色線條為 CMAP 降水。

圖 3 為東南亞地區去除季節效應之 TOMS 氣膠指數與 CMAP 降水場之第一個奇異值分解 (SVD1) 特徵向量分佈，TOMS 氣膠指數與 CMAP 降水之相關百分比為 37%。從圖 A 可看到氣膠指數的主要正變異量區域分佈在整個東南亞及西北太平洋地區，其中以

菲律賓東方之海洋地區為最大正變異量分佈中心，而圖 B 之降水負變異區域亦分佈在整個西北太平洋地區。由圖 C 之氣膠指數時間序列來看，其發生時間在 90~92 年有曲線高峰出現，由歷史資料得知在其附近的呂宋島東方之 Pinatubo 山脈於此時期火山爆發，且持續至 92 年時達到最高峰，因此，此時期之菲律賓與西太平洋附近皆受到火山灰之氣膠的影響。另外，配合著降水曲線來看，此時期的降水亦受到 El Nino 影響而減少，從圖 C 之降水時間序列分佈可以發現其主要為 ENSO 事件之訊號分佈，在 El Nino 發生時，在南亞及西北太平洋地區為降水減少之地區，尤其在 82/83 年降水減少時，南亞地區之氣膠分佈亦出現增加的情形。

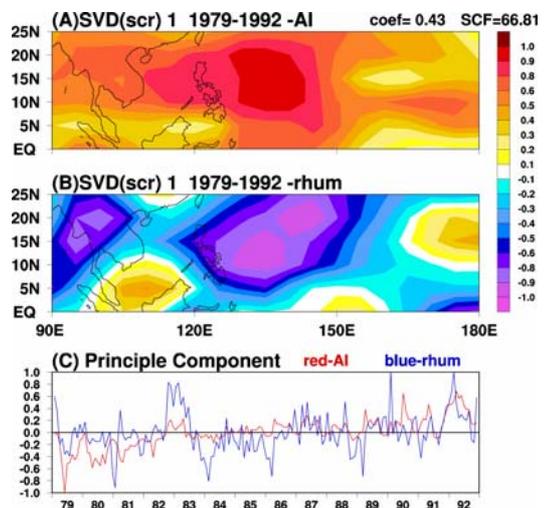


圖 4：1979~1992 年 TOMS 氣膠指數與 NCEP 700hPa 相對溼度場去除季節效應之 SVD1 分析結果，其中主分量時間序列之紅色線條為 TOMS AI，藍色線條為 700hPa 相對溼度場。

圖 4 為東南亞地區去除季節效應之 TOMS 氣膠指數與 700hPa 相對溼度場之 SVD1 結果，兩者之相關百分比為 43%。從圖 A 可看到氣膠指數的主要

正變異量區域分佈在整個東南亞及西北太平洋地區，其中以菲律賓東方之海洋地區為最大正變異量分佈中心，與圖 3 之分佈相同，而圖 B 之 700hPa 高度之相對溼度負變異區域亦分佈在整個西北太平洋地區。由圖 C 之氣膠指數時間序列來看，其分佈曲線亦與圖 3 之分析結果一致，即表示此時期之分佈現象為火山爆發所產生火山灰氣膠而造成，且在此時亦有因 El Nino 事件發生而造成附近地區降水減少之情形。

(一) 氣膠對降水影響數值模擬

圖 5 為 1982~1998 年中南半島地區改變短波輻射後降水分佈與未改變之前的差異之時間序列分佈情形。由圖可以發現中南半島地區在有含碳氣膠存在而造成短波輻射減少的情形出現時，每年的春、夏季之降水都較之前未含輻射效應改變前的分佈來得少的情形，其中在春季時期的降水變化最大，另外也可看到在聖嬰時期的降水變化情形更為顯著。

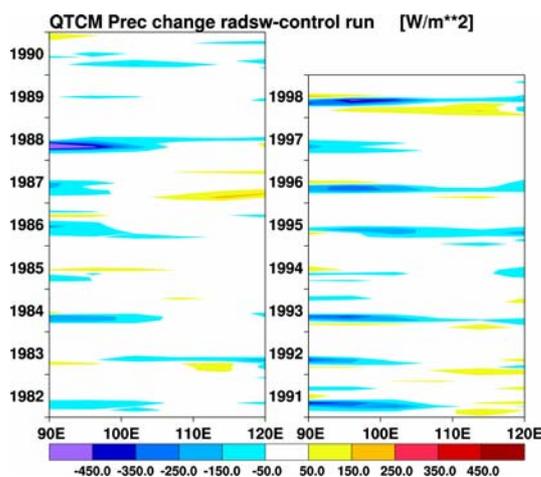


圖 5：圖 5.2.5：1982~1998 年中南半島地區改變短波輻射後降水分佈與未改變之前的差異之時間序列分佈情形。

月受氣膠影響而輻射效應改變與未改變之前的降水差異與 1000hPa 氣流場差異氣候分佈（其餘月份請詳見附錄 F）。由 2 月分佈情形來看，可以發現此時中南半島東南部地區的降水分佈有些微增加的情形，約增加不到 1 mm/day，而氣流分佈為東風分量的情況；但在 3 月時期，中南半島地區的降水呈現減少的情形，其減少程度在 1 mm/day 左右，且從氣流場來看，由原本的東風分量轉變成西風分量，另外在孟加拉灣地區的氣流分佈呈現反氣旋式距平，與圖 3 月降水氣候分佈（圖未附）情形相比，發現此時的孟加拉灣地區的反氣旋式環流加強，可能使得此時期之降水減少的現象發生。

至 4 月時期，孟加拉灣地區的反氣旋式環流距平持續加強，且中南半島地區的降水分佈亦呈現顯著減少的情形，減少超過 2 mm/day 以上，另外值得注意的是在印度半島地區的降水差異呈現明顯的增加情形，增加程度在 1 mm/day 上下；到了 5 月時期，可以發現中南半島及孟加拉灣地區的降水差異呈現持續減少的現象，且分佈範圍有擴大情況，而印度半島地區的降水差異亦呈現顯著增加的情形，且增加強度超過 2 mm/day 的現象，是否因為氣膠分佈存在而輻射效應的改變，進而造成印度半島地區的季風降水分佈出現變化，有待往後接續更深入的研究探討。

圖 6 (a) ~ (d) 為大東亞地區 2~5

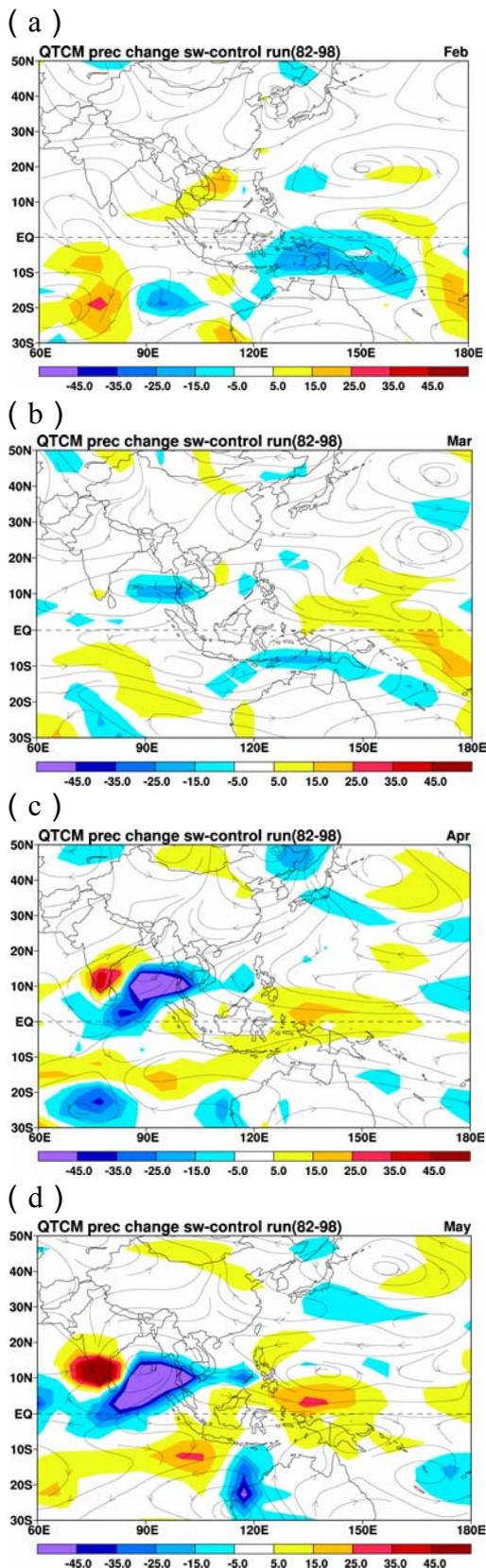


圖 6：(a) ~ (d) 為大東亞地區 2~5 月受氣膠影響而輻射效應改變與未改變之前的降水差異與 1000hPa 氣流場差異氣候分佈。降水單位為 W/m^2 。

四、結論

由前述結果顯示，氣膠空間和時間分佈與區域降水氣候特徵有密切關係。利用奇異值分解法來探討南亞地區氣膠與降水之時空分佈特徵結果顯示，氣膠主要正變異分佈在整個中南半島北部地區，其中以海南島附近地區為最大正變異量分佈中心。由時間序列來看，其發生時間約在春季時期，為東南亞生質燃燒現象所造成之高氣膠分佈。而降水主要負變異中心亦分佈在中南半島地區，與氣膠正、負分佈相反，且其時間序列分佈與氣膠類似，表示在春季時期，當中南半島地區生質燃燒所造成之氣膠濃度較高時，而此時期之中南半島地區降水亦呈現較少的情形。

最後透過改變 QTCM 模式中因含碳氣膠分佈所造成之春季時期中南半島地區地表向下短波輻射接收量的減少，來探討其對南亞降水改變的情形。模式結果顯示，在春季時期，中南半島地區的降水分佈呈現顯著減少的情形，以 4、5 月份減少程度較大，減少約 2 mm/day 左右，而中南半島與孟加拉灣地區的反氣旋式環流距平明顯加強。另外，在印度半島地區的降水差異則呈現顯著增加的情形。

五、參考文獻

- 王式功，董光榮，陳惠忠，尚可政，2001: 全球沙塵暴警世錄-全球沙塵暴研究進展，中國環境科學出版社，1, 1-9.
- 王聖翔，林能暉，2005: 估算 TRACE-P 實驗期間生質燃燒氣膠對於南亞地區之輻射衝擊，第五屆全國大氣

- 科學研究生學術研討會, **2A-4**, 67-72
- 余嘉裕, 卓盈旻, 涂建翊, 2002: 東亞沙塵暴的時空特徵分析, *中華民國環境保護學會學刊*, **25-2**, 178-198.
- _____, 劉廣英, 俞家忠, 1996: 台灣地區空氣污染物與大陸地區沙暴長程輸送關係之研究, *行政院環保署期末報告*, EPA-85-1301-09-12
- _____, _____, 2003: 大陸沙塵暴資料庫更新與應用, *行政院環保署期末報告*, EPA-92-L105-02-207.
- 許晃雄, 2001: 淺談氣候變遷的科學, *科學發展月刊*, **29-12**, 867-878.
- 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.
- 盧琦, 2001: 全球沙塵暴警世錄-荒漠化與氣候變化的交互作用, *中國環境科學出版社*, **2**, 17-25.
- 魏國彥, 許晃雄, 1997: 全球環境變遷導論, *教育部*
- Albrecht, B. A., 1989: Aerosols, cloud microphysics, and fractional cloudiness. *Science*, **245**, 1227-1230.
- Alpert, P., S. O. Krichak, M. Tsidulko, H. Shafir, and J. H. Joseph, 2002: A dust prediction system with TOMS initialization. *Notes and Correspondence*, **130**, 2335-2345.
- Atmawidjaja, R., and D. F. Richards, 2000: Forest fires and atmospheric pollution. *Air Pollution and the Forests Developing and Rapidly Industrializing Regions*, **11**, 199-215.
- Dubovik, O., B. Holben, T. F. Eck, A. Smirnov, Y. J. Kaufman, M. D. King, D. Tanre, and I. Slutsker, 2002: Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations. *J. Atmos. Sci.*, **59**, 590-608.
- Hansen, J., M. Sato, and R. Ruedy, 1997: Radiative forcing and climate response. *J. Geophys. Res.*, **102**, 6831-6864.
- Hobbs, V. P., J. S. Reid, R. A. Kotchenruther, R. J. Ferek, and R. Weiss, 1997: Direct radiative forcing by smoke from biomass burning. *Science*, **275**, 1777-1778.
- Liu, H., W. L. Chang, S. J. Oltmans, L. Y. Chan, and J. M. Harris, 1999: On springtime high ozone events in the lower troposphere from southeast asian biomass burning. *Atmos. Environ.*, **33**, 2403-2410.
- Legrand, M., M. Desbois, and K. Vovor, 1988: Satellite detection of Saharan dust : optimized imaging during nighttime. *J. Climate*, **1**, 256-264.
- Lohmann, U., and J. Feichter, 1997: Impact of sulfate aerosols on albedo and lifetime of clouds. *J. Geophys. Res.*, **102**, 13685-13700.
- _____, _____, J. E. Penner, and R. Leaitel, 2000: Indirect effects of sulfate and carbonaceous aerosols : a mechanistic treatment. *J. Geophys. Res.*, **105**, 13685-13700.
- Marshall, S., J. A. Taylor, R. J. Oglesby, J. W. Larson, and D. J. Erickson, 1996: Climatic effects of biomass burning. *Environ. Soft.*, **11**, 53-58.

- Miller, R. L., and I. Tegen, 1998: Climate response to soil dust aerosols. *J. Climate*, **11**, 3247-3267.
- Nober, F. J., H. F. Graf, and D. 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 U. Lohmann, 2002: Tropical rainfall trends and the indirect aerosol effect. *J. Climate*, **15**, 2103-2116.
- Tegen, I., A. A. Lacis, and I. Fung, 1996: The influence on climate forcing of mineral aerosols from disturbed soils. *Nature*, **380**, 419-422.
- Torres, O., P. K. Bhartia, J. R. Herman, A. Sinyuk, P. Ginoux, and B. Holben, 2002: A long-term record of aerosol optical depth from TOMS observations and comparison to AERONET measurements. *J. Atmos. Sci.*, **59**, 398-413.
- Twomey, S., 1977: The influence of pollution on the shortwave albedo of clouds. *J. Atmos. Sci.*, **34**, 1149-1152.
- Zhao, B. and Yu X. (1990) On eastern Asian dust storm. *Adv. Atmos. Sci.*, **7**, 11-26.