

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告
台灣北部都會區懸浮微粒物理化學特性之探討
**Study of the Physico-chemical Characteristics of Particulates
in Taipei Metropolitan Area**

計畫編號：NSC 88-2111-M-040-001

執行期限：87年8月1日至88年7月31日

主持人：龍世俊 中山醫學院 公共衛生系

一、中文摘要

懸浮微粒之大小及成份，均會影響地球輻射通量及氣候變遷。本計畫的目的是以物理及化學方法互相配合，探討台北都會區懸浮微粒之粒徑分佈、物理型態與化學成份。

本計畫在十二月及三至五月，採集懸浮微粒(PM10 及 PM2.5)，以掃描式電子顯微鏡觀測懸浮微粒之物理型態；以原子吸收光譜儀測量 Al, Ca, Fe, K, Mn, Na, Si, Pb 及 Zn 等微量重金屬及地殼元素成份。以上述之物理觀察及化學成份分析，來探討大陸沙暴的長程傳播，為本計畫今年度之重點。

關鍵詞：懸浮微粒，環境監測，空氣污染

Abstract

Radiation flux and global climate are affected by both the size and composition of the particulates in the air. The objective of this study is to investigate the size distribution, particle morphology and chemical composition of the air-borne particulates in Taipei Metropolitan Area.

In December and March to May, PM10 and PM2.5 samples were taken in Taipei Metropolitan Area. The particle morphology was observed by a scanning electric microscope. The chemical composition (Al, Ca, Fe, K, Mn, Na, Si, Pb & Zn) was analyzed by atomic absorption spectroscopy. The main focus of this year was trying to collect enough evidence to prove the

transportation of dust storms from mainland China to Taiwan.

Keywords : particulates, environmental monitoring, air pollution

二、計畫緣起及目的

近年來，因人為污染物所造成全球氣候變遷問題，深受各國政府及學術界所關心，耗用石化燃料所產生之二氧化碳，因會吸收地表之長波輻射，加強地球原有之溫室效應，使全球有溫度增高之疑懼。另一方面，人為污染源所產生之懸浮微粒，根據其成份、粒徑之不同，亦有吸收、散射及反射太陽輻射之影響，可能抑制溫室效應(IPPC 1994; Kiehl et al., 1993)；此外，由於懸浮微粒可形成雲滴凝結核，參與大氣中能量及水氣傳輸。因此其物理化學性質對全球氣溫升降及成雲降雨過程，皆有顯著影響(Prospero et al., 1983; d'Almeida et al., 1991; Kerr 1995)。加上懸浮微粒可隨大氣運動，而傳輸至遠處(Kubilay & Saydam 1995, Schwikowski et al., 1995, Reimann et al., 1997, Lowenthal et al., 1997)，因此要能掌握區域性或全球性大氣環境變遷的訊息就必須瞭解這些物質的成份以及其在各區域大氣中的分佈。尤其是在人為污染源集中的都會區，因其中各種複雜人為生產及消費過程，不僅產生物理化學型態成份各異之懸浮粒子，且會影響已存在粒子之特性。故了解都會區懸浮微粒之物理化學特性，作為研究其對氣候長期影響之重要資料，為進行本研究的主要目的。

懸浮微粒對地球輻射通量及氣候的影響主要與微粒的大小及成份有關。懸浮微粒的粒徑分布影響太陽輻射及雲的微物理結構。Pui and Liu(1980)指出其中又以 $0.01\ \mu\text{m}$ 至 $20\ \mu\text{m}$ 間之粒子最為重要。一般而言，懸浮微粒之粒徑分布大致呈現核模(nuclei mode)，累積模(accumulation mode)和粗模(coarse mode)等三個群組(Whitby, 1978)。粗模粒子為直徑大於 $1\ \mu\text{m}$ 之氣懸粒子，多半由地面源(如風吹塵，海鹽，人為機械割磨過程等)所產生；其數量雖少，但在成雲過程中較易形成雲滴凝結核，對降雨的形成非常重要。而核模與累積模的粒子合稱細微粒子(fine particles)，其粒徑小於 $1\ \mu\text{m}$ 。細微粒子之質量通常僅佔懸浮微粒總質量之少部分，但其數量卻佔了絕大多數，故反而較粗模粒子能對太陽輻射產生較大的影響。不過總體積，總質量以粗模之貢獻最多，累積模之貢獻量居次。

細微粒在大氣中可以懸浮較久，因此對地球輻射通量的影響較大，Waggoner (1981)指出粒徑為 $0.2\text{-}2\ \mu\text{m}$ 之微粒，散射光線的能力最強，Prospero (1983)更進一步指出，粒徑介於 0.1 至 $1\ \mu\text{m}$ 的微粒對可見光的散射效果最佳，故都會區因燃燒所產生的細微粒，將影響大氣之輻射通量。粗顆粒的微粒在大氣中滯留的時間較短，對輻射場的影響較小，不過若有穩定的來源持續供應著，其影響力也不可小覷。故都會區因營建或交通等重大工程所產生之較粗粒子，亦有可能影響輻射場。

除了微粒的大小對輻射有影響外，微粒成份的改變對輻射場也有極大的影響。微粒的成份基本上可因來源的不同而區分為火山物質、海鹽顆粒、陸源礦物顆粒及污染源物質等四大類別，各類成份對輻射場的影響各不相同。Houghton (1995)等人更進一步指出，人為懸浮微粒的散射，對輻射通量的影響程度，與人為產生之二氧化碳吸收輻射，造成增溫效應的影響程度相近。

陸源礦物顆粒對輻射場的影響與全球沙漠物質的傳輸有關，因為它會帶來大量的礦物顆粒至大氣中，Li et al.(1996)研究北大西洋信風帶懸浮微粒的散光效能後發現由於撒哈拉沙漠物質的持續性介入使得北大西洋信風帶之整體礦物顆粒之散射能量高出污染性硫酸鹽微粒約四倍之多。

有關自然現象所產生的污染物質，如沙漠地區之沙石，被強風吹襲，經由天氣系統，而影響遠處之空氣品質，近年來有一些相關研究。Kubilay & Saydam(1995)等人分析土耳其地中海的微粒樣本，明顯發現撒哈拉沙漠粒子為當地的懸浮微粒的重要來源之一，尤其於每年三至五月及十至十一月，更為明顯。而Schwikowski(1995)等人亦在瑞士發現撒哈拉沙漠之沙暴影響當地懸浮微粒的濃度。以上之研究除了利用空氣胞軌跡分析法(trajjectory)探討氣流走向之外，也分析懸浮微粒的化學成份做確認。

Rahn(1976)指出世界上各主要沙漠區的顆粒，均有其不同的成份特徵，而Si/Al在長程傳播過程中其比例會發生變化；而Fe/Al則不會(Schutz&Rahn, 1982)，故Fe/Al可做為確定來源的指標。

美國及蘇俄兩國之科學家曾針對中亞地區之沙暴傳播，做過大規模之觀測(Golitsyn & Gillette, 1993)，分析Tadzhikistan地區懸浮微粒之粒徑分佈及化學成份(Andronova et al., 1993)，發現其粒徑呈現lognormal分佈，主要在 $1\ \mu\text{m}$ 至 $10\ \mu\text{m}$ 之間(Svindenkov et al., 1993)。Gomes & Gillette (1993)等人並以世界上各主要沙漠區顆粒之化學成份，與中亞地區懸浮微粒之化學成份作比較，認為亞洲地區沙粒之Fe/Al，可做為當地顆粒之特徵。

可能影響台灣地區之大規模陸源礦物質傳送，首推大陸黃土高原及西北沙漠之沙塵暴。每年春季(3-5月)，中國大陸北方的塔里木盆地及黃土高原，易發生大範圍沙暴現象(陳慧貞，1985)，大

量沙石受強風吹襲後，可由高層西風，帶至日本、北太平洋甚至阿拉斯加(Rahn et al, 1980)。Uematsu(1983)採集北太平洋七個小島上之懸浮微粒，並分析其中鋁之含量，推估每年約有 6 至 12 百萬公噸沙石自大陸輸送至中北太平洋，其中緯度 15 至 25 度地帶(台灣位於北緯 22 度至 25 度之間)，約承受 1.2 至 2.1 百萬公噸沙石。此長程傳輸現象於春季時，由中國大陸、日本之沙暴現象及七個小島上懸浮微粒鋁含量增高之時間配合，而予以確認。

Tsunogai & Kondo (1982)在北太平洋，用海洋研究船採集懸浮微粒，發現其中 Fe/Al(鐵鋁比)及 Mn/Al(錳鋁比)與大陸沙石成份相近，而鋁含量可由平時之 30ng/m³ 增加至 670 ng/m³(沙暴時)。以電子顯微鏡觀察懸浮微粒，發現與日本沙暴時微粒之物理型態類似，皆為大陸沙石與海鹽之結合，顯示出大陸沙暴受傳輸過程中海洋影響，所造成物理化學性質之改變。

Merrill et al(1989)則分析六年之氣象資料，並以空氣胞軌跡分析法，指出每年春季，中北太平洋上小島懸浮微粒之增加，確實主要源於中國大陸北方沙漠及黃土地區。

Fan (1996) 等人曾於中國大陸及日本同時採樣及分析同一個亞洲沙暴，除了由空氣胞軌跡分析法推測其長程傳播的路徑以外，亦由物理(電子顯微鏡觀察)及化學成份的分析，確定其來源，並推斷懸浮微粒在傳播過程中之物理化學成份轉換。其結果顯示中國大陸北方的黃沙中主要成分包含 Al、Si、K、Ca、及 Fe，而傳播至日本的懸浮微粒則明顯受到海洋的影響，出現較多 Na 及 Cl 成份。

Winchester(1981)等人研究中國大陸北方粗細粒子的化學成份，得到粗細粒子之成份比例如表(一)。

表(一) Coarse/Fine Mode Aerosol Composition (Weight ratio)

Element Ratio	Coarse Aerosol*	Fine Aerosol
---------------	-----------------	--------------

Al/Fe	1.4	
Si/Fe	4.0	2.7
Cl/Fe	0.050	0.8
K/Fe	0.43	2.9
Ca/Fe	2.00	
Mn/Fe	0.023	0.07
Zn/Fe	0.006	0.8
Pb/Fe	0.004	0.7

*: Average for >1 μ m particles, $\pm 20\%$ in most cases. For Cl, Zn, Ca and Pb the ratios to Fe were evaluated for > 16 μ m particles only.

都會區的人為污染源，不僅為重要之懸浮微粒產生源，且會改變背景懸浮微粒在大氣傳送過程中的化學組成及物理型態，進而影響地球輻射平衡及氣候變遷。此計畫的目的是以物理及化學方法互相配合，探討台北都會區懸浮微粒之粒徑分佈、物理形態與化學成份。

台北都會區為台灣地區人口最密集之都會區，其人為污染源包括交通工具，大小工廠及家居活動等，皆會影響當地懸浮微粒的物理化學組成，蔣本基等人(1996)歷年來針對台灣主要都會區之懸浮微粒，作了大規模觀測，對於懸浮微粒主要成份及主要來源，已有進一步了解。他們發現台北都會區之污染源，粗粒徑以街塵為主，其次為海鹽、燃油與硝酸鹽；在細粒徑範圍，以交通及海鹽之貢獻量最大，其次為硫酸鹽與街塵。但以往較少以物理分析及化學分析並重的方式，來探討台北都會區懸浮微粒的組成，而這為本計畫之重點。

由於粗細粒子皆會影響大氣輻射通量，並進而影響氣候，故本計畫在冬春兩季，採集懸浮微粒(PM₁₀ 及 PM_{2.5})，探討都會區懸浮微粒之粒徑分佈、物理型態及化學成份。

陸源礦物質指標物(Al, Ca, Fe, K, Mn 及 Si)及交通污染指標物(Pb 及 Zn)，為本計畫之分析物質。以上述之化學成份分析配合微粒之粒徑分佈及物理型態觀測，來探討台北都會區三、四月間是

否會受大陸沙暴影響是今年度之計劃重點。

針對陸源礦物質之傳送，台灣曾有大陸沙暴入侵之先例。1995年3月12日，北部基隆地區曾出現黃雨，不僅基隆地區空氣品質測站之PM10(粒徑小於10 μ m之懸浮微粒)濃度增加，其它測站之濃度值亦有增加之現象(環保署監資處，1995)。楊之遠等(1997)分析全省測站之逐時濃度指出，各測站之最大濃度值及其出現的時間，有由北至南，由沿海至內陸，以及由西向東遞減且遞延之現象。而進一步由氣象環境分析顯示，基隆黃雨及全省各地測站濃度增加之現象，應由大陸移動性沙暴所引起。而林斐然(1995)於海洋研究船採集樣本之分析結果，亦指出當日鋁與鈣成份確有比平時增高之現象。本計畫在台北都會區採集懸浮微粒，以物理及化學分析並重之方式，希望獲得沙暴入侵台灣的證據，並探討其對台北都會區空氣品質之影響。

利用不同粒徑之懸浮微粒成份分析，可藉以推估懸浮微粒來源(Francois 1995, Buerki 1989)，一般多發現地殼元素多存於較粗顆粒，而人為污染成份，多積於微細顆粒。而由於長程傳播的過程中，粒徑較粗之顆粒多半已沉降在鄰近地區(Gomes & Gillette 1993)，因此若台灣地區確實受到中國大陸沙暴的影響，在微細顆粒部份之地殼元素比例應有較平常增加之現象，在此計畫中，採集PM10及PM2.5，並對此作型態觀察及化學成份分析(Al, Ca, Fe, K及Si等為大陸黃沙主要成份)，以檢驗證實微細顆粒部份之地殼元素是否增加。表(一)中有關中國大陸北方粗細粒子之化學成份比例，可作為此計畫比對對象，以確認其來源。另本計畫亦希望將來能採集中國大陸北方的粗細粒子，以為比對。

一次觀測期在十二月份，另一次特別觀測期，為三至四月，為期兩個月。因此段時期為中國大陸沙塵暴可能入侵台灣的時期。

沙暴長程傳播會先影響到台北地區，再傳至台灣中、南部，故在台北都會區採樣，可採集到的黃沙濃度應為最高(楊之遠, 1997)；且此地為台灣地區人口最密集之都會區，故受沙暴長程傳播影響的人口數亦最多。希望在這特別採樣時期，能捕捉到中國大陸沙暴入侵台灣的空氣污染事件(episode)。而在此空氣污染事件以外之採樣值，可視為台北都會區之春季背景值，可用來與沙暴事件發生時之採樣值做比對。

PM10及PM2.5使用SKC224PCXR8廣用定時型空氣採樣器，配合SKC761-200及203之PM10及PM10PM2.5懸浮微粒採樣頭(personal environmental monitor, PEM)來採集。PEM是利用撞擊原理，將空氣中氣動直徑 $<10\mu$ m或 2.5μ m之懸浮微粒截留於濾紙上。使用SKC225-17-04(37mm)之鐵弗龍濾紙，採樣流量約為每分鐘2升左右，連續抽氣三天。三台空氣採樣器同時採樣，一為PM10，一為PM2.5，另一則作為電子顯微鏡觀察物理型態之用。

採樣前後之濾紙經溫溼度調節後以五位數天平(Mettler AT261)稱重。採樣濾紙對於溫溼度極為敏感，因此在採樣前後濾紙須置於調理箱內，使用電子乾燥計將溼度控制在 $50\% \pm 5\%$ 、平均溫度 $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ ，調理至少24小時以上，致使每次稱重的環境調整一致，才不至於造成誤差。

以掃描式電子顯微鏡觀察微粒的物理型態，將濾紙切割成1.5公分直徑的圓片，黏著在碳膠膜上，以Hitachi HCP-2二氧化碳乾燥器(critical point dryer)乾燥，再以Hitachi IB-2 Ion Coater把濾紙及碳膠膜用黃金粉覆蓋，之後以Hitachi S-450之掃描式電子顯微鏡觀察懸浮微粒的物理型態。

使用原子吸收光譜儀分析微量重金屬及地殼元素成份。針對不同元素，選擇不同波長的陰極中空放射燈管作分析。除了Al及Si需用笑氣分析之外，

其它元素用空氣分析即可。樣品依其濃度高低分別使用 Perkin Elmer 3300 火焰式(flame)或 Perkin Elmer 4110ZL 石墨式(graphite)原子吸收光譜儀分析。

以往研究大氣化學與氣候之關係，較著重背景區。而都會區為重要之污染源，故增加對都會區懸浮微粒之物理化學特性了解，能更增進對台灣地區區域大氣化學場之認識。且為了研判懸浮微粒對輻射通量及長期氣候之影響，需要較長期之監測分析結果。本計畫希望能以長期持續性監測，探討台北都會區懸浮微粒物理化學特性隨時間之變異，作為研究氣候變遷之基礎。

三、結果與討論

本研究於十二月份採集之懸浮微粒以 PM10 為主，其已分析之重金屬及地殼元素濃度，列在表(二)。三月至五月所採集之 PM10 及 PM2.5 之重金屬及地殼元素濃度，亦列在表(二)。而此段時間內以電子顯微鏡觀察粒子物理型態之照片，選其中兩個例子，為圖(一)及圖(二)。

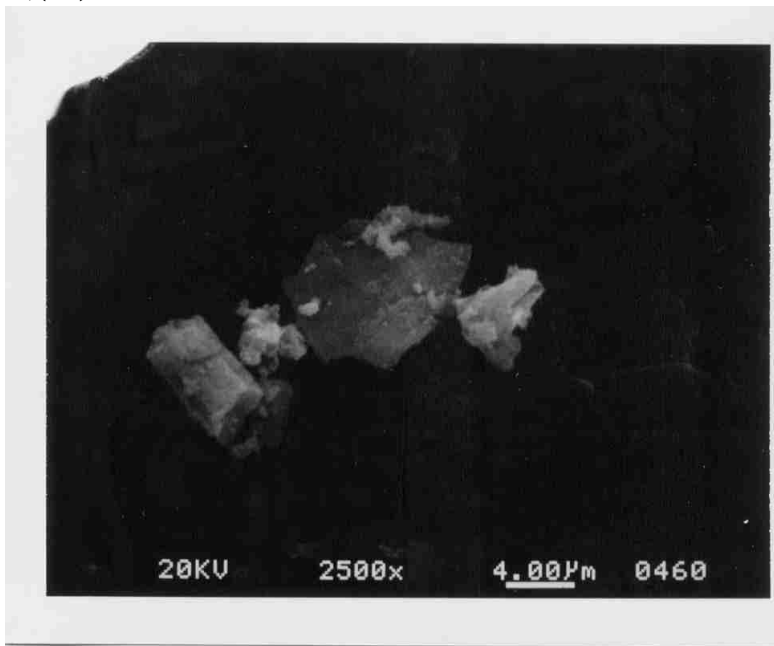
表二：PM100 PM2.5之重金屬0 地殼元素平均濃度(mg/g)
十二月份PM10 春季PM10 春季PM2.5 大陸北方粗粒 大陸北方粗粒

Zn		2.11	7.02		
Na		20.11	7.01		
Pb	5.38	1.81	2.32		
Fe		28.5	13.3		
K		6.99	8.55		
Ca		1.40	0.68		
Mn	3.08	0.53	0.40		
K/Fe		0.29	0.71	0.43	2.9
Ca/Fe		0.06	0.06	2.0	0.023
Zn/Fe		0.08	0.55	0.07	0.006
Pb/Fe		0.07	0.18	0.004	0.7

圖(一)



圖(二)



分析結果顯示，在濃度方面，與以往在台北地區測量之結果範圍類似。在元素比例方面，目前所得資料，天與天之間有不小之變異，而其平均值，與大陸北方粗細粒子之元素比例間差異也不小，因目前所得資料有限，且因大陸沙暴並非每年皆會入侵，因此，以本年度所得之資料，還未能確認大陸沙暴在春季確實入侵台灣。

在物理型態方面，以本年度之試驗結

果顯示，採二至三個小時可收集到適當量的粒子，若採樣時間過久，則懸浮微粒疊在一起，不易分辨。分析本年度得到之結果，發現因為污染源粒子之物理型態資料庫尚不完整，故若欲進一步追溯微粒來源，應先充實目前之資料庫，這是目前尚待努力之處。

四、計畫成果自評

因地震造成本校儀器受損，因此，分析進程不如預期，一些樣本之元素資料，並未全部完成。加上因經費有限，所能採集分析之樣本數極為有限，就目前所得之資料而言，僅初步了解台北都會區之PM10及PM2.5之分佈情形及元素比例。俟以後所分析之樣本數增加之後，盼能提供更多更好的資訊，對大陸沙暴在春季入侵台灣的現象，提供更進一步的証據。

五、參考文獻

參考文獻

- 陳慧貞，1985；東亞地區沙暴系統之研究。國立台灣大學大氣科學所碩士論文。1985年6月，100頁。
- 林斐然，1995；1995年3月12日台灣海外懸浮微粒成分分析(私人通訊)
- 環保署環境監測及資訊處，1995；台灣地區84年3月12日懸浮微粒污染事件分析報告。1995年5月12日。
- 蔣本基，八十六年“台灣地區懸浮微粒空氣污染問題及防制之研究”，EPA-86-FA42-09-19
- Andronova, A. V., Gomes, L., Smimov, V. V., Ivanov, A. V. and Shukurona, L. M. “Physico-chemical Characteristics Of Dust Aerosols Deposited During The Soviet-american Experiment (Tadzhikistan, 1989)” *Atmospheric Environment* Vol. 27A, No.16, pp. 2487-2493, 1993
- Buerki, P. R., Gaelli, B. C. and Nyffeler, U. P. “Size-resolved Trace Metal Characterization Of Aerosols Emitted By Four Important Source Types in Switzerland” *Atmospheric Environment* Vol.23, No. 8, pp 1659-1668, 1989
- Cahill, T., Eldred, R. and Feeney, P. “Particulate Monitoring and Data Analysis for the National Park Service 1982-1985”, National Park Service Contract Number, 1986
- d’Almeida, G. A., Koepke, P. and Shettle, E. P. “Atmospheric Aerosols-Global Climatology and Radiative Characteristics.” A. Deepak, Hampton, Va, 1991
- Fan, X-B., Okada, K., Nimura, N., Kai, K., Arao, K., Shi, G-Y. Qin Y. and Mitsuta Y. “Mineral Particles Collected in China and Japan During the Same Asian Dust-storm Event” *Atmospheric Environment* Vol.30, No. 2, pp.347-351, 1996
- Francois, F., Colin, W. M. J-L., Schulz, R. L. M., Spokes, T. S. L. and Jickells, T. “Intercomparison Of Elemental Concentrations in Total and Size-fractionated Aerosol Samples Collected During The Mace Head Experiment, April 1991” *Atmospheric Environment* Vol.29, No. 7, pp. 837-849, 1995
- Golitsyn, G., and Gillette, D. A. “Introduction: A Joint Soviet-American Experiment For The Study Of Asian Desert Dust and Its Impact On Local Meteorological Conditions and Climate” *Atmospheric Environment* Vol. 27A No. 16, pp.2467-2470, 1993.
- Gomes, L. “Approche Gechimique Due Soulevement Des Aerosols” a Ll’interface Sol-atmosphere En Zone Deserique Thesis, University of Paris VII, France, 1990
- Gomes, L. & Gillette, D. A. “A Comparison of Characteristics of Aerosol From Dust Storms in Central Asia with Soil-derived Dust From Other Regions” *Atmospheric Environment* Vol.27A. No. 16, pp. 2539-2544, 1993
- IPCC Houghton, J. T. et al. (eds.) “Climate Change 1994; Radioactive Forcing of Climate, Chap. 3: Aerosols.” Cambridge University Press, Cambridge, 1995
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), “Climate Change 1994. Radioactive Forcing of Climate Change and An Evaluation

- of the IPCC IS92 Emission Scenarios." Cambridge University Press, UK, 339pp., 1994
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), "Climate Change 1995: The Science of Climate Change." Cambridge University Press. 564pp, 1995
- Kerr, R. A. "Study Unveils Climate Cooling Caused By Pollutant Haze." Science, 268, 802, 1995
- Kiehl, J. T., and Briegleb, B. P. "The Relative Roles of Sulfate Aerosols and Greenhouse Gases in Climate Forcing." Science, 260, 311-314, 1993
- Kim, Y. and Cess, R. D. "Effect of Anthropogenic Sulfate Aerosols on Low-level Cloud Albedo Over Oceans." J. G. R. 98, 14883-14885, 1993
- Kubilay, N. and Saydam, A. C. "Trace Elements in Atmospheric Particulates Over The Eastern Mediterranean; Concentrations, Sources, and Temporal Variability" Atmospheric Environment Vol.29. No.17, pp.2289-2300, 1995.
- Li, X., Maring, H., Savoie, D., Voss, K. and Prospero, J. M. "Dominance of Mineral Dust in Aerosol Light-scattering in the North Atlantic Trade Winds.", Nature, 380:416-419, 1996
- Lowenthal, D. H. and Borys, R. D. "Source Of Pollution Aerosol At Dye 3, Greenland" Atmospheric Environment Vol. 31 No. 22, pp.3707-3717, 1997.
- Merrill, J. T., Uematus, M. and Bleck, R. "Meteorological Analysis of Long Rang Transport of Mineral Aerosols Over the North Pacific" Journal of Geophysical Research, VOL, 94, No.D6, Pages 8584-8598, June 20, 1989
- Pewe, T. L., Pewe, E. A., Pewe, R. H., Journaux, A. and Slatt, R. M. "Desert Dust: Characteristics and Rates of Deposition in Central Arizona,U.S.A." Geol. Soc. Am. 186, 169-190, 1981
- Prospero, J. M. Charison, R. J., Mohnen, V., Jaenicke, R., Delany, A. C., Moyers, J., Zoller, W. and Rahn, K. "The Atmospheric Aerosol System: An Overview." Rev. Geophy. Space Physics, 21, 1607-1629, 1983
- Rahn, K. A. "Silicon and Aluminum in Atmospheric Aerosols: Crust-air Fractionation?" Atmospheric Environment 10, 597-601, 1976
- Rahn, K. A., Borys, R. D. and Shaw, G. E. "Asian Desert Dust Over Alaska: Anatomy of an Arctic Haze Episode." Geol. Soc. Am. Spec. Rap., 186, 37-70, 1980
- Reimann, C., Caritat, P. D., Halleraker, J. H., Finne, T. E., Boyd, R., Jeger, O., Volden, T., Kashulina, G., Bogatyrev, I., Chekushin, V., Pavlov, V., Ayras, M., Raisanen, M. L. and Niskavaara, H. "Regional Atmospheric Seposition Patterns of Ag, As, Bi, Cd, Hg, Mo, Sb and Ti in A188,000Km2 Area in The European Arctic as Displayed By Terrestrial Moss Samples-----Long-Range Atmospheric Transport VS Local Impact" Atmospheric Environment Vol.31. No.23, pp.3887-3901, 1997.
- Schutz, L. and Rahn, K. A. "Trace-element Concentrations in Erodible Soils." Atmospheric Environment 16, 171-176, 1982
- Schwikowski, M., Seibert, P., Baltensperger, U., and Gaggeler, H. W. "A Study of an Outstanding Saharan Dust Event at The High-Alping Site Jungfrauoch, Switzerland" Atmospheric Environment Vol.29. No15, pp.1829-1842, 1995.
- Svinidenkov, M. A., Gillette, D. A., Isakov, A. A., Sokolik, I. N., Smirnov, V. V., Belan, B. D., Pachenko, M. V., Andronova, A. V., Kolomiets, S. M., Zhukov, V. M. and Zhukovsky, D. A. "Size Distributions of Dust Aerosol Measured During the

- Soviet-american Experiment in Tadzhikist, 1989" Atmospheric Environment Vol.27A, No. 16, pp. 2481-2486, 1993
- Tsunogai, S. and Kondo, T. "Sporadic Transport and Deposition of Continental Aerosols to the Pacific Ocean" Journal of Geophysical Research, Vol. 87, No.C11, Pages 8870-8874, October 20, 1982
- Uematsu, M., Duce, R. A., Prospero, J. M., Chen, L., Merrill, J. T. and McDonald, R. L. "Transport of Mineral Aerosol From Asia Over the North Pacific Ocean" Journal of Geophysical Research, Vol. 88, No.C9, Pages 5343-5352, June 20, 1983
- Winchester, J. W., Weixiu, L., Lixin R., Mingxing, W., Maenhaut, W. "Fine and Coarse Aerosol Composition From A Rural Area in North China" Atmospheric Environment Vol.15. No.6, pp.933-937, 1981
- Waggoner, A. P., Weiss, R. E., Ahlquist, N. C., Covert, D. S., Will, S. and Charison, J. "Optical Characteristics of Atmospheric Aerosols." Atmospheric Environment 15,1891-1909, 1981