

# 伴隨大高雄地區空氣品質劣化 之天氣型態分析

李清勝 俞家忠 陳麗禾

國立台灣大學大氣科學系

## 摘要

本文從綜觀天氣型態觀點，探討影響大高雄地區空氣品質劣化之氣象因素；分析時以大高雄地區環保署五個空氣品質監測站所觀測之日平均PM10（直徑小於10微米之懸浮微粒）濃度值，代表大高雄地區之空氣品質。資料統計結果顯示，因受季風環流和台灣地形影響，大高雄地區之空氣品質以10月至翌年3、4月較差，恰與大台北地區者（李，1992）相反。而日夜濃度變化與大台北地區相似，均與人類活動關係密切，只不過大高雄地區日最低時平均PM10濃度值出現於午後，大台北地區則在凌晨。

大高雄地區之空氣污染季節僅出現在冬半季，劣化天氣型態共可分成四類，此四種劣化天氣型態可解釋約85%之污染情況。至於利用劣化天氣型態判斷出現空氣污染情況之技術得分（以Threat Score代表）平均為76%；此結果與大台北地區者頗為接近。在秋季前估和後符值分別為0.78和0.90，有低預報情形，而冬、春兩季則前估和後符值很接近，在0.85至0.90間。本文分析結果顯示，利用數值天氣預報圖掌握綜觀天氣型態之變化，以進行大高雄地區空氣污染潛勢預報，頗具有實際應用之價值。

## 一、前言

當污染源排放速率固定時，局部地區空氣中污染物之含量，主要受邊界層氣象狀況影響，若水平風速較強且無近地面逆溫層時，空氣中污染物較不易累積，局部地區之空氣品質較佳；反之，則空氣品質較差。然而，局部地區邊界層氣象狀況除受綜觀天氣型態所控制外，其變化亦常較綜觀天氣型態快速，而目前氣象觀測或預報資料，在邊界層氣象參數之時空解析度上，常無法反應局部地區空氣品質之變化；因此，在分析因氣象因子所造成之逐日空氣品質變化時，常探討伴隨局部地區空氣品質劣化之綜觀天氣型態（例如：李，1992；柯等，1991）。

台灣地區由於地形複雜，在相同綜觀天氣型態下，各地局部環流特徵常頗不同，尤其是大台北和

大高雄兩大都會區；這兩大都會區亦是國內空氣品質較為不良之地區，而且空氣品質監測站亦較多。柯等（1991）和李（1992）已針對大台北地區，探討邊界層氣象條件以及綜觀天氣型態對日平均PM10（直徑在 $10 \mu m$ 以下之懸浮微粒）濃度變化之影響。本文則針對大高雄地區，探討日平均PM10濃度值較高時所伴隨之天氣型態，至於邊界層氣象條件之分析，因最近之探空測站位於東港，利用其資料分析大高雄地區邊界層特徵之代表性值得商榷，故本文中並不考慮（參見李等，1992）。

在天網計畫空氣品質監測站啓用前，行政院環境保護署（環保署）在大高雄地區有5個空氣品質監測站，分別是楠梓、三民、復興、七賢及鳳山。雖然上述測站自1986年起即開始觀測，但1989年1月前之資料常有缺失，因此本研究採用之資料以1989、1990兩年為主，但統計分析部分採用至1991年。

根據李等（1990）之分析，大高雄地區的空氣品質監測站，除了楠梓測站以PM10為主要污染物外，其餘四測站的指標污染物（Critical pollutant，參見李，1992）分佈較廣，PM10、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 均有一定的比例，但是導致此四測站PSI高於100之污染物則幾乎均以PM10為主。PSI為空氣污染指標（Pollutant Standards Index）之簡寫，其定義參見李（1992）或Ott and Hunt（1976），PSI值超過100表示空氣品質不良。本文以楠梓、三民、復興、七賢及鳳山五監測站平均之日平均PM10濃度值代表大高雄地區之空氣品質，歸納和分析較高之PM10/PSI值出現時之綜觀天氣型態（在本文中以PM10/PSI表示由日平均PM10濃度值所求得之PSI值）；在取五測站平均PM10濃度值時，至少需有三測站有資料才進行平均，不然當日即定為缺資料。需注意的是本文以綜觀天氣型態之分析，故較無法反應局部環流之

逐時變化，因此僅取區域平均之污染物濃度；再者，單站之PM10濃度值之變化可能為局部污染源變化之影響，而取區域平均可將此影響減低。

## 二、大高雄地區懸浮微粒變化特徵

根據環保署五個監測站之資料顯示，由1989至1991年，年平均PM10濃度值分別為114.3、105.1和108.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，似乎並無太明顯之變化趨勢，此結果有別於大台北地區由1987至1991逐年上升之趨勢（李，1992）。此外，由於季風環流和台灣地形的影響，大台北和大高雄地區PM10濃度值之季節變化，呈現相當明顯的差異；圖1為兩地區各月平均PM10濃度值分佈圖，圖中顯示大高雄地區空氣污染情形以10~4月較為嚴重，夏季則為大高雄地區空氣品質最好的季節；大台北地區則以3~8月的污染情形較為嚴重，秋季空氣品質最好。

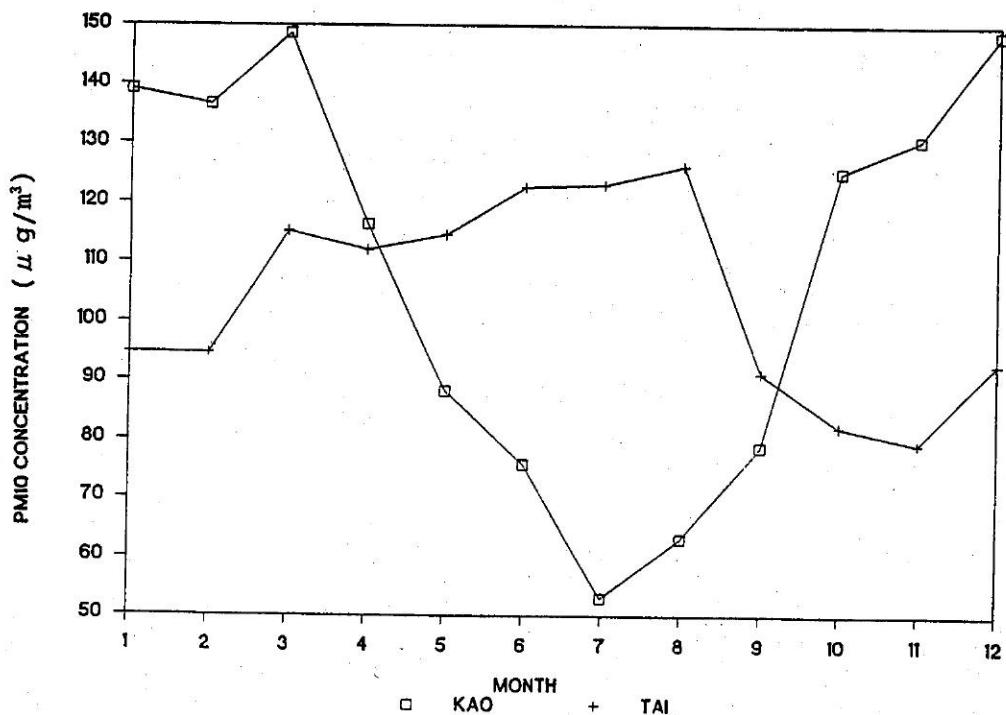


圖1. 大高雄（正方形）和大台北（十號）月平均PM10濃度分佈圖

上述PM10濃度之季節變化特徵，乃是明顯且可預期的，每年10月至翌年3、4月盛行東北季風（或偏東風）時，大高雄地區因位於背風區，空氣乾燥而穩定，下雨機會稀少；同時，沿台灣海峽南下之北來氣流，通過台南外海後即有沿大高雄一帶呈逆時針方向彎曲之分流，而來自台灣東方海面氣流沿

台灣南端經過巴士海峽後，即有呈順時針方向朝大高雄外海彎曲之反旋式風場（參見Sun et al., 1991；和Lin et al., 1992；之數值模擬結果），使得大高雄地區成為一個氣流移動緩慢的弱風區或稱尾流區（Wake Area），導致空氣中污染物迅速累積，使冬半季時大高雄地區空氣品質一般較差。在夏季，大

高雄地區位於西南季風的迎風面，空氣遠較冬季為不穩定，午後對流旺盛，空氣在水平向及垂直向置換相當迅速，且雷陣雨頻繁（根據中央氣象局統計資料顯示，高雄測站6至8月之月平均降水日為15天左右），因此，大高雄地區夏季之空氣品質較佳。相對來說，大台北地區之情況恰和大高雄地區相反。

PM10之來源主要為人類活動所造成，此種影響充份反應在每日PM10濃度值逐時變化曲線中；圖2為大高雄（正方形線）和大台北（加號線）地區PM10濃度值逐時變化圖，圖中因考慮平均PM10濃度值之逐日變化，因此每小時之值為相對於該日日平均值之比值。結果顯示，大高雄地區PM10濃度值有明顯的日夜變化，最大之時平均PM10濃度值出現在上午交通尖峰時段，其後濃度值陡降，在14~16時出現一天中的極小值，至16時濃度漸漸回升，19~20時存在次大值，凌晨4~6時，則出現另一次極小值。大台北地區污染物濃度的日夜變化（李，1992）與大高雄者類似，但最小值出現在凌晨（大高雄

地區則出現於午後）；推測大高雄地區在14~16時出現最低PM10濃度值的原因可能有二：一為高雄位於較低緯，因太陽照射，午後極易出現強烈的對流或亂流，而清晨則混合層一般較低；此外，由於高雄地區濱海，白天午後之海風環流易引入海上較新鮮之空氣，使午後PM10濃度值明顯降低，大台北地區由於此兩種因素均相對較不明顯，因此午後並未出現比凌晨更低的濃度值。

在考慮季節變化影響時，因大高雄地區無明顯的梅雨季，因此我們根據傳統之季節劃分法，將1、2、1、2月劃分為冬季，3、4、5月劃分為春季，6、7、8月劃分為夏季，9、10、11月為秋季。各季PM10濃度值之日夜變化如圖3所示，基本上，不論何季節PM10濃度最大值均在9~11時，且於19~24時存在另一次高大值，但此次大值不如大台北地區者明顯；此外，夏季PM10濃度值明顯低於其他三季，而且每日之最低值出現在清晨，其他三季節之每日最低值則出現在午後，此種季節上的差異值得深入探討其原因。

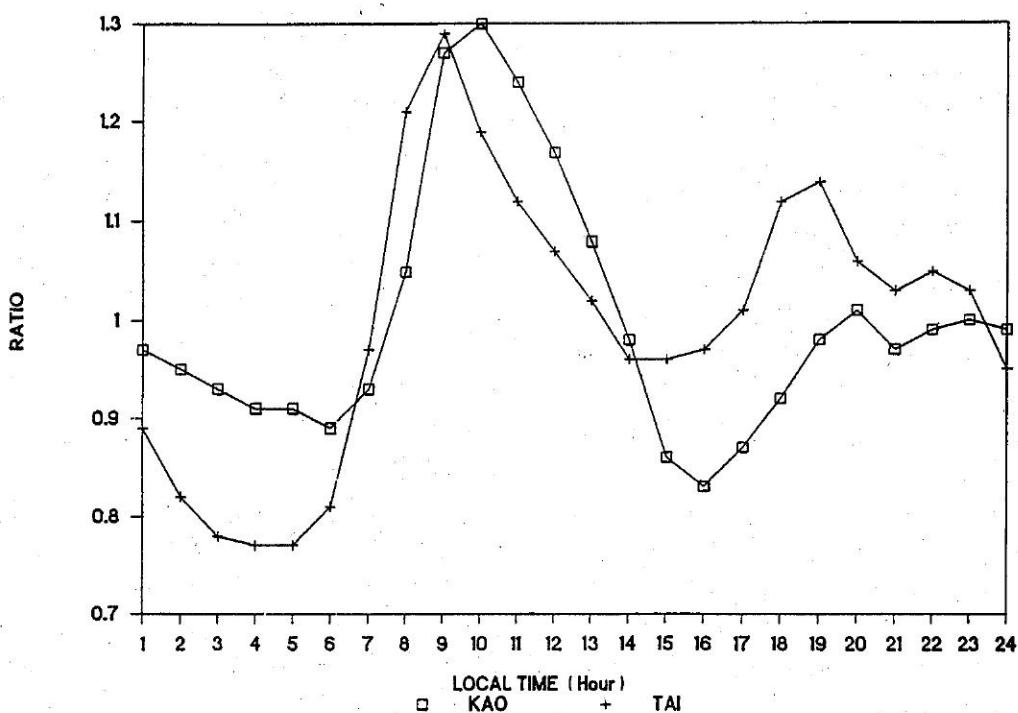


圖2. 大高雄（正方形）和大台北（十號）地區逐時PM10濃度值  $\mu \text{ g/m}^3$

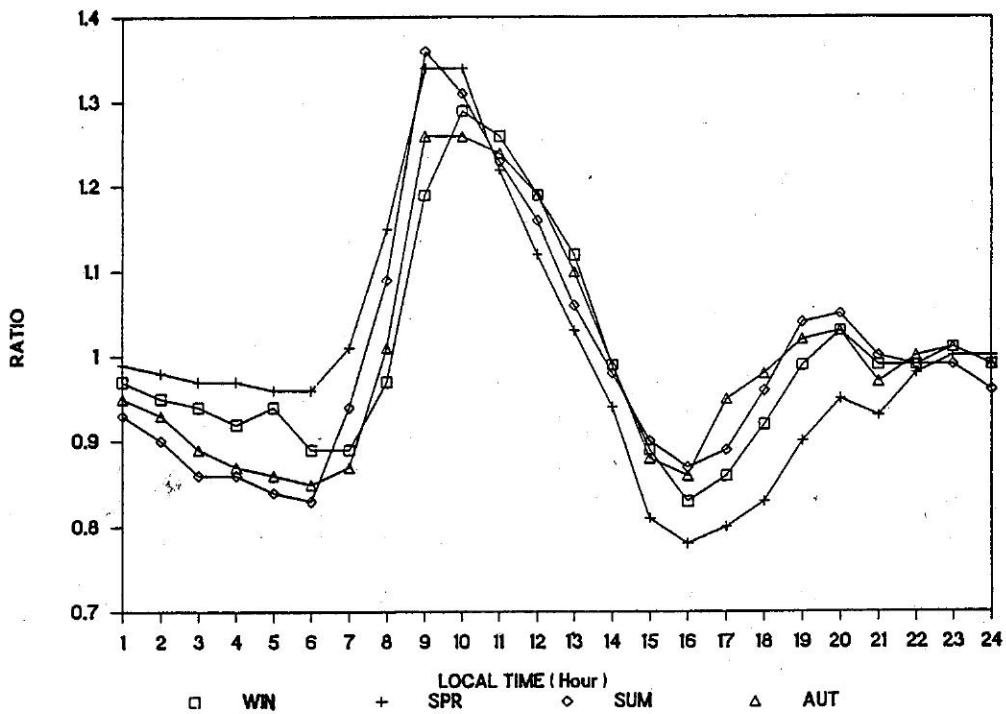


圖3. 大高雄地區不同季節逐時PM10濃度值  $\mu \text{ g/m}^3$

### 三、大高雄地區空氣品質劣化時所伴隨的綜觀天氣型態特徵

由於局部區域的穩定度、風向、風速之大小及是否有降水，係由控制該地的綜觀天氣系統所分配；因此，在不考慮污染源之變化下，局部地區逐日平均懸浮微粒（或空氣中污染物）濃度之變化，與綜觀天氣型態變化之關係將非常密切，國內外探討此方面的研究有李（1992），柯等（1991），張（1990），Niemeyer（1960），Boettger（1961），Miller and Niemeyer（1962）和 Mccutchan and Schroeder（1973）等。

本研究在歸納伴隨大高雄地區空氣品質劣化之天氣類型時，首先定義污染天氣類型為當大高雄地區平均PM10濃度達 $110 \mu \text{ g/m}^3$ （或PSI值達80）時之綜觀天氣型態（同李，1992），同時並統計各劣化天氣型態出現時之PM10濃度分佈特徵，需注意的是雖然平均PM10/PSI僅達80，但應已有單獨測站之PM10/PSI已達100以上。

根據環保署大高雄地區監測站之資料，1990年7月份五監測站之平均PM10濃度為 $48.8 \mu \text{ g/m}^3$ ，此

數值僅為1990年12月份濃度值（ $159.5 \mu \text{ g/m}^3$ ）的三分之一。此外，在1989及1990年兩年間，6至9月份平均PM10濃度高於 $110 \mu \text{ g/m}^3$ （即 $\text{PM10/PSI} \geq 80$ ）的出現機率依次為11.7%、0%、0%及3.3%。很明顯地，大高雄地區空氣污染問題在夏季並不嚴重。而且，夏季出現高污染的個案大多持續不長且天氣型態不一，故本文僅歸納、分析冬半季高污染之綜觀天氣型態，大台北地區則冬、夏均可能出現高污染天氣型態（李，1992）。

#### 3.1 劣化綜觀天氣型態特徵或演變過程

經分析後，發現引起大高雄地區較高PM10濃度值之氣流方向變化範圍答 $90^\circ$ （風向 $70^\circ \sim 160^\circ$ ）。將此等天氣型態歸納後，得到四種大高雄地區空氣品質劣化之天氣類型，稱之C1~C4類型，其綜觀特徵如圖4~7所示；以下分別敘述各天氣類型之重要特徵或天氣型態之演變過程。

##### ①類型C1—東海低壓波動型（圖4）

在華南或華中地區生成之低壓向東北東移入東海地區，形成低壓波的情況下，當伴隨低壓之鋒面移至台灣北方海上時，台灣位於暖區且盛行偏東—東南風，氣壓梯度一般均微弱，利於大高雄地區空

氣中污染物之累積，其持續時間則視低壓動態及鋒後高壓強度、高壓主軸走向及高壓動態而定。一般說來，凡是鋒後能形成台灣及東部海上盛行偏東氣流者，均可能造成大高雄地區之空氣污染。

另外，需特別說明的是，此類東海低壓波之所在位置，必須在台灣以北之海上，最好在北緯 $28^{\circ}$ 以北，而不能位於台灣東方近海上；因為當台灣東方海上有低壓環流時，台灣地區即成西高東低的氣壓場分佈，使台灣附近地區盛行具有相當多北來分量之東北風，不利於大高雄地區污染物之累積。

#### (2) 類型C2—大陸高壓出海型（圖5）

冬半季極地大陸高壓活動頻繁，分裂高壓出海時有發生；當大陸高壓中心移至東經 $121^{\circ}$ 時，即高壓中心已位於台灣所在的相同經度上，台灣地區的盛行氣流為偏東方向，有利於大高雄地區污染物之累積。若高壓繼續東移入海，台灣地區位於該出海高壓的西南象限，盛行東南風，台灣海峽之氣流則因地形阻擋作用而吹偏北風，常造成大高雄地區較高之PM10濃度值，並維持一段時間。

#### (3) 類型C3—大陸高壓主軸伸向台灣東方海上型（圖6）

冬半季極地（蒙古）大陸高壓呈週期性南下，當高壓前緣冷鋒越過台灣後，高壓環流隨即影響台灣地區；如大陸高壓主軸呈西北至東南走向，且脊線伸向東海南部及台灣東部海上，將導致台灣南部盛行偏東風。在此種高壓環流下，台灣海峽盛行東北風，馬公及其南部海域風速不強，有助於大高雄地區污染物之累積，使空氣品質劣化。

在此，需進一步說明者為，此類型之高壓中心，以位於河套附近及河北一帶者為最多，主軸自此中心向東南延伸。此外，如有小股脊線伸向台灣海峽，亦屬不利污染物擴散；而穿越台灣中、南部等壓線呈東南東至西北西者，污染情形最為嚴重。至於馬公及其南部海域盛行之東北風，風速不能太強或太弱，以 $10$ 至 $15\text{kt}$ 所伴隨之污染情形較為嚴重。此種天氣圖類型之持續時間，視季節及高壓移動快慢而不同，少則一天，多則 $2\sim 3$ 天。

#### (4) 類型C4—江浙一帶分裂高壓駐留型（圖7）

當分裂高壓位於江蘇、浙江一帶時，台灣及其東方海域之氣流呈東北東至西南西走向（有時為東西走向），台灣海峽南部及馬公一帶盛行東北風，而台灣南部多東北東風，有助於大高雄地區空氣污

染物之累積，導致空氣品質劣化。

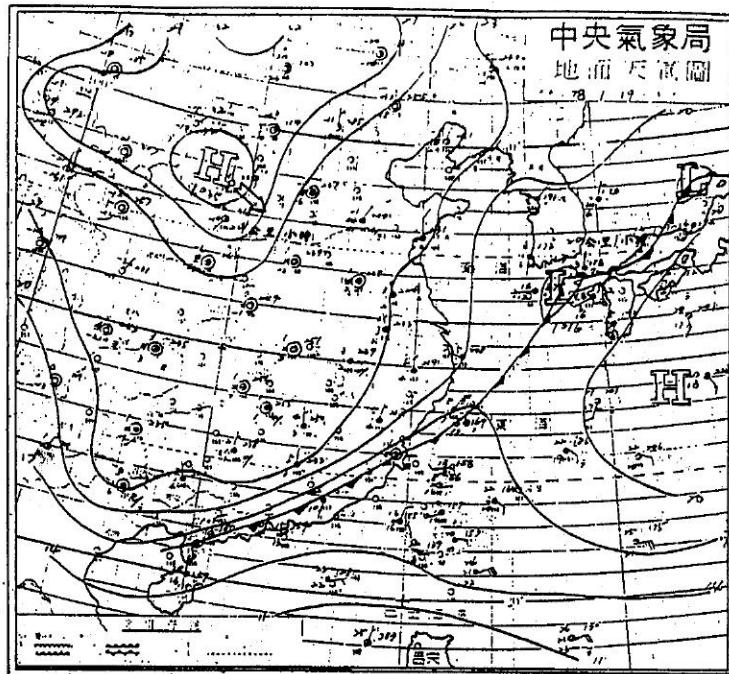
### 3.2 劣化天氣類型伴隨之PM10濃度分佈特徵

比較上述天氣類型特徵與李（1992）之分析顯示，導致大高雄地區空氣品質劣化之綜觀天氣型態及污染季節分佈情形與大台北地區有很大的差異。在分析伴隨各劣化天氣類型之PM10濃度分佈特徵時，必需對大高雄地區季節劃分做重新的定義；由於大高雄地區梅雨較不明顯，如前所提及，我們乃根據傳統，將 $3\sim 5$ 月劃分為春季， $6\sim 8$ 月劃分為夏季， $9\sim 11$ 月依舊是秋季， $12\sim 2$ 月為冬季。由於PM10濃度自 $6$ 月後出現高污染機率明顯遞降，以下之分析中，秋季僅包含 $10$ 和 $11$ 月，而夏季則未列入考慮。

在進行統計分析時，乃根據1989年1月至1990年12月每日上午 $0800\text{LST}$ （ $0000\text{Z}$ ）中央氣象局發佈的區域地面天氣圖，研判該日天氣型態是否可歸類為上述四種劣化的天氣型態，然後配合同期大高雄地區五測站（楠梓、三民、復興、七賢及鳳山）每日平均PM10濃度，進行各項的統計分析（詳細結果請參閱李等，1992）。當然 $0800\text{LST}$ 天氣型態並無法完全代表全日的天氣型態演變，但本文之劣化天氣型態其演變一般較緩慢（因而才易造成高污染情況），且為求客觀，以每日 $0800\text{LST}$ 天氣圖（和日平均PM10濃度）代表一個資料個數。

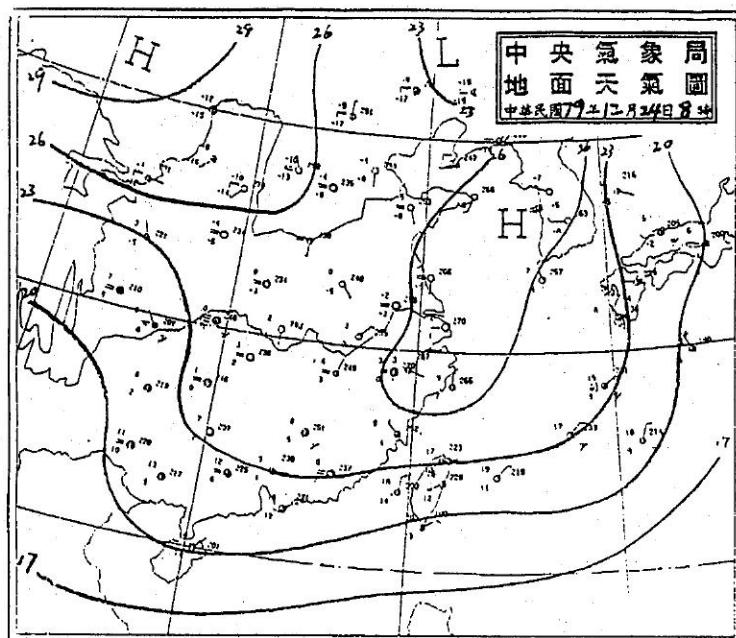
表一為四種天氣類型於不同季節之出現次數、出現時PM10濃度達 $110 \mu \text{g}/\text{m}^3$ 和 $150 \mu \text{g}/\text{m}^3$ 之次數和百分比。由表中可見，C1類型最常出現在冬季和春季，C3和C4出現次數較少，主要在冬季，C2類型出現的季節分佈較平均。四類型中以C2出現的總次數最多達113次，C1次之達105次，C4最少僅35次；當出現該天氣類型時，PM10/PSI達80之比例四類型相近，但以C1類型略高，達90%，其餘類型亦86%以上；至於PM10/PSI達100之比例四類型亦相近，而以C3類型較高，為50%，其餘類型亦均在45%以上。

表二為不同季節下大高雄地區日平均PM10濃度大於 $110 \mu \text{g}/\text{m}^3$ 之所有日數中，出現各污染天氣類型之頻率；表中括號內為該天氣類型出現時之平均PM10濃度（各類型之出現日數可參考表七）。最下面一欄為該季出現污染時，四種天氣類型出現所佔之總頻率，亦即在秋季，當大高雄地區空氣品質劣化時，78%之日數，其天氣類型可歸納為四種污染



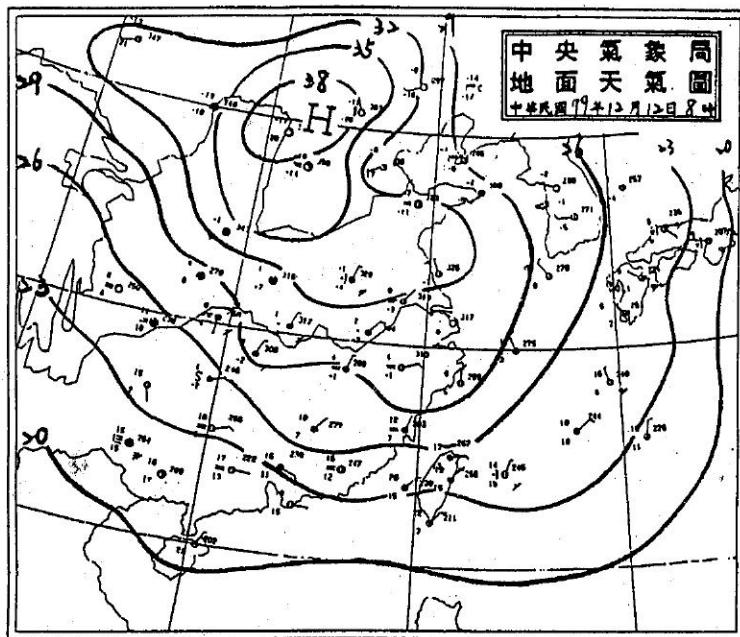
78年1月19日大高雄地區PM10濃度 $257 \mu \text{g}/\text{m}^3$  (PM10/PSI=154)

圖4. 東海低壓波動型 (C1)



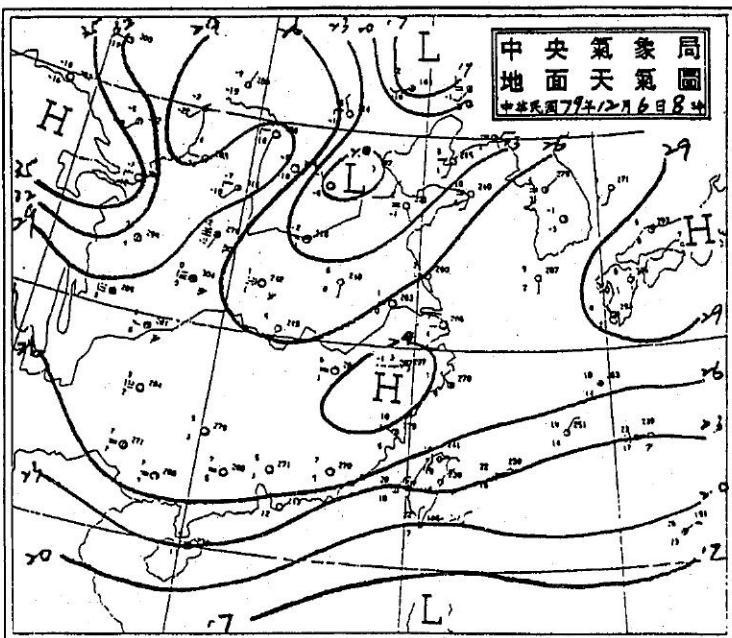
79年12月24日大高雄地區PM10濃度 $160 \mu \text{g}/\text{m}^3$  (PM10/PSI=105)

圖5. 大陸高壓出海型 (C2)



79年12月12日大高雄地區PM10濃度 $194 \mu \text{g}/\text{m}^3$  (PM10/PSI=122)

圖6. 大陸高壓主軸伸向台灣東方海上型 (C3)



79年12月6日大高雄地區PM10濃度 $170 \mu \text{g}/\text{m}^3$  (PM10/PSI=110)

圖7. 江浙一帶分裂高壓駐留型 (C4)

表一 四種污染天氣於各季出現之總日數（左列），出現時PM10濃度 $\geq 110 \mu \text{ g/m}^3$ （中列）和 $150 \mu \text{ g/m}^3$ （右列）之日數。右邊三欄則為上述三種情形出現之總日數（括弧內為所占百分比）。

出現季節 天氣類型	冬 (12,1,2月)	春 (3,4,5月)	秋 (10,11月)	出現總日數	PM10 /PSI $\geq 80$ 日數 (%)	PM10 之PSI $\geq 100$ 日數 (%)
C1	43,39,27	48,43,18	14,13, 2	105	95(90)	47(45)
C2	35,31,19	46,39,29	32,29, 6	113	99(88)	54(48)
C3	32,29,19	6, 5, 3	12,10, 3	50	44(88)	25(50)
C4	16,12, 8	7, 7, 6	12,11, 2	35	30(86)	16(46)

表二 不同季節下大高雄地區日平均PM10濃度大於 $110 \mu \text{ g/m}^3$ 之所有日數中，實際發生高污染天氣類型之出現頻率；括號內為該天氣類型出現時之平均PM10濃度（單位為 $\mu \text{ g/m}^3$ ）

季 天 氣 類 率 率 型	冬 (12,1,2月)	春 (3,4,5月)	秋 (10,11月)
C1	0.30 (162)	0.41 (154)	0.16 (128)
C2	0.24 (163)	0.38 (165)	0.36 (130)
C3	0.22 (154)	0.05 (159)	0.12 (131)
C4	0.09 (145)	0.07 (174)	0.14 (131)
四種類型之總頻率	0.85	0.91	0.78

天氣類型之一，春季則高達91%；至於其餘9%（1.0~0.91）至22%（1.0~0.78）之天氣型態，並不能歸納於上述四種綜觀天氣型態中。

由表一和表二中可見，在冬、春兩季，C1及C2兩類型出現相當頻繁，兩季中此兩類型占總污染次數之百分比分別為0.30、0.24及0.41、0.38，而且在

冬、春兩季出現C1或C2時的PM10平均濃度均在 $150 \mu \text{ g/m}^3$ 以上。秋季因屬轉變季節，天氣型態較多變，出現高污染之天氣型態除C2最多（達36%）外，其餘亦皆在10%以上；不過四種天氣型態僅占總污染天數之78%，而且PM10濃度值一般亦較低。

值得注意的是，大高雄地區秋、冬、春三季的

空氣品質非常不良，在1989、1990兩年500個天數中，PM10濃度高於 $110 \mu g/m^3$ 的總天數高達315天（佔63%），而PM10濃度高於 $150 \mu g/m^3$  (PM10/PSI $\geq 100$ ) 的總天數達142天（佔28%），亦即大高雄地區在10~5月長達八個月中有近三成的時間是處在對人體有不良影響的空氣品質狀態中。

最後，我們利用Threat-Score (TS) 來校驗各季中污染天氣類型所能反應實際污染狀況之技術得分，TS定義為：

$$TS = \frac{A}{B+C}$$

其中A為預報污染正確的天數，即出現四種天氣類型時，PM10濃度大於 $110 \mu g/m^3$ 之天數，B為實際發生污染 (PM10濃度高於 $110 \mu g/m^3$ ) 之天數，C為預報污染錯誤或污染天氣類型出現時、日平均PM10濃度低於 $110 \mu g/m^3$ 的天數。此外，前估和後符分別定義為A/B和A/(A+C)，前估表示實際出現污染狀況的次數中，出現污染天氣類型之百分比，亦即四種污染天氣類型能掌握之污染個案百分比；而後符表示，出現污染天氣類型的總次數中，實際出現污染次數之百分比。

結果顯示（表三），冬、春、秋三季所得的 Threat-Score 分別為 0.77、0.80 和 0.72，平均為 0.76，此值和李（1992）對大台北地區分析所得之值頗接近（三季之值分別為 0.67、0.83 和 0.79），造成 TS 值小於 1 之一主要原因為，此四種天氣類型並無法涵蓋所有的空氣污染事件，有些污染的發生是由小尺度的局部環流或污染源排放所引起，當然無法在綜觀型態之分析中反應出來。此外，我們統計在各季實際發生污染的天氣中，污染天氣類型出現的比例（即表三中之前估一欄或表二中之最下一欄），其值在冬、春、秋三季依次為 0.85、0.91、0.78；而各季之後符值分別為 0.88、0.88、0.90，此結果表示當污染天氣類型出現時，當日出現污染狀況之比例非常高。然而在秋季，前估和後符值分別為 0.78 和 0.90，即有低預報（under-forecast）之情形；冬、春兩季則前估和後符頗為接近，且均在 0.85 至 0.9 左右；此結果顯示，大高雄地區四種高污染天氣類型在掌握空氣污染事件上，具有相當不錯的能力。由於目前數值天氣預報圖在 36~48 小時內，對綜觀天氣型態之掌握能力頗高，因此在配合數值天氣預報圖之應用後，本研究成果在空氣污染潛勢預報上應有相當高之參考價值。

表三 各之 Threat-Score (TS) 前估、後符以及計算TS之各參數值 (A, B和C參數之定義見本文)

		冬	春	秋	10~5月
TS	A / (B+C)	0.77	0.80	0.72	0.77
前估	A / B	0.85	0.91	0.78	0.85
後符	A / (A+C)	0.88	0.88	0.90	0.88
	A	111	94	63	268
	B	130	104	81	315
	C	15	13	7	35

表四 各季出現極端高污染個案時所伴隨之天氣類型出現次數（括弧內為出現該型態時之平均PM10/PSI值）

天氣季節類型	冬季 12, 1, 2月	春季 3, 4, 5月	秋季 10, 11月
C1	10 (138)	8 (144)	---
C2	11 (132)	15 (130)	---
C3	5 (127)	1 (140)	---
C4	1 (134)	2 (130)	---
無天氣類型	1	0	1
總計	28	26	1

#### 四、大高雄地區極端與持續高污染個案統計

在第三章之分析中，為求取足夠個案以進行統計，我們定義區域平均之PM10濃度值達 $110 \mu g/m^3$ （或PSI值達80）即稱之為污染個案。在此情況下，已有單獨測站之PM10/PSI值超過100，但部份個案之污染情況可能頗為輕微，而以空氣污染潛勢預報之觀點看，較高之PM10/PSI值以及污染持續較久之個案，方為關注之焦點。因此，在本章中，我們針對此兩種情況進行初步之統計，以供參考。

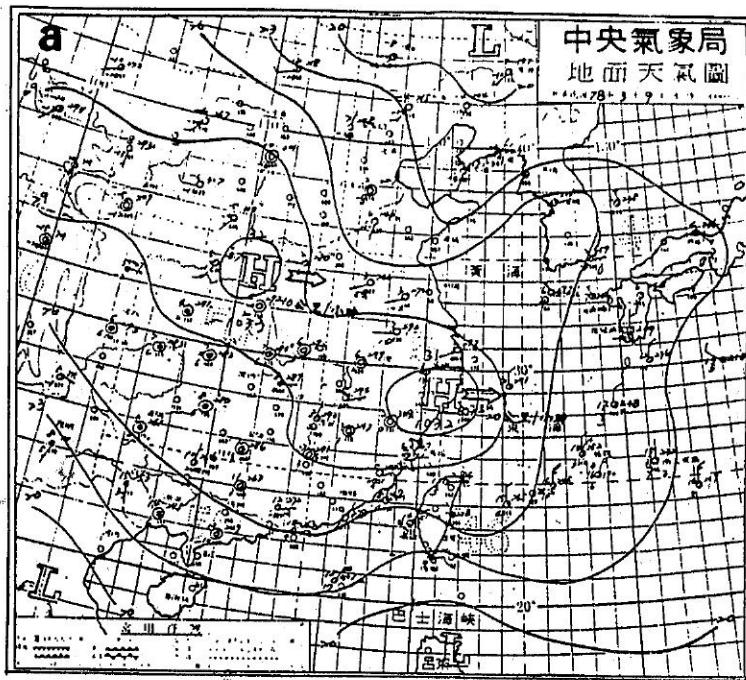
##### 4.1 極端高污染個案分析

首先，我們定義極端高污染個案為區域日平均PM10濃度高於 $190 \mu g/m^3$  或PM10/PSI值大於120者（較上述一般污染個案大50%），統計結果顯示，冬、春、秋三季出現極端高污染的天數分別為28、26、1天，出現時之平均PM10/PSI值各季分別為133、135、128；而6至9月並無極端高污染個案出現。冬、春、秋三季出現極端高污染的天數在各季出現污染天數（平均PM10/PSI值>80之天數）中所佔的

比例，分別為0.22、0.25、0.01；可見大高雄地區嚴重劣化的空氣品質集中出現在冬、春兩季。

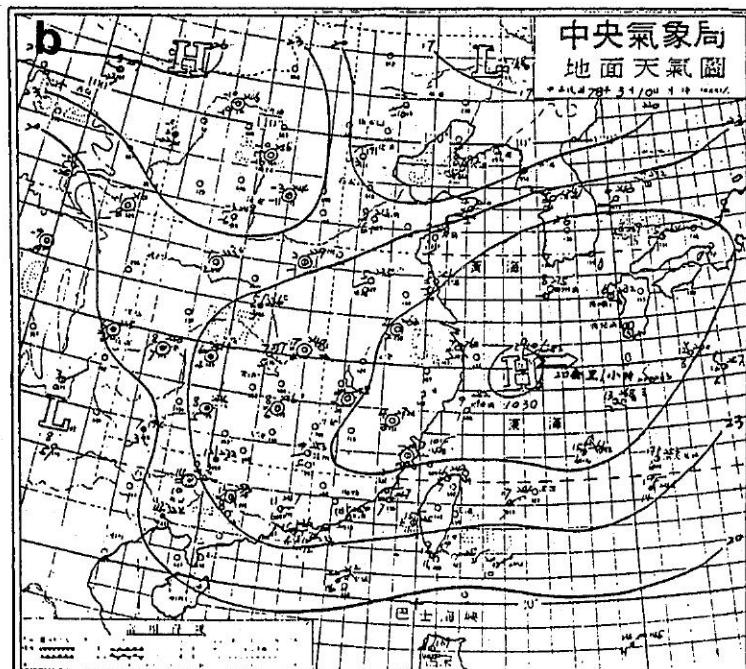
此外，各極端高污染個案出現時，除了冬季1990年2月15日及秋季1990年11月14日兩個案外，均伴隨有所歸納的高污染天氣類型（詳細資料參見李等，1992）；表四中統計了伴隨極端高污染出現之天氣類型。結果顯示，冬季以C1、C2型態為主，其出現時之平均PM10/PSI值分別為138及132；在該季所有出現C1天氣類型的天數中，極端高污染個案佔23%，C2則為31%。春季所出現的高污染天氣類型仍以C1、C2型為主，其出現時之平均PM10/PSI值分別為144及130，所占比例分別為17%及33%。

值得注意的是大高雄地區與大台北地區同時出現極端高污染的機會不大。以1989年為例，大台北與大高雄地區之PM10/PSI值同時大於80的日數有45天，同時大於100的日數有16天，同時大於120的日數僅有3天。主要原因為，當極地分裂高壓中心移至東121°時，台灣地區盛行氣流偏東，有利大高雄地區污染之累積（C2類型），此時大台北地區污染物濃度並無累積現象。必需當分裂高壓中心移至東經



78年3月9日大台北地區PM10/PSI=74

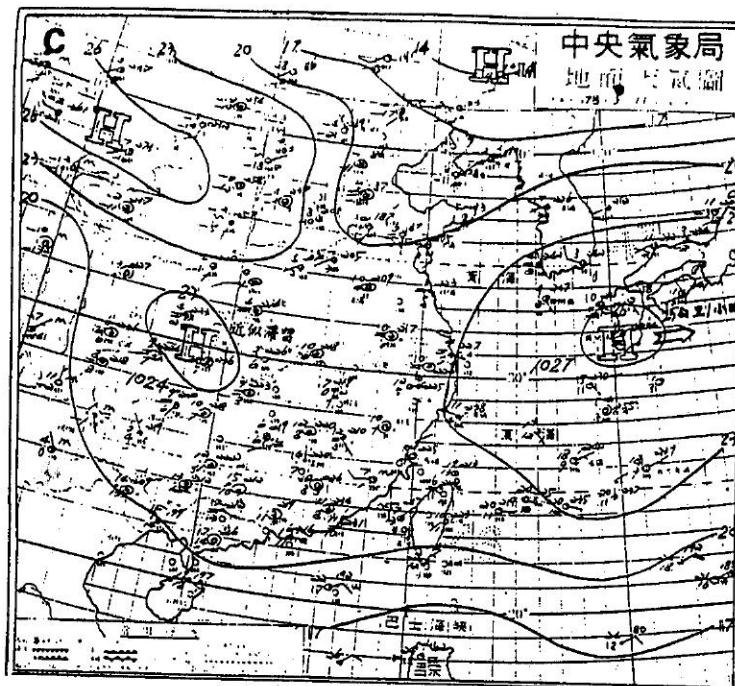
大高雄地區PM10/PSI=109



78年3月10日大台北地區PM10/PSI=62

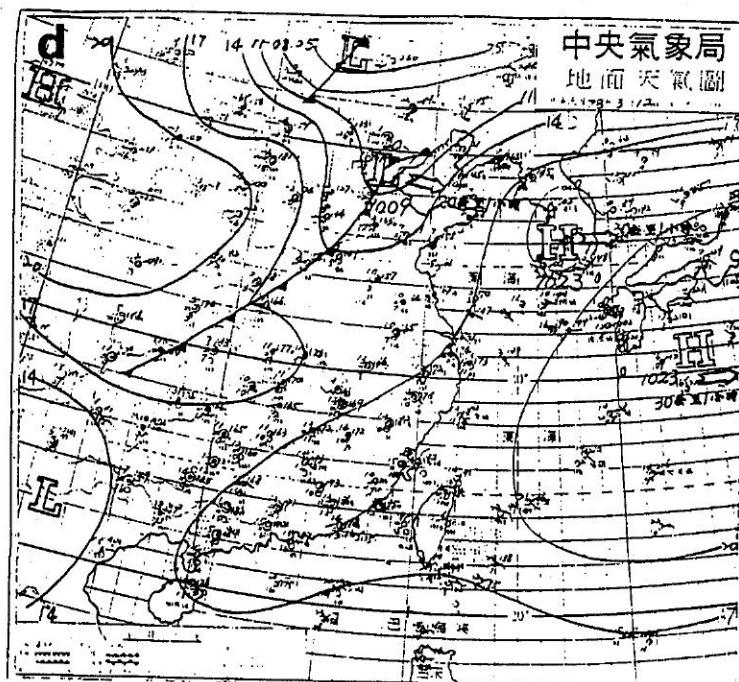
大高雄地區PM10/PSI=114

圖8. 民國78年3月9日至12日之地面天氣圖



78年3月11日大台北地區PM10/PSI=118

大高雄地區PM10/PSI=109



78年3月12日大台北地區PM10/PSI=149

大高雄地區PM10/PSI=117

圖8. 民國78年3月9日至12日之地面天氣圖（續）

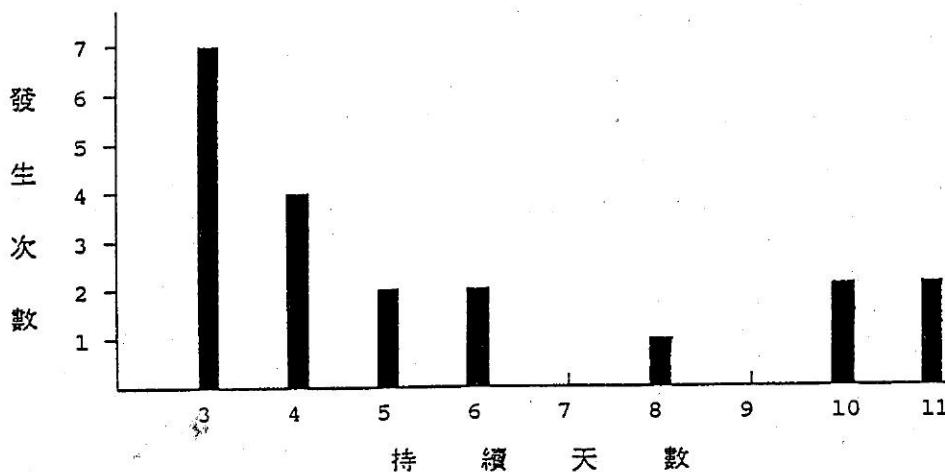


圖9. 大高雄地區於1989和1990兩年中各種持續高污染天數的發生次數

130°以東後，台灣地區盛行東南風且風速微弱，大台北地區之PM10/PSI值才明顯增大（A1類型，李，1992）；此時台灣海峽之氣流若因地形阻擋而吹北來風時，方有利於大高雄地區PM10濃度值之升高與維持；圖8為一明顯之案例，在1989年3月9日和10日時，大台北地區之PM10/PSI值在60~70間，而大高雄地區則均在110左右，至11日和12日，兩地區之值均大於100。

大台北和大高雄兩地區空氣品質均出現不良的另一個案為，在華南形成之低壓波向東北方向移動時，台灣位於冷鋒前方之暖區中，因氣壓梯度很小，風速微弱；此期間大台北地區平均PM10/PSI值多在100以上（A2華南波動型，李，1992），若低壓出海形成東海低壓波動型（C1），則大高雄地區的PM10濃度亦會明顯增加。待鋒面通過台灣北部後，大台北地區盛行明顯之東北風，PSI值迅速降低；但鋒面通過對大高雄地區的污染物擴散較無影響。

當大陸高壓主軸伸向台灣東方海上型（C3）及江浙一帶分裂高壓駐留型（C4）發生時，大高雄地區PM10濃度值明顯升高，但大台北地區則未發生高污染現象。夏季大台北地區會發生之極端高污染個案，大高雄地區則無此類個案發生。因此，兩都會區雖然在相同的綜觀天氣系統影響下，由於局部地形的不同，出現極端高污染之情況頗有差異。

#### 4.2 持續高污染個案分析

在此，我們定義持續高污染個案為區域平均PM10濃度高於 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (PM10/PSI值大於100) 的情形持續三天或三天以上者。經統計後，顯示大高雄地區持續高污染情形相當嚴重，其中冬季有11次（共56天），持續最長時間為10天；春季有7次（共47天），持續最長時間為11天；秋季佔2次（共7天），持續最長時間為4天；6至9月則無持續污染個案發生；圖9為1989及1990年各種持續高污染天數發生次數之統計圖，詳細資料請見李等（1992）。

各持續高污染個案出現時幾乎均伴隨有高污染天氣類型的出現，無高污染天氣類型者只佔總天數4.5%。冬季為出現持續性高污染個案最頻繁的季節，出現時所伴隨之天氣類型以C1，C2為主，且多為兩種或兩種以上污染類型之結合型，亦即常由極地大陸高壓出海後之C2類型，逐漸演變為C1東海低壓波動型或C3大陸高壓主軸伸向台灣東方海面的類型，C4出現的頻率最低。

春季大高雄地區持續高污染的情形亦相當嚴重，多種天氣類型的連續出現亦是造成1989年3月15日~25日及1990年3月6日~16日，兩次空氣污染持續時間達11天的原因，表五為此兩持續污染個案之測站PM10濃度值以及伴隨之劣化天氣型態。秋季為夏、冬兩季節交替的過渡時期，天氣系統移動較快，伴隨之天氣系統多為C2或C3，持續時間僅為3至4天。

表五 兩個持續高污染個案出現時，楠梓、三民、復興、七賢和鳳山五監測站各別之日平均PM10濃度 ( $\mu\text{ g/m}^3$ )與平均PM10濃度 ( $\mu\text{ g/m}^3$ )，以及根據 0800 LST 地面天氣圖所研判之高污染天氣類型

個案一 1989年3月15～25日

年月日	楠梓	三民	復興	七賢	鳳山	平均 PM10濃度	平均 PM10/PSI	天氣類型
780315	283	254	238	74	153	200	125	C2
780316	277	269	269	108	—	230	140	C3
780317	297	295	281	189	—	265	158	C2
780318	221	195	268	171	—	214	132	C2
780319	192	275	210	141	—	205	127	C1
780320	157	224	146	83	—	152	101	C1
780321	222	143	239	138	111	171	110	C3
780322		169	240	120	126	164	107	C2
780323		143	380	213	139	219	134	C2
780324	175	165	459	173	136	222	136	C1
780325	205	170	342	182	151	210	130	C1

個案二 1990年3月6～16日

年月日	楠梓	三民	復興	七賢	鳳山	平均 PM10濃度	平均 PM10/PSI	天氣類型
790306	141	220	212	342	189	221	136	C4
790307	123	204	162	320	177	197	124	C4
790308	123	189	100	284	184	176	113	C2
790309	133	177	139	248	212	182	116	C2
790310	143	205	152	279	203	196	123	C2
790311	128	149	92	267	151	157	104	C2
790312	122	175	133	278	209	183	117	C2
790313	120	185	162	285	281	206	128	C2
790314	124	169	141	307	145	177	114	C1
790315	105	269	172	292	188	205	127	C1
790316	123	208	137	316	225	202	126	C2

## 五、討論與結論

本文主要在探討影響大高雄地區懸浮微粒含量變化之氣象因素和綜觀天氣型態，重點則在導致大高雄地區空氣品質劣化之天氣型態分析和統計；結果顯示綜觀天氣之變異，為導致大高雄地區空氣品質劣化之重要因素。由於強調綜觀天氣型態之影響，而且目前數值天氣預報圖在綜觀天氣型態之預報上，具一定之預報能力，因此本研究成果除了具有學術意義外，在空氣污染潛勢預報上，亦有極高之應用價值。本研究主要考慮綜觀天氣型態之影響（無法完全反映局部地區特性），因此，我們將大高雄地區環保署五監測站之PM10濃度值取平均，以代表空氣品質（或PM10濃度），此項考慮雖然忽略了個別測站之區域特性和污染源變化，但卻能進行定量之統計分析（同李，1992）。

由於PM10之污染源和一般大眾活動有關，因此PM10濃度之日夜變化和一般大眾作息關係密切，PM10濃度高峰值出現在上午和傍晚交通和商業活動繁忙時段，李（1992）以及劉和鄭（1988）針對大台北地區之分析亦顯示相同之結果。但是大高雄地區傍晚之次高值並不如大台北地區者明顯，且每日之最低值，大台北地區出現在清晨，但大高雄地區則出現在午後，此可能與局部（海陸風）環流和邊界層穩定度之變化有關，然而因其具季節性變化，此現象尚待進一步分析。

由於冬、夏季風環流以及台灣山脈地形之影響，大高雄和大台北地區PM10濃度之季節性變化，呈現明顯之負相關，且月平均PM10濃度值之變化和大尺寸季風環流之變化關係密切。冬季東北季風明顯之月份，大高雄地區因位於背風面之下沉氣流區，天氣穩定且風速較弱（Sun et al.,1991；Lin et al.,1992），污染物較不易擴散，因此PM10濃度值較高（大台北地區則空氣品質較佳）。而在夏季，西南季風盛行，溫暖潮濕之氣流加上地形和日照作用，易產生降水，因此污染物不易累積（6~9月幾乎少有污染情況出現）。雖然大尺度季風環流主宰著月平均PM10濃度值之變化，但逐日PM10濃度值之變化，則受移動性天氣系統之影響；當系統移速較慢時，空氣常較遲滯（水平風弱）且持續時間較久，導致污染物擴散不易（李，1992）；本文和其他之研究（如柯等，1991；Boettger,1961；Niemeyer,1960等）皆得到相似之結果。

本文在劣化綜觀天氣型態分析上採用與李（1992）相同之觀點，著重在天氣系統之演變，在應用上頗有價值。由於，目前48~72小時內之數值天氣預報圖（不論中央氣象局或日本氣象廳），在綜觀型態演化之掌握上，有相當高之參考價值，而且造成空氣品質劣化之綜觀型態皆屬變化較緩慢者，數值天氣預報圖之掌握能力應更佳；因此可由數值天氣預報圖，判斷天氣型態之演變，以掌握劣化天氣型態出現之時段，提高空氣污染潛勢預報之意義。

本文在歸納伴隨大高雄地區空氣品質劣化之綜觀天氣型態時，僅考慮10~5月，而由於南部地區梅雨季特徵較不顯著，因此季節之月份畫分法採用傳統畫分方式，不過秋季僅含10、11月。在分析時，共得到四種劣化之綜觀天氣型態，但基本上，大高雄地區空氣品質劣化時之綜觀尺度盛行風向為東至東南；若有高壓脊通過，劣化情形則較嚴重。值得注意的是，大台北地區在空氣品質劣化時，地面風速常在1m/sec以下，但大高雄地區則風速常介於2~3m/sec之間（詳見李等，1992；表3.2）。此差異可能為大高雄地區具有較強之海陸風環流所導致，但詳細原因仍待進一步探討。

統計分析結果同時顯示，出現空氣品質劣化之個案中（以平均PSI $\geq 80$ 代表），有百分之八十五之個案，其綜觀天氣型態可歸為上述四種天氣型態之一（春季較高達91%，秋季僅78%），亦即利用綜觀天氣型態預估空氣品質劣化之前估值為0.85；反過來說，具有污染天氣型態之個案中，亦有百分之八十八的個案，實際上出現了污染之情形（後符值亦為0.88）；而技術得分（Threat-Score），則為0.77左右，此值較李（1992）針對大台北地區所得之技術得分稍低；此外，本研究成果與李（1992）相似，皆有低預報（under-forecast）之情形（即前估小於後符），尤以秋季為甚（前估、後符分別為0.78和0.90）。至於其他特殊的情形（有污染天氣型態但無污染出現，或相反情形），則可能為局部污染源變化或局部環流、邊界層特性之影響所造成。

## 六、誌謝

本研究承蒙中央氣象局和環境保護署提供寶貴資料，謹此誌謝。此外，特別感謝陳泰然教授之指導，而雷孟岳先生、林慧娟小姐以及劉韶郁小姐在資料整理以及文稿準備上皆付出極大心力，在此謹致最誠摯的謝意，本研究乃在行政院環境保護署支

助下完成；計畫編號EPA-80-L201-09-07、EPA-81-E3L1-09-02和EPA-82-007-03-04。

## 七、參考資料

- 李清勝，陳泰然和俞家忠，1990：即時氣象資訊應用在空氣品質分析之研究與實驗（I）。環保署研究報告EPA-79-007-11-162，210頁。
- 李清勝，陳泰然和俞家忠，1992：即時氣象資訊應用在空氣品質分析之研究與實驗（III）。環保署研究報告EPA-81-E3L1-09-02，241頁。
- 李清勝，1992：影響大台北地區懸浮微粒濃度變化之氣象分析。大氣科學（即將出刊）
- 柯文雄，蔡清彥和王永壯，1991：台北盆地空氣品質劣化期間之天氣類型分析。氣象學報，37，1，22-32。
- 張能復，1990：台灣地區空氣污染預警系統建置之研究專案研究計畫(二)。環保署研究報告，254頁。
- 劉志堅和鄭福田，1988：台北市地區空氣品質監測資料之一氧化碳、二氧化碳及粒狀物濃度之變化特性研究。第五屆空氣污染控制技術研討會，162-191。
- 環保署，1990：都會地區空氣品質改善。全國第四次科學技術會議第四中心議題：環境保護科技，105-144。

- Boettger,1961:Air pollution potential east of the Rocky Mountains. Bull. Amer. Meteor. Soc., 42, 615-620.
- Lin, Y.-L., N.-H. Lin and R. P. Weglarz, 1992: Numerical modeling studies of lee mesolows, mesovortices and mesocycloclones. Meteorol. Atmos. And Phys. 49,43-67.
- McCutchan, M. H. and M. J. Schroeder, 1973:Classification of meteorological patterns in southern California by discriminant analysis, J. Appl. Meteor., 12, 571.
- Miller, M. E. and L. E. Niemeyer, 1962:Air pollution potential forecasts -A year's experience. Paper presented at the 55th annual meeting of Air Pollution Control Association (APCA), 22-27.
- Niemeyer, 1960:Forecasting air pollution potential. Mon. Wea. Rev., 88, 88-96.
- Ott, W. R. and W. F. Hunt, Jr., 1976:A quantitative evaluation of the pollutant Standards Index. J. Air Pollut. Control Ass., 26, 11, 1050-1054.
- Sun, W.-Y., J.-D. Chern, C.-C. Wu and W.-R. Hsu, 1991:Numerical simulation of mesoscale circulation in Taiwan and surrounding areas. Mon. Wea. Rev. 119, 2558-2573.

# **THE SYNOPTIC CONDITIONS ASSOCIATED WITH AIR POLLUTION EPISODES IN THE GREAT KAOHSIUNG AREA**

**Cheng-shang Lee, Chia-chung Yu and Lih-ho Chen**

Department of Atmospheric Sciences  
National Taiwan University  
Taipei, Taiwan 107 R.O.C.

## **ABSTRACT**

This paper discusses the meteorological influences on the air quality of the Great Kaohsiung area. Focus is placed on the synoptic patterns associated with the air pollution episode. In the analysis, the air quality was represented by the mean value of the daily average PM10 concentrations observed at five EPA air quality monitoring stations in the Great Kaohsiung area. (PM10 is the suspended particulate matter with diameter less than 10 micrometers.) Results show that the Great Kaohsiung area experienced poor air quality from October to March/April due to the influences of monsoon circulations and Taiwan topography. This seasonal variation pattern of air quality in the Great Kaohsiung area is opposite from that of the Great Taipei area. In addition, both Kaohsiung and Taipei areas have similar diurnal variation pattern of the PM10 concentration that is closely related to human activities. However, the minimum PM10 concentration occurred in the afternoon for the Great Kaohsiung area but in the early morning for the Great Taipei area.

The Great Kaohsiung area generally experienced air pollution episode only during the cold season. The synoptic conditions associated with 85% of all air pollution episodes were classified into four patterns. Analysis also showed that the threat score of these four synoptic patterns in predicting the air pollution event reaches 0.76. This score is comparable to that of the Great Taipei area. However, the pre-figurance and post-agreement are 0.78 and 0.90, respectively during the fall season. In other words, using synoptic patterns to predict the air pollution episode in fall will lead to an under-forecast. In winter and spring, the pre-figurance and the post-agreement are comparable or between 0.85 and 0.90. Results from this analysis seem to suggest that it is practical to utilize the numerical weather prediction charts to analysis the evolution of the synoptic pattern in the air pollution potential forecast.