

## 嘉義地區空氣品質劣化日污染物傳輸路徑之研究

楊宏宇 王信文

中華科技大學土木防災與管理所

### 摘要

嘉義地區因地貌之分佈常造成複合性局部環流如近海區的海陸風、近山區的山谷風及都市熱島效應形成之微弱風場和緩慢上升氣流，對當地之空氣污染物傳輸及擴散影響至鉅。冬半年天氣乾冷穩定，晴空日照較強，常有輻射逆溫現象，產生不利於污染物擴散現象更形明顯。有鑑於近年來嘉義地區空氣品質有日趨惡化趨勢，對整個嘉義地區的生活品質形成嚴重之影響。有必要透過污染來源傳輸路徑進行瞭解污染來源是來自其他空品區的移入或是嘉義地區性環境氣象因素所造成。本文擬由環保署雲嘉南空品區污染物排放濃度數據及中央氣象局和空軍氣象聯隊所屬嘉義地區地面氣象觀測站資料，針對嘉義地區產生之污染物(PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>)是否與地域性(季節性風)，或地區性風場(海陸風及山谷風)有關加以了解，推估可能之污染來源及特性，並透過污染來源傳輸路徑找尋造成嘉義地區空氣品質劣化之原因及建置污染源傳輸路徑，供地方政府及相關單位制定策略及因應作為時參考。

研究結果顯示污染物傳輸路徑主要與地區環流及地形關係密切。而綜觀天氣風場走向扮演初期污染物傳輸路徑重要的參考依據。空氣品質劣化日以季節而言，嘉義地區冬半年比夏半年污染物濃度較高(冬半年佔 75%、夏半年佔 25%)。可能與嘉義地區冬半年天氣乾冷穩定，相對濕度低、晴空(無雲)日照強、低風速及輻射冷卻造成之輻射逆溫，因而造成擴散不佳形成污染物濃度累積效應有關。

嘉義地區空氣品質劣化日主要污染源以懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)為主，集中於冬半年(12月至隔年5月)發生機率佔 77%。其次臭氧(O<sub>3</sub>)亦是集中於冬半年發生機率佔 67%。與冬半年太陽炙熱日照強，光化反應時間充分極易形成衍生性臭氧濃度累積現象有關。嘉義懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)污染傳輸路徑主要為東北方向佔 48%，臭氧(O<sub>3</sub>)污染傳輸路徑主要為西北方向佔 66%。氣團逆軌跡模式與 MM5 風場模式對分析地域性及地區性風場的變化具有相輔相成之效果。

**關鍵詞：**氣團逆軌跡模式、MM5 模式、傳輸路徑、局部環流

## 一、前言

有鑑於近年來嘉義地區空氣品質有日趨惡化趨勢，對整個嘉義地區的生活品質形成嚴重之影響。本文擬由環保署雲嘉南空品區污染物排放濃度之資料及中央氣象局和空軍氣象聯隊所屬嘉義地區地面氣象觀測站資料，找尋造成嘉義地區空氣品質劣化日發生時污染來源及傳輸路徑等相關性研究，並針對嘉義地區產生之污染物(PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>)是否與地域性(季節性風場)，或地區性風場(海陸風及山谷風)有關加以了解，進而建立污染源傳輸路徑及推估可能之污染來源及特性以利分析探討嘉義地區空氣品質劣化之原因，以供地方政府及相關單位制定策略及因應作為時參考。

## 二、研究方法

### 2.1 天氣類型介紹

本文天氣類型係將臺北都會區空氣品質與天氣類型加以分類，天氣類型主要參考楊(1993)所綜整的 27 種天氣型態，簡述如后：

1. 鋒面過境型 (A1)：
2. 鋒前暖區型 (A2)：
3. 鋒面滯留型 (A3)：
4. 熱帶低壓系統外圍環流型 (A4)：
5. 強烈東北季風型 (A5)：
6. 標準東北季風型 (A6)：
7. 微弱東北季風型 (A7)：
8. 高壓出海型 I (A8)：
9. 高壓出海型 II (A9)：
10. 高壓出海型 III (A10)：
11. 高壓迴流型 (A11)：
12. 太平洋高壓西伸型 (A12)：
13. 鋒面及颱風混合型 (A13)：
14. 颱風型 (A14)：
15. 西南氣流型 (A15)：

16. 熱帶系統外圍環流及鋒前暖區混合型 (A16)：

17. 高壓迴流和鋒前暖區混合(A17)：

18. 東北季風及颱風混合型 (A18)：

19. 台灣近海鋒面型 (A19)：

20. 太平洋高壓型 (A20)：

21. 偏南氣流型 (A21)：

22. 華南兩區東移型 (A22)：

23. 東海低壓或臺灣低壓型 (A23)：

24. 東北季風及颱風外圍環流(A24)：

25. 颱風外圍環流型 (A25)：

26. 東北季風及華南兩區東移(A26)：

27. 東北季風及南方雲系北移(A27)：

### 2.2 氣團逆軌跡模式模擬

氣團逆軌跡應用於預測污染源位置的理論最早是由 Ashbough(1983)提出，其利用受體點位置之逆軌跡統計(back trajectory statistics)結合空氣污染資料來預測該污染源的可能位置。其參數分別為

#### 1. 軌跡線計算之起始時間與位置

以個案當天測站最大小時濃度出現時刻，作為氣團逆軌跡計算的起始時間。

#### 2. 氣象資料

逆軌跡的計算必須使用到地面逐時之觀測風場資料，以及當地其他配合風場網格計算時之氣象參數。因此當天逐時風場的計算需以當天地面氣象測站風速與風向的量測值作為基礎。

#### (1) 風場計算範圍

假設所有的前驅物來源有一最大範圍，為採保守估計，本研究採用逆軌跡路線模擬涵蓋台中縣以南、高雄縣以北等縣市，以瞭解各種可能發生之污染路徑。由於本文研究之測站西臨台灣海峽，當地風場預期亦受局部環流(海路風影響)，因此模式氣象場模擬範圍中適當的涵蓋部份海洋區域。模式模擬範圍之座標東西向為 120 公里至 2520 公里，南北向為 240 至 2680 公里。

(2) 網格化風場的計算

a. 逆軌跡線的計算

氣團逆軌跡線的計算，時間發展是往回推算，利用時間  $t$  時，氣團所在位置的風向及風速，當時間為  $t-\Delta t$  時，氣柱座標  $(x, y)$  是未知數，而模式中是以時間  $t$  時的氣柱位置座標  $(x, y)$ ，及時間  $t-\Delta t$  時該位置之水平風速分量  $u(x, y, t-\Delta t)$ ， $v(x, y, t-\Delta t)$ ，來決定時間  $t-\Delta t$  時氣柱座標，依此類推求得氣團的逆軌跡線。

$$x' = x - u(x, y, t - \Delta t) \times \Delta t$$

$$y' = y - v(x, y, t - \Delta t) \times \Delta t$$

在求取氣團逆軌跡線時，時間步階的大小是取一分鐘，不同時間氣團所在位置處的風速風向大小，是由逐時網格點上的風場資料，利用時空的線性內差求得，逆軌跡線的最大反朔時間定為 10 小時，但若反朔時間未達 10 小時，不過軌跡線以超出模擬範圍，則該條逆軌跡線的計算就停止。

2.3 中尺度數值模式 MM5

本研究使用的中尺度氣象預報模式 (The Fifth-Generation NCAR/Penn State Mesoscale Model version3; MM5)，係由美國賓州州立大學 (Pennsylvania State University) 及 NCAR 共同發展 (Anthes and Warner, 1978)，此版本目前已修改為三維非靜力方程模式，此模式相當具有彈性，在邊界層、水文循環等參數化過程及側邊界的處理上，可以有多種不同的選擇，且程式的編寫均為模組化，以方便模式的瞭解與維護。各個副程式的作用及彼此間關係，可以參考 Hsieh (1987)。

茲將 MM5 數值模式內容簡述如下：

(1) 物理方程式

非靜力模式首先定義參數的基準項及擾動項，如下所示。

$$p(x, y, z, t) = p_0(z) + p'(x, y, z, t) \quad (2-1)$$

$$T(x, y, z, t) = T_0(z) + T'(x, y, z, t) \quad (2-2)$$

$$\rho(x, y, z, t) = \rho_0(z) + \rho'(x, y, z, t) \quad (2-3)$$

模式在垂直方向採用  $\sigma$  座標， $\sigma$  定義為

$$\frac{p_0 - p_i}{p_s - p_i}, p_i \text{ 為頂層氣壓}, p_s \text{ 為底層氣壓。令}$$

$$p^* = p_s - p_i, \text{ 則}$$

(a) 水平動量方程如下：

$$(2-4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial p'}{\partial x} + \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) =$$

$$-V \cdot \nabla u + v \left( f + u \frac{\partial m}{\partial y} \right) - ew - \frac{uw}{r_{earth}} + D_u$$

$$(2-5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\sigma}{p^*} \frac{\partial p^*}{\partial x} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} \right) =$$

$$-V \cdot \nabla v + u \left( f + u \frac{\partial m}{\partial y} \right) - \frac{vw}{r_{earth}} + D_v$$

式中

$u, v$  為東西向及南北向風速，水平運動項可表示為

$$u \frac{\partial A}{\partial x} + v \frac{\partial A}{\partial y} + \dot{\sigma} \frac{\partial A}{\partial \sigma}$$

$$\dot{\sigma} = \frac{\rho_0 g}{p^*} w - \frac{\sigma}{p^*} \left( u \frac{\partial p^*}{\partial x} + v \frac{\partial p^*}{\partial y} \right), f \text{ 為科氏參數}$$

( $f = 2\Omega \sin\psi$ )， $e$  為垂直向科氏參數 ( $e = 2\Omega \cos\psi$ )， $\Omega$  為地球自轉角速度， $\psi$  為緯度， $m$  為地圖投影比例因子， $u \frac{\partial m}{\partial y}$  與  $r_{earth}$  為彎曲作用， $D_u$  及  $D_v$  為水平擴散項， $D_w$  為垂直擴散項。

(b) 垂直動量方程式：

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\rho_0 g}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial \sigma} + \frac{g}{\gamma} \frac{p'}{p} = -V \cdot \nabla w +$$

$$g \frac{\rho_0 T'}{p T} - \frac{g R_d}{c_p} \frac{p'}{p} + eu - \frac{u^2 + v^2}{r_{earth}} + D_w$$

$$(2-6)$$

式中  $w$  為垂直風向， $g \frac{\rho_0 T'}{p T} - \frac{g R_d}{c_p} \frac{p'}{p}$  為

浮力項， $eu$  為科氏力分量， $r_{earth}$  為地球曲率作用。

(c) 熱力方程如下：

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -V \cdot \nabla T + \frac{1}{\rho c_p} \left( \frac{\partial p'}{\partial t} + V \cdot \nabla p' - \rho_0 g w \right)$$

$$+ \frac{Q}{c_p} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta$$

$$(2-7)$$

式中  $T$  為溫度， $c_p$  為等壓乾空氣比熱， $Q$  為非絕熱加熱項。

(d) 壓力方程如下：

$$\frac{\partial p'}{\partial t} - \rho_0 g w + \gamma p \nabla \cdot V = -V \cdot \nabla p' +$$

$$\frac{\gamma p}{T} \left( \frac{Q}{c_p} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta \right)$$

$$(2-8)$$

上式中  $\frac{\gamma p}{T} \left( \frac{Q}{c_p} + \frac{T_0}{\theta_0} D_\theta \right)$  為熱力與擴散項，在模式中忽略不計。

(2) 數值方法與邊界處理

水平網格採用 Arakawa and Lamb (1977) B 式交錯網格，其優點為散度與氣壓梯度力的計算較為精確。垂直網格則除了  $\sigma$  放在  $\sigma$  層上外，其餘變數如水平風速、溫度、濕度均放在兩  $\sigma$  層間。此種網格結構具有動量、質量及總能量的保守性。時間格式為 Brown and Campana (1978) 方式，時間間距為跳蛙格式 1.6 倍，可有效節省電腦時間。

(3) 物理參數化

PBL 處理，用高解析度 PBL 參數化 (Blackadar, 1979; Zhang and Anthes, 1982) 方式，其物理意義較為完整，依邊界層內部不同特徵分別以不同方式處理，如表 3.5-1。Zhang and Anthes (1982) 提供高解析度 PBL 參數化，地面層以 bulk Richardson number 為依據，將模式分成夜間模組 (nocturnal regime) 及自由對流模組 (free-convection regime)，夜間模組分成穩定、機械強迫亂流及強迫對流等三類。第一類乃大氣穩定且垂直風切很小下，亂流效應很小，故亂流通量設為零，第二類為大氣穩定但垂直風切顯

著，第三類則大氣具弱不穩定度且垂直風切顯著時，第二、三類的亂流主要發生在地面層，故地面層溫度、水氣及風場均由預報方程求取。各通量則由 Monin-Obukhov 相似性理論及 K 理論求出，K 值為局部 Richardson number 函數，地面層之上的預報場亦由 K 理論求得。

三、結果分析與討論

根據中央氣象局南部氣象站之觀測記錄表，在嘉義地區月平均最高氣溫為 7 月，約 28.7°C，最低為 1 月，約 16.5°C。從圖 1，嘉義地區年均溫有微幅升高之趨勢。

針對嘉義地區研究結果該地區風場依據 2003 年-2008 年風場觀測資料分為冬半年 (12 月至隔年 5 月)，夏半年 (6 月至當年 11 月)，由風玫瑰圖得知在嘉義地區冬半年以北風、東北風為主，其次接近 5 月份梅雨季期間則南風以及西南風為主。進入夏半年以南風為主，而深秋及初冬期間則以出現北風為主。在大氣的流動下各縣市的空氣污染物，也會隨著大氣擴散而飄入，造成無大型污染源的縣市的空氣品質劣化。嘉義地區懸浮微粒似有由北向南污染逐時增加的趨勢，嘉義空氣品質的劣化，可能與雲林縣、彰化縣越境污染相關。季風氣候在冬天時東北季風的影響，由大陸東北沙漠以及工業所帶來的污染物隨者冷氣團外移，影響韓國、日本及台灣，在春季時東南暖濕氣流可能夾帶污染物飄入台灣西南部。嘉義空品區污染物的來源多樣，可能為其他空品區外移侵入，同時嘉義地區污染源的排放亦可能同時造成其他地區的空氣品質劣化。而輸送、擴散所包括 (如：風速、風向以及穩定度等) 均與天氣型態有關係，亦即綜觀尺度之天氣型態，對污染物的擴散影響相當大。

依據楊 (1993) 對綜觀尺度 (synoptic scale) 之天氣型態所做分類分成 27 類。並以上述分

類標準將民國 94-98 年之綜觀天氣圖進行整理及研究。更可將其分類以探討空氣品質惡化與天氣型態之關係，本研究將天氣型態自民國 94-98 年間共 1826 天。天氣型態發生日數如圖 2。在 5 年間所累積之天氣類型，將顯示各種天氣型態污染發生狀況，及造成空氣品質不良之比例。

其中以標準東北季風型發生次數最多，發生日數為 295 天佔總日數之 16.2%；高壓迴流型次之，發生日數為 201 天佔總日數之 11%；從季節區分依序分別為，第一季(3-5 月)發生天氣型態最多為高壓迴流型(83 天)、華南兩區東移型(69 天)、微弱東北季風型(51 天)、鋒前暖區型(40 天)；第二季(6-8 月)發生天氣型態最多為高壓迴流型(108 天)、颱風型(90 天)、偏南氣流型(52 天)、颱風外圍環流型(42 天)；第三季(9-11 月)標準東北季風型(108 天)、微弱東北季風型(64 天)、熱帶低壓系統外圍環流型(62 天)、高壓出海型 III(53 天)；第四季(12-2 月)標準東北季風型(163 天)、鋒面滯留型(124 天)、高壓迴流型(63 天)、微弱東北季風型(61 天)。

就天氣而言，台灣第一季、第二季空氣品質尚可，除了鋒前暖區天氣類型以及鋒面過境北部時因風速較小對空氣品質造成不良的影響。第一季主要天氣型態為滯留鋒面以及華南雲雨帶東移。當滯留鋒面徘徊在台灣，造成連續降水，則其他地區空氣品質良好；若滯留鋒面徘徊在東海，台灣地區則氣壓梯度微弱，造成台灣各地皆於暖區、風速小、空氣品質差。

第二季與第三季空氣品質為佳，當受到颱風外圍環流影響時臭氧濃度升高，若颱風中心位在台灣東南方，外圍環流越過中央山脈時所造成的下沉氣流更會導致焚風現象將不利於污染物的擴散。台灣主要受太平洋副熱帶高壓以及西南季風影響。西南季風風速較大、午後對流旺盛，空氣品質為佳；對北

部及東北部而言，地形阻擋以致空氣品質較差。而受太平洋副熱帶高壓影響，其下沉氣流隨者空氣較穩定且濕度小，使各地皆不利於污染擴散，影響程度則需視副高壓之強度以及高壓脊所在之處。而此季節常受颱風影響，當颱風侵入時，各地區風速明顯增加，空氣品質較佳，但颱風並未直接登入，只受颱風外圍環流影響，則台灣區之空氣品質隨颱風位置不同而有差異，其臭氧濃度此時頗大。

第四季台灣地區，主要受東北季風及鋒面影響，中南部因位於中央山脈背風面，風速較弱且日照強，清晨近地面易產生逆溫層，不利於污染物擴散，空品較差。在高壓出海及高壓迴流天氣型態下，因山脈阻擋，西部地區污染物濃度易累積，其中中部及雲嘉地區亦有污染濃度過高。

本研究彙整及分析嘉義縣市空氣品質監測站，發現發生空氣品質劣化日時，污染物則以臭氧(O<sub>3</sub>)及懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)為主。因此本文針對境內臭氧(O<sub>3</sub>)及懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)污染進行分析研究，以了解嘉義縣市空氣污染成因。目前造成污染成因歸類有 4 類：(1)污染排放量、(2)氣象因子、(3)地形因子及(4)遠程污染傳輸。

本研究所採取污染日劣化事件主要是以嘉義縣市空氣品質監測站 2005 年-2009 年發生選臭氧(O<sub>3</sub>)及懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)PSI 值超過 100，作為氣團逆軌跡計算的起始時間，依據本文針對臭氧(O<sub>3</sub>)PSI 值超過 100 模擬時間分別為 2007 年 5 月 3 日、5 月 7 日、5 月 8 日、9 月 28 日、9 月 29 日，2008 年 5 月 15 日；懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)PSI 值超過 100 事件劣化日時間分別為，2005 年 3 月 17 日、4 月 15 日、9 月 7 日、11 月 7 日、11 月 8 日、11 月 25 日、11 月 26 日、11 月 29 日、12 月 16 日、12 月 21 日，2006 年 2 月 14 日、2 月 15 日、3 月 19 日、11 月 11 日，2007 年 1 月 28

日、1 月 31 日，2008 年 1 月 9 日、2 月 22 日、3 月 3 日、10 月 24 日，2009 年 3 月 20 日、10 月 19 日，進行逆軌跡模式模擬及分析。

事件日模擬範圍 UTM 座標(120 2520,240 2680)為模擬範圍以及網格配置測站為原則。採取當日懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)小時濃度最高值，作為氣團逆軌跡計算的起始時間，模擬分析污染來源並探討嘉義空氣品質污染事件發生時氣流走向。

2005 年至 2009 年產生臭氧劣化日共計 6 天，就天氣類型而言，分別為太平洋高壓 2 天，日期為 2007 年 5 月 3 日及 9 月 28 日佔 33%，高壓出海 III 有 1 天，為 2007 年 5 月 7 日佔 17%，高壓迴流 1 天，為 2007 年 5 月 8 日佔 17%，熱帶低壓系統外圍環流 2 天，日期為 2007 年 9 月 29 日及 2008 年 5 月 15 日佔 33%。各天氣類型所佔百分比詳如圖 3 所示。上述綜觀天氣類型均俱低風速、並呈現高溫之特性。西部地區大致為晴到多雲之天氣，有利臭氧之產生。

2007 年 5 月 3 日及 9 月 28 日之逆軌跡模式模擬結果顯示，在嘉義測站模擬中其污染物傳輸路徑由西向東進行，兩日因太平洋高壓風速小，傳輸路徑海陸風較為有關，在 2007 年 5 月 7 日之逆軌跡模式模擬結果顯示，在嘉義測站監測的污染物路徑由東向西轉南進行，其逆軌跡模式模擬顯示污染物傳輸路徑經由雲林縣境內進入，測站之污染源因高壓出海 III 風速微弱而形成西部地區為背風面，產生下沉氣流高溫、低風速有關，在 2007 年 5 月 8 日之逆軌跡模式模擬結果顯示，在嘉義測站監測的污染物由東向西轉東進行，其逆軌跡模式模擬顯示污染物傳輸路徑經由雲林縣境內進入，測站之污染源與高壓迴流，經暖海變性過中央山脈，背風進入西部地區形成天氣穩定下沉增溫，及風速微弱有關。

2007 年 9 月 29 日與 2008 年 5 月 15 日之逆軌跡模式模擬結果顯示，在嘉義測站模擬其中 9 月 29 日污染物來源由南向北進行，而 5 月 15 日污染物來源由北向南進行，測站之污染源傳輸路徑應與熱帶低壓系外圍環流高溫、低風速、風向不定有關，依其逆軌跡模式模擬顯示 9 月 29 日污染物傳輸路徑經由台南縣往北傳輸而來、5 月 15 日污染物由嘉義縣市境內污染排放量累積而成。

2005 年至 2009 年產生懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)劣化日共計 22 天，就天氣類型而言，標準東北季風 7 天，日期分別為 2005 年 11 月 7 日、11 月 25 日、11 月 26 日、11 月 29 日、2006 年 3 月 19 日、11 月 11 日及 2007 年 1 月 31 日佔 31%。微弱東北季風 6 天，日期為 2005 年 4 月 15 日、9 月 7 日、11 月 8 日、2006 年 10 月 19 日、2008 年 2 月 22 日及 2009 年 3 月 20 日佔 26%。強烈東北季風 4 天，日期為 2005 年 12 月 16 日、12 月 21 日及 2007 年 1 月 28 日及 2008 年 3 月 3 日佔 18%，鋒前暖區 1 天，為 2005 年 3 月 17 日佔 5%，鋒面過境 1 天，為 2009 年 4 月 25 日佔 5%，太平洋高壓西伸 1 天，為 2006 年 2 月 14 日佔 5%，高壓迴流 1 天，為 2008 年 1 月 9 日佔 5%，偏南氣流 1 天，為 2006 年 2 月 15 日佔 5%。各天氣類型所佔百分比詳如圖 4 所示。

2005 年 3 月 17 日污染物傳輸路徑受鋒前暖區影響低風速，逆軌跡模式模擬結果顯示污染物來源傳輸路徑，主要是海陸風環流使海風由西向東行進到嘉義內陸，2005 年 4 月 15 日為微弱東北季風天氣型態所影響，亦是呈現低風速之特徵，逆軌跡模式模擬結果顯示，污染物經台灣海峽西北方向東往嘉義移入，2005 年 11 月 7 日、11 月 26 日，為標準東北季風天氣型態，逆軌跡模式模擬結果顯示污染物傳輸路徑，由台灣海峽北方向南進入嘉義地區，2006 年 2 月 14 日，受太平

洋高壓西伸下沉增溫、風速微弱之特徵，逆軌跡模式模擬結果顯示污染物從彰化縣、雲林縣往南移動再由台南縣往北行進，2008 年 1 月 9 日，為高壓迴流天氣型態，逆軌跡模式模擬結果顯示，污染物從台灣海峽由西北向南轉東南進入嘉義地區，2009 年 3 月 20 日，為微弱東北季風型，污染物傳輸路徑經台灣海峽、彰化縣、雲林縣境內由西北向南行進。2005 年 9 月 7 日為微弱東北季風天氣型態，逆軌跡模式模擬結果所示污染物由嘉義境內自行產生污染所影響，2005 年 11 月 8 日為微弱東北季風型，逆軌跡模式模擬結果顯示，污染物經雲林縣由東北向西南行進，2005 年 11 月 25 日、11 月 29 日天氣型態為標準東北季風，逆軌跡模式模擬結果顯示 11 月 25 日污染物經南投縣、彰化縣、雲林縣境內由東向西轉南行進，11 月 29 日污染物由嘉義境內產生所影響污染物所影響，在 2005 年 12 月 16 日、12 月 21 日為強烈東北季風天氣型，12 月 21 日逆軌跡模式模擬結果顯示，污染物經南投縣由東北向西南移入嘉義地區，與強烈東北季風及地形影響有關所影響，12 月 16 日污染物經雲林縣境內由北往南移入嘉義地區，2006 年 3 月 19 日、11 月 11 日天氣型態為標準東北季風，逆軌跡模式模擬結果顯示 11 月 11 日污染物經南投縣、彰化縣、雲林縣境內由東向西轉南行進，2006 年 3 月 19 日污染物經彰化縣、雲林縣境內由北向南進入，2008 年 2 月 22 日天氣型態為微弱東北季風型，2008 年 2 月 22 日逆軌跡模式模擬結果顯示污染物從彰化縣由南往西南行進，2008 年 3 月 3 日天氣型態為強烈東北季風，污染物經雲林縣境內由北向南行進。2006 年 2 月 15 日為偏南氣流天氣型態，懸浮微粒劣化日污染物來源，經逆軌跡模式模擬結果，污染物經台南縣由南向北進入。2009 年 10 月 19 日為微弱東北季風天氣型態，懸浮微粒劣化日污染物來源顯示，經逆軌跡模式

模擬之結果顯示，污染物由東南向西北行進。

上述結果顯示，除強烈東北季風風速大傳輸路徑明顯外，其餘天氣類型因風速小、風向不定，傳輸路徑與地區性特徵環流(海陸風或山谷風環流)有密切之關係。

針對 2006 年 2 月 15 日及 2009 年 10 月 19 日之劣化日探討其由南往北傳輸路徑原因，進一步了解中尺度數值模式 MM5，藉由氣團逆軌跡路徑圖結果及 MM5 風場走向圖顯示，加以了解風場走向與逆軌跡路徑是否有一致性。2006 年 2 月 15 日詳如圖 5 至 8 所示。

2006 年 2 月 15 日，為偏南氣流天氣類型，從氣團逆軌跡模式模擬結果呈現的污染源是從南部往北移入嘉義，初期而 MM5 風場走向圖與逆軌跡路徑圖不相一致。03 時，污染物是由東往西移動，但 MM5 風場是由南往北移動。09 時至 12 時，由氣團逆軌跡明顯看到污染物開始往東北移動，而 MM5 風場在 09 時吹東北風到了 12 時改為西北風，可能與網格大小有關。2009 年 10 月 19 日詳如圖 9 至 12 所示。

2009 年 10 月 19 日，為微弱東北季風天氣類型，從氣團逆軌跡模式呈現的污染源是從南往北移入嘉義，而 MM5 風場走向圖與逆軌跡路徑圖一致。00 時至 12 時，污染物由南往北移動，從氣團逆軌跡模擬結果明顯看出污染物傳輸路徑，與 MM5 風場搭配就能了解風場與污染物傳輸路徑之間的關係。

#### 四、結論

嘉義地區因地貌之分佈常造成複合性局部環流如近海區的海陸風、近山區的山谷風及都市熱島效應形成之微弱風場和緩慢上升氣流，對當地之空氣污染物傳輸及擴散影響至鉅。研究結果顯示：

1. 污染物傳輸路徑主要與地區環流及地形關係密切。而綜觀天氣風場走向扮演初期

污染物傳輸路徑重要的參考依據。

2. 嘉義地區空氣品質劣化日以季節而言，冬半年比夏半年污染物濃度較高(冬半年佔 75%、夏半年佔 25%)。可能與嘉義地區因位於中央山脈背風面，冬季時天氣乾冷穩定，相對濕度低、碧空(無雲)日照強及風速微弱，因而造成擴散不佳，形成污染物濃度累積效應有關。
3. 嘉義地區空氣品質劣化日主要污染源以懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)為主，集中於冬半年(12 月至隔年 5 月)發生機率佔 77%。主要原因是冬半年天氣乾冷穩定，相對濕度低、碧空(無雲)日照強、低風速及夜間地面長波輻射冷卻造成之輻射逆溫，不利於污染物擴散而形成污染物濃度累積效應有關係。
4. 嘉義地區臭氧(O<sub>3</sub>)空氣品質污染劣化日，集中於冬半年發生機率佔 67%。主要原因是冬半年天氣乾冷穩定，太陽炙熱日照強，光化反應時間充分極易形成衍生性臭氧濃度累積現象有關。
5. 嘉義懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)污染傳輸路徑主要為東北方向佔 48%，其次西北方向佔 43%，而南部往北移動僅佔 9%。其次臭氧(O<sub>3</sub>)污染傳輸路徑主要為西北方向佔 66%，其餘東北方向及南部往北移動均佔 17%。

#### 五、參考文獻

- 楊宏宇、甘黛玲、王家玲、郭毓琇，2007，《區域能見度變化與微氣候因子相關性分析》營建開發與科技管理應用研討會。
- 梁文傑、楊宏宇，1992，《台灣地區空氣品質與天氣類型分類相關性分析》，第 9 屆空氣污染控制技術研討會論文集，791-813。
- 郭毓琇，2006，《運用 CAMx 模式模擬分析中部空品區污染物來源之研究》中華技術學院碩士論文。
- 楊宏宇，1993，《台灣地區空氣品質與天氣類型分類相關性分析》，私立中國文化大學

博士論文。

- 蔡佩憲，2008，《台北都會區不同交通流量地區大氣懸浮微粒及重金屬濃度研究》，國立陽明大學碩士論文。
- 劉怡伶，2008，《台南市大氣中硫酸鹽、硝酸鹽特性分析及防制策略之研究》，嘉南藥理科技大學碩士論文。
- 底宗鴻，2008，《高雄地區陸域及鄰近海域懸浮微粒物化特性分析及時空分佈探討》，國立中山大學碩士論文。
- Hoppel, W.A., "Determination of the aerosol size distribution from the mobility distribution of the charged fraction of aerosols," J. Aerosol Sci., 9, 41-54, 1978.
- Hinds, W. C., "Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc." New York, pp.3-4, 1999.
- Tang, I.N., Munkelwitz, H.R., and Davis, J.G., "Aerosols growth studies: preparation and growth measurements of monodisperse salt aerosols," J. of Aerosols Sci., 8, 149-159, 1977.

表 1. MM5 模式的特性及物理參數化一覽表

模式特性	說明及選項
基本方程	非靜力、可壓縮
垂直座標系統	地形隨動座標
數值方法	空間為四階差分格式，時間為分離格式
積雲參數化	Anthes-Kuo Grell Arakawa Schubert Fritch-Chappell Kain-Fritch Betts-Miller Shallow Cumulus
邊界層參數化	Bulk PEL Blackadar PEL Burk-Thompson PEL MRFPBL

表 2. 南部地區每月平均溫度表(1981年-2010年)

單位：°C

每月平均溫度表		一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
地區/月													
嘉義		16.5	17.4	19.7	23.1	25.8	27.8	28.7	28.2	27.0	24.6	21.4	17.7
臺南		17.6	18.6	21.2	24.5	27.2	28.5	29.2	28.8	28.1	26.1	22.8	19.1
高雄		19.3	20.3	22.6	25.4	27.5	28.5	29.2	28.7	28.1	26.7	24.0	20.6
恆春		20.7	21.4	23.2	25.2	27.0	27.9	28.4	28.1	27.4	26.3	24.3	21.7

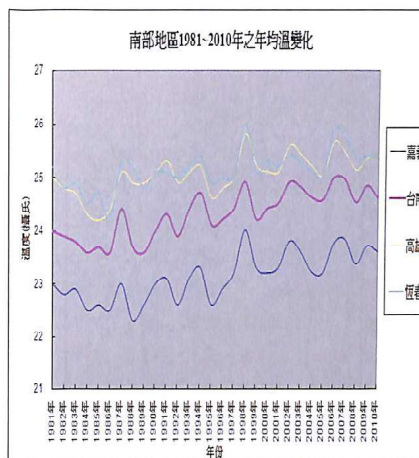


圖 1. 南部地區每年平均溫度變化圖 1981 年-2010 年

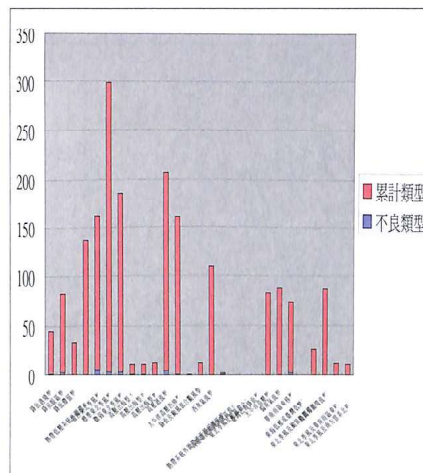


圖 2. 民國 94-98 天氣類型發生日數

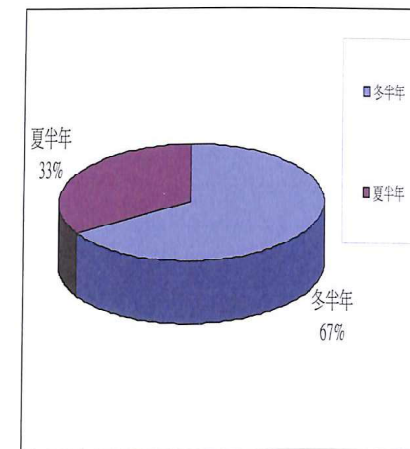


圖 3. 冬夏半年污染劣化日百分比

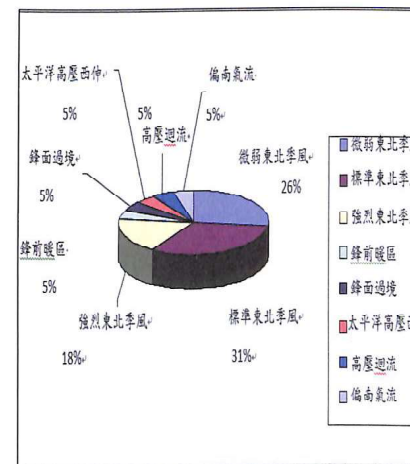


圖 4. 天氣類型百分比



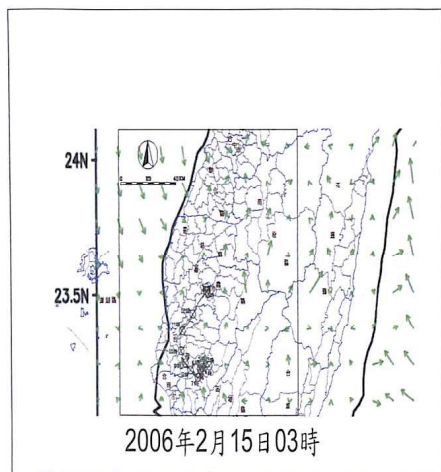


圖 5. 03 時 MM5 風場模擬圖

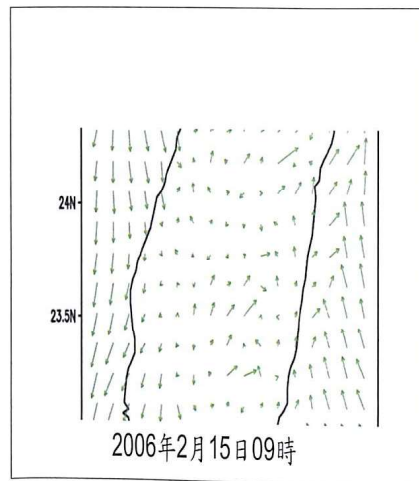


圖 7. 09 時 MM5 風場模擬圖

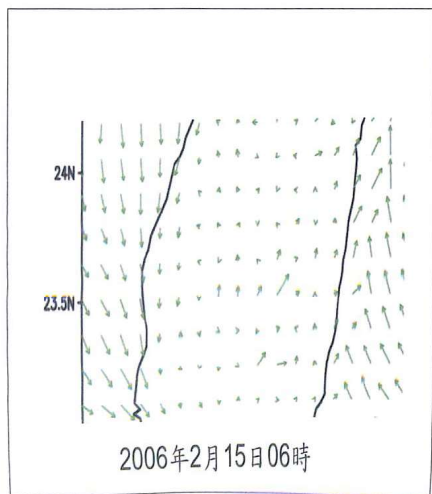


圖 6. 06 時 MM5 風場模擬圖

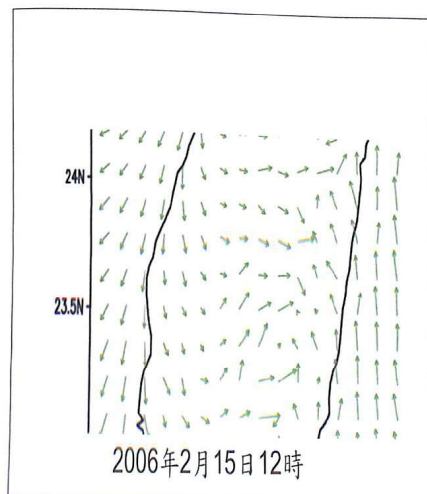


圖 8. 12 時 MM5 風場模擬圖

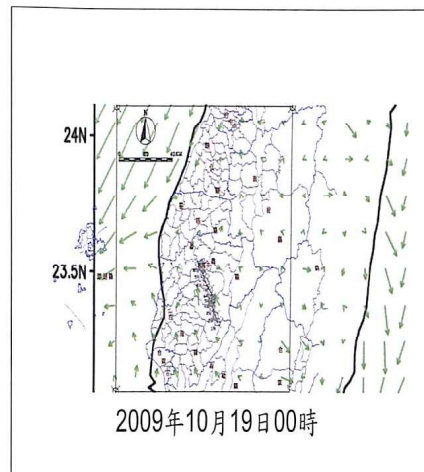


圖 9. 00 時 MM5 風場模擬圖

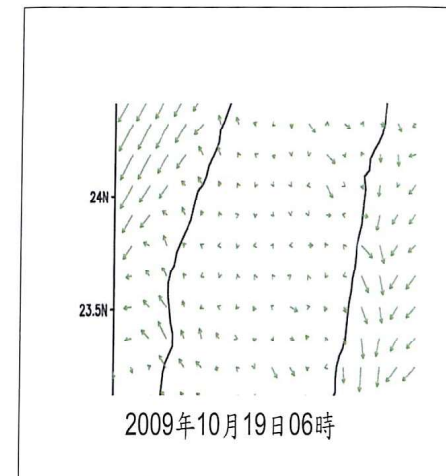


圖 11. 06 時 MM5 風場模擬圖

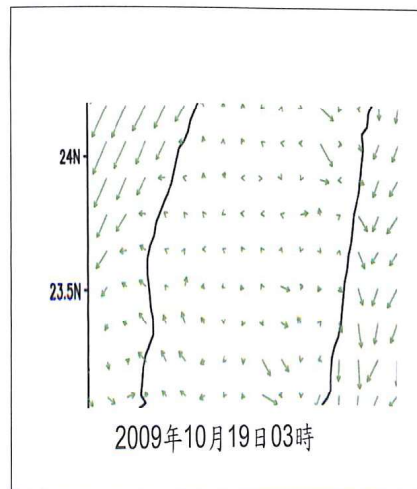


圖 10. 03 時 MM5 風場模擬圖

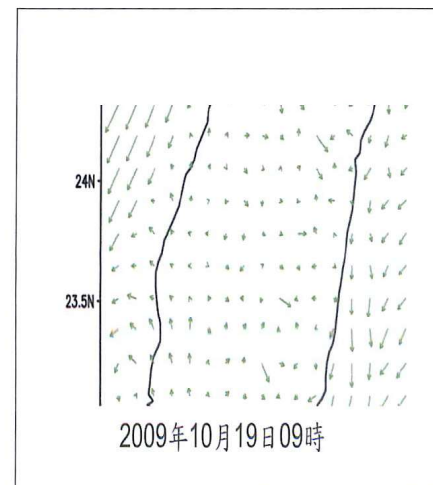


圖 12. 09 時 MM5 風場模擬圖

## The Study of Episode Days of Air Quality in Chia-Yi and it's Transmission

### Route of Pollutants

Hornng-Yu Yang Hsin-Wen Wang

Master Section of Civil Disaster Prevention and Management, China University of Science and Technology.

### Abstract

Situated within the center of Jia-Nan Plain in South Taiwan extending from the coast to the interior until reaching the leeward side of the Central Mountain Range near the piedmont, Jia-Yi is an important place of agriculture where its minor metropolitan status is built by its developing agriculture base. Speaking of its climate characteristic, the landform distribution of the Jia-Yi area causes pounding local circulation such as sea-land breeze in coasts, valley wind near mountains, and weak-wind fields formed by the effect of metropolis Tropical Island, as well as ascending air current that is formed. As a result, the effect of air pollutant transmission and spreading is great. In winters, the weather is dry, cold, and stable. More sunshine with clear sky often causes inversion phenomena due to long-wave radiation. In all, it is more obvious that the diffusion of air pollutant is less. In recent years, the trend of worsening air quality in Jia-Yi seriously affects the life quality of its residents. Hence, it is necessary to trace the pollutant transmission route for determining whether pollutant sources came from other regions or pollutants were caused by local environmental climate factors in Jia-Yi.

The study is based on air pollutant data from the Environmental Protection Bureau and meteorological data from the Central Meteorological Bureau and Air weather wing. The focus aims at pollutants ( $PM_{10}$ ,  $O_3$ ) produced in Jia-Yi and investigates whether they are related to local seasonal winds or local wind fields (sea-land breeze and valley wind). The study estimates possible sources of pollutants and their characteristics. Through tracing the transmission route of pollutant sources to seek the causes of worsening air quality in Jia-Yi and to establish the transmission route of pollutants, the result provides a reference to the local government and relating departments when they formulate strategies and responses.

The findings showed that the transmission route of pollutants for the most part is closely related to its local circulation and landform. Meteorologically speaking, the direction of the synoptic weather pattern wind fields plays an important role in the initial transmission route of pollutants. The episode days of air quality in Jia-Yi by the season is that the pollutant concentration is higher in winters than summers (winters 75%, summers 25%). It is possibly related to the effect of accumulated pollutant concentration caused by ineffective diffusion in winters since the winter weather in Jia-Yi is dry, cold, and stable, with lower relative humidity, more sunshine with clear sky,

lower wind speed, and cooling radiation that causes inversion.

The episode days of air quality in Jia-Yi is primarily suspended particulate matters ( $PM_{10}$ ), mostly in winters (December to May in the next year) at 77%. Ozone is next ( $O_3$ ) at 67% in the winter. It is related to the phenomena of derivative ozone concentration accumulated by photochemical reaction time in winters because of stronger sunshine. The pollutant transmission route of suspended particulate matters ( $PM_{10}$ ) in Jia-Yi is mostly by the northeast direction at 48%. The transmission route of ozone ( $O_3$ ) is mostly by the northwest at 66%. The Back Trajectory Model of air mass and MM5 wind field pattern play a complimenting effect to the analysis on the variation of localization and local wind fields. Only by using MM5 pattern to analyze the variation of micro wind fields, with 1 km by 1 km mesh spacing, the response of wind field variation is reflected more closely. The paper intends to study further on secondary circulation of sea-land breeze and valley winds to see their effect on local environmental wind fields. It is recommended that relating departments may establish radial observation stations (from coasts to interior reaching piedmont) for better understanding of secondary circulation.

**Keywords: The Back Trajectory Model of air mass, MM5 pattern, transmission route, local circulation**