

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：地球與太空科學

作品名稱：「天上掉下來的禮物嗎？」—

討論十年來大陸沙塵暴對台灣之影響與變化趨勢

學 校：基隆市立安樂高級中學

作 者：俞安



很高興能有這次寶貴的機會，參加此次的科展。對於自然界的奧妙，科學的思索，我一直都有濃厚的興趣，可惜沒能早點踏入這個方向。因此這次參賽，從一開始，便滿懷好奇，深切期待。進入高中後，我一直珍惜各種接觸、投入研究的機會。經由這次的研究過程，我學到如何思考、表達；磨練出耐心，也學會掌握討論的重點，做更深入的探討。雖然過程很辛苦，但看到積累的學習成果，我想一切都值得。

作品名稱：「天上掉下來的禮物嗎？」－討論十年來大陸沙塵暴對台灣
之影響與變化趨勢

中英文摘要

壹、研究動機與目的

貳、研究設備及器材

參、研究過程或方法

肆、研究結果與討論

伍、結論

陸、未來研究方向

柒、參考文獻

Abstract

A gift from sky? -Discussion in Taiwan the influences and changes of sandstorms in decades

In recent years, sandstorms have seriously attacked Taiwan day by day. Combining with the observations of Central Weather Bureau and the satellite images of NASA, the study has been collected the data of suspension grain in decades. And the study hopes the sandstorms' information could be observed in early period. Still it hopes to find out the possible transmission paths in the atmosphere. Then we know how to cope with sandstorms in early time. Sandstorms attack Taiwan frequently in spring, the end of the autumn and the beginning of the winter. Compared with the charts of sandstorms and the satellite images, we could broadly aware that the moving paths of sandstorms are related to the currents and the characteristics of the atmosphere. When El Niño happens, the times of sandstorms attacking Taiwan decrease, and that increase when La Liña happens. According to the results of spectrum analysis, there might be high peaks of a year and six months short period varieties. And low peaks of 2.2 years and 7 months period, tell us that the short period aerosol varieties should be relative with season changes, the long period aerosol varieties may be relative with the El Niño and La Liña period.

中文摘要

近年來，大陸沙塵暴侵襲台灣的情況日趨嚴重影響。本研究中收集了近十年來懸浮顆粒資料，配合環保署空氣品質監測站、中央氣象局所觀測的資料與美國太空總署的衛星影像資料及 NASA 航空資源實驗室的氣流軌跡回推圖，希望能夠在早期觀測時發現大陸地區沙塵暴訊息，和沙塵暴所帶至大氣中的懸浮顆粒可能傳輸路徑。發生沙塵暴侵臺事件的季節，主要在春季及秋冬兩季交替期間發生的次數為最多。由地面天氣圖表、氣流軌跡回推圖及美國太空總署的衛星影像進行綜合比對之後，可大致瞭解大陸沙塵可能的移動路徑與大氣環流特徵有關。聖嬰現象(El Niño)發生時，侵襲臺灣的沙塵暴次數會減少。在「反聖嬰現象」(La Liña)發生時，侵襲臺灣的次數相對增加。經由頻譜分析中得知，懸浮顆粒高峰期的變化有 1 年期及 6 個月變化趨勢，懸浮顆粒低峰期的週期變化有 2.2 年與 7 個月的變化趨勢，顯示短週期大氣懸浮顆粒變化應與季節變化有關，長期性變化或許與聖嬰反聖嬰週期有關連。

關鍵字：大陸沙塵暴、氣流回推圖、氣溶膠

壹、研究動機與目的

在新聞媒體及自然科學報章雜誌上發現了 2002 年 1 月底及 2 月初時，有大量關於大陸地區沙塵暴侵臺的相關報導。這些訊息引發了我相當大的興趣，大陸北方距離臺灣是那麼地遙遠，大陸地區的沙塵真的會飄洋過海到達基隆這麼遠的地方嗎？媒體上也一直提到了沙塵暴侵襲臺灣的次數有與日遽增的趨勢，行政院環保署及其他各研究機構也陸續投注大量的人力、物力去從事瞭解整個大陸沙塵暴變化模式的相關研究。大陸地區的沙塵暴對我們的生活真的有那麼大的影響嗎？所以我就與地科老師詢問和討論有關更深入詳細的沙塵暴問題，就這個題目做延伸探討，參加這一次科展的討論主題。

此次專題研究的最主要目的，希望能夠了解大陸地區沙塵暴發生時，大氣環流所攜帶的懸浮顆粒可能傳輸的路徑、氣候狀態與氣流方向，及台灣受大陸沙塵暴侵襲的月份和聖嬰年反聖嬰年的趨勢變化及是否有週期性的變化嗎？

貳、研究設備及器材

| 項目 | 說明及實驗設備名稱 | 備註 |
|--|-----------|---|
| 懸浮顆粒PM₁₀原始資料 基隆仁愛、台北縣萬里鄉及台北縣淡水鎮三個測站十年來懸浮顆粒（1994~2003） | 繪製圖表及資料整理 | 行政院環保署 |
| 地面天氣觀圖 | 資料判讀與歸納 | 中央氣象局及日本氣象廳資料 |
| 高空觀測資料 300、500、700、850 百帕觀測圖 | | 日本氣象廳資料 |
| 氣流軌跡回推圖 | 氣流回推路徑 | NASA 航空資源實驗室的氣流模式 |
| 氣溶膠衛星資料 | 路徑分析 | 全球氣溶膠衛星圖 （美國太空總署 TOMS 網站， Earth Probe 衛星） |
| 懸浮顆粒成份分析實驗 蒐集大氣懸浮微粒標本及元素分析 | 原子吸光儀 | 台灣大學海洋研究所 林斐然教授提供四個樣本 |

由於大陸沙塵暴是經由高空大氣長程輸送至北部地區，所帶來的懸浮顆粒極為細微且台灣地區僅有環保署做長期性的監測，故蒐集環保署空氣品質監測的實測資料。

在資料蒐集工作完成後，使用試算軟體 Excel 將資料繪製成試算表的圖表並比對。在沙塵暴侵襲的氣候資料部分，分析整理中央氣象局及日本氣象廳高空及地面觀測資料。再由美國太空總署的衛星資料，了解氣溶膠大範圍的移動路徑，並結合 NASA 航空資源實驗室的氣流模式，可回推大氣氣流在不同高度下的移動路徑，用來加以驗證有大陸沙塵暴侵襲台灣氣流狀態，以精準了解沙塵暴侵台的氣候狀態與移動路徑。

參、研究過程與方法

1、原始測站資料整理

本研究蒐集了取自於環保署的空氣監測測站—基隆地區仁愛國小空氣監測測站、台北縣淡水鎮淡水國小空氣監測站及台北縣萬里鄉背景監測測站的懸浮顆粒 PM_{10} 實測資料（附圖一）。整理十年來（1994年至2003年資料）的空氣品質監測資料。基隆的資料是取自基隆市中心仁愛國小測站，此一測站是收集基隆地區資料以及外來懸浮顆粒。另一方面，我們也同時採用台北縣萬里鄉空氣監測站的資料，此站主要收集大氣背景資料，無都會地區背景污染值的干擾，所以此一測站的資料代表的可說是以外來輸入物質為主。底下我們將資料區分數項分別加以分析：



研究測站位置與實驗樣本位置

- (1) 將仁愛、淡水及萬里原始資料的監測無效值去除，資料格式是每日累積數量，單位為每立方公尺幾微克 (ug/m^3)，有時候儀器因檢修或故障而出現不合理的異常值時，這些無效值我們就將其去除，因此年度資料中會有不足 365 筆的情況產生，共計 1994 年至 2003 年基隆仁愛 3348 筆，無效資料 302；萬里 3470 筆，無效資料 180；淡水 3457 筆，無效資料 193 筆。
- (2) 使用試算表將三地測站所得的資料，取 1994 年至 2003 年間者繪製圖表，以期瞭解長時間的趨勢變化，年為單位，將三者繪製於同一圖表上，由高值分析沙塵暴侵襲的狀況。
- (3) 將三地測站 1994 年至 2003 年的資料列印出來，並統計近十年來所量測懸浮顆粒變化依月份計算出 0 至 $50ug/m^3$ 、50 至 $100ug/m^3$ 、以及 $100ug/m^3$ 以上三個部分，並將資料求出日平均值。
- (4) 綜合前人研究探討的文獻資料，大於 $100ug/m^3$ 的天數可能為沙塵暴侵臺次數，但為了慎重起見取出接近 $100ug/m^3$ 的天數，依年份依序統計整理出圖表。

三個空氣品質監測站位置及背景說明

| 測站位置 | 背景說明 |
|--|---|
| 基隆市仁愛區仁愛國小 及台北縣淡水鎮淡水國小 一般空氣品質監測站 | 所謂一般空氣品質監測站是將測量儀器設置於人口密集及可能發生高度空氣污染之地區；整體而言，基隆市仁愛區人口密集度高，故我們可視為基隆地區大部分時間人為污染的代表區域。藉由仁愛國小一般空氣品質監測站的資料，可以用來代表基隆地區平時的空氣品質狀況，及大陸沙塵暴侵襲時懸浮顆粒增加的異常情況。淡水鎮淡水國小監測站，位於北部區域西北位置，平時可監測淡水附近的懸浮顆粒值，但受東邊地形較高的影響，懸浮顆粒的值相對基隆地區低些。 |
| 台北縣萬里鄉萬里 背景空氣品質監測站 | 所謂背景空氣品質監測站是將測量儀器設置於盛行風的上風處，監測風所挾帶之污染量多寡。其佈設地點均特別避開鄰近污染源之影響，以求能反映區域性大範圍之空氣品質狀態。因此萬里背景空氣品質監測站資料變化，可以讓我們瞭解是否屬於外來懸浮物質的干擾，尤其在大陸沙塵暴侵襲北部區域時，懸浮顆粒的變化會有急速增加的趨勢，故是否視為大陸沙塵暴侵襲的採計都是以本測站資料為主。 |

附表說明：三個測站詳細位置 (單位為：公尺，資料來源行政院環保署)

| 序號 | 測站 編號 | 測站 名稱 | 總高度 | 最近 物距 | 最近 樹距 | 採樣口 氣流角度 | 採樣口 高度 | 周圍建築物 平均高度 | 主要道路 最近距離 |
|----|----------|----------|-------|----------|----------|-------------|-----------|---------------|--------------|
| 1 | 11-04-02 | 仁愛 | 13.85 | 81.01 | 18.04 | 360° | 15.45 | 18.28 | 30 |
| 3 | 31-28-01 | 萬里 | 26.74 | 224.37 | 122.37 | 360° | 28.34 | 14.24 | 30 |
| 10 | 31-10-01 | 淡水 | 13.82 | 27.21 | 38.05 | 360° | 15.42 | 16.90 | 30 |

說明：台北縣萬里背景監測站、基隆仁愛與淡水一般空氣品質監測站實測資料。

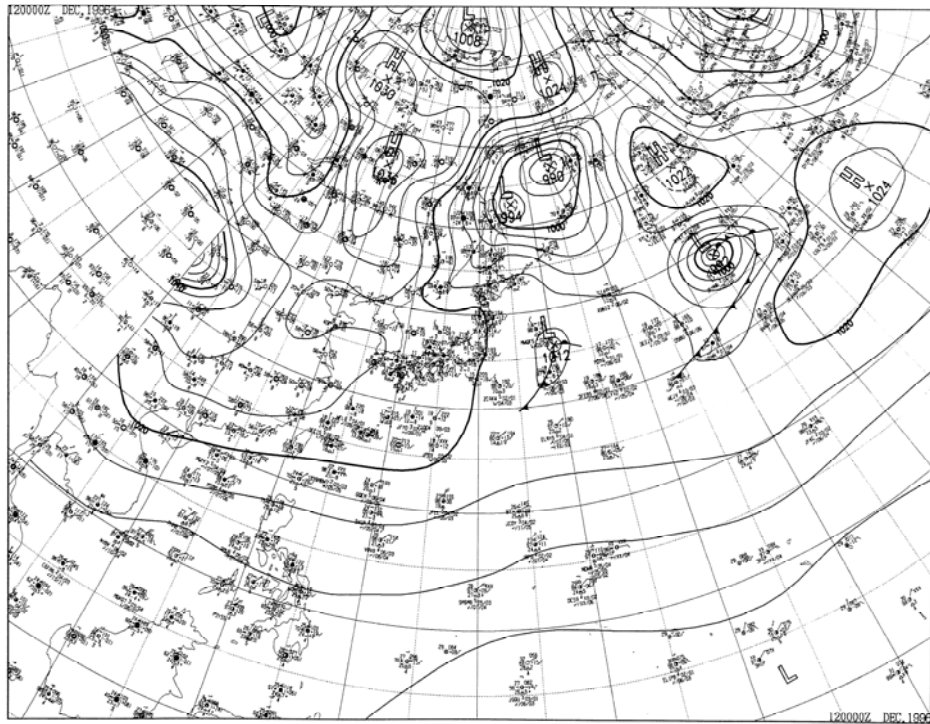
2、沙塵暴發生時地面觀測資料

將萬里背景監測站資料將可能發生大陸沙塵暴的天數整理出來，並且將 1994 年至 2003 年資料依序列出，然而發生沙塵時的天氣狀況如何，是否有特定的氣候狀態，根據當天的中央氣象局地面觀測資料分析氣壓及風向狀況，可能有沙塵暴時前後幾日來分析並討論之。

3、沙塵暴發生時高空觀測資料

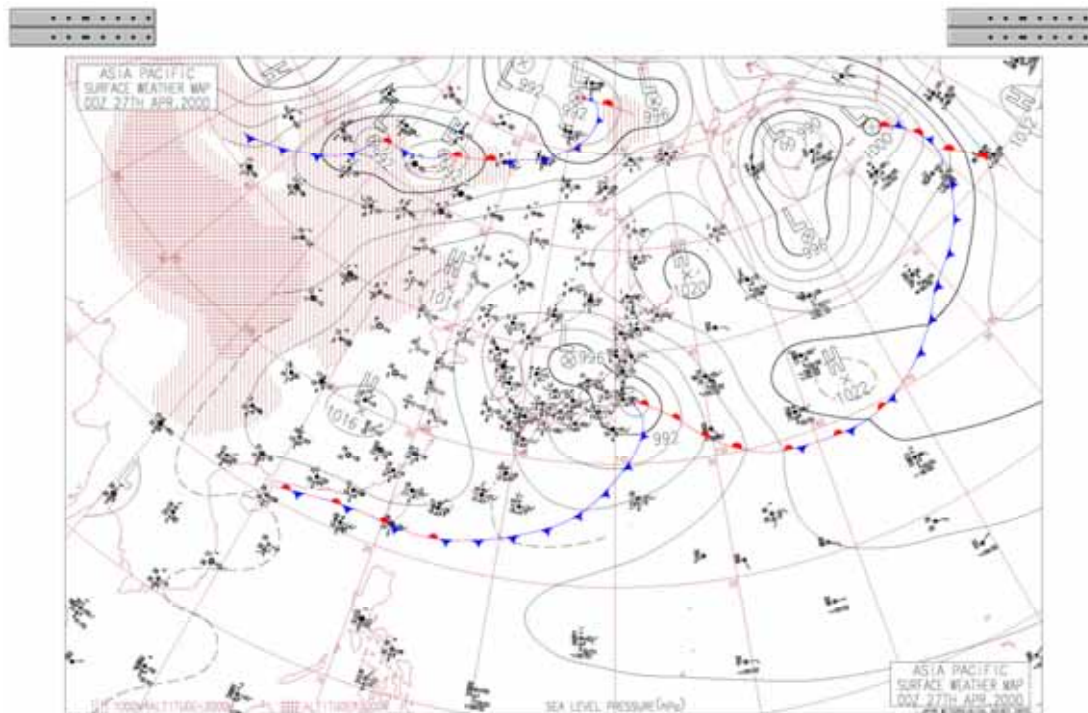
大陸沙塵暴侵台之懸浮顆粒藉由高空傳輸至台灣，顆粒大多小於 $<10\mu\text{m}$ (PM_{10}) 甚至更小。懸浮顆粒藉由高空的傳輸到數千公里的地方。爲了瞭解大陸沙塵暴發生的氣候狀態與傳輸方式需要高空的觀測資料來比對，本研究取日本氣象廳的高空氣天氣圖包含 300hpa、500hpa、700hpa 及 850hpa 高空資料。

說明 2000-04-27 及 1996-12-12 大陸沙塵暴侵襲台灣案例



日本氣象廳 1996-12-12-00Z 地面觀測圖

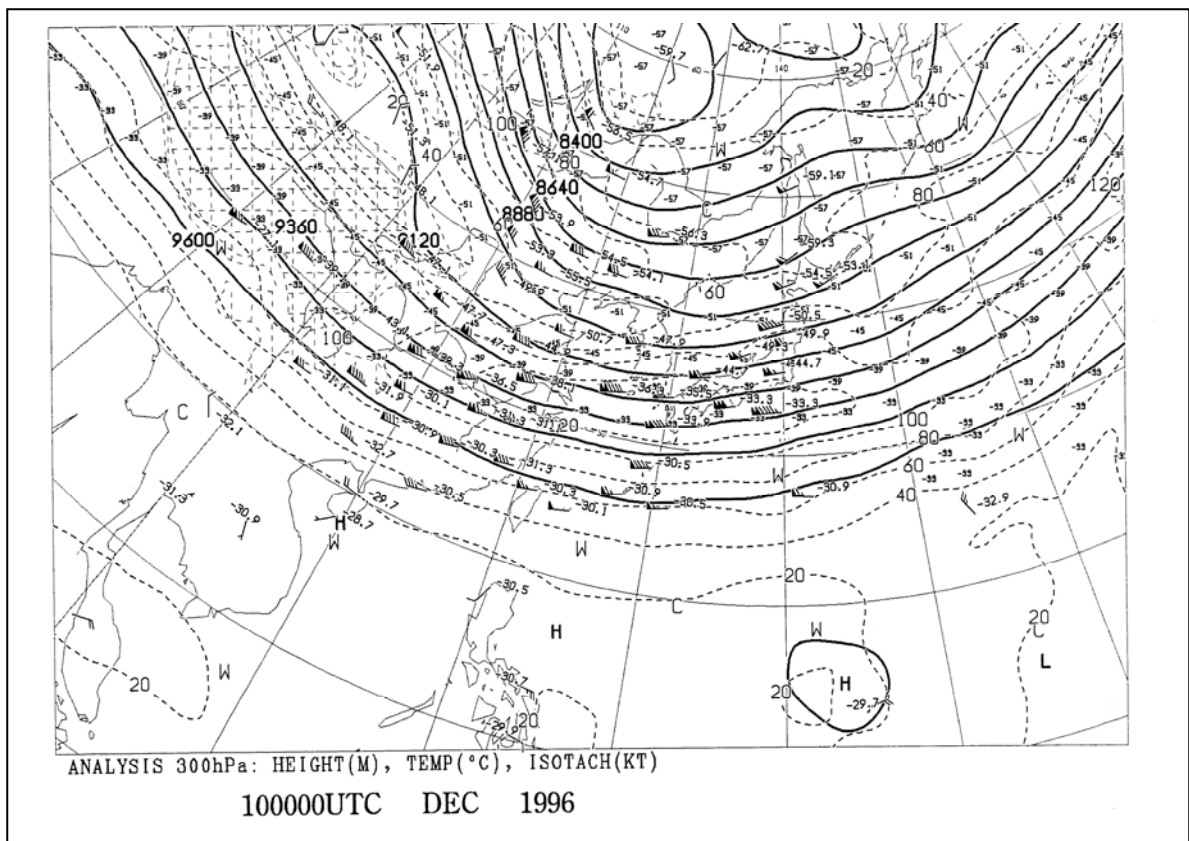
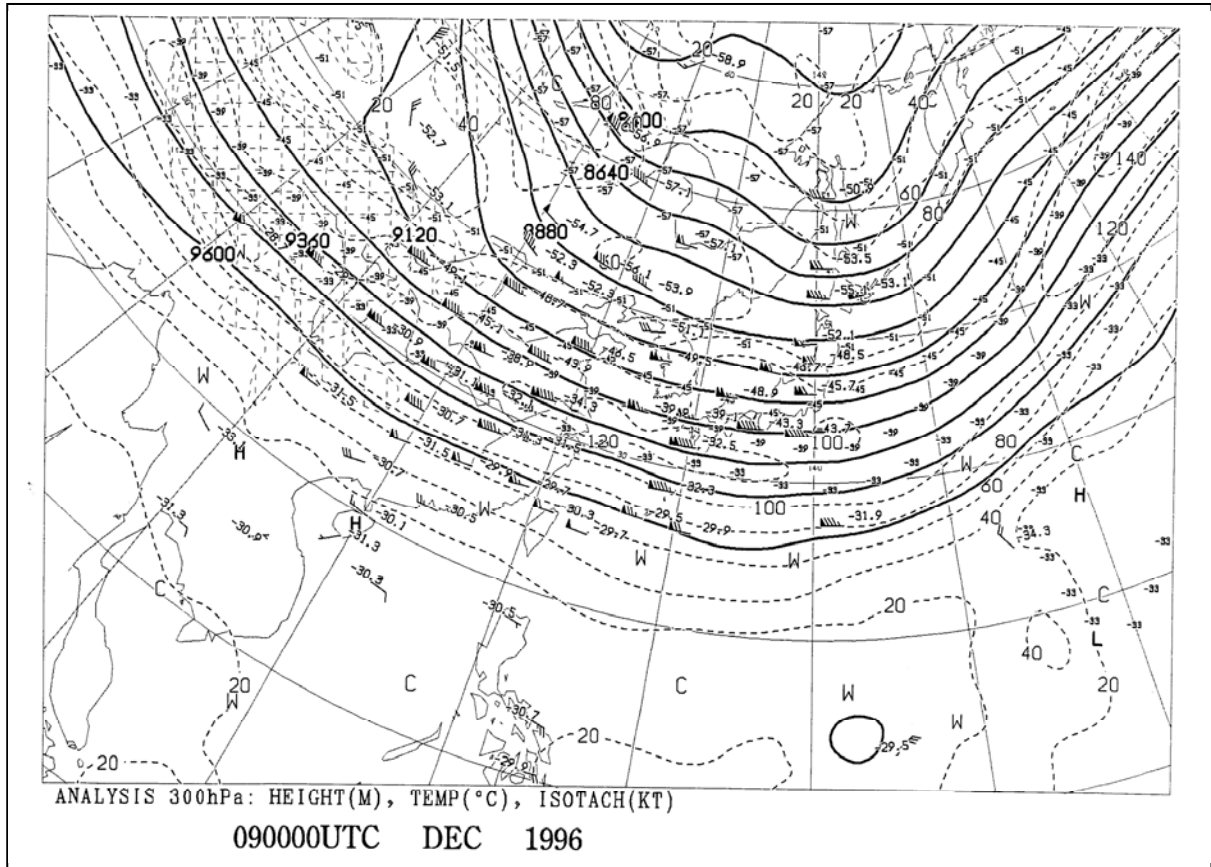
萬里及基隆地區主要受到北風到東北風影響，此時萬里監測值 115.74 ug/m^3



日本氣象廳 2000-04-27-00Z 地面觀測圖

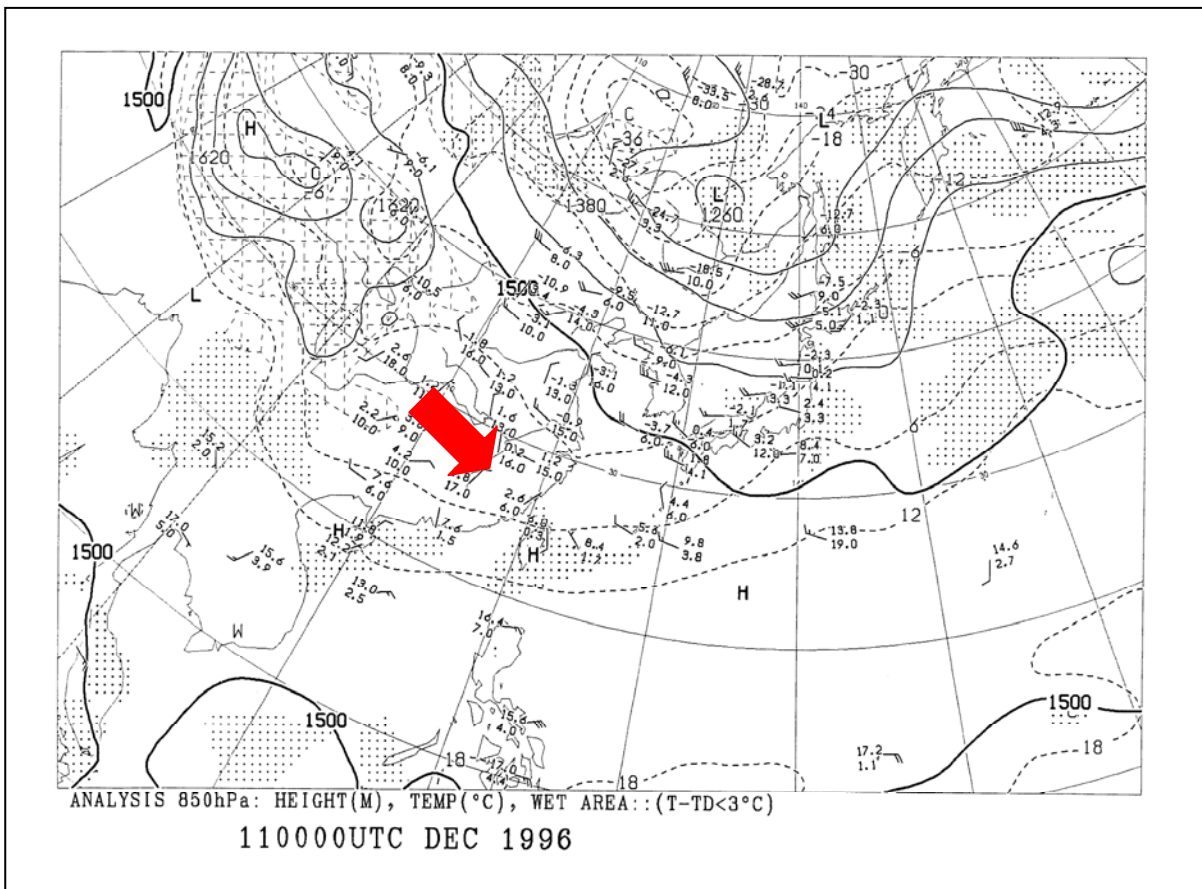
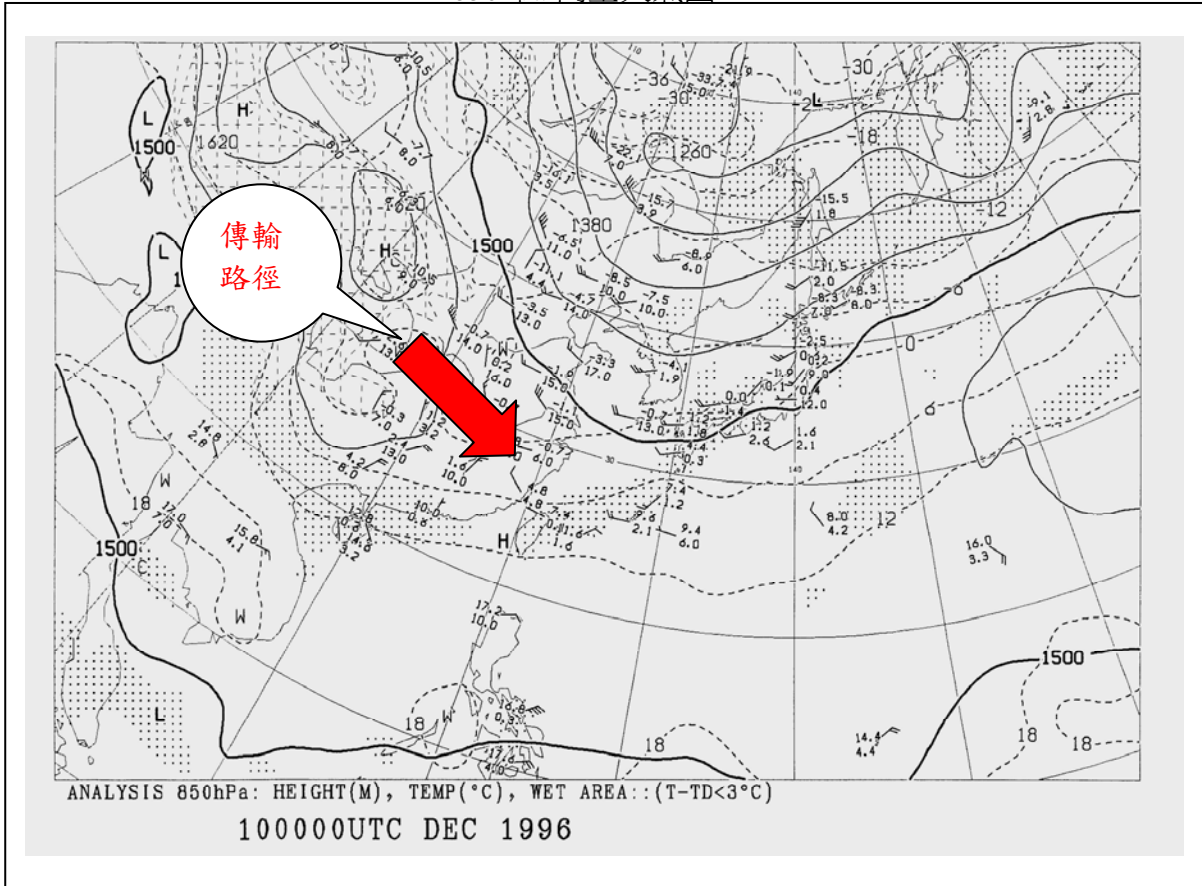
基隆地區主要受到東北風，此時萬里空氣品質監測值 284.54 ug/m^3

日本氣象廳 300hpa 高空天氣圖



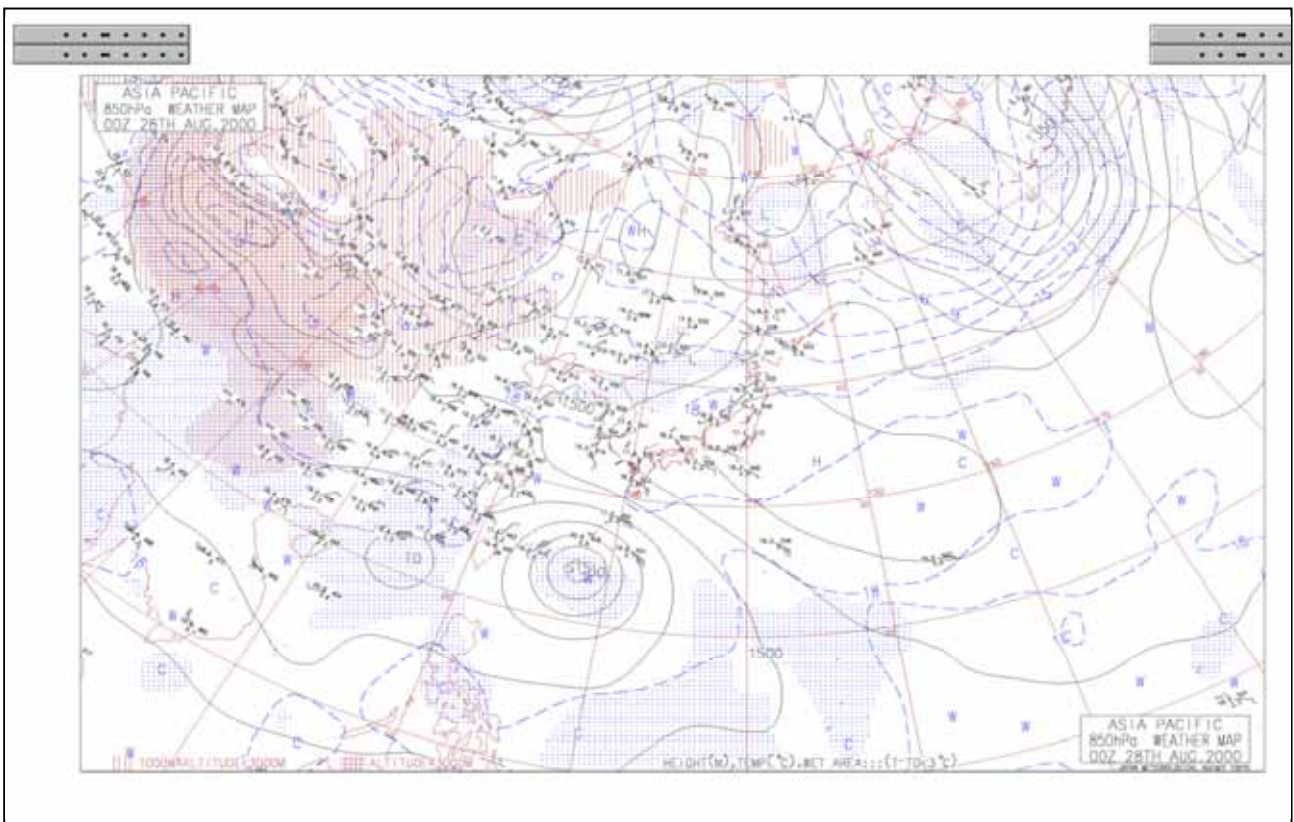
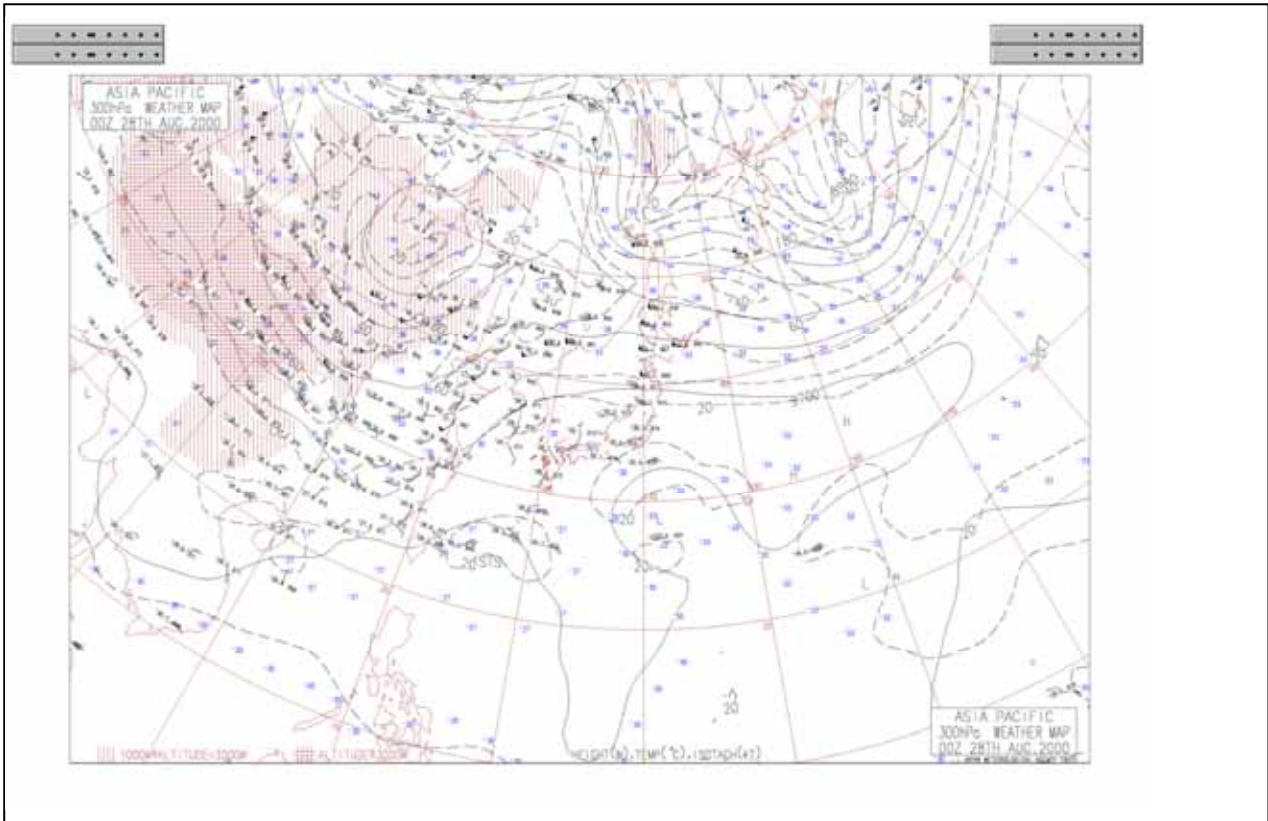
說明：1996年12月9日及10日日本氣象廳高空300hpa風場圖，圖中可知，高空風場風向為西向，有利長距離輸送微粒物質。

850Hpa 高空天氣圖



說明：1996年12月9日及10日日本氣象廳高空850hpa觀測圖，高空風向為西北風，有利長距離輸送微粒物質。(大陸沙塵暴侵襲時)

圖說明：(非沙塵暴侵襲案例) -300hpa 及 850hpa 高空天氣圖

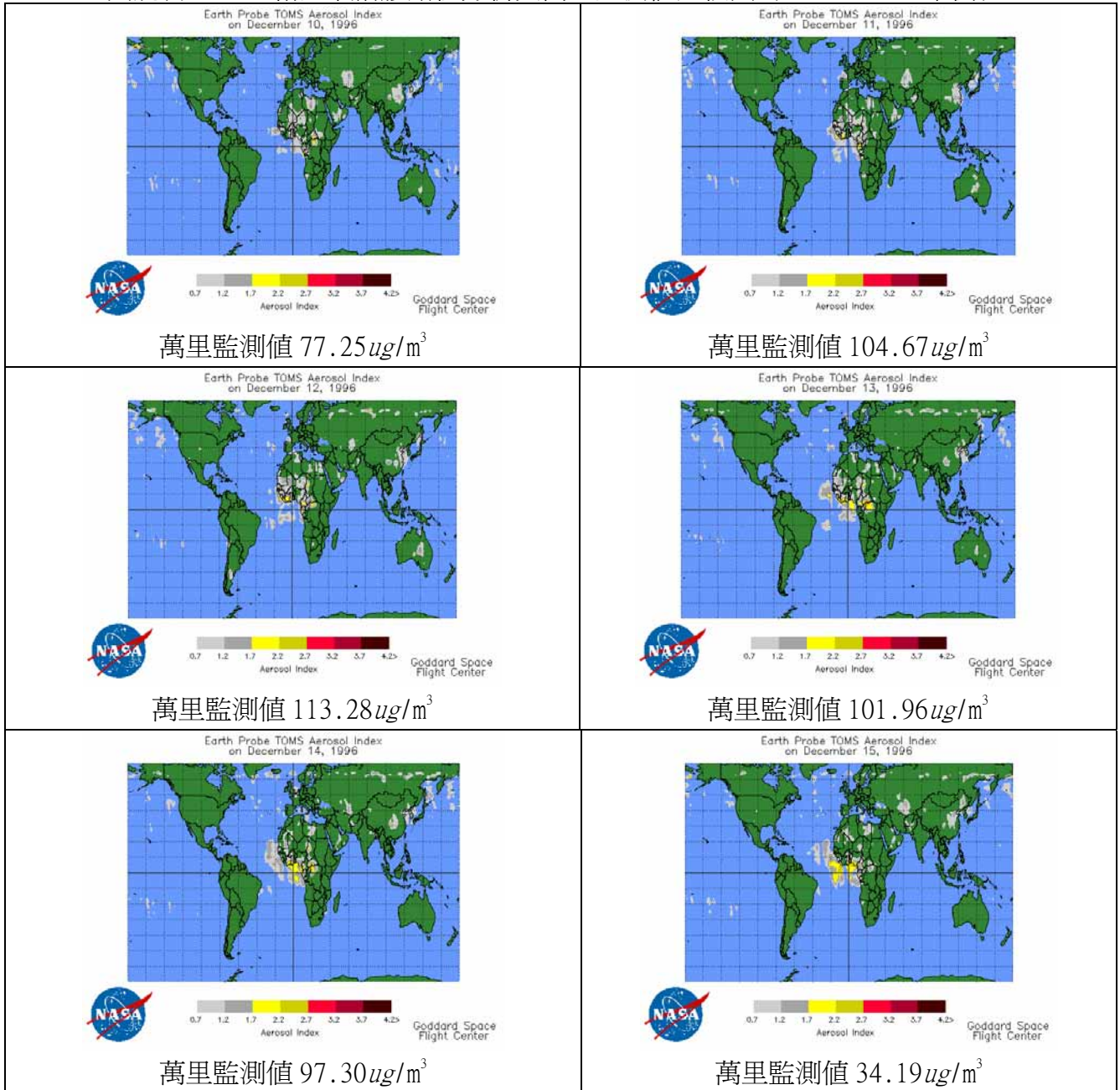


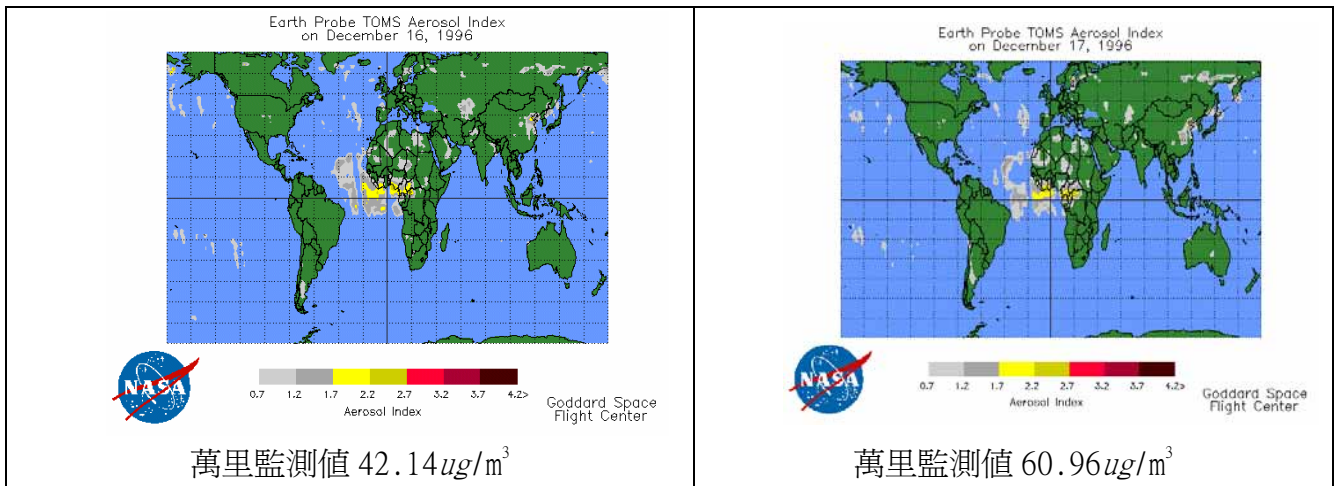
說明：2000年8月28日日本氣象廳高空300及850hpa觀測圖，圖中可知，300hpa大陸高空風向西南風，850hpa大陸高空風向偏北風，不利長距離輸送微粒物質且台灣地區受到東邊颱風影響。(非大陸沙塵暴侵襲時案例，雖萬里監測值高達 $110.53\mu g/m^3$)

4、沙塵暴發生時衛星觀測資料

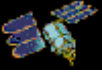
雖將沙塵暴發生次數及日數整理出來，但是否確為大陸地區沙塵所影響，故參考美國太空總署衛星(Earth Probe)監測 TOMS 網站的資料，由大範圍的觀察加以驗證及路徑繪製，亦可看出大陸沙塵暴的移動路徑，以期瞭解侵襲台灣的沙塵暴，並且由衛星資料也顯示出沙塵暴的強弱。

圖說明：NASA 衛星氣溶膠路徑分析與萬里監測值比較圖（1996-12-10 案例）



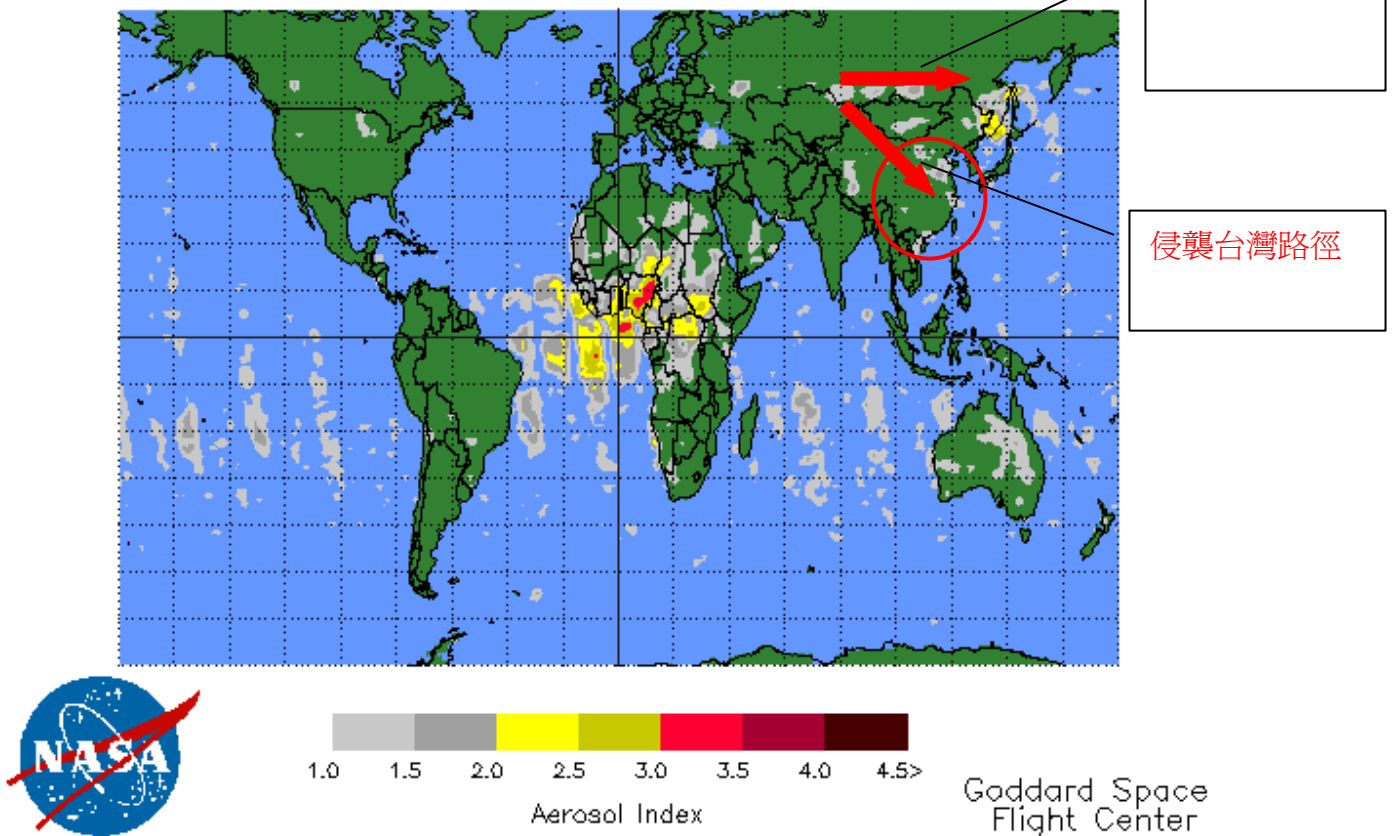


簡表：氣溶膠觀測衛星資料

| 衛星名稱 | 感測器 | 資料 | 主要用途 | 接收資料時間 | 備註 |
|--|-----------------------|-------|-----------------------|-----------|--------------|
|  Earth Probe | AVIRIS 航空可見光/紅外光成像光譜儀 | 1°X1° | 生態、海洋、地質、雪、水雲、大氣、監測臭氧 | 1996~2003 | 圖片取自 NASA 網站 |

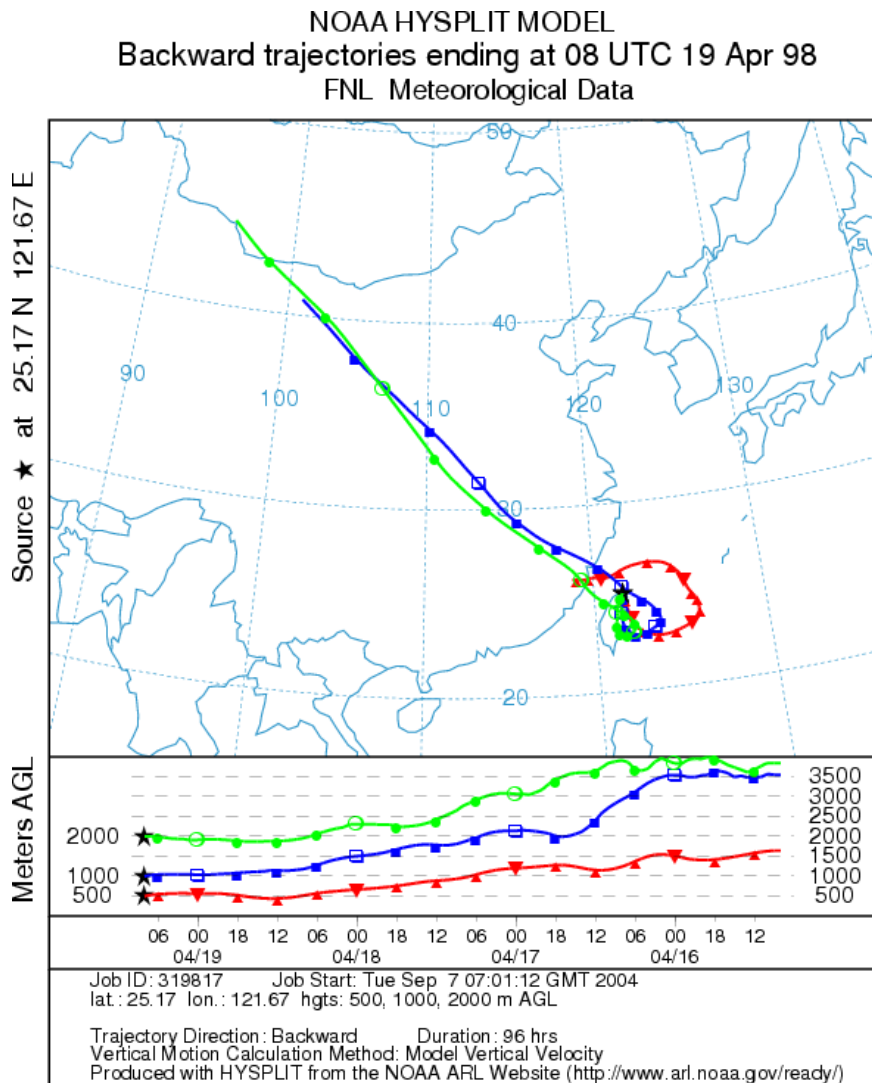
圖說明：2002-02-09 大陸沙塵暴氣溶膠路徑圖

Earth Probe TOMS Version 8 Aerosol Index on February 09, 2002



5、NASA 航空資源實驗室的氣流模式

使用氣流模式主要的原因是：第一、氣流模式是全球公認，較有可靠性。第二、使用此模式可以畫出沙塵暴發生前 2~3 天的氣流軌跡移動路線。以此氣流回推圖可幫助我們在判定是否為大陸沙塵暴所侵襲時的各個高度的氣流變化及沙塵暴發源地。



1998-04-16 至 19 日氣流回推軌跡圖 (HYSPLIT MODEL)

6、探討大陸沙塵暴發生次數與「聖嬰現象」及「反聖嬰現象」之間的關係

十年中「聖嬰現象／反聖嬰現象」(El Nino／La Nina) 現象反覆地出現，影響著整個大氣的環流系統，間接影響到整個大陸地區沙塵暴輸送，本報告比對中央氣象局公佈之「聖嬰現象」及「反聖嬰現象」發生年月記錄表。對於聖嬰與反聖嬰定義，本文採取 (Trenberth, 1997) 所定義之，北緯 5 度至南緯 5 度，西經 120 度至西經 170 度範圍，即 Nino3.4 之海溫變化，作為量度聖嬰現象強弱的指標。當 Nino3.4 之平均海溫距平，經過 5 個月滑動平均後，其值連續 6 個月以上均大於 0.4°C ，即為進入聖嬰現象的狀態；反之，海溫距平小於 0.4°C ，達 6 個月以上即進入反聖嬰的狀態，其他情形則為正常狀態。區分出聖嬰與反聖嬰年月的大陸沙塵暴次數來比較，以期瞭解「聖嬰現象」及「反聖嬰現象」時是否發生的次數與頻率，察覺是否平時年、聖嬰年、反聖嬰年大陸沙塵暴發生情況與變化趨勢。

7、懸浮顆粒成分的實驗分析：目的是想了解大氣中所挾帶的懸浮顆粒成分，並且比較沙塵發生日與平時狀況的懸浮成份是否有差異。**實驗步驟如下：**

(一)、標本的採集

1. 使用高流量空氣採樣器收集之彭佳嶼之標本，將濾紙分成四等份，取 1/4 做消化。
2. 取四個標本，2002-0209-11，0211-0213 有沙暴 2002-0215-17，0219-21 無沙暴

(二)、標本的消化

1. 消化前先將鐵氟龍燒杯以自來水及蒸餾水清洗數次，加入 3ml HNO₃(GR 級)，至於加熱板上約一小時，再以蒸餾水清洗兩次，才開始進行消化。消化步驟：
 - (1) . 在氣流罩桌下，取出先前分割好的標本(1/4)部分，蓋上杯蓋，註明編號。
 - (2) . 各加入 10ml 的 HNO₃，以 120 度 C 約加熱一小時。
 - (3) . 加 5ml HF 及 0.5ml HCL 於燒杯內繼續加熱，直到溶液完全蒸乾。
 - (4) . 燒杯內在加入 2ml 的 HNO₃ 繼續加熱，約 10 分鐘後觀察溶液是否完全澄清，若尚未完全溶解，則在重複步驟 2、3。
 - (5) . 標本完全溶解後加入約 40ml 蒸餾水，在至於加熱板上，以 120 度加熱至剩下 5ml
 - (6) . 將燒杯冷卻後，倒入以蒸餾水清洗過的 25ml 定量瓶內，再加入蒸餾水稀釋至 25ml，即可放入冰箱冷藏，待儀器分析。

(三)、儀器分析：

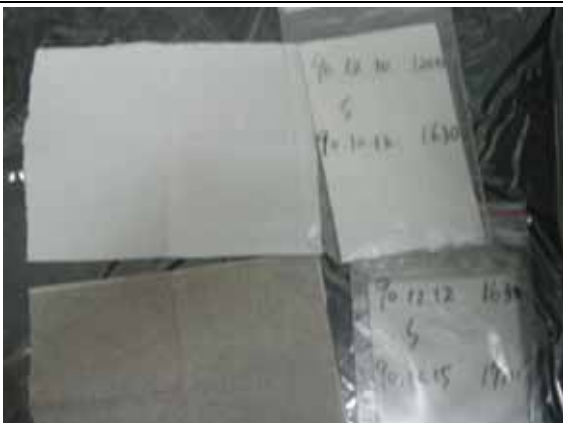
1. 儀器名稱：原子吸光儀
2. 成分分析：經消化、稀釋後的標本溶液以原子吸光儀分析其中的元素含量。



消化的處理過程



一次處理六個樣本



2001-12-12 沙塵暴與平時色澤比較



1997-05-21 沙塵暴與平時的濾紙色澤比較

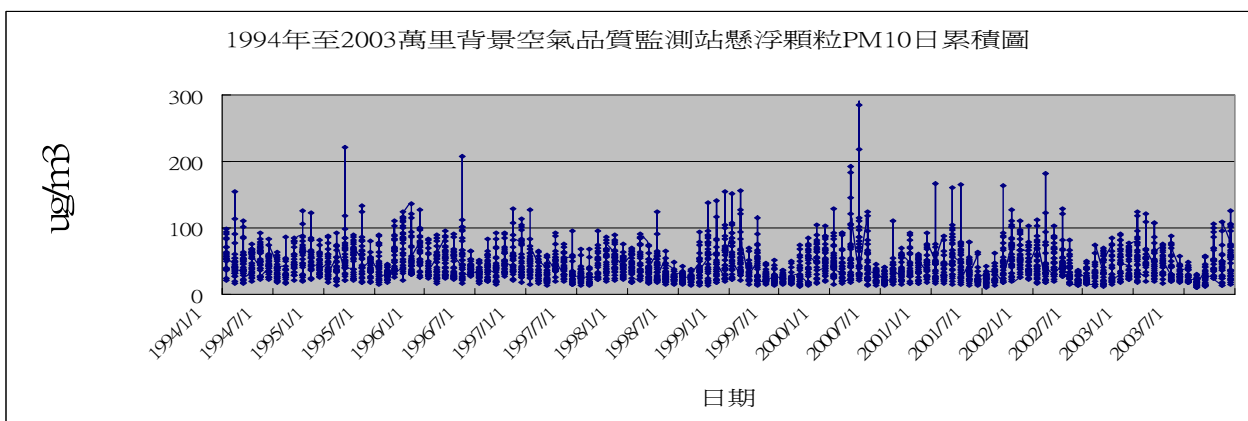
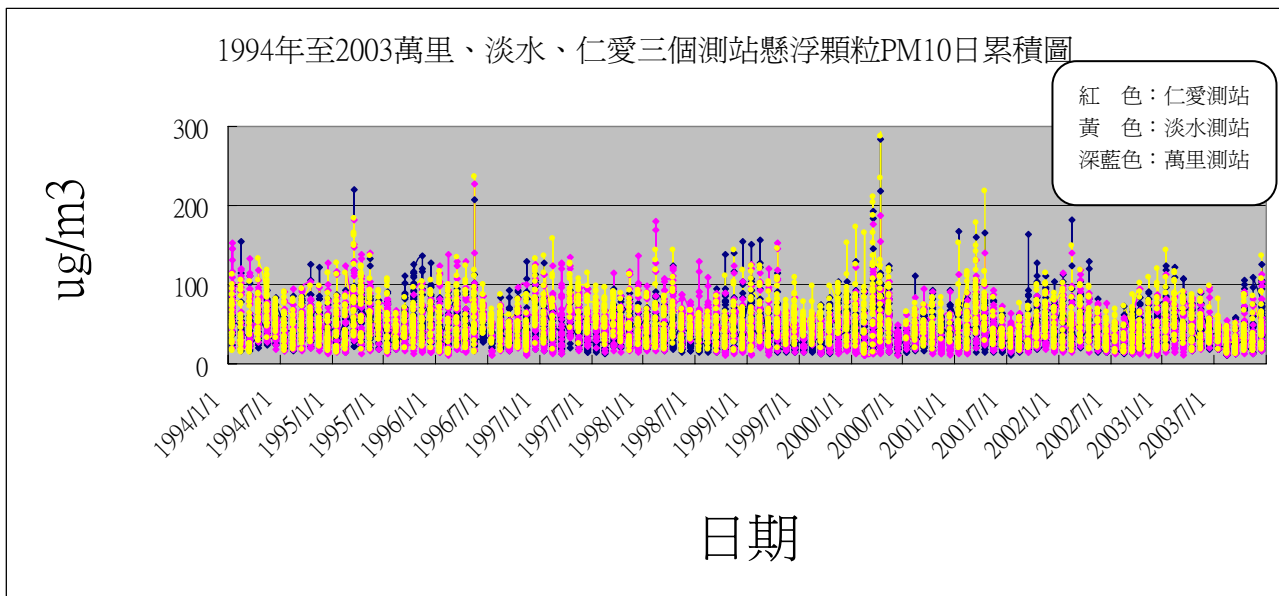
8. 時間序列分析：

將懸浮顆粒 PM_{10} 依日期分成週平均與月平均值，之後進行頻譜分析，在本研究中時間序列分析的方式是使用ARAND（美國布朗大學地質科學系所開發的套裝程式）來進行標本頻譜分析、相位分析以及濾波分析等，來求出樣本中的週期性變化。藉由相干性及相位，以及頻譜的能量密度，我們可以探討時間序列的週期性及不同時間序列的相互關係。而濾波是將一個時間序列濾出某一個週期的波形，用來看一個時間序列在特定週期上隨時間的相位與振幅變化情形。

肆、研究結果與討論

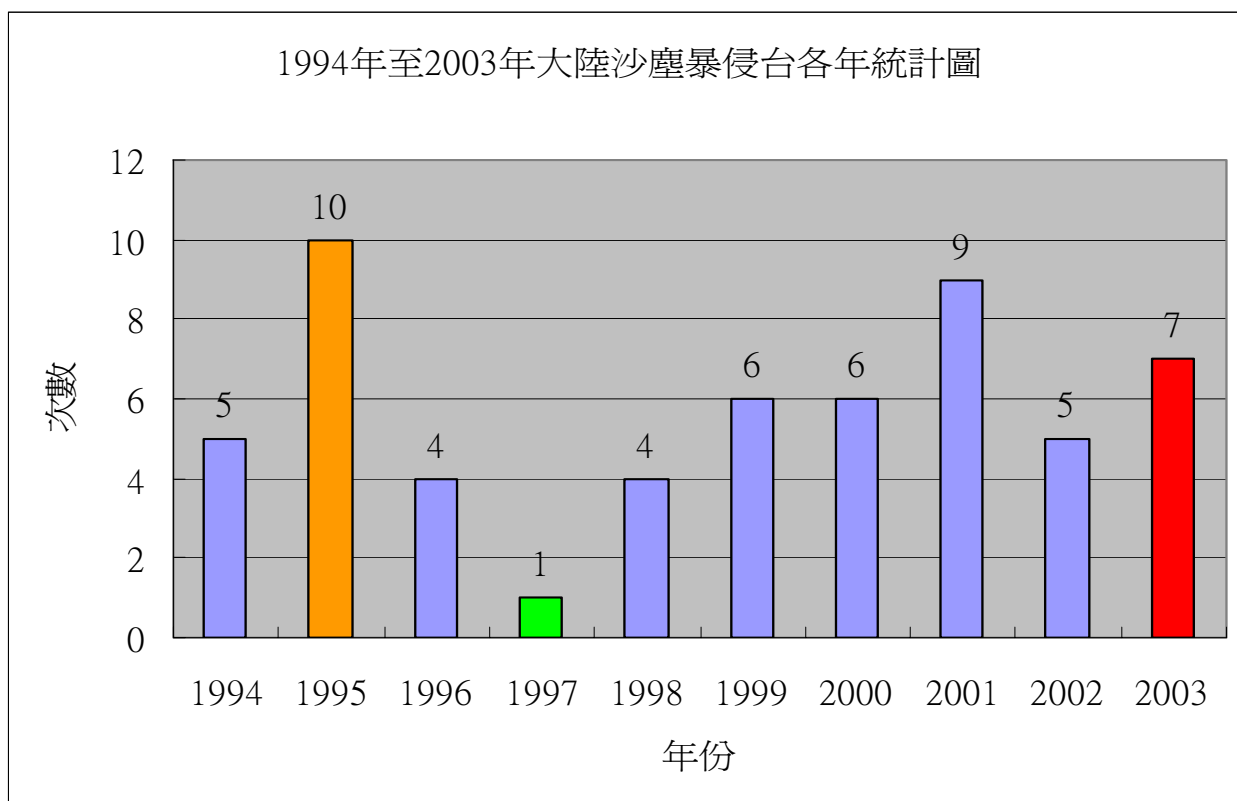
一、研究結果

1. 由 1994 年至 2003 年懸浮顆粒資料可知，三個測站日平均值，基隆 $53.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、淡水 $45.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、萬里 $43.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其中基隆受到都市污染值呈現較高值。

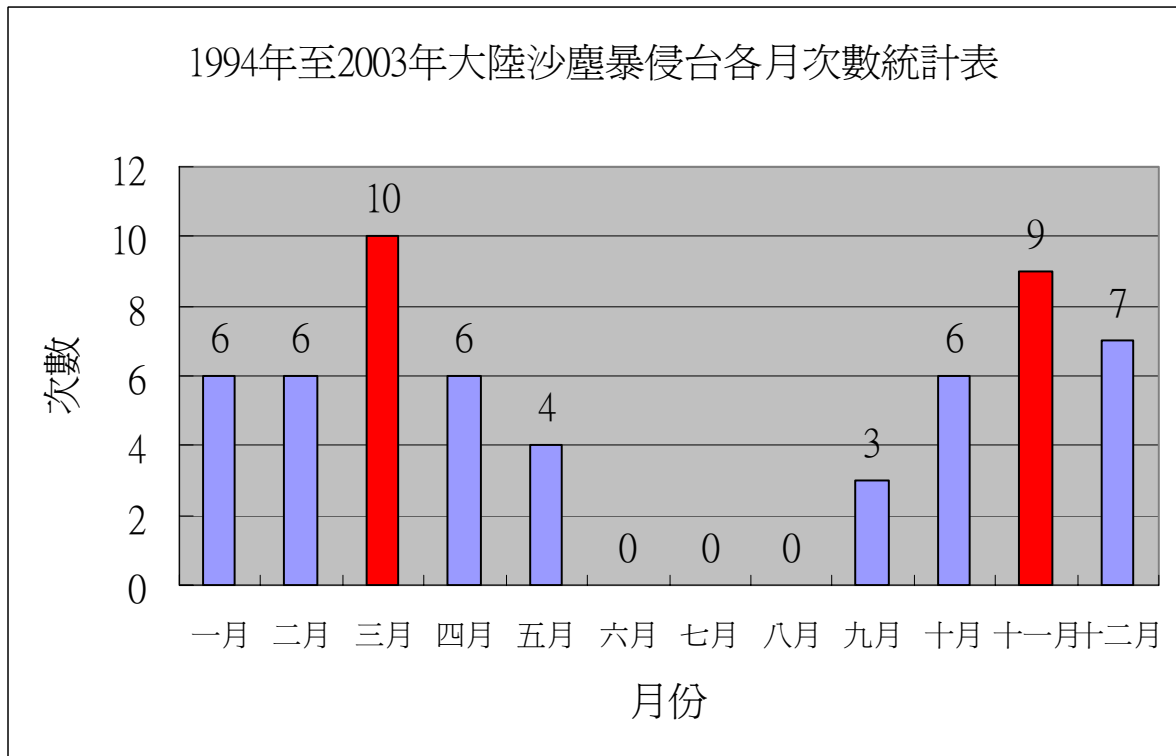


2.大陸沙塵暴侵襲台灣北部，十年中有 57 次，最高值在 1995 年十次，1997 年次數僅有 1 次。

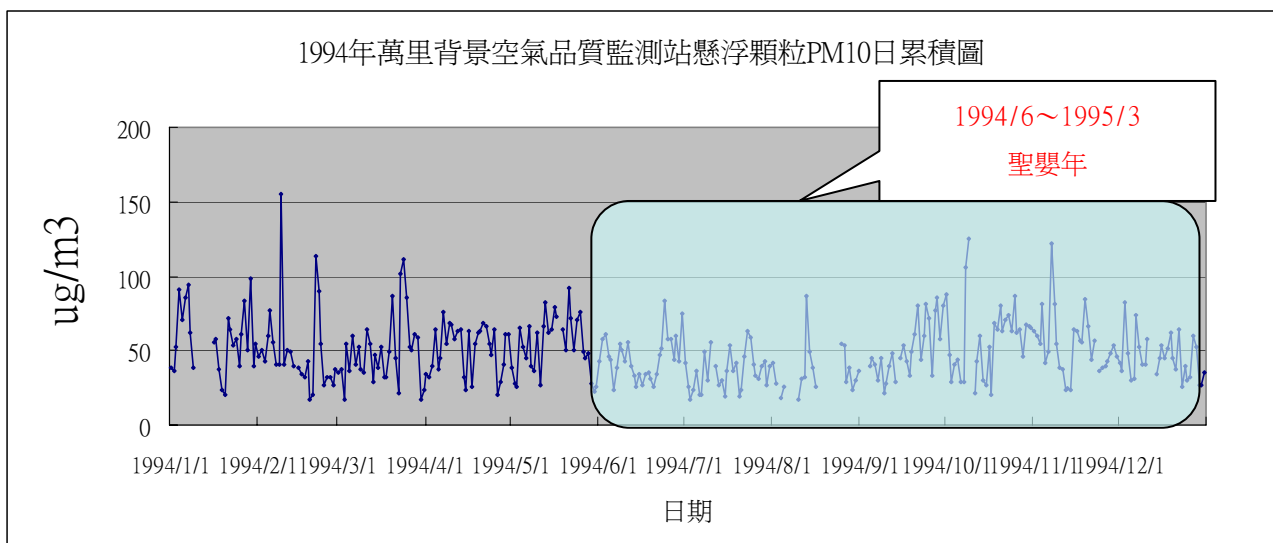
| 月份 年份 | 一 | 二 | 三 | 四 | 五 | 六 | 七 | 八 | 九 | 十 | 十一 | 十二 | 總計 |
|----------|---|---|----|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1994 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5 |
| 1995 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 3 | 1 | 10 |
| 1996 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 4 |
| 1997 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1998 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| 1999 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 6 |
| 2000 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 2001 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 9 |
| 2002 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 2003 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 7 |
| 月份 次數 | 6 | 6 | 10 | 6 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 9 | 7 | 57 |



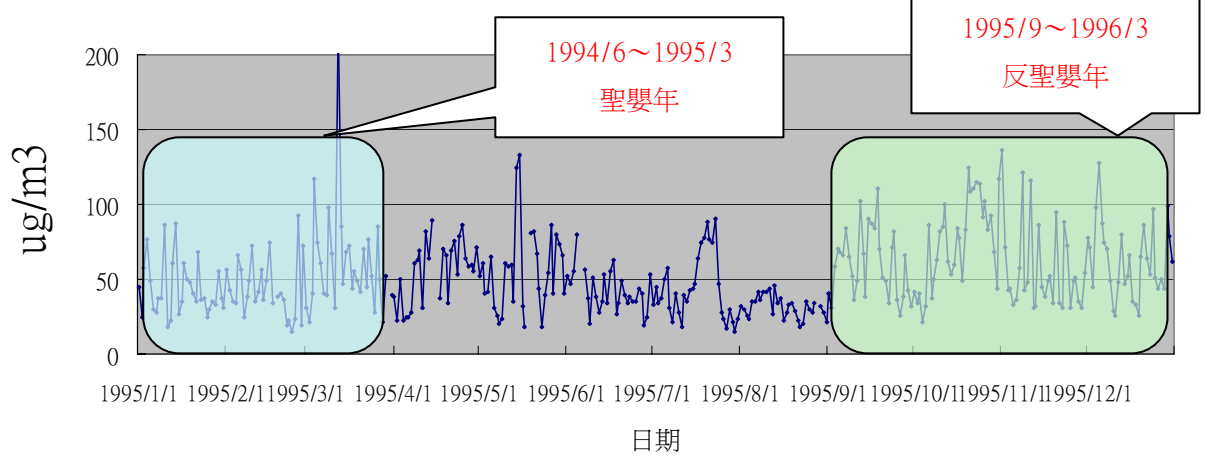
3. 綜合沙塵暴十年次數，發生月份以三月、十一月為高峰期，夏季都沒有侵台紀錄，發生次數多為秋、冬季及秋冬春交替的時候。



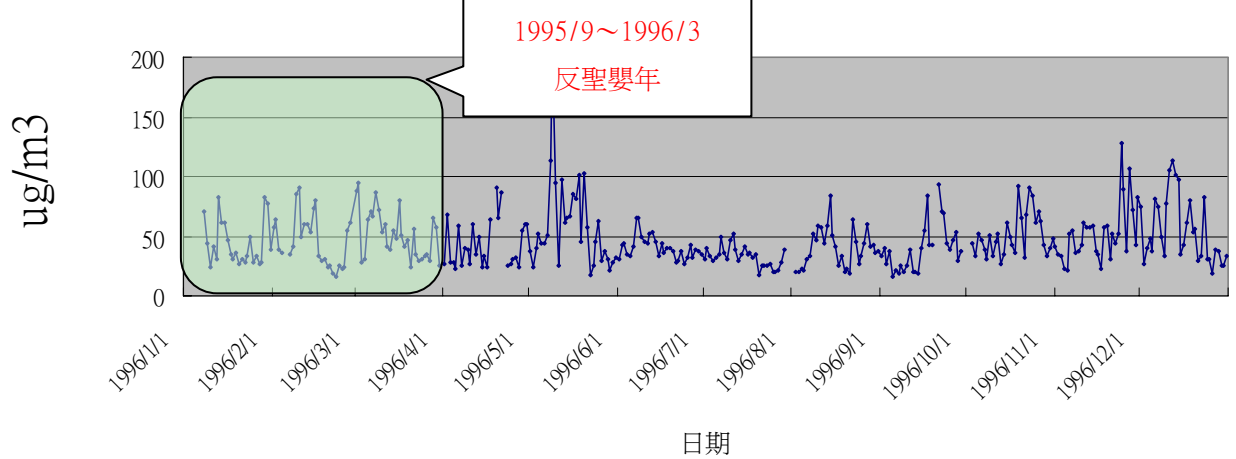
4. 綜合大陸沙塵暴侵襲次數得知，聖嬰現象時侵臺次數為 8 次，反聖嬰期間侵臺次數為 22 次，可知「反聖嬰現象」發生期間沙塵暴侵臺頻率較高，「聖嬰現象」期間沙塵暴侵臺發生頻率較低。



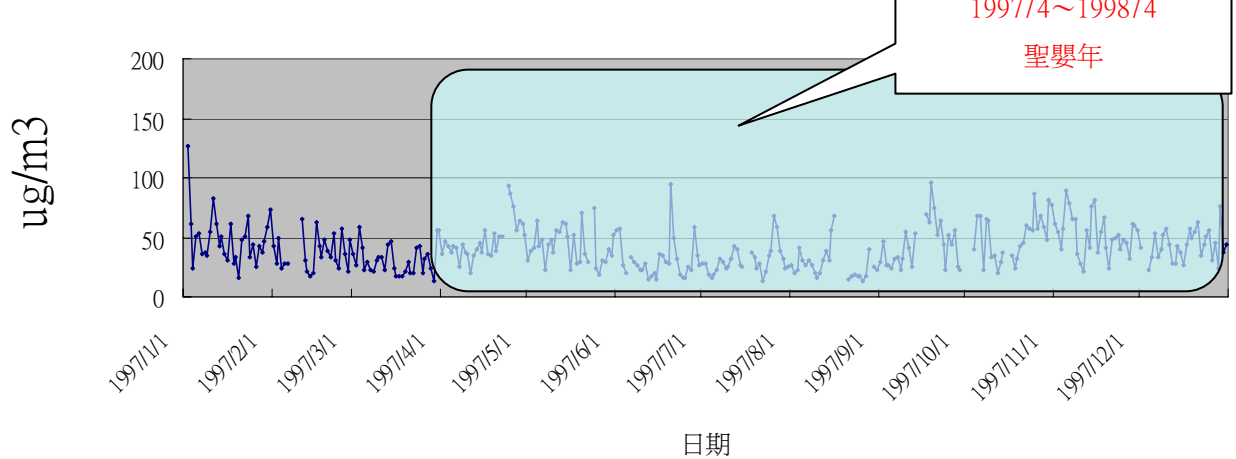
1995年萬里背景空氣品質監測站懸浮顆粒PM10日累積圖

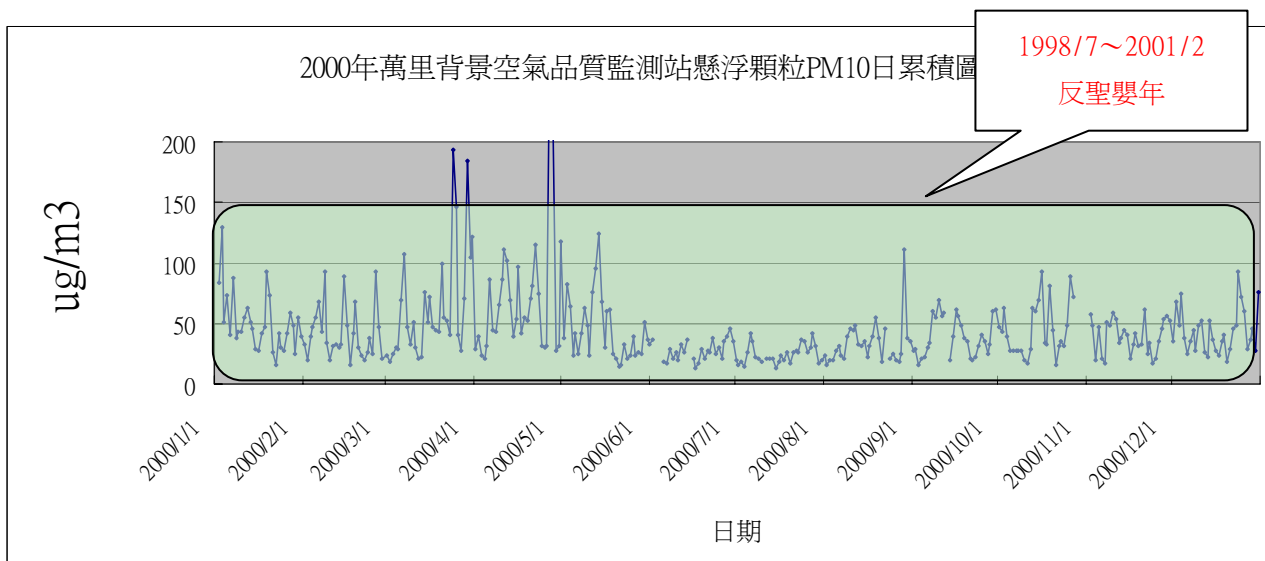
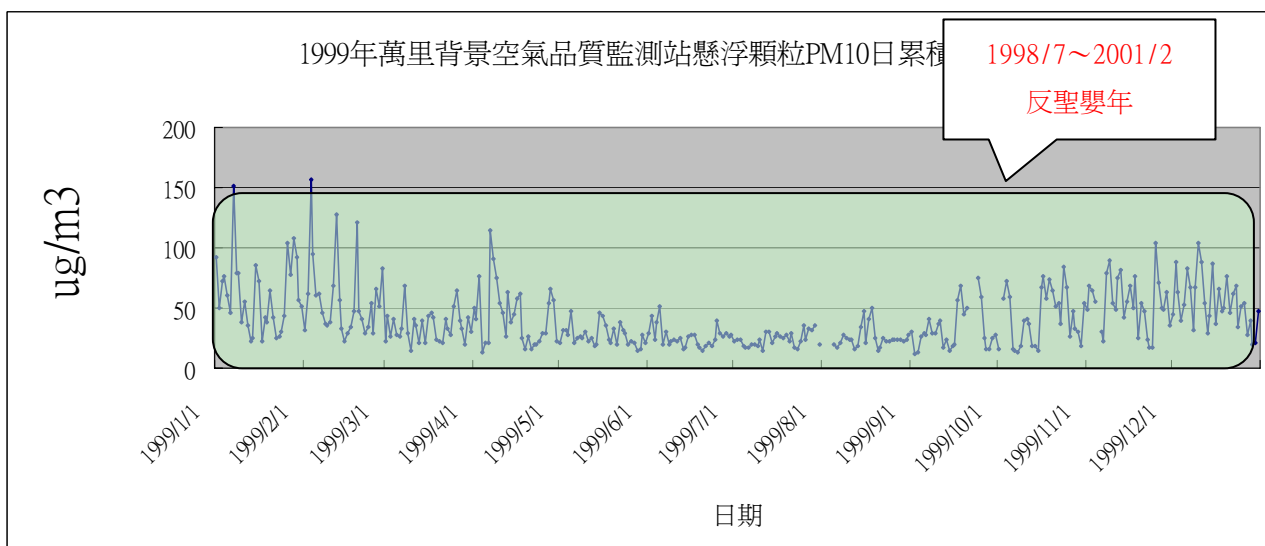
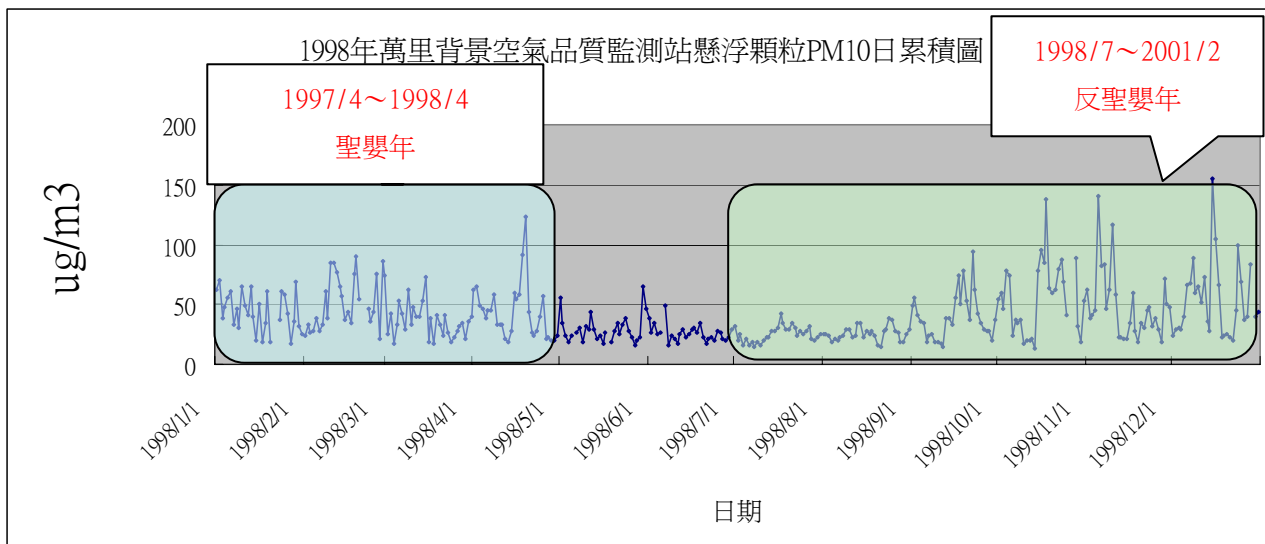


1996年萬里背景空氣品質監測站懸浮顆粒PM10日累積圖

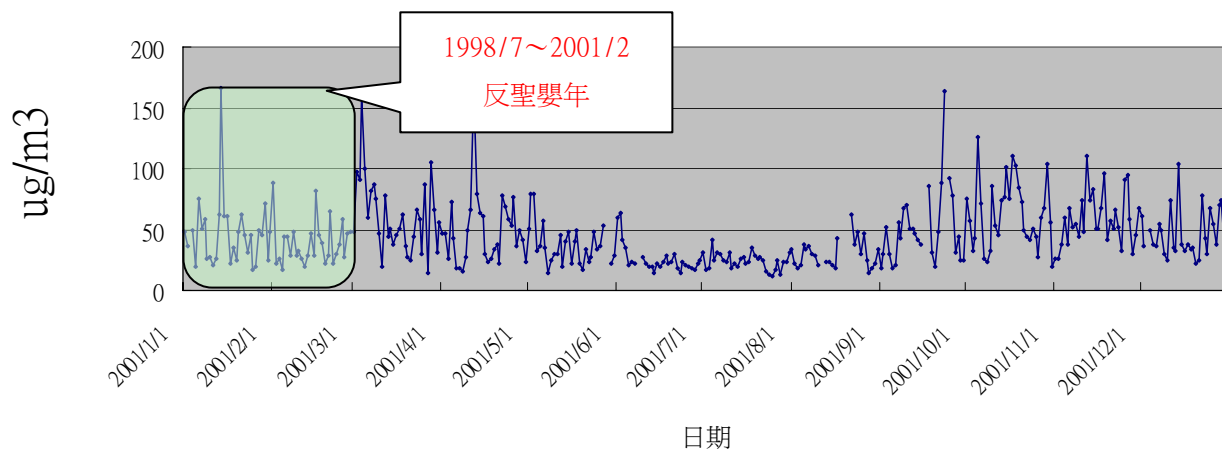


1997年萬里背景空氣品質監測站懸浮顆粒PM10日累

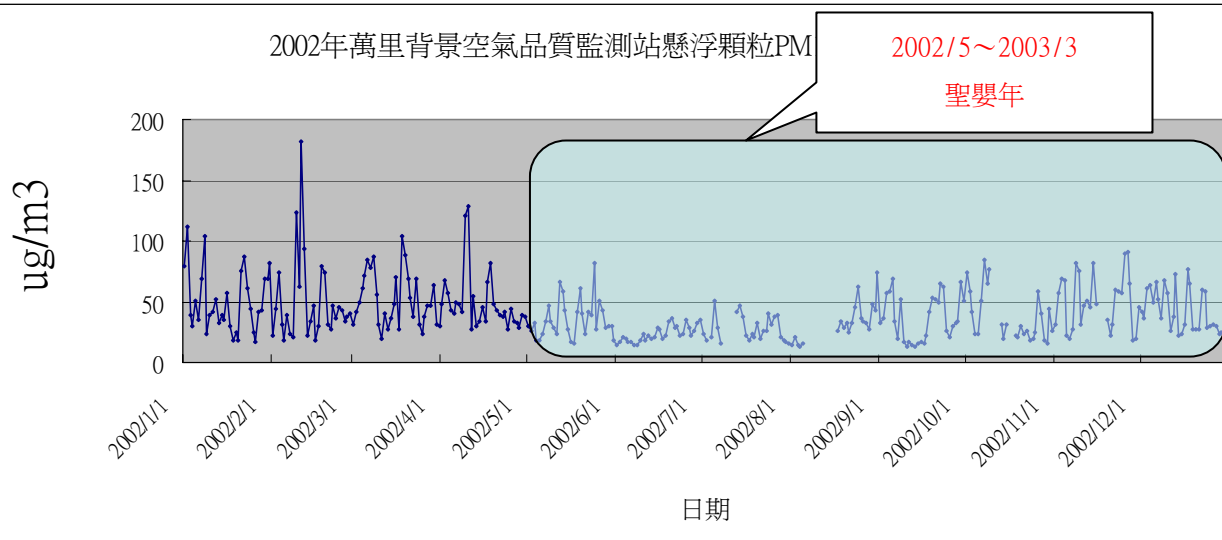




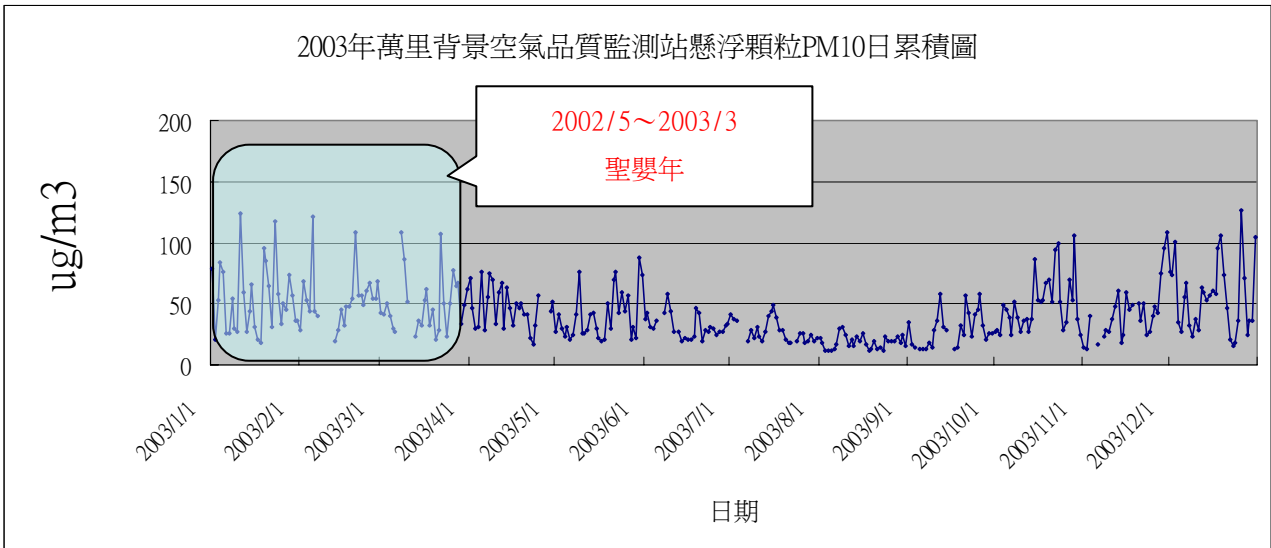
2001年萬里背景空氣品質監測站懸浮顆粒PM10日累積圖



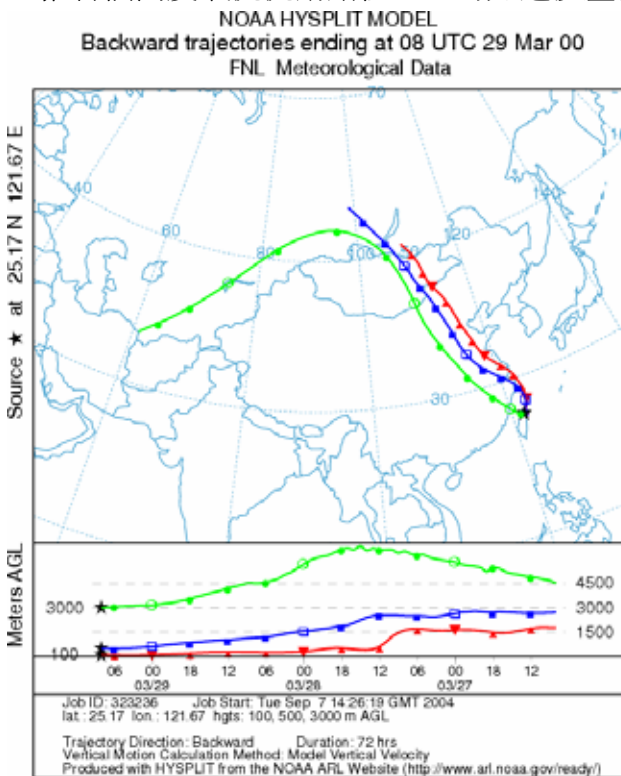
2002年萬里背景空氣品質監測站懸浮顆粒PM



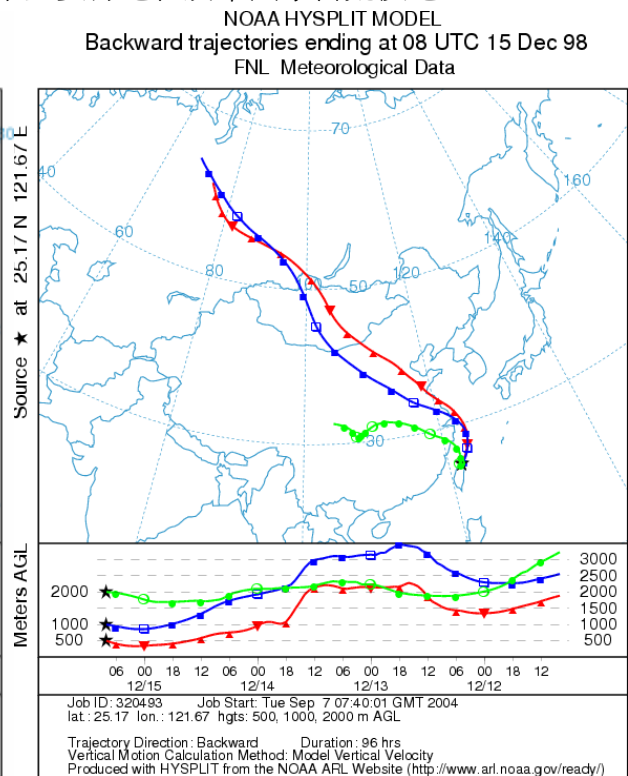
2003年萬里背景空氣品質監測站懸浮顆粒PM10日累積圖



5. 將大陸沙塵暴侵台發生日期輸入 NASA 航空資源實驗室的氣流模式 (HYSPLIT MODEL)，可回推各個高度氣流流動路徑，並可知道沙塵暴主要源地在於中國蒙古荒漠地區。



2000年3月27至29日氣流回推圖



1998年12月12日-15日氣流回推圖

6. 經由彭佳嶼濾紙標本可發現，顏色呈黃褐色，推判有大量的地殼物質，可能與沙塵暴有關，若成灰黑色，則表示有較多量的碳灰，應與空氣污染有關。經原子吸光儀分析，得知鋁、鐵、鈣、錳等元素量值均大於平常好幾十倍，鋁元素值最高可達到 5236 ng/m^3 。

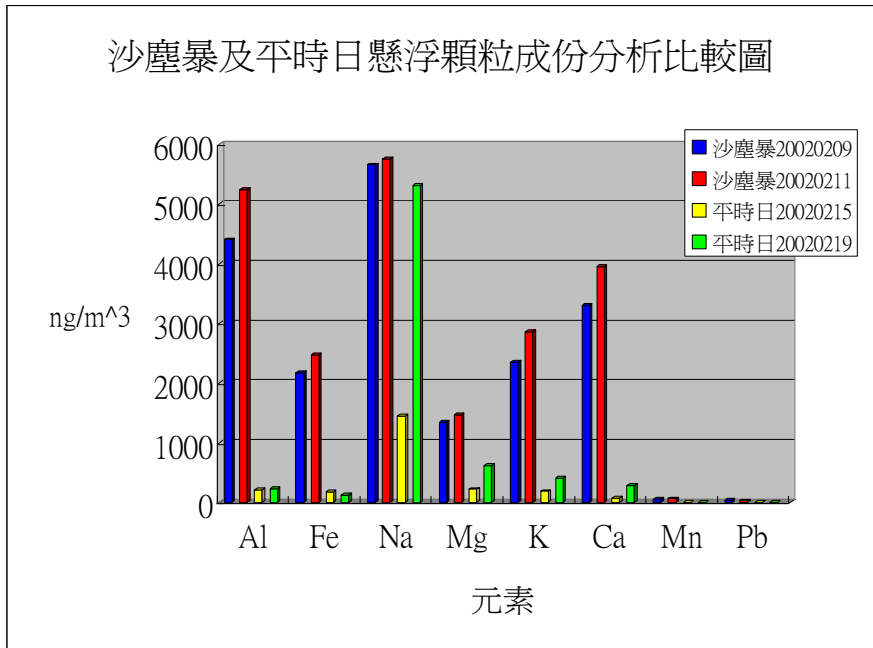


成分分析實驗結果如下：

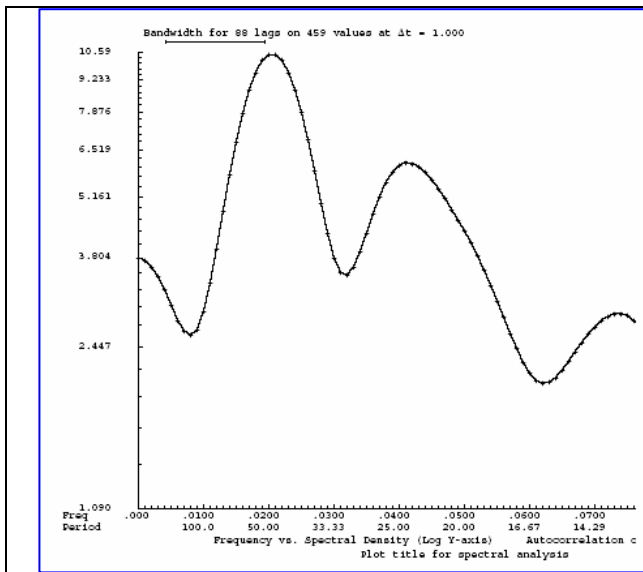
表說明：沙塵成分分析表

| ng/m ³ Date | Al | Fe | Na | Mg | K | Ca | Mn | Pb |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2002 0209 | 4402 | 2172 | 5652 | 1350 | 2343 | 3297 | 57.6 | 45.8 |
| 2002 0211 | 5236 | 2474 | 5756 | 1464 | 2859 | 3952 | 64.8 | 29.8 |
| 2002 0215 | 208 | 184 | 1456 | 225 | 190 | 81 | 2.5 | 7.7 |
| 2002 0219 | 233 | 124 | 5313 | 616 | 415 | 287 | 3.5 | 5.2 |

圖說明：沙塵暴與平時懸浮顆粒成分元素長條圖。

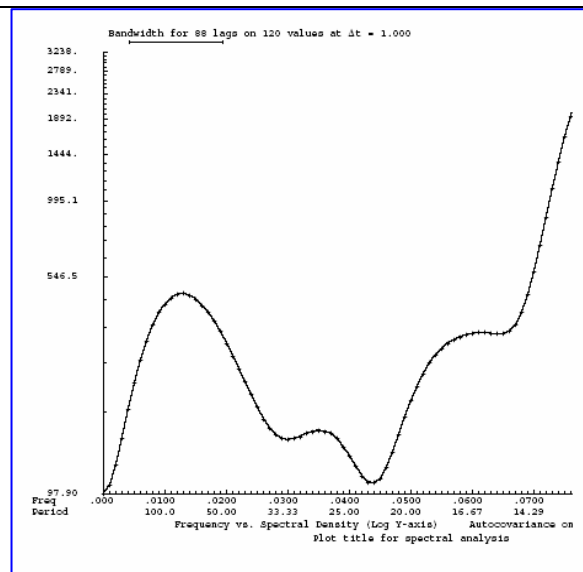


7. 時間序列分析結果，可知懸浮顆粒高峰期約有 1 年期及 6 個月週期變化，懸浮顆粒低峰期有 2.2 年 7 個月的週期變化。



資料：每週週平均值（1994~2003）

圖中 X 軸為頻率
 圖中 Y 軸為頻譜密度（對數值）
 高峰值在 1 年及 6 個月
 低峰值在 2.2 年 7 個月



資料：每月平均值（1994~2003）

圖中 X 軸為頻率
 圖中 Y 軸為頻譜密度（對數值）
 高峰值在 6-7 年值
 右半側為邊際效應可忽略
 但由於資料值只有十年的區間，此圖較為不可信

二、研究結果討論

在研究的過程中，我們特別針對下列幾項問題，特別提出來討論：

(一) 大陸沙塵暴判斷方式與限制？

本研究綜合前人研究，當沙塵暴侵襲台灣時，大氣中的懸浮顆粒PM₁₀會快速累積至100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上，為平時累積量的兩倍或三倍，且沙塵暴源地距離台灣數千公里，懸浮顆粒大多小於 $<10\mu\text{m}$ (PM₁₀) 甚至更小，故本研究PM₁₀是很好的指標。研究界定100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 為臨界點有其困難點，主要是當大陸沙塵暴較為微弱時，懸浮顆粒數值只增加20-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，介於100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右數值以氣溶膠衛星圖輔助判別，但以100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 仍有參考價值。本研究將100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 強度為中等沙塵暴，大於150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 為強沙塵暴，由空氣污染指標(Pollutant standards Index, PSI)達到不良程度。當弱沙塵暴發生時，判別有其困難性且資料不顯著。除懸浮顆粒PM₁₀數值外，輔以地面、高空觀測圖，判定風向及氣候狀況，氣溶膠衛星圖了解沙塵移動路徑，再以NASA航空資源實驗室的氣流模式，回推大氣氣流在不同高度下的移動路徑，用來加以驗證有大陸沙塵暴侵襲台灣氣流狀態，以精準了解沙塵暴侵台的氣候狀態與移動路徑。

強大陸沙塵暴的次數方面(大於150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)，十年中有15次，發生在聖嬰時期有2次，反聖嬰時期有8次，平時5次。但在實際判別美國太空總署衛星圖之時，監測資料有時不是很明顯，可能與觀測時氣候有關連，故無法完整監測到沙塵暴侵襲移動路徑，也需要其他氣候與氣流軌跡圖去輔助，這也是本研究的限制之一。

(二) 四季懸浮顆粒的變遷

大氣中的懸浮顆粒是判別空氣中是否有外來污染主要的指標，冬春兩季是沙塵暴易發期，當沙塵暴形成時，將捲起大量的沙塵粒子，再配合高空大氣環流向東傳輸，東亞上空的懸浮顆粒主要含量是地殼物質。藉由由測站的懸浮顆粒資料可得知，當有外來物質的影響，所測得的值會比平常高出2~3倍，想了解一年四季，哪些季節易有外來的污染源所影響，而近十年來各季懸浮顆粒值的變化。

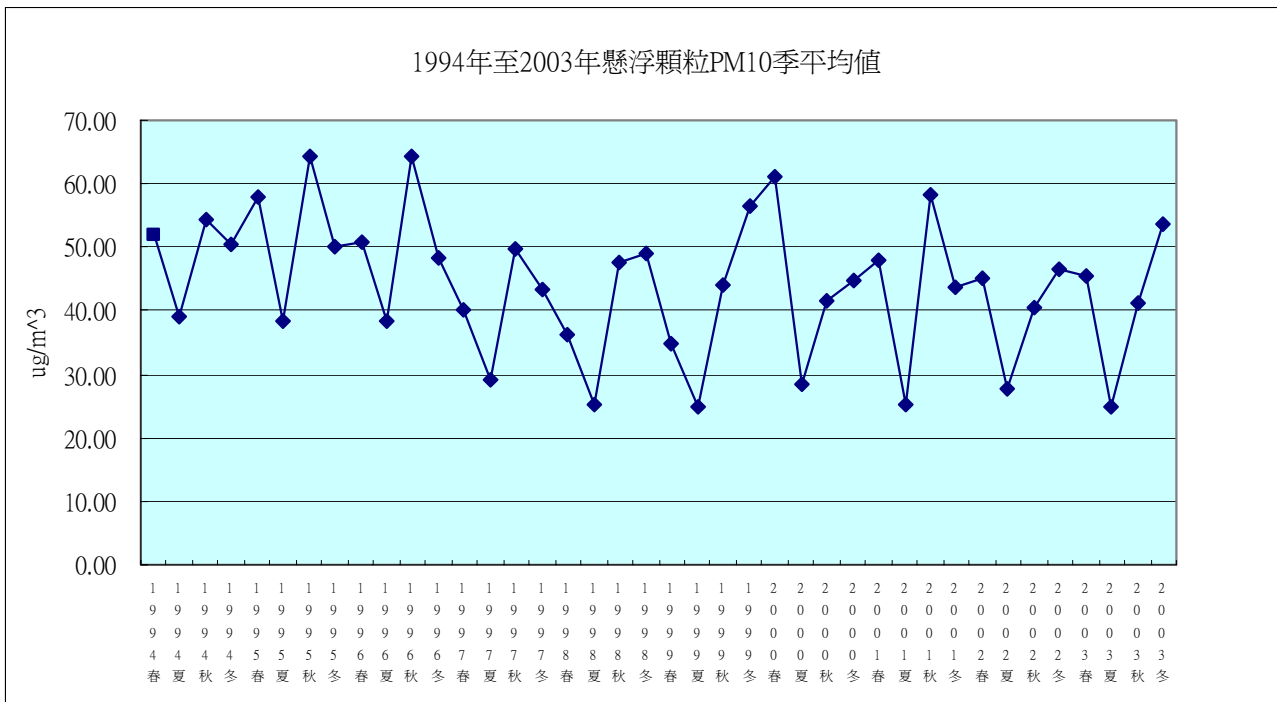
蒐集行政院環保署北部三個空氣品質監測站(PM₁₀)的資料，計算各季的懸浮顆粒平均值及十年的總平均。統計結果發現，十年來懸浮顆粒平均值在秋天最高冬天次之，夏天最低。

如下表：

| 年份 PM10 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 十年 平均 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 春 | 51.98 | 57.97 | 50.72 | 40.13 | 36.07 | 34.93 | 61.04 | 48.04 | 45.30 | 45.37 | 47.16 |
| 夏 | 38.97 | 38.55 | 38.55 | 29.24 | 25.22 | 24.78 | 28.32 | 25.18 | 27.77 | 24.99 | 30.16 |
| 秋 | 54.37 | 64.27 | 64.27 | 49.78 | 47.54 | 44.21 | 41.65 | 58.43 | 40.62 | 41.18 | 50.63 |
| 冬 | 50.56 | 50.10 | 48.42 | 43.20 | 48.98 | 56.48 | 44.84 | 43.64 | 46.62 | 53.80 | 48.66 |

- (1) 由統計的數據得知，十年中秋季的平均值最高有5次、冬季有4次、春季1次，夏季0次。而十年的總平均是秋季最高。冬季時，大陸地區主要受到蒙古或西伯利亞高壓所籠罩，每年九月中旬至隔年五月下旬，台灣受到東北季風的影響。大陸沙塵暴形成後，揚

起的沙塵粒子高度約在 3000-5000 公尺，會由高緯度的西風帶向東傳輸，再順著東北季風影響至台灣；高度較低的約 1000 公尺則隨著高壓的移動，由中緯度的季風(此時為東北季風)向東輸送，若高壓東南移才會影響到台灣。



(2) 夏季時，東太平洋處於副熱帶高壓，大氣環流的方向並不利於大陸沙塵暴的傳輸。台灣主要受到西南季風的影響，風從海上往陸地吹，較乾淨且有洗滌空氣的效果。假使有沙塵侵襲至台灣，也會因西南季風的關係，而降低可能性。所以在夏季，台灣北部測站所測得的平均值為四季之中最低，換句話說，此季節台灣較不受外來物質所污染。

綜合得知，台灣北部近十年來大氣中的懸浮顆粒平均值為秋季最高、冬季次之，夏季最低，影響台灣秋冬兩季懸浮顆粒值較高的主因是：①大陸沙塵暴與②季風的變化所致。秋冬、冬春之際，是大氣變化不穩定的時刻，乾燥的土壤加上強風等，很容易形成沙塵暴。再配合蒙古高壓的移動沙塵粒子往東和東南傳輸。夏季，大陸處於氣候較潮濕，較難有沙塵暴的發生，再加上大氣環流的不適合，所以台灣夏季受大陸外來物質影響較低。懸浮顆粒值的多寡表示著大氣中是否增加外來物質，進而影響到空氣品質，因此我們可知道在春、秋、冬是大陸沙塵暴的盛期，也是台灣空氣品質較不好的狀態，尤其有強烈沙塵暴侵襲台灣時，有呼吸疾病的民眾就要做好防備。

(三) 大氣懸浮顆粒成份分析

大氣中懸浮顆粒的成分有十餘種，所挾帶的元素主要分為①地殼物質、②海鹽物質、③污染物質。測站本身會隨著季節氣候的不同而背景值有所變化，所測得的資料也會被當地四周的環境干擾，或是有突發狀況發生而其數據就會有誤差。但本研究成果分析的樣本位於台灣東北角海域-彭佳嶼外來的影響已經降到最低，比本島的背景監測站污染源更為減少。由濾紙標本觀察中發現，顏色呈黃褐色，推判有大量的地殼物質，可能與沙塵暴有關，若成灰黑色，則表示有較多量的碳灰，這與空氣污染有關。樣本消化處理後，經原子吸光

儀分析，得知鋁、鐵、鈣、錳等元素量值均大於平常好幾十倍，Al最高可達到 5236 ng/m³。大氣中的懸浮顆粒重要來源是全球主要沙漠乾燥氣候區。當大陸地區沙塵暴發生時，強風會揚起大量的沙塵微粒(2.0~3.0um)，其元素含量鋁、鐵、鈣、錳等地殼物質會快速上升。中國沙塵暴常發生於冬春之際，冬季西北大陸處於西伯利亞或蒙古高壓狀態，配合高壓的移動，可將沙塵微粒向東傳輸，沙塵暴隨著特定的高壓南下，才會影響至台灣。實驗分析鋁元素值在沙塵暴侵台期間，均大於一般值幾十倍以上。檢視陸源物質指標鋁元素之濃度大於 3000 ng/m³ 的濾紙標本，均可發現顏色呈黃褐色，表示有沙漠或黃土物質輸入。同時其濃度高值出現於冬末春季、受東北季風影響之時，可判斷其來源地區應為北方之中國大陸。中國大陸沙塵暴常於冬末初春發生，發生時會使大氣懸浮礦物顆粒量增加。

(四) 討論「聖嬰現象」時沙塵暴次數減少，「反聖嬰現象」發生期間時沙塵暴次數增多可能原因？

當聖嬰現象發生時，赤道太平洋上的東風逐漸減弱，甚至東風會轉換成東向的西風，東南太平洋湧升流也跟著減弱，促使海面溫度升高，空氣變暖易凝結下雨。東太平洋氣壓值降低，降雨區往東移，造成整個大氣環流的大變動，原本乾燥的地方會下雨造成水災；降雨區會移至印尼，但澳洲卻乾旱。大陸沙塵暴的傳輸是藉由中緯度氣流所傳送，因著聖嬰現象的發生，減弱的東風使東亞冬季季風強度減弱，所以沙塵暴較不易向外傳輸。反聖嬰時期，因南美洲西岸海面異常的降溫，太平洋赤道上的東風增強，使東亞冬季季風增強，大氣環流更加不穩定，其變化速度及強度都增大，加上大陸地區的氣溫明顯偏高降水又少、土壤乾燥疏鬆，配合強風就易引起沙塵天氣。中國沙塵暴研究也說明 2000 年春季沙塵暴頻率增高因素，主要是反聖嬰現象處於高峰期所引起氣候異常所致，而中國北方地表覆被（地面植被、水體等覆蓋）狀況惡化也是另外一種原因。在反聖嬰年時，伴隨大範圍的海洋大氣過程的變化速度和強度超過平時年，造成中國北方 1999 年冬天強寒潮大風天氣頻繁出現；加上 2000 年春天中國北方地區氣溫顯著增高，同時降水少，引起了很多次的強沙塵天氣。所以可得知，聖嬰年時，大陸沙塵傳輸至台灣次數較少，反聖嬰年時，大陸沙塵侵台次數會增加。

伍、結論

由仁愛測站、淡水及萬里背景監測站、地面觀測圖、氣流回推模式圖與氣溶膠衛星圖分析、時間序列分析中，我們可歸納出以下數點結論：

1. 由萬里背景監測站資料可知，大陸沙塵暴侵襲北部次近十年內（1994 年至 2003 年）次數估定約有 57 次之多，由累計圖中得知秋冬及冬春交界之時，是大陸沙塵暴侵襲台灣最多的季節，判斷應是受到高壓移動、高空傳輸與地面東北季風幫助傳輸所致。
2. 綜合十年內的沙塵暴次數可得知，「反聖嬰現象」期間沙塵暴侵臺次數多且強度大，「聖嬰現象」期間時沙塵暴侵臺發生次數較少。
3. 由衛星觀測圖與氣流回推圖表中可得出，大陸沙塵暴影響範圍主要多為高緯度國家，例如韓國、日本等國家，移動路徑則為東方，當大陸高壓系統移動路徑為東南方時，才會影響到台灣地區，但是普遍來說次數仍是比韓國、日本來得稀少，大陸沙塵暴源地主要來自於蒙古荒漠地區。
4. 由懸浮顆粒成份分析得知，當大陸沙塵暴侵襲時，濾紙中鋁、鐵、鈣、錳等地殼物質元素量值均大於平常好幾十倍，陸源元素成份分析是判斷沙塵暴侵襲時的良好指標。
5. 頻譜分析中得知，短週期有 1 年及 6 個月的懸浮顆粒高峰值變化，以及 2.2 年與 7 個月懸浮顆粒低峰值變化，這顯示短週期大氣懸浮顆粒變化應與季節變化有關，長期性變化可能與聖嬰反聖嬰週期有關連。

柒、參考資料及其他

中文部分：

- 1 王蔚，2003年6月。抵抗全球變暖的幕後英雄－沙塵暴：是魔鬼還是天使？中國國家地理雜誌。牛頓出版公司代理發行。
- 2 沈孝輝，2001年4月。敲響生態危機的警鐘－沙塵暴。大地雜誌。
- 3 洪夢白、余嘉裕，1996年：1995年春季東亞沙塵暴個案分析。第五屆全國大氣科學研討會論文集編。
- 4 張順欽，2002年4月。大陸沙塵暴對台灣空氣品質之影響。環保月刊。
- 5 陳泰然、毛松霖，2003年。高中基礎地球科學。康熙出版社。
- 6 楊之遠，2001年6月。大陸沙塵暴影響台灣地區空氣品質之監測與預報。
- 7 柳中明、楊之遠，2001年3月21日。沙塵暴的過去、現在和未來。大陸沙塵暴對台灣地區空氣影響與預測研討會。
- 8 浦瑞良、宮鵬，2002年10月。高光譜遙測及其應用。
- 9 戚啓勳、嚴夢揮，1978年。氣象統計學。國立編譯館出版。

網站資料：

- 10 中央大學大氣科學系雲與氣膠實驗室<http://aerosol.atm.ncu.edu.tw/>
- 11 中國文化大學大氣科學系沙塵暴監測資料<http://cisk.atmos.pccu.edu.tw/~tu/>
- 12 行政院環保署空氣品質監測站 <http://www.epa.gov.tw/monitoring/1-2.htm>
- 13 美國太空總署TOMS Total Ozone Mapping Spectrometer網站
<http://toms.gsfc.nasa.gov/>
- 14 中國大陸沙塵網 <http://www.duststorm.com.cn>