

東海大學環境科學與工程學系碩士論文

指導教授：程萬里 博士

颱風位置與中部地區臭氧高值關係之分析

An analysis of the relationship between typhoons  
location and ozone episodes in central Taiwan



研究生：巫孟庭

中華民國九十九年七月

東海大學環境科學系碩士班

論文口試委員審定書

環境科學與工程學系碩士班巫孟庭君所提之論文

題目：颱風位置與中部地區臭氧高值關係之分析

---

經本委員會審議，認為符合碩士資格標準。

論文口試委員召集人 蔡宗堃 (簽章)

委員 程萬里

林沛練

梁正申

中華民國 99 年 4 月 16 日

東海大學碩士班研究生  
論文指導教授推薦書

環境科學與工程學系巫孟庭君所提之論文

題目：颱風位置與中部地區臭氧高值關係之分析

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授：程萬里（簽章）

99 年 4 月 16 日

## 摘要

根據環保署近年來的資料顯示，臭氧濃度明顯在春、秋兩季呈現逐年上升的趨勢，且污染問題已日趨嚴重。當天氣型態為熱帶低壓北移時，台灣綜觀風場屬於東風形勢。受到中央山脈的阻擋，西半部地區呈現微弱的西風系，造成污染物不易擴散而導致高臭氧濃度發生。高臭氧事件常常發生在春季和秋季，以天氣類型來看，主要多發生在秋季。像在 2005 年 9 月 17 至 18 日韋森特颱風並未直接登陸台灣，但造成中部空品區 3 個測站小時最大臭氧濃度超過 120 ppb，而其他測站也有超過 100 ppb 以上，顯示颱風之外圍環流將有可能影響中部空品區之空氣品質，而導致空氣品質惡化。

本研究利用繫留探空監測系統來收集垂直大氣之氣象資料與不同高度之空氣污染物的樣本。另藉由主成份分析 (PCA) 來對近地面之氣象參數與空氣污染物濃度進行分析。為了彌補垂直剖面資料的不足，我們同時與台中西屯空氣品質監測站逆溫儀 (Meteorological Temperature Profiler version 5, MPT5-HE) 監測當時的溫度剖面。亦引用澳洲聯邦科學與工業研究機構 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO) 所屬之大氣研究部門研發之空氣污染模式 (The Air Pollution Model Version 3, TAPM V3.0)，用模擬加以驗證氣塊軌跡移動路徑。

在熱帶低壓北移並接近台灣之天氣型態下，容易造成高  $O_3$  濃度的發生。研究颱風位置分 A、B、C、D 四類型，其中 A 類型之臭氧平均濃度較高，故滴定反應分成三個時段 (2100 LST - 0700 LST、1000 LST、1200 LST- 1400 LST)。在第一個時段中， $O_3$  與  $O_3/O_x$  之線性關係最大，第一段之  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值快速上升， $O_3$  與  $NO_2$  的累積有關， $O_3$  緩慢上升， $NO_2$  會隨著時間而有上升或下降的變化。第二段之  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值緩慢上升，當  $O_3$  濃度穩定上升的同時， $NO_2$  濃度亦有穩定上升的情形。第三時段之  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值較為平穩， $O_3$  濃度持續上升，但  $NO_2$  卻降下來，是由於太陽輻射導致  $NO_2$  逐漸下降。地形特徵支配著  $O_3$  濃度變化的空間特性，分成三個空間形式 (沿海地區、都會區及內陸地區)。在本研究所監測到的 9 月 17 日高  $O_3$  濃度 (121.5 ppb)，可能是  $O_3$  前驅物於前一晚的累積，太陽強烈照射且在低風速之情況下，造成南投地

區於近地面 100 m 處產生 O<sub>3</sub> 高值。可充分利用空氣污染模式(TAPM) 模擬氣塊軌跡圖來加以分析。另外，研究 A、B、C、D 四類型混合層與污染物之關係，發現 A 類型之臭氧濃度平均最高，混合層高度平均最低。從此研究可以看出，當混合層下降時，會導致臭氧濃度上升。

關鍵字：臭氧、繫留探空、主成份分析、空氣污染模式、混合層高度

## Abstract

In recent years, according to EPA data, ozone concentration significantly rises during spring and autumn, and the pollution problem has become increasingly serious over the years. When the northern edge of the tropical depression reaches this area, has weak-to-moderate easterly winds covering the region. It is unfavorable for pollutant dispersion, resulting in high O<sub>3</sub> concentrations. Usually, high ozone concentration events are often happened in autumn and spring, the weather type which occurs during the autumn months. For instance, in 17-18 September 2005, the vicente typhoon did not directly landed in Taiwan, cause central three stations ozone maximum concentration hourly ozone  $\geq 120$  ppb, other stations ozone maximum concentration are also more than 100 ppb, it shows typhoon outer bands will likely affect the central of the air quality, which led to deterioration of air quality.

This study utilizes the Tethersonde balloon system to collect vertical meteorological data and air pollutant concentrations sample at different height. The surface data of meteorological parameters and air pollutant concentrations was analyzed by Principal Component Analysis (PCA). In order to compensate the deficiency of the recorded data, temperature profile data from the Meteorological Temperature Profiler version 5 (MPT5-HE) at Taichung Situn Air Quality Monitoring Station were monitored at the respective times. In addition, we also quote of the air pollution model (TAPM), a computer model developed by Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) Australia. Moreover, simulated the trajectory of air parcel in this study.

That high O<sub>3</sub> concentration episodes occurred when the tropical depression drifted northward and approached Taiwan. The location of typhoon was divided into

four types of regions - A, B, C, D. The outcome indicates that the highest average concentration of ozone is found at region type A. The titration reactions could be classified into three temporal phases - 2100 LST - 0700 LST, 1000 LST and 1200 LST - 1400 LST. During the first phase, the  $O_3$  and  $O_3/O_x$  ( $O_x = O_3 + NO_2$ ) linear relation reached maximum, and the  $O_3$  concentration and  $O_3/O_x$  ratio showed a rapid increase. The concentration of  $O_3$  is closely connected with the  $NO_2$  accumulation, thus when the  $O_3$  concentration slowly increase, the  $NO_2$  concentration would either increase, or decrease instead. During the second phase,  $O_3$  concentration and  $O_3/O_x$  ratio increased gradually. The  $NO_2$  concentration also increased steadily as the  $O_3$  concentration increased. During the third phase,  $O_3/O_x$  ratio was nearly constant. The  $O_3$  concentration continued to rise, but  $NO_2$  concentration decreased due to the strong solar radiation. The topographical feature clearly dominated the spatial characteristics of  $O_3$  concentration variation, classifying into three spatial patterns- the coastal region, the urban area, and the inward area. The high  $O_3$  concentration was observed on September 17, 2005 (121.5 ppb) at less than 100 m in Nantou due to the following factors: the accumulated precursors of  $O_3$  during the previous night, solar radiation and low wind speed. We can make full use of The Air Pollution Model (TAPM) simulated air parcel trajectory to analyze. In addition, this study comprises four types of researches (A, B, C, D) in regards of the correlation between mixing layers and pollutants. The outcome shows that type A has the highest average concentrations of ozone, and the lowest mixing layers. Therefore, when the height of mixing layers decreases, the concentration of ozone will increase rapidly.

Key words:  $O_3$ ; Tethersonde system; PCA; TAPM; mixing layer

# 目錄

<b>第一章 緒論</b> .....	1
1-1 前言.....	1
1-2 研究目的.....	2
<b>第二章 文獻回顧</b> .....	3
2-1 臭氧前驅物排放.....	3
2-2 臭氧生成機制.....	4
2-3 臭氧與天氣型.....	6
2-4 混合層高度.....	7
2-5 軌跡模式.....	9
<b>第三章 研究方法</b> .....	10
3-1 研究背景.....	10
3-2 研究方法.....	11
3-2.1 中部空品區監測資料收集析.....	12
3-2.2 繫留探空流程.....	13
3-2.3 使用儀器設備.....	14
3-2.4 主成份分析.....	14
3-2.5 空氣污染模式.....	16
3-2.6 模式所需之氣象場資料來源.....	21
3-2.7 模式所需之污染物排放資料來源.....	22
3-2.8 模式網格設定.....	23
3-2.9 模式氣象場模擬結果性能評估.....	25
3-2.10 模式臭氧濃度模擬結果性能評估.....	27
<b>第四章 結果與討論</b> .....	28
4-1 中部空品區臭氧濃度分析.....	28
4-1.1 台灣東方颱風之O <sub>3</sub> 與NO <sub>2</sub> 滴定反應.....	31
4-1.2 台灣東方颱風O <sub>3</sub> 濃度主成份分析.....	51
4-1.3 垂直滴定反應與污染物分析.....	56

4-2 混合層高度與污染物之關係.....	64
4-3 天氣型態.....	68
4-3.1 春季綜觀天氣型態.....	68
4-3.2 秋季綜觀天氣型態.....	70
4-3.3 污染物濃度分析.....	72
4-4 TAPM模式模擬.....	77
4-4.1 氣象場模擬結果分析.....	77
4-4.2 污染物濃度模擬結果分析.....	93
4-4.3 模式軌跡.....	98
<b>第五章 結論.....</b>	<b>108</b>
<b>參考文獻.....</b>	<b>110</b>
<b>附錄.....</b>	<b>114</b>

## 表目錄

表2-4.1	MTP5-HE規格.....	8
表3-2.1	中部地區地面氣象與空氣品質監測站資料表.....	12
表3-2.2	TAPM 使用之化學反應式.....	20
表3-2.3	TAPM模式網格設定.....	23
表4-1.1	2005年Type A之颱風時間、名稱、個數.....	36
表4-1.2	2005年Type B之颱風時間、名稱、個數.....	36
表4-1.3	2005年Type C之颱風時間、名稱、個數.....	37
表4-1.4	2005年Type D之颱風時間、名稱、個數.....	37
表4-1.5	Type A之共同參與滴定反應時間.....	41
表4-2.1	A、B、C、D四類型在14時之臭氧濃度和混合層高度平均.....	65
表4-4.1	春季中部空品監測站與模式模擬之風速(m/s)統計分析.....	79
表4-4.2	秋季中部空品監測站與模式模擬之風速(m/s)統計分析.....	82
表4-4.3	春季中部空品監測站與模式模擬之溫度(°C)統計分析.....	89
表4-4.4	秋季中部空品監測站與模式模擬之溫度(°C)統計分析.....	92
表4-4.5	春季中部空品監測站與模式模擬之臭氧濃度統計分析.....	95
表4-4.6	秋季中部空品監測站與模式模擬之臭氧濃度統計分析.....	97

## 圖目錄

圖1-1.1	民國88年至97年PSI>100的污染物指標濃度圖.....	1
圖3-2.1	繫留探空與空氣污染物監測採樣之儀器架設示意圖.....	11
圖3-2.2	空氣污染模式(TAPM)架構示意圖.....	16
圖3-2.3	全球氣象資料範圍概要圖.....	21
圖3-2.4	TAPM網格模式範圍，使用四層巢狀網格，解析度分別 為(a) 10 km × 10 km、(b) 3 km × 3 km、 (c) 1.5 km × 1.5 km、(d) 1 km × 1 km.....	24
圖4-1.1	2001年至2008年中部空品區臭氧年平均濃度變化.....	29
圖4-1.2	2001年至2008年中部空品區各測站臭氧年平均濃度變化.....	29
圖4-1.3	2005年4月4日至10日中部空品區各測站臭氧變化.....	30
圖4-1.4	2005年9月15日至21日中部空品區各測站臭氧變化.....	30
圖4-1.5	颱風位置分類圖{Type A：<1,500km (45° - 135°)、Type B：<1,500km (135° - 225°)、Type C：<1,500km (225° - 45°)、Type D：>1,500km}.....	35
圖 4-1.6	2005 年颱風位於 Type A 豐原監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 O <sub>3</sub> /O <sub>x</sub> 比值線性 圖.....	38
圖 4-1.7	2005 年颱風位於 Type A 沙鹿監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 O <sub>3</sub> /O <sub>x</sub> 比值線性 圖.....	38
圖 4-1.8	2005 年颱風位於 Type A 西屯監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 O <sub>3</sub> /O <sub>x</sub> 比值線性 圖.....	38
圖 4-1.9	2005 年颱風位於 Type A 忠明監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 O <sub>3</sub> /O <sub>x</sub> 比值線性 圖.....	39
圖 4-1.10	2005 年颱風位於 Type A 大里監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 O <sub>3</sub> /O <sub>x</sub> 比值線性 圖.....	39
圖 4-1.11	2005 年颱風位於 Type A 彰化監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 O <sub>3</sub> /O <sub>x</sub> 比值線性 圖.....	39
圖 4-1.12	2005 年颱風位於 Type A 二林監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 O <sub>3</sub> /O <sub>x</sub> 比值線性 圖.....	40
圖 4-1.13	2005 年颱風位於 Type A 南投監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 O <sub>3</sub> /O <sub>x</sub> 比值線性	

圖.....	40
圖 4-1.14 2005 年颱風位於 Type A 竹山監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 O <sub>3</sub> /O <sub>x</sub> 比值線性圖.....	40
圖 4-1.15 2005 年颱風位於 Type A 豐原監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 NO <sub>2</sub> 濃度線性圖 (a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段.....	42
圖 4-1.16 2005 年颱風位於 Type A 沙鹿監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 NO <sub>2</sub> 濃度線性圖 (a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段.....	43
圖 4-1.17 2005 年颱風位於 Type A 西屯監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 NO <sub>2</sub> 濃度線性圖 (a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段.....	44
圖 4-1.18 2005 年颱風位於 Type A 忠明監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 NO <sub>2</sub> 濃度線性圖 (a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段.....	45
圖 4-1.19 2005 年颱風位於 Type A 大里監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 NO <sub>2</sub> 濃度線性圖 (a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段.....	46
圖 4-1.20 2005 年颱風位於 Type A 彰化監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 NO <sub>2</sub> 濃度線性圖 (a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段.....	47
圖 4-1.21 2005 年颱風位於 Type A 二林監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 NO <sub>2</sub> 濃度線性圖 (a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段.....	48
圖 4-1.22 2005 年颱風位於 Type A 南投監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 NO <sub>2</sub> 濃度線性圖 (a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段.....	49
圖 4-1.23 2005 年颱風位於 Type A 竹山監測站 O <sub>3</sub> 濃度與 NO <sub>2</sub> 濃度線性圖 (a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段.....	50
圖 4-1.24 第一時段之 O <sub>3</sub> 濃度反應特徵分佈圖.....	53
圖 4-1.25 第二時段之 O <sub>3</sub> 濃度反應特徵分佈圖.....	54
圖 4-1.26 第三時段之 O <sub>3</sub> 濃度反應特徵分佈圖.....	55
圖 4-1.27 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日第一時段 (2100 LST ~ 0600 LST) 垂直 O <sub>3</sub> 濃度與 O <sub>3</sub> /O <sub>x</sub> 比值線性圖(a)近地面(約 15 - 50 m)、(b)高空(約 300 - 600 m).....	58
圖 4-1.28 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日第三時段 (1200 LST) 垂直 O <sub>3</sub> 濃度與 O <sub>3</sub> /O <sub>x</sub> 比值線性圖(a)近地面(約 15 - 50 m)、(b)高空(約 300 - 600 m).....	59

圖 4-1.29	2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日南投繫留探空監測之垂直風場剖面圖 (m/s).....	60
圖 4-1.30	2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日南投繫留探空監測之臭氧剖面圖(ppb) ..	60
圖 4-1.31	2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日南投繫留探空監測之 NO 剖面圖(ppb) ..	61
圖 4-1.32	2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日南投繫留探空監測之 NO <sub>2</sub> 剖面圖(ppb)..	61
圖 4-1.33	2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日南投繫留探空監測之臭氧剖面圖(ppb) ..	61
圖 4-1.34	2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日南投繫留探空監測之垂直風場剖面圖 (m/s) .....	62
圖 4-1.35	2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日南投繫留探空監測之臭氧剖面圖(ppb).	62
圖 4-1.36	2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日南投繫留探空監測之 NO 剖面圖(ppb).	63
圖 4-1.37	2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日南投繫留探空監測之 NO <sub>2</sub> 剖面圖(ppb)	63
圖 4-1.38	2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日南投繫留探空監測之 NO <sub>x</sub> 剖面圖(ppb)	63
圖 4-2.1	TypeA (2005 年 6 月 9 日 1400 LST) 全台風場圖 .....	66
圖 4-2.2	TypeB (2005 年 6 月 4 日 1400 LST) 全台風場圖 .....	66
圖 4-2.3	TypeC (2005 年 7 月 30 日 1400 LST) 全台風場圖 .....	67
圖 4-2.4	TypeD (2005 年 7 月 27 日 1400 LST) 全台風場圖 .....	67
圖 4-3.1	2005 年 4 月(a) 04 (b) 05 (c) 06 (d) 07 (e) 08 00Z 之縱觀天氣圖.....	68
圖 4-3.2	2005 年 9 月(a) 15 (b) 16 (c) 17 (d) 18 (e) 19 00Z 之綜觀天氣圖.....	70
圖 4-3.3	韋森特颱風位置圖.....	73
圖 4-3.4	沙鹿、西屯、大里、南投監測站之 O <sub>x</sub> (O <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> ) 水平濃度(ppb) 變化趨勢圖。 (a) 2005 年 9 月 16 日 (b) 2005 年 9 月 17 日 .....	74
圖 4-3.5	沙鹿、西屯、大里、南投測站之 NO <sub>2</sub> /O <sub>x</sub> 比值變化圖(a) 2005 年 9 月 16 日 (b) 2005 年 9 月 17 日 .....	75
圖 4-3.6	2005 年 9 月 17 日至 21 日西屯及南投之 NMHC 變化圖.....	76
圖 4-3.7	2005 年 9 月 17 日至 21 日西屯及南投之 NMHC/NO <sub>x</sub> 比值變化圖.....	76
圖 4-4.1	2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日中部空品區各監測站之觀測值 與模擬值之風速(m/s) 變化趨勢圖 .....	78
圖 4-4.2	2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日中部空品區各監測站之觀測值與模擬值 之風速(m/s) 變化趨勢圖.....	80
圖 4-4.3	2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日中部空品區各監測站之觀測值	

	與模擬值之風向(dge)變化趨勢圖 .....	83
圖 4-4.4	2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日中部空品區各監測站之觀測值 與模擬值之風向(dge)變化趨勢圖 .....	85
圖 4-4.5	2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日中部空品區各監測站之觀測值 與模擬值之溫度變化趨勢圖 .....	87
圖 4-4.6	2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日中部空品區各監測站之觀測值 與模擬值之溫度變化趨勢圖 .....	90
圖 4-4.7	2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日中部空品區各監測站之觀測值 與模擬值之臭氧濃度變化趨勢圖 .....	93
圖 4-4.8	2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日中部空品區各監測站之觀測值 與模擬值之臭氧濃度變化趨勢圖 .....	96
圖 4-4.9	2005 年 4 月 4 日 1600 LST (模擬時間第 64 小時) 南投氣塊 軌跡圖 .....	99
圖 4-4.10	2005 年 4 月 5 日 1400 LST (模擬時間第 86 小時) 南投氣 塊軌跡圖 .....	99
圖 4-4.11	2005 年 4 月 6 日 1600 LST (模擬時間第 112 小時) 南投氣 塊軌跡圖 .....	100
圖 4-4.12	2005 年 4 月 7 日 1500 LST (模擬時間第 135 小時) 南投氣 塊軌跡圖 .....	100
圖 4-4.13	2005 年 4 月 8 日 1400 LST (模擬時間第 158 小時) 南投氣 塊軌跡圖 .....	101
圖 4-4.14	2005 年 4 月 9 日 1600 LST (模擬時間第 184 小時) 南投氣 塊軌跡圖 .....	101
圖 4-4.15	2005 年 4 月 10 日 1300 LST (模擬時間第 205 小時) 南投 氣塊軌跡圖 .....	102
圖 4-4.16	2005 年 9 月 15 日 1600 LST (模擬時間第 16 小時) 南投氣 塊軌跡圖 .....	104
圖 4-4.17	2005 年 9 月 16 日 1400 LST (模擬時間第 38 小時) 南投氣 塊軌跡圖 .....	104
圖 4-4.18	2005 年 9 月 17 日 1400 LST (模擬時間第 63 小時) 南投氣	

	塊軌跡圖 .....	105
圖 4-4.19	2005 年 9 月 18 日 1400 LST (模擬時間第 86 小時) 南投氣塊軌跡圖 .....	105
圖 4-4.20	2005 年 9 月 19 日 1400 LST (模擬時間第 110 小時) 南投氣塊軌跡圖 .....	106
圖 4-4.21	2005 年 9 月 20 日 1200 LST (模擬時間第 132 小時) 南投氣塊軌跡圖 .....	106
圖 4-4.22	2005 年 9 月 21 日 1300 LST (模擬時間第 157 小時) 南投氣塊軌跡圖 .....	107

# 第一章 緒論

## 1-1 前言

現今社會隨著科技產業的進步、工商業的發展及汽機車增加，而使得空氣污染日益嚴重。在環境中，「空氣」為生物體每天生活所接觸且不可或缺的，醫學研究指出臭氧會對生物體產生影響，也會導致呼吸道及皮膚之傷害；對於其他生物體來說，可能會對環境造成很大的衝擊。

台中火力發電廠、台中焚化爐、台中工業區與台中科學園區的設立，工廠及汽機車密度逐漸增加，使得被列為遭受污染之中部空品區容易導致污染事件日發生。受到地理與氣象條件之影響，O<sub>3</sub> 於中部地區內傳輸擴散，造成中部地區空氣品質逐漸惡化。

工廠及汽機車所排放之空氣污染物導致空氣污染事件的發生，是由特定的天氣條件所造成的。根據環保署近十年來PSI>100 的資料(圖1-1.1)顯示臭氧(O<sub>3</sub>)及懸浮微粒(PM<sub>10</sub>)為主要的指標污染物，雖然PM<sub>10</sub> 逐年下降，但O<sub>3</sub> 卻逐年上升，顯現出O<sub>3</sub> 的問題越來越嚴重。

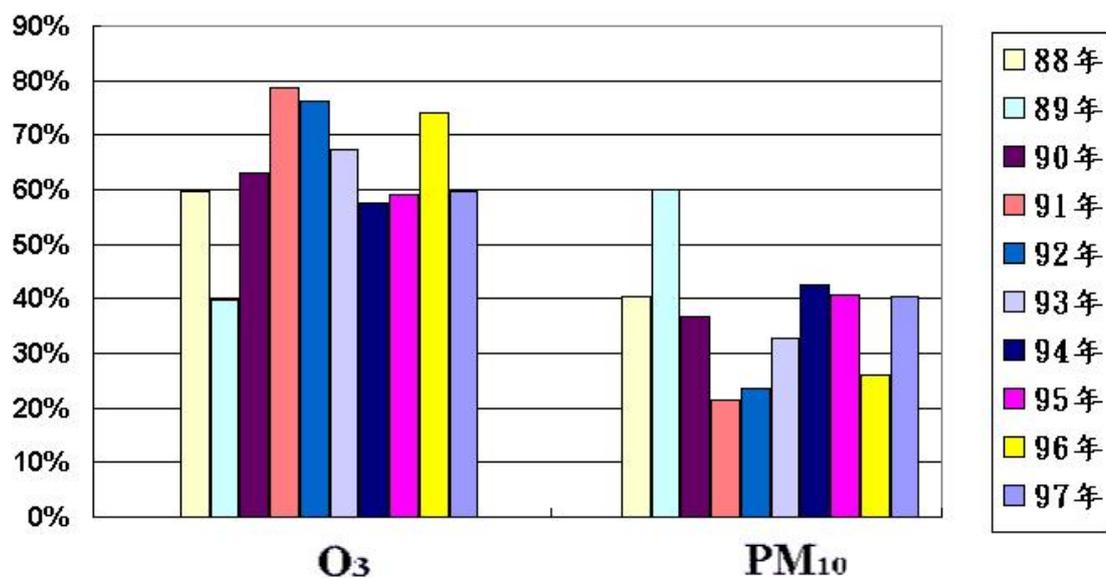


圖1-1.1 88年至97年PSI>100的污染物指標濃度圖。

## 1-2 研究目的

近年來台灣空氣品質逐漸惡化，夏、秋兩季主要受到颱風的影響，當颱風接近及登陸台灣時，其外圍環流所挾帶之強風或豪雨，將有利於空氣污染物之沈降、稀釋或不利生成，且空氣品質較好；而當颱風形成或未接近台灣時，外圍環流所影響之部分地區空氣品質狀況，視颱風的強度及所在之位置而有所差異。本文研究2005年所有颱風所在之位置分出四個類型 [ Type A： < 1500km (45° - 135°)、Type B： < 1500km (135° - 225°)、Type C： < 1500km (225° - 45°)、Type D： >1500km]，進行探討，另探討監測案例 2005年春、秋季縱觀天氣及繫留探空監測，且針對秋季監測案例期間2005年9月15日至9月21日韋森特（Vicente）颱風外圍環流影響台灣之天氣型態下，蒐集中部空品區地面測站之資料，以探討O<sub>3</sub> 與NO 之滴定效應（Titration Effect）量化及污染物來源。

## 第二章 文獻回顧

空氣品質退化和污染源排放速度有關，也與當時之氣象條件對於空氣污染物傳輸、擴散及化學反應等，皆佔舉足輕重之地位。因此在探討空氣品質變異影響時，仍必須加以探討污染源與氣象條件之相互關係。

### 2-1 臭氧前驅物排放

臭氧前驅物主要包含揮發性有機化合物(VOC)以及氮氧化物(NO<sub>x</sub>)和非甲烷碳氫化合物(NMHC)。臭氧是具有毒性的氣體，也是大氣環境中主要指標污染物，其人為排放之氮氧化物與碳氫化合物經由光化反應之後產生臭氧等二次污染物，當臭氧濃度過高時，將會影響人類及動植物的健康，因此如要改善高臭氧的問題，須針對此交通工具及工廠石油使用量所排放出來的廢氣，兩種前驅物 VOCs 及 NO<sub>x</sub> 加以控制。

VOC 是由光化學煙霧形成的前驅物，容易使作業環境中空氣品質惡化，且在日照下與氮氧化物進行光化學反應，進而產生二次污染問題。光化反應所造成之煙霧，會降低能見度外，所產生的臭氧、PAN 等物質，都有可能造成呼吸系統疾病等人體危害。而 VOC 本身具有滲透、脂溶及揮發等特性，人體如長期在無保護設施下與其接觸甚至經由呼吸吸入，容易經由皮膚接觸及呼吸系統而對人體產生影響，刺激人類的眼睛、皮膚，導致引起呼吸系統的疾病，近來這一類的有機化合物更被懷疑是引起癌症的原因。許多高濃度 VOC 會對人體產生急性效應，像是暈眩、頭痛、眼睛及呼吸道刺激等。就 VOC 對人體健康之危害性來說，含有高濃度曝露之急性危害及低濃度之曝露慢性危害。

氮氧化物是指一氧化氮(NO)和二氧化氮(NO<sub>2</sub>)。主要來源在於燃料高溫燃燒時，燃料中的含氮成分或空氣中過量的氮和氧反應產生，溫度愈高時愈容易產生，如機動車輛、火力電廠及工鍋爐等。

## 2-2 臭氧生成機制

對流層 O<sub>3</sub> 之主要來源有平流層的輸入及對流層的光化學反應。平流層與對流層之間大氣交換很慢，但許多觀測結果皆證實對流層所含的 O<sub>3</sub> 有一部份來自於平流層。而從洛杉磯光化學煙霧出現後，各研究學者開始尋找真相，瞭解當大氣環境受到碳氫化合物 (HCs) 及氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 的參與下，通過光化學反應可以產生 O<sub>3</sub>。因此，成為現今對流層 O<sub>3</sub> 之主要來源 (Chan *et al.*, 1998; 王明星, 1999)。

光化學反應的物種常以複雜的機制存在於大氣環境中，一般認為藉由自然源與人為源所排放之碳氫化合物 (HCs) 與氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 經光化學反應後，產生具有刺激性及氧化性物質，如臭氧 (O<sub>3</sub>)、二氧化氮 (NO<sub>2</sub>)、醛類 (RCHO)、過氧化氫 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 及過氧乙醯硝酸酯 (PAN) 等有害物質，其中又以 O<sub>3</sub> 作為光化學煙霧之主要指標污染物。當污染源排放一氧化氮 (NO) 在大氣環境中，藉由滴定效應 (Titration Effect) 即迅速被氧化成 NO<sub>2</sub>；另外排放源亦會排放出碳氫化合物 (HCs)，因此一般學者常會以非甲烷碳氫化合物 (NMHC) 來做探討 (Seinfeld and Pandis, 1998; Chen *et al.*, 2002)。

對流層之 O<sub>3</sub> 主要由 NO<sub>2</sub> 經光化學反應所造成，白天大氣中 NO<sub>2</sub> 經太陽紫外線分解 (吸收波段  $\lambda \leq 420\text{nm}$ ) 而解離成 NO 及 O 分子，同時再藉由觸媒 M 等介質 (可能為 N<sub>2</sub> 或 O<sub>2</sub>) 催化，產生 O<sub>3</sub>，見反應式(2-2.1)~(2-2.2)；而 O<sub>3</sub> 也具強氧化之特性，可將 NO 迅速氧化反應成 NO<sub>2</sub> 及 O<sub>2</sub>，反應式(2-2.3)為主要消耗 O<sub>3</sub> 之反應機制，亦所謂之滴定效應 (Cheng *et al.*, 2002; Gaffney *et al.*, 2002; Pison and Laurent, 2004)。每個 NO 分子參與滴定反應時將會失去一個 O<sub>3</sub> 分子，因此在都市環境中常藉由 NO 的排放與 O<sub>3</sub> 參與滴定反應，以阻止 O<sub>3</sub> 的累積並消耗大氣中之 O<sub>3</sub>，使其不會造成二次污染 (黃怡嘉, 2001; 張良輝等, 2002; 林清和等, 2005)。

臭氧(O<sub>3</sub>)是一種有毒氣體，在大氣環境中的生成機制複雜，簡易光化反應可由下列的反應方程式說明：



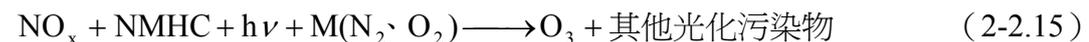
近地面層，適合臭氧產生的環境條件，除了充裕的太陽光照射外，高溫、低

相對濕度、低風速等氣象因子可決定臭氧濃度的消散與生成，臭氧往往因近地面層中的穩定層發展及紊流消散而被限制在近地面數十至數百公尺處而被消耗 (Arya,1999; Cheng, 2001a; Delcloo and Backer, 2005)。

氮氧化物會影響臭氧生成，非甲烷碳氫化合物(NMHC)經一連串複雜的反應，其NMHC光解速率比NO消耗O<sub>3</sub>氧化而生成NO<sub>2</sub>要來的快時，會導致O<sub>3</sub>濃度累積，NMHC物種中以烷類(RH)及醛類(RCHO)於大氣中遇到OH自由基氧化還原反應後，皆助於將NO氧化生成NO<sub>2</sub>，而烷類(RH)的反應式如式(2-2.4) ~ (2-2.8)及醛類(RCHO)的反應式如式(1.9) ~ (1.14)示：



結合 NO<sub>x</sub> 及 NMHC 的反應式，可得其臭氧生成之總反應式如式 (1.15)：



根據 (Carslaw and Beevers, 2004; Guerra *et al.*, 2004; Mazzeo *et al.*, 2005; Cheng *et al.*, 2005) 研究結果顯示，污染源排放是藉由大氣傳輸至下風處，有學者利用總氧化物 ( $\text{Ox} = \text{NO}_2 + \text{O}_3$ ) 與氮氧化物 ( $\text{NOx} = \text{NO} + \text{NO}_2$ ) 的比值，來探討來源是屬於當地貢獻 (Local Contribution) 還是屬於區域貢獻 (Regional Contribution)。在無外界的影響下，NO<sub>2</sub> 與 O<sub>3</sub> 的濃度和應為定值，當 NO<sub>2</sub> 的排放量固定，則 Ox 濃度主要為 O<sub>3</sub> 所主導，但在強烈的陽光照射下，光化反應會隨之增強，而在都會區上風處快速產生 O<sub>3</sub>，隨著當時的風速風向傳送至下風處時，促使下風處 Ox 濃度增高，因此可由下風處的 Ox 濃度來推測 NO<sub>2</sub> 或 O<sub>3</sub> 是屬於區域貢獻。

## 2-3 臭氧與天氣型

台灣中部地區空氣品質之特性會因季節的氣象特徵而變化，在近幾年中，特別是在春、秋兩季，各個污染物平均濃度有下降的趨勢，但臭氧濃度則是逐年上升。中部地區地形複雜，海陸-山谷所產生之局部環流及混合層高度等大氣環境因素影響污染物之傳輸，因此，可深入了解氣象與地形因素導致高臭氧之成因。

高O<sub>3</sub> 污染事件常與天氣型態有關。研究分析指出1999年8月19日至8月20日山姆(Sam)颱風將登陸香港時，當熱帶氣旋於中國海東方約600~700 km海面上形成時，下沉氣團會越過香港地區，天氣型態穩定的情況下將會使O<sub>3</sub> 形成與增加(So and Wang, 2003)。分析2001年9月珠江受到納利(Nari)颱風的影響，所造成之沈降氣流及氣流逆時針旋轉，將會使大陸地區之污染物傳輸至珠江地區，導致高O<sub>3</sub> 事件的發生；另外，在研究中也發現到發生高O<sub>3</sub> 事件經常與西太平洋的熱帶低壓活動有相關(Ding *et al.*, 2004)。利用香港大氣污染與傳輸模式(Pollutants in the Atmosphere and their Transport over Hong Kong, PATH)對於觀測資料之實測值與模式之模擬結果，解析1999年8月19日至8月20日香港地區發生高O<sub>3</sub> 之污染事件，此結果顯示，造成污染事件的發生與熱帶氣旋越過複雜地形相關(Lam *et al.*, 2005)。

在國內有多位學者針對高O<sub>3</sub> 事件與天氣型態作一相關研究。林能暉等,(2000)根據過去的研究經驗，將影響台灣地區的天氣型態分成14大類，結果顯示，最容易發生高污染的天氣類型為高壓迴流型、鋒前暖區型、鋒面滯留及過境台灣型，以及分裂高壓中心位於長江口附近等天氣型態。(楊宏宇, 1993)分析造成北部地區空氣品質惡化之天氣類型及其相關性，研究結果顯示在鋒前暖區型與高壓迴流型之天氣型態下高O<sub>3</sub> 發生機率明顯的偏高。中部地區受高壓迴流及熱帶低壓影響之天氣型態下，容易有高O<sub>3</sub> 之情形發生(白珏玲, 1998; Cheng, 2000; Cheng, 2001; 黃怡嘉、程萬里, 2001)。Lin *et al.*, (2004)分析南部地區在秋、冬季時台灣地區受高壓迴流之天氣型態，影響了西部沿海在下風處地區容易造成高O<sub>3</sub> 濃度之污染。

## 2-4 混合層高度

通常在天氣晴朗的夜晚，混合層之高度則較低，至清晨日出後由於日照輻射漸漸增強，使大氣在垂直方向之對流逐漸增強，混合層高度也隨之提升，且在午後大氣垂直最為旺盛時，混合層高度則可發展至1-2 km；傍晚之後日照減弱，地表輻射冷卻作用，混合層高度則快速降低。混合層頂高度可藉由大氣垂直溫度剖面結構加以判斷，當大氣垂直溫度結構出現明顯隨高度增加(逆溫現象)時，會造成大氣為下冷上熱之情形，即大氣呈現穩定之狀態，而此逆溫層高度則為大氣垂直擴散頂點，亦即混合層頂之高度。若混合層高度降低，會使污染物不利於大氣環境中擴散與稀釋，而導致空氣品質之惡化。

本研究使用環保署設立的台中市西屯空氣品質監測站之氣溫垂直剖面監測儀器之觀測資料，以 Holzworth 估算法求取中部空品區之混合層高度。氣溫垂直剖面監測儀(Meteorological Temperature Profiler)：MTP5-HE 之原理即透過分子氧吸收光譜中心熱輻射之技術來量測大氣環境之溫度垂直剖面，此技術視為微波遠端遙測。MTP5-HE 可用來測量地表至高空1000公尺溫度剖面的遙測儀器，其規格如 Table 2-4.1。

Holzworth Method (Holzworth, 1967)：利用垂直溫度剖面變化估算，其定義為以地表之乾絕熱線中性層知垂直溫度變化線之交點高度，即為混合層高度，亦為乾絕熱法。乾絕熱遞減率大約相當於 $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，此量通常稱之為乾絕熱遞減率(戚啟勳，1993)。

Table 2-4.1 MTP5-HE規格

Specifications	
Altitude range	0 – 1000 m
Altitude resolution	0~100 m/50 m, 100~400m/ 70m, 400~600m/ 80m, 600~1000m/ 120m
Measurement cycle	600 sec (minimum)
Accuracy for adiabatic	0~500m / $\pm 0.3$ °C, 500~1000m/ $\pm 0.4$ °C
Accuracy for inversion	0~500m / $\pm 0.8$ °C, 500~1000m/ $\pm 1.2$ °C
Central measurement frequency	56.7 GHz
Receiver sensitivity	0.1 °C (1 second integration time)
Number of measurement angle	30 (varying interval from 0-90°)
Power requirement	200 VAC or 110 VAC 50-60 Hz
Power consumption	200 W (max) 60 W (nominal)
Ambient temperature range	-20 °C to + 50 °C
With insulating jacket option	-40 °C
Operating conditions	Rotating cover self-cleans deposition
Calibration	Self-calibrating relative to ambient air temperature sensor (included) and internal radiometer reference load
Dimensions (normal) MTP 5, excluding power supply	25 cm (diameter) 60 cm (length) 20 kg (weight)
Typical motor operating life-time	In excess of 3 years (10 min. scans)

## 2-5 軌跡模式

空氣品質的污染及惡化已變成現今社會應改善之議題，為了瞭解空氣污染之來源及其傳輸方向，可利用軌跡模式來追蹤空氣污染之來源，而軌跡模式能明確地描述污染源與受體者之間的因果關係。Boian and Kirchhoff (2005) 利用網格分析及顯示系統 (Grid Analysis and Display System, GRADS) 來探討巴西南部大尺度氣塊傳輸之 $O_3$  濃度來源，其結果顯示污染物來源來自於較北方的城市。Alvalá *et al.*, (2004) 利用逆軌跡線來探討大西洋南邊大氣中追蹤氣體 ( $CH_4$  及  $CO$ ) 之散佈情形，其結果發現軌跡線有季節性的差異，從研究期間之逆軌跡線來看，氣體會在2天前先由太平洋南邊開始，經過南美洲而到達大西洋南邊。Lin and Wu (2003) 利用半統計模式 (Semi-Statistical Model) 來評估南台灣每日平均 $NO_x$  濃度之來源與氣象影響，其結果以逆軌跡資料得知在南台灣大部分的 $NO_x$  濃度來源為工業區及發電廠。Tsuang *et al.*, (2003) 藉由高斯煙羽軌跡模式 (Gaussian Plume Trajectory Model) 考慮軌跡線隨氣象條件及地形的特性，並利用計算沿著軌跡線及軌跡線附近網格之污染源傳遞係數，來模擬受體點 $SO_2$ 、 $NO_x$ 、硫酸鹽、硝酸鹽及懸浮微粒的濃度。(莊秉潔等，2003) 利用高斯軌跡模式 (Gaussian Trajectory Transfer-Coefficient Modeling System, GTx) 之擴散機制，計算不同網格污染源對受體點之傳遞係數，而軌跡線上所獲得之污染物濃度即為污染源對受體點所造成的貢獻濃度。

## 第三章 研究方法

### 3-1 研究背景

台灣中部空品區其地理位置適中，西臨台灣海峽，東依中央山脈。因此，中部空品區除了同時擁有盆地與鄰海平原之外，其特殊地形自成一明顯之區域，空氣污染物有著獨特的傳輸特性。當高壓系統中心位在台灣北方或東北方時，台灣於高壓迴流或熱帶低壓北移及颱風之天氣型態影響下，綜觀風場呈現東風形勢，受到中央山脈的地形屏障阻擋下，風場會轉變成南北兩支繞流，北支繞流造成西北風吹入中部地區，以及盛行東風遇到中央山脈過山後之下沈氣流，由於氣流屬於又乾又熱會有輻合的現象，使得西部地區容易產生微弱氣壓（Cheng, 2000）。此外，中部地區位於中央山脈之背風面，綜觀風場（東風）影響微弱且天氣型態穩定，污染源排放污染物不易擴散，造成較靠近內陸之地區（大里、南投、竹山等）容易因地形地勢的影響而產生污染物濃度有累積的現象。

為了探討颱風位置對台灣中部地區高臭氧的影響，故本研究選定 2005 年所有颱風所在之位置進行分析，另對秋季高臭氧污染事件發生案例期間 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日，韋森特（Vicente）颱風接近台灣本島之天氣型態下，收集氣象局之氣象資料及環保署之中部空品監測站之監測資料，於南投地區進行繫留探空監測及空氣污染物採樣，藉以了解氣象條件及污染物濃度之水平傳輸與垂直剖面變化，探討 2005 年秋季韋森特（Vicente）颱風接近之高臭氧。且針對 2005 年春、秋季監測案例期間，本研究亦引用澳洲聯邦科學與工業研究機構（Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO）所屬之大氣研究部門研發之空氣污染模式（The Air Pollution Model, TAPM）模擬中部空品區氣象場與 O<sub>3</sub> 濃度傳輸之趨勢，模擬之結果與實際監測進行比對，並利用軌跡模組，以順、逆軌跡線來探討研究期間氣塊（Air Parcel）於中部地區之來源方向與移動路徑對於 O<sub>3</sub> 事件之影響。

### 3-2 研究方法

為了解颱風接近台灣時近地面邊界層之大氣垂直結構與污染物傳輸情形，本研究團隊於南投地區進行繫留探空監測（圖 3-2.1），收集大氣垂直結構之氣象資料及採集不同高度之污染物濃度，並使用中央氣象局及環保署等單位之氣象與污染物監測資料，依照天氣型態分成四類型 [ TypeA : < 1500 km ( $45^{\circ}$  -  $135^{\circ}$ )、TypeB : < 1500 km ( $135^{\circ}$  -  $225^{\circ}$ )、TypeC : < 1500 km ( $225^{\circ}$  -  $45^{\circ}$ )、TypeD : > 1500 km ]，以探討颱風位置和風場與臭氧高值之關係。且探討中部地區  $O_3$  高值滴定的時間和空間分佈的影響，再加以使用模式模擬輔助分析中部空品區氣象與污染物之關係，深入的分析。

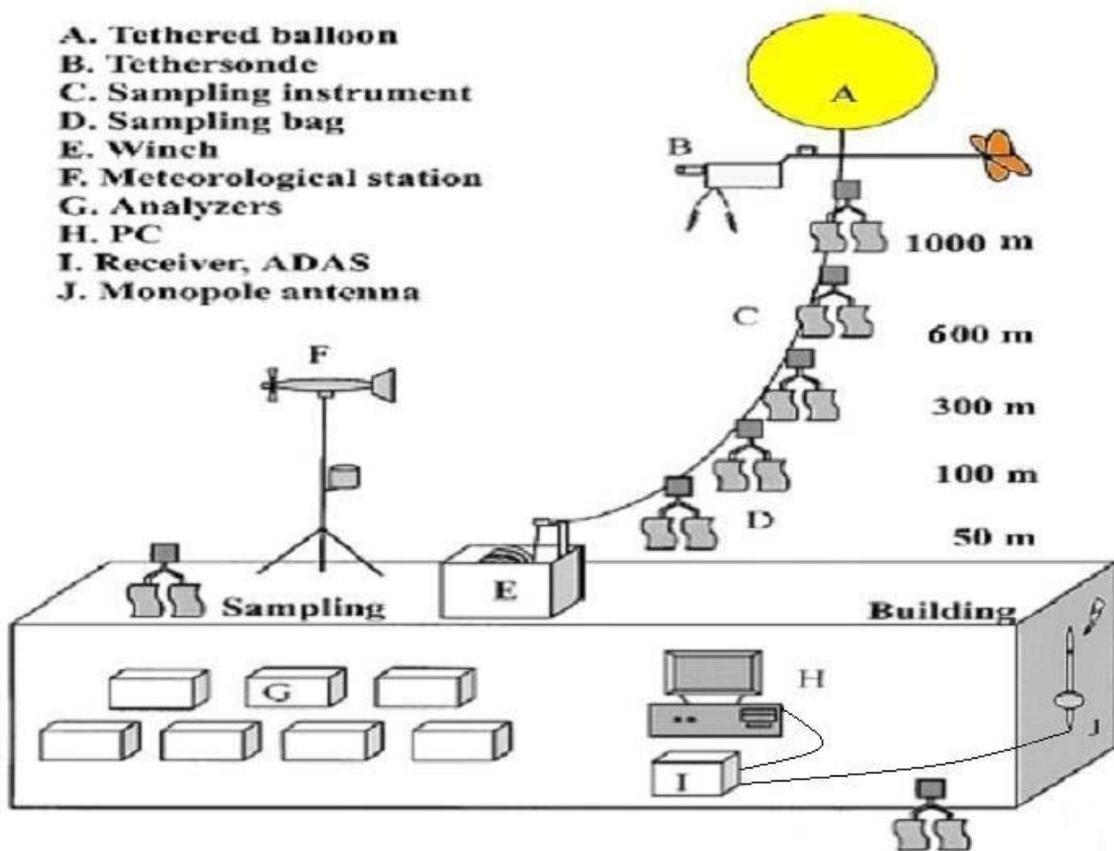


圖 3-2.1 繫留探空與空氣污染物監測採樣之儀器架設示意圖。

### 3-2.1 中部空品區監測資料收集分析

為探討此高 O<sub>3</sub> 事件期間之水平氣象與污染物濃度分佈，將繫留探空觀測資料與環保署空品測站及中央氣象局資料相互比較，並收集中央氣象局台中與梧棲氣象站之氣象觀測資料，以及環保署之中部空品區所設置空氣品質監測站（包含豐原、沙鹿、西屯、忠明、大里、彰化、二林、南投及竹山等 9 個監測站）之氣象與污染物濃度監測資料。各測站所監測之項目如表 3-2.1 所示。

表 3-2.1 中部地區地面氣象與空氣品質監測站資料表

測站	WS	WD	TEMP	O <sub>3</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NMHC
梧棲	●	●	●						
台中	●	●	●						
豐原	●	●	●	●	●	●	●	●	
沙鹿	●	●	●	●	●	●	●	●	
西屯	●	●	●	●	●	●	●	●	●
忠明	●	●	●	●	●	●	●	●	
大里	●	●	●	●	●	●	●	●	
彰化	●	●	●	●	●	●	●	●	
二林	●	●	●	●	●	●	●	●	
南投	●	●	●	●	●	●	●	●	●
竹山	●	●	●	●	●	●	●	●	

註：WS = 風速，WD = 風向，Temp = 溫度，O<sub>3</sub> = 臭氧，NO = 一氧化氮，NO<sub>2</sub> = 二氧化氮，SO<sub>2</sub> = 二氧化硫，CO = 一氧化碳，NMHC = 非甲烷碳氫化合物。

### 3-2.2 繫留探空流程

本研究文於南投地區利用繫留探空監測之方式進行採樣分析，測量地面和高空之氣象及污染物濃度，在進行繫留探空採樣監測前，必須先選擇空曠的頂樓釋放繫留氣球，並遠離航道範圍、高大建築物或樹木、天線及避雷針等尖銳的物件，以利釋放繫留探空儀之安全性及操作性。在進行監測前 24 小時於監測地點完成繫留探空儀及空氣品質監測儀之架設、暖機及校正等預備工作，以便監測工作順利進行。其監測採樣方法與步驟如下所述：

- (一) 絞盤需架設於無較高建築物或障礙物之平台，目的為避免進行採樣時繫留汽球在釋放過程中受其干擾，並將絞盤以麻繩固定，防止風速過大時造成移動。
- (二) 進行垂直氣象監測與無機氣狀污染物採樣，於每日 0000 LST、0300 LST、0600 LST、0900 LST、1200 LST、1500 LST、1800 LST 及 2100 LST 進行，在採樣時間前約 20 分鐘將繫留氣球釋放到採樣高度。
- (三) 利用繫留氣球將繫留探空儀 (Tethersonde) 及定時採樣泵與 Teflon 採樣袋上升至離地面高度 0 m、50 m、100 m、300 m、600 m 及 1000 m 進行監測採樣，每次時間約為 10 分鐘。
- (四) 監測到之氣象數據經由無線天線傳輸至數據轉換機中，再經由數據轉換機傳送到個人電腦，並將當時所監測到之近地面氣象資料 (風速、風向、溫度、濕度、氣壓、降水情況、雲量及能見度等) 紀錄下來。
- (五) 採樣完畢後收下 Teflon 採樣袋，利用空氣品質分析儀分析採樣袋中各污染物 (包括  $O_3$ 、NO、 $NO_2$  及 CO) 濃度，並將讀值紀錄下來。
- (六) 將監測採樣出來之數據整理成繪圖軟體所需要之格式並繪出垂直氣象剖面圖及垂直污染物濃度剖面圖。

利用繫留探空監測之方式進行污染物採樣分析，測量高空的大氣壓力、溫度、相對濕度、風向及風速，並以 Teflon 材質製成的空氣採樣袋收集大氣不同高程之空氣樣本。

### 3-2.3 使用儀器設備

使用儀器設備有探空氣球、繫留探空儀 (Tethersonde)、資料接收器 ADAS (Atmosphere Data Acquisition System)、絞盤及絞繩、空氣採樣設備 (空氣採樣幫浦、Teflon 採樣袋) 及空氣品質分析儀 (氮氧化物分析儀、臭氧分析儀、一氧化碳分析儀、二氧化硫分析儀)。

### 3-2.4 主成份分析 (Principal Component Analysis)

本研究使用統計套裝軟體 (Statistical Analysis System, SAS) 來做主成份分析 (Principal Component Analysis, PCA), 此分析方法首先由 k. Pearson (1901) 提出, 再由 Hotelling (1933) 加以發展的一種統計方法 (楊浩二, 1984)。

主成份分析著重於如何轉置原始數項, 使其成為一些相互獨立之線性組合變數。其分析方法乃是將許多變數所包含之各種情資, 能夠合成幾個變數加以表示, 並予以其線性組合, 且經由線性組合而得到之成份 (Components) 仍擁有原變數最多的資訊, 利用求特徵值 (Eigenvalue) 及特徵向量 (Eigenvector) 之方法, 過濾出佔最大變異數之型態, 此為最主要之特徵型態; 相同的, 即是在不同成份中能顯示出最大的個別差異, 進而找出數據間的相關性 (Seto et al., 2000; Turias et al., 2006)。

主成份分析以各變數相互之間具有關連性為考量點, 為各變數之係數分別表示該變數與該主成份之相關程度。其表示方法主要由  $P$  個觀測變數  $X_1, X_2, \dots, X_p$  等之線性結合式, 重新結合數組相互無相關的新組合, 此一新組合為  $P$  個變數的綜合特性質, 稱之為主成份  $m$ 。由於在進行主成份分析時, 其運算方式是以矩陣為出發點, 因此如果  $P$  個變數之單位或變數量不盡相同時, 則應先將數據資料標準化後再進行分析 (Harrison et al., 1997; Chio et al., 2004; Kim Oanh et al., 2005)。

當完成主成份分析時, 所求取的最大變異數即為第一主成份; 而再次求取與第一主成份無相關之最大變異數則為第二主成份; 同理可求得第三主成份及第四

主成份等。然而，分析之目的在於使用較少的變數來縮減過多的情資。因此  $m$  值要盡可能的少，而為了容易解釋，一般會取三成份或累積到 80 ~ 90 % 的寄與率 (Coefficient of determination)。當選擇到第三成份就能滿足時，則第四成份及其他成份即可不必再求取。最後所求得之  $m$  個成份一定比  $P$  個變數少，才能達到主成份分析之目的 (蘇芸卉，2002；廖琇怡，2005)。

研究中主要是先針對中部空品區各地區之滴定反應情況，由七天的監測資料中選取同一階段於同一時間內超過三天以上，且滴定反應之穩定性最高 (即線性關係最強) 之時段來作  $O_3$  濃度的主成份分析。分析結果之數值 (Number) 代表欲分析之群組數量，而當  $O_3$  濃度反應特徵值 (Eigenvalue) 超過 0.8 以上則被本文選取作為分組之依據。

### 3-2.5 空氣污染模式

本研究所引用之研究工具為澳洲聯邦科學與工業研究機構（Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO）所屬之大氣研究部門研發之空氣污染模式（The Air Pollution Model version 3.0, TAPM）。其設計為可應用於一般個人電腦平台，適用於 Windows 98/ME/NT4/2000/XP 等作業系統。本模式結合了氣象與空氣污染物擴散傳輸模擬之三維巢狀網格模式（圖 3-2.2），並藉由使用者圖形化介面（The Graphical User Interface, GUI）進行模擬設定，輸入模式所需資料（如綜觀氣象資料、土地利用資料、污染物背景濃度資料及污染物排放資料等），便可簡單且快速執行模式（Hurley *et al.*, 2001；Hurley, 2005）。

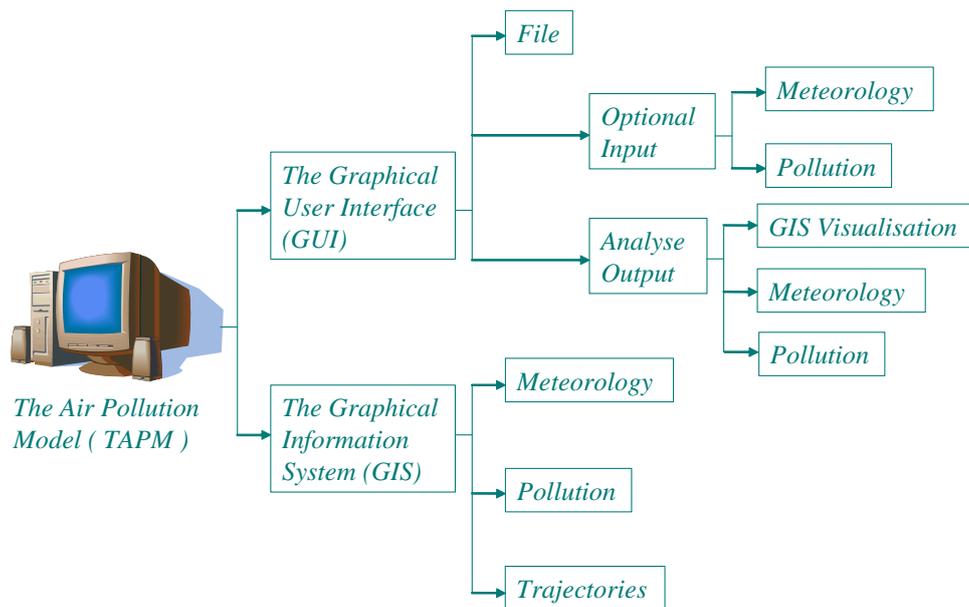


圖 3-2.2 空氣污染模式（TAPM）架構示意圖。

TAPM 模式主要可分為三大模組：

（一） 氣象模組

TAPM 為一不可壓縮、選擇性非靜力或靜力狀態、具有隨地勢垂直座標系統之三維氣象模組。同時，可選擇不同參數條件（如雲雨之微物理過程、亂流關閉、

深層土壤體積濕度含量、海表面及土壤溫度)，其模擬變數包括風速、風向、溫度、相對濕度、壓力及混合層高度等氣象因子。此模式忽略地球曲率之影響，因此在水平方向（即  $x, y$  方向）模擬之網格空間距離範圍須在  $1000 \text{ km} \times 1000 \text{ km}$  以內，但在水平空間解析度最小至  $100 \text{ m}$ ，可針對都會區之空氣污染等小區域模擬。氣象模組之主要參數與方程式如下說明，平均風場主要由動量方程之東西向水平分量  $u$  (m/s) 及南北向水平分量  $v$  (m/s) 定義；垂直向會追隨地勢速度  $\dot{\sigma}$  (m/s) 採用連續方程定義之。虛位溫  $\theta_v$  (K) 則由一個結合熱與水汽之質量守恆方程所定義。艾克納 (Exner) 壓力方程式定義為  $\pi = \pi_H + \pi_N (\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1})$ ，乃由流體靜力學和非流體靜力學兩者參數組合而成，關於以上參數之方程式及變數說明如下所示 (Pielke, 1984)：

$$\frac{du}{dt} = F(u) - \frac{\partial \overline{w'u'}}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial z} - \theta_v \left( \frac{\partial \pi}{\partial x} + \frac{\partial \pi}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial x} \right) + fv - N_s (u - u_s) \dots \dots \dots (3-6.1)$$

$$\frac{dv}{dt} = F(v) - \frac{\partial \overline{w'v'}}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial z} - \theta_v \left( \frac{\partial \pi}{\partial y} + \frac{\partial \pi}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) - fu - N_s (v - v_s) \dots \dots \dots (3-6.2)$$

$$\frac{\partial \dot{\sigma}}{\partial \sigma} = - \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - u \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \right) + v \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) \dots \dots \dots (3-6.3)$$

$$\frac{d\theta_v}{dt} = F(\theta_v) - \left( \frac{\partial \overline{w'\theta'_v}}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial z} + \frac{\partial \theta_v}{\partial y} \right) + S_{\theta_v} - N_s (\theta_v - \theta_{vs}) \dots \dots \dots (3-6.4)$$

$$\frac{\partial \pi_H}{\partial \sigma} = - \frac{g}{\theta_v} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial z} \right)^{-1} \dots \dots \dots (3-6.5)$$

$$\frac{dq}{dt} = - \frac{\partial \overline{u'q'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{v'q'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{w'q'}}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial z} + S_{qv} + S_{qc} - N_s (q - q_s) \dots \dots \dots (3-6.6)$$

其中  $\sigma = Z_T \left( \frac{Z - Z_T}{Z_T - Z_S} \right)$  ,  $\frac{\partial \sigma}{\partial x} = \frac{\partial Z_S}{\partial x} \left( \frac{\sigma - Z_T}{Z_T - Z_S} \right)$  ,  $\frac{\partial \sigma}{\partial y} = \frac{\partial Z_S}{\partial y} \left( \frac{\sigma - Z_T}{Z_T - Z_S} \right)$  ,

$\frac{\partial \sigma}{\partial z} = \left( \frac{Z_T}{Z_T - Z_S} \right)$  ,  $S_{qv} = -P_{VC} - P_{VR}$  ,  $S_{qc} = P_{VC} - P_{CR}$  ,  $S_{qr} = P_{CR} + P_{VR}$  ,  $x, y$  代表水

平座標軸 (m)， $t$  表示時間 (s)， $\sigma$  為 TAPM 模式所使用之垂直座標軸， $Z, Z_T,$

$Z_s$  分別表示狄卡兒垂直座標軸、模式頂端高度 (m) 及地形高度 (m),  $f, u_s, v_s, \theta_{vs}$ ,  $q_s$  分別為科氏力參數、大尺度綜觀風場、虛位溫及比溼。比溼  $q$ , 其定義為  $q = q_v + q_c$ , 即水汽與雲雨比溼之總和,  $N_s$  為大尺度推進係數  $[1 / (24 \times 3600)]$ ,  $S_{qv}, S_{qc}, S_q$  則定義為水氣輻合方程式中微物理來源項。

## (二) 空氣污染物模組

TAPM 主要由四個不同形式污染物模組所構成, 分別為尤拉網格模組 (Eulerian Grid Module, EGM)、拉格朗日粒狀物模組 (Lagrangian Particle Module, LPM)、煙流上升模組 (Plume Rise Module, PRM) 以及建築物尾流模組 (Building Wake Module, BWM)。其中, 尤拉網格模組以預測方程處理空氣污染物濃度模擬及其與溫度場之間的相互關係, 可加以說明反梯度通量; 拉格朗日粒狀物模組則能更精確地計算出近污染源排放出污染物濃度到受體點的分散情形; 煙流上升模組乃用以處理煙流動量及浮力效應; 建築物尾流模組則應用於因地面建築所造成之摩擦力改變效應, 此模組多使用於小尺度污染物傳輸模擬 (如都會區環流現象或都市熱島效應等)。

尤拉網格模組以巢狀網格技術為基礎, 利用預測方程計算模擬物種濃度變化, 其中包含了在大氣中的擴散、平流及沈降效應等物理及化學程序, 可說是 TAPM 模式的核心模組。以下僅針對尤拉網格模組作一說明, 而拉格朗日粒狀物、煙流上升以及建築物尾流等模組之相關介紹, 可參照 TAPM 相關文獻 (Hurley *et al.*, 2005)。在污染物排放輸入資料方面, TAPM 所考慮之污染物排放類型相當完整, 其中包含點源、線源、面源以及網格表面源, 而網格表面排放資料包括一般網格表面排放、生物源表面排放、木質燃燒排放、車輛廢氣及其他易蒸發 (汽油、柴油及液態天然氣等) 之排放等資料。TAPM 主要的空氣污染物模組 (尤拉網格模組) 中, 所含之變數及方程式如式 3-6.7 所示:

$$\frac{d\chi}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial \chi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial \chi}{\partial y} \right) - \left( \frac{\partial \sigma}{\partial z} \right) \times \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( w' \chi' \right) + S_x + R_x \dots \dots \dots (3-6.7)$$

其中  $\frac{d\chi}{dt}$  為模擬濃度值項,  $\chi$  為濃度值;  $\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial \chi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial \chi}{\partial y} \right) - \left( \frac{\partial \sigma}{\partial z} \right)$  為水

平及垂直通量項； $S_x$  為污染排放項； $R_x$  為化學反應項，而  $K_x$  為模組之擴散係數，其污染物濃度之擴散係數比率為  $K_x = 2.5K$  與氣象純量之變化一致。

化學反應程序部分採用物種簡併方式，針對計算能力及時間之考量，將眾多大氣化學主反應式簡併到模擬可接受範圍內。TAPM 所採用之大氣光化學模式機制為架構於 CBM-4 (Carbon-Bond Mechanism-IV) 上之半經驗機制，稱為 GRS (Generic Reaction Set) 機制。其中考慮 13 個反應物種及 10 個反應式，其物種分別為再生性煙霧 (Smog Reactivity, Rsmog)、基本水池 (Radical Pool, RP)、過氧化氫 ( $H_2O_2$ )、一氧化氮 (NO)、二氧化氮 ( $NO_2$ )、臭氧 ( $O_3$ )、二氧化硫 ( $SO_2$ )、穩定非氣狀有機碳 (Stable Non-gaseous Organic Carbon, SNGOC)、穩定氣狀氮產生物 (Stable Gaseous Nitrogen Products, SGN)、穩定非氣狀氮產生物 (Stable Non-gaseous Nitrogen Products, SNGN)、穩定非氣狀硫產生物 (Stable Non-gaseous Sulphur products, SNGS)、懸浮微粒物質 (Airborne Particulate Matter, APM) 及更細小之微粒物質 (Fine Particulate Matter, FPM) 等污染物種進行半經驗光化學機制或沈降機制之模擬 (包括乾、濕沈降過程)，這些物種之反應式如 (表 3-2.2) 所示。

在本模式中使用 Rsmog 之反應方程式代表揮發性有機物 (VOCs)。Rsmog 濃度之定義乃以一個易反應之係數乘上 VOC 之濃度，例如 Johnson, 1984 使用  $[R_{smog}] = 0.0067[VOC]$  來模擬 1980 年澳洲都會區汽機車之空氣污染控制 (Hurley *et al.*, 2005)。

表 3-2.2 TAPM 使用之化學反應式

Reactions	Reaction rates
$R_{smog} + hv \rightarrow RP + R_{smog} + \eta SNGOC$	$R_1 = k_1 [R_{smog}]$
$RP + NO \rightarrow NO_2$	$R_2 = k_2 [RP][NO]$
$NO_2 + hv \rightarrow NO + O_3$	$R_3 = k_3 [NO_2]$
$NO + O_3 \rightarrow NO_2$	$R_4 = k_4 [NO][O_3]$
$RP + RP \rightarrow RP + \alpha H_2O_2$	$R_5 = k_5 [RP][RP]$
$RP + NO_2 \rightarrow SGN$	$R_6 = k_6 [RP][NO_2]$
$RP + NO_2 \rightarrow SNGN$	$R_7 = k_7 [RP][NO_2]$
$RP + SO_2 \rightarrow SNGS$	$R_8 = k_8 [RP][SO_2]$
$H_2O_2 + SO_2 \rightarrow SNGS$	$R_9 = k_9 [H_2O_2][SO_2]$
$O_3 + SO_2 \rightarrow SNGS$	$R_{10} = k_{10} [O_3][SO_2]$

### (三) 氣塊軌跡模組

TAPM 軌跡模組包含順、逆軌跡，乃配合模擬出來之逐時風場資料，以受體點而言過去的時間往後推算稱為逆軌跡，以未來的時間往前推算稱為順軌跡，如此連續累加計算，即可求得氣塊之移動路徑，有關軌跡模式之方程式與參數說明如下所示：

$$\text{順軌跡：} \overline{r}_{i+1} = \overline{r}_i + \overline{U}_i \cdot \Delta t \dots\dots\dots (3-6.9)$$

$$\text{逆軌跡：} \overline{r}_{i+1} = \overline{r}_i - \overline{U}_i \cdot \Delta t \dots\dots\dots (3-6.10)$$

其中  $\overline{r}_i$  表示氣塊 (Air Parcel) 於時間  $t_i$  之位置； $\overline{U}_i$  表示  $\overline{r}_i$  於時間  $t_i$  之風速； $\Delta t$  表示時間間隔。

### 3-2.6 模式所需之氣象場資料來源

氣象模組所使用之基本參數分別為綜觀氣象場資料、地形高度資料、植被與土壤型態資料、海表面溫度資料等。綜觀氣象場觀測資料由 CSIRO 模式中心所提供之綜觀氣象 (CAS 1999+) 資料庫，其為全球性分析與預報系統 (Global Analysis and Prediction, GASP) 資料，數據資料為每 6 小時一筆，經緯度間隔為 0.75 或 1.00 度 (約 75 km 或 100 km) (圖 3-2.3)；地形高度資料以及植被與土壤型態資料採用美國地質觀測站 (US Geological Survey, USGS) 之地球資源觀測系統 (Earth Resources Observation Systems, EROS) 的主動分散式檔案中心 (Distributed Active Archive Center, DAAC) 資料，經緯度間隔為 30 秒 (約 1 km)；海平面溫度資料則採用美國國家大氣研究中心 (US National Central for Atmospheric Research, NCAR) 所提供之全球月平均海面溫度資料，其經緯度間隔為 1 度 (約 100 km) (Gras *et al.*, 2001; Hurley, 2005)。研究中除了使用綜觀氣象資料外，亦加入當地風場同化資料，其目的在於綜觀氣象資料之尺度太大，要模擬中小區域之風場尚無法準確掌握。因此，加入當地之風場監測資料，使其模擬出來之結果更接近當時之變化趨勢。風場同化使用之資料來源包含台灣中部地區 2 個中央氣象局 (台中、梧棲) 與 10 個環保屬 (豐原、沙鹿、西屯、忠明、大里、彰化、線西、二林、南投、竹山) 之風場 (風速、風向) 小時監測資料。

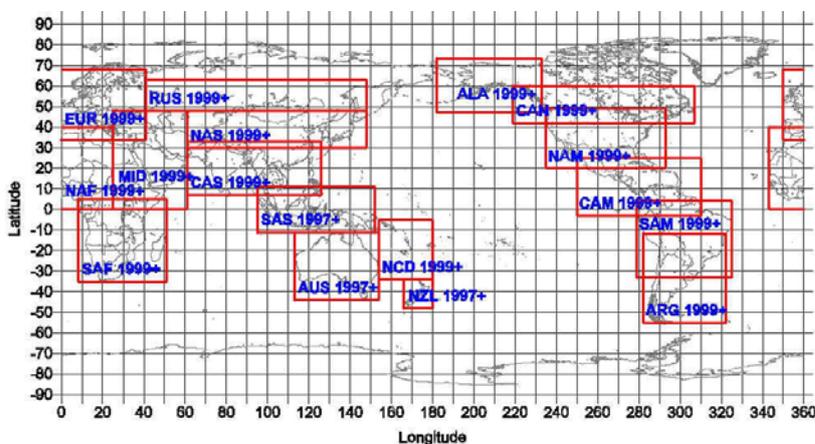


圖 3-2.3 全球氣象資料範圍概要圖。

### 3-2.7 模式所需之污染物排放資料來源

污染物模擬所需之污染源排放資料採用中鼎顧問公司於 2003 年為基準所推估之『台灣空氣污染物排放數據資料庫』(Taiwan Emission Data System) TEDS-6.1 版。在所有污染源排放資料當中，共分為四種不同之排放源(包含點源、線源、面源及生物源等)。點源為一般固定或較大的排放者(如工廠)，共輸入全台灣 370 個點源排放源；線源為汽、機車行走之交通道路(如國道、縣道、省道、市鄉道)，共輸入全台灣 33 條線源排放源；面源為難以捕捉或較小的排放者(如家庭)；生物源則為生物所排放之碳氫化物或人為所排放之揮發性有機物，其與面源合併計算共區分全台灣為 27 個區域。解析度為  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ ，其模式模擬所需之污染物種資料包含  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$  及 Rsmog (即  $\text{VOC} \times 0.0067$  所換算) 等。

### 3-2.8 模式網格設定

本研究採用四層巢狀網格模擬，水平方向網格解析度 ( $dx \times dy$ ) 分別為  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 、 $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ 、 $1.5 \text{ km} \times 1.5 \text{ km}$  及  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ ，其網格數 ( $nx \times ny$ ) 均為  $80 \times 80$  格 (表 3-2.3)，其第一巢最大網域涵蓋範圍包含台灣本島及其周圍海域，因本模式對於最大網域範圍被限制在不可超過  $1000 \times 1000 \text{ km}$  (即  $nx \times dx < 1000 \text{ km}$ )，最小網域則為本研究所探討之台灣中部地區 (圖 3-2.4)。垂直方向分層為 10、25、50、75、100、150、200、250、300、350、400、450、500、600、750、1,000、1,250、1,500、1,750、2,000、2,250、2,500、3,000、3,500、4,000 m 等共 25 層。模擬時間為 2005 年 9 月 14 日 0000 LST 至 9 月 21 日 2300 LST；於氣象物理機制選擇方面，開啟地表植被機制 (Surface Vegetation)、Non-hydrostatic Pressure、Prognostic Eddy Dissipation rate 等物理機制，研究期間無明顯的降雨跡象，但本研究仍將 Rain Processes 開啟，目的在於將雲雨的影響列入考慮。在污染物化學機制選擇方面，選用尤拉網格模組與拉格朗日粒狀物模組，使其在運算時能均能將此二網格模組交叉運算。另外本研究亦加入氣象資料同化 (Meteorological Data Assimilation) 使模擬結果與實際觀測更為準確 (Luhar and Hurley, 2002; Hurley et al., 2002; Luhar and Hurley, 2003)。

表 3-2.3 TAPM 模式網格設定

Model	Nest	Resolution (km)	$N_x \times N_y$	$N_z$
TAPM	Domain 1	10	$80 \times 80$	30
	Domain 2	3	$80 \times 80$	
	Domain 3	1.5	$80 \times 80$	
	Domain 4	1	$80 \times 80$	

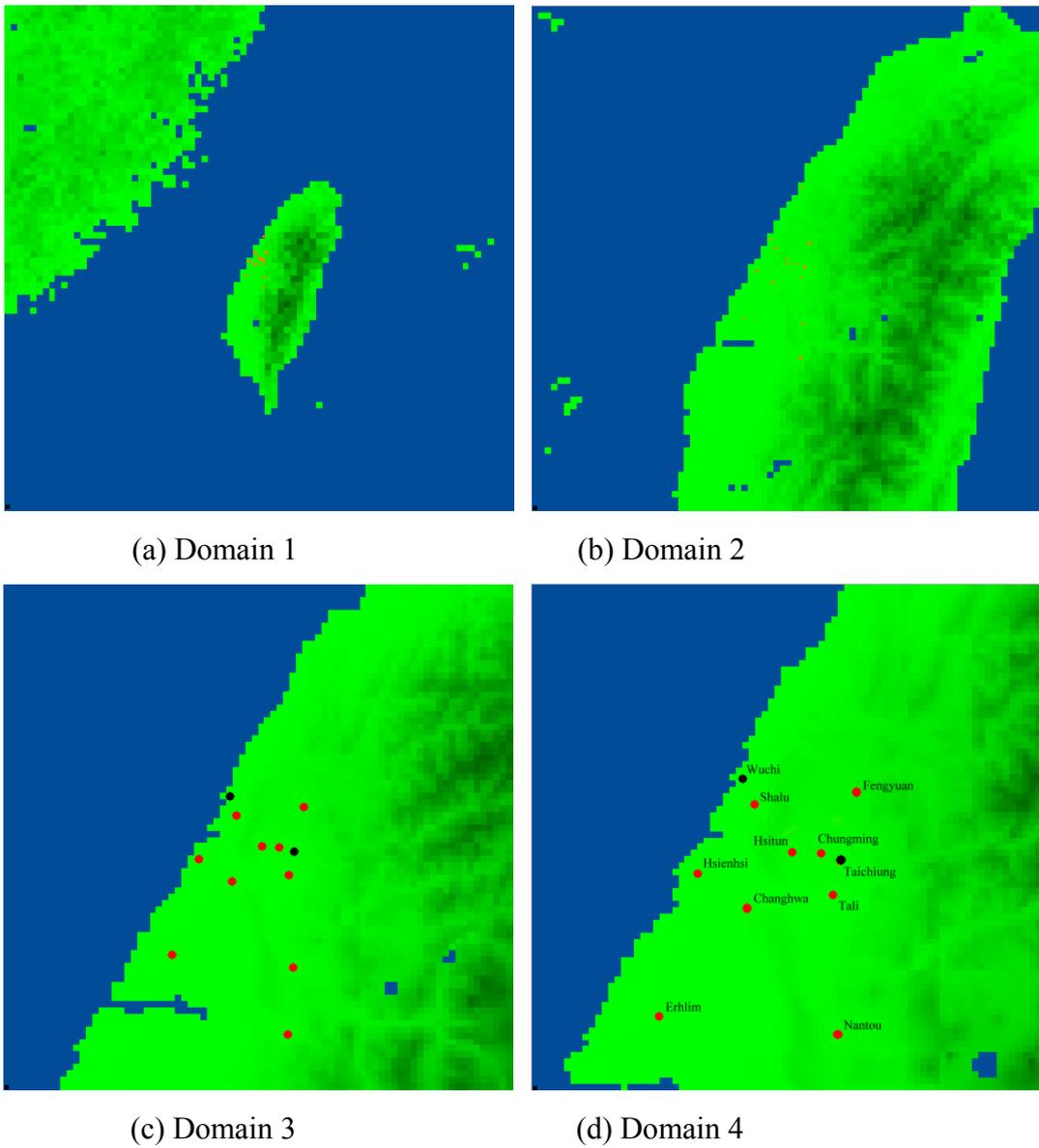


圖 3-2.4 TAPM 網格模式範圍，使用四層巢狀網格，解析度分別為(a)  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 、(b)  $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ 、(c)  $1.5 \text{ km} \times 1.5 \text{ km}$ 、(d)  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 。

### 3-2.9 模式氣象場模擬結果性能評估

氣象模擬結果將參考國外學者所使用模擬結果之性能評估統計方法，其說明如下 (Hurley *et al.*, 2002; Hurley *et al.*, 2003; Elbir, 2004; Hurley *et al.*, 2005; Wilson and Peyman 2006)：

(一) 皮爾森相關係數 (Pearson Correlation Coefficient,  $r$ )

藉由方程式在規則的數值變量中，乃針對監測 (觀測) 數值與模擬數值之間的關係作其相關係之比較，所呈現之  $r$  值介於 1 ~ -1 之間。若  $r$  值等於 1，表示完全正相關；若為 -1，表示完全負相關。

$$r = \frac{N \left( \sum_{i=1}^N O_i P_i \right) - \left( \sum_{i=1}^N O_i \right) \left( \sum_{i=1}^N P_i \right)}{\sqrt{\left[ N \left( \sum_{i=1}^N O_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^N O_i \right)^2 \right] \left[ N \left( \sum_{i=1}^N P_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^N P_i \right)^2 \right]}} \dots\dots\dots (3-8.1)$$

其中  $P_i$  表示模擬值， $O_i$  表示監測值， $N$  表示總模擬小時時數。

(二) 均方根誤差 (Root Mean Square Error, RMSE)

藉由方程式瞭解數值與數值之間誤差值，其值愈接近 0 表示監測 (觀測) 數值與模擬數值愈接近吻合。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2} \dots\dots\dots (3-8.2)$$

其中  $P_i$  表示模擬值， $O_i$  表示監測值， $N$  表示總模擬小時時數。

(三) 一致性指數 (Index of Agreement, IOA)

藉由方程式瞭解數值與數值之間一致性的程度，於此乃針對監測 (觀測) 數值與模擬數值作一比較，所呈現出之數值會介於 0 ~ 1 之間。若 IOA 數值等於 0，表示所比較的數值之間完全不一致；若 IOA 數值等於 1，則表示所比較的數值之間呈現完美的一致性。

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O_{mean}| + |O_i - O_{mean}|)^2} \dots\dots\dots (3-8.3)$$

其中  $P_i$  表示模擬值， $O_i$  表示監測值， $O_{mean}$  表示監測值平均， $N$  表示總模擬小時時數。

(四) 技術熟練程度 (Measures of Skill)

藉由方程式瞭解模式所模擬之數值，是否已準確掌握，或者在模擬技術上以達到熟練之程度。 $SKILL\_V$  數值接近 1 愈好； $SKILL\_R$  數值小餘 1 愈好。

$$SKILL\_V = \frac{P_{std}}{O_{std}}, \quad SKILL\_R = \frac{RMSE}{O_{std}} \dots\dots\dots (3-8.4)$$

其中  $P_{std}$  表示模擬值之標準偏差， $O_{std}$  表示監測值之標準偏差， $RMSE$  表示均方根誤差。

### 3-2.10 模式臭氧濃度模擬結果性能評估

O<sub>3</sub> 濃度模擬結果將參考行政院環境保護署所公告之「空氣品質模式模擬規範」，其乃依據空氣污染防制法第六條第四項，網格模式模擬結果性能評估規範中所指定的模擬結果定量分析方式，統計方式說明如下：

#### (一) 相關係數 (Correlation Coefficient, R)

計算同一小時 O<sub>3</sub> 所有模擬與監測 (觀測) 濃度之相關係數。O<sub>3</sub> 濃度計算前應先剔除監測 (觀測) 濃度值小於 30 ppb 之數據，其統計結果應 > 0.4 以上。

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \frac{(P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})}{S_p S_o} \right] \dots\dots\dots (3-8.5)$$

其中  $P_i$  表示模擬值， $O_i$  表示監測值， $\bar{P}$  表示模擬值平均， $\bar{O}$  表示監測值平均， $S_p$  表示模擬值標準偏差， $S_o$  表示監測值標準偏差， $N$  表示總模擬小時時數。

#### (二) 常化偏差 (Over Bias, OB)

針對 O<sub>3</sub> 之模擬計算同一小時 O<sub>3</sub> 模擬與監測 (觀測) 平均濃度之常化偏差，瞭解模式是低估或高估的傾向。O<sub>3</sub> 濃度計算前應先剔除監測 (觀測) 濃度值小於 30 ppb 之數據，其統計結果應在 ±15 % 以內。

$$OB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{P_i - O_i}{O_i} \right) \dots\dots\dots (3-8.6)$$

其中  $P_i$  表示模擬值， $O_i$  表示監測值， $N$  表示總模擬小時時數。

#### (三) 絕對誤差 (Gross Error, GE)

針對 O<sub>3</sub> 之模擬計算同一小時 O<sub>3</sub> 所有模擬與監測 (觀測) 濃度之平均常化絕對誤差量。O<sub>3</sub> 濃度計算前應先剔除監測 (觀測) 濃度值小於 30 ppb 之數據，其統計結果應在 35 % 以內。

$$GE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_i - O_i}{O_i} \right| \dots\dots\dots (3-8.7)$$

其中  $P_i$  表示模擬值， $O_i$  表示監測值， $N$  表示總模擬小時時數。

## 第四章 結果與討論

本文研究 2005 年所有颱風之所在位置造成台灣中部地區  $O_3$  高值之影響且另選取春季及秋季於南投地區繫留探空監測，並與中部空品區氣象及污染物監測和模式模擬結果進行分析。藉以探討  $O_3$  濃度分佈及傳輸情形、發生高  $O_3$  濃度事件之污染物來源以及  $O_3$  與  $NO_2$  之滴定效應量化。而研究中引用空氣污染模式 (TAPM) 來模擬當時之大氣環境與  $O_3$  傳輸，其模擬之結果與實際監測進行準確性之比較。

### 4-1 中部空品區臭氧濃度分析

臭氧是造成台灣空氣品質不良之主要指標污染物，因此近年來環保署與各縣市政府均訂定削減臭氧前趨物及懸浮微粒排放量之空氣品質控制策略。

大氣中之污染物在不同季節中可能因為天氣型態的不同，而造成污染物在擴散及傳輸方面不同。根據環保署近十年之監測資料顯示，以懸浮微粒 (PM) 濃度而言，濃度值較高的季節為春季；以臭氧 ( $O_3$ ) 濃度而言，濃度值較高的季節為秋季。統計中部空品區各空氣品質監測站監測值，臭氧之年平均濃度來看其長期趨勢，(圖4-1.1) 中部空品區之臭氧年平均濃度由2001 年之22.9 ppb 上升至2004 年為27.5 ppb，期間除了在2005之臭氧濃度是呈現下降外，2006 年之臭氧濃度又開始呈現上升之趨勢，以長期趨勢來說，中部空品區臭氧之年平均濃度是逐漸上升。(圖4-1.2) 中部空品區之各個測站臭氧年平均濃度整體上呈現上升的趨勢，2005年臭氧年平均濃度由大到小依序為，二林、沙鹿、竹山、西屯、豐原、南投、忠明、大里、彰化。(圖4-1.3、圖4-1.4) 討論中部空品區各個測站臭氧濃度的變化，2005年4月4日至10日每日小時值均有值大於80.0ppb；而2005年9月15日至21日每日小時值均有值大於100.0ppb。

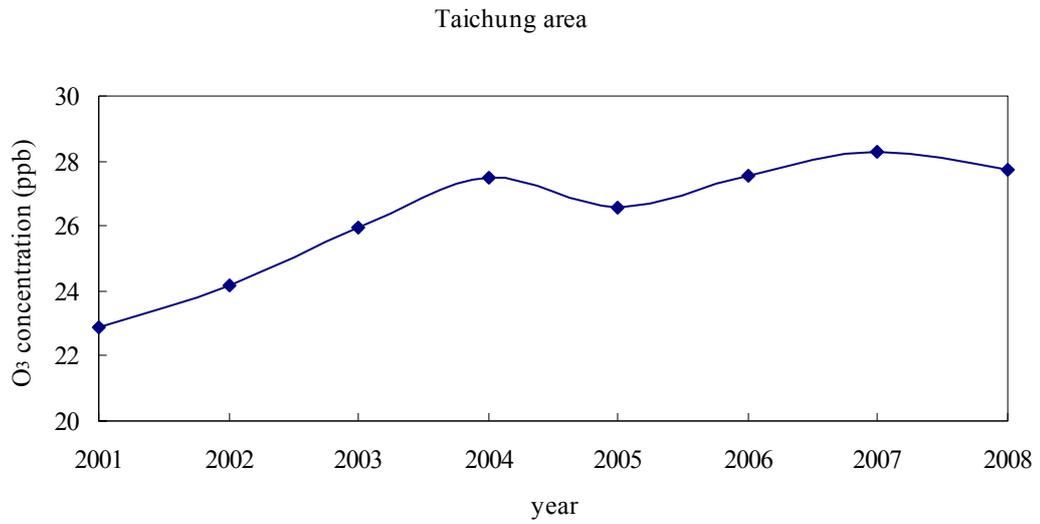


圖 4-1.1 2001 年至 2008 年中部空品區臭氧年平均濃度變化。

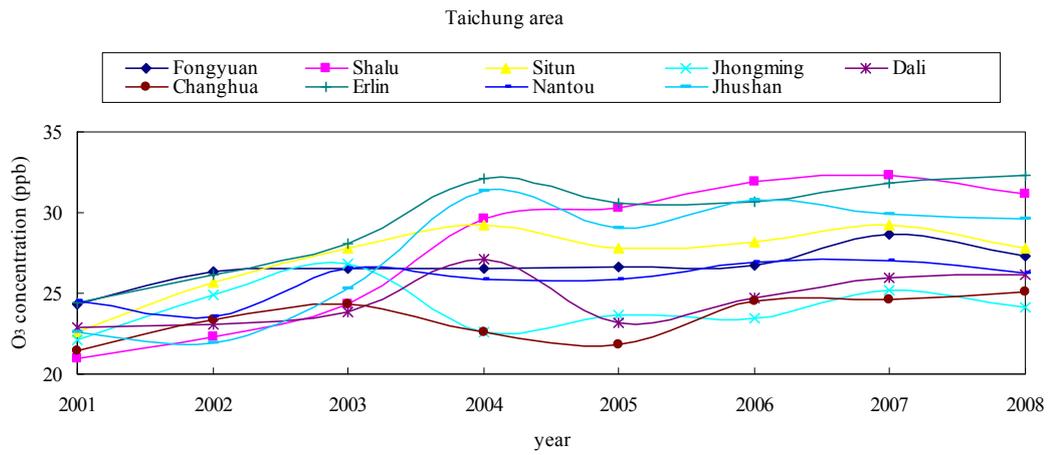


圖 4-1.2 2001 年至 2008 年中部空品區各測站臭氧年平均濃度變化。

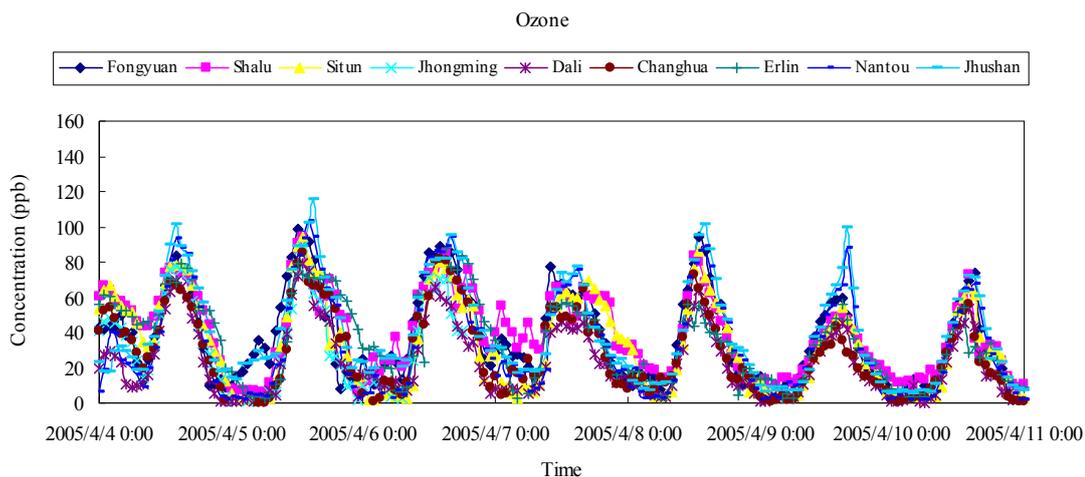


圖 4-1.3 2005 年 4 月 4 日至 10 日中部空品區各測站臭氧變化。

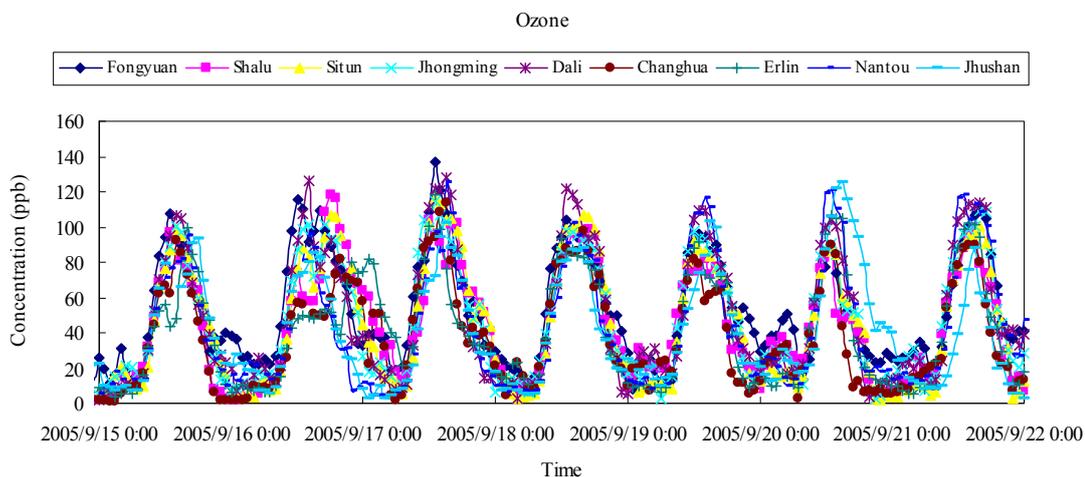


圖 4-1.4 2005 年 9 月 15 日至 21 日中部空品區各測站臭氧變化。

#### 4-1.1 台灣東方颱風之 O<sub>3</sub> 與 NO<sub>2</sub> 滴定反應

整理 2005 年颱風期間之 O<sub>3</sub>、O<sub>x</sub> (O<sub>x</sub> = O<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub>) 及 O<sub>3</sub> 與 NO<sub>2</sub> 之濃度，依照颱風位置(圖 4-1.5)分為四類型分別為：Type A：< 1500km (45° - 135°)、Type B：< 1500km (135° - 225°)、Type C：< 1500km (225° - 45°)、Type D：> 1500km，(表 4-1.1 ~ 表 4-1.4) 2005 年各類型之颱風時間、名稱、個數，研究發現颱風位於 Type A 類型 O<sub>3</sub> 濃度比其他三個類型(附錄一)較高，因此可得知颱風位在偏東方時，亦有高 O<sub>3</sub> 值，繪製中部各空品監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值線性圖(圖 4-1.6 ~ 圖 4-1.14)，其斜率越大代表滴定反應越強烈，斜率趨近水平則代表滴定反應微弱、O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖(圖 4-1.15 ~ 圖 4-1.23)，NO<sub>2</sub> 與 O<sub>3</sub> 之滴定反應大部分都可分為三個時段。第一時段為夜晚至清晨上班時段(即 NO<sub>2</sub> 濃度與 O<sub>3</sub> 濃度正劇烈反應時)；第二時段為上班之後一小時之時段(即 NO<sub>2</sub> 受光化學作用逐漸產生 O<sub>3</sub> 濃度，使其 O<sub>3</sub> 濃度逐漸增加時)；第三時段為正中午太陽輻射最旺盛之時段(即 O<sub>3</sub> 濃度大量增加時)，Type A 三個時段之共同參與滴定反應時間(表 4-1.5)。

由(圖 4-1.6) 豐原監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值顯示，第一段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值快速上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度快速上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度也呈現上升的情形，表示 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度反應速率相當；再由(圖 4-1.15 (a)) 三個時段之 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，亦可說明三段起始點不同，O<sub>3</sub> 與 NO<sub>2</sub> 的累積有關，O<sub>3</sub> 緩慢上升，NO<sub>2</sub> 會隨著時間而有上升或下降的變化。第二段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值緩慢上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度穩定上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度亦有穩定上升的情形；再由(圖 4-1.15 (b)) O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，O<sub>3</sub> 濃度在 26.7 ppb 時，夜晚就有 NO<sub>2</sub> 高達到 49.7 ppb。第三時段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值較為平穩，表示當 O<sub>3</sub> 濃度急遽上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度並沒有隨之上升，而是 O<sub>3</sub> 濃度於太陽輻射旺盛下大量的被產生，NO 濃度不足而無法同時快速的參與滴定反應產生 NO<sub>2</sub>；再由(圖 4-1.15 (c)) O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，可說明此時段 O<sub>3</sub> 濃度持續上升，但 NO<sub>2</sub> 卻降下來，是由於太陽輻射導致 NO<sub>2</sub> 逐漸下降。

由(圖 4-1.7) 沙鹿監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值顯示，第一段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值快速上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度快速上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度也呈現上升的情形，表示 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度反應速率相當；再由(圖 4-1.16 (a)) O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub>

濃度線性圖顯示，可說明 O<sub>3</sub> 慢慢上升的時候，NO<sub>2</sub> 會隨著時間而有上升或下降的變化。第二段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值緩慢上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度穩定上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度亦有穩定上升的情形；再由（圖 4-1.16 (b)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，隨著 O<sub>3</sub> 濃度逐漸上升，NO<sub>2</sub> 有緩慢下降的趨勢。第三時段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值較為平穩，表示當 O<sub>3</sub> 濃度急遽上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度並沒有隨之上升，而是 O<sub>3</sub> 濃度於太陽輻射旺盛下大量的被產生，NO 濃度不足而無法同時快速的參與滴定反應產生 NO<sub>2</sub>；再由（圖 4-1.16 (c)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，O<sub>3</sub> 濃度上升，但 NO<sub>2</sub> 隨著時間下降，是由於太陽輻射所導致 NO<sub>2</sub> 逐漸下降。

由（圖 4-1.8）西屯監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值顯示，第一段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值快速上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度快速上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度也呈現上升的情形，表示 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度反應速率相當；再由（圖 4-1.17 (a)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，可說明 O<sub>3</sub> 緩慢上升時，NO<sub>2</sub> 會隨著時間的不同而有上升或下降的變化。第二段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值緩慢上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度穩定上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度亦有穩定上升的情形；再由（圖 4-1.17 (b)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，隨著 O<sub>3</sub> 濃度逐漸上升，NO<sub>2</sub> 有緩慢下降的趨勢。第三時段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值較為平穩，表示當 O<sub>3</sub> 濃度急遽上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度並沒有隨之上升，而是 O<sub>3</sub> 濃度於太陽輻射旺盛下大量的被產生，NO 濃度不足而無法同時快速的參與滴定反應產生 NO<sub>2</sub>；再由（圖 4-1.17 (c)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，由於太陽輻射導致 NO<sub>2</sub> 逐漸下降。

由（圖 4-1.9）忠明監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值顯示，第一段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值快速上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度快速上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度也呈現上升的情形，表示 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度反應速率相當；再由（圖 4-1.18 (a)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，O<sub>3</sub> 緩慢上升時，NO<sub>2</sub> 隨著時間而有上升或下降的變化。第二段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值緩慢上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度穩定上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度亦有穩定上升的情形；再由（圖 4-1.18 (b)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，O<sub>3</sub> 濃度在 25.4 ppb 時，夜晚 NO<sub>2</sub> 有高達到 48.0 ppb。第三時段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值較為平穩，表示當 O<sub>3</sub> 濃度急遽上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度並沒有隨之上升，而是 O<sub>3</sub> 濃度於太陽輻射旺盛下大量的被產生，NO 濃度不足而無法同時快速的參與滴定反應產生 NO<sub>2</sub>；再由（圖 4-1.18 (c)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，O<sub>3</sub>

濃度持續上升，NO<sub>2</sub> 緩慢下降，是由於太陽輻射旺盛導致。

由（圖 4-1.10）大里監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值顯示，第一段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值快速上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度快速上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度也呈現上升的情形，表示 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度反應速率相當；再由（圖 4-1.19 (a)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，O<sub>3</sub> 濃度上升時，NO<sub>2</sub> 也隨之上升或下降。第二段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值緩慢上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度穩定上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度亦有穩定上升的情形；再由（圖 4-1.19 (b)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，隨著 O<sub>3</sub> 濃度逐漸上升，NO<sub>2</sub> 有稍微下降的趨勢。第三時段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值較為平穩，表示當 O<sub>3</sub> 濃度急遽上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度並沒有隨之上升，而是 O<sub>3</sub> 濃度於太陽輻射旺盛下大量的被產生，NO 濃度不足而無法同時快速的參與滴定反應產生 NO<sub>2</sub>；再由（圖 4-1.19 (c)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，由於太陽輻射旺盛，O<sub>3</sub> 濃度持續上升，導致 NO<sub>2</sub> 明顯的下降。

由（圖 4-1.11）彰化監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值顯示，第一段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值快速上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度快速上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度也呈現上升的情形，表示 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度反應速率相當；再由（圖 4-1.20 (a)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，O<sub>3</sub> 濃度緩慢上升時，NO<sub>2</sub> 隨著時間的不同而有下降的趨勢。第二段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值緩慢上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度穩定上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度亦有穩定上升的情形；再由（圖 4-1.20 (b)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，隨著 O<sub>3</sub> 濃度上升，NO<sub>2</sub> 濃度明顯的降低。第三時段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值較為平穩，表示當 O<sub>3</sub> 濃度急遽上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度並沒有隨之上升，而是 O<sub>3</sub> 濃度於太陽輻射旺盛下大量的被產生，NO 濃度不足而無法同時快速的參與滴定反應產生 NO<sub>2</sub>；再由（圖 4-1.20 (c)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，由於太陽輻射導致 O<sub>3</sub> 濃度持續上升，NO<sub>2</sub> 明顯的下降。

由（圖 4-1.12）二林監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值顯示，第一段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值快速上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度快速上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度也呈現上升的情形，表示 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度反應速率相當；再由（圖 4-1.21 (a)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，O<sub>3</sub> 濃度緩慢上升時，NO<sub>2</sub> 隨著時間的不同而有明顯下降的趨勢。第二段之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值緩慢上升，且當 O<sub>3</sub> 濃度穩定上升的同時，NO<sub>2</sub> 濃度亦有穩定上升的情形；再由（圖 4-1.21 (b)）O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖顯示，隨著 O<sub>3</sub> 濃度上升，NO<sub>2</sub> 濃度並沒有明顯的上升。第三時段之 O<sub>3</sub> 濃度

與  $O_3/O_x$  比值較為平穩，表示當  $O_3$  濃度急遽上升的同時， $NO_2$  濃度並沒有隨之上升，而是  $O_3$  濃度於太陽輻射旺盛下大量的被產生， $NO$  濃度不足而無法同時快速的參與滴定反應產生  $NO_2$ ；再由（圖 4-1.21 (c)） $O_3$  濃度與  $NO_2$  濃度線性圖顯示，由於太陽輻射導致  $O_3$  濃度持續上升， $NO_2$  明顯的降低。

由（圖 4-1.13）南投監測站  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值顯示，第一段之  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值快速上升，且當  $O_3$  濃度快速上升的同時， $NO_2$  濃度也呈現上升的情形，表示  $O_3$  濃度與  $NO_2$  濃度反應速率相當；再由（圖 4-1.22 (a)） $O_3$  濃度與  $NO_2$  濃度線性圖顯示， $O_3$  濃度上升時， $NO_2$  隨著時間的不同而有下降的趨勢。第二段之  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值緩慢上升，且當  $O_3$  濃度穩定上升的同時， $NO_2$  濃度亦有穩定上升的情形；再由（圖 4-1.22 (b)） $O_3$  濃度與  $NO_2$  濃度線性圖顯示，隨著  $O_3$  濃度上升， $NO_2$  濃度緩慢的下降。第三時段之  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值較為平穩，表示當  $O_3$  濃度急遽上升的同時， $NO_2$  濃度並沒有隨之上升，而是  $O_3$  濃度於太陽輻射旺盛下大量的被產生， $NO$  濃度不足而無法同時快速的參與滴定反應產生  $NO_2$ ；再由（圖 4-1.22 (c)） $O_3$  濃度與  $NO_2$  濃度線性圖顯示，由於太陽輻射的關係， $O_3$  濃度持續上升，導致  $NO_2$  濃度降低。

由（圖 4-1.14）竹山監測站  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值顯示，第一段之  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值快速上升，且當  $O_3$  濃度快速上升的同時， $NO_2$  濃度也呈現上升的情形，表示  $O_3$  濃度與  $NO_2$  濃度反應速率相當；再由（圖 4-1.23 (a)） $O_3$  濃度與  $NO_2$  濃度線性圖顯示， $O_3$  濃度上升時， $NO_2$  隨著時間的不同而下降。第二段之  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值較穩定上升，且當  $O_3$  濃度穩定上升的同時， $NO_2$  濃度開始有緩慢下降的情形，表示  $O_3$  已逐漸被  $NO$  所滴定；再由（圖 4-1.23 (b)） $O_3$  濃度與  $NO_2$  濃度線性圖顯示，隨著  $O_3$  濃度逐漸上升， $NO_2$  濃度有緩慢下降的趨勢。第三時段之  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值較為平穩，表示當  $O_3$  濃度急遽上升的同時， $NO_2$  濃度並沒有隨之上升，而是  $O_3$  濃度於太陽輻射旺盛下大量的被產生， $NO$  濃度不足而無法同時快速的參與滴定反應產生  $NO_2$ ；再由（圖 4-1.23 (c)） $O_3$  濃度與  $NO_2$  濃度線性圖顯示，說明此時段  $O_3$  濃度持續上升，但  $NO_2$  濃度並沒有隨之上升，是由於太陽輻射所導致  $NO_2$  下降。

大里濃度最高原因是大里是熱島中心、 $O_3$  濃度高，而彰化最低可能是污染物由外海帶入內陸，導致外海濃度較低，沙鹿工業區前驅物帶進來至大里  $O_3$  濃度高以反應完，所以到內陸竹山地區時， $O_3$  濃度降低。

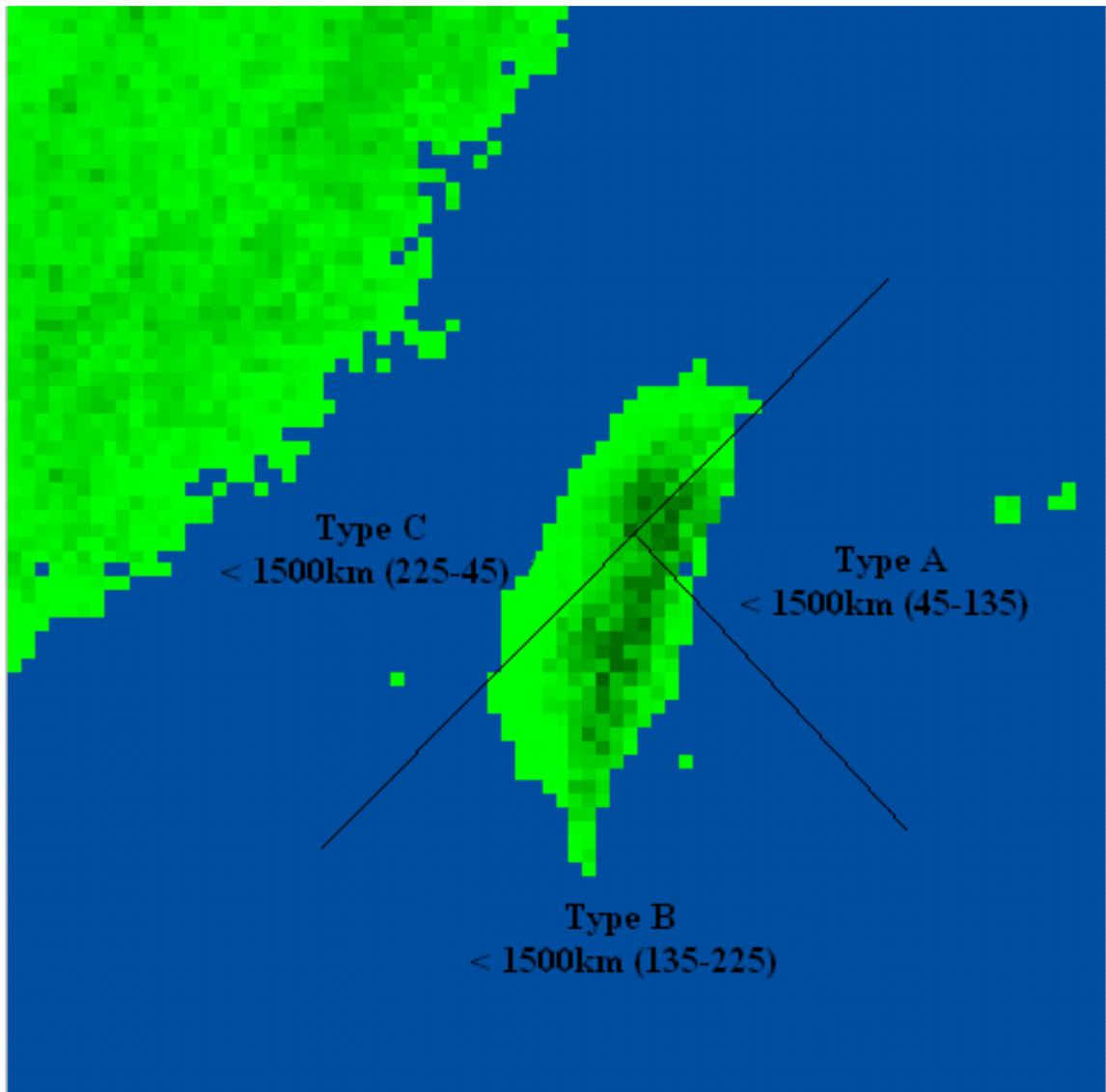


圖 4-1.5 颱風位置分類圖。{ Type A : < 1,500km (45° - 135°)、Type B : < 1,500km (135° - 225°)、Type C : < 1,500km (225° - 45°)、Type D : > 1,500km }

表 4-1.1 2005 年 Type A 之颱風時間、名稱、個數

Time	Name	Number
4/26	SONCA	11
6/6-6/9	NESAT	
7/16-7/17	HAITANG	
7/23	BANYAN	
8/4-8/5	MATSA	
8/24	MAWAR	
8/29-8/31	TALIM	
9/3-9/6	NABI	
9/9-9/11	KHANUN	
9/29-10/1	LONGWANG	
10/11-10/18	KIROGI	

表 4-1.2 2005 年 Type B 之颱風時間、名稱、個數

Time	Name	Number
3/16-3/17	ROKE	10
4/24-4/25	SONCA	
6/4-6/5	NESAT	
8/2-8/3	MATSA	
8/12	SANVU	
9/8	KHANUN	
9/17	VICENTE	
9/21-9/23	DAMREY	
11/10	TEMBIN	
11/17-11/19	BOLAVEN	

表 4-1.3 2005 年 Type C 之颱風時間、名稱、個數

Time	Name	Number
7/20	HAITANG	8
7/30-7/31	WASH	
8/6-8/7	MATSA	
8/13	SANVU	
9/12	KHANUN	
9/18	VICENTE	
9/24-9/27	DAMREY	
10/29-11/2	KAI-TAK	

表 4-1.4 2005 年 Type D 之颱風時間、名稱、個數

Time	Name	Number
1/16-1/19	KULAP	14
4/27	SONCA	
6/1-6/3	NESAT	
6/10	NESAT	
7/13-7/15	HAITANG	
7/21-7/22	NALGAE	
7/24	BANYAN	
7/27	BANYAN	
8/1	MATSA	
8/21-8/23	MAWAR	
8/25-8/28	GUCHOL	
9/7	NABI	
9/27-9/28	DAMREY	
10/19	KIROGI	

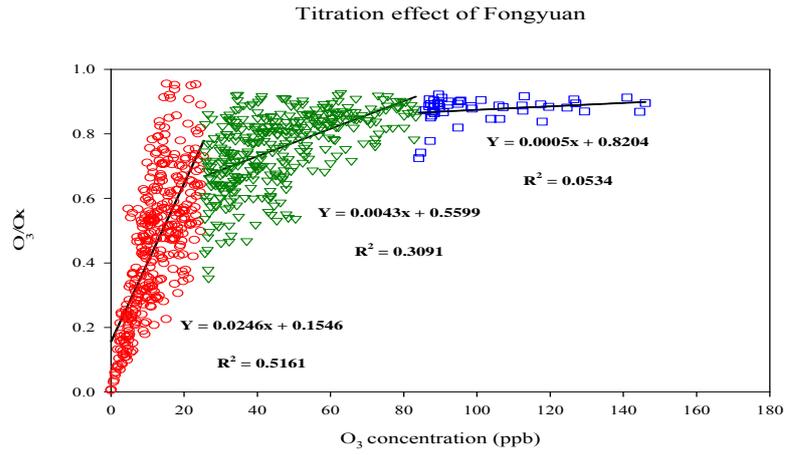


圖 4-1.6 2005 年颱風位於 Type A 豐原監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值線性圖。

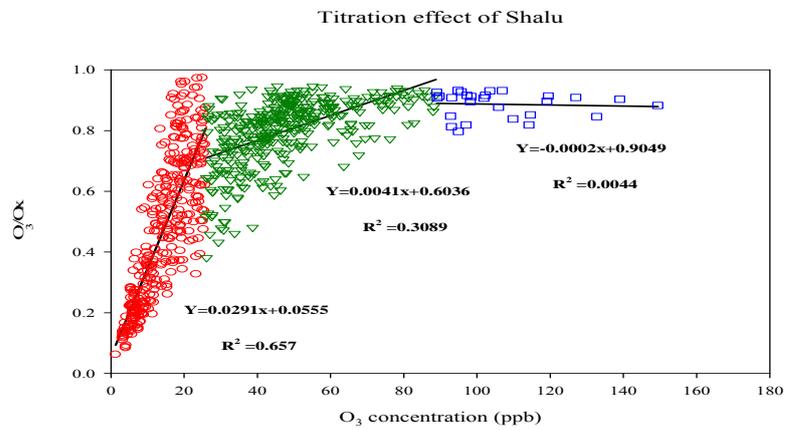


圖 4-1.7 2005 年颱風位於 Type A 沙鹿監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值線性圖。

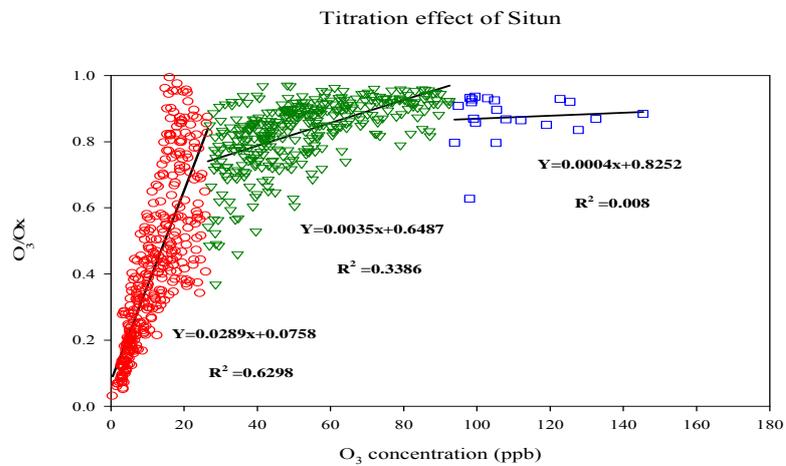


圖 4-1.8 2005 年颱風位於 Type A 西屯監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值線性圖。

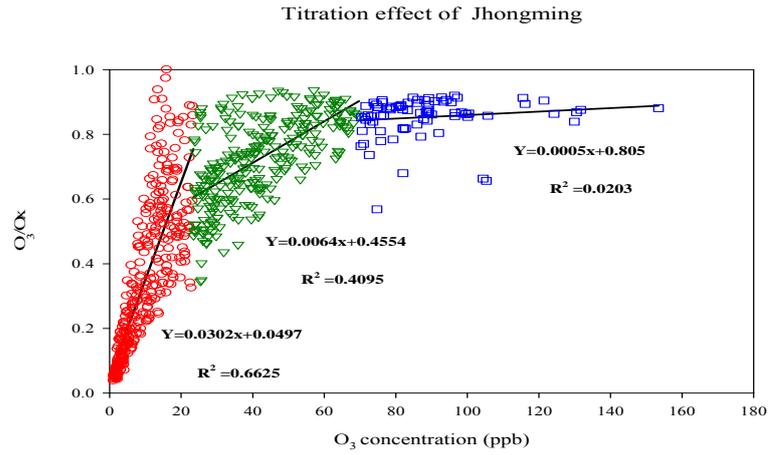


圖 4-1.9 2005 年颱風位於 Type A 忠明監測站  $O_3$  濃度與  $O_3/Ox$  比值線性圖。

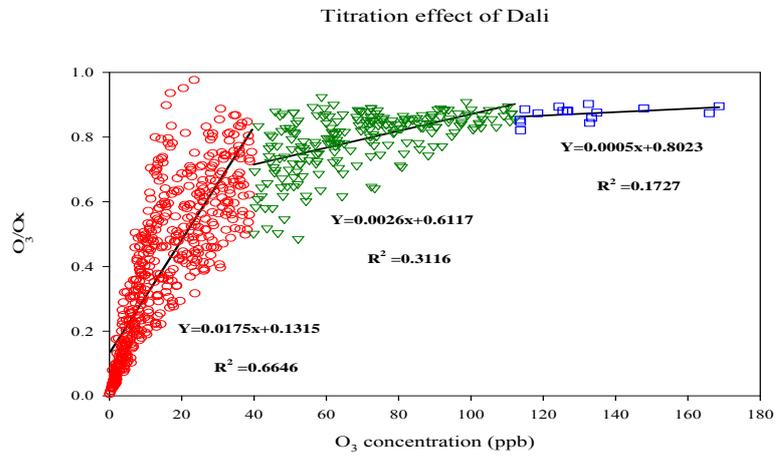


圖 4-1.10 2005 年颱風位於 Type A 大里監測站  $O_3$  濃度與  $O_3/Ox$  比值線性圖。

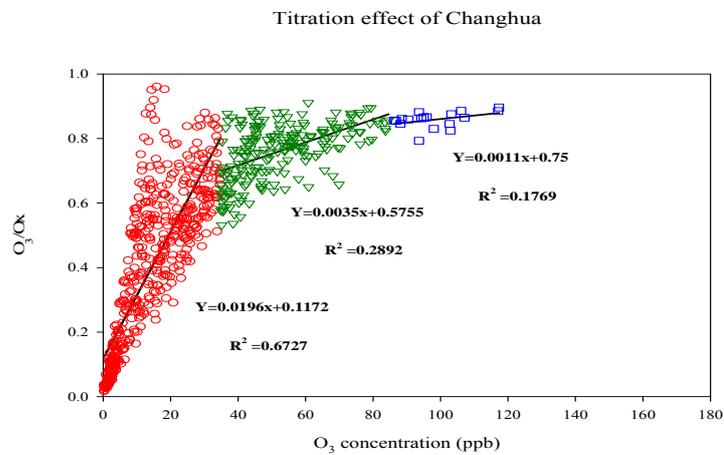


圖 4-1.11 2005 年颱風位於 Type A 彰化監測站  $O_3$  濃度與  $O_3/Ox$  比值線性圖。

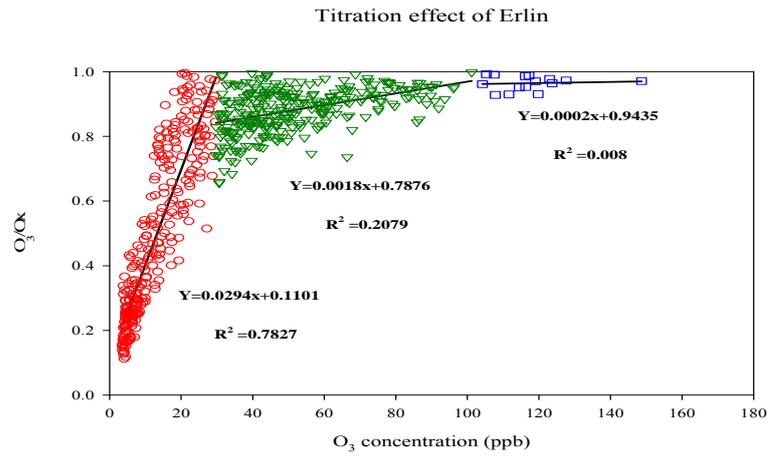


圖 4-1.12 2005 年颱風位於 Type A 二林監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/Ox 比值線性圖。

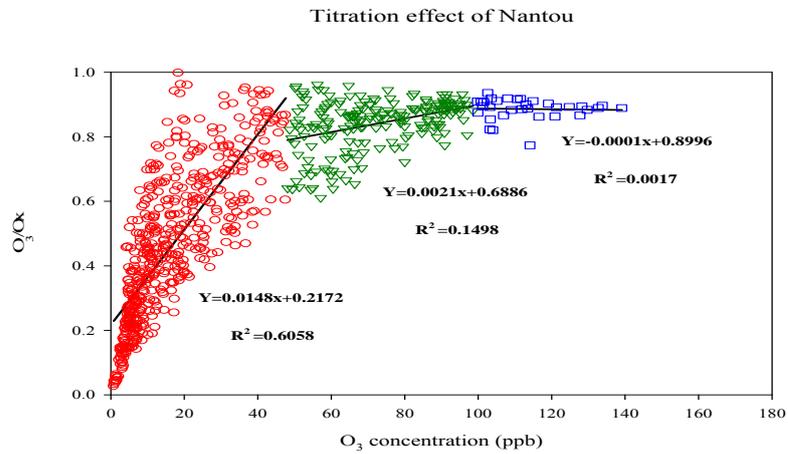


圖 4-1.13 2005 年颱風位於 Type A 南投監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/Ox 比值線性圖。

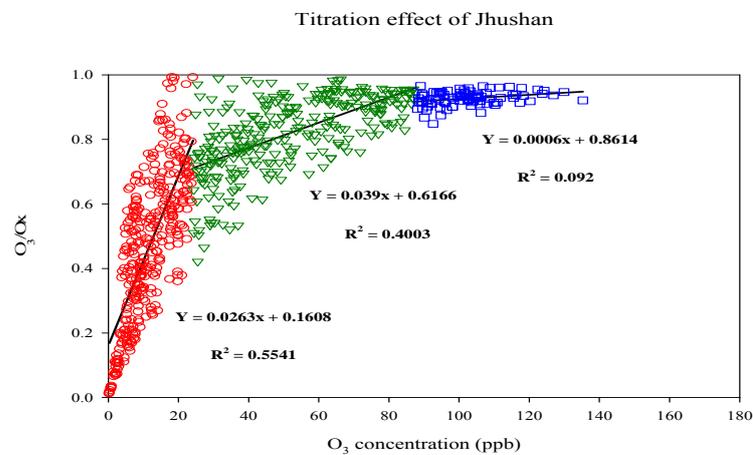


圖 4-1.14 2005 年颱風位於 Type A 竹山監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/Ox 比值線性圖。

表 4-1.5 Type A 之共同參與滴定反應時間

Station	First	Second	Third
Fongyuan	0:00 - 7:00 , 21:00 - 23:00	10:00	
Shalu	0:00 - 7:00 , 21:00 - 23:00	10:00	
Situn	0:00 - 7:00 , 21:00 - 23:00	10:00	
Jhongming	0:00 - 7:00 , 21:00 - 23:00	10:00	12:00 - 14:00
Dali	0:00 - 7:00 , 21:00 - 23:00	10:00	
Changhua	0:00 - 7:00 , 21:00 - 23:00	10:00	
Erlin	0:00 - 7:00 , 21:00 - 23:00	10:00	
Nantou	0:00 - 7:00 , 21:00 - 23:00	10:00	
Jhushan	0:00 - 7:00 , 21:00 - 23:00	10:00	12:00 - 14:00

\*1:00 是指 12:01-1:00 的平均

第一段時間為 20:01-7:00、第二段時間為 09:01-11:00、第三段時間為 11:01-14:00

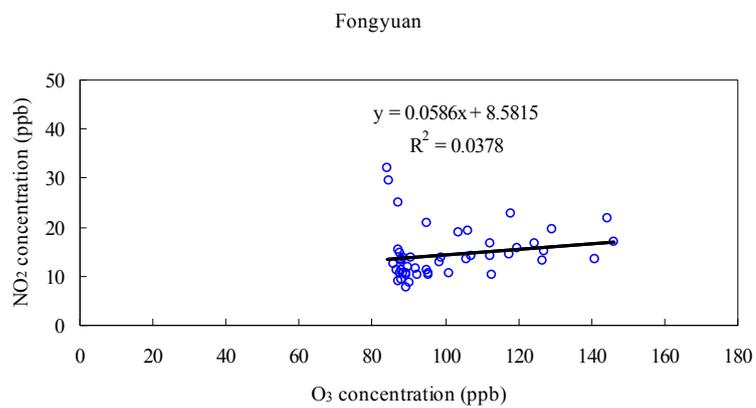
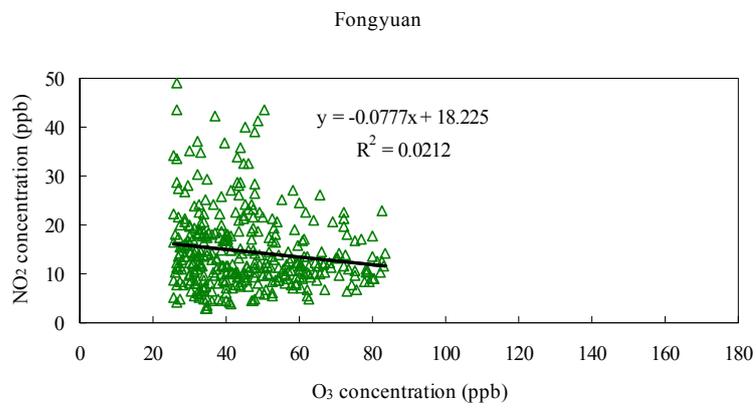
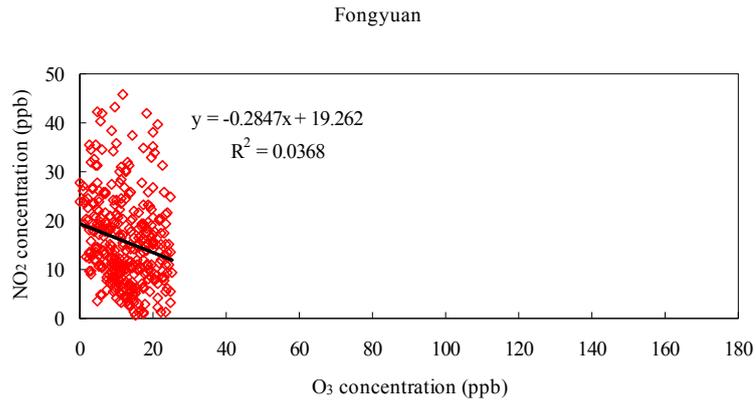


圖 4-1.15 2005 年颱風位於 Type A 豐原監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖  
(a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段

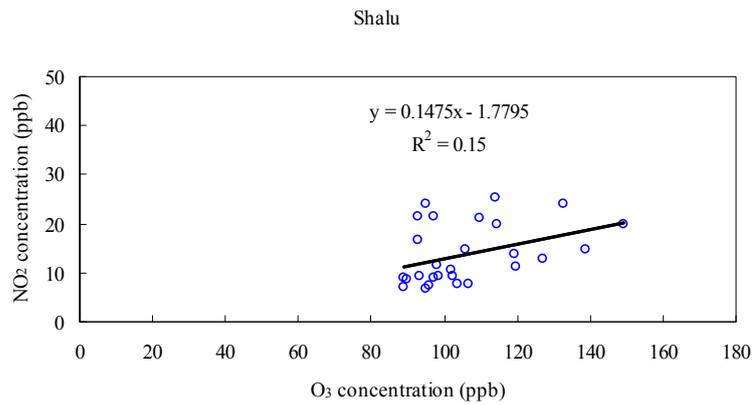
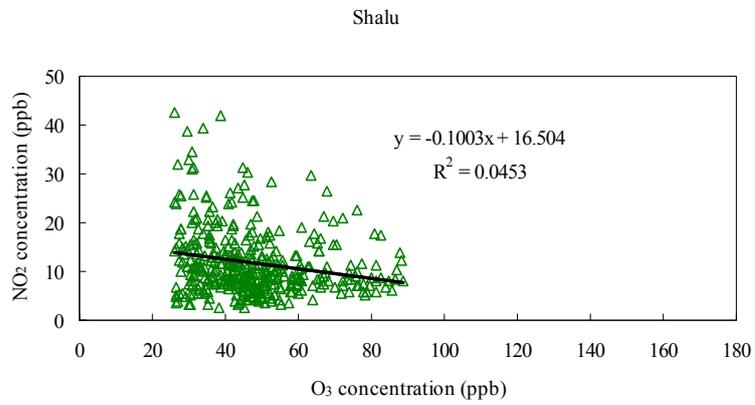
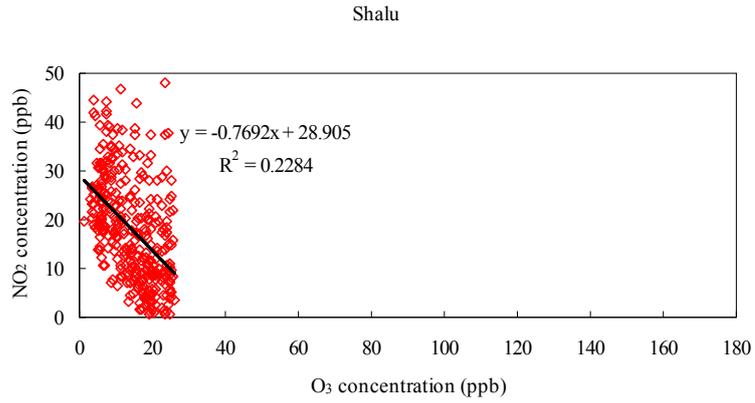


圖 4-1.16 2005 年颱風位於 Type A 沙鹿監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖  
(a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段

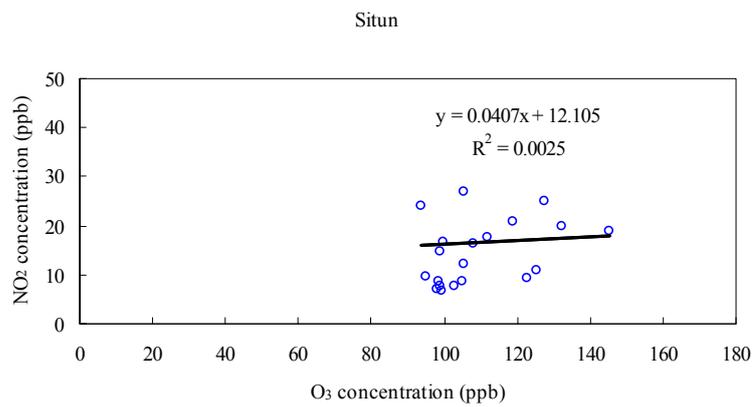
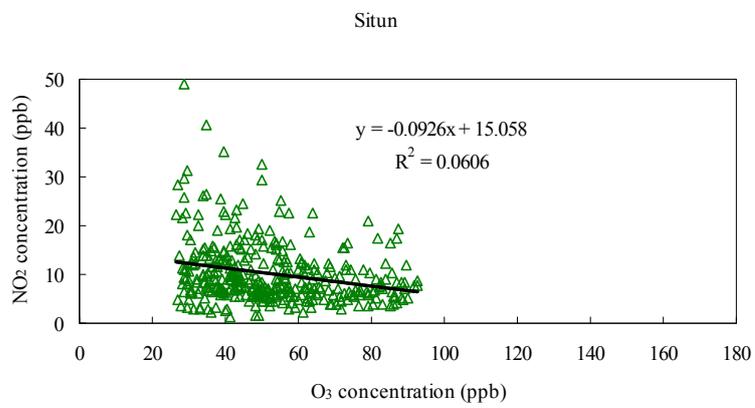
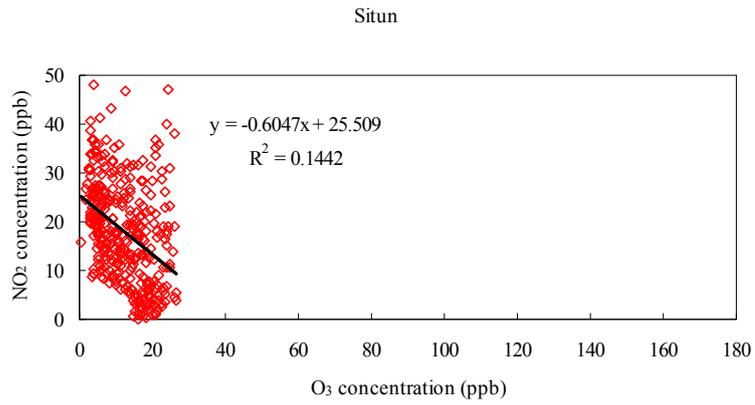


圖 4-1.17 2005 年颱風位於 Type A 西屯監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖  
(a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段

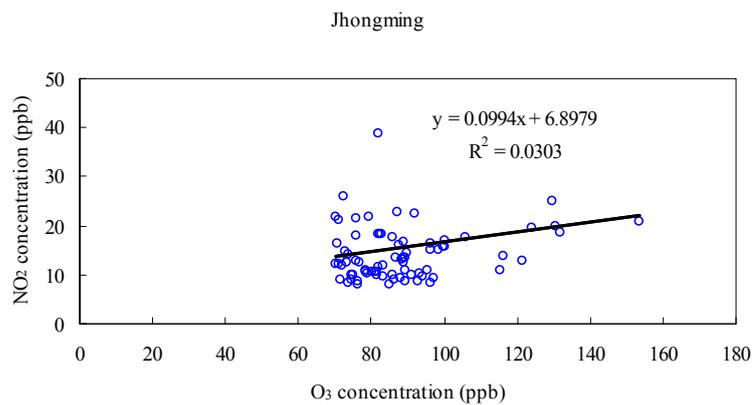
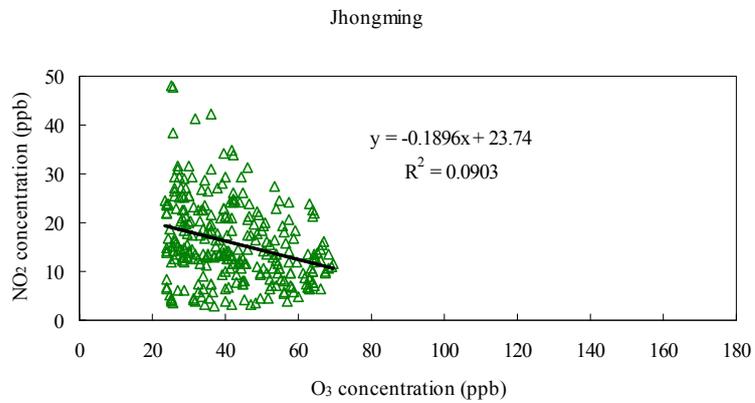
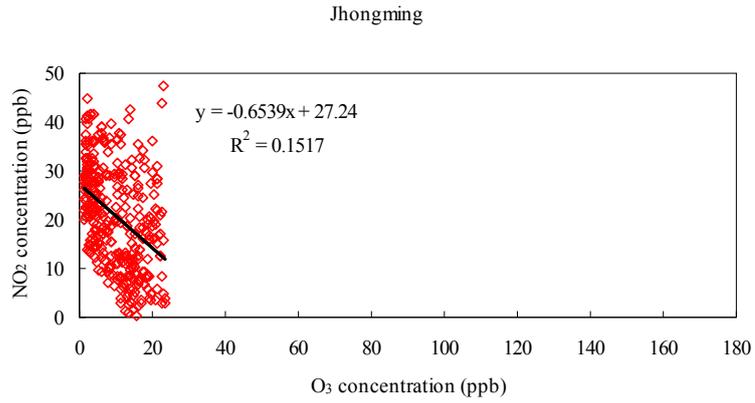


圖 4-1.18 2005 年颱風位於 Type A 忠明監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖  
(a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段

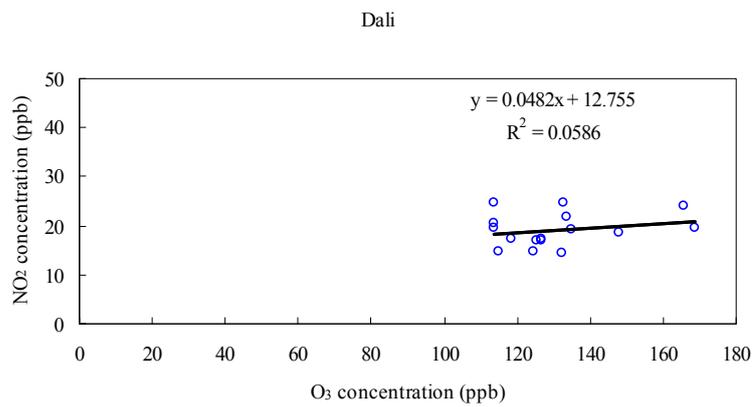
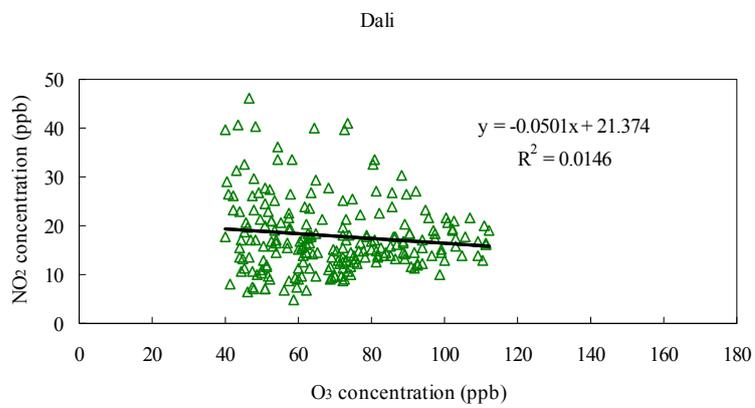
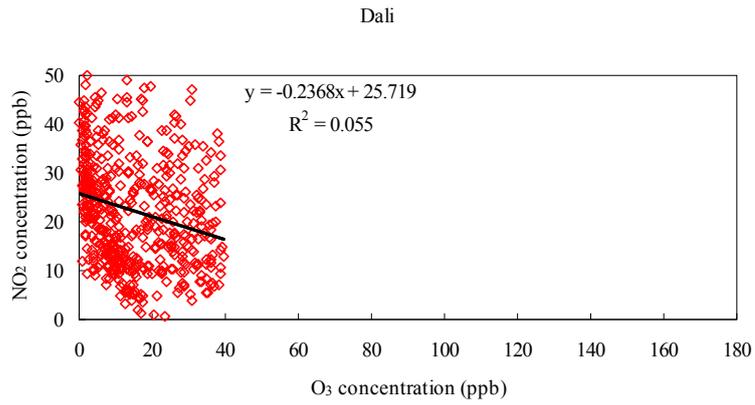


圖 4-1.19 2005 年颱風位於 Type A 大里監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖  
(a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段

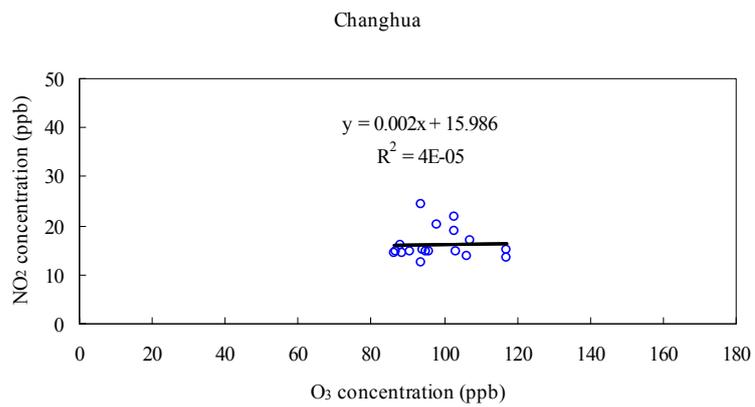
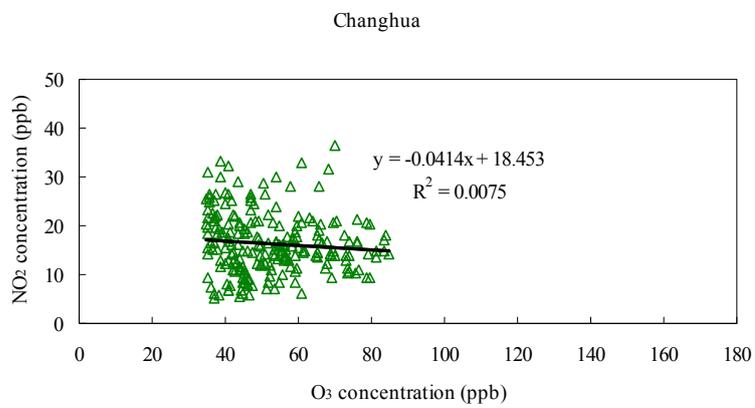
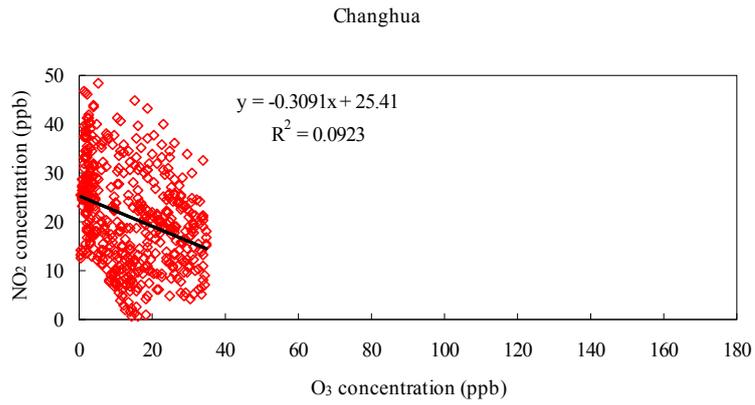


圖 4-1.20 2005 年颱風位於 Type A 彰化監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖  
(a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段

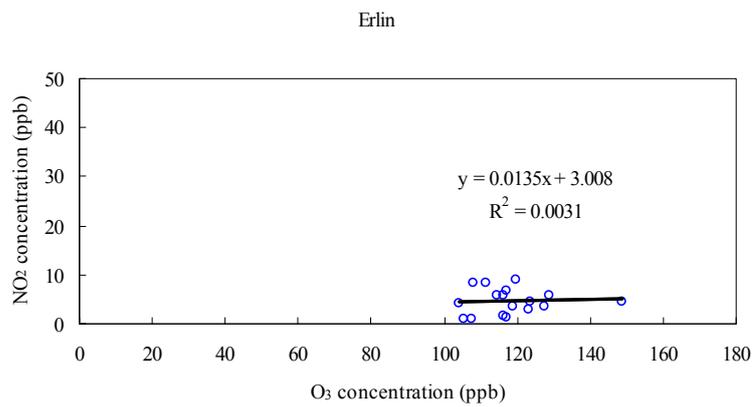
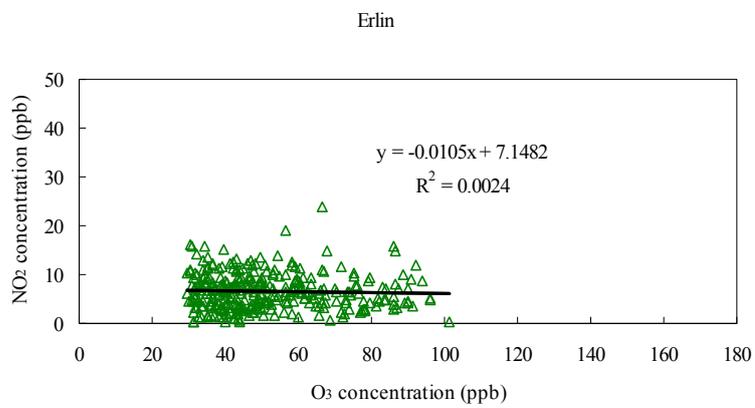
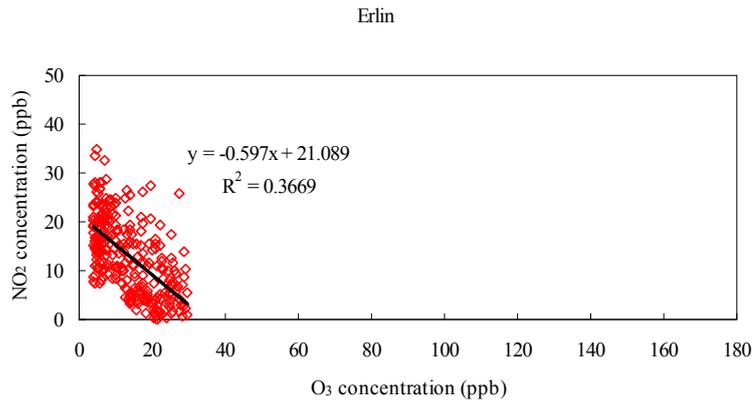


圖 4-1.21 2005 年颱風位於 Type A 二林監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖  
(a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段

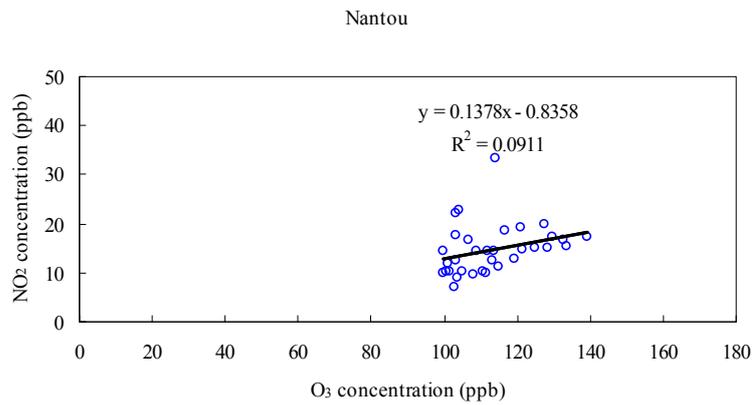
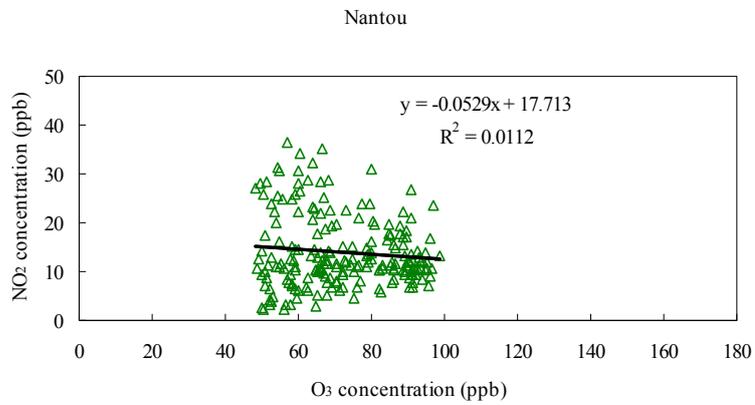
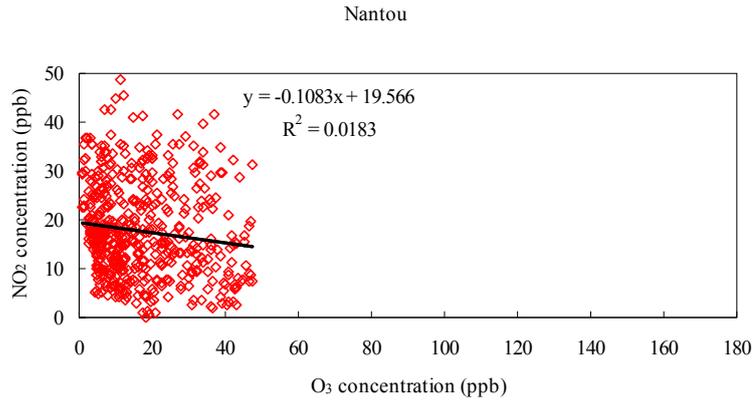


圖 4-1.22 2005 年颱風位於 Type A 南投監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖  
(a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段

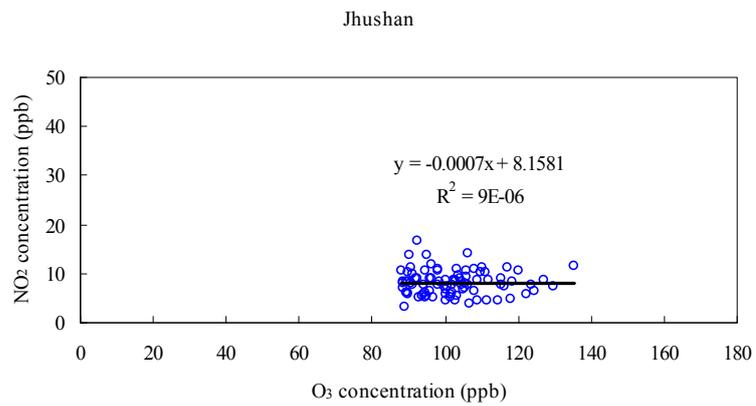
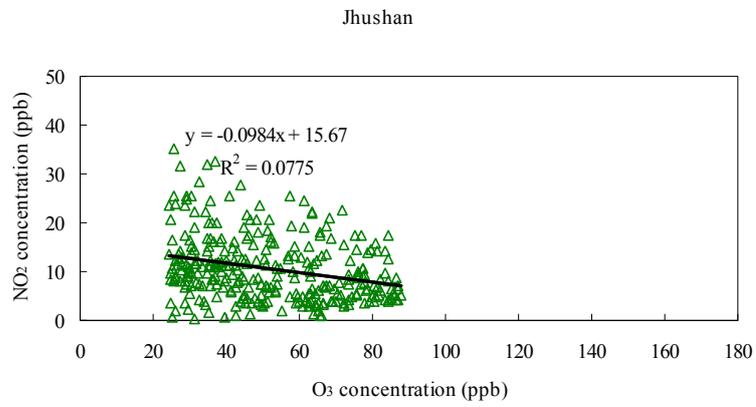
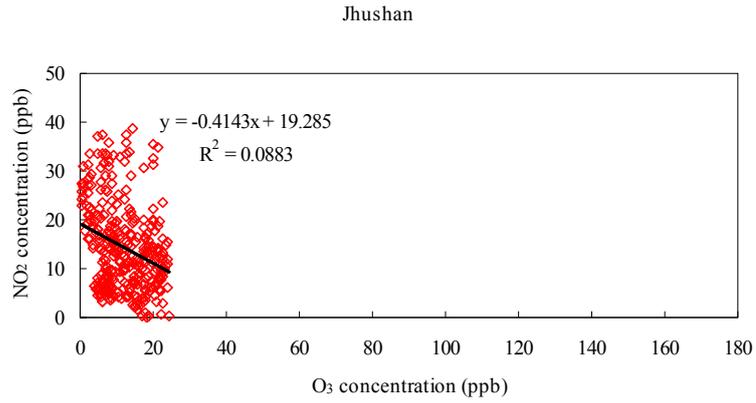


圖 4-1.23 2005 年颱風位於 Type A 竹山監測站 O<sub>3</sub> 濃度與 NO<sub>2</sub> 濃度線性圖  
(a)第一時段、(b)第二時段、(c)第三時段

#### 4-1.2 台灣東方颱風之 O<sub>3</sub> 濃度主成份分析

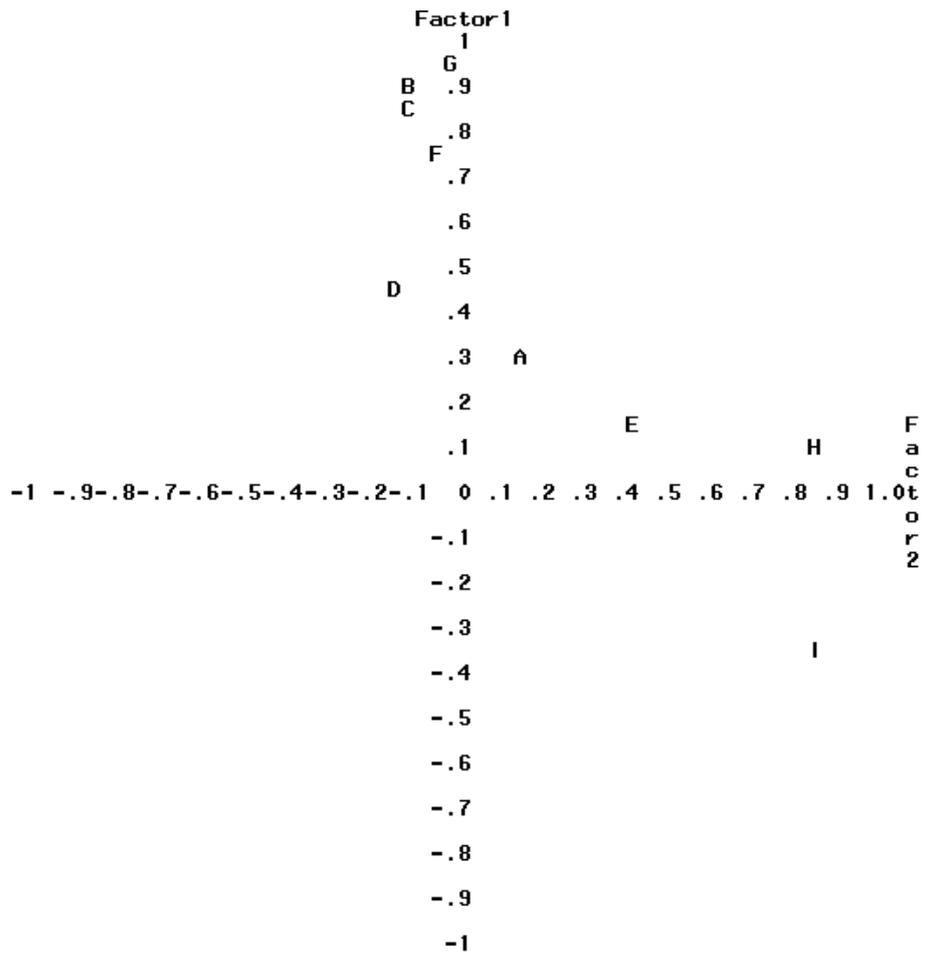
由上節各個空氣品質監測站之 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值及其滴定反應時間，可整理成三段共同反應時間。第一段共同反應時間為 2100 LST ~ 0600 LST，第二段共同反應時間為 1000 LST，第三段共同反應時間為 1200 LST。因此本節探討中部地區於此天氣條件下造成高 O<sub>3</sub> 濃度事件之 O<sub>3</sub> 濃度反應特徵分佈，透過 SAS 與 Excel 電腦套裝軟體之主成份分析，藉以分類出同一時段內有相同反應速率之地區。

由第一時段之 O<sub>3</sub> 濃度反應特徵顯示，大致可以分為二群。在第一時段（圖 4-1.24）之 O<sub>3</sub> 濃度反應特徵分佈圖中，Factor 1：因素 1 軸、Factor 2：因素 2 軸，豐原、大里、南投、竹山與 Factor 2 有高度正相關，豐原、大里、南投與 Factor 1 有高度負相關，竹山與 Factor 1 呈現負相關(黃俊英，1991)。特徵分佈圖顯示第一群 O<sub>3</sub> 濃度反應相同之空氣品質監測站分別為豐原、沙鹿、西屯、忠明、彰化、二林，可說明於此天氣條件下，夜晚清晨時段（2100 LST ~ 0600 LST），靠近沿海地區之沙鹿、彰化、二林空氣品質監測站，有可能是因為海風形成，將海面上之污染物帶入，於是 O<sub>3</sub> 濃度反應速率與都會區相同。第二群 O<sub>3</sub> 濃度反應相同之空氣品質監測站分別為南投、竹山，可說明與此天氣條件下，二個屬於內陸區之空氣品質監測站，O<sub>3</sub> 濃度有著相同的反應速率。

由第二時段之 O<sub>3</sub> 濃度反應特徵顯示，大致可以分為二群。在第二時段（圖 4-1.25）之 O<sub>3</sub> 濃度反應特徵分佈圖中，Factor 1：因素 1 軸，Factor 2：因素 2 軸，豐原、沙鹿、西屯、忠明、大里、彰化與 Factor 2 有高度正相關，豐原、沙鹿、西屯、大里、彰化與 Factor 1 有高度負相關，忠明與 Factor 1 呈現負相關。特徵分佈圖顯示第一群 O<sub>3</sub> 濃度反應相同之空氣品質監測站分別為豐原、西屯、大里、彰化、南投、竹山，可說明與此天氣條件下，上午時段（1000 LST），較靠近都會區之空氣品質監測站，O<sub>3</sub> 濃度反應有相同的反應速率；而靠近內陸地區之竹山空氣品質監測站，則有可能是因為人為活動或者 O<sub>3</sub> 濃度的殘留，於是反應速率與都會區相同。第二群 O<sub>3</sub> 濃度反應相同之空氣品質監測站僅為忠明，可能因為人為活動影響，因此在 O<sub>3</sub> 濃度變化上呈現單一獨立的現象。

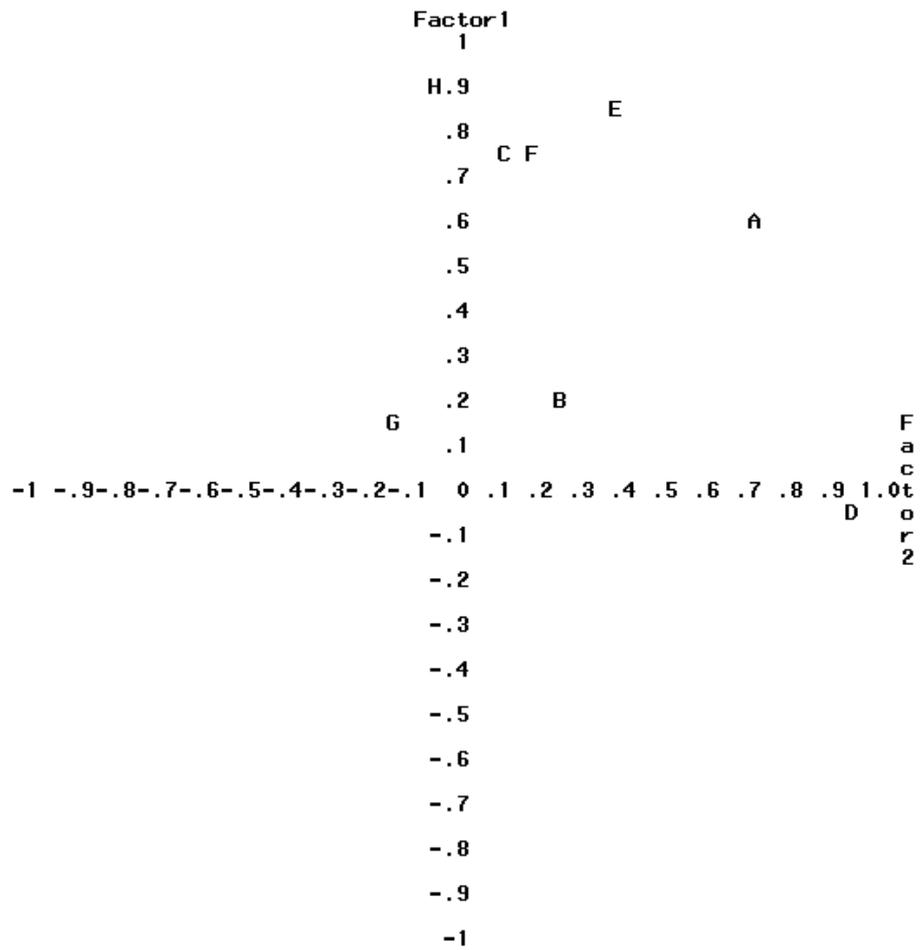
由第三時段之  $O_3$  濃度反應特徵顯示，可以分為二群。在第三時段(圖 4-1.26)之  $O_3$  濃度反應特徵分佈圖中，Factor 1：因素 1 軸，Factor 2：因素 2 軸，豐原、沙鹿與 Factor 2 有高度正相關。特徵分佈圖顯示第一群中午時段 (1200 LST)  $O_3$  濃度反應相同之空氣品質監測站僅為忠明，可能是因為人為活動或是  $O_3$  濃度殘留的影響，因此在  $O_3$  濃度變化上呈現單一獨立的現象。第二群  $O_3$  濃度反應相同之空氣品質監測站也僅為竹山，可能是由於地形影響的關係，使得  $O_3$  濃度變化上呈現單一獨立的情況。

綜合上述之  $O_3$  濃度反應特徵，顯示  $O_3$  濃度於此天氣條件下，依時間變化與光化學作用，其濃度的變化或反應的速度，在夜間時可明顯分為二群，表示此時間之  $O_3$  濃度變化與中部地區之特殊地形有著密不可分的關係；而隨著時間的增加，太陽輻射逐漸旺盛的同時，人為活動也逐漸排放  $O_3$  前驅污染物。因此到了第二及第三時段  $O_3$  濃度變化則無明顯地形關係。



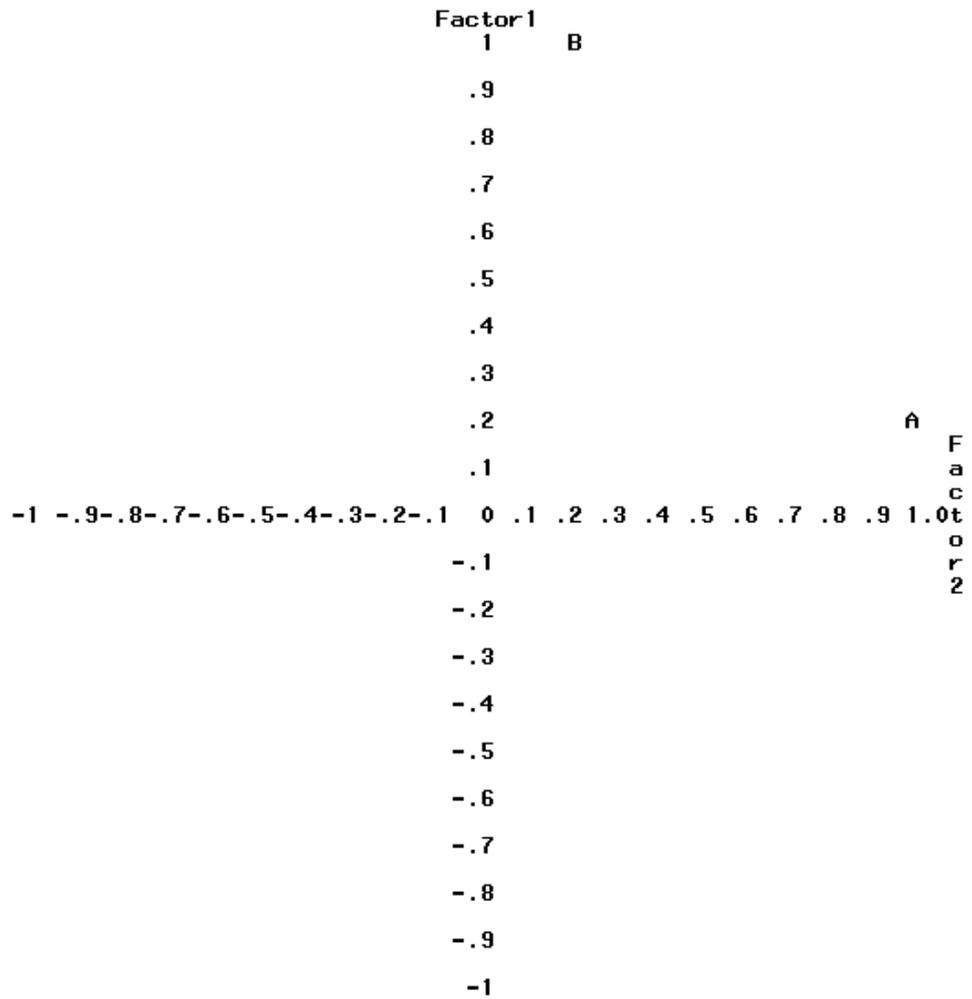
註：A：豐原、B：沙鹿、C：西屯、D：忠明、E：大里、F：彰化、G：二林、  
H：南投、I：竹山。

圖 4-1.24 第一時段之 O<sub>3</sub> 濃度反應特徵分佈圖。



註：A：豐原、B：沙鹿、C：西屯、D：忠明、E：大里、F：彰化、G：南投、  
H：竹山。

圖 4-1.25 第二時段之 O<sub>3</sub> 濃度反應特徵分佈圖。



註：A：忠明、B：竹山。

圖 4-1.26 第三時段之 O<sub>3</sub> 濃度反應特徵分佈圖。

### 4-1.3 垂直滴定反應與污染物分析

在第一時段中(2100 LST~0600 LST)(圖 4-1.27),近地面(15 - 50 m)  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值快速上升,而高空(300 - 600 m)之  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值緩慢上升,顯示此時段近地面與高空均有明顯的滴定作用。在 15-50 m 低空的濃度圖顯示  $O_3$  濃度較高,而 300-600 高空的濃度圖  $O_3$  濃度較低,可能是與混合層有關,但發現混合層的高低並不影響  $O_3$  濃度,混合層高度高,表示對流旺盛,污染物被網上傳送而稀釋。當混合層低時,將不利於近地面層之污染物稀釋與擴散。也可能是因為高空境外傳輸,風大吹進來,造成對流。第二時段(1000 LST),由於我們監測時間為 3 小時一筆,1000 LST 沒有進行採樣,因此無採樣數據及濃度圖。第三時段(1200 LST)(圖 4-1.28)近地面(15 - 50 m)  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值呈現水平狀態,且高空(300 - 600 m)之  $O_3$  濃度與  $O_3/O_x$  比值亦趨近水平,顯示此時段不論近地面或高空之  $O_3$  濃度均大幅增加, $NO$  濃度無法及時滴定大量的  $O_3$ ,因此滴定作用均不明顯。

2005 年春季於南投進行垂直監測採樣(圖 4-1.29~圖 4-1.33),監測期間受到高壓影響,4 月 4 日清晨風速較微弱,而在 1500 LST 時,近地面風場呈現東北風,風速變大而高達 7.2 m/s,夜間轉為弱東風,從污染物垂直剖面圖可看到污染物被帶至南投並累積,包含臭氧前驅物,白天近地面臭氧濃度累積至約 78 ppb,但隨地表受熱產生對流之影響,污染物隨高度垂直擴散均勻。4 月 5 日清晨,主要以南風及東南風主導,白天,西南風轉為西北風,平均風速均小於 5 m/s,隨光化反應及臭氧夜間的累積,臭氧前驅物被消耗產生臭氧,使近地面臭氧濃度達 82 ppb。4 月 6 日清晨,高壓中心接近台灣,近地面風微弱,但隨高度有反氣旋式之福散現象,污染物累積在 200 m 以下,午後,近地面臭氧濃度介於 60~85 ppb 之間。4 月 7 日清晨,風速非常微弱,白天,風速開始增強,風向由南風轉為西南風,污染物之稀釋導致臭氧濃度並無過於累積。4 月 8~9 日開始受到低壓及鋒面的影響,台灣地區風場以南風及西北風為主,白天由於雲量增加,光化反應減弱,污染物隨垂直對流均勻擴散,高空臭氧濃度隨高度增加。4 月 10 日清晨,500 m 以上之高空風場增強,白天,鋒面接近,風場呈西南風及南風,且雲量增加,接近中午時,地面臭氧濃度值約為 40 ppb。

秋季繫留探空監測期間為 2005 年 9 月 15 日至 2005 年 9 月 21 日,於南投進

行垂直風場及污染物（圖 4-1.34 ~圖 4-1.38）監測，監測期間 9 月 15 日清晨，受到區域環流的影響，風向由南風及西南風所主導，且風速隨高度上升而增強，最大風速為 8.0 m/s，使臭氧前趨物不易生成累積，在 1500 LST 後轉為北風及西北風，風速為 7.0~8.0 m/s，污染物由市區傳送至內陸導致臭氧濃度（圖 4-1.35）為 82.5 ppb。9 月 16 日 1200 LST 後，風向由南風轉為北風及西北風之形式，臭氧濃度上升至 82.0 ppb；夜間因高空風向為較微弱之西南風，NO<sub>2</sub>（圖 4-1.37）濃度有累積現象約 35.6 ppb。9 月 17 日上午由於南沙群島有熱帶低氣壓形成，綜觀氣象場微弱，由區域環流所主導風向呈現較微弱之東南風，風速隨高度上升減弱，在 1200 LST~1500 LST 時，因陽光照射強烈，由於 16 日累積較高濃度之 NO、NO<sub>2</sub>（圖 4-1.36、圖 4-1.37）受光化學之作用下，因此在近地面 O<sub>3</sub> 小時濃度值高達 121.5 ppb。9 月 18 日上午熱帶低壓遠離，平均風速微弱且風向以南風及東南風所主導。9 月 19 日上午高壓出海之天氣型態，中部地區天氣型態穩定，綜觀系統微弱，1200 LST 陽光強烈，滴定效應旺盛，因此 O<sub>3</sub> 濃度（圖 4-1.35）升高至 102.8 ppb。9 月 20-21 日，在鵝鑾鼻南南東方海面上有輕度颱風丹瑞形成，主要風向為東風及東北風，因受中央山脈之阻隔，使氣流往南北兩方繞過，於西部地區形成一低壓槽，此天氣型態系統下不易污染物擴散，因此 20 日，O<sub>3</sub> 濃度在 1200 LST 達 114.3 ppb，21 日，O<sub>3</sub> 濃度在 1500 LST 達 99.3 ppb。

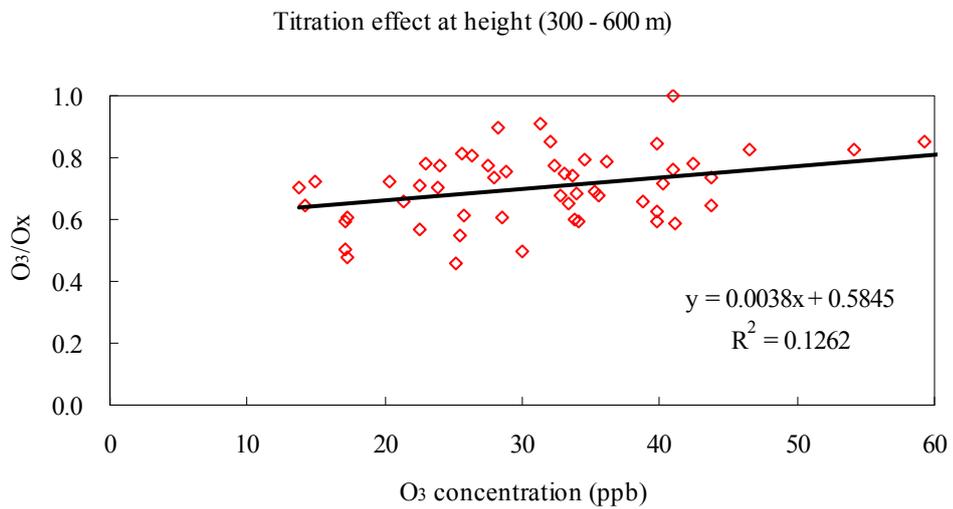
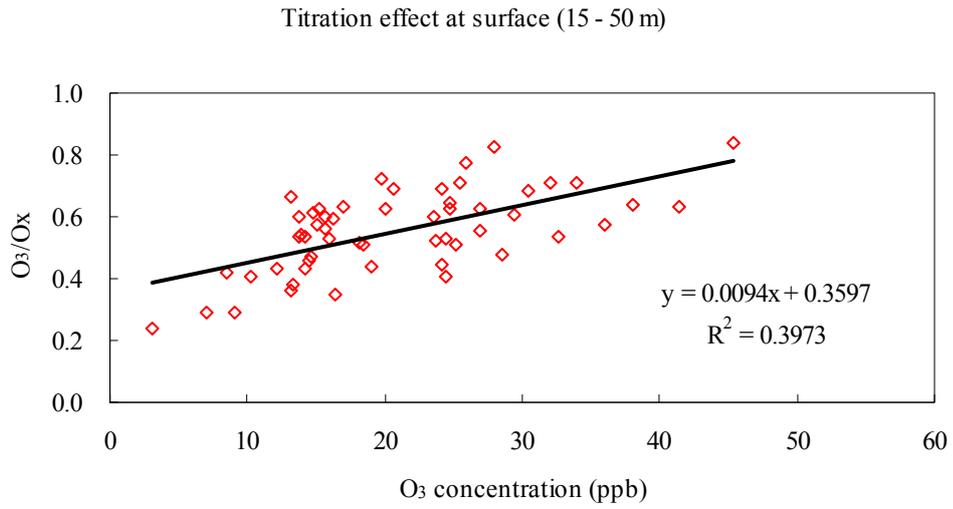


圖 4-1.27 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日第一時段 (2100 LST ~ 0600 LST) 垂直 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/O<sub>x</sub> 比值線性圖(a)近地面 (約 15 - 50 m)、(b)高空 (約 300 - 600 m)。

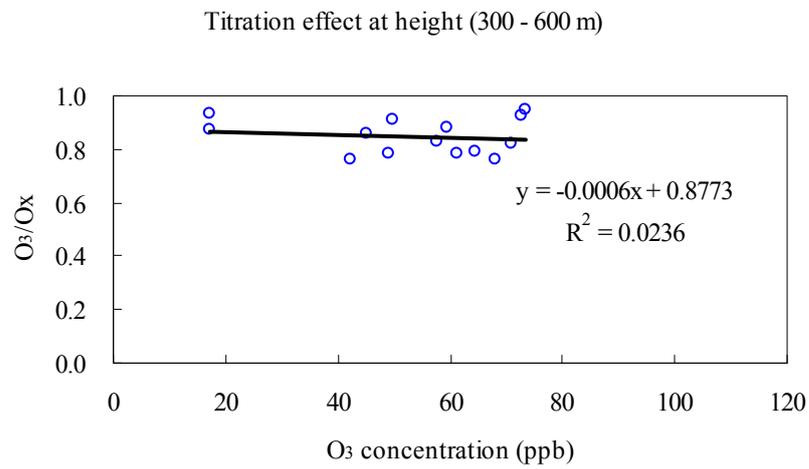
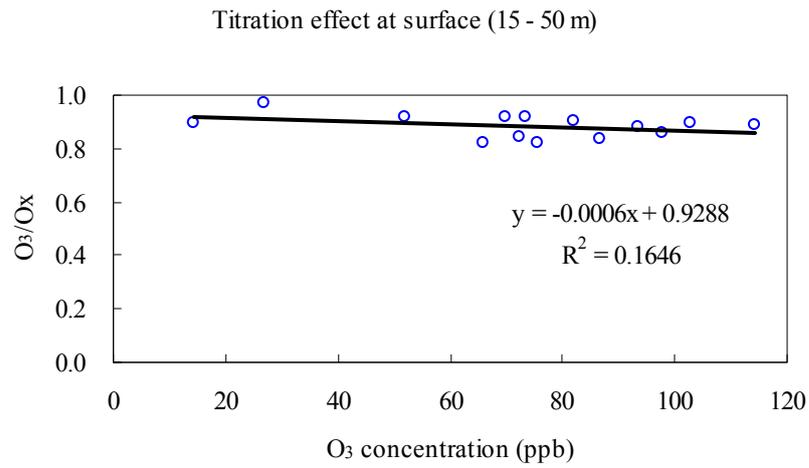


圖 4-1.28 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日第三時段 (1200 LST) 垂直 O<sub>3</sub> 濃度與 O<sub>3</sub>/Ox 比值線性圖(a)近地面 (約 15 - 50 m)、(b)高空 (約 300 - 600 m)。

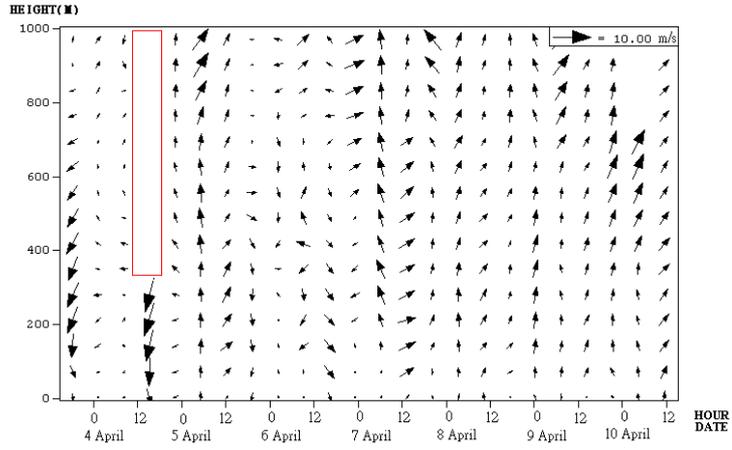


圖 4-1.29 2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日南投繫留探空監測之垂直風場剖面圖(m/s)。

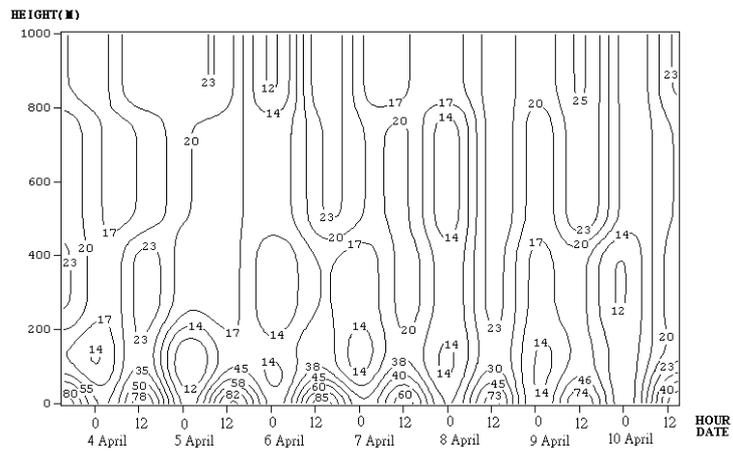


圖 4-1.30 2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日南投繫留探空監測之臭氧剖面圖(ppb)。

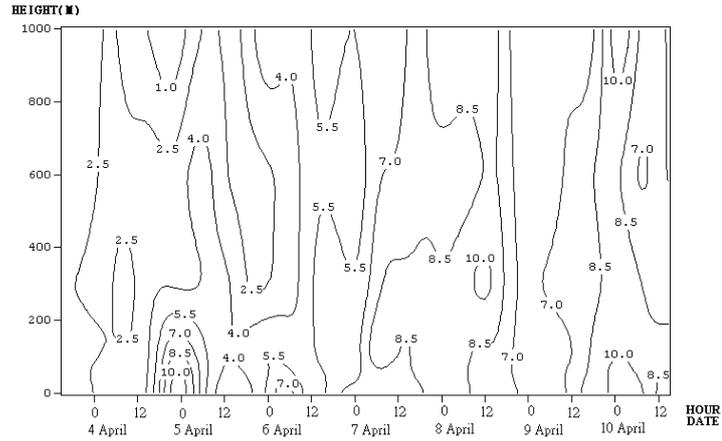


圖 4-1.31 2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日南投繫留探空監測之 NO 剖面圖(ppb)。

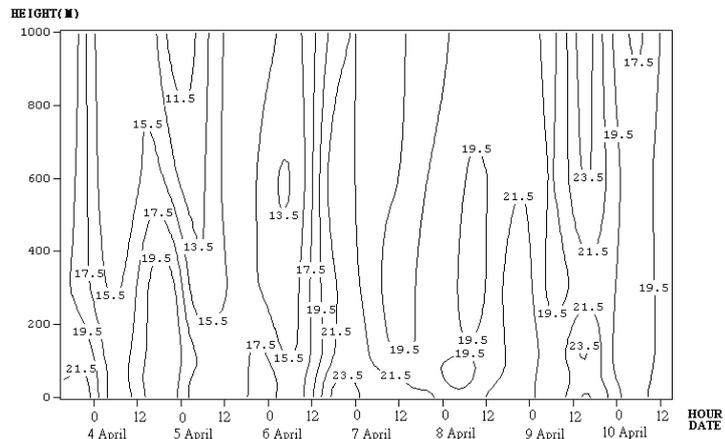


圖 4-1.32 2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日南投繫留探空監測之 NO<sub>2</sub> 剖面圖(ppb)。

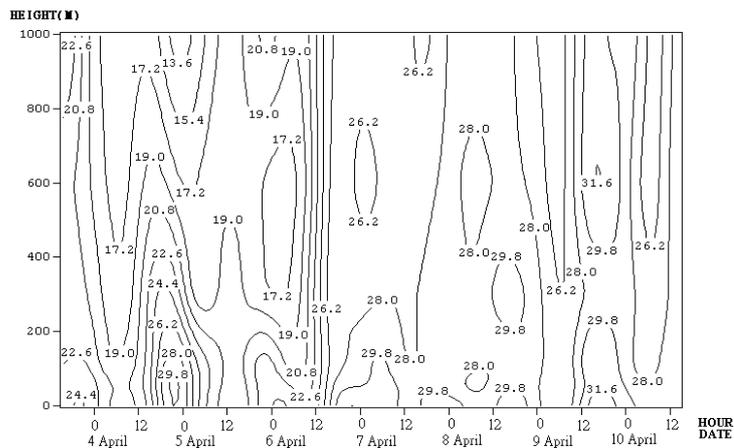


圖 4-1.33 2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日南投繫留探空監測之 NO<sub>x</sub> 剖面圖(ppb)。

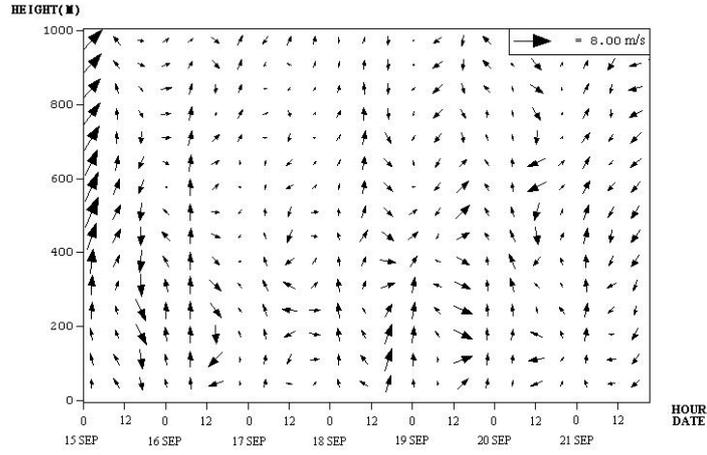


圖 4-1.34 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日南投繫留探空監測之垂直風場剖面圖 (m/s)。

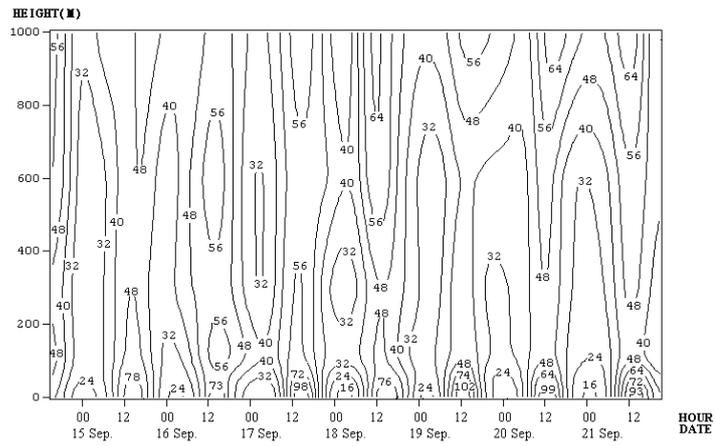


圖 4-1.35 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日南投繫留探空監測之臭氧剖面圖(ppb)。

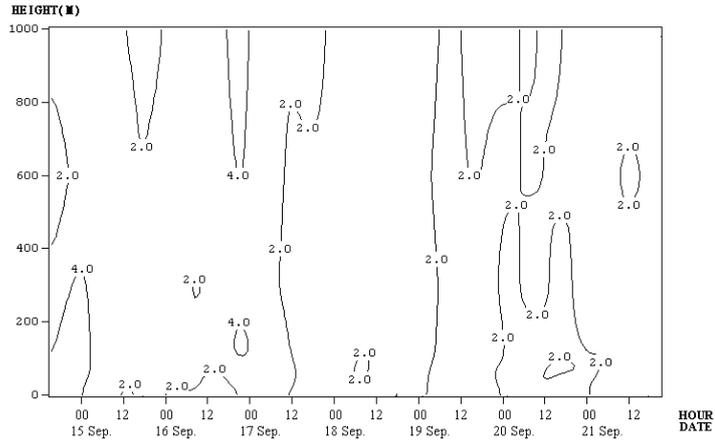


圖 4-1.36 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日南投繫留探空監測之 NO 剖面圖(ppb)。

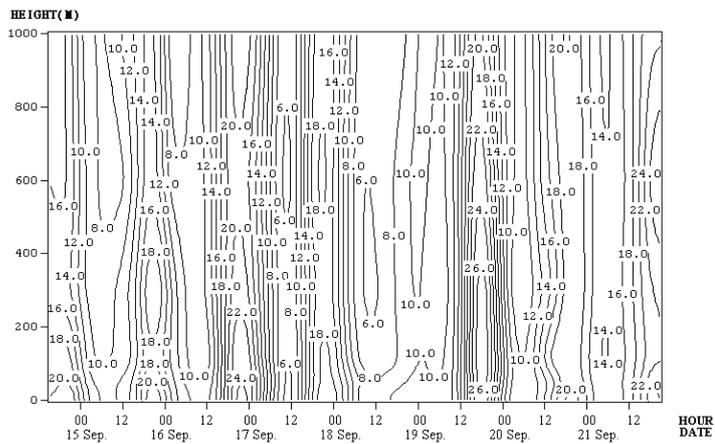


圖 4-1.37 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日南投繫留探空監測之 NO<sub>2</sub> 剖面圖(ppb)。

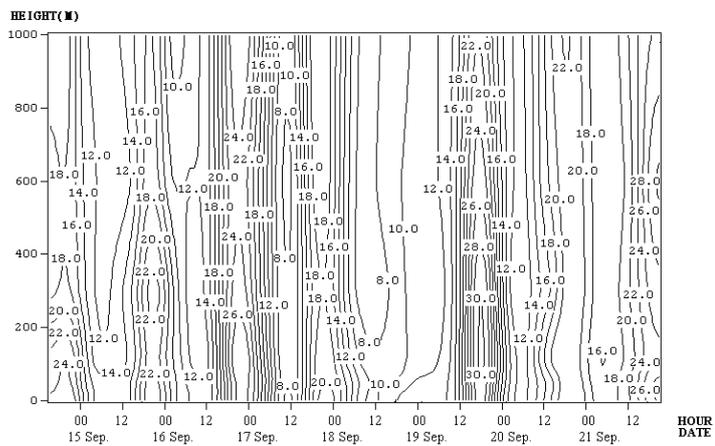


圖 4-1.38 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日南投繫留探空監測之 NO<sub>x</sub> 剖面圖(ppb)。

## 4-2 混合層高度與氣象污染物之關係

混合層高度(Mixing height)在熱力圖當中，是指當天地面最高溫沿乾絕熱線上升與探空曲線相交之點，為當日之最高混合層高度；在混合層裡污染物隨著紊流而被均勻的混合，混合層高度愈高，表示對流愈旺盛。當混合層降低時，大氣處於穩定狀態，將不利於近地面層之污染物稀釋與擴散。

白天由於地表受到太陽輻射的情況下，產生旺盛之對流，其所達到之高度為混合層高度，且也是地面污染物於垂直方向擴散之頂點。中部地區由於地形複雜，邊界層發展會受到地表植被與氣象條件之影響而有所變化(張能復與胡人傑，1998)。

白天由於地表受到太陽輻射的情況下，造成地面溫度高，高空溫度低，產生旺盛之對流，其所達到之高度為混合層高度，也是地面污染物於垂直方向擴散之頂點。

Type A (圖 4-2.1) 含全台灣之風場圖，颱風在偏東方小於 1500km 的位置，以東部來看，風速不大，風場呈現東風，從東方吹向台灣內陸地區，受到中央山脈的地形屏障阻擋下，風場變成南北兩支繞流，北支繞流造成西北風吹入中部地區，以及盛行東風遇到中央山脈過山後之下沈氣流。此外，中部地區位於中央山脈之背風面，風場(東風)影響微弱，污染源排放污染物不易擴散，造成較靠近內陸之地區(大里、南投、竹山等)容易因地形地勢的影響而產生污染物濃度有累積的現象。此類型之臭氧濃度平均為 34.6 ppb，在四類型中濃度最高，混合層高度平均為 421.8 m，較其他類型低，因此臭氧濃度高，導致混合層高度低。

Type B (圖 4-2.2) 含全台灣之風場圖，颱風在偏南方小於 1500km 的位置，以南部來看，風速比東方及西北方較小，東方及西北方的風從北方持續吹向南方，並再吹向內陸地區，且風速變小，由於地形的影響，使得污染物濃度易累積，而這一類型臭氧濃度平均為 34.0 ppb，比 Type A 類型較低一點，而混合層高度平均為 514.9 m。

Type C (圖 4-2.3) 含全台灣之風場圖，颱風在偏西方小於 1500km 的位置，以西部來看，風速較微弱，東方及南方的風由東南方吹向西北方，並吹向台灣內陸地區，且風速逐漸變小，地形的影響會造成污染物濃度易累積，而此類型臭氧濃度平均為 31.6 ppb，比 Type A 和 Type B 類型都較低，混合層高度平均為 506.8 m。

Type D (圖 4-2.4) 含全台灣之風場圖，颱風在東方且大於 1500km 的位置，以台灣周圍整個風場來看，西部地區之風速較微弱，風由東南方往西北方向吹拂，並吹向內陸地區，風速變小，這類型臭氧濃度平均為 27.1 ppb，比其他類型還要來的低，且為四類型中最低之臭氧濃度，混合層高度平均為 545.0 m，為四類型中最高之混合層，混合層高度高，臭氧濃度低。

用 SAS 檢定(表 4-2.1)混合層高度在統計上無差異，但實際上有差異(犯錯率 30%)，犯錯機率大， $Pr > F: 0.7045$ ， $Pr > 0.5$ ，線性關係不大；而臭氧濃度信賴區間為 95%， $Pr < F: < .0001$ ，可信賴度，是有差異的。

表 4-2.1 A、B、C、D 四類型在 14 時之臭氧濃度和混合層高度平均

	A	B	C	D
O <sub>3</sub> concentration (ppb)	34.6 <sup>a</sup>	34.0 <sup>a</sup>	31.6 <sup>b</sup>	27.1 <sup>c</sup>
Mixing height (m)	421.8 <sup>a</sup>	514.9 <sup>a</sup>	506.8 <sup>a</sup>	545.0 <sup>a</sup>

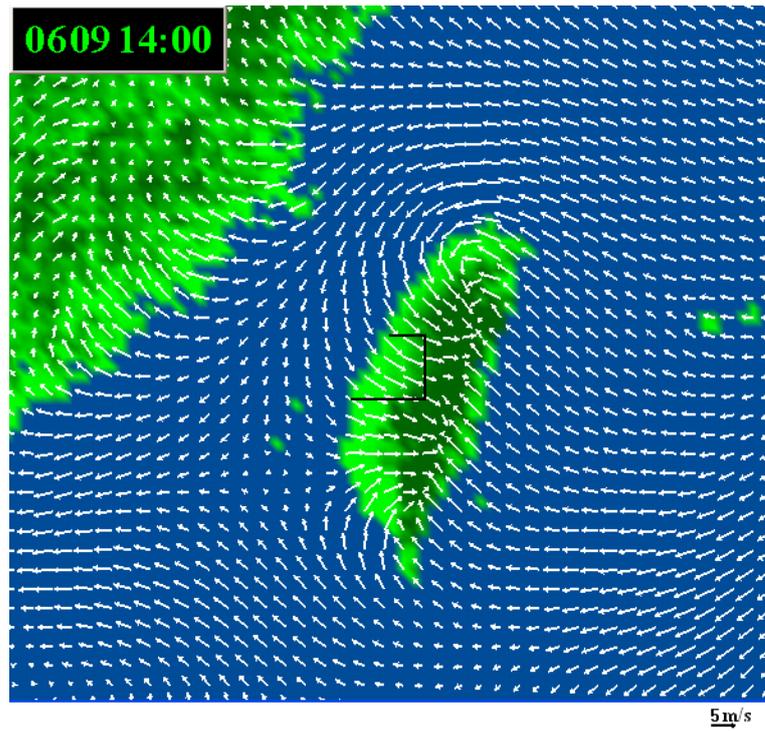


圖 4-2.1 TypeA (2005 年 6 月 9 日 1400 LST) 全台風場圖。

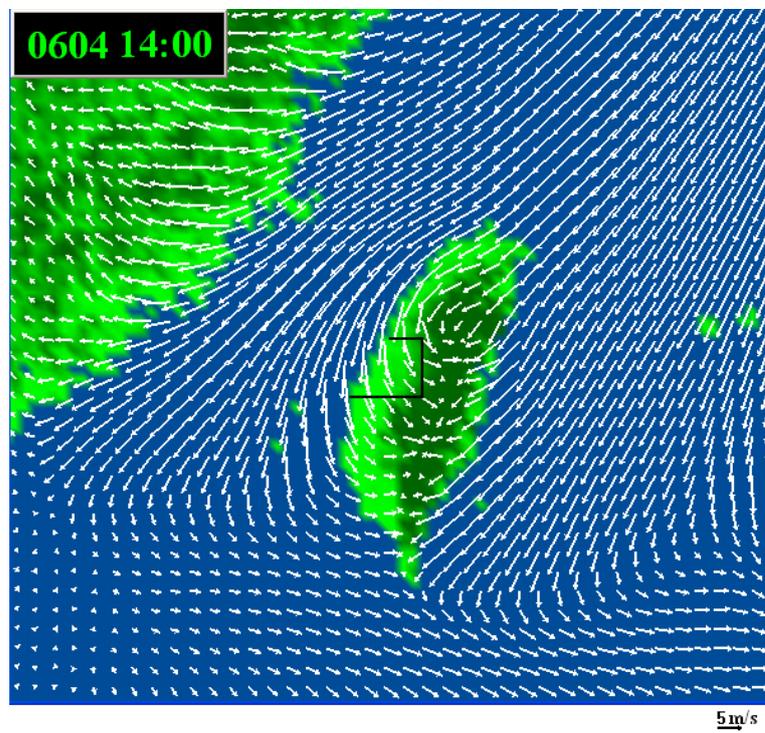


圖 4-2.2 TypeB (2005 年 6 月 4 日 1400 LST) 全台風場圖。

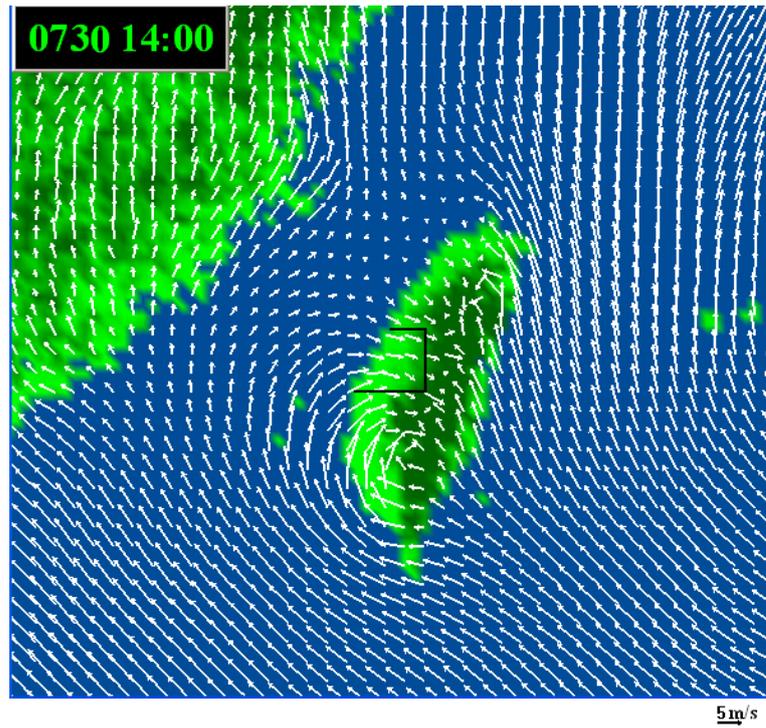


圖 4-2.3 TypeC (2005 年 7 月 30 日 1400 LST) 全台風場圖。

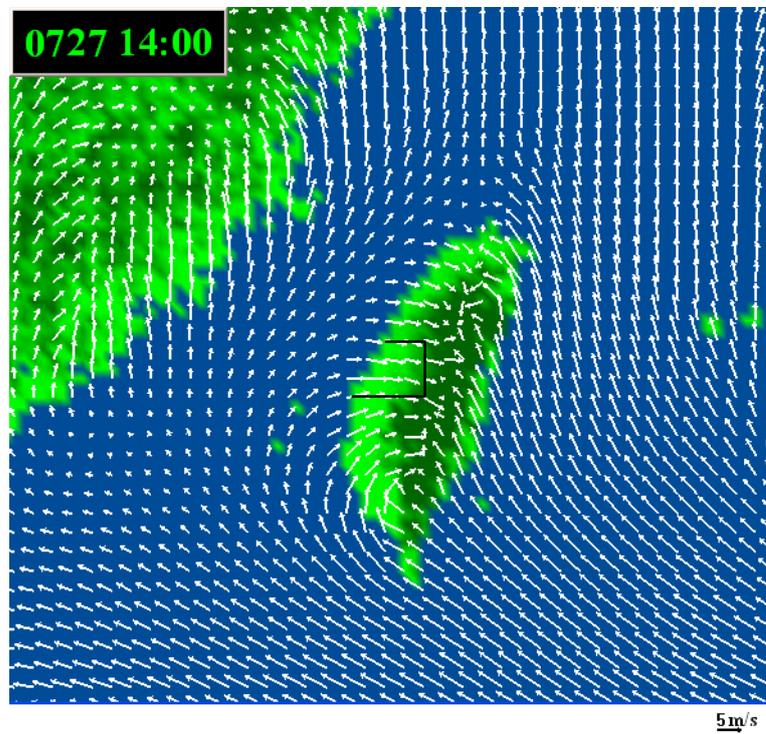


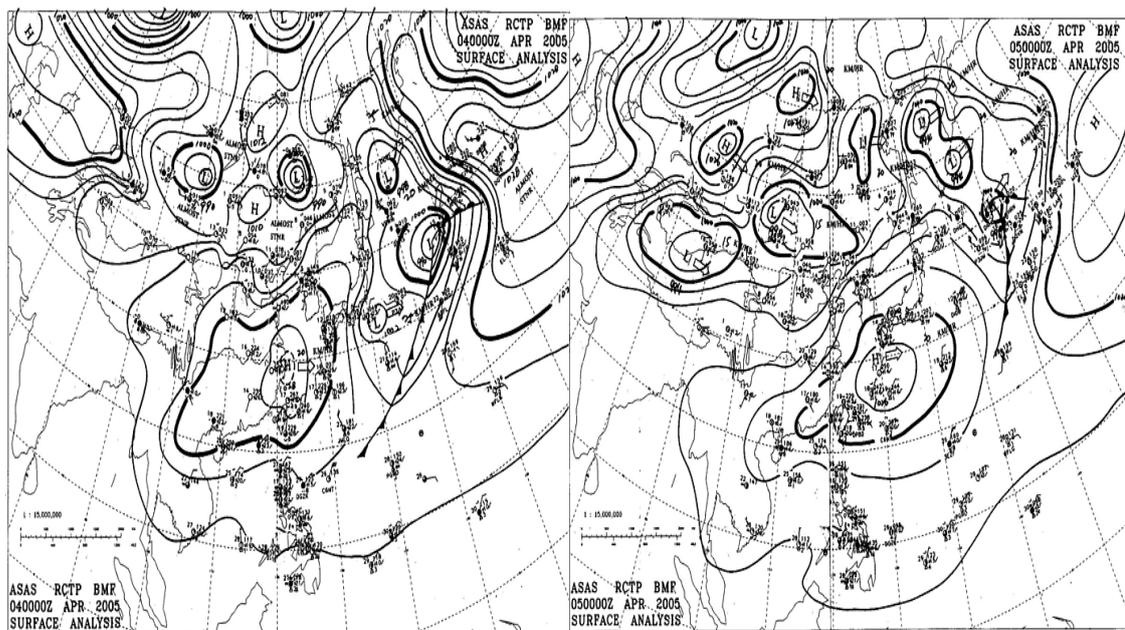
圖 4-2.4 TypeD (2005 年 7 月 27 日 1400 LST) 全台風場圖。

### 4-3 天氣型態

本研究選取之案例為2005年春季4月4日至8日及秋季9月15日至19日。春季案例期間台灣地區主要受到鋒面過境及高壓迴流之天氣型態影響，秋季期間主要受到高壓出海和高壓迴流以及颱風外圍環流之影響。

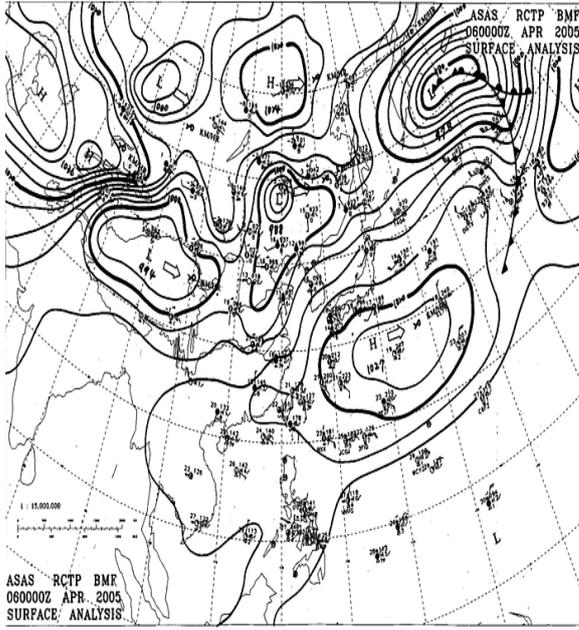
#### 4-3.1 春季綜觀天氣型態

2005年4月4日至4月8日，由中央氣象局之地面天氣圖顯示(圖4-3.1 a~e)，主要受到高壓出海和高壓迴流以及西南氣流之天氣型態影響。4日，高壓中心出海通過台灣北方；5、6日，台灣處於高壓迴流之天氣型態，中央山脈阻隔之下，台灣中部地區為背風面而形成內陸輻合，白天，風由八卦山南面進入南投地區；7日，高壓中心遠離；8日，受到日本低壓之影響，引進西南氣流，台灣受西南氣流影響下，夾帶赤道地區水氣，雲量開始增加，天氣呈現不穩定狀態。

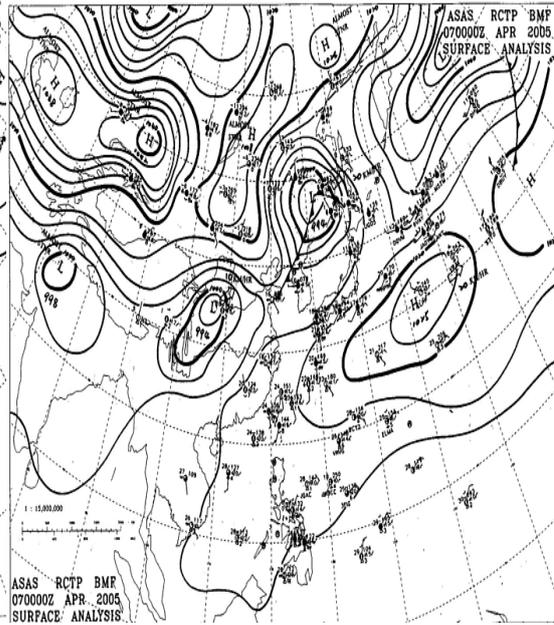


(a)

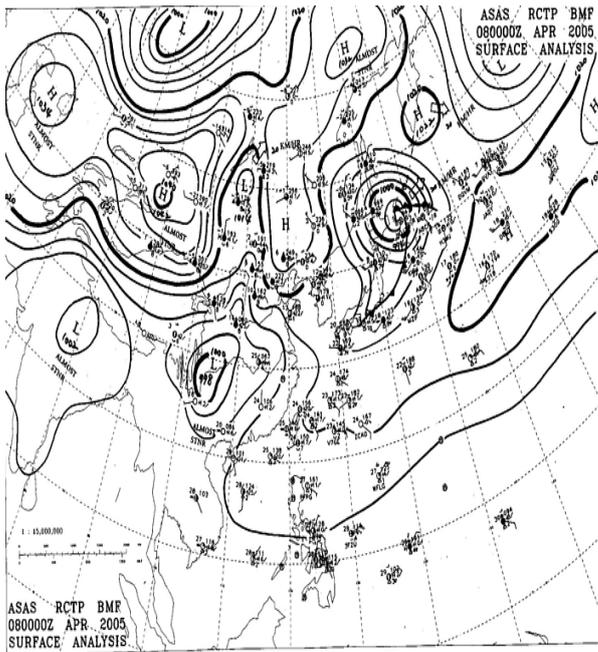
(b)



(c)



(d)

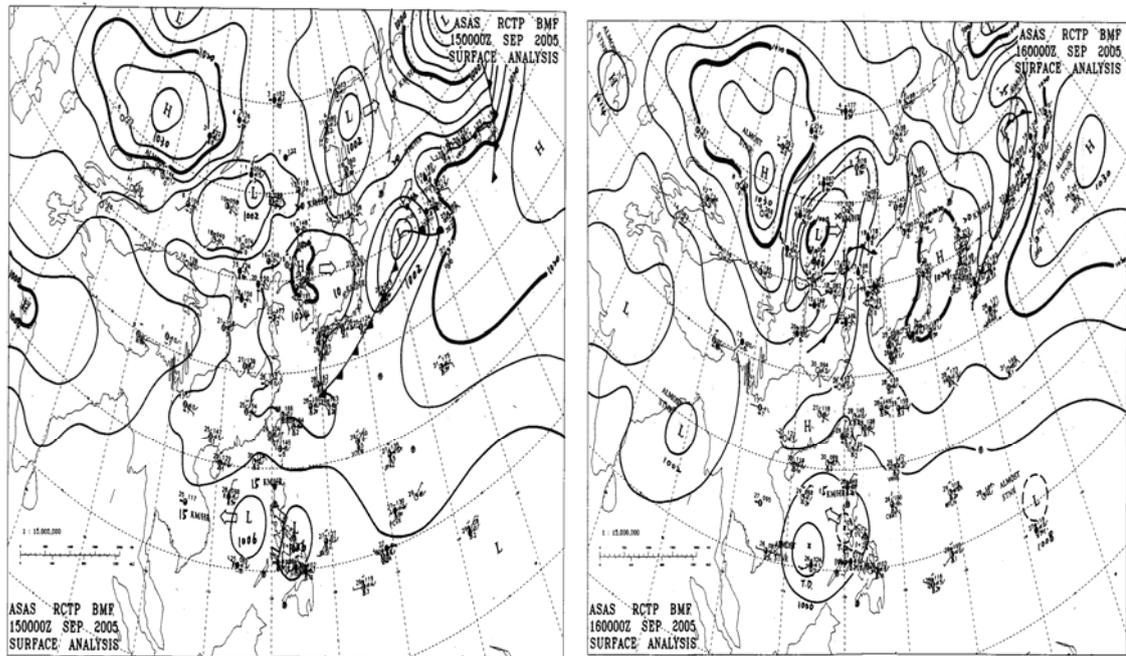


(e)

圖 4-3.1 2005 年 4 月(a) 04 (b) 05 (c) 06 (d) 07 (e) 08 00Z 之綜觀天氣圖。

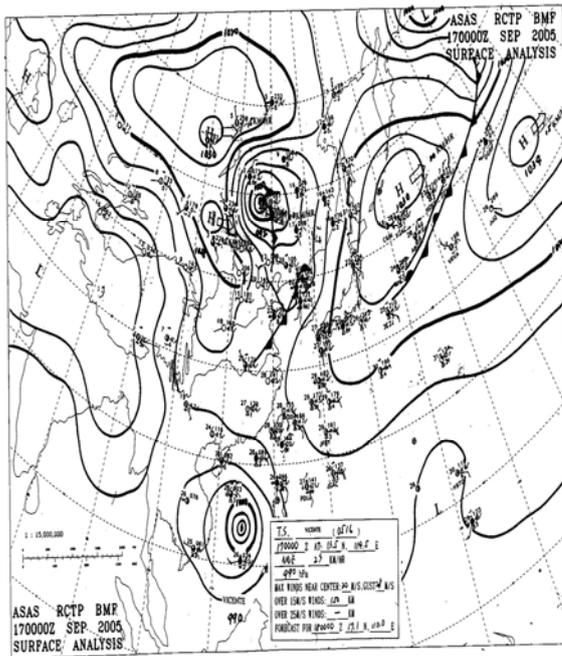
### 4-3.2 秋季綜觀天氣型態

2005年9月15日至9月19日，主要受到高壓出海和高壓迴流之天氣形態，日間近地面風速為弱混合層高度偏低，污染物被限制於地面，中部地區污染濃度偏高。監測時間選取為較易發生高污染事件日之高壓迴流綜觀天氣系統。15日(圖4-2.2(a))，由於高壓出海及熱帶低壓增強且受到鋒面的影響，東部呈現微弱的東風，西部受到地形的影響則呈現西北風。16、17日(圖4-3.2(b)、(c))，受到韋森特(VICENTE)颱風外環流的影響，台灣東部及中南部呈現東北風，西部地區位於中央山脈背風面及高壓沉降之影響下，將不利於污染物垂直擴散。18、19日(圖4-3.2(d)、(e))，受到高壓迴流影響，東半部由東風主導，西半部風場微弱氣候狀況穩定，以南風主導。

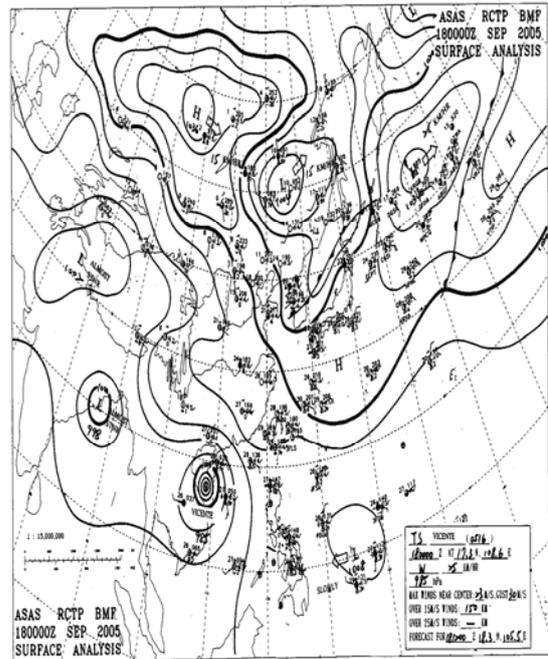


(a)

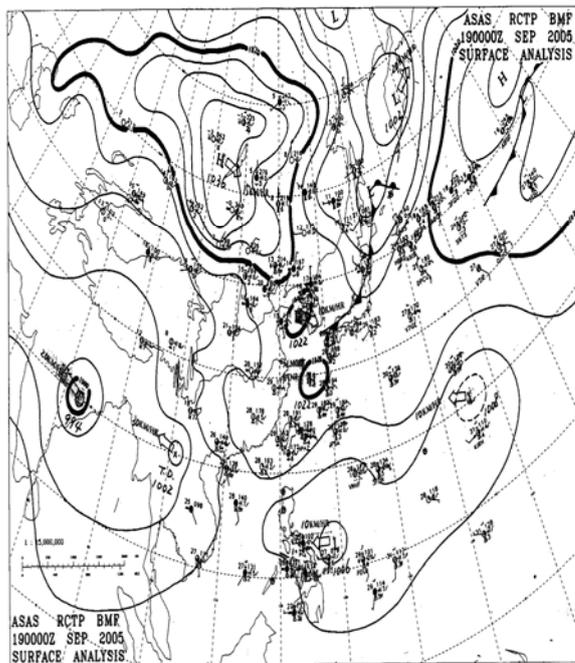
(b)



(c)



(d)



(e)

圖 4-3.2 2005 年 9 月(a) 15 (b) 16 (c) 17 (d) 18 (e) 19 00Z 之綜觀天氣圖。

### 4-3.3 污染物濃度分佈

2005 年秋季有一颱風韋森特(VICENTE)位於台灣的西南方(圖 4-3.3)。由 2005 年 9 月 16 日及 17 日的  $O_x$  ( $O_x = O_3 + NO_2$ ) (圖 4-3.4)，利用總氧  $O_x$  探討  $O_3$  變化，清晨時，沙鹿、西屯、大里、南投的  $O_x$  濃度值皆相當接近且呈現定值，不過在 0800LST~0900LST 因為上班時間車流量大， $NO_2$  大量累積，且當光化學反應發生導致  $O_3$  生成，相對的  $O_x$  也上升。測站中以大里及南投之  $O_x$  為最高值，初步推估有可能是因為大里及南投工業區的排放再加上人口較密集所導致；而 9 月 17 日又比 9 月 16 日  $O_x$  高一點。

$NO_x$  與  $NO_2/NO_x$  比值間的關係討論滴定效應滴定，當比值低時表示  $O_3$  並沒有被完全滴定產生  $NO_2$  而有  $O_3$  累積的可能，日出後，污染物開始排放至大氣，很可能造成隔日臭氧高值，而有  $O_3$  累積的可能；當比值高時則表示  $O_x$  被  $NO_2$  主導，臭氧累積不明顯，幾乎完全被滴定。9 月 16 日，南投  $O_x$  濃度值上升，且其夜間殘留  $O_3$  至 9 月 17 日，而 9 月 17 日清晨，西屯之  $O_3$  幾乎完全被滴定， $O_x$  濃度值其次為沙鹿；9 月 17 日清晨，西屯之  $NO_2/O_x$  比值接近 0.7，意味著  $O_x$  漸漸被  $NO_2$  所主導，臭氧的累積現象較不顯著。(圖 4-3.5)

臭氧前驅物包括揮發性有機性(VOC)及氮氧化物( $NO_x$ )，而一般常以 NMHC 等同於 VOCs，且 VOCs 生命週期長，排除市區及工業區之外郊區面源與生物源也排放得相當多，分佈廣泛。由地面西屯及南投的 NMHC 濃度得知(圖 4-3.6)，9 月 17 日清晨，西屯的 NMHC 濃度呈現最高約 0.9 ppm，而南投的 NMHC 最高濃度卻僅有約 0.3 ppm 以下，西屯之 NMHC 濃度大於南投，在高值期間 9 月 17 日 1500LST，南投之 NMHC 較少，推估可能是因為光化反應。由 NMHC/ $NO_x$  之比值關係可發現(圖 4-3.7)，西屯大於南投，顯示西屯 NMHC 量比  $NO_x$  多；而南投則是相反，初步推估西屯控制 NMHC 量比  $NO_x$  好，也就是所謂的 VOCs 控制生成，通常是屬於比較接近排放源之情況。南投測站 NMHC/ $NO_x$  之比值較小且 NMHC 濃度低，推估南投地區增減  $NO_x$  濃度的影響會比增減 NMHC，管制/ $NO_x$

較容易改善空氣品質。

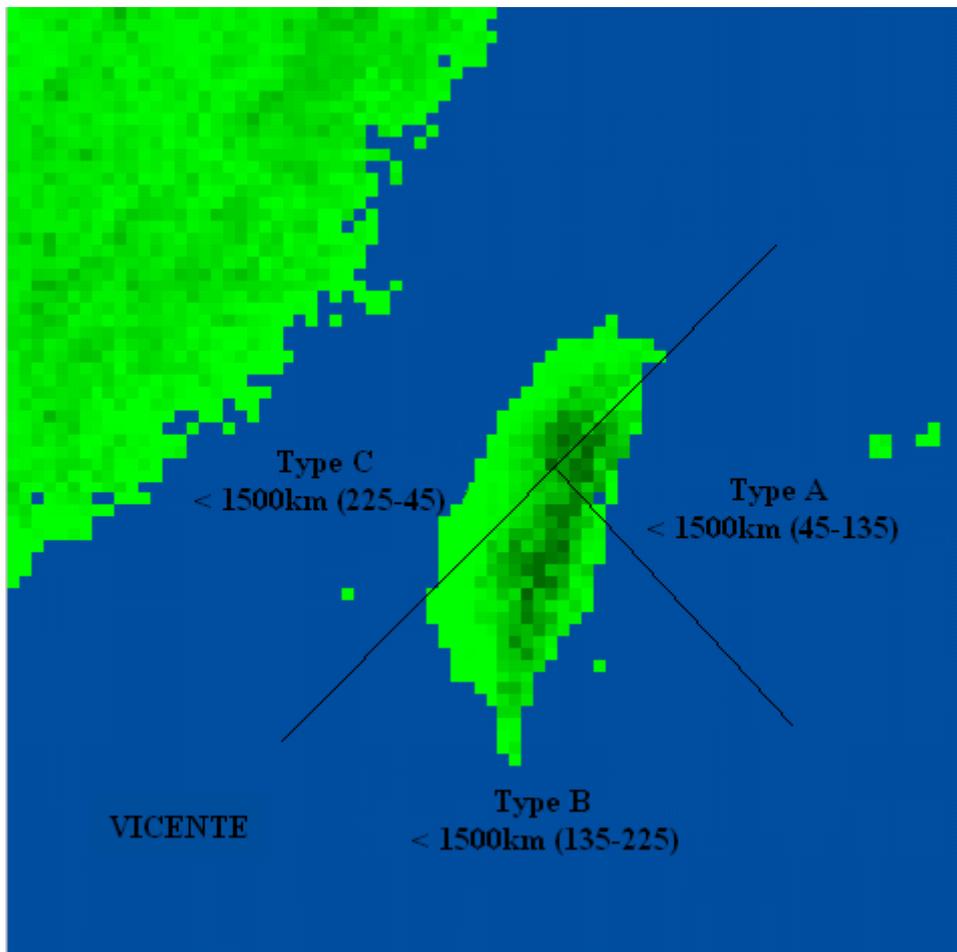
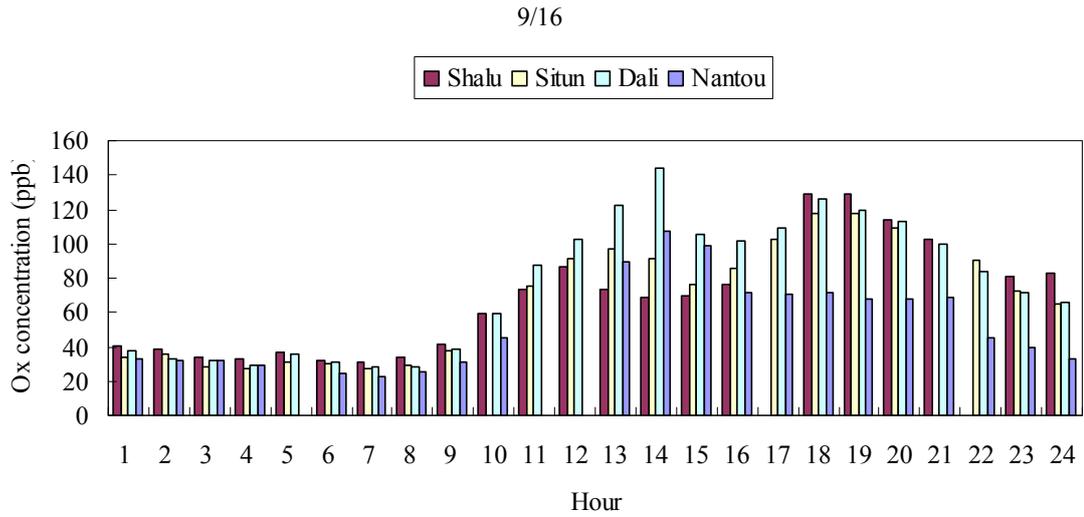
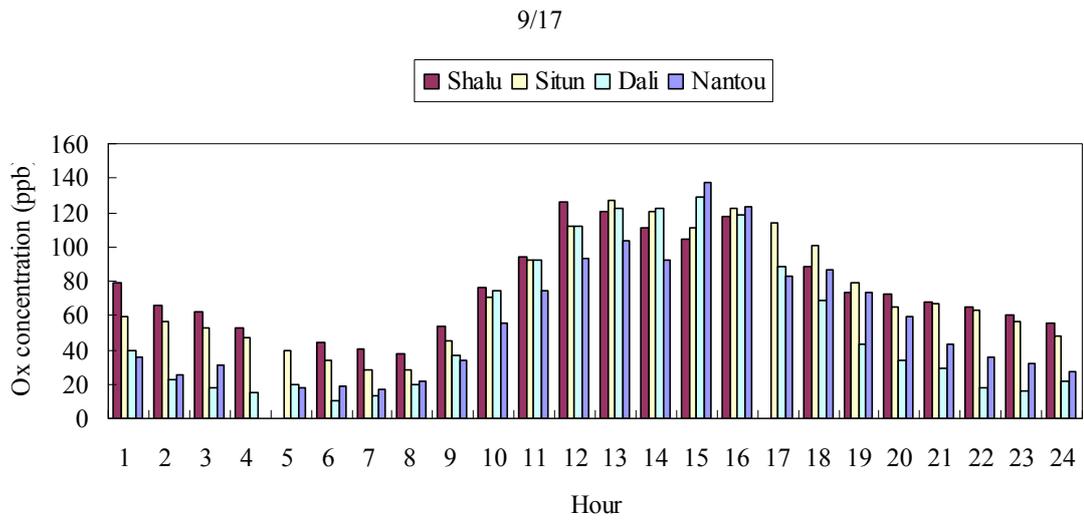


圖 4-3.3 韋森特颱風位置圖。



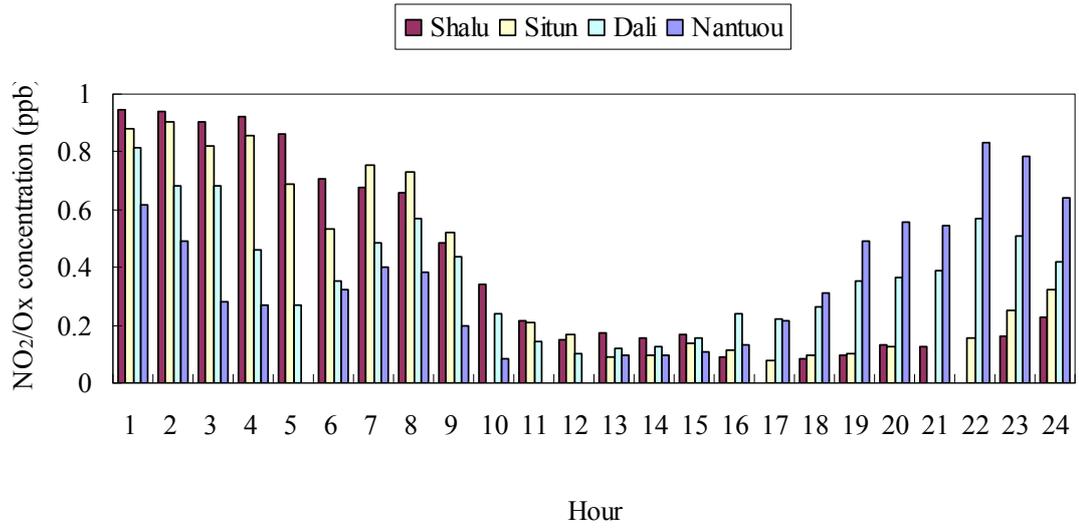
(a)



(b)

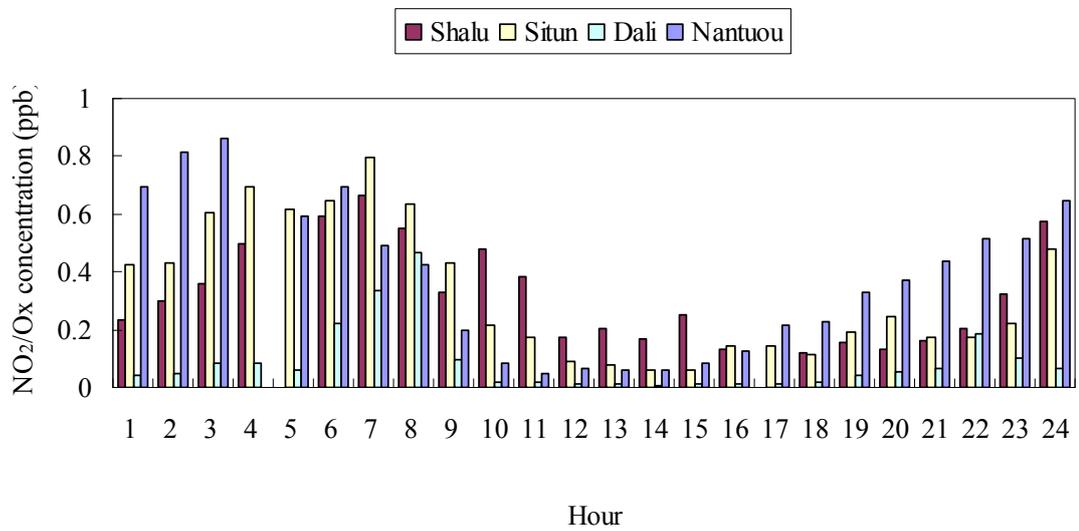
圖 4-3.4 沙鹿、西屯、大里、南投監測站之 Ox ( $O_3 + NO_2$ )水平濃度(ppb)變化趨勢圖。 (a) 2005 年 9 月 16 日 (b) 2005 年 9 月 17 日

9/16



(a)

9/17



(b)

圖 4-3.5 沙鹿、西屯、大里、南投測站之 NO<sub>2</sub>/Ox 比值變化圖(a) 2005 年 9 月 16 日(b) 2005 年 9 月 17 日

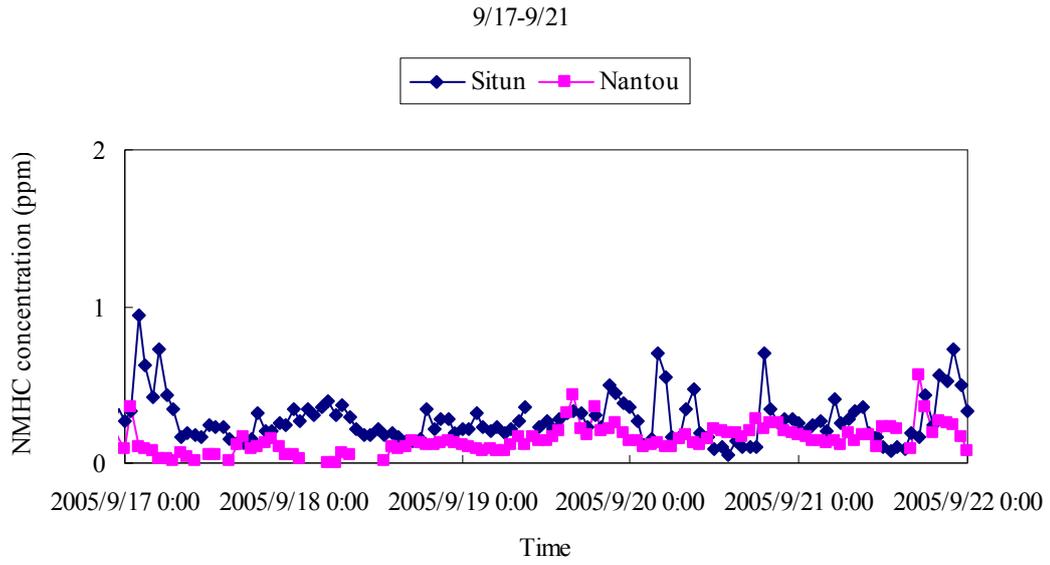


圖 4-3.6 2005 年 9 月 17 日至 21 日西屯及南投之 NMHC 變化圖

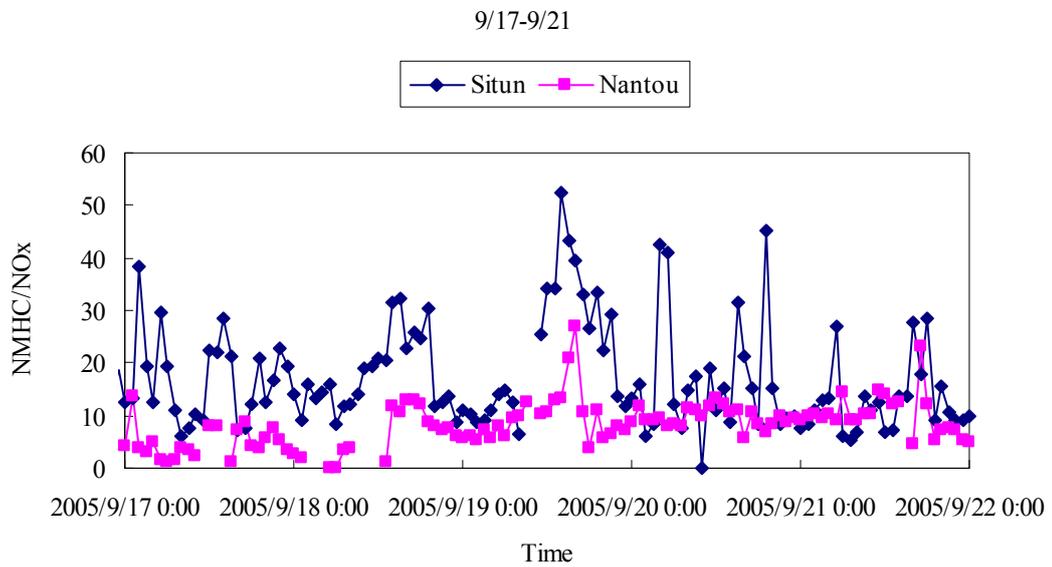


圖 4-3.7 2005 年 9 月 17 日至 21 日西屯及南投之 NMHC/NO<sub>x</sub> 比值變化圖

## 4-4 TAPM 模式模擬

選用環保署中部地區各測站(豐原、沙鹿、西屯、忠明、大里、彰化、二林、南投、竹山)進行實測值與模擬值的比對，透過 TAPM 模式模擬，輸出逐時模擬值將其與實際監測資料進行一致性指數(IOA)以及皮爾森相關係數分析。

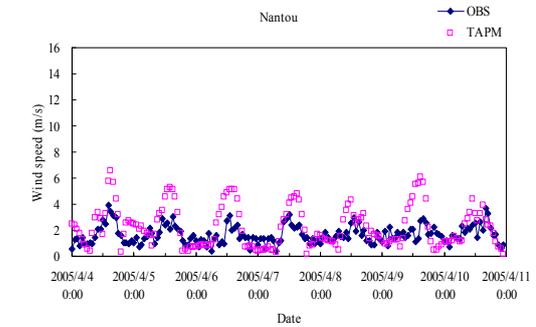
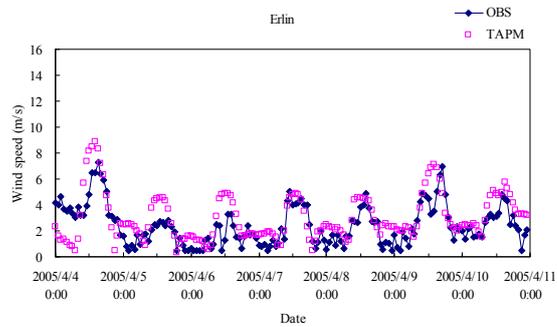
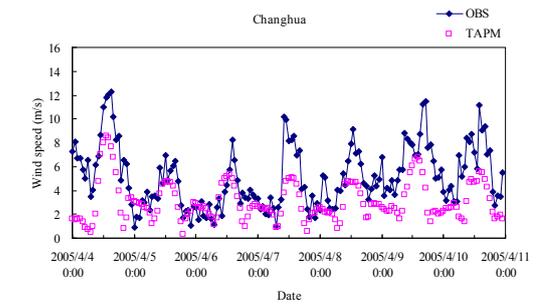
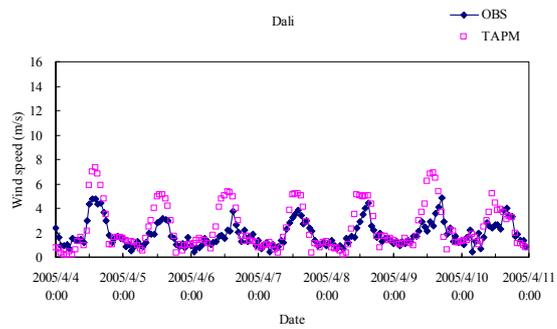
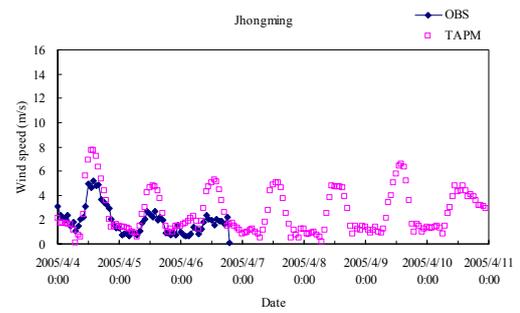
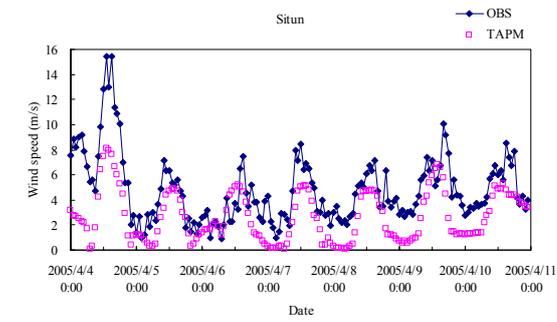
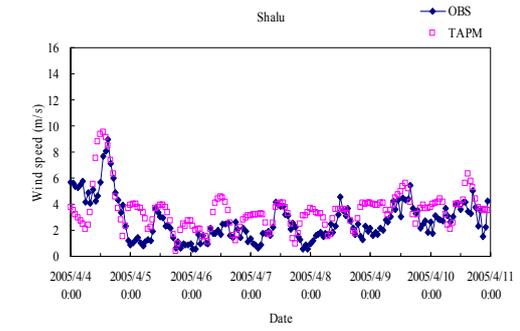
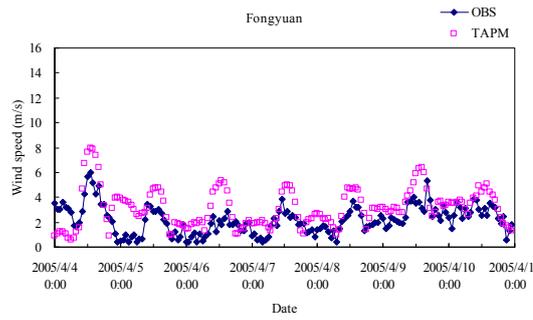
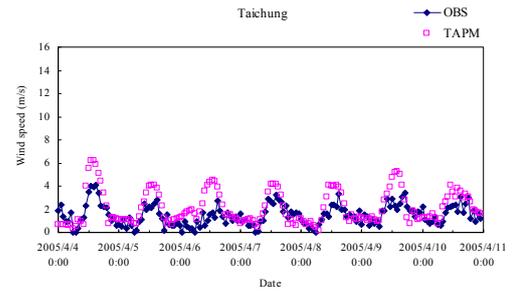
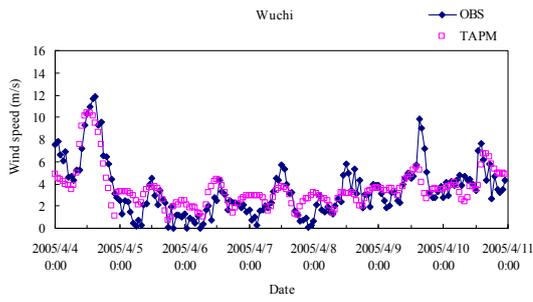
本研究選用 2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日及 9 月 15 日至 9 月 21 日分別模擬春季與秋季之模擬案例輸出，根據 TAPM 之網格設定推算出中部地區氣象站與空氣品質監測站之位置，輸出中部地區 9 個測站逐時模擬值，並與測站觀測值進行比對分析(其中忠明測站在 2005 年 4 月 7 日至 4 月 10 日缺值，故忠明測站無實測值)。

### 4-4.1 氣象場模擬結果分析

#### 一、氣象場-風速模擬

##### (1) 春季

案例模擬時間選擇 2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日，根據環保署中部空品區空氣品質監測站資料顯示，在 6 日 1 時西屯風速最大，大里風速最小，經由往年實驗之結果得知熱島效應是出現在大里，大里為熱島中心，因此大里的風速會較低，而在大里附近地區風速都遠比大里高。(圖 4-4.1) TAPM 模式模擬 2005 年 4 月 4 日 ~ 4 月 10 日風速之結果與實際監測都稍有變化，有模擬出風速的趨勢，其中梧棲、大里、二林、竹山模擬的較好，一致性係數皆在 0.80 以上，而其它測站也模擬的不錯，一致性係數在 0.62 以上，模擬結果與實際監測接近。(表 4-4.1) 為中部空品監測站與模式模擬之模式驗證，一致性係數平均值達到 0.76 呈現不錯的一致性。整體而言模擬的還不錯。



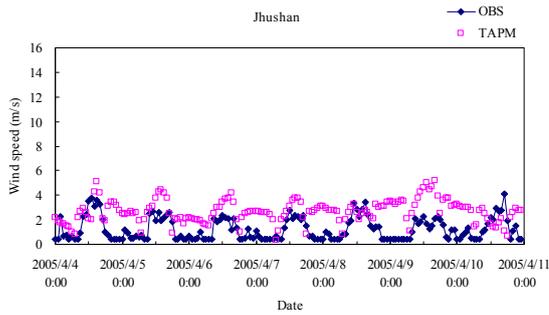


圖 4-4.1 2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日中部空品區各監測站之觀測值與模擬值之風速(m/s)變化趨勢圖。

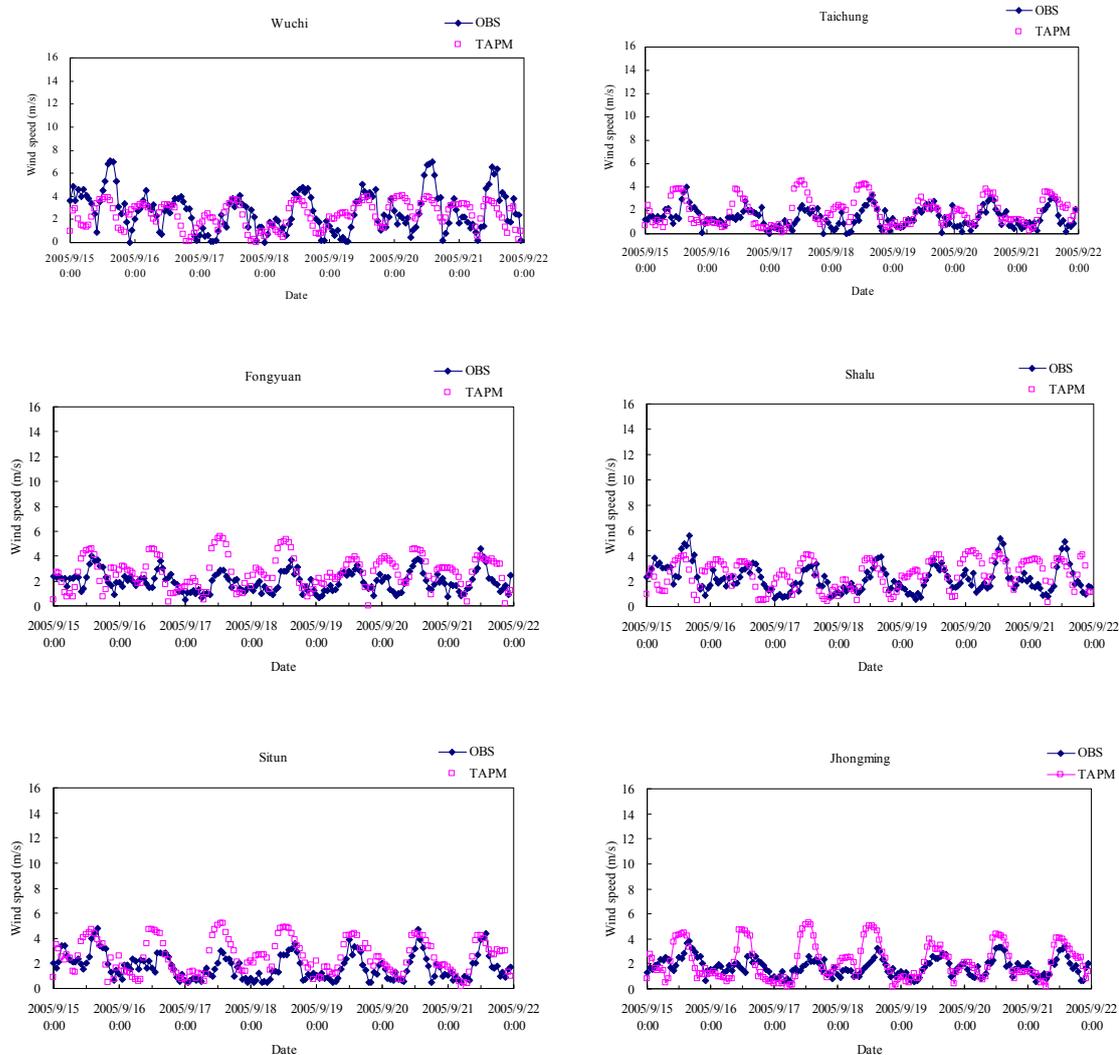
表 4-4.1 春季中部空品監測站與模式模擬之風速(m/s)統計分析

SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Wuchi	3.45	3.55	2.42	1.77	0.79	0.86
Taichung	1.49	2.12	0.89	1.42	0.75	0.75
Fongyuan	2.19	3.14	1.13	1.54	0.63	0.69
Shalu	2.71	3.52	1.58	1.50	0.62	0.74
Situn	4.77	2.65	2.68	2.00	0.75	0.71
Jhongming	1.90	2.55	1.14	1.77	0.81	0.77
Dali	1.89	2.35	1.03	1.81	0.80	0.80
Changhua	5.14	3.06	2.60	1.66	0.68	0.66
Erlin	2.42	3.01	1.55	1.80	0.71	0.81
Nantou	1.66	2.26	0.70	1.56	0.62	0.62
Jhushan	1.26	2.66	0.91	0.92	0.25	0.92
Average	2.62	2.81	1.51	1.61	0.67	0.76

OBS= observation, TAPM=The air pollution model, AVG= Average, STD= Standard bias, CORR=Correlation Coefficient, IOA = Index of agreement

## (2) 秋季

模式模擬時間為 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日，根據環保署中部空品區空氣品質監測站資料顯示，南投在 19 日 15 時有最大風速 3.49 m/s，而在 17 時有最小風速 0.59，所有測站中南投風速最小。(圖 4-4.2) TAPM 模式模擬 2005 年 9 月 15 日~ 9 月 21 日風速之結果與實際監測都有些變化，有模擬出風速的趨勢，其中西屯、大里、二林、竹山模擬的較好，一致性係數皆在 0.70 以上，其餘測站也模擬的不錯，一致性係數皆有在 0.50 以上，模擬結果與實際監測相近。(表 4-4.2) 為中部空品監測站與模式模擬之模式驗證，一致性係數平均值達到 0.66 呈現不錯的一致性。



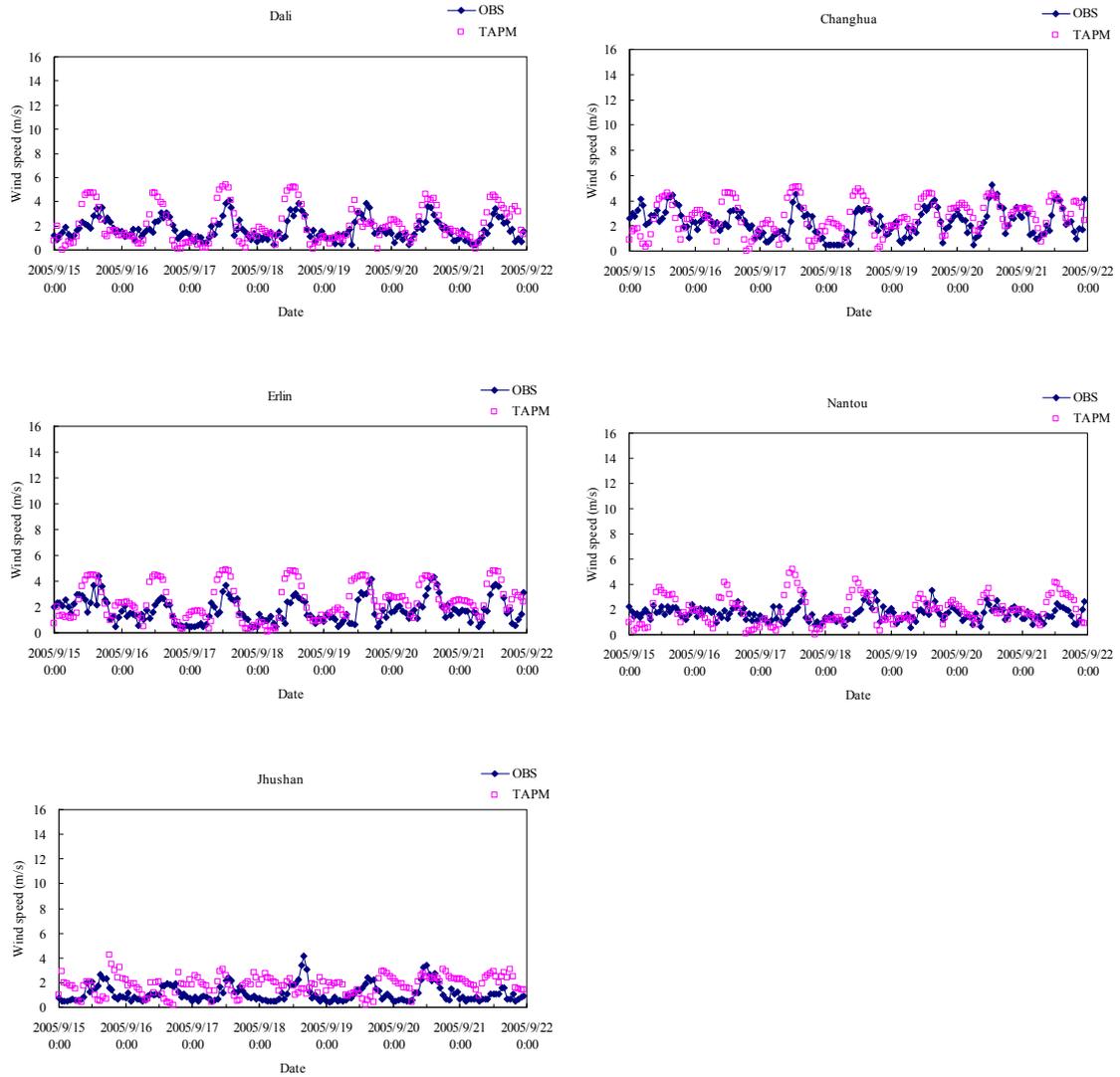


圖 4-4.2 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日中部空品區各監測站之觀測值與模擬值之風速(m/s)變化趨勢圖。

表4-4.2 秋季中部空品監測站與模式模擬之風速(m/s)統計分析

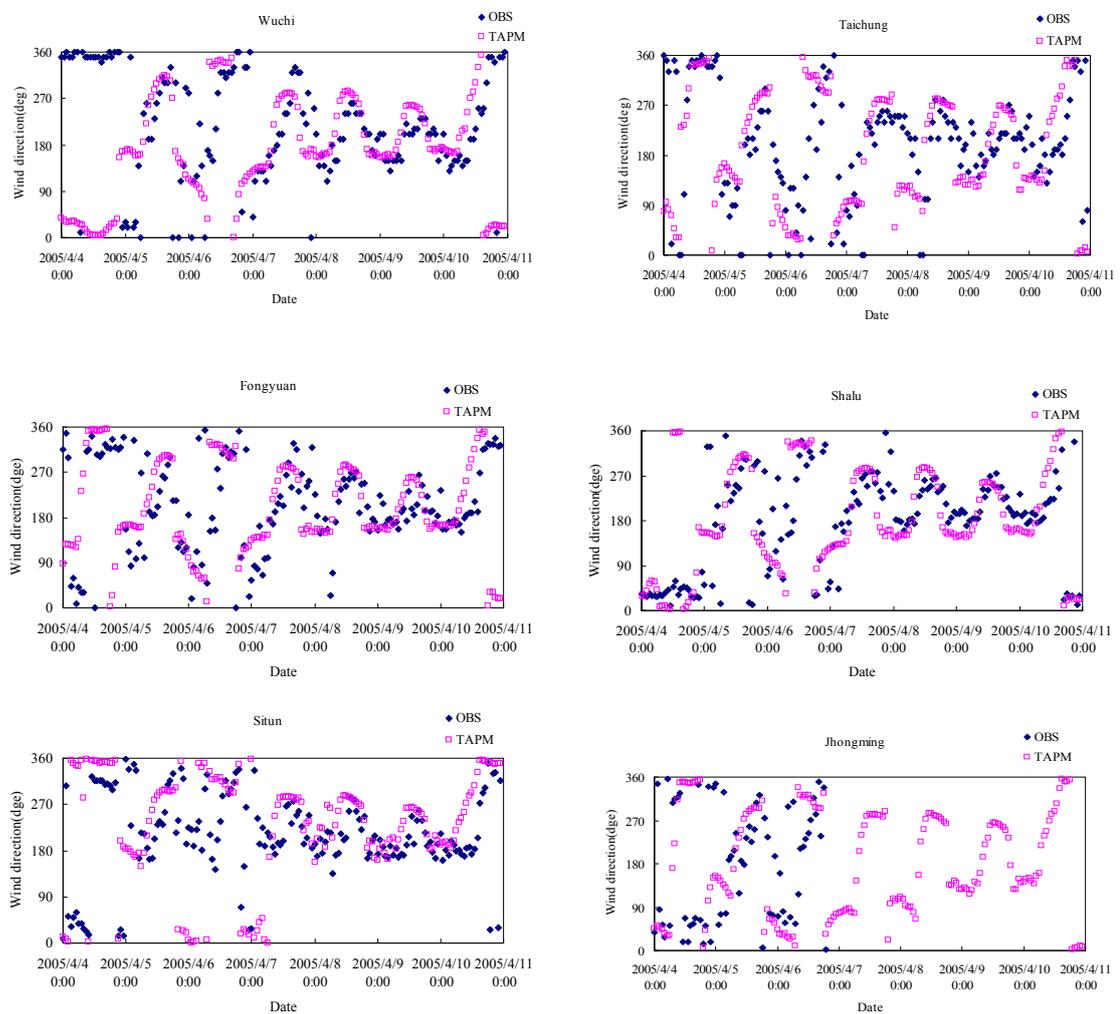
SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Wuchi	2.67	2.38	1.73	1.09	0.45	0.62
Taichung	1.39	1.86	0.83	1.15	0.54	0.68
Fongyuan	1.97	2.68	0.81	1.28	0.50	0.61
Shalu	2.23	2.55	1.08	1.13	0.36	0.61
Situn	1.75	2.54	1.02	1.34	0.62	0.70
Jhongming	1.77	2.16	0.71	1.40	0.59	0.64
Dali	1.71	2.07	0.87	1.48	0.66	0.73
Changhua	2.30	2.69	1.07	1.30	0.48	0.67
Erlin	1.78	2.43	0.96	1.36	0.64	0.71
Nantou	1.69	1.98	0.56	1.12	0.35	0.50
Jhushan	1.13	1.81	0.70	0.74	-0.14	0.81
Average	1.85	2.29	0.94	1.22	0.46	0.66

OBS= observation, TAPM=The air pollution model, AVG= Average, STD= Standard bias,  
CORR=Correlation Coefficient, IOA = Index of agreement

## 二、氣象場-風向模擬

### (1) 春季

TAPM 模式模擬 2005 年 4 月 4 日~4 月 10 日風向之結果(圖 4-4.3)與實際監測值稍有差異，從模擬結果可以看出大部分的測站模擬值在白天都是呈現西南風和西北風，而晚上則是呈現東南風及東北風。大里、南投測站的模擬值也相同，而實測值大多呈現西南風及西北風，模擬值和實測值相近。



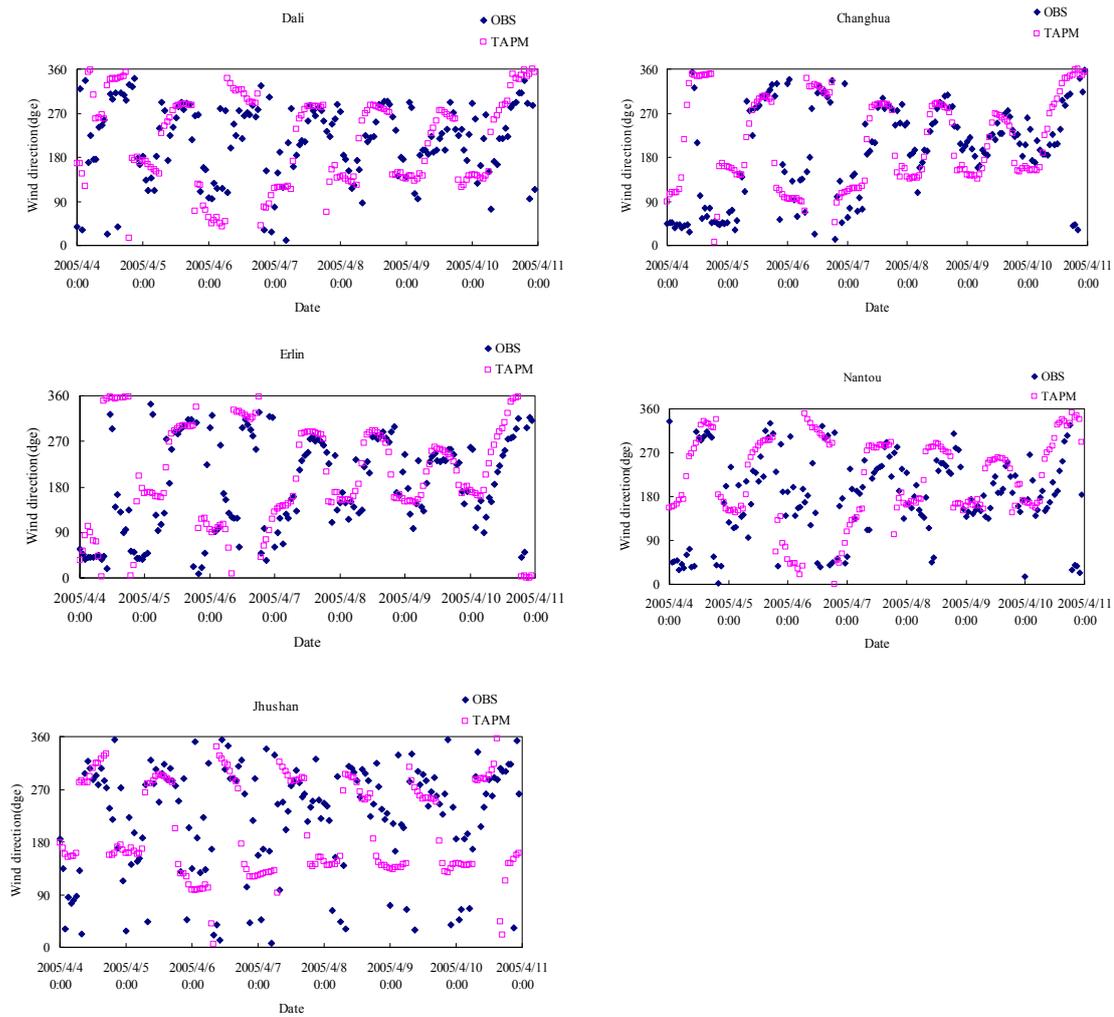
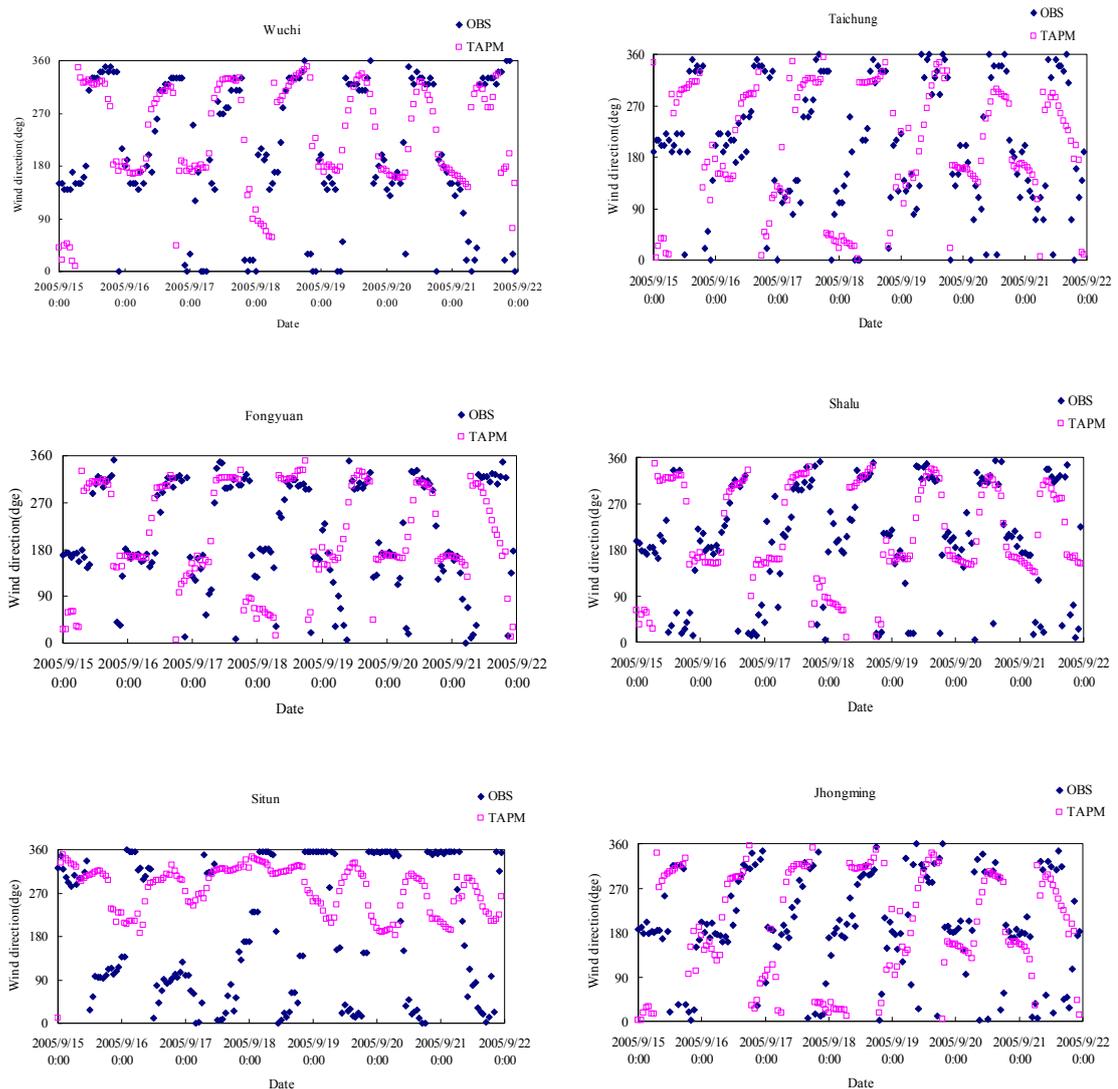


圖 4-4.3 2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日中部空品區各監測站之觀測值與模擬值之風向(dgs)變化趨勢圖。

## (2) 秋季

TAPM 模式模擬 2005 年 9 月 15 日~9 月 21 日風向之結果(圖 4-4.4)與實際監測值仍有差異，大里測站的模擬值和實測值大多呈現西南風及西北風，模擬值和實測值相近。從模擬結果可以看出大部分的測站模擬值在白天都是呈現西南風和西北風，而晚上則是呈現東南風及東北風。



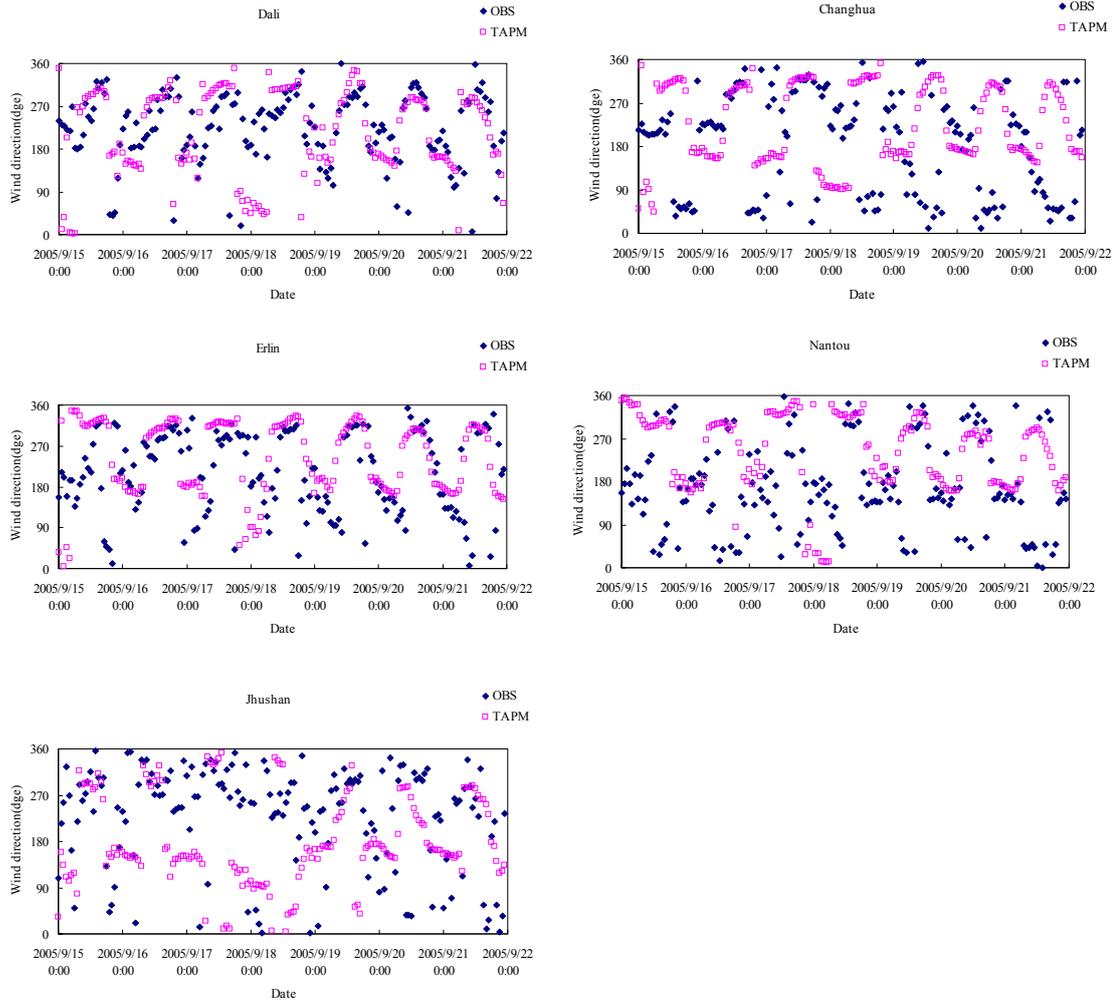
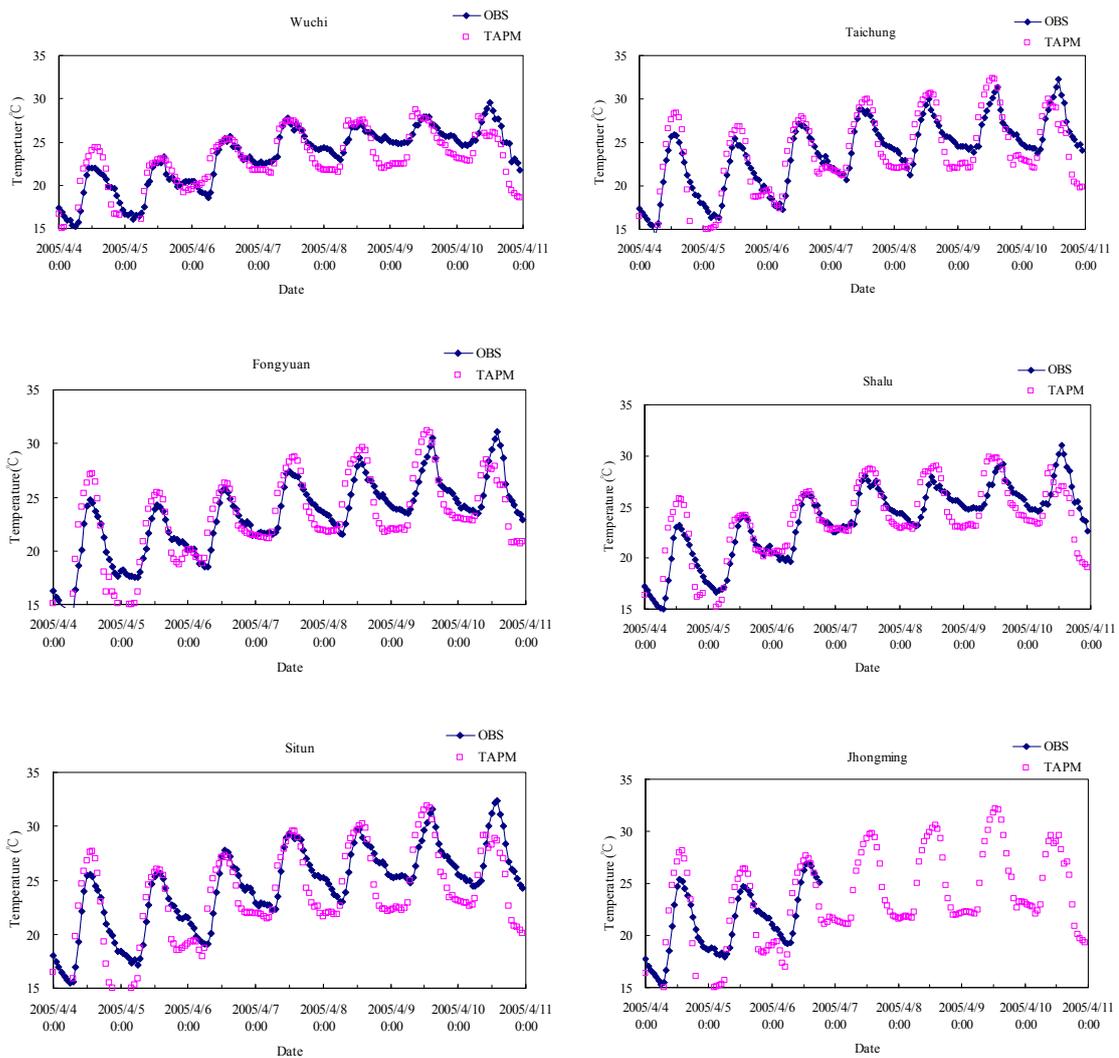


圖 4-4.4 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日中部空品區各監測站之觀測值與模擬值之風向(dgs)變化趨勢圖。

### 三、氣象場-溫度模擬

#### (1) 春季

統計環境保護署空氣品質監測站 2005 年 4 月 4 日~4 月 10 日中部空品區溫度之趨勢變化，南投有最低溫度在 4 日 07 時，而最高溫度在 10 日 14 時，所有測站的溫度都很接近，皆呈現在 15°C 至 35°C 之間。TAPM 模式模擬溫度之結果（圖 4-4.5）與實際監測相當接近，有模擬出溫度的趨勢，其中梧棲、台中、豐原、沙鹿、西屯、竹山模擬的較好，一致性係數高達 0.91 以上，其它測站一致性係數都有在 0.80 以上，模擬結果與實際監測接近。（表 4-4.3）為中部空品監測站與模式模擬之模式驗證，一致性係數平均值高達 0.89 呈現良好的一致性。



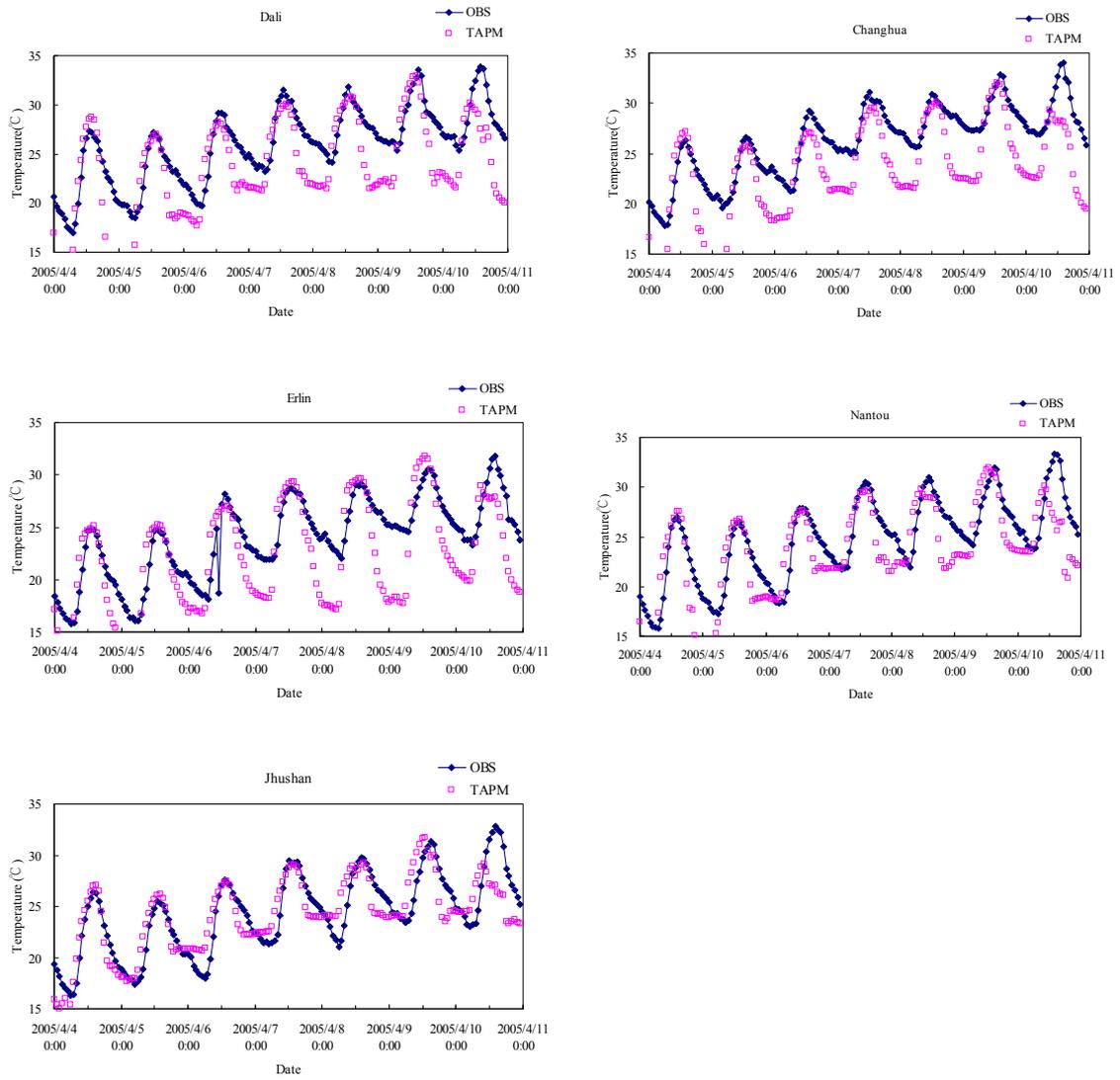


圖 4-4.5 2005 年 4 月 4 日至 4 月 10 日中部空品區各監測站之觀測值與模擬值之溫度變化趨勢圖。

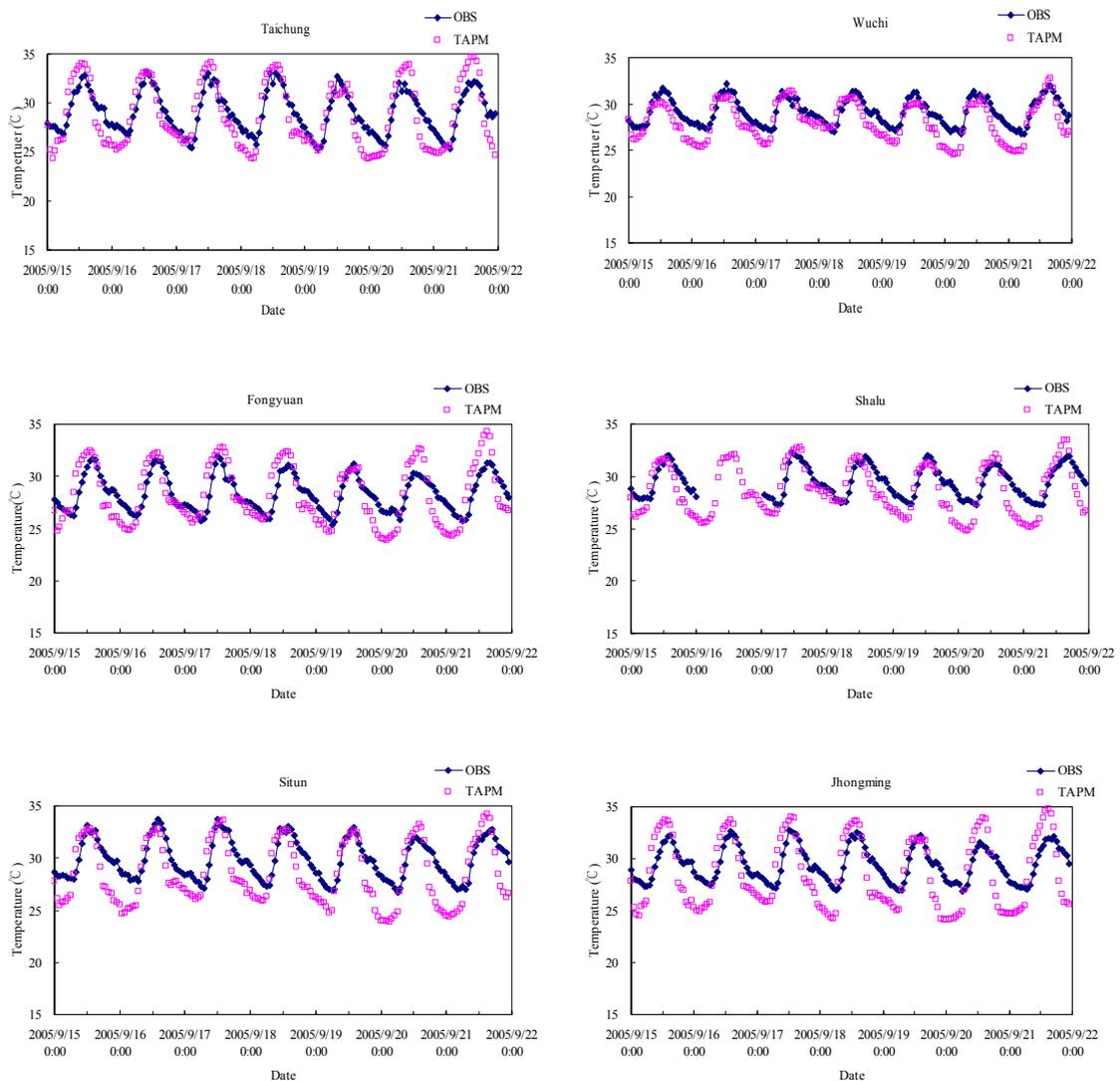
表4-4.3 春季中部空品監測站與模式模擬之溫度統計分析

SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Wuchi	23.22	22.57	3.39	3.64	0.88	0.93
Taichung	23.81	23.36	3.87	4.88	0.89	0.93
Fongyuan	23.13	22.84	3.51	4.30	0.89	0.93
Shalu	23.57	23.35	3.52	3.97	0.87	0.92
Situn	24.41	23.21	3.78	4.63	0.87	0.91
Jhongming	21.16	23.13	3.17	4.88	0.88	0.87
Dali	25.86	23.42	3.86	5.05	0.83	0.83
Changhua	26.30	23.20	3.62	4.62	0.86	0.80
Erlin	23.89	21.96	3.88	5.06	0.80	0.84
Nantou	24.78	23.50	4.11	4.61	0.82	0.88
Jhushan	24.32	24.16	3.91	3.60	0.84	1.00
Average	24.04	23.15	3.69	4.48	0.86	0.89

OBS= observation, TAPM=The air pollution model, AVG= Average, STD= Standard bias,  
CORR=Correlation Coefficient, IOA = Index of agreement

## (2) 秋季

統計環境保護署空氣品質監測站 2005 年 9 月 15 日~ 9 月 21 日中部空品區溫度之趨勢變化，竹山最低溫度在 19 日 07 時，而南投有最高溫度在 17 日 14 時，所有測站的溫度都很接近，皆呈現在 15°C 至 35°C 之間。TAPM 模式模擬溫度之結果（圖 4-4.6）與實際監測相當接近，有模擬出溫度的趨勢，其中梧棲、台中、豐原、沙鹿、西屯、大里、竹山等測站模擬的較好，一致性係數達到 0.80 以上，其它測站一致性係數皆有在 0.69 以上，模擬結果與實際監測接近。（表 4.4.4）為中部空品監測站與模式模擬之模式驗證，一致性係數平均值高達 0.81 呈現良好的一致性。



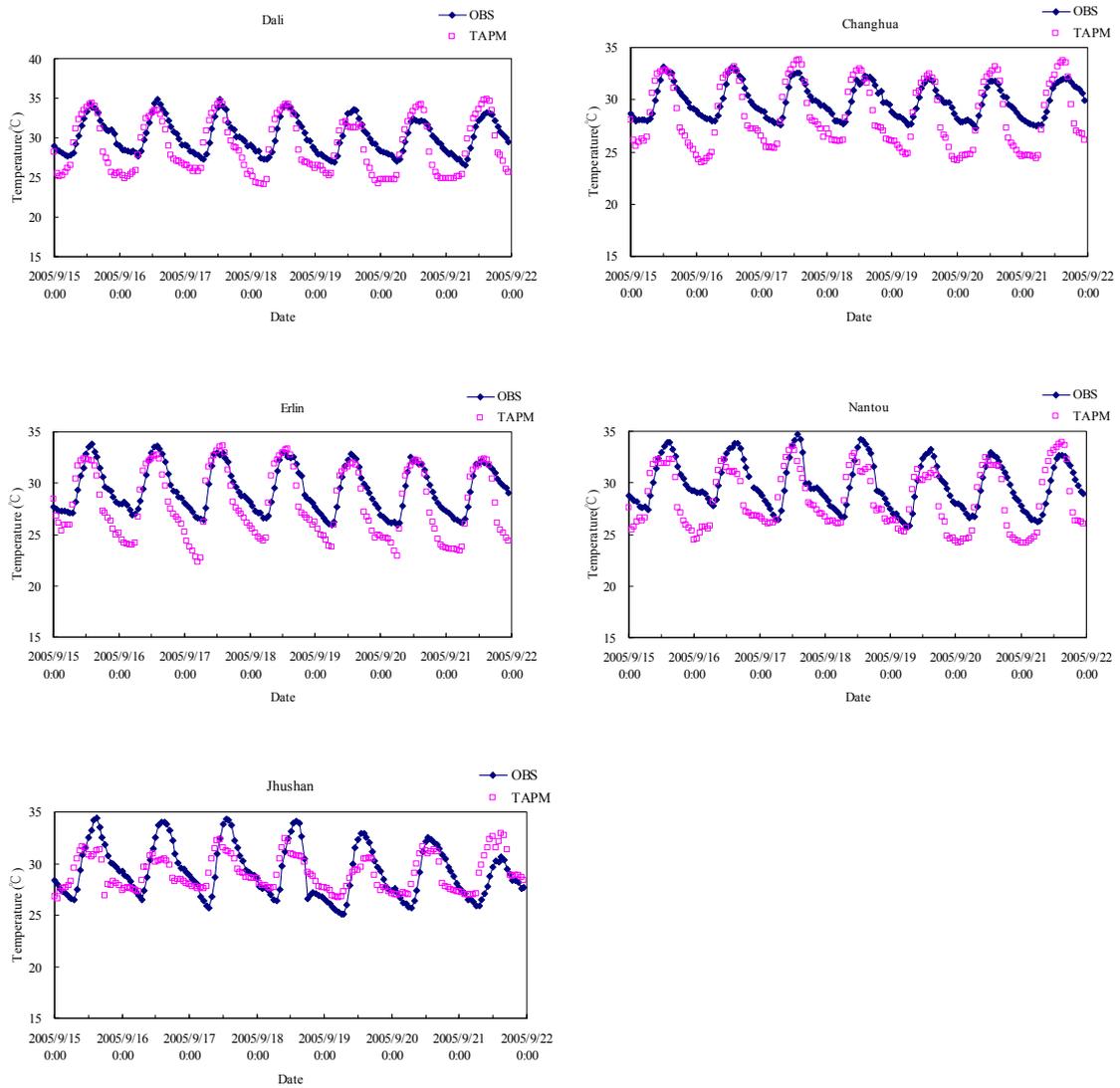


圖 4-4.6 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日中部空品區各監測站之觀測值與模擬值之溫度變化趨勢圖。

表4-4.4 秋季中部空品監測站與模式模擬之溫度統計分析

SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Wuchi	29.12	28.06	1.47	1.99	0.89	0.84
Taichung	29.06	28.75	2.19	3.28	0.88	0.89
Fongyuan	28.39	28.25	1.74	2.80	0.80	0.84
Shalu	29.46	28.65	1.51	2.35	0.80	0.81
Situn	29.88	28.52	1.92	2.99	0.82	0.80
Jhongming	29.46	28.59	1.72	3.36	0.78	0.76
Dali	30.19	28.87	2.21	3.42	0.79	0.80
Changhua	29.83	28.47	1.63	3.10	0.81	0.75
Erlin	29.38	27.97	2.28	3.30	0.87	0.70
Nantou	29.83	28.41	2.36	2.88	0.72	0.69
Jhushan	29.25	29.07	2.53	1.65	0.65	1.00
Average	29.44	28.51	1.96	2.83	0.80	0.81

OBS= observation, TAPM=The air pollution model, AVG= Average, STD= Standard bias,

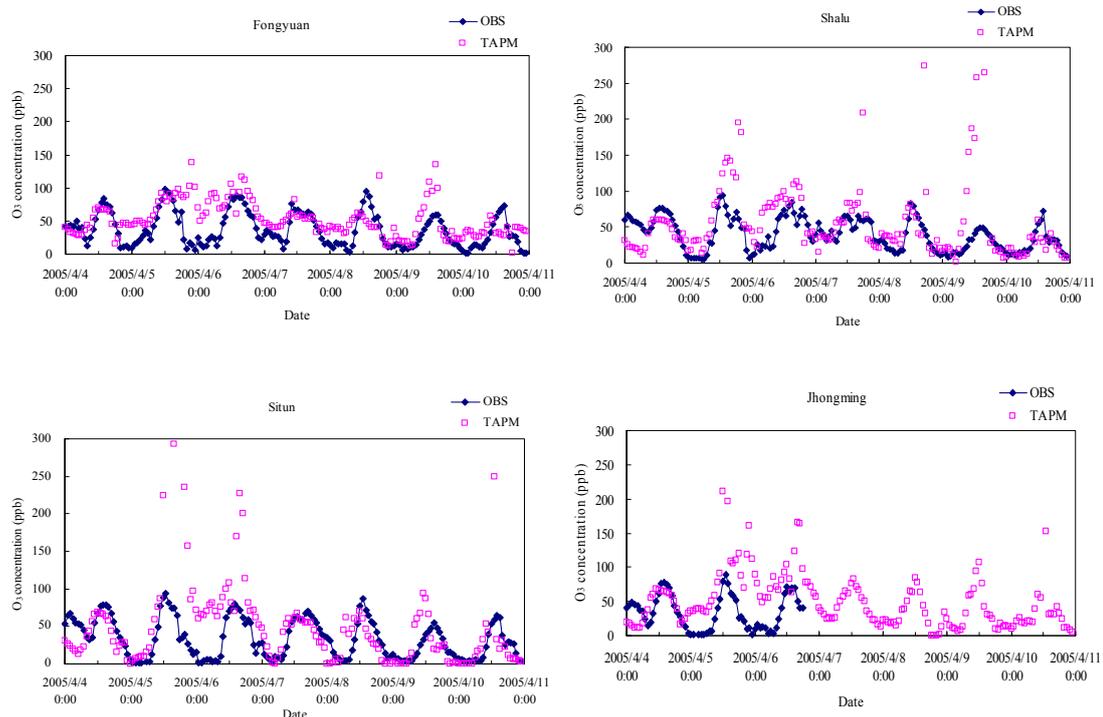
CORR=Correlation Coefficient, IOA = Index of agreement

## 4-4.2 污染物濃度模擬結果分析

### 一、臭氧濃度模擬

#### (1) 春季

行政院環保署中部空品區南投空氣品質監測站資料顯示臭氧濃度在4月5日有高值出現，而在14時有最高出現（豐原 91.2 ppb、沙鹿 79.2 ppb、西屯 80.9ppb、忠明 75.5 ppb、大里 74.8 ppb、彰化 68.1 ppb、二林 71.4 ppb、南投 103.5 ppb、竹山 101.9 ppb）。TAPM 模式模擬 2005 年 4 月 4 日~4 月 10 日 O<sub>3</sub> 濃度之結果（圖 4-4.7）與實測值皆有明顯的日夜變化，有模擬出 O<sub>3</sub> 濃度的趨勢，其中彰化模擬的較好，一致性係數達 0.75，一致性佳，其它測站一致性係數皆有在 0.50 以上，模擬值與實際值有明顯的差異。（表 4-4.5）為中部空品監測站與模式模擬之模式驗證，一致性係數平均值為 0.57 呈現不錯的一致性。



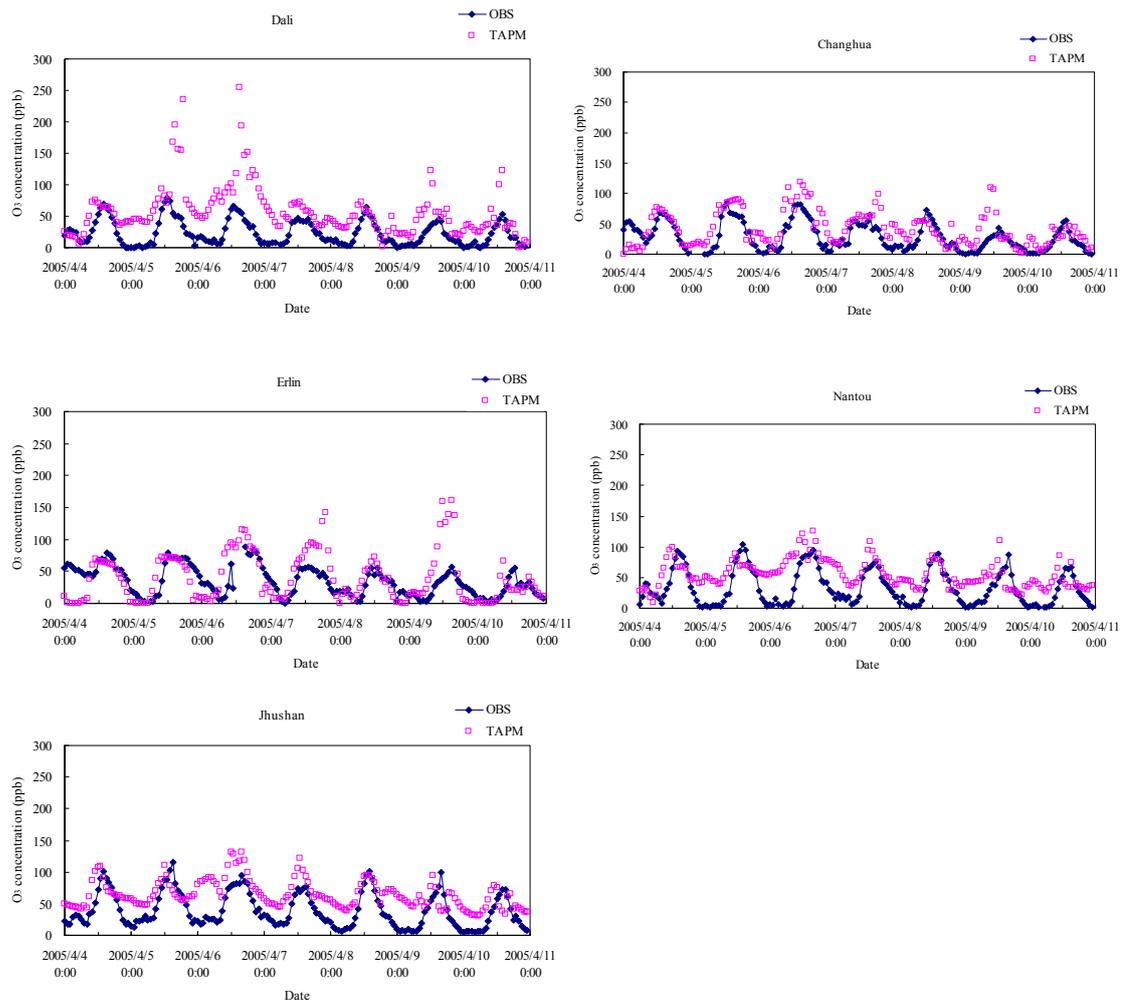


圖4-4.7 2005年4月4日至4月10日中部空品區各監測站之觀測值與模擬值之臭氧濃度變化趨勢圖。

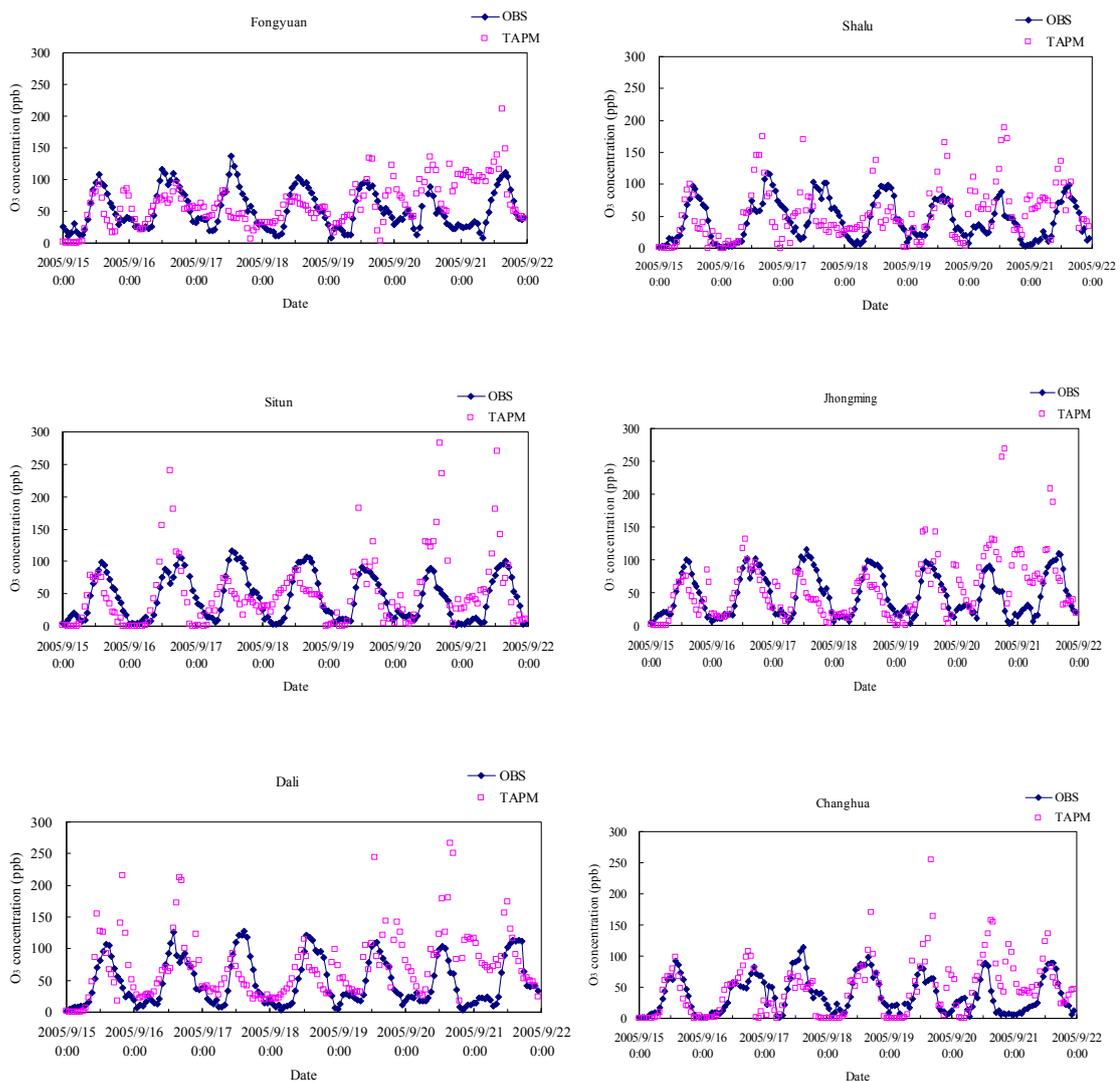
表4-4.5 春季中部空品監測站與模式模擬之臭氧濃度統計分析

SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Fongyuan	36.84	52.76	25.49	26.30	0.48	0.65
Shalu	39.49	62.16	22.57	71.58	0.33	0.32
Situn	33.37	58.57	25.98	82.64	0.46	0.42
Jhongming	34.35	52.45	25.47	48.55	0.42	0.47
Dali	23.26	57.21	19.85	40.12	0.55	0.50
Changhua	29.21	41.63	22.80	28.07	0.66	0.75
Erlin	34.77	39.88	22.65	37.94	0.52	0.64
Nantou	33.71	55.60	28.78	22.47	0.61	0.67
Jhushan	39.57	64.84	27.60	22.36	0.65	0.67
Average	33.84	53.90	24.58	42.22	0.52	0.57

OBS= observation, TAPM=The air pollution model, AVG= Average, STD= Standard bias,  
CORR=Correlation Coefficient, IOA = Index of agreement

## (2) 秋季

行政院環保署中部空品區南投空氣品質監測站資料顯示臭氧濃度在9月17日有高值出現，在15時出現最高值（豐原 107.8 ppb、沙鹿 78.0 ppb、西屯 104.3ppb、忠明 103.2 ppb、大里 128.7 ppb、彰化 114.1 ppb、二林 76.7 ppb、南投 125.7 ppb、竹山 102.6 ppb），南投及大里皆出現高值。TAPM 模式模擬 2005 年 9 月 15 日~ 9 月 21 日 O<sub>3</sub> 濃度之結果（圖 4-4.8）與實測值皆有明顯的日夜變化，有模擬出 O<sub>3</sub> 濃度的趨勢，其中彰化模擬的較好，一致性係數達 0.70，一致性佳，其它測站除了沙鹿之外，一致性係數皆有在 0.50 以上，模擬值與實際值有差異。（表 4-4.6）為中部空品監測站與模式模擬之模式驗證，一致性係數平均值為 0.58 呈現不錯的一致性。



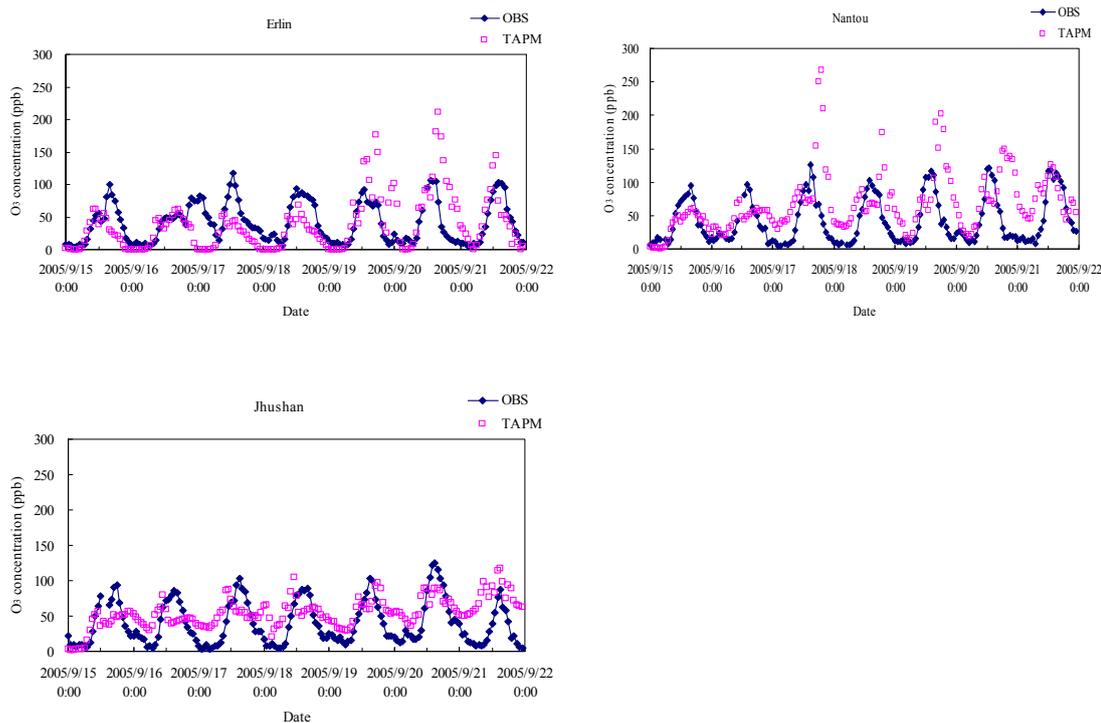


圖 4-4.8 2005 年 9 月 15 日至 9 月 21 日中部空品區各監測站之觀測值與模擬值之臭氧濃度變化趨勢圖。

表 4-4.6 秋季中部空品監測站與模式模擬之臭氧濃度統計分析

SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Fongyuan	52.52	61.71	30.75	34.61	0.34	0.59
Shalu	44.40	59.31	31.52	75.46	0.30	0.39
Situn	44.46	57.29	34.93	69.54	0.48	0.55
Jhongming	47.06	55.73	33.18	45.76	0.44	0.64
Dali	47.84	71.71	37.18	50.56	0.43	0.60
Changhua	37.83	46.26	29.70	43.53	0.55	0.70
Erlin	40.57	37.88	30.97	41.67	0.49	0.67
Nantou	42.55	66.78	34.94	44.57	0.31	0.50
Jhushan	39.89	54.57	31.00	21.51	0.46	0.62
Average	44.12	56.80	32.69	47.47	0.42	0.58

OBS= observation, TAPM=The air pollution model, AVG= Average, STD= Standard bias, CORR=Correlation Coefficient, IOA = Index of agreement

### 4-4.3 模式軌跡

#### 一、春季

由 2005 年 4 月 4 日 1600LST (Fig 4-4.9, 模擬時間第 64 小時)氣塊軌跡圖顯示氣塊受海風的影響吹入中部地區，進入了彰化地區，在海風盛行的情況下，在 1700LST(第 64 小時)時再傳輸至南投，且持續的往內陸地區移動。

而 4 月 5 日 1400LST (Fig 4-4.10, 模擬時間第 86 小時)軌跡圖顯示，由於海風的關係將氣塊由沿海地區漸漸帶入至二林，再傳輸至南投(第 86 小時)，且持續往內陸移動。

4 月 6 日 1600LST (Fig 4-4.11, 模擬時間第 112 小時)軌跡圖顯示海風將污染物吹進台中地區，持續圍繞在附近，在第 97 小時時，呈現陸風，又吹向沿海地區，而在第 109 小時之後，又從沿海地區將污染物帶進內陸地區，並持續往內陸移動。

4 月 7 日 1500LST (Fig 4-4.12, 模擬時間第 135 小時)氣塊軌跡圖顯示污染物由沿海地區漸漸進入中部地區，且持續往內陸移動，持續圍繞在內陸地區。

4 月 8 日 1400LST (Fig 4-4.13, 模擬時間第 158 小時)軌跡圖顯示污染物由沿海地區進入中部地區，且持續往內陸移動。

4 月 9 日 1600LST (Fig 4-4.14, 模擬時間第 184 小時)軌跡圖顯示氣塊在外海受東北風的影響，將污染物帶入中部地區，並持續往內陸移動，圍繞在內陸地區。

在 4 月 10 日 1300LST (Fig 4-4.15, 模擬時間第 205 小時)氣塊軌跡圖顯示在 202 小時時，污染物從沿海地區進入中部地區，再到內陸地區，且持續往內陸移動。

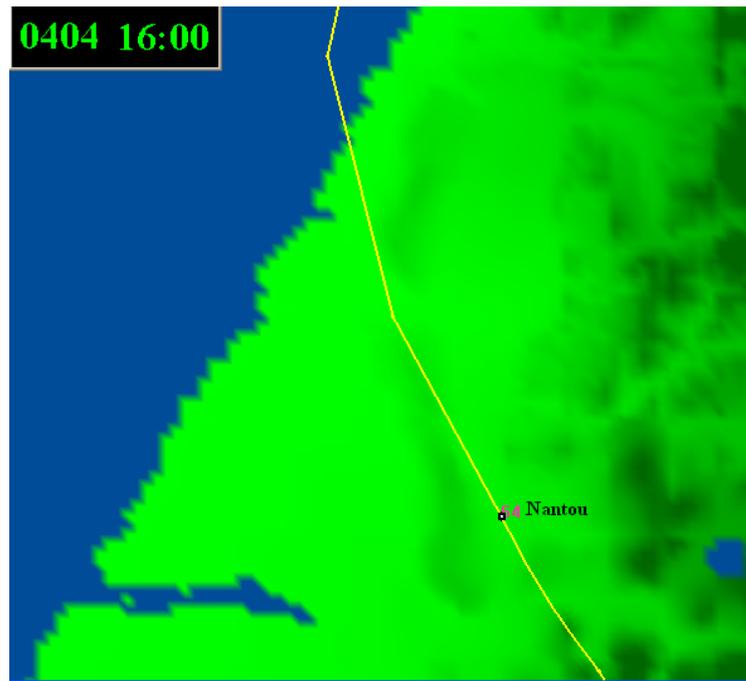


圖 4-4.9 2005 年 4 月 4 日 1600 LST (模擬時間第 64 小時) 南投氣塊軌跡圖。

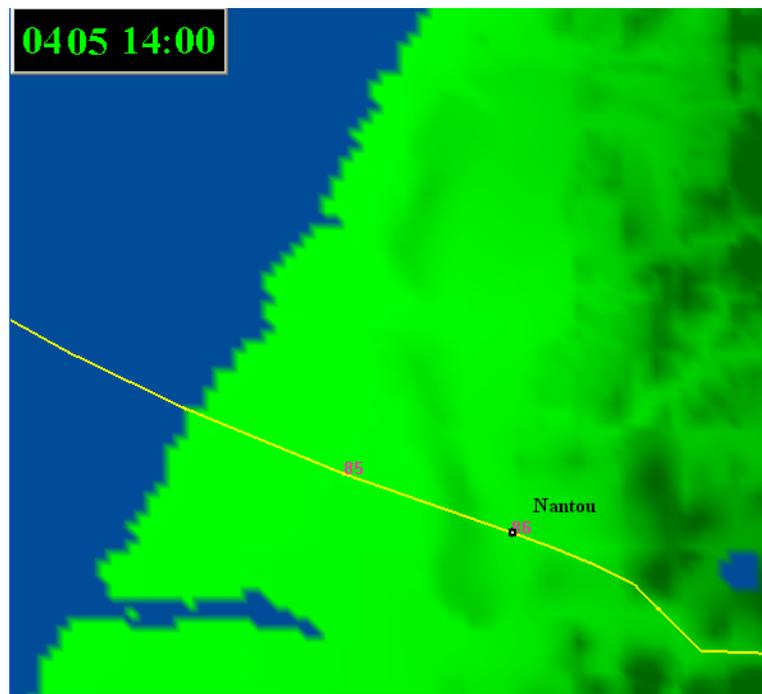


圖 4-4.10 2005 年 4 月 5 日 1400 LST (模擬時間第 86 小時) 南投氣塊軌跡圖。

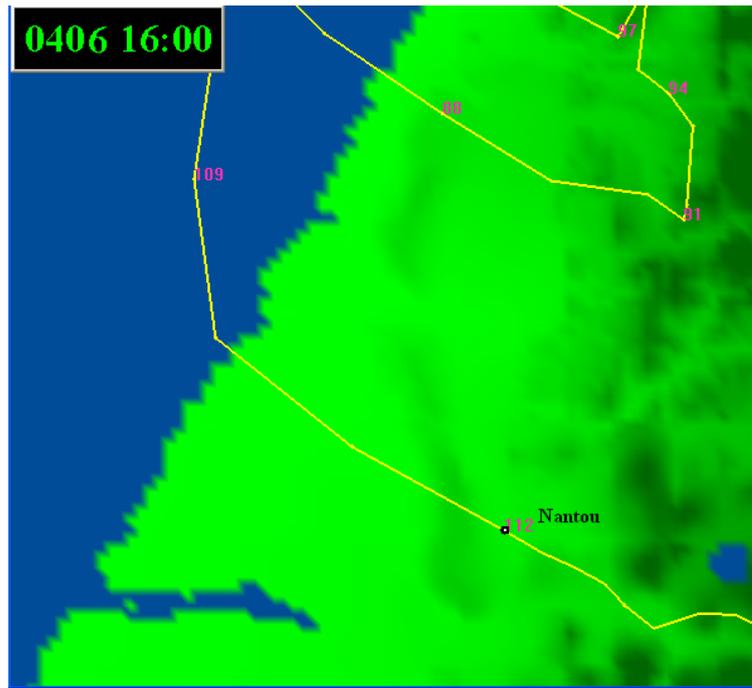


圖 4-4.11 2005 年 4 月 6 日 1600 LST (模擬時間第 112 小時) 南投氣塊軌跡圖。

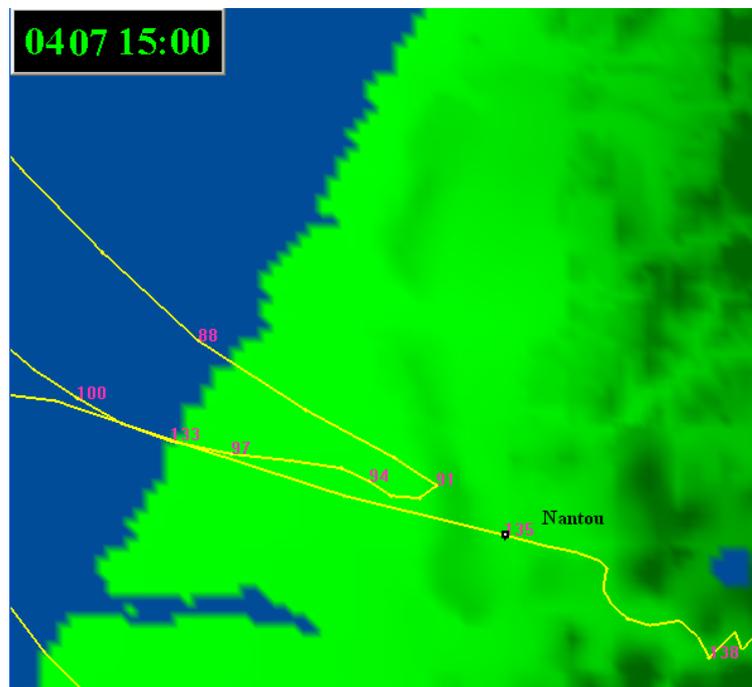


圖 4-4.12 2005 年 4 月 7 日 1500 LST (模擬時間第 135 小時) 南投氣塊軌跡圖。

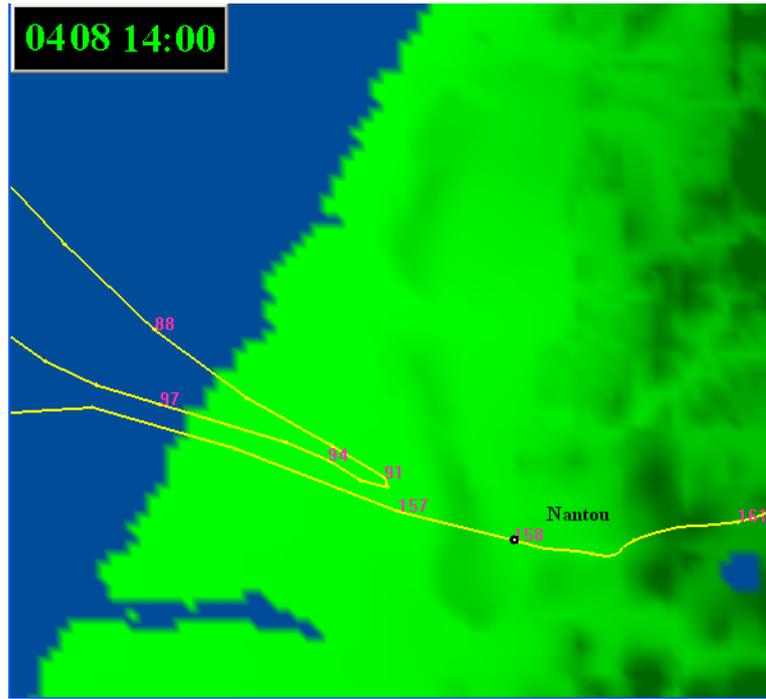


圖 4-4.13 2005 年 4 月 8 日 1400 LST (模擬時間第 158 小時) 南投氣塊軌跡圖。

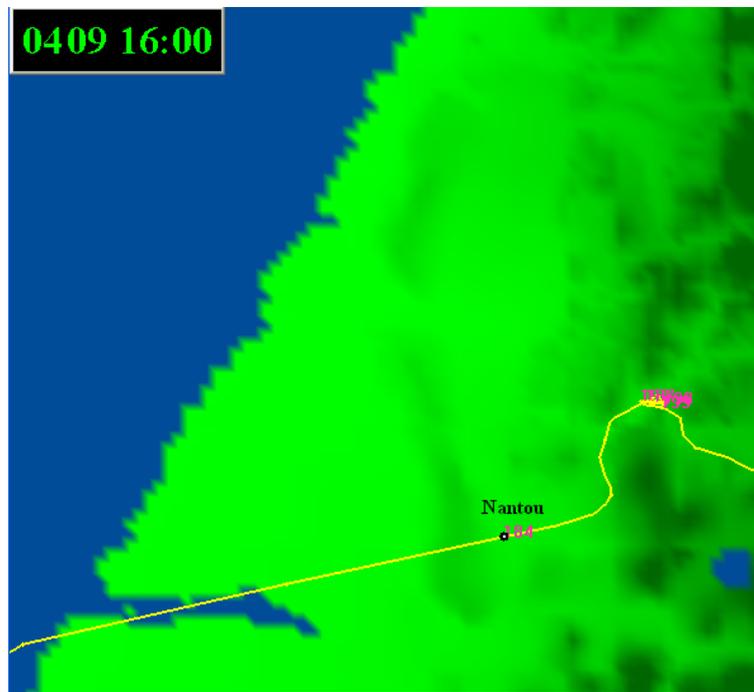


圖 4-4.14 2005 年 4 月 9 日 1600 LST (模擬時間第 184 小時) 南投氣塊軌跡圖。



圖 4-4.15 2005 年 4 月 10 日 1300 LST (模擬時間第 205 小時) 南投氣塊軌跡圖。

## 二、秋季

在 2005 年 9 月 15 日 1600LST (Fig 4-4.16, 模擬時間第 16 小時) 氣塊軌跡圖顯示氣塊受西北風及海風的影響吹入中部地區, 在海風的影響情況下, 在 1600LST(第 16 小時)時再傳輸至南投, 且持續的往內陸地區移動, 並環繞在內陸地區。

9 月 16 日 1400LST (Fig 4-4.17, 模擬時間第 38 小時)軌跡圖顯示, 氣塊由南部往沿海地區吹拂, 又於沿海地區吹往中部地區, 又傳輸至南投地區, 持續環繞在內陸地區, 並往內陸地區移動。

9 月 17 日 1500LST (Fig 4-4.18, 模擬時間第 63 小時)臭氧值高達 125.7 ppb, 綜觀天氣條件受到颱風外圍環流的影響, 使海風藉由太陽輻射將海風將海風吹向陸地, 軌跡圖顯示氣塊受海風影響下將污染物帶入中部地區, 再吹往南投, 並往南部持續移動。

9 月 18 日 1400LST (Fig 4-4.19, 模擬時間第 86 小時)氣塊軌跡圖顯示污染物漸漸由沿海地區吹入中部地區, 再往南投移動, 並持續往內陸移動, 且圍繞在內陸地區。

9 月 19 日 1400LST (Fig 4-4.20, 模擬時間第 110 小時)軌跡圖顯示氣塊由沿海地區吹入中部地區, 再吹至南投, 且圍繞在內陸地區, 並持續往內陸移動。

由 9 月 20 日 1200LST (Fig 4-4.21, 模擬時間第 132 小時)軌跡圖顯示氣塊從內陸地區往西方移動, 在二林附近又往南, 且仍持續往南部移動。

9 月 21 日 1300LST (Fig 4-4.22, 模擬時間第 157 小時)氣塊軌跡圖顯示氣塊呈現陸風, 由南部往沿海地區吹拂, 在 154 小時時, 污染物從沿海地區吹入中部地區, 並傳輸至南投, 再傳至內陸地區, 且又從內陸中部地區移動。

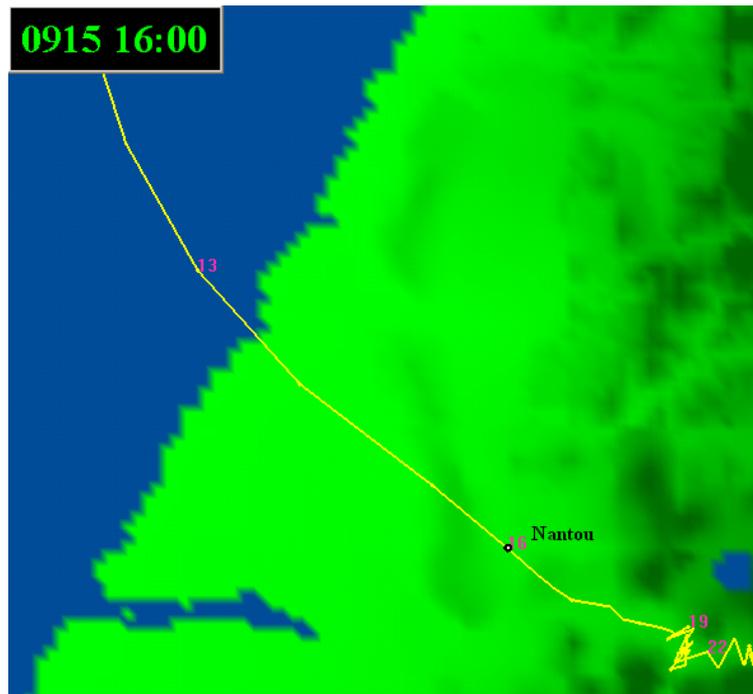


圖 4-4.16 2005 年 9 月 15 日 1600 LST (模擬時間第 16 小時) 南投氣塊軌跡圖。

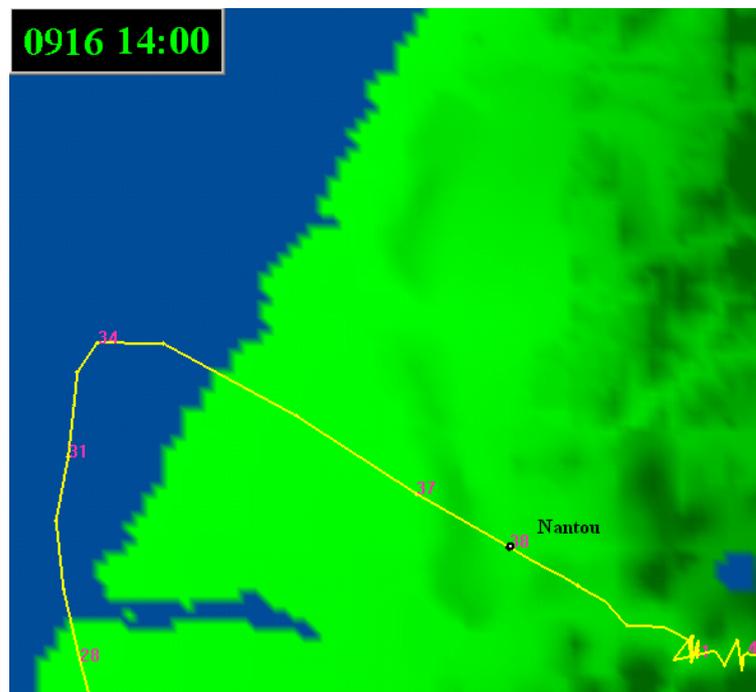


圖 4-4.17 2005 年 9 月 16 日 1400 LST (模擬時間第 38 小時) 南投氣塊軌跡圖。



圖 4-4.18 2005 年 9 月 17 日 1400 LST (模擬時間第 63 小時) 南投氣塊軌跡圖。

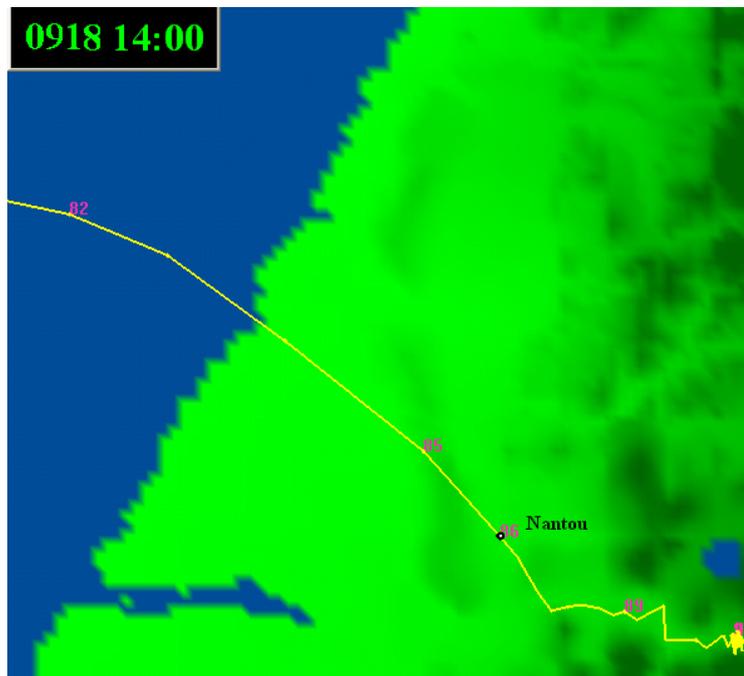


圖 4-4.19 2005 年 9 月 18 日 1400 LST (模擬時間第 86 小時) 南投氣塊軌跡圖。

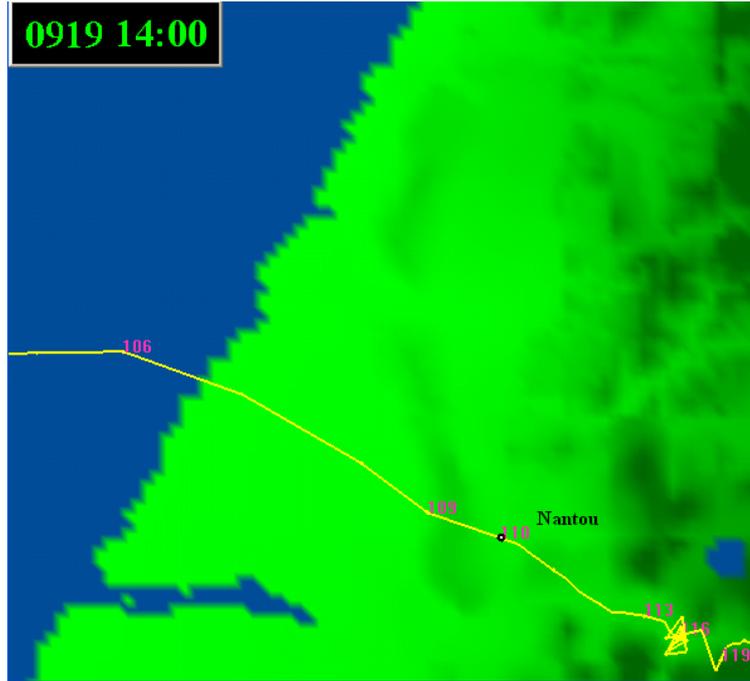


圖 4-4.20 2005 年 9 月 19 日 1400 LST (模擬時間第 110 小時) 南投氣塊軌跡圖。

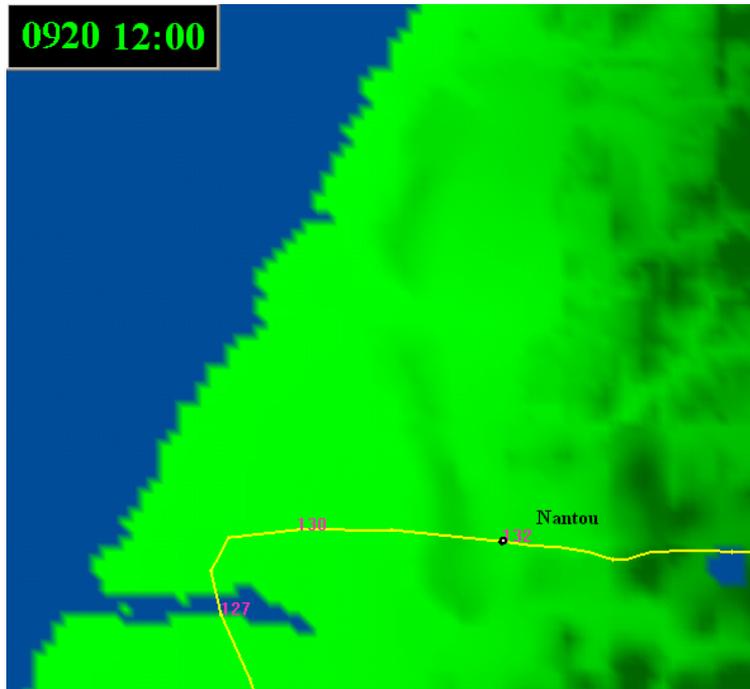


圖 4-4.21 2005 年 9 月 20 日 1200 LST (模擬時間第 132 小時) 南投氣塊軌跡圖。

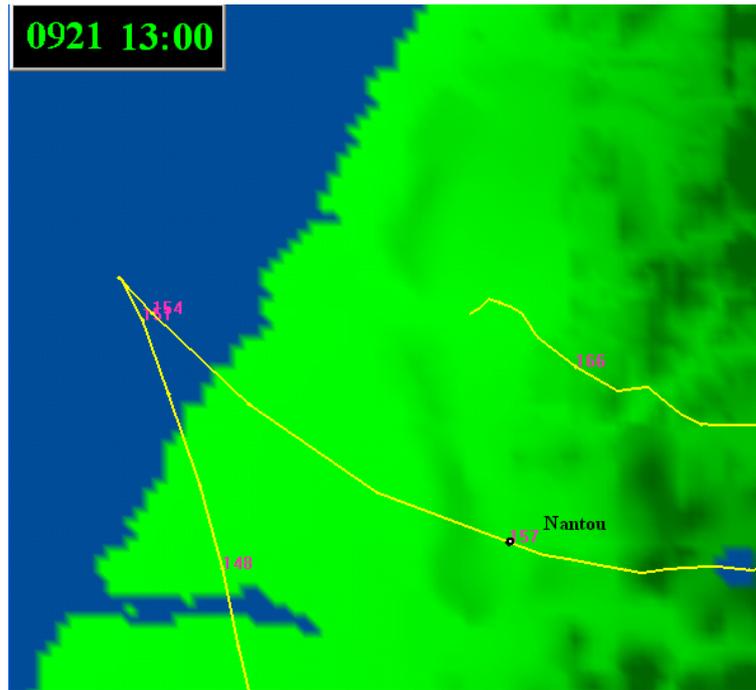


圖 4-4.22 2005 年 9 月 21 日 1300 LST (模擬時間第 157 小時) 南投氣塊軌跡圖。



## 第五章 結論

根據 2005 年所有颱風所在之位置探討  $O_3$  與  $NO_2$  之滴定效應及污染物來源；以及南投繫留探空監測資料，瞭解大氣中氣象與污染物之垂直結構與分佈；且也引用空氣污染模式，模擬本研究期間中部地區之大氣環境與  $O_3$  傳輸情形，以軌跡模式來探討氣塊在中部地區移動之途徑對  $O_3$  事件的影響。研究結論說明如下：

1. 台灣每年夏、秋兩季主要受到颱風的影響，且也受到中央山脈之阻擋，其外圍環流所挾帶之下沈氣流，不利於污染物擴散，進而容易造成中部地區發生高  $O_3$  濃度。
2. 以長期趨勢來說，中部空品區之臭氧年平均濃度是呈現逐漸上升的狀態。
3. 當颱風形成或未接近台灣時，外圍環流所影響之部分地區空氣品質狀況，視颱風的強度及所在之位置而有所差異。本研究針對 2005 年颱風所在之位置分四類型進行探討，研究發現颱風位於 TypeA 類型之  $O_3$  平均濃度比其他三個類型較高，因此可得知颱風位在偏東方時，亦有高  $O_3$  值。
4. 滴定效應分為三個時段，第一時段快速上升導致滴定反應最強烈的原因為  $NO$  濃度不斷與  $O_3$  濃度反應，產生大量的  $NO_2$  濃度；第二時段緩慢上升之滴定反應開始變得較為平緩；而到第三時段滴定反應時，大量的  $O_3$  濃度被產生， $NO$  濃度來不及參與滴定反應，因此反應微弱。
5. 藉由主成份分析可看出不同時段皆有不同的小組關係，第一時段（2100 LST ~ 0700 LST）可分為二群；第二時段（1000 LST）可分為二群；第三時段（1200 LST ~ 1400 LST）可分為一群。
6. 根據探空監測資料顯示，第一時段（2100 LST ~ 0600 LST）近地面（約 15 - 50 m）與高空（約 300 - 600 m）皆有明顯的滴定變化；第二時段因繫留探空垂直監測資料無這段時間的資料，固無第二時段；到了中午（1200 LST）時，無論

近地面或高空皆已無明顯的滴定反應，因此中午時段內陸地區容易造成高 O<sub>3</sub> 濃度情形。

7. 9月16日和9月17日是颱風最接近台灣的時候，在9月16日1500 LST時，NO<sub>2</sub>濃度也隨之上升至17.5 ppb。O<sub>3</sub>前驅物白天由於海風傳輸，且夜間風速低的情形下，導致內陸地區污染物的累積，產生高 O<sub>3</sub> 值。而9月17日中午，太陽輻射旺盛、風速低及溫度高的情形下，容易造成 O<sub>3</sub> 濃度形成並累積，導致南投 O<sub>3</sub> 濃度垂直剖面於100 m以下有最高濃度121.5 ppb。
8. Type A之風場圖，風速小，風場呈現東風，臭氧濃度平均最高，混合層高度平均最低。Type B之風場圖，風速稍小，臭氧濃度平均比Type A低。Type C之風場圖，風速較微弱，臭氧濃度平均比Type A和Type B類型都較低。Type D之風場圖，這類型臭氧濃度平均最低，混合層高度平均最高。
9. 藉由繫留探空監測資料，可瞭解大氣中氣象與污染物之垂直結構與分佈；另外，亦使用空氣污染模式（TAPM）模擬本研究案例期間中部空品區之大氣環境及 O<sub>3</sub> 傳輸情形。
10. 在風速之模擬方面，春季監測值與模擬值之平均一致性指數為0.76，而秋季監測值與模擬值之平均一致性指數為0.66，呈現不錯的一致性，整體而言模擬的還不錯。
11. 溫度之模擬方面，春季監測值與模擬值之平均一致性指數為0.89，而秋季監測值與模擬值之平均一致性指數為0.81，呈現良好的一致性。
12. O<sub>3</sub> 濃度之模擬方面，春季監測值與模擬值之平均一致性指數為0.57，而秋季監測值與模擬值之平均一致性指數為0.58，呈現不錯的一致性。

TAPM的氣塊軌跡研究可以準確解析污染物的來源及傳輸路徑，未來可以善加利用，由軌跡模式來探討氣塊於中部地區之移動路徑對於 O<sub>3</sub> 事件之影響，本案例期間春季之氣塊路線大多呈現海風，由沿海地區往內陸吹拂，並持續往內陸移動；秋季之氣塊路線大多是受到海陸風影響污染物傳輸的作用，海風的影響較明顯。

## 參考文獻

- Arya, S. P., 1999, Air pollution meteorology and dispersion. Oxford University Press, Inc. 310 p.p.
- Boian, C., Kirchoff, V. W. J. H., 2005. Surface ozone enhancements in the south of Brazil owing to large-scale air mass transport. *Atmospheric Environment*, 39, 6140-6146.
- Carslaw, D. C., Beevers, S. D., 2004. Investigating the potential importance of primary NO<sub>2</sub> emissions in a street canyon. *Atmospheric Environment*, 38, 3585-3594.
- Chan, L. Y., Chan, C. Y., Qin, Y., 1998. Surface ozone pattern in Hong Kong. *Journal of Applied Meteorology*, 37, 1153-1165.
- Cheng, W. L., Hsu, C. H., Huang, J. D., Shi, J. L., 2005. Air pollution monitoring in Taiwan: An application of tether sounding in coastal central Taiwan. *Kor. J. Env. Hlth*, 31, 215-220.
- Cheng, W. L., 2001. Synoptic weather patterns and their relationship to high ozone concentrations in the Taichung Basin. *Atmospheric Environment*, 35, 4971-4994.
- Cheng, W-L., 2001a. Spatio-temporal variations of sulphur dioxide patterns with wind conditions in central Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 66, 77-98.
- Cheng, W. L., 2000. A vertical profile of ozone concentration in the atmospheric boundary layer over central Taiwan. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 75, 251-258.
- Chen, C. L., Tsuang, B. J., Tu, C. Y., Cheng, W. L., Lin, M. D., 2002. Wintertime vertical profiles of air pollutants over a suburban area in central Taiwan. *Atmospheric Environment*, 36, 2049-2059.
- Delcloo, A. W., Backer, H. D., 2005. Modelling planetary boundary layer ozone, using meteorological parameters at Uccle and Payerne. *Atmospheric Environment*, 39, 5067-5077.
- Ding, A., Wang, T., Zhao, M., Wang, T., Li, Z., 2004. Simulation of sea-land breezes and a discussion of their implications on the transport of air pollution during a multi-day ozone episode in the Pearl River Delta of China. *Atmospheric*

- Environment, 38, 6737-6750.
- Guerra, J. C., Rodríguez, S., Arencibia, M. T., García, M. D., 2004. Study on the formation and transport of ozone in relation to the air quality management and vegetation protection in Tenerife (Canary Island). *Chemosphere*, 56, 1157-1167.
- Holzworth, G. C., 1967. Mixing depths, wind speed and air pollution for selected locations in the United States. *Journal of applied Meteorology*, 6, 1039-1044.
- Hurley, P. J., Physick, W. L., Luhar, A. K., 2005. TAPM: a practical to prognostic meteorological and air pollution modeling. *Environmental Modelling & Software*, 20, 737-752.
- Hurley, P., Manins, P., Lee, S., Boyle, R., Ng, Y. L., Dewundege, P., 2003. Year-long, high-resolution, urban airshed modeling: verification of TAPM predictions of smog and particles in Melbourne, Australia. *Atmospheric Environment*, 37, 1899-1910.
- Hurley, P. J., Blockley, A., Rayner, K., 2001. Verification of a prognostic meteorological and air pollution model for year-long predictions in the Kwinana industrial region of Western Australia. *Atmospheric Environment*, 35, 1871-1880.
- Lam, K. S., Wang, T. J., Wu, C. L., Li, Y. S., 2005. Study on an ozone episode in hot season in Hong Kong and transboundary air pollution over Pearl River Delta region of China. *Atmospheric Environment*, 39, 1967-1977.
- Lin, C. H., Wu, Y. L., Lai, C. H., Lin, P. H., Lai, H. C., Lin, P. L., 2004. Experimental investigation of ozone accumulation overnight during a wintertime ozone episode in south Taiwan. *Atmospheric Environment*, 38, 4267-4278.
- Lin, C. H. and Wu, Y. L., 2003. Semi-statistical model for evaluating the effects of source emissions and meteorological effects on daily average NO<sub>x</sub> concentrations in South Taiwan. *Atmospheric Environment*, 37, 2051-2059
- Mazzeo, N. A., Venegas, L. E., Choren, H., 2005. Analysis of NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and NO<sub>x</sub> concentrations measured at a green area of Buenos Aires City during wintertime. *Atmospheric Environment*, 39, 3055-3068.
- Pison, I., Laurent, M., 2004. Quantification of the impact of aircraft traffic emissions on tropospheric ozone over Paris area. *Atmospheric Environment*, 38, 971-983
- Seinfeld, J. H., Pandis, S. N., 1998. *Atmospheric chemistry and physics from Air Pollution to climate change*. John Wiley & Sons, Inc., 1326 p.p.
- Seto, S., Oohara, M., Ikeda, Y., 2000. Analysis of precipitation chemistry at a rural site

- in Hiroshima Prefecture, Japan. *Atmospheric Environment*, 34, 621-628.
- So, K. L., Wang, T., 2003. On the local and regional influence on ground-level ozone concentrations in Hong Kong. *Environmental Pollution*, 123, 307-317.
- Tsuang, B. J., Lee, C. T., Cheng, M. T., Lin, N. H., Lin, Y. C., Chen, C. L., Peng, C. M., Kuo, P. H., 2003. Quantification on the source/receptor relationship of primary pollutants and secondary aerosols by a Gaussian plume trajectory model: Part III - Asian dust-storm periods. *Atmospheric Environment*, 37, 4007-4017.
- Turias, I. J., González, F. J., Martín, M. L., Galindo, P. L., 2006. A competitive neural network approach form meteorological situation clustering. *Atmospheric Environment*, 40, 532-541.
- Wilson, J. G., Peyman, Z. R., 2006. Intraurban-scale dispersion modeling of particulate matter concentrations: Applications for exposure estimates in cohort studies. *Atmospheric Environment*, 40, 1053-1063.
- 王明星，1999，大氣化學，氣象出版社，北京市。
- 戚啟勳，1993，大氣科學，大中國圖書公司，90。
- 黃俊英，1991，多變量分析(第四版)，華泰圖書文物公司，194。
- 白珏玲，1998，中部地區臭氧濃度特徵與天氣型態相關探討，碩士論文，東海大學環境科學系。
- 林清和、賴進興、吳義林、石正宏，2005，高屏地區臭氧儲留層之特性與其對於地面臭氧濃度之貢獻研究，第二十二屆空氣污染控制技術研討會論文集。黃怡嘉、程萬里，2001，中部空品區高臭氧日氣象條件之解析，中華民國環境保護學會會誌，24，26-50。
- 林能暉，2000，“北中南空品區 O<sub>3</sub> 與 PM<sub>10</sub> 污染之氣象條件研究”，國科會/環保署科技合作研究計劃報告。
- 莊秉潔，陳建隆，郭珮萱，杜佳穎，蔡徵霖，曾國信，藍詠耀，2003，高斯軌跡模式應用於台灣，第二十屆空氣污染控制技術研討會論文集。
- 張良輝、簡慧貞、呂鴻光，2002，臭氧污染控制物種與空氣污染防治策略之分析，中華民國環境保護學會學刊，25，95-116。
- 彭啟明，林松錦，台灣北部地區混合層高度的觀測與模擬，1994。第 11 屆空氣污染控制技術研討會論文專輯，513-522。

黃怡嘉，2001，中部空品區天氣型態對臭氧濃度相關之解析，碩士論文，東海大學環境科學系。

楊宏宇，1993，台灣地區空氣品質與天氣類型分類相關性研究，博士論文，中國文化大學地學研究所。

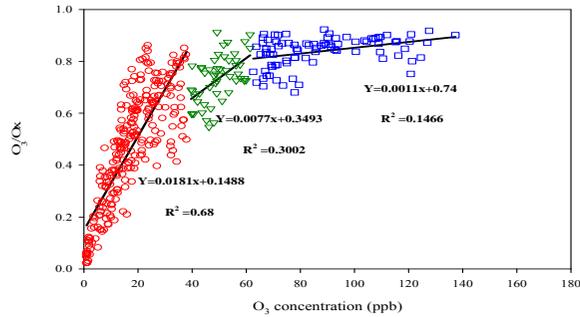
廖琇怡，2005，高雄市臭氧特性與氣象因子之相關性探討，碩士論文，國立中山大學環境工程研究所。

中央氣象局全球資訊網。

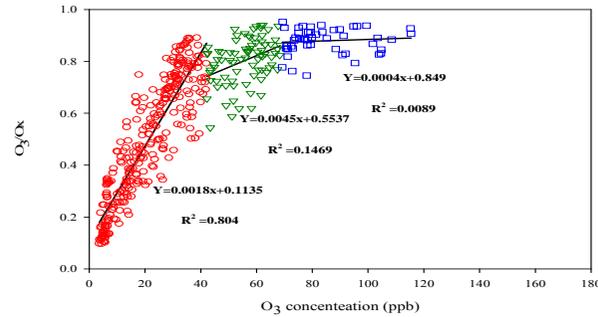
中華民國行政院環境保護署全球資訊網。

# 附錄一 (Type B)

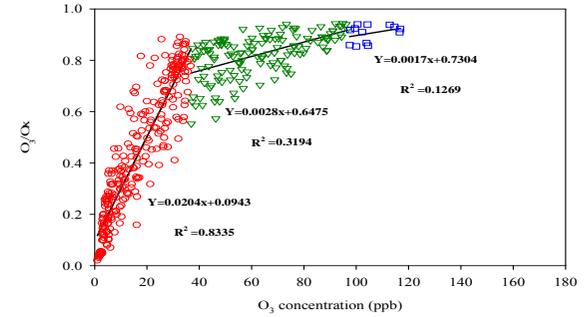
Titration effect of Fongyuan



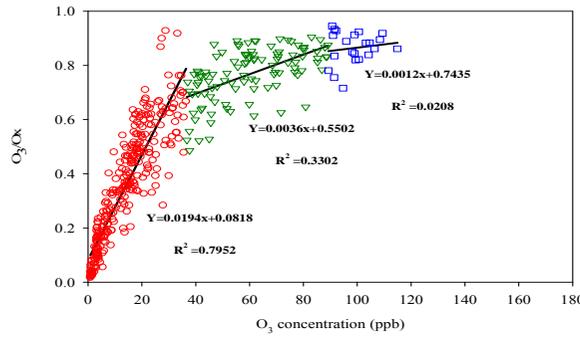
Titration effect of Shalu



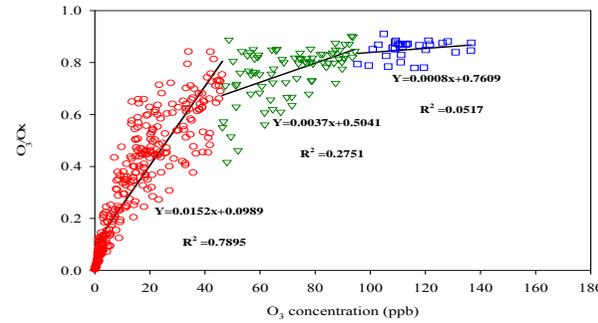
Titration effect of Situn



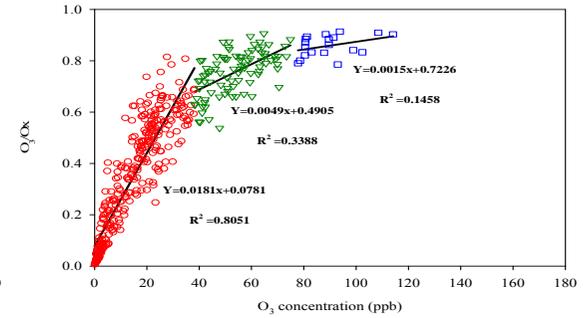
Titration effect of Jhngming



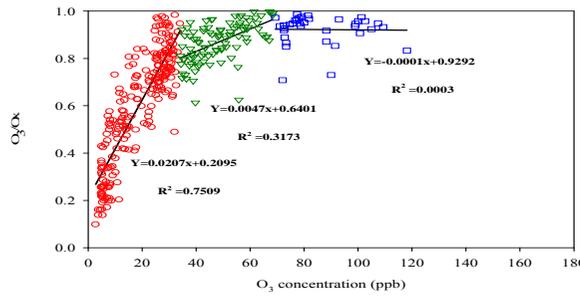
Titration effect of Dali



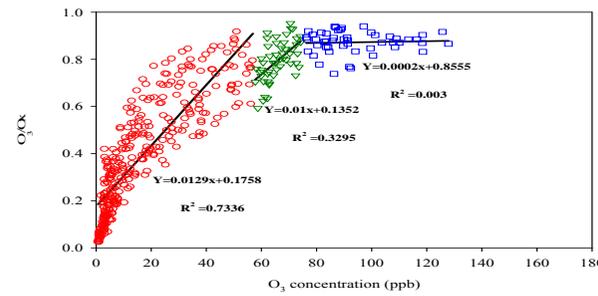
Titration effect of Changhua



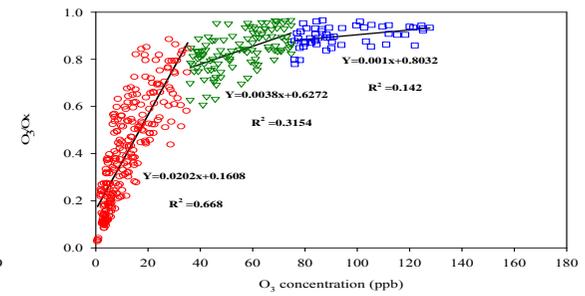
Titration effect of Erlin



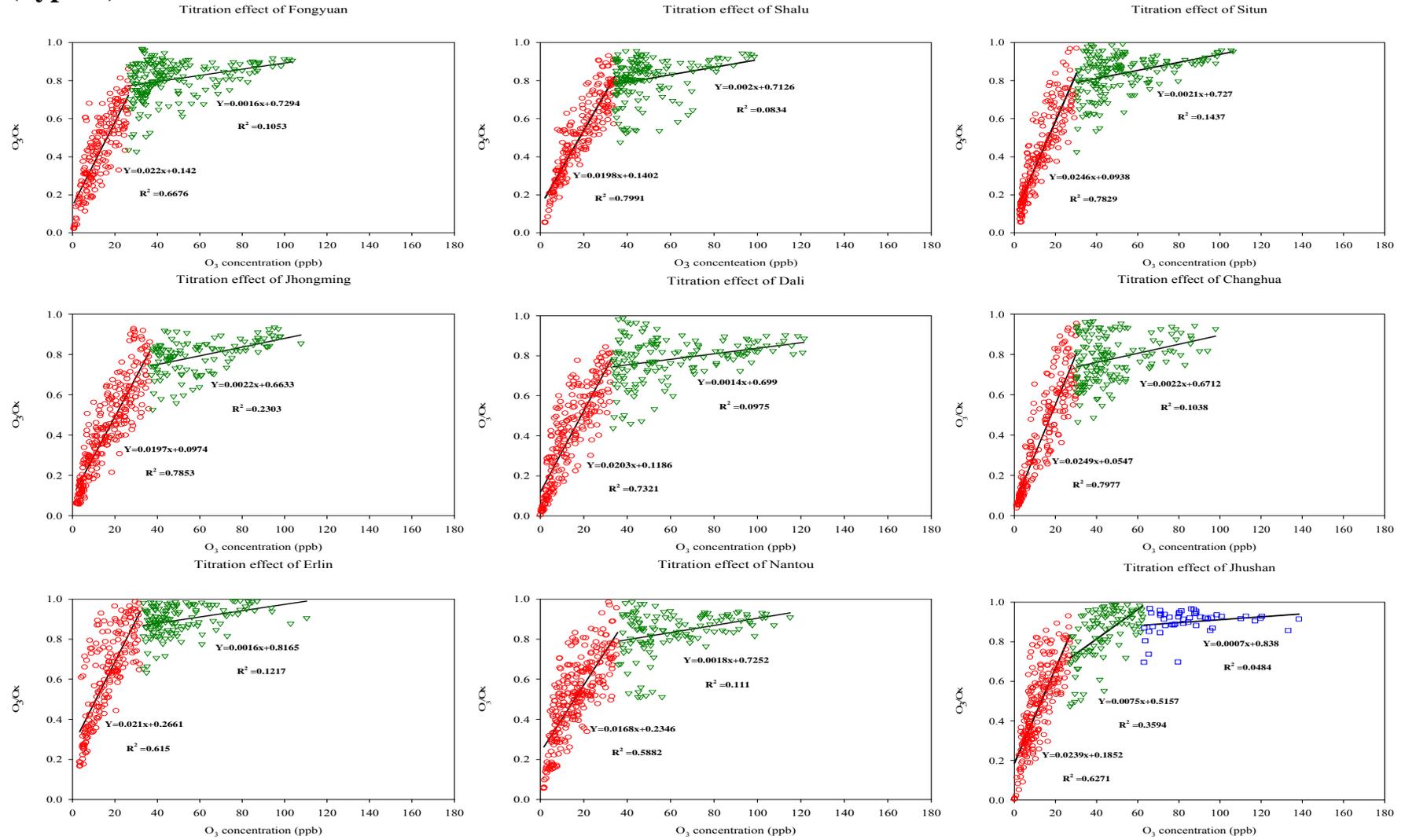
Titration effect of Nantou



Titration effect of Jhushan



**(Type C)**



(Type D)

