

# 利用遮雨載玻片在台灣採樣鑑定 大陸沙塵暴微粒之研究

孫岩章

中華民國環境保護學會

## 摘 要

目前在臺灣採樣及鑑定中國大陸沙塵暴的方法主要是利用PM<sub>10</sub>監測儀，然而PM<sub>10</sub>資料呈現的是各種污染微粒的總量，而非專指沙塵暴之顆粒，故其代表性十分不足，尤其是在其他污染量大於沙塵暴顆粒時。因此作者乃嘗試研發一種可以利用「遮雨載玻片」採樣及鑑定沙塵暴污染之方法，希望未來可以在台灣實際監測從大陸飛來之沙塵污染情況。本研究已設計出一種四面圍著雙層百頁窗遮雨柵欄之採樣器，以每週更換載玻片三次之方式，即可進行沙塵暴微粒之採樣及鑑定。此些經過曝露後的載玻片在暗視野光學顯微鏡下觀察、鑑定、計數。利用此一方法發現沙塵暴微粒在200倍暗視野光學顯微鏡下，為亮黃、或亮褐色不整形粒子，與其他黑煙、汽車排煙、海鹽鹽沫等其他污染微粒皆屬不同。其粒徑從可1微米以上到200微米皆有。本研究亦採取大陸2001年北京發生沙塵暴之微粒樣品，並與在台灣台北所採者相比，發現在物理性狀上兩者實無法分辨，唯若選取粒徑介於2~10微米做為指標範圍，發現在環保單位證實之「沙塵暴事件日」期間，每個觀測視野(直徑2 mm)中的沙塵微粒數會增高，且多高於10個以上，而在「非沙塵暴事件日」期間，每個觀測視野微粒數皆低於10以下，經統計14次之「非沙塵暴污染日」之微粒數，得其平均為2.3粒，標準偏差亦為2.3粒。若取「平均值大於3倍標準偏差」之值為「污染事件日」之判定標準，得值為9.2。此說明若增高至10個以上，即代表其與「非污染事件日」有極顯著差異。故可利用此「遮雨載玻片」上每一視野(直徑2 mm)的沙塵微粒數，判定實際之「沙塵暴污染日」數。已初步利用此一方法，在2001年2月至5月的監測中，分別監測到2月有2次、3月有3次、4月有1次、5月有1次之沙塵暴污染事件(Episode)。證實此一「遮雨載玻片」方法可提供一種直接的採樣、監測之技術，也建議環保單位可用此進行長期偵測跨國沙塵微粒污染之工作或計畫。

**關鍵詞：**沙塵暴；顯微鏡；微粒；PM<sub>10</sub>；臺灣。



## **A Sheltered Glass Slide Method for Sampling and Identifying China Sand Storm Particles in Taiwan**

En-Jang Sun

*President of the Environmental Protection Society, ROC*

### **Abstract**

At present time China sand storm particles were principally sampled and identified by the PM<sub>10</sub> instruments in Taiwan. However the PM<sub>10</sub> data represent only the total amount of polluted particles and is not specific for China sand storm particles. It means that the representiveness is not good especially when the other polluted particle amount is close or higher than the sand particles. Therefore a sheltered glass slide method was developed to sample and identify the sand particles flown from Mainland China. An anti-rain shelter with two layers of plastic shutter at four directions was designed for sampling the target sand particles. Within the shelter a petri dish with glass slide was disposed and replaced with new one three times for a week. The exposed slides were observed under dark field metallurgical light microscope at 200X. The sand particles were identified based on their physical characteristics. Results showed that sand particles were differentiable from other anthropogenic particles such as black carbon, vehicle smoke, and salt spray. Typical sand particles were amorphous with shiny yellow or brown color at size ranging from detectable (ca. 1  $\mu\text{m}$ ) to 200  $\mu\text{m}$ . However, the sand storm particles collected from Beijing in 2001 showed similar characteristics as those collected at Taipei, indicating their similarity in morphology. When the counting size range were selected at 2-10  $\mu\text{m}$ , the particle number per field (diameter 2 mm) at 200X is greater in the pronounced sand storm episode days, and usually greater than 10. While on non-episode days and in other seasons, the particle number per field is usually lower than 10. The mean particle number of 14 non-episode samples was 2.3, with standard deviation of 2.3. If we take three folds of this standard deviation as the significant different level, the lowest episode level is  $2.3 + 3 \times 2.3 = 9.2$ . The results suggest that this is a reliable sampling and identifying

method for sand storm particles. Preliminary results of particle sampling from February to May, 2001, showed that there were 2, 3, 1 and 1 episodes detected at Taipei, respectively. This sheltered glass slide method proved to be an ideal, simple and direct method for detecting the occurrence of sand storm. The author therefore recommended that Taiwan EPA should use this method to do the continuous long-term monitoring work in the future.

**Key words:** Sand storm; Glass slide; PM<sub>10</sub>; Taiwan

Note: This paper was accepted for presentation in IUAPPA's 14th Regional Conference – Air Quality: Assessment and Policy at Local Regional and Global Scales, at Dubrovnik, Croatia, on October 6-10, 2003.

## 一、前 言

沙塵暴在東亞地區是一個重要的跨國污染問題，因為它起自內外蒙古地區之戈壁大沙漠，主要侵襲中國大陸、日本、韓國<sup>(1-2, 15-16, 18-22, 25, 31-35)</sup>，亦可飛傳臺灣和香港<sup>(17-18, 23)</sup>，而經過長距離的傳送甚至可達夏威夷及北美洲<sup>(29)</sup>。沙塵暴不只是降低天空的能見度、污損材料、覆蓋綠色植物葉片<sup>(2, 9-14, 28)</sup>，更會造成PM<sub>10</sub>微粒量之上升，影響居民的健康<sup>(8, 12, 22-23, 33)</sup>。例如：在2000年4月6日，北京的總懸浮微粒(Total suspended particulate, TSP)即曾達3906 ug/m<sup>3</sup><sup>(35)</sup>，而臺灣的空氣品質標準在TSP上定為日平均值250 ug/m<sup>3</sup>，即超越達15倍以上。因此為了人體及植物健康之考量，科學研究及環保單位皆有必要對大陸沙塵暴進行監測、研究，並調查其污染危害之情況。

目前環保單位在臺灣監測中國大陸沙塵暴的主要方法是利用環保署各監測站之PM<sub>10</sub>監測儀所獲得之監測資料<sup>(1, 8)</sup>，但這是一種間接的方法，因為PM<sub>10</sub>資料只能呈現各類微粒污染的總量，而不能專一地顯現沙塵暴之污染量。在學理上，對塵土微粒及大型微粒之鑑定可用物理及化學之分方法甚多，包括顯微鏡之方法<sup>(3-4, 26)</sup>、X光檢驗法<sup>(24, 27, 30)</sup>、化學分析法<sup>(6)</sup>等，作者因長期進行過微粒之鑑定工作，其中對顯微鏡用於各類污染微粒鑑定之工作經驗甚多<sup>(3-7, 9-10, 13-14)</sup>，故乃嘗試發展利用顯微鏡來檢驗、監測沙塵暴微粒之技術。

## 二、材料和方法

### 2.1 沙塵暴微粒的遮雨採樣裝置

為防止風雨的干擾，本研究首先研究

測試一種適當的遮雨防風採樣器，其形狀如氣象站之百葉窗者，唯為加強其放防雨功能，乃嘗試增加其百葉窗之層數，並測試其確實之防雨成效，初步發現雙層百葉窗較單層者優良。故其後即選用雙層百葉窗做為遮雨防風採樣器，此雙層遮雨採樣器形狀如圖1 (Fig. 1)。



圖1 設於台北之沙塵暴微粒的雙層遮雨採集器，內有培養皿及玻璃載玻片

Fig. 1. A shelter with glass slide was designed for sampling the sand storm particles at NTU, Taipei.

此一雙層遮雨採集器是由四面各雙層之塑膠百葉窗所組合而成，每一片大小為36 × 22 cm，且每一片各有六片百葉窗之斜板。此四面之雙層百葉窗互以直角接合而成一個正方型的防雨箱，該箱的頂部架有一60 × 60 × 1 cm的塑膠板，底部黏於40 × 40 × 1 cm之塑膠板，使雨滴不會侵入置於其內的培養皿。整個遮雨採樣器係架設於約16公尺高四層樓之建築物頂樓，並由四根1.5公尺長的角鋼支撐，上述四面雙層百葉窗中的一面設計為活動者，以利開啟取放培養皿及玻璃載玻片，如圖2。(Fig. 2)

在上述遮雨採樣器四面雙層百葉窗所圍的底板正中央黏置有一兩公升容量的燒杯，以進一步防止雨水及濕氣的干擾，

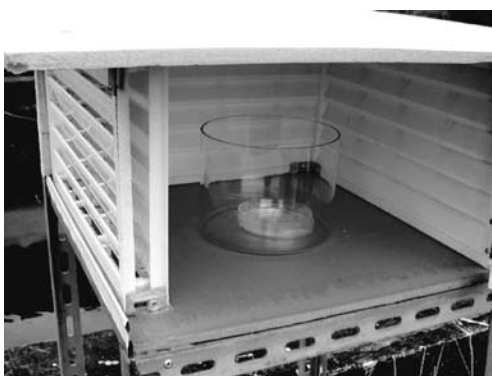


圖2 沙塵暴微粒遮雨採集器內有培養皿及玻璃載玻片置於2升燒杯內。

Fig. 2. Inside the shelter the petri dish with glass slide was disposed in a two-liter beaker for sampling the sand particles.

如圖2 (Fig. 2)。而每次更換之載玻片是先經清潔劑洗淨、風乾，再分別黏置於直徑9 cm之無菌塑膠培養皿正中央，每一載玻片之大小為 $7.5 \times 2.5 \times 0.1$  cm，廠牌為Assistant Co., Germany (No.2041)。一般每星期固定在週一、三、五傍晚六時更換新的一組培養皿載玻片，並精確記錄採集時刻，每一組培養皿載玻片皆在更換前才打開，把舊者收回，並放入新者，舊者即經曝露後之培養皿載玻片，於更換後立刻加蓋並帶回實驗室中作進一步的鑑定和計數。

## 2.2 沙塵暴微粒之顯微鏡鑑定和計數

對於一般微粒之鑑定係採用顯微鏡系統，該系統包括一部上光源之的礦物用光學顯微鏡(Olympus BH2-UMA)、一部偏光顯微鏡(Olympus BH2)、以及一套搭配有能量分散性X光微量分析儀(Energy-dispersive X-ray microanalyzer, 簡稱EDX)之掃描式電子顯微鏡(SEM, JEOL-T330A型)。然而就本研究所對付之塵土微粒而言，該SEM-DEX系統並不需要，即只需

附有暗視野功能之上光源礦物用光學顯微鏡即可完成鑑定。

為取得標準沙塵暴微粒做為對照，乃於2001年冬季及春季前往北京進行微粒之採樣，所用之採樣器為一般之培養皿與載玻片，每次於沙塵污染時將培養皿載玻片放置於不受干擾之屋頂進行半日或一日之採樣，隨即關閉培養皿，帶回實驗室做為沙塵暴之標準樣品，前後計採6樣品。

在不同季節於臺灣大學所採得的微粒則與前述由北京所採的標準樣本進行比對，以進行鑑定。主要為進行亮視野與暗視野之觀測比較，並進行不同污染顆粒之比較鑑定。

在確立標準沙塵顆粒之鑑定方法後，即由觀測者經過訓練後，進行各樣品微粒的鑑定和計數。每一片載玻片各觀察10個放大200倍之顯微鏡視野，進行典型微粒之計數，由此十視野之觀測值加以平均，即得到該樣品之平均沙塵顆粒數。此一平均沙塵顆粒數即可供進行分析及比較。

## 三、結果與討論

### 3.1 遮雨柵欄採集裝置的效果

前述遮雨採樣器在2001及2002年之測試，證實雙層百葉窗做成之遮雨採樣器具有良好之遮雨效果，即較單層者為優，故其後即選用雙層百葉窗做為標準之遮雨防風採樣器。例如在2001年冬季，在降雨很大的情況下，培養皿載玻片經過仔細的檢驗，發現雖有甚多雨滴，但尚不致於影響沙塵之採樣與鑑定。

為了解同一露天平台上三個相距2公尺之遮雨採樣器是否有相近或相同之平均沙塵顆粒數，乃在臺灣大學同一個露天平台上架設三個遮雨採樣器，彼此之間皆相

距2公尺，進行同步之採樣。在四次之同步採樣中證實三者平均沙塵顆粒數皆無顯著差異，此顯示三站之間無顯著之差異，因此在此初步試驗後，即可只設一站，做為一地區之代表測站。此與一般空氣品質監測站每站可代表半徑至少500公尺之地區有相同之意義。

### 3.2 沙塵暴微粒之顯微鏡鑑定和比較

本研究主要係取北京所採集之沙塵微粒做為標準沙塵微粒，此些微粒在200倍暗視野礦物用顯微鏡下，發現與其他污染粒子如重油黑煙<sup>(2, 3, 6)</sup>、汽車排煙<sup>(3, 6)</sup>、海鹽鹽沫<sup>(3, 5)</sup>等其他污染微粒皆屬不同，因為典型的沙塵暴微粒為亮黃、或亮褐色不整形粒子，如圖3。其粒徑範圍甚廣，即從可判別之1微米以上到200微米皆有，但一般以2到60  $\mu\text{m}$ 之間為最多。

又典型沙塵微粒在亮視野與暗視野礦物用顯微鏡之觀測下，發現亮視野顯微鏡下沙塵粒子皆呈灰色或暗色，與其他污染粒子如重油黑煙等不易區分，如圖4。而若以偏光顯微鏡進行比較鑑定，發現偏光顯微鏡常可產生多變之光澤，且隨偏光角度而異，但對沙塵之鑑定並無特殊之鑑別

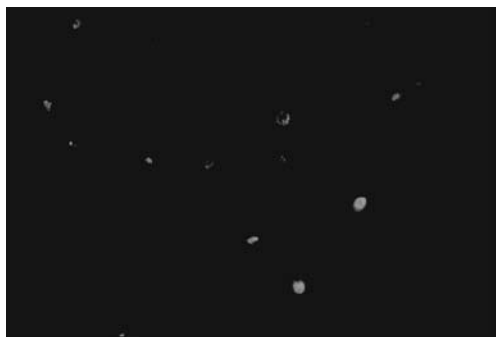


圖3 在200倍暗視野上光顯微鏡下標準沙塵暴微粒之形態。

Fig. 3. Standard sand storm particles on the slide under dark-field microscope (200X).

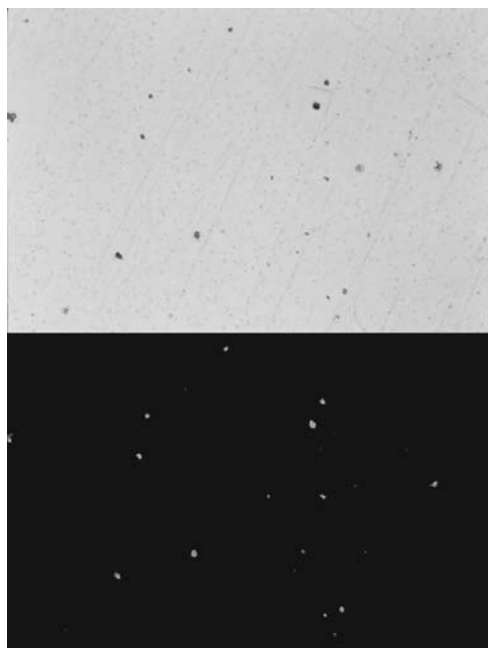


圖4 在200倍亮視野(上)與暗視野(下)上光顯微鏡下標準沙塵暴微粒形態之比較。

Fig. 4. Standard sand storm particles on the slide observed under light-field microscope (up) and dark-field microscope (down), each at 200X.

功能。

又取大陸北京發生沙塵暴之微粒樣品，與在台北所採者相比較，卻發現在物理性狀上兩者無法分辨，因兩類塵土顆粒在暗視野光學顯微鏡下皆呈亮黃、或亮褐色之不整形粒子。

### 3.3 沙塵暴微粒之定量計數

雖然依據上述北京與台北之沙塵微粒在物理形態上無法利用顯微鏡加以區分，唯若選取粒徑2~10微米做為計量範圍，發現在環保單位證實之「沙塵暴事件日」期間，每個觀測視野(直徑2 mm)中的沙塵微粒數會增高，且多高於10個以上，而在平常非「沙塵暴事件日」期間，每個觀測視

表1 在2001年2至5月採樣調查台北共14次「非沙塵暴事件日」之微粒樣品於200倍量測之數值分析

Table 1. Sand storm particle numbers per microscopic field at 200X at non-episode days in Taipei as sampled by sheltered glass slide method from Feb. to May 2001

Sample #	Sand storm particle numbers at non-episode days														Mean	St. dev.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	N=14	
Particle numbers per field (200X)	7.4	6.4	0.5	2.1	1.0	0.5	0.5	0.9	3.9	1.5	0.3	4.4	1.1	1.2	2.3	2.3

野中的沙塵微粒數皆較低，即多低於10個以下，故應可利用此「遮雨載玻片」上每一視野(直徑2 mm)的沙塵微粒數，判定實際之「沙塵暴污染日」數。

唯究竟應取那一粒數水準做為「沙塵暴事件日」之臨界值，吾人應可採用一般統計學上「平均差大於3倍標準偏差」者，做為具有「極顯著差異」之標準，故本研究於2001年2至5月中測定14次「非沙塵暴事件日」之微粒數，結果如表一所示。由表一之結果發現14次「非沙塵暴事件日」之微粒數平均值為2.3，其標準偏差亦為2.3，則若取「平均差大於3倍標準偏差」者為「沙塵暴事件日」之判定標準，則其值為 $2.3 + 3 \times 2.3 = 9.2$ 。換言之，如大於10，應表示與「非沙塵暴事件日」有極顯著之差異也。

通常一個載玻片樣品計數十個200倍之顯微鏡視野是否已具備代表性是一值得探討之問題。為此本研究曾進行一初步之實驗，即對相同之載玻片分別計數十個和二十個視野，並計算比較兩者之平均值及標準偏差(Standard deviation)。本項比較進行6次之結果，發現計數十個視野和二十個視野之平均值及標準偏差皆無顯著差異，因此在此之後，本研究皆採用每一載玻片樣品計數十個視野之方式。唯為避免觀測者個別之差異，每一個經過曝露的玻片都由2~3位觀測者進行重複觀察及計

數，對差異太大之樣品皆經過重複之檢查與鑑定，以避免人為之偏差。

本研究因此在2001年嘗試進行春季沙塵污染之採樣與鑑定、計量，結果發現2001年二月共有兩次沙塵平均顆粒數超過10以上，如圖5所示。而在2001年三、四及五月份，則分別可測出有3, 1及1次之沙塵污染日。

由以上之結果，說明利用上述之遮雨採樣器配合平均沙塵顆粒數之計數，已證實超過10以上之平均沙塵顆粒數可做為沙塵暴污染日之具體依據。而這種沉降微粒之測量可提供我們一種大陸沙塵暴影響臺灣之直接證據，因此我們建議學術單位可將這種方法推廣應用到其他國家或地區來

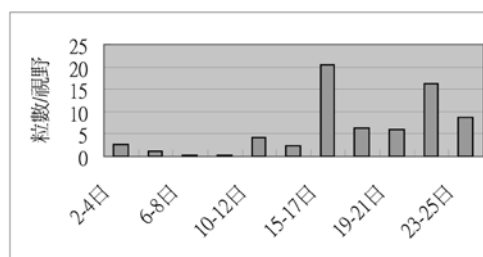


圖5 在2001年2月採樣調查沙塵暴微粒，以200倍量測發現台北共有2次「沙塵暴事件日」。

Fig. 5. Sand storm particle numbers per microscopic field at 200X detected by sheltered glass slide method at Taipei in Feb. 2001, showing two storm episodes.

偵測沙塵暴之污染。而本研究也證實此一「遮雨載玻片」方法是一直接的採樣、監測技術，故也建議環保單位可用此進行長期偵測跨國沙塵微粒污染之工作或計畫。

#### 四、結 論

在本研究之結論為：(1)此種雙層柵欄之遮雨採樣器可有效防止雨水對採樣帶來之干擾；(2)在暗視野礦物用光學顯微鏡下，標準之沙塵暴微粒與其他污染來源之微粒有不同之物理形態及特性，故可做為鑑別之依據；(3)標準之沙塵暴微粒在200倍暗視野光學顯微鏡下，為亮黃、或亮褐色不整形粒子；(4)從北京採取之沙塵暴微粒與在台灣台北所採者在物理性狀上無法分辨，(5)若選取粒徑2~10微米做為計量範圍，發現在環保單位證實之「沙塵暴事件日」期間，每個觀測視野的沙塵微粒數會增高至10個以上，而在平常非「沙塵暴事件日」期間，每個觀測視野中的沙塵微粒數皆會低於10個以下，經統計14次之「非沙塵暴污染日」之微粒數，得其平均為2.3粒，標準偏差亦為2.3粒。若取「平均值大於3倍標準偏差」者為「污染事件日」之判定標準，得值為9.2。此乃說明若增高至10個以上，即代表其與「非污染事件日」有極顯著差異。故可利用此平均沙塵微粒數，判定「沙塵暴事件日」數。(6)在2001年春季嘗試進行沙塵污染之採樣與計量，證實二至五月各有2、3、1、1次沙塵平均顆粒數超過10以上；(7)本研究證實此技術為一種直接偵察或監測沙塵暴之較佳方法，故推薦將這種技術推廣應用到其他國家以作為偵測跨國微粒污染的方法，也建議環保單位可用此進行長期偵測跨國沙塵微粒污染之工作或計畫。

#### 五、致 謝

本研究承蒙國科會之補助，計畫編號NSC-91-2313-B-002-356，特此致謝。又承蒙財團法人生物技術開發中心吳瑞鈺博士協助於北京採集沙塵暴微粒樣品，在此深表感念。

#### 六、引用文獻

1. 林能暉、黃景祥、彭啟明、胡翠華、方淑慧、李貞瑩(2002)。沙塵暴事件之空氣品質統計數值模式之建立與應用。環境保護 25: 117-133。
2. 柳中明(2001)沙塵暴的基本特性。全球變遷通訊雜誌 31: 29-32。
3. 孫岩章(1992)植物表面燃油火力電廠黑煙微粒之顯微鏡鑑定與X光微量分析。植物病理學會刊 1: 196-202。
4. 孫岩章(1993)台灣北部及中部地區沉降性微粒來源之鑑定分析。中華民國環境保護學會會誌 16: 44-59。
5. 孫岩章(1993)大氣中重油燃燒黑煙之顯微鏡鑑定。中華民國環境保護學會會誌 16: 35-43。
6. 孫岩章(1994)台灣西北沿海地區水稻及林木枯萎原因之研究IV。大氣中鹽沫微滴之顯微鏡觀測與化學鑑定分析。植物保護學會會刊 36: 301-312。
7. 孫岩章(2001)環境汙染與公害鑑定。科技圖書公司。第二版。
8. 張順欽(2002)亞洲沙塵暴對空氣品質影響與預測。環境保護 25: 134-152。
9. 陳武揚(1996)植物葉表沉降性微粒之鑑定及植物對微粒之淨化作用。國立台灣大學植物病蟲害學研究所，碩士論文，台北。
10. 陳武揚、孫岩章(1998)植物葉表沉降

- 性微粒之鑑定。中華民國環境保護學會會誌 21: 166-174。
11. 楊之遠(2001)大陸沙塵暴影響台灣地區空氣品質之監測與預報。物理雙月刊 23(3): 416-421。
  12. 楊之遠、李侃翰、柳中明(1997)長程傳送黃沙與本地污染之空氣品質監測比較--1995年3月12日至16日資料分析。中華民國環境保護學會會誌 20 (1): 1-38。
  13. 蔡志明、王亞男、孫岩章(2004)人工降雨對四種微粒在植物葉表淋洗效率之比較。環境保護 27: 232-241。
  14. 蔡志明、孫岩章、王亞男(2005)常見台北地區植物乾濕葉片與枝條滯塵效率的比較研究。環境保護 28: 39-52。
  15. Chung, Y. S., and Toon, M. B. 1996. On the occurrence of yellow sand and atmospheric loading. *Atmos. Environ.* 30: 2387-2397.
  16. Duce, R. A., Unni, C. K., Ray, B. J., Prospero, J. M., and Merrill, J. T. 1980. Long-range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific: Temporal variability. *Science* 209: 1522-1524.
  17. Fang, M., Zheng, M., Wang, F., Chim, K. S., and Kot, S. C. 1999. The long-range transport of aerosols from Northern China to Hong Kong—A multi-technique study. *Atmos. Environ.* 33: 1803-1817.
  18. Gao, Y., Arimoto, R., Merrill, J. T., and Duce, R. A. 1992. Relationship between the dust concentration over eastern Asia and the remote North Pacific. *J. Geophys. Res.* 97: 9867-9872.
  19. Huang, M., and Wang, Z. 1998. A model for long-range transport of yellow sand in East Asia. *Scientia Atmospherica Sinica* 22: 625-637.
  20. Iwasaka, U., Minouru, H., and Nagaya, K. 1983. The transport and spatial scale of Asian dust-storm clouds: A case study of the dust-storm event of April 1979. *Tellus* 35B: 189-196.
  21. Kim, B. G., and Park, S. U. 2001. Transport and evolution of a winter-time yellow sand observed in Korea. *Atmos. Environ.* 35: 3191-3201.
  22. Kim, K. W., Kim, Y. J., and Oh, S. J. 2001. Visibility impairment during yellow sand periods in the urban atmosphere of Kwangju, Korea. *Atmos. Environ.* 35: 5157-5167.
  23. Lin, T. H. 2001. Long-range transport of yellow sand to Taiwan in Spring 2000: Observed evidence and simulation. *Atmos. Environ.* 35: 5873-5882.
  24. Ma, C. J., Kasahara, M., Tohno, S., and Hwang, K. C. 2001. Characterization of the winter atmospheric aerosols in Kyoto and Seoul using PIXE, EAS and IC. *Atmos. Environ.* 35: 747-752.
  25. Maruyama, N. 1988. Dust cloud "Kosa" from the last Asian dust storms in 1982-1988 as observed by the GMS satellite. *Met. Satellite Center Techn. Note* 17: 1-8.
  26. McCrone, W. C., and Delly, J. G. (1973) *The Particle Atlas*, 2nd Ed., Ann Arbor Science, Michigan.
  27. Oxada, K., Naruse, H., Vanaka, T. 1990. X-ray spectrometry of individual Asia dust-storm particles over the Japanese islands and the North Pacific Ocean. *Atmos. Environ.* 24A: 1369-1378.

28. Page, A. L. and Chang, A. C. (1979) Contamination of soil and vegetation by atmospheric deposition of trace elements. *Phytopathology* 69: 1007-1011.
29. Perrington, J. R., Zoller, W. H., and Aras, N. K. 1983. Asian dust: Seasonal transport to Hawaiian Islands. *Science* 220: 195-197.
30. Ro, C. U., Oh, K. Y., Kim, H., Chun, Y., Osan, J., de Hoog, J., and van Grieken, R. 2001. Chemical speciation of individual atmospheric particles using low-Z electron probe X-ray microanalysis: Characterizing "Asian Dust" deposited with rainwater in Seoul, Korea. *Atmos. Environ.* 35: 4995-5005.
31. Tsunogai, S., and Kondo, T. 1982. Sporadic transport and deposition of continental aerosols in the Pacific ocean. *J. Geophys. Res.* 87: 8870-8874.
32. Uematsu, M., Duce, R. A., and Prospero, J. M. 1985. Deposition of atmospheric mineral particles in the North Pacific Ocean. *J. Atmos. Chem.* 3: 123-138.
33. Uematsu, M., Duce, R. A., Prospero, J. M., Chen, L., Merrill, J. T., and McDonald, R. L. 1983. Transport of mineral aerosol from Asia over the North Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.* 88: 5343-5352.
34. Wang, Z., Ueda, H., and Huang, M. 2000. A deflation model for use in modeling long-range transport of yellow sand over east Asia. *J. Geophys. Res.* 105: 26947-26960.
35. Zhang, X. Y., Akimoto, R., Zhu, G. H., Chen, T., and Zhang, G. Y. 1998. Concentration, size-distribution and deposition of mineral aerosol over Chinese desert regions. *Tellus* 50B: 317-330.