

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

海陸風及熱島效應對台中都會區空氣

污染物之影響分析

The impact analysis of sea breeze and heat island  
effect about air pollutants of central Taiwan



研究生：吳育魁

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吳育魁君所提之論文

題目：海陸風及熱島效應對台中都會區空氣污染物之影響分析

---

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 梁正中 (簽章)

委員

葉子婷  
林沛練  
程萬里

中華民國 99 年 6 月 4 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吳育魁君所提之論文

題目：海陸風及熱島效應對台中都會區空氣污染物之影響  
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)  
614

99 年 6 月 4 日

## 致謝

很快地，兩年的研究所生涯轉眼間就過去了，回憶起剛進這間研究室時的懵懵懂懂到現在的獨立自主，這一切都是如此的歷歷在目，而早在碩一時在心中所許下希望能夠如期畢業的願望，如今，伴隨著這本論文的完成，這個想法也終於實現了。這不僅代表著我兩年研究所生涯旅程的結束，也是我邁向人生下一個旅程的開始。

而在這兩年研究所生涯的日子裡，要感謝的人實在太多了，其中特別要感謝的是我的指導老師程萬里教授，老師不僅給予了學生學習的機會並且也不吝惜的將您的知識傳授給學生，使學生在學術研究與學習態度上都能夠有更進一步的體悟，俗話說：「師父領進門，修行在個人」，沒有老師的指引，學生也無法這麼順利的完成這本論文，而在口試期間，也承蒙 林沛練教授、梁正中教授及鄭曼婷教授於百忙中撥空前來審閱，並對內容給予詳加指正以及精闢的建議，使得本論文能夠更趨完備，學生在此致上由衷之謝意。

另外，也要感謝賴栗葦學長不厭其煩的與學生討論研究方向以及研究室裡的孟庭學姐、昌世學長也都給予了許多論文上的建議，當然還有博士班的莊昇勳學長、系辦的阿梅學姐、美燕學姊、美君學姊和同學永峰的幫忙，正因為有你們的大力協助，所以我才能夠如此順利的完成學業，在此獻上我最深的謝意。

最後，我要感謝我的家人，因為有你們在背後的默默支持，我才能夠義無反顧的完成論文，順利的拿到學位，因此我在這裡將這份成果喜悅分享給你們。並祝你們永遠身體健康、平安快樂。

育魁 謹誌於

東海大學環境科學與工程研究所

中華民國九十九年七月二十二日

## 摘要

台中都會區為台灣第三大都會區，近年來隨著都市計劃的更新，人口以及都市化的程度有越來越高的趨勢，伴隨而來的空氣污染問題也逐漸受到重視。另外，根據碳監控行動組織(Carbon Monitoring for Action, CARMA)最新資訊顯示，台中擁有全世界二氧化碳排碳量位居第一的台中燃煤火力發電廠，以及排名世界第五的麥寮發電廠，因此更容易有高污染事件日之發生。其中台中縣大里地區因常發生熱島現象，空氣品質也較其他地區為差，特別是在秋季最為明顯，因此希望藉由本研究來分析探討造成大里地區秋季高污染事件的原因。

本研究收集統計台灣環保署中部地區環境監測站、中央氣象局氣象監測站以及台中縣環保局自設測站的氣象及污染物資料，對於中部地區海陸風與都市熱島現象做分析探討。案例日期分別選取 2007 年與 2008 年秋季 10 月 25 日至 10 月 30 日期間，並利用澳洲 CSIRO 的 TAPM (The Air Pollution Model)空氣污染模式作模擬分析評估。並進一步利用通風指數來評估探討中部地區混合層高度對於空氣品質劣化之影響。

研究結果顯示，海陸風現象以及都市熱島效應皆是造成中部地區空氣品質變差的原因之一，而大里地區為案例期間台灣中部都會區的熱島中心，經由統計分析後發現，近兩年中部地區強熱島現象以及海陸風現象最為明顯的季節是在秋季，而高臭氧事件日同樣是以秋季發生頻率較高，顯示海風環流以及熱島效應會對臭氧濃度的累積造成一定程度的影響。另外，利用通風指數探討混合層高度對於臭氧濃度累積的結果顯示，當白天高臭氧污染事件發生時，通風指數確實有明顯之下降，不利於污染物之擴散。在模式模擬部分，模式在水平溫度場模擬值與實際監測值呈現良好的一致性，IOA 值與相關係數皆接近 0.9，且氣塊順逆軌跡研究可以準確解析污染物的傳輸路徑，以及熱島效應的影響，未來可以善加利用。

**關鍵字：**海陸風、都市熱島效應、混合層、通風指數

## **Abstract**

The Taichung metropolis is Taiwan's third-largest metropolitan area. In recent years the process of urbanization and industrialization has produced air pollution problem in most metropolitan areas worldwide. Also, according to the information from Carbon Monitoring for Action (Carbon Monitoring for Action, CARMA) shows that Taichung power plants has the first carbon dioxide emissions of the world and the Mai-Liao Power Plant has the fifth carbon dioxide emissions of the world. In addition, the UHI phenomena and air pollution episodes are usually happened in Dali in central Taiwan in autumn. In this study, the aim of this study was to explore the reasons of high ozone episodes in Dali in autumn.

The meteorological and air pollutants data from government-owned observation stations and vertical atmosphere profiles obtained from tethered sonde system were used to simulate by the air pollution model (TAPM) and analyze the association between the sea breeze and urban heat island phenomenon in central Taiwan during the period of 25-30 October 2007 and 25-30 October 2008. And then further use the ventilation index to analysis the association between the air pollutants and the mixing heights in central Taiwan.

The result shows the sea breeze and urban heat island phenomenon is one of the reasons that caused deterioration of air quality in central Taiwan. And the heat island center was in Dali during the period. The statistical analysis of nearly two years shows the strong urban heat island and the sea breeze phenomenon happened most obvious in autumn, while the high ozone episodes are also high frequency at the same time. For the reason that shows the sea breeze phenomenon and urban heat island will cause the accumulation of the ozone concentration. In addition, use the ventilation index to

analysis the association between the air pollutants and the mixing height in central Taiwan. The result shows when the high ozone episode happens, the ventilation index actually decreases and the air pollutants are diffused weakly. In the model simulations, model simulated temperature field in the level of actual monitoring data showed good agreement, IOA values and correlation coefficients are close to 0.9. The trajectory by TAPM could accurately to analysis of the transmission path of air pollutants and the heat island effect.

Keywords: sea breeze, urban heat island, mixing layer, ventilation index

# 目 錄

<b>第一章 前言</b> .....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究內容與目標.....	2
1.3 研究大綱.....	3
<b>第二章 文獻回顧</b> .....	4
2.1 都市熱島效應.....	4
2.1.1 熱島效應理論.....	4
2.1.2 熱島效應實測方法.....	5
2.1.3 熱島效應的影響.....	7
2.1.4 熱島效應減輕對策.....	8
2.2 空氣污染模式(The Air Pollution Model, TAPM).....	9
2.2.1 模式簡介.....	9
2.2.2 模式基本參數設定.....	10
2.3 繫留探空監測系統.....	10
2.4 臭氧.....	11
2.4.1 臭氧前驅物.....	12
2.4.2 臭氧之生成機制.....	12
2.5 滴定效應(titration effect).....	14
2.6 天氣條件.....	15
2.7 混合層與夜間逆溫層.....	15
<b>第三章 研究方法</b> .....	18
3.1 研究方向與流程.....	18
3.1.1 研究區域.....	18



3.1.2 資料來源與案例選取.....	19
3.1.2 研究流程.....	20
3.2 研究方法.....	20
3.2.1 混合層高度求法.....	20
3.2.2 繫留探空儀(Tethersonde)裝置流程.....	21
3.2.3 繫留探空儀(Tethersonde)儀器說明.....	22
3.2.4 TAPM數值模式之設定.....	23
3.2.5 AVAGE statistical method.....	26
3.2.6 模式驗證.....	27
<b>第四章 統計分析</b> .....	<b>29</b>
4.1 中部地區海陸風日、強熱島日及高臭氧污染日之相關統計分析.....	29
4.1.1 熱島效應的日際變化.....	31
4.2.2 熱島效應的季節變化.....	32
4.2 月平均24小時時序圖分析.....	33
4.2.1 海陸風與熱島強度變化分析.....	33
4.2.2 海陸風與臭氧濃度變化分析.....	34
4.3 小結.....	35
<b>第五章 案例結果分析</b> .....	<b>38</b>
5.1 平面氣象環境與污染物分析.....	38
5.1.1 綜觀天氣分析.....	38
5.1.2 熱島案例分析.....	40
5.1.3 總氧與滴定效應.....	45
5.2 垂直氣象環境與污染物分析.....	48
5.2.1 混合層分析.....	48
5.2.2 通風指數.....	51
5.2.3 垂直污染物分析.....	58

5.3 模式驗證與軌跡.....	66
5.3.1 順逆軌跡分析.....	67
5.3.2 垂直風場與污染物模擬分析.....	73
<b>第六章 結論與建議.....</b>	<b>76</b>
6.1 結論.....	76
6.2 建議.....	77
參考文獻.....	78
附錄一.....	87

## 表 目 錄

表 2-1-1 熱島效應觀測方法比較表.....	7
表 2-7-1 MTP5-HE規格表.....	17
表 3-1-1 台中都會區環境監測站列表.....	20
表 3-2-1 TAPM模式網格設定表.....	25
表 3-2-2 應用Index of agreement (IOA)方法之相關研究比較表.....	28
表 4-1-1 海陸風日、強熱島日及高臭氧日在不同季節時期下的 發生機率表.....	30
表 4-1-2 2007年至2008年期間不同季節下不同熱島強度發生頻率表(%).....	32
表 5-3-1 案例期間TAPM模式IOA驗證結果表.....	66

## 圖目錄

圖 1-1-1 台中都會區都市熱島現象示意圖.....	1
圖 1-1-2 都市熱島輻合現象示意圖.....	2
圖 1-1-3 典型的都市熱島效應氣溫剖面圖.....	5
圖 3-1-1 台中都會區環境監測站位置圖.....	19
圖 3-1-2 研究流程架構圖.....	20
圖 3-2-1 乾絕熱法求取混合層高度圖.....	21
圖 3-2-2 繫留探空監測示意圖.....	22
圖 3-2-3 TAPM 操作視窗示意圖.....	24
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) 1.2 km × 1.2 km、(b) 3.6 km × 3.6 km、 (c) 1.2 km × 1.2 km、(d) 0.8 km × 0.8 km .....	26
圖 4-1-1 2007 年 1 月至 2008 年 12 月期間大里地區的逐月平均熱島 強度圖.....	31
圖 4-1-2 2007 年至 2008 年期間大里與后里地區的平均氣溫日際 變化圖.....	31
圖 4-1-3 2007 年至 2008 年期間大里與后里地區的平均氣溫差( $T_{u-r}$ )日際 變化圖.....	32
圖 4-1-4 2007 年至 2008 年期間大里與后里的平均氣溫差( $T_{u-r}$ )逐時月際 變化圖.....	33
圖 4-2-1 大里測站 2007 年至 2008 年十二個月月平均逐時熱島強度圖.....	36
圖 4-2-2 大里測站 2007 年至 2008 年十二個月月平均逐時臭氧濃度圖.....	37
圖 5-1-1 2007 年 (a) 26 日 (b) 27 日 (c) 28 日 (d) 29 日綜觀天氣圖.....	39
圖 5-1-2 2008 年 (a) 26 日 (b) 27 日 (c) 28 日 (d) 29 日綜觀天氣圖.....	40

圖 5-1-3 2007 年 10 月 27 日 0900LST 台中都會區之水平溫度與風場 及 NO <sub>2</sub> 濃度圖.....	41
圖 5-1-4 2007 年 10 月 27 日 1200LST 台中都會區之水平溫度與風場 及 NO <sub>2</sub> 濃度圖.....	41
圖 5-1-5 2007 年 10 月 27 日 1500LST 台中都會區之水平溫度與風場 及 NO <sub>2</sub> 濃度圖.....	42
圖 5-1-6 2007 年 10 月 27 日 1900LST 台中都會區之水平溫度與風場 及 NO <sub>2</sub> 濃度圖.....	42
圖 5-1-7 2008 年 10 月 29 日 0900LST 台中都會區之水平溫度與風場 及 NO <sub>2</sub> 濃度圖.....	43
圖 5-1-8 2008 年 10 月 29 日 1200LST 台中都會區之水平溫度與風場 及 NO <sub>2</sub> 濃度圖.....	44
圖 5-1-9 2008 年 10 月 29 日 1500LST 台中都會區之水平溫度與風場 及 NO <sub>2</sub> 濃度圖.....	44
圖 5-1-10 2008 年 10 月 29 日 1800LST 台中都會區之水平溫度與風場 及 NO <sub>2</sub> 濃度圖.....	44
圖 5-1-11 2008 年 10 月 26 日至 10 月 29 日期間大里監測站之 O <sub>3</sub> 與 NO <sub>2</sub> 水平濃度(ppb)變化趨勢圖.....	46
圖 5-1-12 2008 年 10 月 26 日至 10 月 29 日期間大里監測站之 Ox (Ox = O <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> )水平濃度(ppb)變化趨勢圖.....	47
圖 5-1-13 2008 年 10 月 29 日大里、沙鹿、豐原、西屯與忠明監測站 之 NO <sub>2</sub> /Ox 比值變化比較圖.....	47
圖 5-2-1 2007 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區混合層高度圖.....	50
圖 5-2-2 2008 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區混合層高度圖.....	50
圖 5-2-3 2007 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時熱島強度與通風指數 之相關趨勢比較圖.....	53

圖 5-2-4 2008 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時熱島強度與通風指數 之相關趨勢比較圖.....	53
圖 5-2-5 大里地區通風指數與(a)O <sub>3</sub> (b)NO <sub>2</sub> (c)SO <sub>2</sub> (d)CO(e)PM <sub>10</sub> (f)PM <sub>2.5</sub> 濃度 之相關性分析圖.....	54
圖 5-2-6 2007 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時臭氧濃度與 通風指數之相關趨勢比較圖.....	55
圖 5-2-7 2008 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時臭氧濃度與 通風指數之相關趨勢比較圖.....	55
圖 5-2-8 2007 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時 PM <sub>10</sub> 濃度與 通風指數之相關趨勢比較圖.....	56
圖 5-2-9 2008 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時 PM <sub>10</sub> 濃度與 通風指數之相關趨勢比較圖.....	56
圖 5-2-10 2007 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時 PM <sub>2.5</sub> 濃度與 通風指數之相關趨勢比較圖.....	57
圖 5-2-11 2008 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時 PM <sub>2.5</sub> 濃度與 通風指數之相關趨勢比較圖.....	57
圖 5-2-12 2007 年 10 月 25 日至 31 日於大里之風場垂直剖面圖.....	60
圖 5-2-13 2007 年 10 月 25 日至 31 日於大里之虛位溫垂直剖面圖.....	60
圖 5-2-14 2007 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 O <sub>3</sub> 垂直剖面圖(ppb).....	61
圖 5-2-15 2007 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 NO 垂直剖面圖(ppb).....	61
圖 5-2-16 2007 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 NO <sub>2</sub> 垂直剖面圖(ppb).....	62
圖 5-2-17 2007 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 NO <sub>x</sub> 垂直剖面圖(ppb).....	62
圖 5-2-18 2008 年 10 月 25 日至 31 日於大里之風場垂直剖面圖.....	63
圖 5-2-19 2008 年 10 月 25 日至 31 日於大里之虛位溫垂直剖面圖.....	63
圖 5-2-20 2008 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 O <sub>3</sub> 垂直剖面圖(ppb).....	64
圖 5-2-21 2008 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 NO 垂直剖面圖(ppb).....	64

圖 5-2-22 2008 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 NO <sub>2</sub> 垂直剖面圖(ppb).....	65
圖 5-2-23 2008 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 NO <sub>x</sub> 垂直剖面圖(ppb).....	65
圖 5-3-1 2007 年 10 月 26 日 1800LST 台中都會區之綜觀風場與順逆 軌跡圖.....	69
圖 5-3-2 2007 年 10 月 27 日 1900LST 台中都會區之綜觀風場與順逆 軌跡圖.....	69
圖 5-3-3 2007 年 10 月 28 日 1900LST 台中都會區之綜觀風場與順逆 軌跡圖.....	70
圖 5-3-4 2007 年 10 月 29 日 1800LST 台中都會區之綜觀風場與順逆 軌跡圖.....	70
圖 5-3-5 2008 年 10 月 26 日 2100LST 台中都會區之綜觀風場與順逆 軌跡圖.....	71
圖 5-3-6 2008 年 10 月 27 日 1700LST 台中都會區之綜觀風場與順逆 軌跡圖.....	71
圖 5-3-7 2008 年 10 月 28 日 1800LST 台中都會區之綜觀風場與順逆 軌跡圖.....	72
圖 5-3-8 2008 年 10 月 29 日 1800LST 台中都會區之綜觀風場與順逆 軌跡圖.....	72
圖 5-3-9 台中都會區 TAPM 模擬之垂直風場 X 截面圖，大里中心位於 UTM-216682(1000m)，寬約 8km。(a)2007 年 10 月 27 日 1900LST (b)2008 年 10 月 29 日 1800LST.....	74
圖 5-3-10 台中都會區 TAPM 模擬之 NO <sub>2</sub> 濃度與溫度 X 截面圖，大里中心位於 UTM-216682(1000m)，寬約 8km。(a)2007 年 10 月 27 日 1900LST (b)2008 年 10 月 29 日 1800LST.....	75

# 第一章 前言

## 1.1 研究動機

近幾十年來，隨著科技的進步以及工商業的發展，全球都市化的程度日趨明顯，特別是發展中的國家，由於經濟快速的成長，大量的人口集中在都市地區雖造成許多大都市的興起，但是卻也因此產生了許多破壞環境的問題，影響居民的生活品質。

在都市化的過程中，隨著城市人口和建築物持續增長，大量的人為活動明顯的改變了城市的氣候型態和氣候條件，而各種因素的影響最終導致了氣候平衡上的變異，因而產生新的氣候，就稱為都市氣候(Landsberg, 1981; Wanner and Hertig, 1984; Oke, 1987; 環境氣象學與特種氣象預報, 2001)。都市熱島效應(Urban Heat Island)是都市氣候中重要的特徵之一，是指都市市區的溫度高於周圍郊區的一種氣候現象，如圖 1-1-1所示。而都市熱島化的程度會因地面狀況、人口密度、地理位置、區域氣候等的差異而有所不同，都市熱島強度是多種因素綜合作用下的結果(環境氣象學與特種氣象預報, 2001)。當都市中心的熱空氣上升時會產生一股上昇氣流，而周圍郊區的冷空氣就會往都市中心遞補，因而產生了一個熱力環流輻合現象，如圖 1-1-2所示。而這種因都市熱島效應所產生的氣流輻合現象容易將都市周圍地區的空氣污染物傳輸至熱島中心，影響都市地區的空氣品質。另外，熱島效應之強弱可將其量化為都市熱島強度(Urban Heat Island Intensity, UHII)來做為評估，該指標定義為都市與郊區的溫度差 $\Delta T_{u-r}=T_u-T_r$ ( $T_u$ :都市溫度; $T_r$ :郊區溫度) (Oke, 1987)。

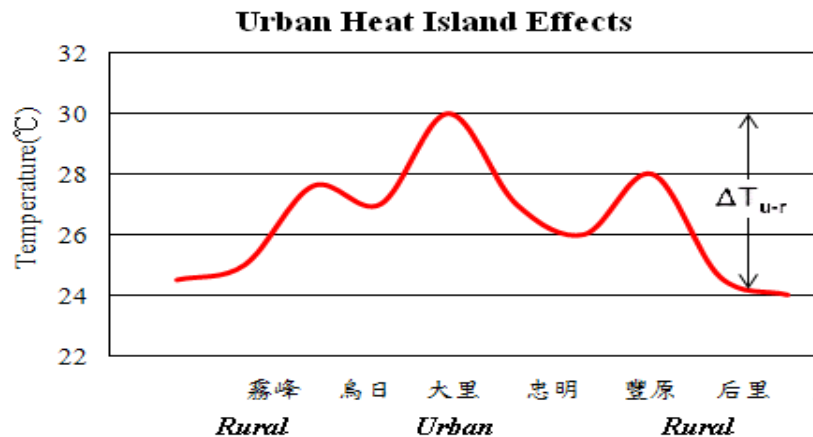


圖 1-1-1 台中都會區都市熱島現象示意圖



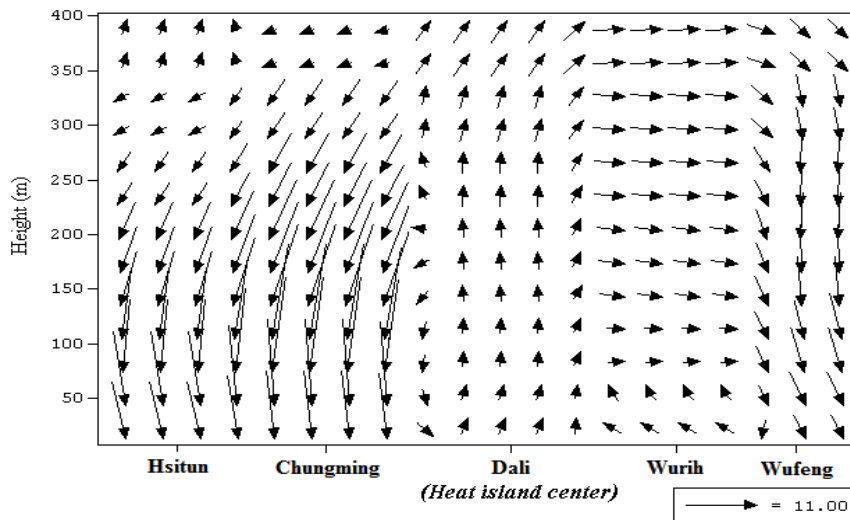


圖 1-1-2 台中都會區都市熱島輻合現象示意圖

而局部環流海陸風的強弱會影響都市熱島的強弱，當白天海風較旺盛時，熱島強度較不明顯，內陸地區的污染物來源大多來自於沿海地區；夜間，熱島現象較為明顯，輻合現象的氣流會減緩陸風強度，也因此影響了內陸地區空氣污染物的傳輸擴散。而夜間熱島效應所產生的輻合現象與都市地區空氣污染物濃度的增加有著密切的關係(Yoshikado and Tsuchida, 1996)，相關研究發現空氣污染物(如 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、NO<sub>2</sub> 和 CO)會引起呼吸道、心血管、氣喘、缺血性心臟病與中風等疾病，與人體的健康有密切的關係(Chan et al., 2006；Hosseinpoor et al., 2005；Llorca et al., 2005；Wellenius et al., 2005；Wong and Lai, 2004；Zeka et al., 2005)。

台中都會區位於台中盆地內，由大度台地、八卦台地以及中央山脈所圍繞，當靠近中部沿海地區的空氣污染物藉由區域環流傳輸至盆地內時不容易擴散出去，容易導致污染物濃度的累積，且根據碳監控行動組織(Carbon Monitoring for Action, CARMA)最新資訊顯示，台中擁有全世界二氧化碳排碳量位居第一的台中燃煤火力發電廠，而盆地南緣的麥寮發電廠則擁有世界第五的排碳量，因此更容易有高污染事件日之發生，其中台中縣大里地區空氣品質較其他地區為差，特別是在秋季最為明顯。因此希望藉由本研究來分析探討造成大里地區秋季高污染事件的原因。

## 1.2 研究內容與目標

近半世紀以來，氣候變遷的影響已逐漸超乎人類所能掌握的趨勢，對於未來氣候變化的預測已不能僅依靠過去的經驗來解釋，因此利用模式模擬儼然成為未來的因應對策之一。模式模擬的用途，目的在於彌補實測值的不足，期能進而掌握未來

趨勢變化的發展，在本研究中，除了利用實測值呈現近地面都市熱島效應發展之外，也將利用模式模擬呈現更多元化的分析。過去幾年，都市熱島效應的研究大都把重點放在地面發展現象，探討水平方向溫度場以及風場的變化，但對於大氣垂直結構方面的探討卻非常缺乏，因此本研究除了運用中央氣象局的天氣圖以及環保署監測站的資料進行分析之外，亦使用繫留探空設備來監測大氣之垂直結構與污染物分布，並結合澳洲 CSIRO(Commonwealth Scientific and Industrial)之 TAPM(The Air Pollution Model)模式來進行模擬分析，希望藉此來彌補垂直監測方面的不足，解析當熱島效應發生時的垂直高空風場變化以及污染物濃度分布情況。另外也藉由統計分析資料來探討海陸風與熱島效應在不同季節下的發生頻率以及日夜變化，了解海陸風現象對於中部地區熱島效應與污染物濃度之影響，並進一步利用混合層高度及通風指數來探討中部地區空氣品質劣化之原因。

### 1.3 研究大綱

從相關文獻中發現，研究都市熱島效應的方法大致上可歸類為四種測定方法(都市環境學，2005):

1. 固定式監測法:利用固定式氣象監測站所獲得之資料來進行都市熱島相關解析。
2. 移動觀測法:將溫度感測器(sensor)架設於汽車上，行駛於都市與城郊之間的道路以上以進行實測。
3. 衛星遙感探測:利用氣象衛星(例如:美國 TIROS-N 系列)來進行都市溫度遙測，以求取都市與城郊之空氣溫度差與地表面溫度差。
4. 電腦模式模擬:利用模式模擬都市環境和熱島發展情形。

本研究採用了上述第一種和第四種方法，主要是利用固定氣象監測站資料可以直接觀察到明顯的熱島效應趨勢變化，接著利用模式模擬來掌握更明確的熱島發展，並進一步探討垂直方向的變化。再者，汽車移動觀測法需要較多的儀器設備與人力的調度，此方法雖具有移動自由和觀測時段彈性的優點，但量測時間的不同步性是其缺點，而衛星遙感觀測則考慮到資料取得不易，加上目前利用遙測所拍攝的解析圖並無法完全清楚描述水平和垂直方向都市熱島效應的趨勢發展，且容易受到雲層、水汽、氣溶膠(aerosol)等因子的影響，因此本研究選取固定式監測法和電腦模式模擬方法，在加上繫留探空的實際垂直監測，以便能確實掌握都市熱島效應的

發展型態。

本研究收集彙整台灣環保署中部地區環境監測站、中央氣象局氣象監測站以及台中縣環保局自設測站資料，從中利用風場和溫度場數據來呈現地面都市熱島效應情形，探討熱島發展成因和影響條件，並運用模式模擬近地面水平方向和高空垂直的風場變化與污染物分布情況，並進一步比對實際監測值與模擬值之間的一致性和相關性，期能掌握中部地區區域都市熱島的發展，並利用統計分析資料與實際觀測的結果，來探討海陸風與都市熱島效應對於空氣品質的影響關係。

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 都市熱島效應

#### 2.1.1 熱島效應理論

1833 年 Luke Howard 首度提出了都市熱島效應(Urban Heat Island Effect)的理論(Landsberg,1981)，其定義為：都市環境由於綠地不足、人口過度集中、人工發散熱大，建築物材料等影響，使得都市地區的空气溫度高於周圍郊區，從等溫剖面圖來看就有如一座海島，此種現象在氣候學上稱為「都市熱島」。

在都市化的過程中，建築物與柏油鋪面漸漸的取代了自然景觀，並且吸收了大量的太陽輻射與人為熱，而高聳林立的建築物也阻礙了都市區的通風效率，因此使得都市區的增溫速度比郊區還快，導致都市的表面溫度比周圍地區的溫度還要高，到了夜晚，這些人工實體開始釋放白天所吸收的大量熱能，而都會區所產生的空氣污染物也使得大氣冷卻降溫的效果大幅降低，因此導致都市就有如一座發熱的島嶼一般。而「都市熱島效應」的嚴重程度判定通常以都市與郊區溫度差之值 $\Delta T_{u-r}$ 作為評估「都市熱島強度」(Urban Heat Island Intensity, UHII)之指標，如圖 1-1-3 所示，亦即都市相較於郊區的溫度差越大，表示熱島強度越大，熱島效應越嚴重，儘管這方法有時候因未能找出合適的郊區站而不宜使用(Zhou et al., 2004)，但仍是現時研究都市熱島效應最常用的方法之一(Sakakibrara and Owa, 2005；Chow and Roth, 2006；Liu et al., 2007)。在天氣型態方面，Kim and Baik, (2004)；Lam et al. (2005)的研究指出熱島現象適合發展在天氣晴朗、平靜，風速微弱和低雲量的天氣條件下，而在一天當中，最大熱島強度通常發生在日落後 2-3 個小時左右，中午時則較小

(Chow and Roth, 2006 ; Huang et al., 2008) , 除了日變化之外, 也有相關研究指出熱島強度也具有季節性變化的趨勢(Cai et al., 2008) , 在 Alonso et al. (2007) 的研究中發現, 一年之中最強的熱島強度通常發生在秋季, 而春季與夏季則相對較弱。

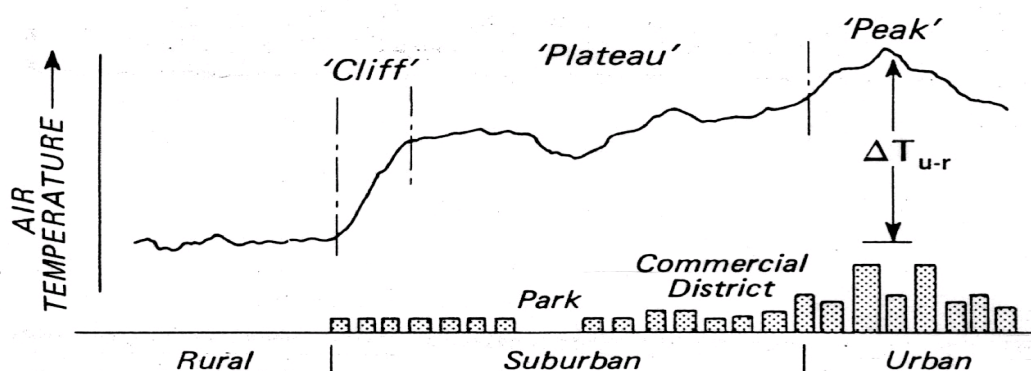


圖 1-1-3 典型的都市熱島效應氣溫剖面圖(Oke, 1987)

### 2.1.2 熱島效應實測方法

按照實驗方法的不同, 一般常見用來觀測都市熱島效應分布的方法有四種, 即:

#### (一) 固定式監測法(meteorological station records)

固定式氣象監測站的量測為連續式或半連續式自動記錄。為考慮氣象觀測的代表性與客觀性, 所以其架設位置通常位於不受人為活動影響的地方範圍。此法主要是利用氣象站之自動測溫儀器在固定時段所自動紀錄的溫度來進行都市與周圍郊區溫度間差異之分析研究(Jauregui, 1997 ; Figuerola, 1998 ; 林憲德、孫振義, 2006)。此方法雖可探討不同都市或區域於不同時間、空間之熱島變化, 但數據及觀測站分布廣度不足是其缺點, 難以掌握大尺度的都市熱島效應之研究。

#### (二) 移動觀測法(auto-traverse measurement)

在汽車、機車等移動式交通工具上架設測溫儀器, 藉由在都市與郊區之間移動來進行觀測。利用機車團隊分別依台灣四大都會區台北、台中、台南及高雄之規模大小, 來同時進行研究區域內之觀測實驗(李魁鵬, 1999 ; 孫振義與林憲德, 2006)。Deosthali (2000)將都市與郊區之間規畫出幾條移動的路線, 並在移動路線上設置數個觀測站, 用以觀察都市之微氣候。此法雖具有活動自由與觀測時段彈性的優點, 並可直接測量常人活動區域之溫、濕度值, 但是在交通繁雜的都市街道中測量溫度, 會受到道路交通工具所排放出之廢熱氣所影響, 另外還須要耗

費大量人力、物力及測量時間不具同步性是其缺點。

### (三) 衛星遙感探測(remotely sensed thermal data)

此法乃利用衛星或航空載台所搭載的高解析度輻射計(The Advanced Very High Resolution Radiometer, 簡稱AVHRR), 經由輻射計的熱紅外光(Thermal infrared, TIR)波段進行大面積的觀測來取得都市與郊區的地表輻射強度, 經由公式轉換為亮度溫度(Brightness Temperature, BT), 再將亮溫值與數個地面氣象站測得之溫度資料予以迴歸修正, 最後再利用迴歸式所得的亮溫值與實測溫度資料的關係方程式, 將亮溫值轉換為都市與郊區的溫度資料 (林憲德、孫振義, 2006)。由於衛星遙測技術具有長期與宏觀的觀測特性, 因此有許多研究者利用來評估都市之熱島效應(Streutker, 2002 ; Voogt and Oke, 2003 ; Weng et al., 2004 ; Xu and Chen, 2004 ; Hung et al., 2005), 但受限於衛星運轉軌道及角度的關係, 觀測時間較無彈性是其缺點, 且受到雲層、水氣等複雜因子的影響, 因此較無法解析出準確的溫度資料。

### (四) 電腦模式模擬(computer modeling)

數值模式模擬是藉由各種空氣動力方程式的結合運算, 單純以模式理論來探討都市熱島現象, 可節省人力資源, 但是對於熱島現象的發展無法完全解釋, 因此仍需上述其他觀測方法資料的輔助, 來進行基本參數的設定以及模式的驗證。Alexander et al. (2006)利用模式模擬都市環境和熱島的發展情形, 並與氣象站觀測資料進行比較分析。而Lin et al. (2008)則利用兩種不同模式的相互比較以及氣象站雷達觀測資料輔佐, 來探討台北都會區熱島效應、區域環流以及大氣邊界層的發展。

綜合以上所述, 都市熱島的研究方法大致可歸納為「固定式觀測法」、「移動式觀測法」、「遙感探測法」、以及「模式模擬法」等五種方法, 其個別的操作方式及優缺點如表 2-1-1。

表 2-1-1 熱島效應觀測方法比較表

方法	固定式監測法	移動測溫法	衛星遙感探測	電腦模式模擬
操作方式	固定式氣象監測站的量測為連續式或半連續式自動記錄。	在移動式交通工具上架設溫度量測裝置，於都市中進行移動觀測。	利用衛星上所搭載的高解析度輻射計進行地面溫度的觀測。	利用三維模式模擬大氣環境。
優點	操作簡單方便且具同步性並可藉由長期資料觀測熱島現象之演變。	活動自由觀測時間彈性。	可對地球進行大範圍的分析歷年氣溫資料取得容易且具同步性。	可節省適當的調查人力與資源且可彌補測站不足。
缺點	無法真正反映人為因素影響氣溫的部分且資料分布廣度不足。	缺乏同步性且蒐集歷年的溫度資料具困難性。	易受雲氣及水汽影響以及資料取得費用高昂且影像分析需特別技術。	仍須配合實際觀測值作模擬。

### 2.1.3 熱島效應的影響

由於都會區過度的開發，自然環境也受到了大幅度的影響。在Hua et al. (2008)的研究中指出，都市熱島現象容易發生於工商業活動發展快速、人為活動頻繁的大都市。而都市中人為活動所排放出的大量空氣污染物和熱，是造成都市空氣品質惡化的元兇之一，再加上都市中建築物本身對通風效果的減弱作用，因此使得都市的污染物不易擴散出去。而當熱島效應形成之後，城市上空就像被扣上一個大玻璃罩，新鮮的空氣進不來，有害氣體出不去，整個都市空氣流通不暢，更加使得污染物的濃度累積加重。西元1952年在英國倫敦發生的黑霧事件，就是由於倫敦出現嚴重的熱島效應，微弱的風速促使空氣中懸浮微粒和二氧化硫為主的煙霧無法擴散，整整籠罩倫敦五天，而污染物在空氣中反應生成的有害物質被人吸入肺部，最後導致4000餘人死亡。

而伴隨熱島效應所產生的氣流輻合現象，容易將都市周圍地區的空气污染物質傳輸至熱島中心，導致熱島中心空氣品質更加的惡化。目前已有許多研究分析出都市熱島和輻合現象的關係，Sarkar et al. (1998)指出較強的都市熱島現象容易形成較明顯的輻合現象與較高的邊界層，而白天人為活動排放的廢熱會影響城市氣溫，使得接近都市地區的輻合現象強度增加(Khan and Simpson, 2001)，Lemonsu and

Masson (2002)的研究發現當近地面垂直風速達  $1\text{m/s}^{-1}$  且大氣邊界層厚度足夠的情況下，巴黎都會區會出現輻合現象，而 Fujibe (2003)也指出都市熱島現象使得都會區與郊區出現壓力差，因而會在都會區產生輕風，但是相關研究也發現，當都會區風速達  $7\text{m/s}^{-1}$  時，都市熱島強度反而會隨風速的增加而減少(Fast et al., 2005)，除此之外，都市熱島現象也會影響區域環流，所產生的輻合現象會使得海風加速往都市中心移動(Freitas et al., 2007)，在 Lin et al. (2008)針對台灣北部都會區所做的研究中指出，都市熱島現象在白天會增加海風的強度，而夜間則會減弱陸風強度，因此影響了台灣北部都會區空氣污染物質的擴散。都市熱島效應對於都市的空氣品質具有相當程度的影響，Sarrat et al. (2006)的研究發現當夜間和白天都會區出現熱島現象時，城市內的一次和二次污染物，例如： $\text{NO}_x$  和  $\text{O}_3$  的濃度會因此而增加，而累積的空氣污染物也因此引起許多呼吸道疾病，危害到人體的健康(賴栗華等，2007)。

熱島效應的產生是不分地區的，對世界上各大都會區均會造成一定的影響，例如：空氣品質惡化、區域氣候不穩定等等。根據在美國紐澤西，環境研究計劃中心的報告發現，熱島效應對當地空氣品質影響佔有一定的重要性(William et al, 2004)，而 IPCC 在 2001 年的報告中指出，比較於沒有熱島的城市，有熱島影響的地方夜晚上升的溫度比白天上升的溫度還要顯著，不易散熱的結果導致大氣流動緩慢，造成污染物不易擴散，都市懸浮微粒增加影響雲層結構直接反映日照時數的減少。Bornstein and Lin (2000)指出都市增溫比郊區快，強烈的熱對流導致城市下風處午後雷陣雨發生的機率增高。Fan and Sailor (2005)表示都市熱島效應明顯影響了都市空氣品質，導致的熱環境也影響到人類生活的舒適度甚至和熱相關的疾病。

#### **2.1.4 熱島效應減輕對策**

都市熱島效應(Urban Heat Island)是現今世界上各大都會區所面臨的重要現象之一，越來越多人往都市集中以及都市發展的過程將會導致熱島現象越來越明顯(Yamashita, 1995)，而面對這勢不可免的衝擊，各界都在找尋解決的辦法。廣增綠地以及降低人為排放的熱量，都是減輕熱島效應的方法之一。在人為排放熱量的部分，可以藉由能源管理、交通計畫、民生管制等方法來執行，但是對於已經高度發展的城市來說，推動這樣的計畫，有其一定的困難性。而在都市綠化上，透過廣為植被樹木，提升綠蔽的面積，藉此來降低路面的吸熱，達到緩和都市高溫的目的，是較具可行性的方法，在林憲德等 (2001)的研究中指出，都市綠地的規模大小，可

直接影響都市氣溫環境的改善，以台南為例，在午夜時段，每增加 10%的綠地覆蓋率，約可降低地面氣溫 0.1°C，因此，可看出土地綠化對於都市熱島效應的控制上是最有效率的。

## 2.2 空氣污染模式(The Air Pollution Model, TAPM)

### 2.2.1 模式簡介

空氣污染模式(The Air Pollution Model version 3.0, TAPM V3.0)是由澳大利亞聯邦科學與工業研究發展組織(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO)所屬之大氣研究部門所研發而成，是一套三維巢狀的網格模式，其設計結合了氣象以及空氣污染物的傳輸擴散模擬，可方便於一般個人電腦平台(PC-based)上使用，支援的作業系統包含Window 98/ME/NT4/2000/XP等，並藉由圖型使用者介面(Graphical User Interface, GUI)來進行參數的操作設定，其資料庫包含全世界的地形、植被、土壤型態、海平面溫度以及全球概要氣象資料，模式執行後之結果可儲存於電腦，或者使用地理資訊系統(Graphical Information System, GIS)來輸出。TAPM模式其架構較一般高斯擴散模式來的嚴謹，以基本流體動力方程式(fundamental fluid dynamics equation)及純量傳輸方程(scalar transport equation)處理氣象與污染物濃度上的模擬，模式採用不可壓縮連續方程(incompressible continuity equation)及非流體靜力方程(non-hydrostatic equation)於模擬大氣中流體運動現象，因此理論上可適用於不同尺度上的模擬。TAPM模式所使用模組可分為兩部分：

一為氣象模擬部分，TAPM使用尤拉網格模組(Eulerian Grid Module, EGM)，能針對不可壓縮與非靜力狀態進行模擬，因此模擬的範圍相當廣泛，有風向、風速、壓力、蒸氣壓、降雨跟紊流等氣象因子。另外在空氣污染物模擬方面，主要使用的亦為尤拉網格模組，額外加入拉格朗日粒狀物模組(Lagrangian Particle Module, LPM)，除了可以模擬一般常見的污染物種類，例如PM、NO、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>等，亦可考慮到乾溼沉降效應(Hurley, 2005a)。

TAPM的技術已經發展的相當純熟，國外也有許多利用TAPM來作為當地環境影響評估工具的例子，其模擬結果對於當地空氣品質防制方面能夠提供相當重要的資訊及參考價值，另外，模式也可利用來評估驗證氣象因素與空氣污染物兩者間的相



互關係(Hurley et al., 2003 ; Luhar and Hurley, 2003 ; Ortega et al., 2004 ; Hurley et al., 2005b) , 對於中小尺度天氣現象的探討以及配合多種模式與實際觀測間的比對分析等, 皆能當作重要的參考依據(Physick and Noonan, 2000 ; Soriano et al., 2003 ; Edwards et al., 2004 ; Luhar and Hurley, 2004) 。

TAPM 具有軌跡模組計算之功能, 並可利用其化學模組中的半經驗光化機制或沉降機制來針對 O<sub>3</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>x</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 等主要空氣污染物種進行模擬, 其中也包括乾、濕沉降的過程, 另外, 於點源的濃度擴散部份, 亦可將煙流浮力及動能影響加入考慮(Hurley, 2003) 。

### 2.2.2 模式基本參數設定

TAPM模式於氣象模組所使用之基本參數分別為地勢高度、植被、土壤型態、海表面溫度以及綜觀氣象場資料等。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, 其經緯度間隔為30秒(約為1公里); 海平面溫度資料則採用美國國家大氣研究中心(US National Center for Atmospheric Research, NCAR)所提供之全球月平均海面溫度資料, 其經緯度間隔約為1度(約為100公里); 而綜觀氣象場觀測資料則由CSIRO 模式氣象資料庫所提供, 數據資料為每6小時一筆, 經緯度間隔為0.75-1.00度(約為75公里至100公里), 其為全球分析與預報系統(Global Analysis and Prediction, GASP)資料。

污染物模組所需之污染源排放資料則採用中鼎工程股份有限公司所建立之TEDS-6.1 (Taiwan Emission Data System, 以2003年為基準之台灣空氣污染物排放數據資料庫6.1 版), 排放源分為點源、線源及面源。

## 2.3 繫留探空監測系統

一般環境監測站多為地面測站, 除了少數探空站針對當地垂直氣象場進行監測外, 對於氣象因子垂直狀況的了解相當有限, 而垂直剖面之污染物濃度資料收集更為缺乏。Solomon et al. (2000)比較過去10年中在北美及歐洲所進行有關臭氧的研究, 發現若要瞭解大氣之傳輸、擴散乃至於化學反應機制, 絕對必須輔助垂直剖面

上之量測值，因為地表的量測結果通常會受到污染源排放、乾沉降及特殊大氣結構所影響，因此地面的量測結果與污染物在實際大氣環境中的行為或濃度分佈特性有極大之差異。

近年來除了借助模式模擬以彌補觀測資料之不足外，亦有專家學者引進國外之繫留探空監測技術運用於大氣垂直剖面監測，針對所需研究之地點透過繫留探空監測，清楚瞭解當地垂直剖面之氣象場結構與污染物分布狀況。所謂繫留探空監測系統，乃以探空氣球配合氣象觀測儀器與採樣袋以拴繩繫放的方式進行高空研究，收集多項氣象與污染物數據資料加以分析比對。國外對於利用此項技術於大氣觀測已行之有年，而國內近年來歷經專家學者引進使用後，亦有不少研究成果並發表於國際期刊上，針對繫留探空監測系統之儀器架設與監測流程本文將在後續有詳細之說明。以下針對國內外利用繫留探空技術相關之研究加以敘述。Hayden et al. (1997) 於溫哥華內陸進行邊界層內垂直化學及大氣結構相關研究，並利用飛行器、繫放氣球與繫留氣球配合氣象探測得到大氣位溫結構。Pisano et al. (1997) 利用繫留氣球配合 Ozone-sonde、Nitrogen dioxide-sonde、Meteorology-sonde 於 Vancouver 地區對地面至高空 1000 m 的大氣結構與濃度分布進行研究。Cheng (2000、2001)，於台灣中部地區利用繫留探空氣球配合採樣袋的收集氣體方式進行高空研究，針對污染物垂直分佈及邊界層大氣結構與不同天氣型個案研究資料整理分析。Chen et al. (2002) 以及 Cheng (2002) 利用於中部地區進行繫留探空監測配合水平監測站資料分析，解析環流特徵對於中部地區污染分布之影響。Lin et al. (2004) 以繫留氣球配合 Ozone-sonde 與 Meteorology-sonde 於南台灣地區對近地表的大氣結構及濃度分布進行研究。而亦有多項研究以繫留探空分析空污濃度與各氣象因子彼此間相互關係，對不同高度之污染物濃度分布與傳輸有更深入的了解(Baumann, et al., 2001; Helmig et al., 2002; 程萬里，2000)。

## 2.4 臭氧

臭氧在大氣中之化學組成對於對流層內之空氣品質及氣候發展極具重要性(WMO., 1994; 程萬里，2000)。平流層內之臭氧有保護生態環境避免於有害紫外線傷害之作用；對流層內臭氧對生態環境則有不利影響。

### 2.4.1 臭氧前驅物

臭氧的前驅物(precursors)包括揮發性有機碳化合物(VOC)及氮氧化物(NO<sub>x</sub>)，而一般常以非甲烷碳氫化合物(NMHC)等同於 VOC。人為排放之氮氧化物與碳氫化合物經光化反應後產生臭氧等二次污染物，而臭氧具有毒性，也是大氣環境中主要指標污染物，當臭氧濃度過高時，將對於人類及動植物的健康造成傷害，因此若要改善高臭氧的問題，必須針對此交通工具及工廠的石油使用量所排放出來的廢氣，兩種前驅物 VOCs 以及 NO<sub>x</sub> 加以控制。

氮氧化物主要係指一氧化氮(NO)與二氧化氮(NO<sub>2</sub>)。主要來源於燃料在高溫燃燒時，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。

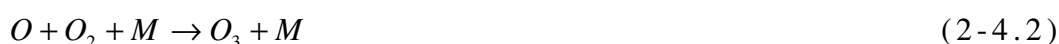
VOC 為光化學煙霧形成之前驅物質，不但容易造成作業環境中空氣品質惡化，且在日光照射下會與氮氧化物進行光化學反應，進而產生二次污染問題，其中又以烯類最具光化反應性。由光化反應所造成的煙霧，除了會降低能見度外，所產生之臭氧、PAN、PBN 等物質，可能造成呼吸系統疾病等人體危害。由於 VOC 具有滲透、脂溶及揮發等特性，人體若長期在無保護設施下與其接觸或經由呼吸吸入，極易經由皮膚接觸及呼吸系統而對人體造成危害，刺激人類的眼睛、皮膚，引起呼吸系統的疾病，近來這類有機化合物更被懷疑是引起癌症的原因。許多高濃度 VOC 會對人體產生急性效應，如：暈眩、頭痛、眼睛及呼吸道刺激等，但隨著曝露量減少或去除時上述效應即會消失。就 VOC 對人體健康之危害性而言，包括有高濃度曝露之急性危害及低濃度之曝露慢性危害。

### 2.4.2 臭氧之生成機制

地球表面的臭氧主要分佈於平流層內（即距海平面約 10~50km 處），一般稱為臭氧層的區域則是集中於離海平面約 15~30 公里處，其中最大的臭氧集中區則大約離海平面 22 公里處。一般而言，臭氧有二種可能的每日極大值出現形式，一種為單峰情形，最高值出現的時間約在每日的 12 時至 14 時；另外一種為雙峰，第一個高值出現的時間與單峰相同，而第二個高值則是出現於夜間（Jacobson et al., 1996；Brücher et al., 2000）。

對流層內包含了整個大氣 10% 的臭氧(Fishman et al., 1990)，其中有一部份的臭氧來自於平流層臭氧往對流層頂的輸送，即所謂對流層頂的摺曲現象(tropopause folding events)，另一種係因臭氧污染前驅物(氮氧化物與揮發性有機物)利用陽光，進行光化學反應所產生的。Liu et al (1980)曾針對全美地區對流層的臭氧作質量收支平衡的分析，估計利用光化反應所產生的臭氧量，約為臭氧量來自平流層往下輸送的 20 倍。因此光化學反應是構成對流層臭氧濃度最主要的來源。在此大氣層的臭氧對於光波長為 220~420 nm 的紫外線有強烈的吸收特性。因為此吸收特性，地球上的所有生物得以避免接觸過多的紫外線及能量。生物若接觸過多的紫外線，將會引發某些病變。

臭氧(O<sub>3</sub>)是一種腐蝕性有毒氣體，略帶有淡藍色的氣體，大部分的臭氧都集中在離地面 25~35 公里的平流層中，於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：



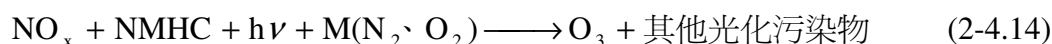
對流層之O<sub>3</sub> 主要由NO<sub>2</sub> 經光化學反應所造成，白天大氣中NO<sub>2</sub> 經太陽紫外線分解(吸收波段  $\lambda \leq 420nm$ ) 而解離成NO 及O 分子，同時再藉由觸媒M 等介質(可能為N<sub>2</sub> 或O<sub>2</sub>) 催化，產生O<sub>3</sub>，見反應式(2-4.1)及(2-4.2)；而O<sub>3</sub>具強氧化能力，又可將NO迅速氧化反應成NO<sub>2</sub>及O<sub>2</sub>，反應式(2-4.3)為主要消耗O<sub>3</sub>之反應機制，亦所謂之滴定效應(Cheng et al., 2002; Gaffney et al., 2002 ; Pison and Laurent, 2004)，因此臭氧的生成一定有其他的途徑使NO 轉變成NO<sub>2</sub>，使臭氧濃度增加。於近地面層，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、風速小等氣象因子亦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)。

除了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機制，亦會生成臭氧，NMHC 光化反應較 NO 消耗 O<sub>3</sub> 氧化而生成 NO<sub>2</sub> 要來的快時，進而導致 O<sub>3</sub> 濃度累積，NMHC 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，皆有助於將 NO 氧化生成 NO<sub>2</sub>，其中烷類(RH)的反應式如式(2-5.4) ~ (2-4.8)及醛類(RCHO)的反應式如式(2-4.9) ~ (2-4.13)示：

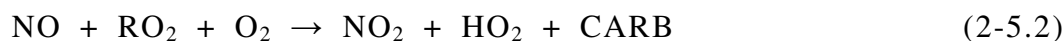


綜合NO<sub>x</sub>及NMHC的反應式得其臭氧生成之淨反應式如式(2-4.14)：



## 2.5 滴定效應(titration effect)

NO<sub>2</sub>及O<sub>3</sub>皆為二次污染產物，在對流層中主要會受光化反應的影響，相關之反應式如下：



其中M為空氣中的N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>或是其他可吸收反應時額外震動能量穩定O<sub>3</sub>形成的分子，OH為氫氧自由基(hydroxylradical)，HO<sub>2</sub>為hydroperoxylradical，RO<sub>2</sub>為有機高氧自由基(organicperoxylradical)，CARB為羰基化合物(carbonylcompounds)，NO主要來自土壤及燃燒過程的排放，NO<sub>2</sub>的產生則主要來自NO的氧化，少部份為燃燒過程的排放，固定及移動源排放的氮氧化物約有90%為NO，10%為NO<sub>2</sub>。NO氧化為NO<sub>2</sub>主要經由(2-5.2)式、(2-5.3)式及(2-5.6)式形成，方程式(2-5.2)、(2-5.3)、

(2-5.4)及(2-5.5)為生成臭氧之反應，即一般所謂的煙霧化學(smog chemistry)，方程式(2-5.6)即所謂 O<sub>3</sub> 與 NO 反應生成 NO<sub>2</sub> 的滴定反應(Pisano et al.,1997)。NO、NO<sub>2</sub> 與 O<sub>3</sub> 的反應相當的複雜，假設 O<sub>3</sub> 為 NO 主要的反應物質，大部分當地的 NO<sub>2</sub> 是來自於排放的 NO 與 O<sub>3</sub> 反應而產生的，則 NO<sub>2</sub>+O<sub>3</sub> 應該接近一個定值，NO<sub>2</sub> 的濃度也會增加，O<sub>3</sub> 則相對地減少。(2-5.2)式及(2-5.3)式顯示了在白天 NO<sub>2</sub> 來源充足，O<sub>3</sub> 生成增加，光化反應明顯。到了夜晚，光化反應結束，O<sub>3</sub> 濃度受滴定效應以及沉降作用影響下降，總氧化物 (Total oxidants: Ox =NO<sub>2</sub> + O<sub>3</sub> 之組合濃度)易接近於定值。

## 2.6 天氣條件

台灣屬於亞熱帶海島型氣候及地勢複雜之島嶼國家。位於太平洋西側，被西太平洋、東海以及南中國海等海域圍繞，特殊的地理位置使得台灣容易受到來自於不同源地的氣塊所影響 (Wang and Ueda, 2000)，而氣塊移動所產生的各種天氣型態也影響到了台灣地區的空气品質。根據過去經驗，將影響台灣地區的天氣型態分成 14 大類，結果顯示，最常發生高污染的天氣類型為高壓迴流型、鋒前暖區型、鋒面滯留或過境台灣型，以及分裂高壓中心位於長江口附近等天氣型態。在過去幾年，台灣地區空氣污染物管制奏效，各污染物平均濃度有下降之趨勢，但臭氧濃度卻未見此趨勢。在國內亦有多位學者針對高 O<sub>3</sub> 事件與天氣型態作一相關研究 (林能暉，2000)。白珏玲(1998)；Cheng (2000)；Cheng (2001)；黃怡嘉、程萬里(2001)研究發現，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> 與都市熱島現象之情形發生，而夜間都市熱島現象所引起的氣流輻合現象加上夜間逆溫層的影響，會使得都市地区的空氣品質更加惡化(Lai and Cheng, 2010)。當台灣南部地區在冬季與秋季時受到高壓迴流之天氣型態，影響西部沿海在下風處地區容易造成高 O<sub>3</sub> 濃度污染 (Lin et al., 2004)。

## 2.7 混合層與夜間逆溫層

逆溫層通常發生在夜間，在逆溫層中，較暖且輕的空氣位於較冷而重的空氣上面，形成一種極其穩定的空氣層，就像一個鍋蓋一樣，籠罩在近地層的上空，因此阻礙了空氣的對流運動，使得近地層空氣中的水汽、煙塵以及各種有害氣體無法擴散出去，造成嚴重的空氣污染。逆溫層的高度可利用 MTP5-HE (Meteorological

Temperature Profiler) 氣溫垂直剖面監測儀來進行量測，其規格如表 2-7-1。此儀器常應用在大氣傳輸與穩定度之測定研究上，以增進對逆溫層現象的瞭解，其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，此技術亦可視為微波遠端遙測。而儀器操作範圍廣泛(於起霧、下雪和雨天天候等狀況下亦可進行)，且無輻射洩漏之虞並具備自動校正，當儀器連續操作時，操作成本較低，對於空氣污染程度之診斷分析有相當大的幫助。

而混合層指的是當地表受到日出後太陽輻射加溫的影響，熱空氣上升，逐漸侵蝕破壞夜間穩定的逆溫層，混合層開始發展。混合層內具有很強的對流及垂直混合作用，因此有利於污染物垂直擴散混合。而混合層頂高度可由大氣垂直溫度之結構加以判斷，於一般大氣環境中，溫度會隨高度遞減，若當垂直溫度呈明顯隨高度增加(逆溫現象)時，此時之高度為大氣垂直擴散之頂點，即混合層頂之高度。當混合層高度降低時，此大氣處於靜力穩定狀態，將不利於近地面層之污染物擴散與稀釋。一般而言，混合層高度在不同時間、不同地點均有所不同，而能影響混合層高度有所改變的因子有很多，如大氣穩定度，風速，氣溫，溫度露點差，太陽輻射，天氣系統，下墊面條件，人工熱源，熱島效應和城市煙霧雲的輻射效應等。

Holzworth (1967)首度利用垂直溫度剖面變化估算混合層高度，其定義為以地表之乾絕熱線與中性層之垂直溫度變化線的交點之高度，即混合層高度，亦可稱為乾絕熱法。而李(1997)則在利用CTDMPLUS模式在宜蘭蘇澳地區的火力發電廠做空氣污染物的擴散模擬中，引用台大環工所建立之混合層高度估算複迴歸方程式，其中選定地面風速( $u_0$  m/s<sup>-1</sup>)、日照強度( $I_0$  cal/cm<sup>-2</sup>hr<sup>-1</sup>)、 $\Delta T/\Delta t$ (當時溫度與前一小時的氣溫差，代表地面溫度°C之時間變率)及 $T-T_6$ (當時溫度°C與當日清晨六時之地面溫差)做為複迴歸方程式之變數因子，前兩者表示日間機械及熱力紊流發生的因子，後兩者表夜間缺乏長波輻射冷卻率觀測之地表降溫和增溫效應， $h_m$ 混合層高度值(m)，求得各季的混合層高的複迴歸方程式如下：

$$h_m = au_0 + bI_0 + c(\Delta T/\Delta t) + d(T - T_6) + e$$

a, b, c, d, e 為回歸係數值

$h_m$ ：混合層高度值(m)

$u_0$ ：地面風速(m/s<sup>-1</sup>)

$I_0$ ：日照強度(cal/cm<sup>-2</sup>hr<sup>-1</sup>)

$$\text{日照強度}(\text{cal}/\text{cm}^{-2}\text{hr}^{-1}) = \text{全天空日射量}(\text{W}/\text{m}^{-2}) \div \text{日照時數} \times 60$$

$\Delta T/\Delta t$ ：當時溫度與前一小時的氣溫差，代表地面溫度(°C)之時間變率

$T-T_6$ ：當時溫度(°C)與當日清晨六時之地面溫差

而根據李(1997)的研究，此迴歸方程式並非固定，而是會隨著不同地方、不同時間而有所改變。通常混合層的高度在晴朗的情形下可以發展到 1-1.5 公里，而在台灣受到高壓氣團的影響時，混合層的高度經常會受到下沉氣流的影響而無法順利的向高空發展而被限制在 400~1000 公尺的高度範圍，使得地面污染物無法有效稀釋而造成高污染事件。

表2-7-1 MTP5-HE規格表

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)



## 第三章 研究方法

### 3.1 研究方向與流程

本研究分為兩部分進行探討，第一部分首先收集彙整2007年至2008年間台灣環保署中部地區環境監測站(Environmental Protection Agency, EPA)、中央氣象局氣象監測站(Central Weather Bureau, CWB)以及台中縣環保局自設測站(Environment Protection Bureau Taichung County, EPB)的資料，並利用台中都會區的空氣品質資料與氣象資料進行統計分析，了解近兩年海陸風現象與熱島效應在不同季節下的發生頻率以及日夜變化，並探討海陸風對於中部地區污染物濃度之影響，第二部分則是針對秋季案例分析探討並搭配TAPM模式進行模擬，期能掌握都市熱島分布與海陸風現象之發展趨勢，並驗證當熱島效應發生時大氣輻合現象的存在以及對於污染物濃度累積的影響，除了水平方向的探討之外，也針對垂直方向進行模擬解析。

#### 3.1.1 研究區域

研究重點在於分析台中都會地區都市熱島效應與海陸風現象，區域劃分大致以台中為都市地區，其市中心周圍地點為近郊非都市地區。台中市是台灣第三大都會區，居住人口總數於2004年截止統計超過一百萬人口，台中市為台中中心位置，位於台灣中部西側，東屏中央山脈西臨台灣海峽，約東經120.4度，北緯24.09度，東西長14.2公里，南北寬為11.3公里，主要地形為盆地地形，總面積大約163.4平方公里，年均溫平均為23°C，同時也是苗栗以南、雲林以北，六百萬人口的經濟重心，地處重要的樞紐位置，為台灣中部工商業最為發達的地區。台中都會區主要的固定污染源為台中工業區、大里工業區、中部科學園區、台中火力發電廠與烏日焚化廠，此外，大量的汽機車也是主要的空氣污染源之一。人口過度集中於都市，加上處於交通要道和工業林立的結果，助長了熱島效應的發展，並且由於台中盆地內特殊的地形，區域內空氣污染物有著獨特傳輸特性，容易造成空氣污染物累積。

因此為瞭解熱島效應發生時之大氣垂直結構與污染物傳輸情形，本研究團隊選擇於台灣中部大里地區進行繫留探空監測(圖 3-1-1)，同時利用中央氣象局及環保署等單位之氣象及污染物監測數據進行深入分析，另外以TAPM模式模擬，輔助分析台灣中部地區熱島效應的垂直剖面與污染物分布情況。

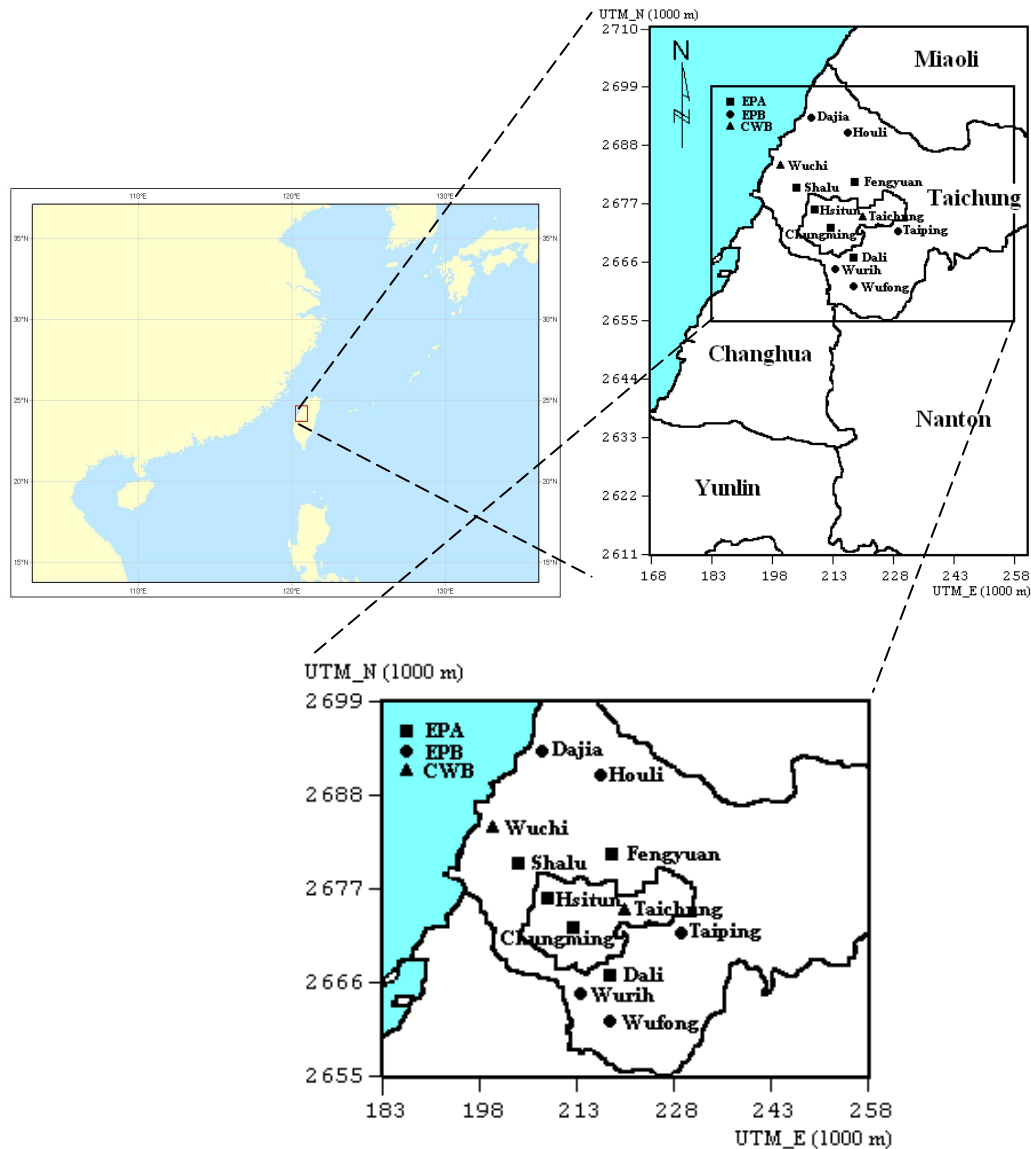


圖 3-1-1 台中都會區環境監測站位置圖

### 3.1.2 資料來源與案例選取

本研究除了彙整台灣環境保護署(Environmental Protection Administration, EPA)的環境監測站資料與台中縣環保局(Environment Protection Bureau Taichung County, EPB)環境監測站資料之外，另外也包含中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB)的綜觀天氣圖以及兩次的野外繫留探空監測資料。本研究選定 2007、2008 年秋季期間高臭氧污染事件發生期間(10月25日至10月31日)作為案例時段來進行探討。案例分析選用的監測站點如表 3-3-1 所示，包含環保署中部空品區內之西屯、忠明、大里、豐原、沙鹿、等測站；中央氣象局之台中及梧棲監測站；台中縣環保局太平、霧峰、烏日、后里、大甲等監測站以及利用繫留探空監測在大里的監測。

表 3-1-1 台中都會區環境監測站列表

Department	Monitoring station
EPA (Environmental Protection Administration)	Shalu、Hsitun、Chungming、 Dali、Fengyuan
CWB (Central Weather Bureau)	Taichung、Wuchi
EPB (Environment Protection Bureau Taichung County)	Wufeng、Taiping、Wurih、 Dajia、Houli

### 3.1.3 研究流程

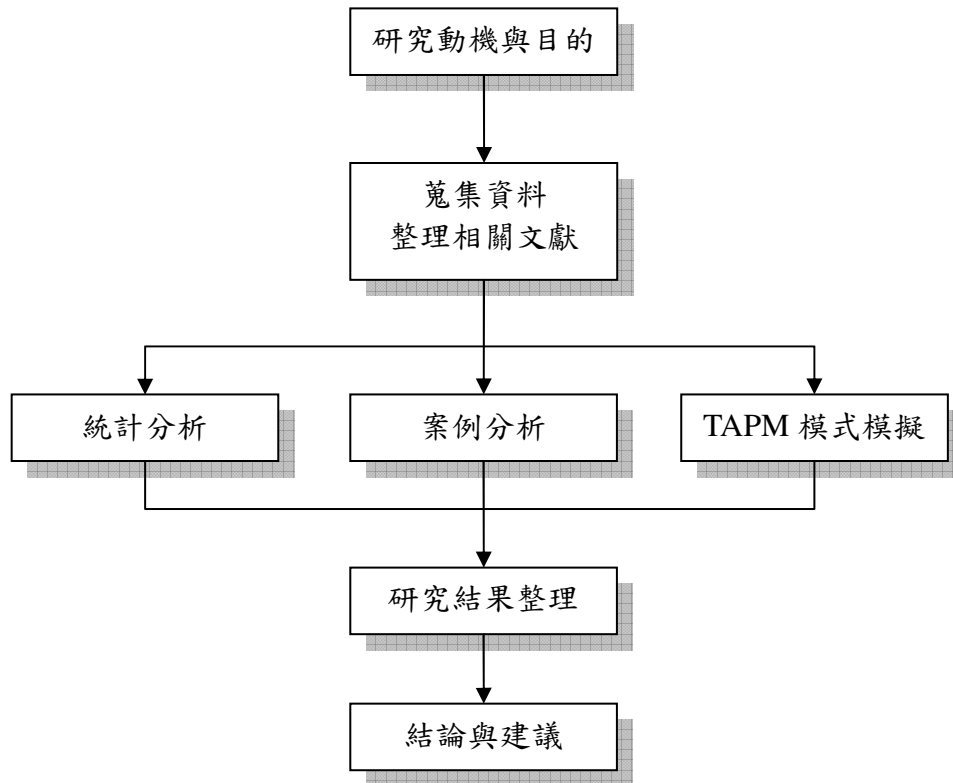


圖 3-1-2 研究流程架構圖

## 3.2 研究方法

### 3.2.1 混合層高度求法

混合層頂高度可以從大氣垂直溫度的結構加以判斷，在一般大氣環境中，溫度會隨高度而降低，若當垂直溫度明顯的隨高度而增加(逆溫現象)時，此時的高度為大氣垂直擴散的頂點，即混合層頂之高度。當混合層高度降低時，此大氣處於靜力穩定狀態，將不利於近地面層的污染物擴散與稀釋。

本研究利用 Holzworth 估算法，亦稱為乾絕熱法來求取台中都會區之混合層高度，其定義為地表之乾絕熱線與中性層之垂直溫度變化線的交點高度，即為當日之最高混合層高度，如圖 3-2-1 所示。

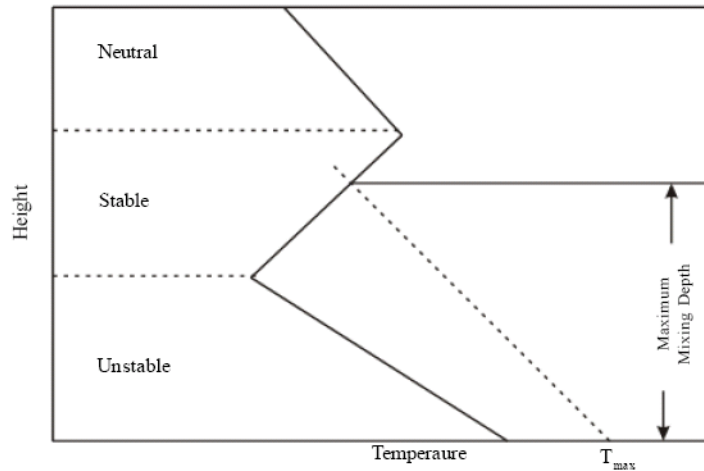


圖 3-2-1 乾絕熱法求取混合層高度圖(Shafie-Pour and Khamsei, 2008)

### 3.2.2 繫留探空儀(Tethersonde)裝置流程

在案例研究期間，本研究團隊依歷年統計資料選取台中都會區較容易產生不良空氣品質之秋季，以及台中都會區熱島效應最強之大里地區，進行為期數日之繫留探空監測。監測項目包含氣象與污染物垂直剖面資料，繫留探空裝置，如圖 3-2-2 所示，流程有詳細之介紹如下：(Cheng, 2000、2001、2002)

(a) 選定之監測地點，必須考慮到以下幾點：

a. 避開飛機航道區域以免干擾航道。

b. 避免樹木林立以及週遭有高大建築物之干擾。

(b) 空氣品質監測儀必須於開始監測前24小時架設完成、進行暖機、並且校正數值。

(c) 將氣象感應器與架設於地面之固定式氣象儀於地表等高度進行同步校正，所校正之項目有：壓力、乾球溫度、相對溼度、風向等項目。

(d) 將繫留氣球填充氫氣時，過程中需避免繫留氣球受地面摩擦，將氣球以專用750 lb抗拉力之絞盤線繫於機械絞盤上，並將其與附近支柱固定以防止過大風力影

響產生危險，絞盤下須鋪設帆布以防止氣球施放或回收時因磨擦地表而毀損。

- (e) 將Tethersonde繫於絞盤線上開始施放氣球，將已設定同步啟動(停止)之採樣器綁至絞盤線上並將採樣袋附著於其上，藉此得到高度為50、100、200、300、400、500m之空氣樣品，並於地面同步進行氣體採樣動作，共六個高度樣品。
- (f) 施放過程中，需注意風速的強弱，若高空風速高於 $8 \text{ m/s}^{-1}$ 時，須考慮是否繼續施放，以避免因風速過大導致絞盤線拉扯斷裂，造成Tethersonde與採樣器因摔下而損毀。
- (g) 待設定之採樣抽器幫浦到達停止時間後立即將繫留探空氣球下降，收回後將採樣器所採各高度之空氣樣品立即以空氣品質分析儀加以分析。
- (h) 一次採樣與分析程序約耗時 60 至 90 分鐘，每間隔 3 小時採樣一次，依所需資料要求進行為期數日之監測之連續監測。

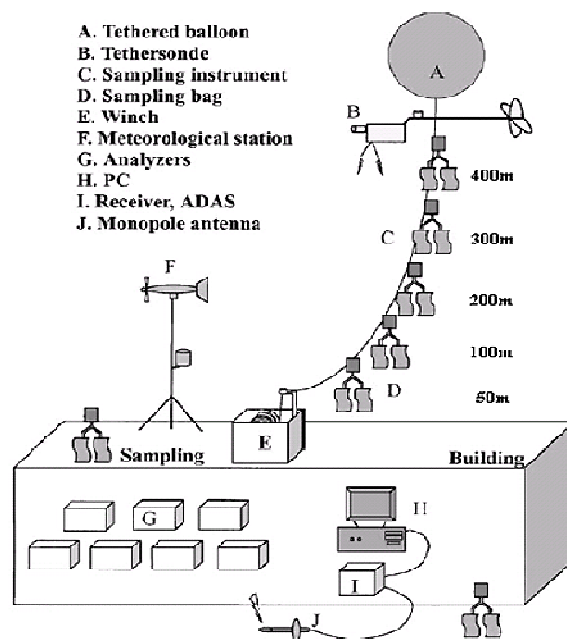


圖 3-2-2 繫留探空監測示意圖

### 3.2.3 繫留探空儀(Tethersonde)儀器說明

- (a) 探空氣球 (Tether Balloon)：採用直徑約4 m之廣告氣球，淨重約為5公斤，將其充滿氫氣於靜風狀態時浮力約為30 kg。需隨時注意汽球浮力情況予以來補充氫氣，因為在採樣過程中氣球之氫氣會逐漸逸散。

- (b) 氣體採樣器：本研究使用自製定時抽氣採樣器，儀器上設有定時開關裝置可供使用，採樣器含電池整體平均重量約為600 g，其氣體抽取流量約為每秒0.05 L。
- (c) 氣體採樣袋：使用美國SKC公司所生產之10公升鐵氟龍採樣袋(Teflon samplebag)。
- (d) 繫留探空儀(Tethersonde)：使用美國Vaisala公司製造之氣象感應接收器(SPS220 Sounding Processor)，探測各項氣象資料並將數值傳回地面接收器，透過氣象資料接收器將繫留氣球上的繫留探空儀(Tethersonde)所發出的微波訊號，將高度、壓力、溫度、相對濕度、風向、風速等氣象參數資料，經處理轉成格式化氣象資料傳送給電腦做後續處理，由於探空氣球在上升過程受到風力的影響會於同一高度出現多次數值的現象，故各項數據採每10 m取一代表值。
- (e) 大氣資料接收系統(SPS220 Sounding Processor)：接收繫留探空儀所發出之微波訊號，並轉換成可讀取格式化氣象資料傳送給電腦做後續處理。

#### **3.2.4 TAPM 數值模式之設定**

本研究利用 TAPM 模式模擬台中都會區綜觀風場以及熱島效應之情形，並將模擬結果與中部地區各監測站觀測資料進行驗證。所選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。透過 GUI (Graphical User Interface) 介面選取功能來執行 TAPM 模式以及模擬結果之輸出選擇，其主要操作視窗(圖 3-2-3)及其設定值說明如下所示：

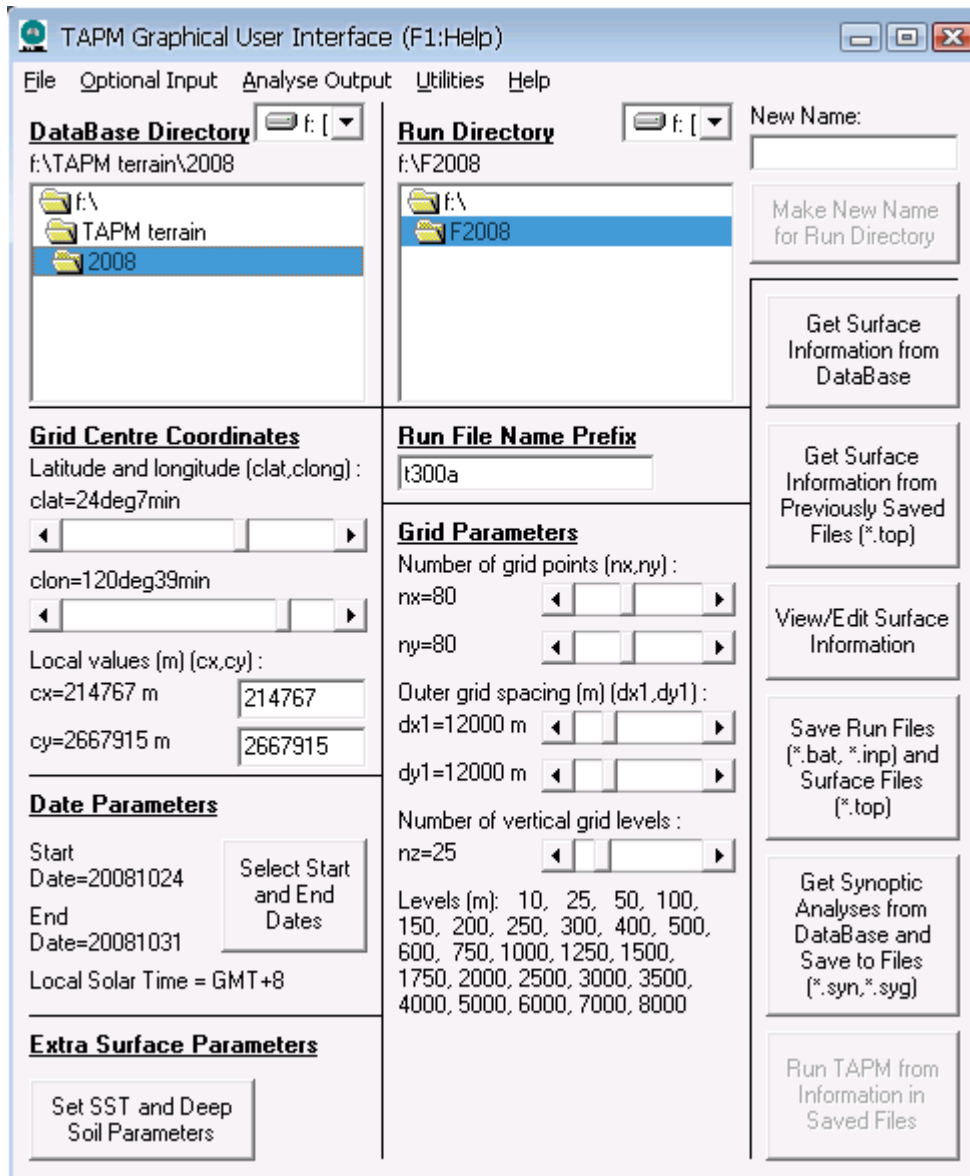


圖 3-2-3 TAPM 操作視窗示意圖

### Grid Centre Coordinates :

TAPM 模式模擬網格範圍是以使用者設定之經緯度座標為中心點，依設定之單位網格間距往外擴張，系統使用一般卡式座標(X, Y)為公制單位，x的位置從西到東為正，y的位置從南到北為正。本研究經緯度座標中心設定值分別為緯度24度7分，經度為120度39分，中心位置座落於台中市忠明測站(環保署)。

### Data Parameters :

此項目為設定模式模擬起始與結束日期，對應於yyyymmdd (例如：20000101對應於2000年1月1日)的形式，並透過TAPM 經緯度中心設定，表示出相對於格林威治標準時間(GMT)的當地太陽運行時間(LST)。

根據本研究過去研究經驗得知，模式於正式模擬之前須先經兩天的初始化模擬(48小時)，藉以調整模式內部動力不確定性對於污染物濃度模擬之影響。

### Extra Surface Parameters :

此指令主要在於啟動TAPM 資料庫中額外的地表資料，如深層土壤飽水度(deep soil volumetric moisture content)、海面溫度資料(sea surface temperatures,SST)以及深層土壤溫度參數(deep soil temperature, DST)。

本研究輸入之參數2007年10月和2008年10月DST分別為301.1K以及299.7K，SST分別為299.7K以及299.5K，台灣地區並無研究單位針對深層土壤飽水度作調查，故其值設定採用與美國NCAR 所提供之月平均資料一致皆為0.2(water/soil)。

### Grid Parameters:

此項目功能在於設定網格參數範圍，假設使用者欲以多層網格技術進行模擬，則必須於optional input 選項中氣象場設定中進行調整，於主視窗之設定為第一層(最大)網格輸入值，TAPM 模式次網格技術模擬最大分層可至5 層。網格數目設定可從1-200 格，單位網格間距介於100-50000 m，垂直分層可分20-50 層，TAPM 最高模擬高度為8000 m。

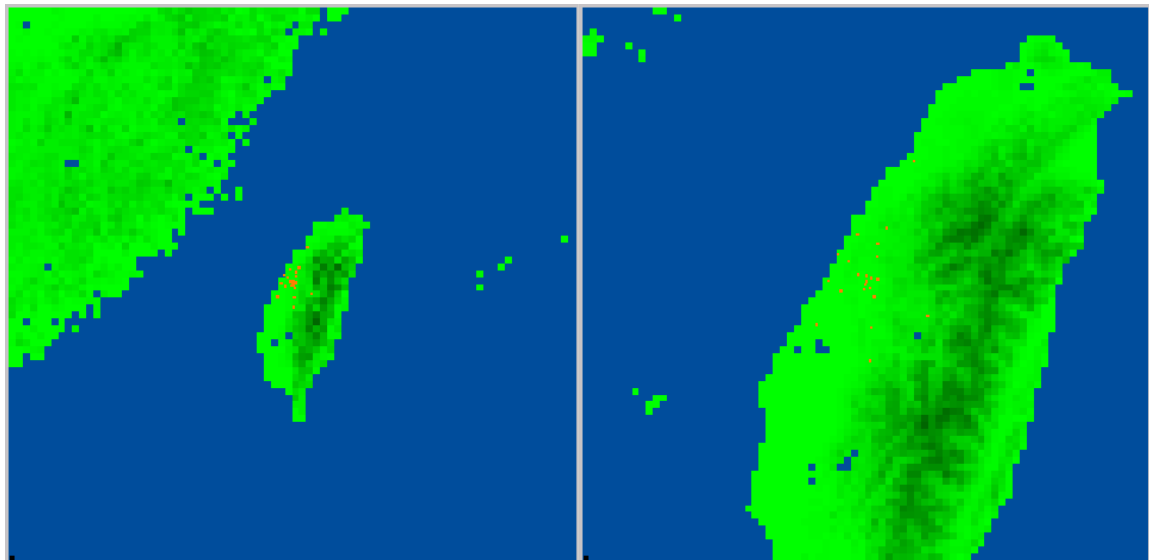
本研究採用四層巢狀網格模擬，其網格數 (nx × ny) 均為 80 × 80 格 (表 3-2-1)，水平方向網格解析度 (dx × dy) 分別為12000 m × 12000 m 、 3600 m × 3600 m 、 1200 m × 1200 m 及 800 m × 800 m，其第一巢最大網域涵蓋範圍包含台灣本島及其周圍海域，因TAPM 忽略地球曲率效應，且受限於模式檔案大小限制在2GB 以內，本模式對於最大網域範圍被限制在不可超過1000 km × 1000 km (即nx × dx1 < 1000 km)，最小網域則為本研究所探討之台中都會區 (圖 3-2-4)。

完成上述模式值輸入動作後，可於主操作視窗右方選項查看設定情形並作存檔動作。完成上述之前處理資料建立後，便可開始執行模式模擬。

表 3-2-1 TAPM模式網格設定表

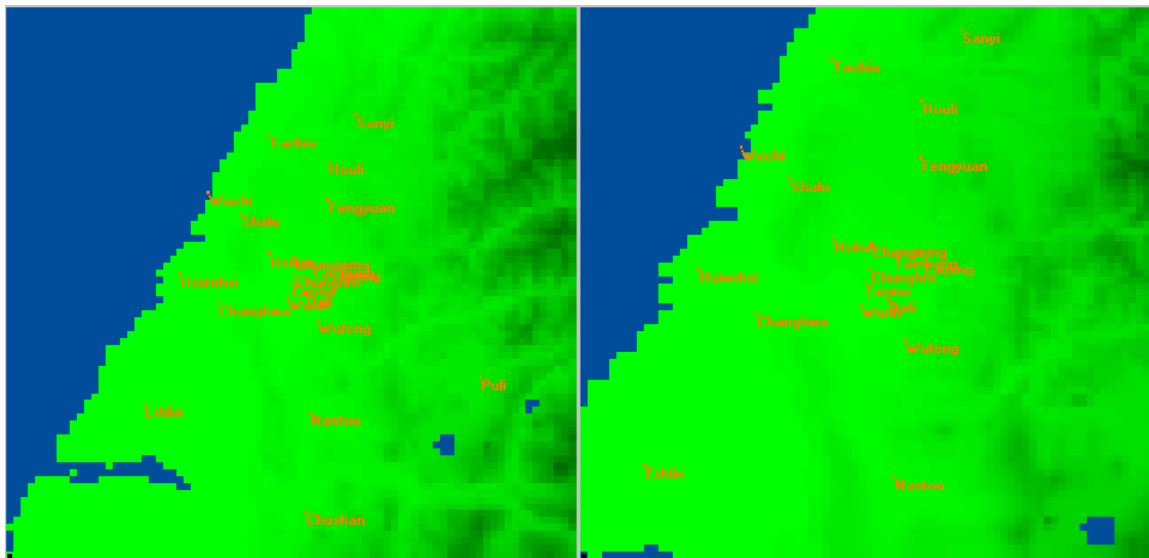
NEST	RESOLUTION(m)	NX×NY	NZ
D1	12000	80×80	25
D2	3600	80×80	25
D3	1200	80×80	25
D4	800	80×80	25





(a) Domain 1

(b) Domain 2



(c) Domain 3

(d) Domain 4

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) 12 km × 12 km、(b) 3.6 km × 3.6 km、(c) 1.2 km × 1.2 km、(d) 0.8 km × 0.8 km

### 3.2.5 AVAGE statistical method

本研究參考O'Doherty et al. (2001)，為了分析其測站中的三氯甲烷 (CHCl<sub>3</sub>) 資料，將資料中受到人為排放的影響分離，而使用一統計方法分析大氣中CHCl<sub>3</sub> 的背景值。此統計方法如下：

1. 將時間尺度資料的每日最低值做二次曲線回歸，並將資料減去此回歸曲線。
2. 將減去回歸之曲線的資料取其中位數；使用中位數代表全部數據的原因，中位數相較於平均值更能代表資料特性，讓數值分布更趨近於高斯分布。

- 3.將在中位數至最小值之間的數據做Root Mean Square，此RMS值稱為 $\sigma$ 。
- 4.將資料中大於 $3\sigma$  的值標記為Polluted，介於 $2\sigma$ 與 $3\sigma$ 中間的值標則標記為Maybe Polluted。
- 5.分析Maybe Polluted 的值做分析，若此資料與Polluted 值資料在時間上為連續資料（時間上連續）則重新標記為 Polluted。重覆此步驟。
- 6.將除了Polluted 值以外的資料做平均，為所求之背景值。

### 3.2.6 模式驗證

本文將其模式模擬結果以下述呈現方式與統計方法驗證模式模擬之準確性，評估方法採用行政院環保署針對空氣品質模式所公告之模擬規範，以及國外模式模擬評估研究中使用之統計方法作為參考。

一致性指數(Index of Agreement, IOA):用以了解監測值與模擬值兩者間的一致性程度，其IOA的定義方式使其數值均介於1與0，當IOA為1則呈現完美的一致性，IOA為0則呈現完全不一致，通常數值超過0.5即為好的結果(Willmott, 1985; Hurley et al.,2003)，表 3-2-2 為應用IOA 方法於模式模擬統計評估之相關研究。

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

$P_i$  = predicted value

$O_i$  = observed value

$N$  = total number of pairs

$O_{mean}$  = observed mean

表 3-2-2 應用 Index of agreement (IOA)方法之相關研究比較表

Study area	Reference study	Model	IOA			
			WS	U	V	T
Los Angeles Basin (USA)	Seaman et al.,2000	MM5	0.55			
Lake Michigan	Seaman et al., 2000	MM5	0.54			
Hong Kong	Physick and Noonan, 2000	MM5	0.36-0.71			
Kwinana (WA)	Hurley et al., 2002	TAPM	0.67	0.87	0.84	0.96
Cape Grim (TAS)	Hurley et al., 2002	TAPM	0.71-0.85	0.89-0.94	0.82-0.89	0.92
Melbourne	Hurley et al., 2003	TAPM	0.79-0.88	0.89-0.94	0.82-0.89	0.92
Perth	Hurley et al., 2002	TAPM	0.78	0.91	0.9	0.95
Kincaid (USA)	Luhar and Hurley, 2003	TAPM	0.8	0.83	0.87	0.94
Kalgoorlie (WA)	Edwards et al., 2004	TAPM	0.81	0.95	0.92	0.93

## 第四章 統計分析

本章首先利用統計方法分析大里地區都市熱島效應的日際與季節變化特徵，然後進一步分析海陸風環流在不同季節下對於中部地區熱島效應以及污染物濃度的影響。

### 4.1 中部地區海陸風日、強熱島日及高臭氧污染日之相關統計分析

為了統計分析上的方便，以及找出海陸風與熱島效應對中部地區污染物濃度影響之相關性，本研究選定中部地區 2007 年至 2008 年環保署及台中縣環保局測站的空氣品質及氣象資料進行統計分析，並對海陸風盛行日、強熱島日、高臭氧污染事件日作以下定義：

#### ● 海陸風日(SBD)

海陸風之發生定義為白天時風向由陸風轉為海風，夜晚時則由海風轉為陸風，當兩種情況均發生時，即為海陸風日。海陸風風向依其發生原因應是垂直於海岸線，但由於台灣中部地區海岸線呈現北北東、南南西走向，且在綜觀盛行風的作用下，海陸風風向往往不是垂直於海岸線。因此為了統計分析上的方便，本研究參考(江宙君，2007)的方法，選定中部沿海梧棲測站為基準，以梧棲測站為中心，將垂直於平行海岸線之角度為中心，各取一百度，來做為海風及陸風風向之區分，並且須在同一天內發生日間陸風風向轉為海風風向，夜間海風風向轉為陸風風向的情況，且此風向轉變須維持三小時以上，風速不得大於 $4\text{m/s}^{-1}$ 。均符合以上條件者，此日挑選為海陸風盛行日(sea breeze day)。

#### ● 強熱島日(HID)

本研究蒐集2007年至2008年中中部地區固定式自動氣象監測站的氣溫資料，並選定大里測站作為都市測站，而后里測站作為郊區測站來進行分析比較，並對兩站之氣溫資料作以下前處理：

- (1) 刪除明顯錯誤的氣溫資料。
- (2) 對一天內(00-23小時)缺失三分之一(即8h以上)時次以上的觀測資料，記為該日記錄缺失。

(3) 對一天內有少量時次(少於8h)記錄缺失的情況，利用相鄰氣象站同時刻的氣溫資料運用內插法將之補齊。

由於熱島強度之表示為都市中心與周圍郊區的溫度差，即 $UHI = T_u - T_r$ ，因此根據(Lai and Cheng, 2009)對於熱島強度之劃分，本文定義：一天之中 $UHI \geq 3^\circ\text{C}$ 並連續出現2hr以上者，即該日為強熱島日(heat island day)。

### ● 高臭氧污染日(HOD)

在選定的中部地區10個測站中，一天(00-23小時)中只要其中任一測站之臭氧濃度日高值大於80ppb，就定義此日為該測站高臭氧污染日(HOD)。

統計2007年1月1日至2008年12月31日，共計731個觀測日，有效觀測日為693天，其中297天出現強熱島現象，機率為42.86%，而海陸風盛行日為195天，機率為28.14%。一年之中，海陸風發生頻率較高的季節是夏季，約為48%，其次是春、秋兩季，分別是24%與22%，冬季則最為稀少，僅有約6%。另外，透過計算得出，近2年大里地區的平均熱島強度為 $1.38^\circ\text{C}$ ，在各季中，平均熱島強度以冬季最強，平均為 $1.85^\circ\text{C}$ ，其次為秋季，平均為 $1.67^\circ\text{C}$ ，最弱則是春季，平均為 $0.91^\circ\text{C}$ 。圖 4-1-1為2007年1月至2008年12月期間，大里地區的逐月平均熱島強度圖，從圖中可看出，整體趨勢而言，2008年的熱島強度高於2007年，由於熱島強度的季節變化會受到社會環境或者氣候因素所影響，因此在不同時期會有不同的結果，所以才造成這2年之間較大的差異。而月平均熱島強度則在每年4月至6月時為最弱，其中2007年的月平均熱島強度在4月或5月為最弱，平均僅 $-0.28^\circ\text{C}$ ，而2008年最弱的月平均熱島強度則是在6月或7月，平均為 $0.87^\circ\text{C}$ ；另外，月平均熱島強度最大值常出現在11月至翌年1月，其中2008年11月平均熱島強度最大為 $2.42^\circ\text{C}$ 。海陸風日與強熱島日及高臭氧日在不同季節時期下的發生機率如表 4-1-1。

表 4-1-1 海陸風日、強熱島日及高臭氧日在不同季節時期下的發生機率表

Season	SBD		HID		HOD	
Spring	46	24%	66	23%	78	37%
Summer	94	48%	48	16%	27	13%
Fall	43	22%	90	30%	81	39%
Winter	12	6%	93	31%	23	11%
Total	195	100%	297	100%	209	100%

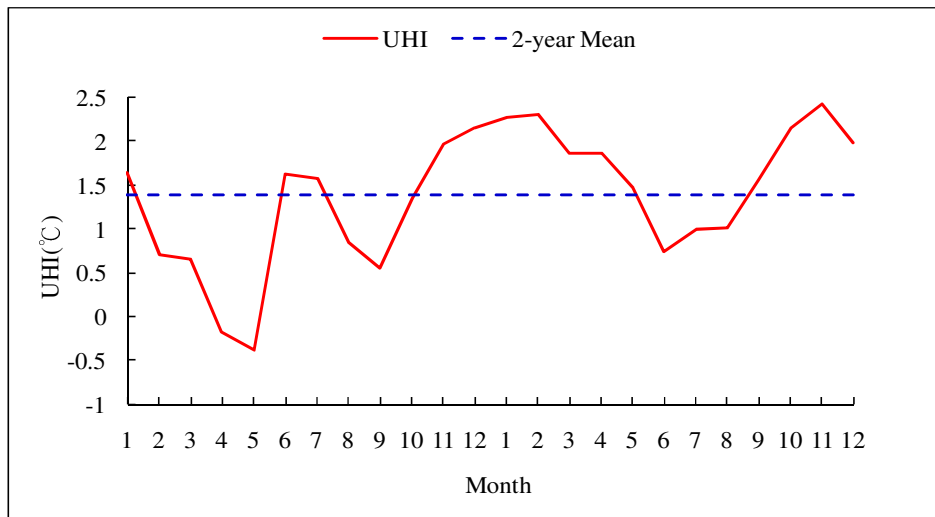


圖 4-1-1 2007年1月至2008年12月期間大里地區的逐月平均熱島強度圖

#### 4.1.1 熱島效應的日際變化

圖 4-1-2 是都市(大里測站)與郊區(后里測站)的每小時氣溫變化及差別比較圖，從圖中可看出，整體而言，都市地區的小時平均溫度均較郊區為高，而當早上太陽升起後，郊區溫度的增加幅度明顯高於都市地區。推測可能與都市建築表面所具有的較大熱容量和熱傳導有關，使得都市地區在日出後的增溫速度較郊區為慢(Oke, 1982)。另外，市區中大量密集的高樓大廈與柏油路面也阻礙了熱量的發散，也使得夜晚都市的降溫速度較郊區來的慢。而透過圖 4-1-3 都市與郊區的溫度差進一步分析比較發現，一天之中，最大熱島強度通常發生在夜間 18 時至 21 時，而日間 8 時至 10 時則較小，此情況符合 Chow and Roth (2006)的結論，最大熱島強度通常發生在日落後 2-3 個小時左右，中午時則較弱。

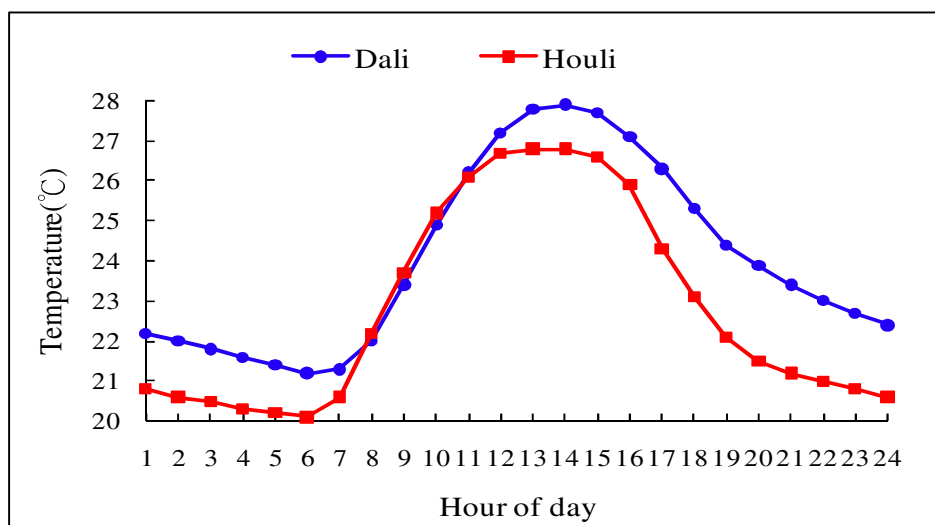


圖 4-1-2 2007年至2008年期間大里與后里地區的平均氣溫日際變化圖

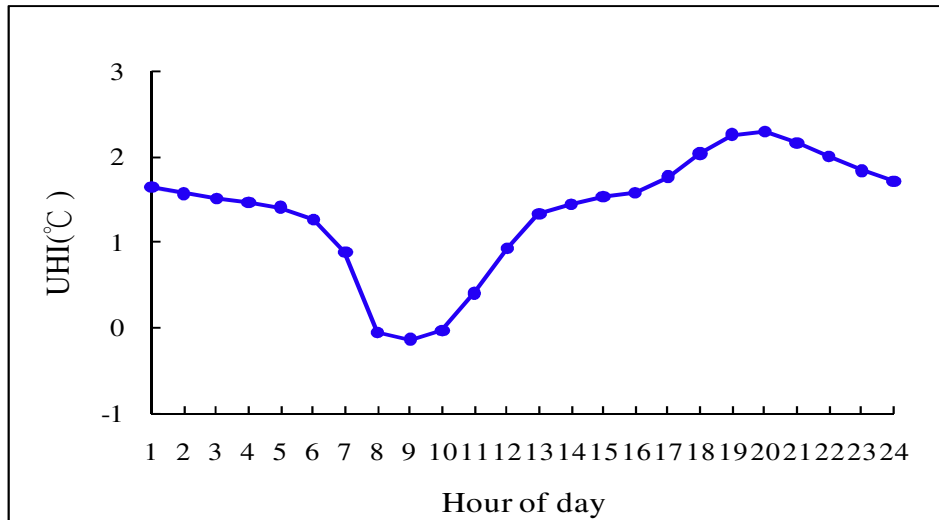


圖 4-1-3 2007年至2008年期間大里與后里地區的平均氣溫差( $T_{u-r}$ )日際變化圖

#### 4.1.2 熱島效應的季節變化

為了探討不同熱島強度在不同季節時期下的發生頻率，本研究蒐集統計2007年至2008年都市測站(大里)與郊區測站(后里)四個季節的氣溫資料，並將之換算成熱島強度後分為四個等級來進行分析比較，表 4-1-2中顯示，一年之中，大里地區發生強熱島現象( $3^{\circ}\text{C} \leq \text{UHI}$ )頻率較高的季節是在秋、冬兩季，分別是17%及22%，其次是春季12%，最後則是夏季7%。此情況與Hua et al. (2007)的研究結果相同，根據研究顯示，一般而言在(亞)熱帶地區，最高的熱島強度大部分都出現在冬季，夏季則較為稀少。Oke et al. (1991)解釋這可能與人為活動所釋放的熱量影響在冬季變得更加重要的因素有關。另外，從大里測站與后里測站氣溫差(大里減后里)的逐小時月際變化圖(圖 4-1-4)中可看出，熱島強度的日際變化在不同季節或月份基本上是一致的，即日間一般為負值而晚間為正值，不過，冬季出現負值的時間明顯比夏季來得短；而出現正值的時間則較夏季為長。一年之中，晚間熱島現象最不明顯的是夏季。秋冬季(特別是10月至12月)晚間熱島現象則是非常顯著的。

表 4-1-2 2007年至2008年期間不同季節下不同熱島強度發生頻率表(%)

2007-2008	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Season	$\text{UHI} < 0^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C} \leq \text{UHI} < 3^{\circ}\text{C}$	$3^{\circ}\text{C} \leq \text{UHI} < 4^{\circ}\text{C}$	$4^{\circ}\text{C} \leq \text{UHI}$
Spring	29	59	9	3
Summer	21	72	5	2
Fall	12	71	15	2
Winter	10	68	18	4

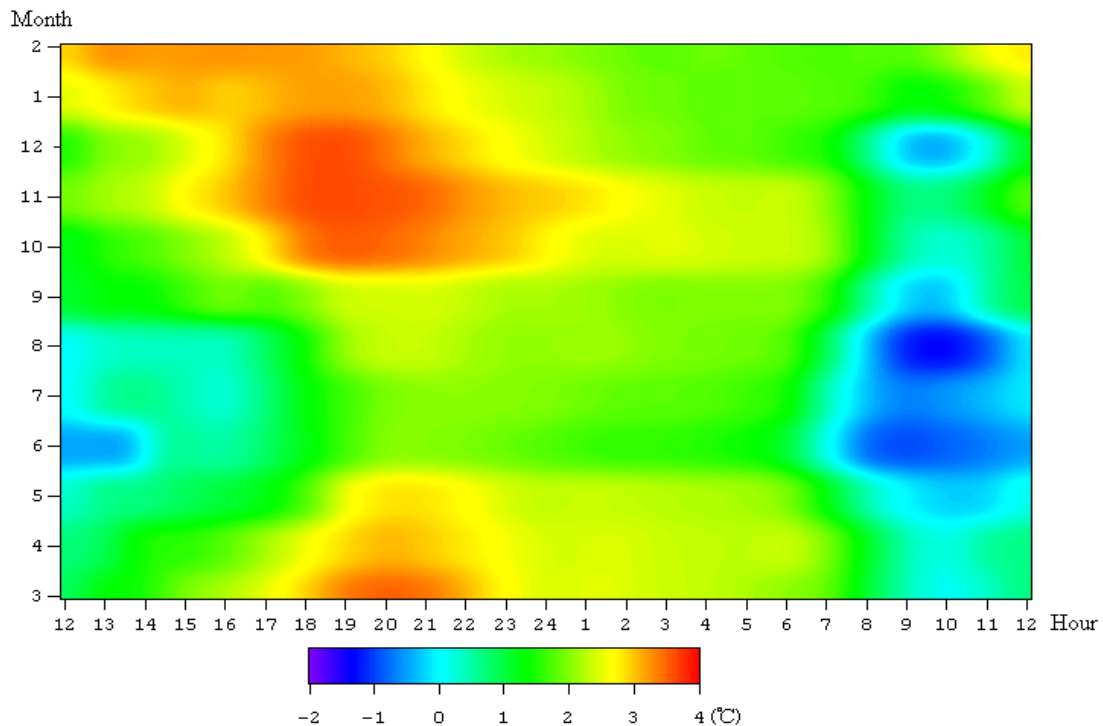


圖 4-1-4 2007年至2008年期間大里與后里的平均氣溫差( $T_{u-r}$ )逐時月際變化圖

## 4.2 月平均24小時時序圖分析

局部環流海陸風現象的強弱會影響中部地區的熱島現象以及污染物的傳輸，因此本研究以4.1章裡所定義之海陸風日，分為海陸風盛行日及非海陸風盛行日，並分別做2007年至2008年十二個月大里地區的熱島強度與污染物濃度之月平均24小時時序圖，來分析比較熱島效應的強弱以及污染物濃度的變化在海陸風發生時與沒有發生海陸風的差別。

### 4.2.1 海陸風與熱島強度變化分析

首先從2007年與2008年大里測站的十二個月熱島強度月平均24小時時序圖(圖4-2-1)來看，當白天海風形成時，大里測站的熱島強度開始呈現下降的趨勢，降幅較非海陸風盛行日來的明顯，在上午9-10時達到月小時平均最低值，顯示出由於受到海風帶來的海面上涼爽空氣的影響，中部都會區熱島效應的局部高溫現象因此較不顯著。而從季節方面來深入分析，在春季(三月份至五月份)白天海風發生期間，大里測站的熱島強度明顯受到海風的影響而下降，但在夜間陸風發生期間，兩種情況下的熱島強度卻沒有多大的差別，顯示出春季的夜間陸風現象較不顯著，無法幫助都市地區散熱。而在夏季(六月份到九月份)海陸風最盛行的季節裡，當風速較強的



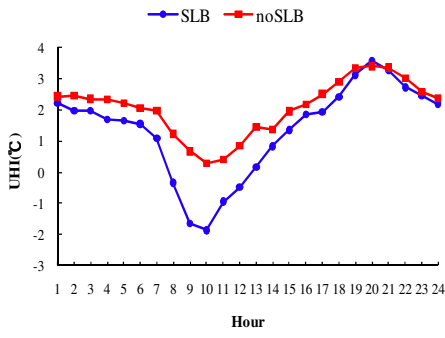
海風或陸風發生時，大里地區的熱島強度皆明顯較非海陸風盛行日時低約 1°C 至 2°C，顯示出當顯著的海陸風現象發生時會幫助都市地區達到通風散熱的效果，而影響到熱島效應的強度，其中又以七月份與九月份受到的影響較顯著。另外在十月份至十二月份接近秋、冬季時期的部分，此時期是夜間熱島強度最強的季節，從時序圖中可看出雖然在白天時熱島強度受到海風的影響而下降，但當夜間發生強熱島現象時，微弱的陸風對於熱島強度的變化不但沒有影響，反而還有加乘的效果，因此導致在海陸風盛行日時的夜間熱島強度高於非海陸風發生日。綜合以上所述，整體而言，海陸風現象對於大里地區的熱島效應強度有一定程度的影響，特別是夏季最為顯著。

#### 4.2.2 海陸風與臭氧濃度變化分析

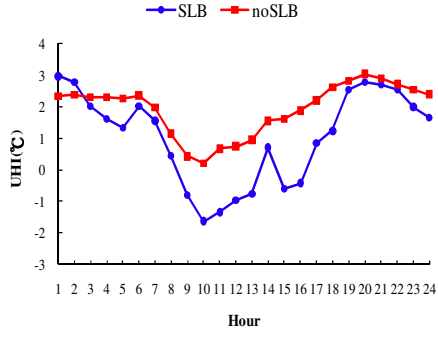
在污染物濃度方面，從2007年與2008年大里測站的十二個月臭氧濃度月平均24小時時序圖(圖 4-2-2)來看，整體而言，大里測站的臭氧濃度變化在有無發生海陸風時皆呈現出中午時濃度較高而早上與夜間則較低的趨勢。從季節方面來深入分析，在春季(三月份至五月份)的部分，當早上海風尚未形成時，大里測站的臭氧濃度較非海陸風日時來的低，但到了中午海風開始形成後，臭氧濃度有逐漸升高的情況，顯示出受到海風的影響顯著。夏季(六月份至八月份)是海陸風現象最頻繁的季節，大里測站有無發生海陸風之臭氧濃度，在早上時沒有太大的差別，但當中午海風開始變強時，大里測站的臭氧濃度明顯較非海陸風日時高約10ppb，而到了夜晚時臭氧濃度則因為陸風盛行而下降。而在九月份至十二月份接近秋、冬季節的部分，九月份與十月份的整體臭氧濃度雖高，但有無發生海陸風時之濃度幾乎沒有差別，顯示受到海陸風的影響不顯著，因此表示造成大里地區臭氧濃度的累積可能是其他因素所致，而在十一月份與十二月份，當中午海風盛行時，臭氧濃度明顯受到海風帶來沿海地區污染物的影響而上升約20ppb，到了早上及夜晚時，則因為陸風的關係而被稀釋擴散造成濃度下降。綜合以上所述，在夏季與秋冬交替的季節，大里測站的臭氧濃度累積明顯受到海陸風的影響，白天海風將沿海地區的污染物往內陸傳送，造成高污染事件日的發生，而夜晚陸風則有稀釋污染物濃度的作用。

### 4.3 小結

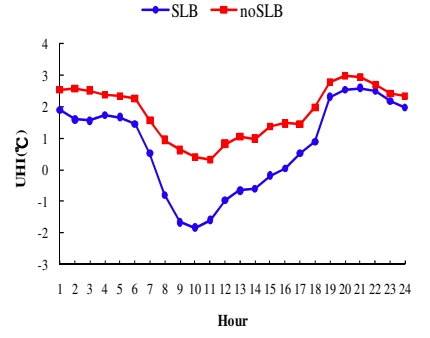
1. 統計海陸風日、強熱島日及高臭氧日一年四季的發生頻率顯示，秋季是最容易受到海陸風以及都市熱島效應的影響而引起高臭氧污染事件的季節。
2. 在都市熱島效應方面，台灣中部地區最大熱島強度通常發生在夜間 18 時至 21 時，而日間 8 時至 10 時則最弱，此結果與 Chow and Roth (2006)在新加坡以及 Huang et al.(2008)在南京的研究結果相同。而在季節分析方面，一年之中，中部地區熱島強度最強的季節是在秋季與冬季，而春季與夏季時則較弱。另外，晚間都市熱島現象最顯著的季節是在秋季與冬季(特別是 10 月至 12 月)，而夏季則是最不顯著的。
3. 而局部環流是造成大里地區容易有高污染事件的原因之一，統計結果顯示，當海陸風現象顯著時，較強的風速會減弱都市熱島效應的強度，而沿海地區的污染物也容易經由海風的作用下傳輸到內陸地區，對內陸地區的臭氧濃度累積有影響，其中又以秋季的影響程度最為明顯。



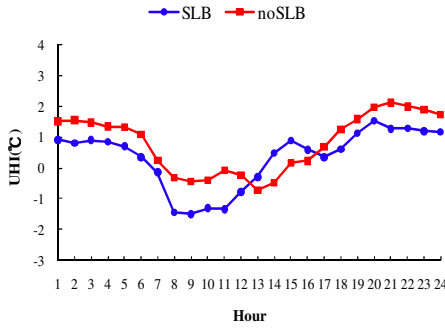
(a)MAR



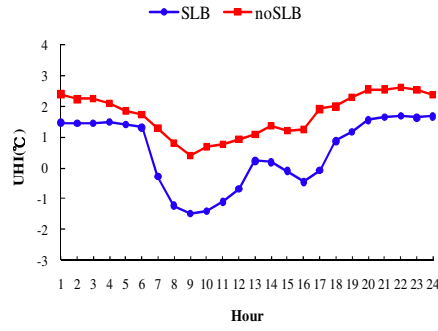
(b)APR



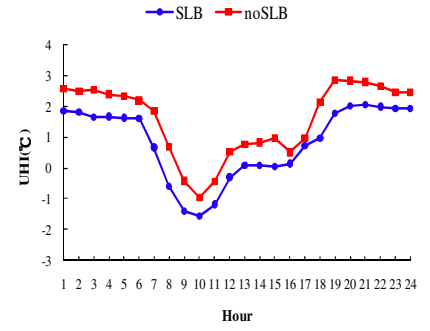
(c)MAY



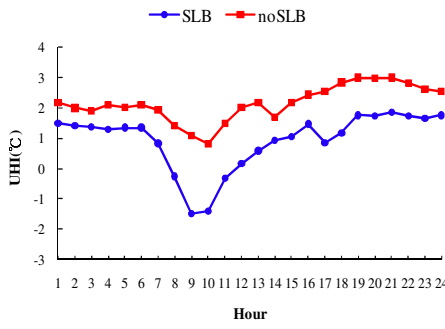
(d)JUN



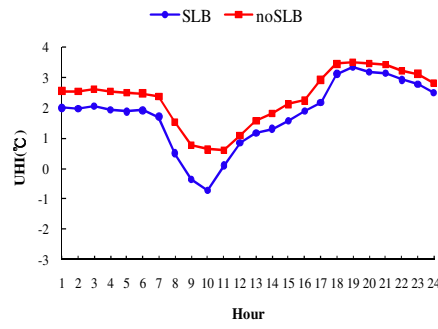
(e)JUL



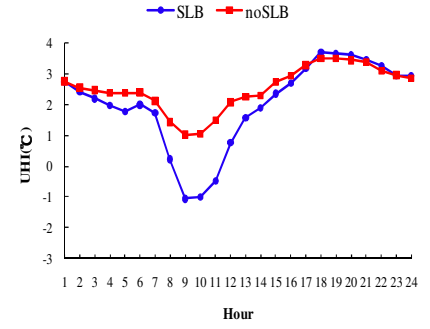
(f)AUG



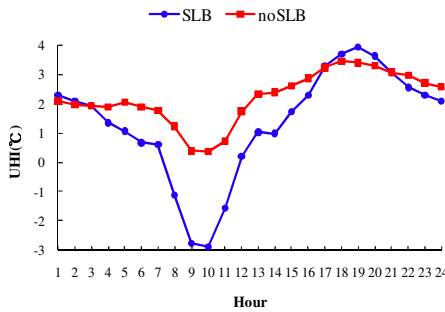
(g)SEP



(h)OCT

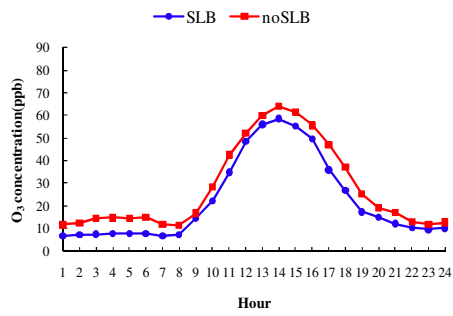


(i)NOV

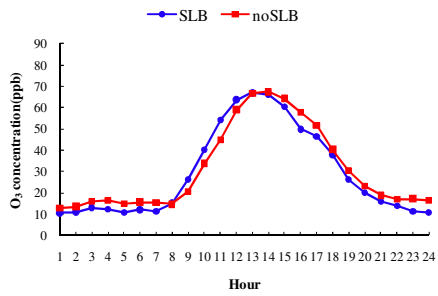


(j)DEC

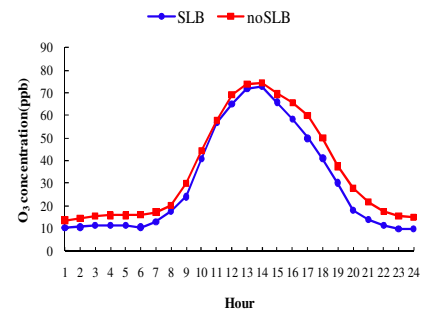
圖 4-2-1 大里測站2007年至2008年十二個月月平均逐時熱島強度圖（缺一、二月，因一、二月無海陸風發生日）（藍線為海陸風發生日，紅線為非海陸風發生日）



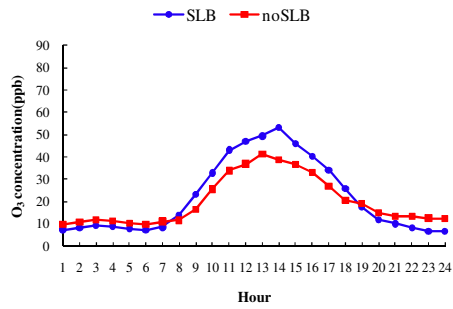
(a)MAR



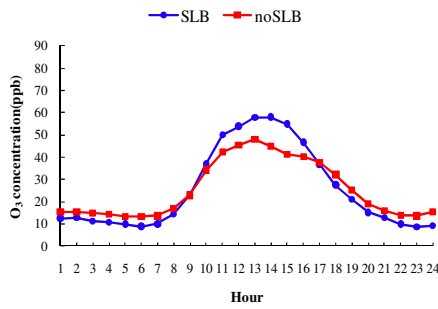
(b)APR



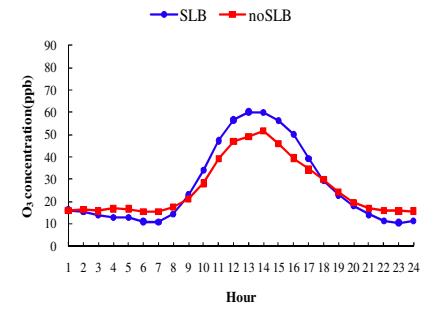
(c)MAY



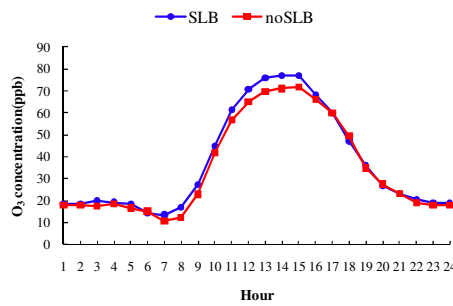
(d)JUN



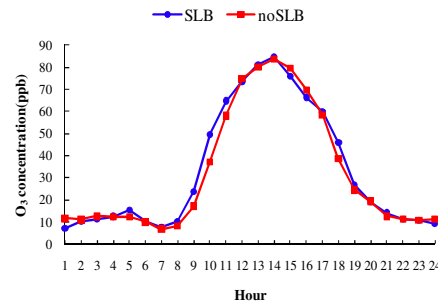
(e)JUL



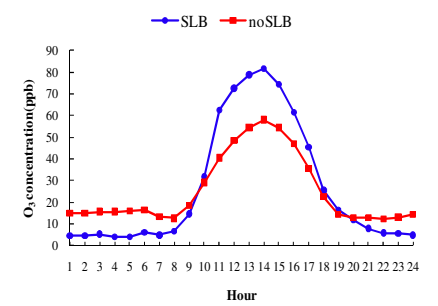
(f)AUG



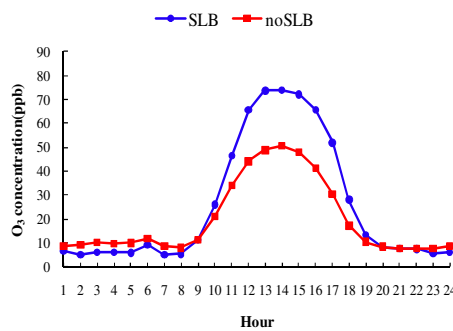
(g)SEP



(h)OCT



(i)NOV



(j)DEC

圖 4-2-2 大里測站2007年至2008年十二個月月平均逐時臭氣濃度圖（缺一、二月，因一、二月無海陸風發生日）（藍線為海陸風發生日，紅線為非海陸風發生日）

## 第五章 案例結果分析

### 5.1 平面氣象環境與污染物分析

本研究選取之研究案例期間為2007年及2008年秋季10月26日至29日。在2007年及2008年秋季監測期間，綜觀天氣型態主要以高壓出海與高壓迴流型態為主，台灣地區受到高壓系統籠罩，在加上日間近地面風速微弱，混合層高度偏低，污染物被限制於近地面，導致了中部地區空氣污染濃度偏高。

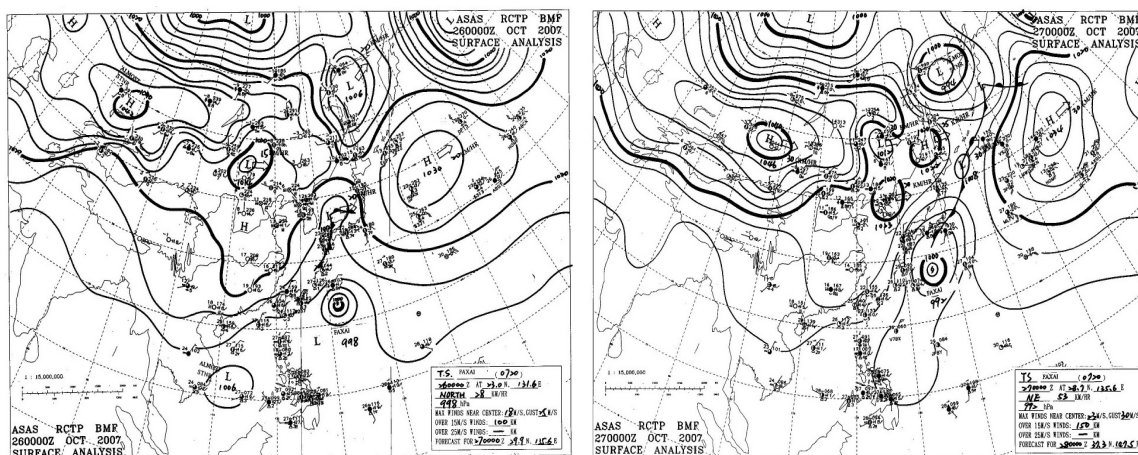
#### 5.1.1 綜觀天氣分析

於2007年秋季10月26日至29日監測採樣期間，台灣地區主要天氣類型為高壓出海與高壓迴流之天氣型態。26日(圖 5-1-1(a))受到颱風外圍環流及鋒面的影響，台灣北部以及西部都呈現東北風。27日(圖 5-1-1(b))因颱風外圍環流和鋒面及高壓迴流的影響，台灣東部以及中南部都呈現東北風，北部則為北風，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。28日(圖 5-1-1(c))受到高壓迴流和高壓出海以及台灣地形的影響，東部以及中南部都呈現微弱的東北風，西半部風場微弱，氣候狀況穩定。29日(圖 5-1-1(d))受到高壓出海的影響，台灣地區綜觀風場呈現東北風。

而2008年秋季10月26日至29日監測採樣期間，台灣地區綜觀天氣型態主要以高壓出海與高壓迴流型態為主，為高壓出海與高壓迴流過渡期。當高壓系統中心位於台灣北方或西北方時，綜觀風場呈現北風，受到中央山脈的地形屏風阻擋下，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及過山後之下層氣流。從26日(圖 5-1-2(a))開始，台灣受到高壓迴流以及地形的影響，東部呈現東風，西部則為北風，風場微弱。27日、28日(圖 5-1-2(b)~圖 5-1-2(c))受到高壓出海之影響，台灣北部呈現東北風，中南部則為北風，西部地區風場微弱，氣象狀況穩定。29日(圖 5-1-2(d))則受到高壓迴流的影響，綜觀風場皆呈現偏東風。

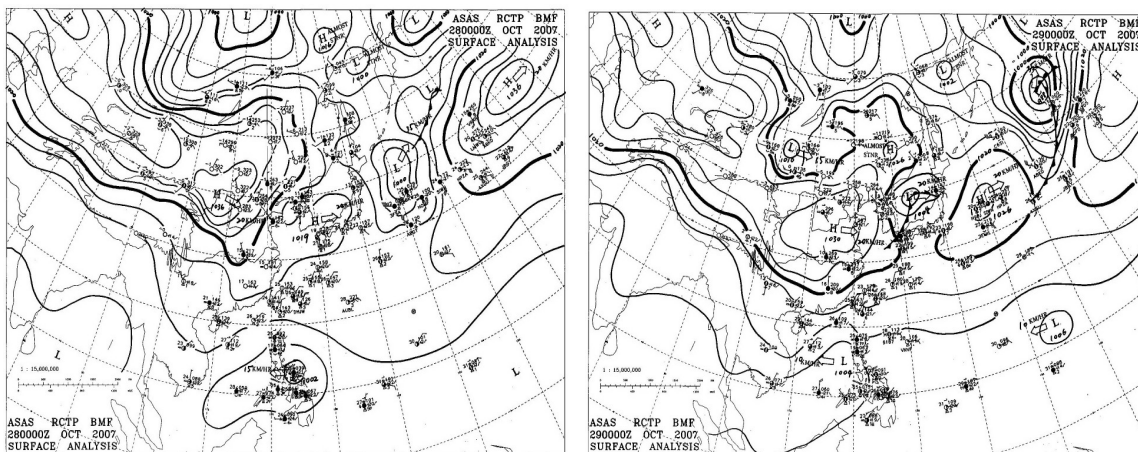
綜合2007年與2008年秋季監測採樣之天氣型態進行比較，可以發現二次秋季的監測採樣期間，除了受到高壓出海與高壓迴流天氣型態的影響以外，另外還有颱風接近台灣的因素。北方的高壓系統與颱風外圍環流所共伴的偏東風氣流會受到台

灣地形的影響，發生繞流與過山沉降。此現象在台灣中部造成低風速穩定與低相對濕度的氣象條件，有利於高污染事件的生成。



(a)

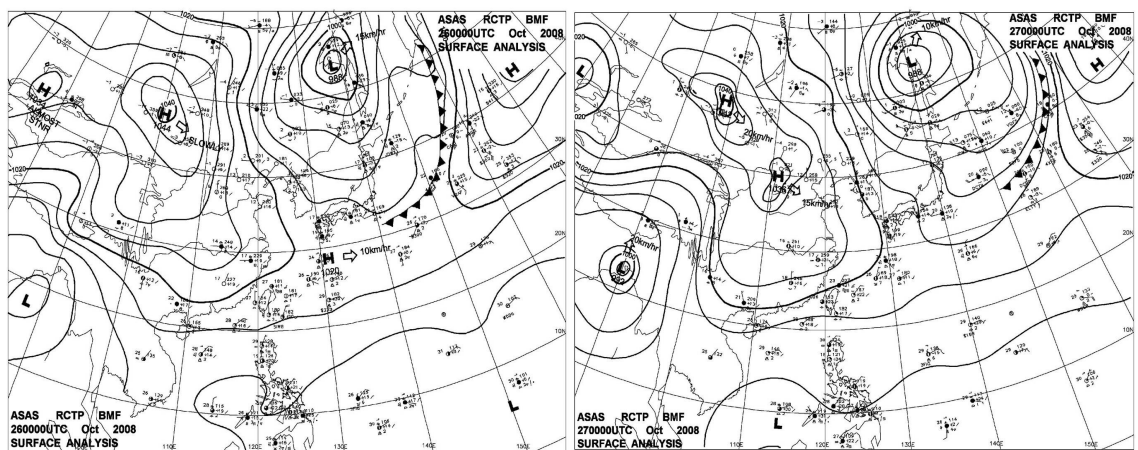
(b)



(c)

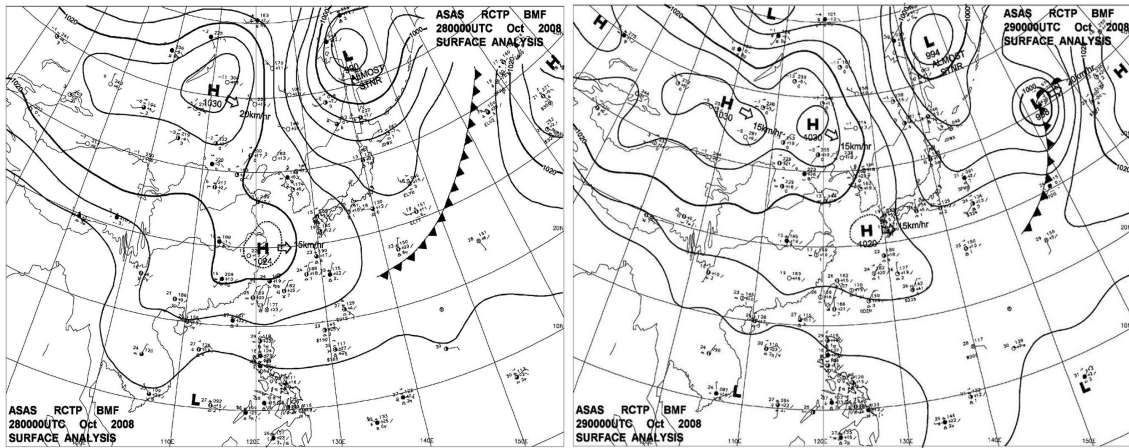
(d)

圖 5-1-1 2007 年 (a) 26 日 (b) 27 日 (c) 28 日 (d) 29 日綜觀天氣圖



(a)

(b)



(c)

(d)

圖 5-1-2 2008 年 (a) 26 日 (b) 27 日 (c) 28 日 (d) 29 日綜觀天氣圖

### 5.1.2 熱島案例分析

台中都會區，白天為北風系主導之海風以及夜晚東風系主導之陸風，此海陸風轉換對熱島強度的變化有一定的影響。另外，當夜間發生強烈的熱島現象時會減弱陸風的強度，微弱的風速將有助於熱島輻合現象的發展，使得鄰近地區所排放的污染物透過傳輸將會因此累積於台中都會區，不易擴散出去。

本研究選取 2007 年 10 月 27 日以及 2008 年 10 月 29 日熱島強度最為明顯且污染物濃度最高的時段來作為個案分析，分別從上午 9 時、中午 12 時、下午 15 時和 18 時來進行平面風場、溫度以及臭氧前驅污染物的分佈分析。

在 2007 年的案例部分，10 月 27 日 0900LST 時(圖 5-1-3)，中部內陸地區綜觀風場微弱，而沿海地區則由東北風系所主導，此時中部都會區的熱島中心位於太平地區，另外，在污染物方面，受到旺盛東北風的影響， $\text{NO}_2$  濃度呈現由東北向西南方向擴散的情況，在大里、烏日及霧峰地區有濃度較高的現象。

在 2007 年 10 月 27 日中午 1200LST 時(圖 5-1-4)，此時綜觀風場大致與早上時相同，以東北風系所主導，但風速有增強的情況，沿海地區梧棲測站的風速達  $8.4\text{m/s}^{-1}$ ，此時為海風發展最為旺盛的時刻，在強勁的海風以及光化反應作用下， $\text{NO}_2$  的濃度明顯下降而偏低，另外，受到強烈日照的影響，中部地區整體溫度偏高而熱島中心位於烏日地區。

而在 2007 年 10 月 27 日下午 1500LST 的部分(圖 5-1-5)，中部地區綜觀風場依舊受到東北風系所主導，此時中部地區熱島現象不顯著，整體溫度有稍微下降的情況，NO<sub>2</sub> 濃度在后里以及烏日、霧峰地區有累積增加的趨勢。

於 2007 年 10 月 27 日夜間 1900LST 時(圖 5-1-6)，此時為案例期間最強熱島強度發生的時段，高達 3.75°C，綜觀風場以較強的東北風與微弱的西北風系所主導，中部地區熱島現象顯著，中心位於大里、太平地區，而在污染物濃度方面，此時正逢下班時刻，大量的交通工具排放出大量的空氣污染物，加上受到熱島效應所產生之輻合現象的影響，減弱了陸風的擴散能力，而微弱的風速也有助於 NO<sub>2</sub> 濃度的生成累積，因此使得此區域的 NO<sub>2</sub> 濃度累積上升至約 53.94ppb。

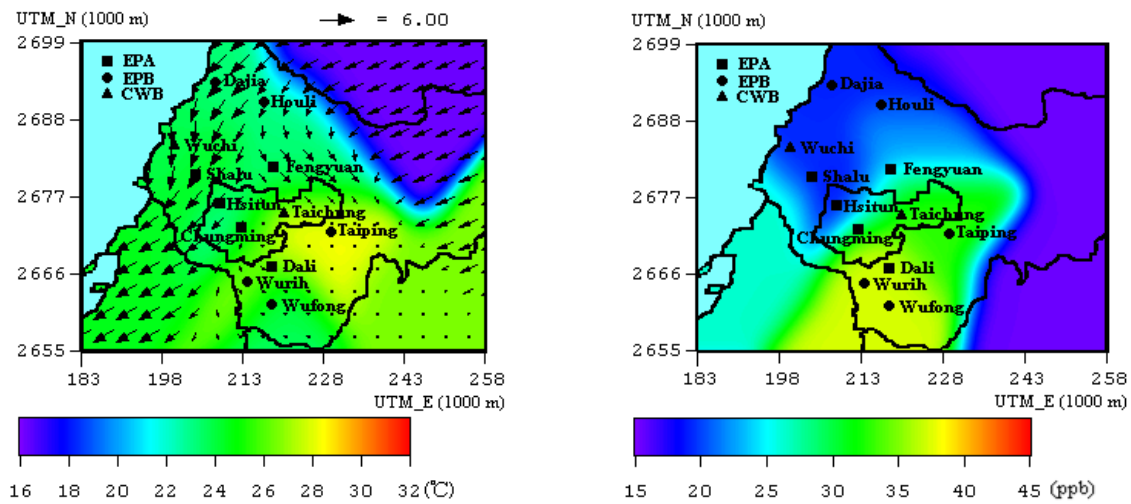


圖 5-1-3 2007 年 10 月 27 日 0900LST 台中都會區之水平溫度與風場及 NO<sub>2</sub> 濃度圖

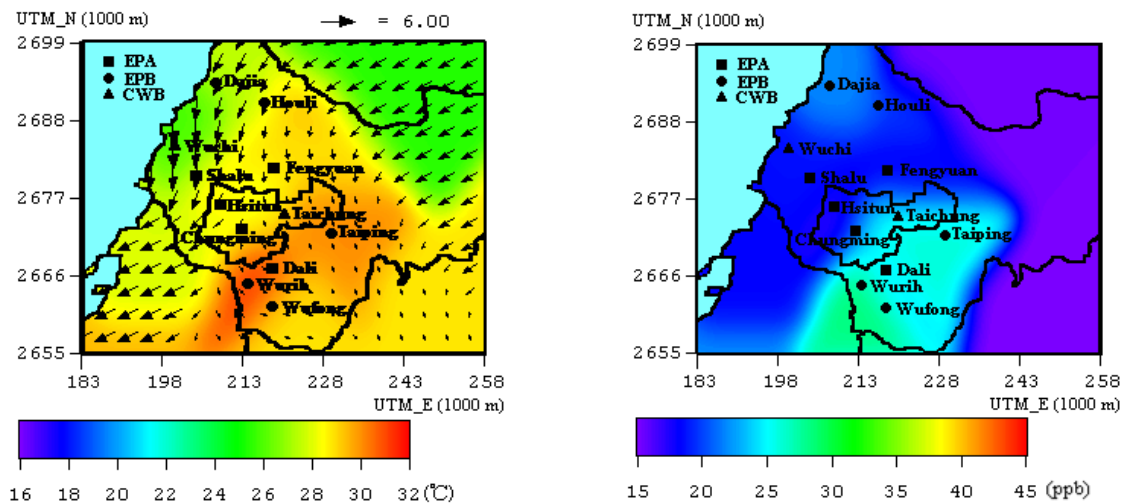


圖 5-1-4 2007 年 10 月 27 日 1200LST 台中都會區之水平溫度與風場及 NO<sub>2</sub> 濃度圖



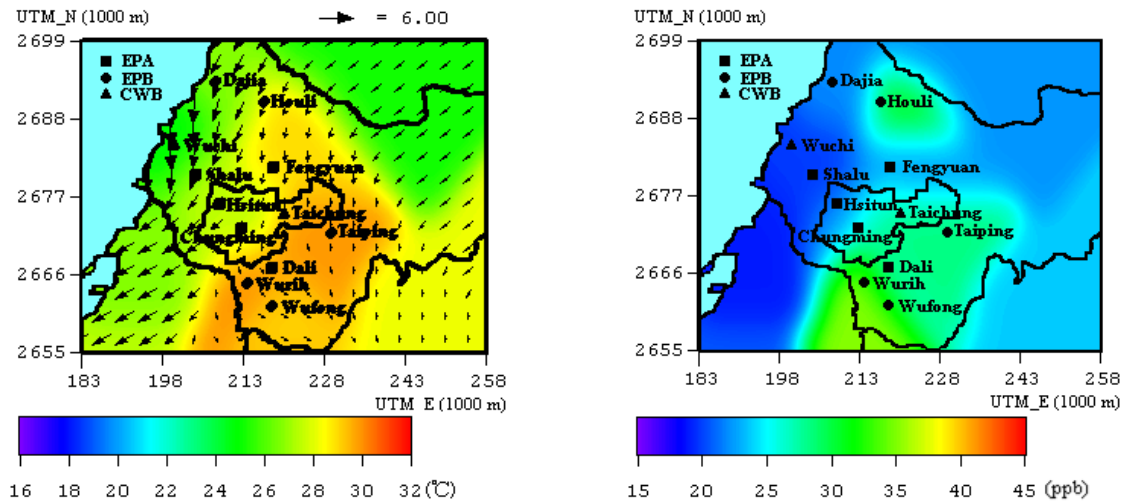


圖 5-1-5 2007 年 10 月 27 日 1500LST 台中都會區之水平溫度與風場及 NO<sub>2</sub> 濃度圖

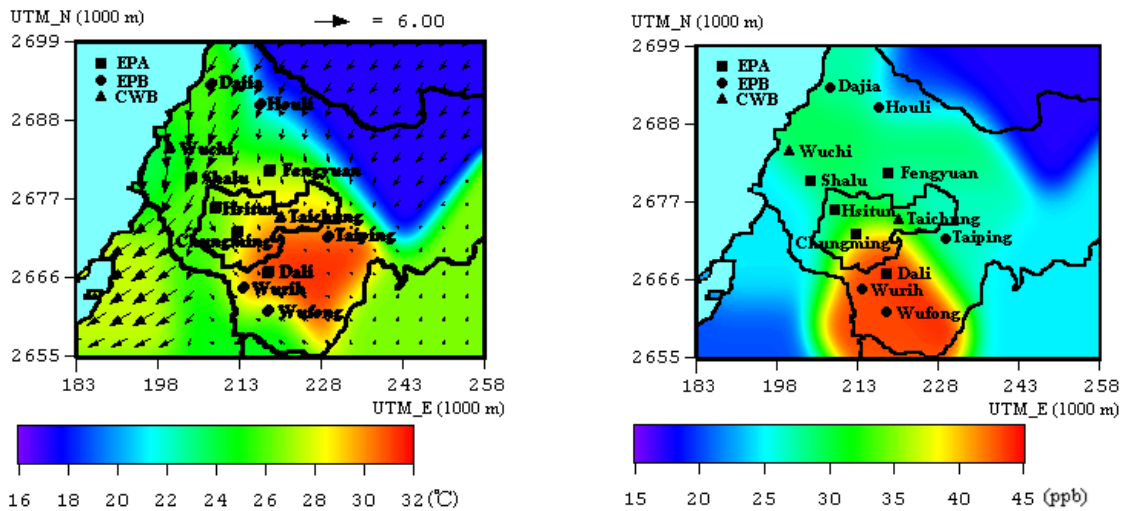


圖 5-1-6 2007 年 10 月 27 日 1900LST 台中都會區之水平溫度與風場及 NO<sub>2</sub> 濃度圖

而在 2008 年的部分，10 月 29 日上午 0900LST 時(圖 5-1-7)，中部地區綜觀風場微弱，以東南風或南風系的離岸風所主導，熱島中心往西南方偏移至烏日及霧峰地區，而大里地區則有幅散現象發生，另外，在污染物方面，由於此時為海陸風風向開始轉變的時段，風向在沙鹿、西屯地區有明顯的轉變，風速微弱，因此原本要往沿海地區擴散的污染物受到海風風向的影響而無法順利擴散出去，因此累積於西屯地區，NO<sub>2</sub> 濃度值約為 31ppb。

在 2008 年 10 月 29 日中午 1200LST 時(圖 5-1-8)，由於受到強烈日照的影響，陸風減弱而海風增強，沿海地區梧棲測站的風速達  $5.6\text{m/s}^{-1}$ ，此時為海風發展最為旺盛的時刻，中部地區的綜觀風場以西北風系所主導，在強勁海風的作用下，使得早

上累積於西屯地區的污染物逐漸的往內陸傳輸移動，另外，由於此時大里地區的熱島現象較不顯著，因此污染物不易累積於都會區內，導致中部地區 NO<sub>2</sub> 的濃度值普遍都在 25~30ppb 左右。

而在 2008 年 10 月 29 日 1500LST 的部分(圖 5-1-9)，中部地區綜觀風場依舊受到西北風及北風系的海風所主導，盛行的海風持續將污染物往南稀釋擴散，在加上光化作用旺盛的影響，因此 NO<sub>2</sub> 的濃度值下降至約 20ppb。

於 2008 年 10 月 29 日夜間 1800LST 時(圖 5-1-10)，此時為案例期間最強熱島強度發生的時段，高達 4.27°C，綜觀風場以西北風系所主導，沿海地區風速達 3.83 m/s<sup>-1</sup>，因此將海上及濱海地區的空气污染物往內陸地區傳輸，而熱島中心大里地區因為強烈熱島效應所產生之輻合現象的影響，風速明顯減弱且風向有明顯的轉變成往大里地區集中的趨勢，因此導致污染物不易往外擴散，使得此區域的 NO<sub>2</sub> 濃度累積上升至約 43ppb。

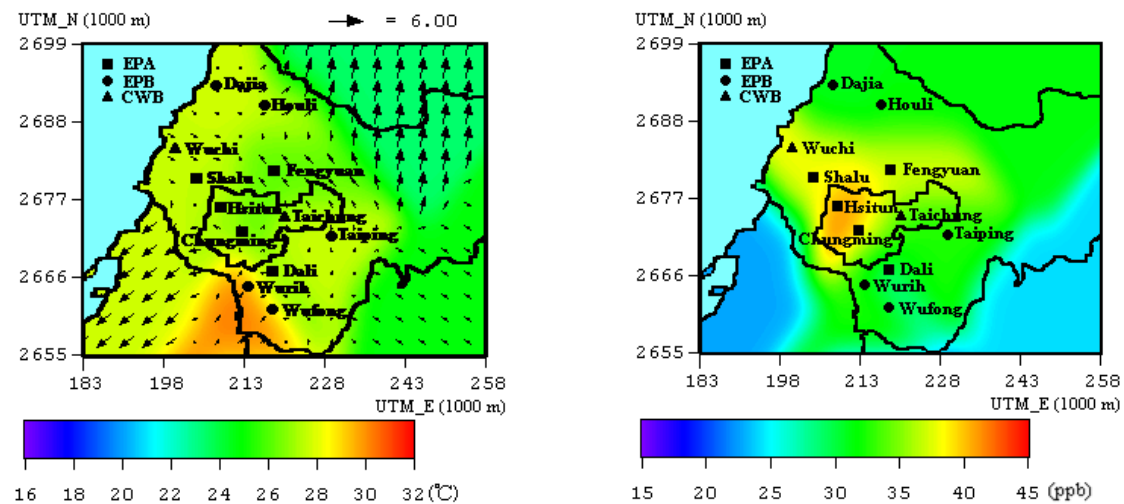


圖 5-1-7 2008 年 10 月 29 日 0900LST 台中都會區之水平溫度與風場及 NO<sub>2</sub> 濃度圖

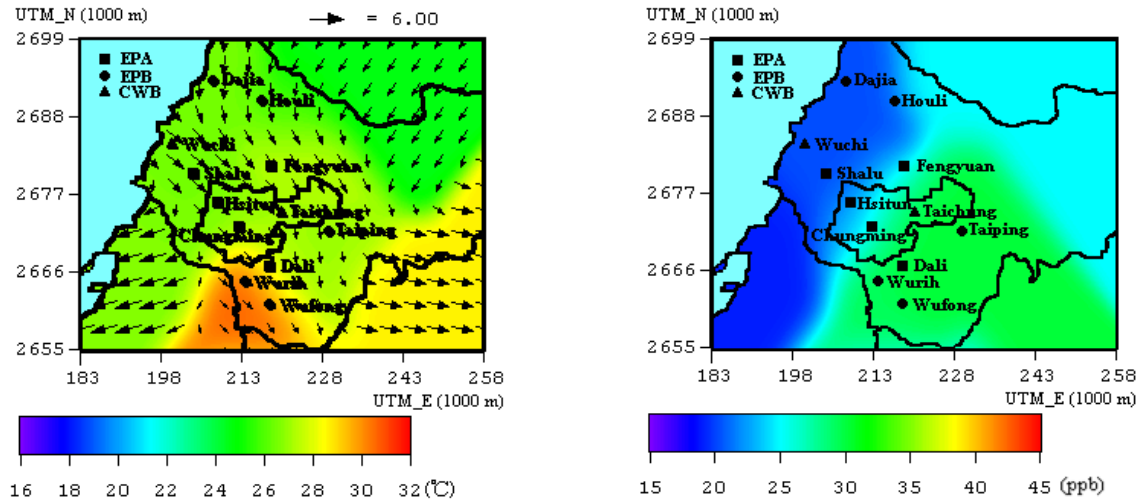


圖 5-1-8 2008 年 10 月 29 日 1200LST 台中都會區之水平溫度與風場及 NO<sub>2</sub> 濃度圖

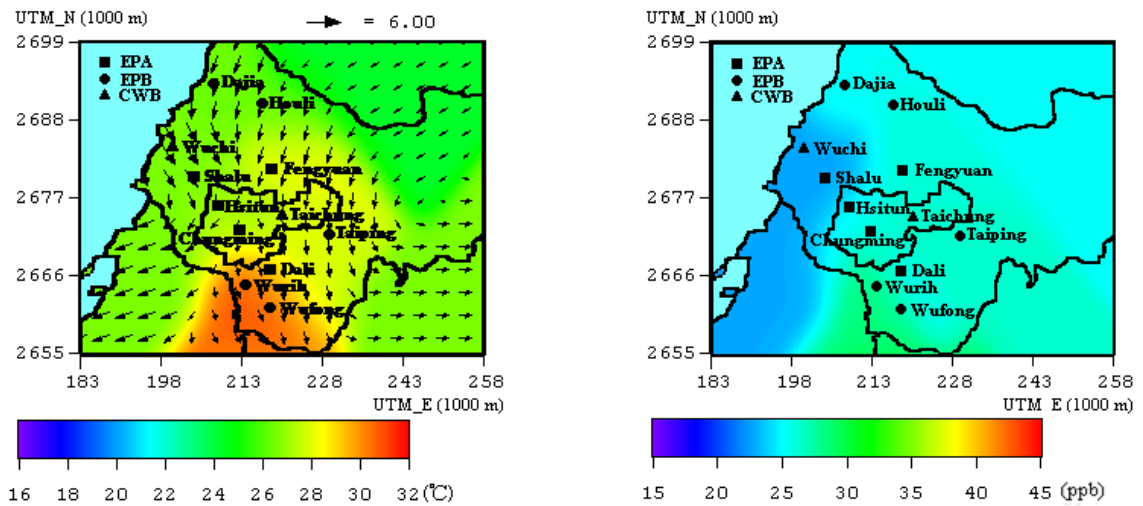


圖 5-1-9 2008 年 10 月 29 日 1500LST 台中都會區之水平溫度與風場及 NO<sub>2</sub> 濃度圖

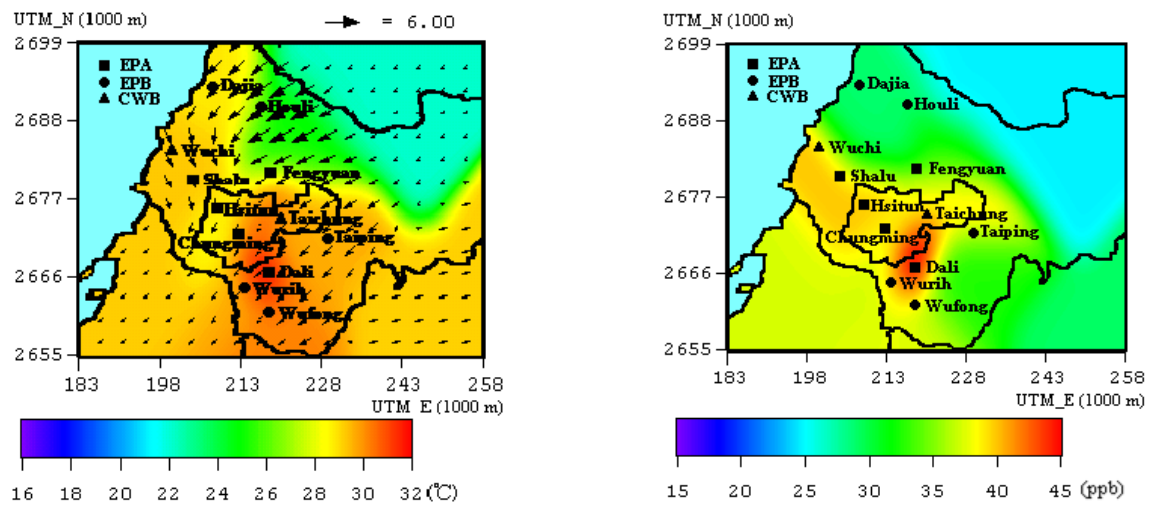


圖 5-1-10 2008 年 10 月 29 日 1800LST 台中都會區之水平溫度與風場及 NO<sub>2</sub> 濃度圖

### 5.1.3 總氧與滴定效應

在臭氧污染物變化上，空氣品質不良時段多發生於午後，此反應現象與光化反應有一定的關係，白天由於日間光化反應的結果將前趨物NMHC和NO<sub>x</sub> 反應為O<sub>3</sub>，O<sub>3</sub> 濃度上升，也受到地表排放源NO消耗所致，到了夜晚光化反應終止，近地表之O<sub>3</sub> 與NO消耗及沉降，O<sub>3</sub>濃度可降至只剩下若干ppb，遠低於背景值，此現象稱為滴定效應(f)。NO<sub>2</sub>及O<sub>3</sub>皆為二次產物，在對流層中會受光化反應的影響，相關之反應如下：



其中M為空氣中的N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>或是其他可吸收反應時額外震動能量穩定O<sub>3</sub>形成的分子，OH為氫氧自由基(hydroxylradical)，HO<sub>2</sub>為hydroperoxylradical，RO<sub>2</sub>為有機高氧自由基(organicperoxylradical)，CARD為羰基化合物(carbonylcompounds)，NO主要來自土壤及燃燒過程的排放，NO<sub>2</sub>的產生則主要來自NO的氧化，少部份為燃燒過程的排放，固定及移動源排放的氮氧化物約有90%為NO，10%為NO<sub>2</sub>。NO氧化為NO<sub>2</sub>主要經由(b)式、(c)式及(f)式形成，方程式(b)、(c)、(d)及(e)為生成臭氧之反應，即一般所謂的煙霧化學(smogchemistry)，方程式(f)即所謂O<sub>3</sub>與NO反應生成NO<sub>2</sub>的滴定反應(Pisanoetal.,1997)。NO、NO<sub>2</sub>與O<sub>3</sub>的反應相當的複雜，假設O<sub>3</sub>為NO主要的反應物質，大部分當地的NO<sub>2</sub>是來自於排放的NO與O<sub>3</sub>反應而產生的，則NO<sub>2</sub>+O<sub>3</sub>應該接近一個定值，NO<sub>2</sub>的濃度也會增加，O<sub>3</sub>則相對地減少。(b)式及(c)式顯示了在白天NO<sub>2</sub>來源充足，O<sub>3</sub>生成增加，光化反應明顯。到了夜晚，光化反應結束，O<sub>3</sub> 濃度受滴定效應以及沉降作用影響下降，總氧化物 (Total oxidants: O<sub>x</sub> =NO<sub>2</sub> + O<sub>3</sub>之組合濃度)易接近於定值。

秋季台灣地區大多籠罩在氣候穩定的高壓系統天氣型態下，綜觀風場以偏東風為主，西部地區則因處於中央山脈背風面受到高壓沉降之影響下，將不利於污染物擴散，而低風速與低相對濕度的氣象環境也有利於污染物的生成。

在2008年秋季案例期間，小時臭氧濃度最高值出現在2008年10月29日下午13時，達110ppb，為高臭氧污染事件日(圖 5-1-11)。因此將針對2008年案例期間利用總氧化物來探討臭氧日夜的變化，首先由圖 5-1-12可看出在2008年案例期間總氧化物變化趨勢大致上相似，早上4時至6時Ox濃度為整日最低，約只有15ppb到30ppb左右，越接近中午時濃度開始上升，日落後雖逐漸下降但濃度值仍高於早上。而首先在28日傍晚的部分，由於受到大里地區微弱風速的影響，因此有較高濃度的臭氧前驅污染物NO<sub>2</sub>累積，使得Ox的濃度上升，而此情況較容易引起隔日發生高臭氧污染事件，因此造成案例期間Ox最高濃度出現在29日中午12時，高達123.7ppb，也表示29日中午的光化學反應旺盛導致臭氧大量生成，相對地Ox濃度也上升。

以NO<sub>2</sub>和Ox之間的比值關係討論臭氧濃度的上升和消逝程度，在不考慮其它化學反應下，當比值低時表示O<sub>3</sub>並沒有被完全滴定產生NO<sub>2</sub>而有O<sub>3</sub>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<sub>3</sub>累積的可能；當比值高時則表示Ox被NO<sub>2</sub>主導，臭氧累積不明顯，幾乎完全被滴定。從圖 5-1-13可發現，在大里及霧峰地區夜晚的比值接近0.5-1，顯示在這兩個地區的O<sub>3</sub>大部分被NO<sub>2</sub>滴定而消逝掉，而都市中心的西屯、忠明與近海的沙鹿地區比值約在0.2-0.5之間，滴定效應不明顯，顯示在這些地區夜晚仍有O<sub>3</sub>的殘留，到了中午海風開始發展，會將都會區與沿海地區的污染物往內陸傳送，在加上光化反應旺盛的影響，導致了大里地區Ox濃度的上升，而NO<sub>2</sub>/Ox比值較其他測站都來的低，因此有明顯的臭氧濃度累積現象。

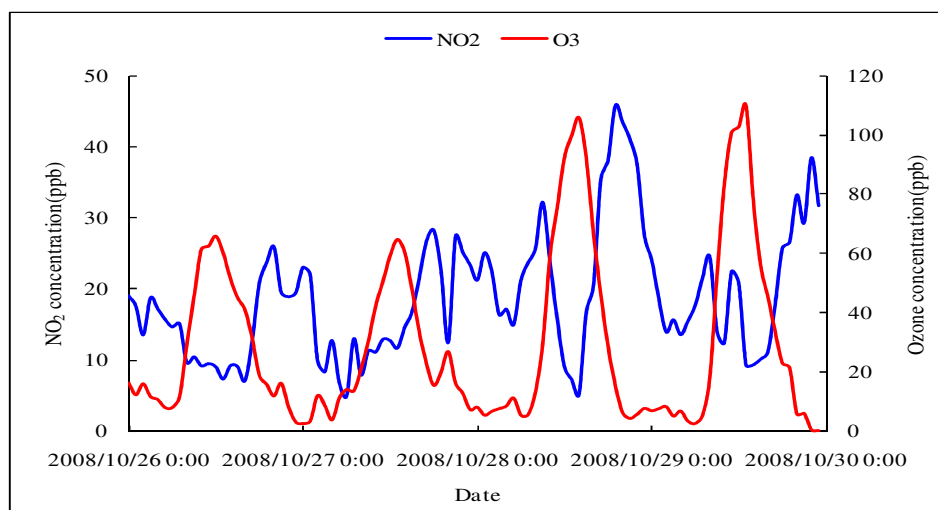


圖 5-1-11 2008年10月26日至10月29日期間大里監測站之O<sub>3</sub>與NO<sub>2</sub>水平濃度(ppb)變化趨勢圖

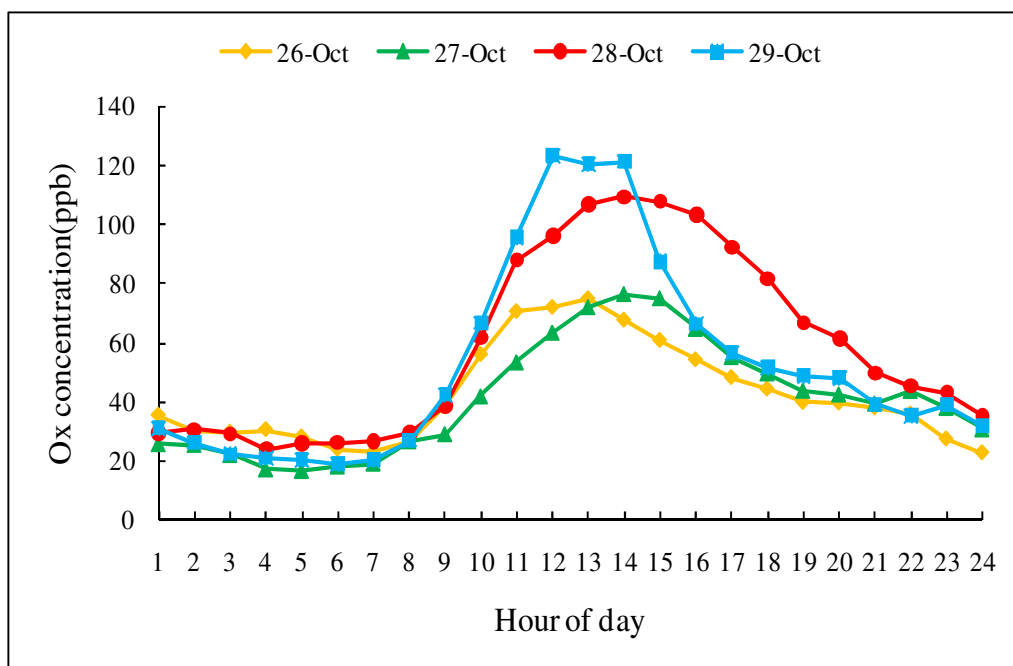


圖 5-1-12 2008年10月26日至10月29日期間大里監測站之Ox (Ox = O<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub>)水平濃度(ppb)變化趨勢圖

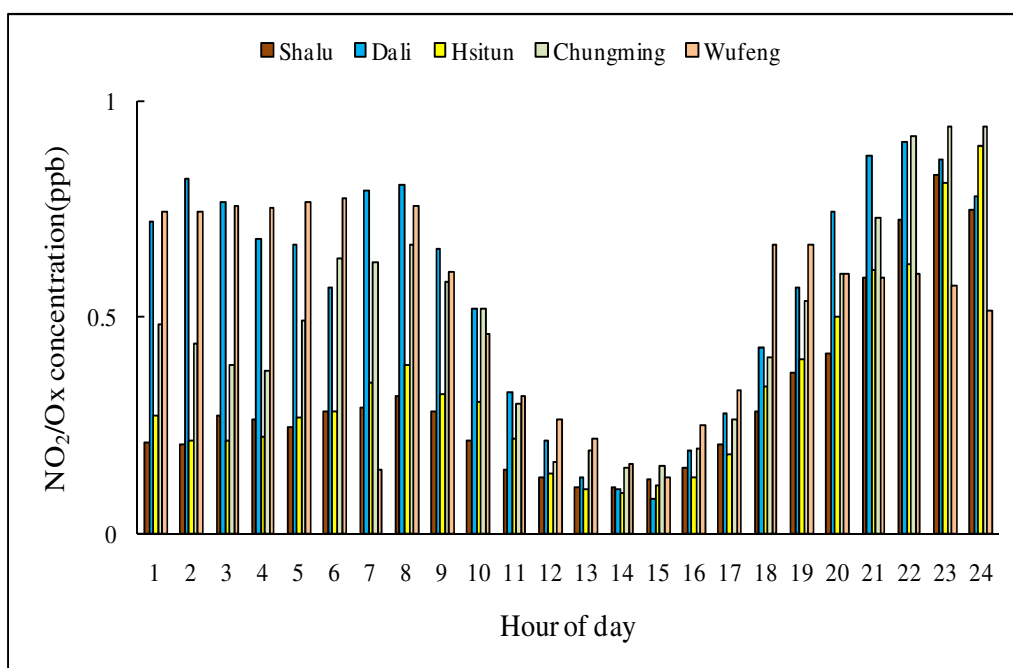


圖 5-1-13 2008年10月29日大里、沙鹿、豐原、西屯與忠明監測站之NO<sub>2</sub>/Ox比值變化比較圖

## 5.2 垂直氣象環境與污染物分析

### 5.2.1 混合層分析

混合層高度(Mixing height)於熱力圖中，利用當日之地面最高溫沿乾絕熱線上升與探空曲線相交之點，為當日最高之混合層高度(Holzworth, 1967)；在混合層內污染物隨著紊流而被均勻的混合。理論上，混合層高度愈高，則污染物可稀釋的空間越大，污染物的濃度應該越小；反之，當混合層降低時，大氣處於穩定的狀態，將不利於近地面層之污染物稀釋與擴散，有利於污染物濃度累積。

本研究利用在大里地區繫留探空監測期間所得的每一探空時間地面氣象資料與實際所得之混合層高度進行迴歸分析，求得在秋季案例期間之混合層高度迴歸方程式係數，並與模式計算結果進行比較。

#### 秋季大里繫留探空

$$h_m = 5.04u_0 + 0.32I_0 + 3.34(\Delta T/\Delta t) + 22.7(T-T_6) + 186.4$$

$h_m$ ：混合層高度值(m)；

$u_0$ ：地面風速( $\text{m/s}^{-1}$ )；

$I_0$ ：日照強度( $\text{cal/cm}^2\text{hr}^{-1}$ )；

$$\text{日照強度}(\text{cal/cm}^2\text{hr}^{-1}) = \text{全天空日射量}(\text{W/m}^2) \div \text{日照時數} \times 60$$

$\Delta T/\Delta t$ ：當時溫度( $^{\circ}\text{C}$ )與前一小時的氣溫差，代表地面溫度之時間變率

$T-T_6$ ：當時溫度( $^{\circ}\text{C}$ )與當日清晨六時之地面溫差

當迴歸模式建立之後，便可利用案例期間逐時地面資料帶入上式，求出逐時之混合層高度變化，以補充實測資料在時間完整性上之不足。

本研究團隊利用於 2007 年與 2008 年秋季在大里地區進行繫留探空垂直監測所得之實際監測值，首先以 Holzworth(1967)估算法推估出各探空時間的混合層高度，再利用所建立之複迴歸方程式推估出逐時的混合層高度，藉此來探討台中都會區與熱島中心混合層變化及其影響。

白天地表面在受到太陽輻射加热的影響下，導致近地面之大氣溫度較高，而高空之大氣溫度則較低，因此高空溫度較低之大氣便和受到太陽輻射加熱之地表面產

生旺盛之垂直熱力對流，其所達到之高度即為混合層高度，並也是地面污染物於垂直方向擴散之頂點。

由於中部地區地形複雜，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，胡人傑，1998)。因此本研究將繫留探空儀所監測之垂直氣象數據利用 Holzworth 法及複迴歸方程式法推估混合層高度，並與 TAPM 模式計算結果進行比較。

在 2007 年秋季案例中顯示，TAPM 模式能夠模擬出白天時混合層較高而夜晚則較低的日變化趨勢，其中在 10 月 28 日 1200LST 時高度達到 840m，為案例期間最高值(圖 5-2-1)。而在實際觀測與模式模擬結果比對方面，在夜間時，Obs-Holzworth 及迴歸方程式( $h_m$ -obs)所估算的結果與 TAPM 的模擬值相符性較高，而日間時則較 TAPM 模擬值為低，而從整個趨勢來看，可發現 Obs-Holzworth 及  $h_m$ -obs 所得的混合層高度變化趨勢均較 TAPM 模擬結果低估了約 150-200 m 左右，可能是因為同化資料的不足，因此才造成 TAPM 模擬值與實際監測的值相差較大。

而在 2008 年秋季案例期間的部分(圖 5-2-2)，利用 Obs-Holzworth 與迴歸方程式( $h_m$ -obs)以及 TAPM 的模擬結果來相互比較，圖中顯示，TAPM 的模擬值同樣在 10 月 28 日 1200LST 時達到案例期間最高，約 746m，但是與 2007 年的案例相比則較低，從整體趨勢變化上來看，Obs-Holzworth 所估算出的混合層高度與 TAPM 的模擬結果較相近，而迴歸方程式( $h_m$ -obs)在中午時的高度估算則略低於 Obs-Holzworth，但在夜晚卻較高於其他兩種估算方法。

綜合 2007 年與 2008 年秋季案例期間之混合層高度進行比較，可以發現在兩次秋季採樣期間，模式所呈現出的夜間混合層高度均發展至約 200 公尺以下且具有日夜變化趨勢，而 Obs-Holzworth 及迴歸方程式( $h_m$ -obs)則有低估的現象，日夜變化也較不明顯，推測可能是因為模式所輸入的同化資料不足，因此才造成模擬值與實際監測的值相差較大。而當大里地區夜間發生強熱島現象時，在微弱的風速加上混合層頂較低的雙重影響下，限制了空氣污染物的擴散，因此將使得熱島中心的污染物濃度累積上升。



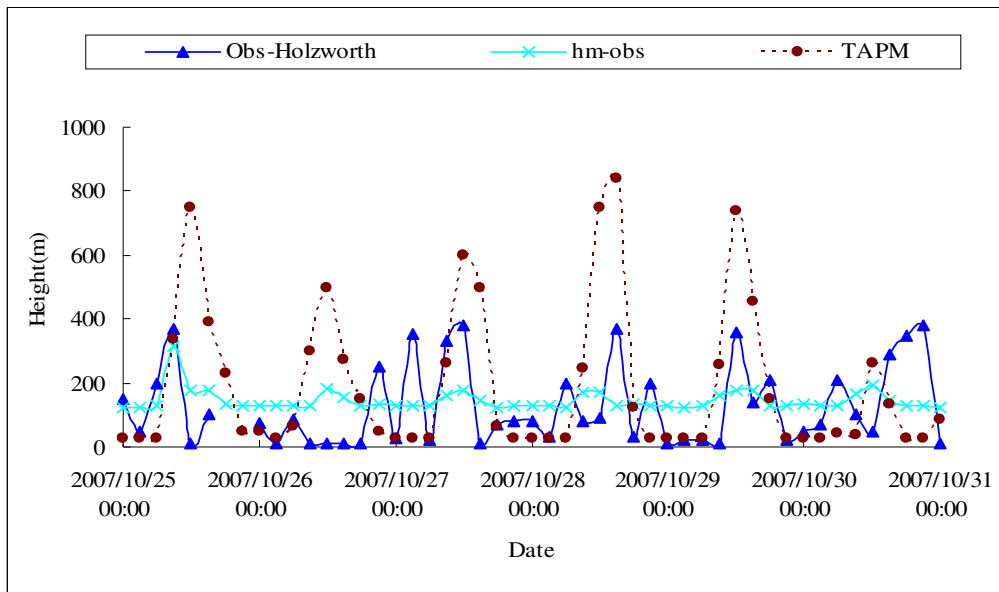


圖 5-2-1 2007 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區混合層高度圖

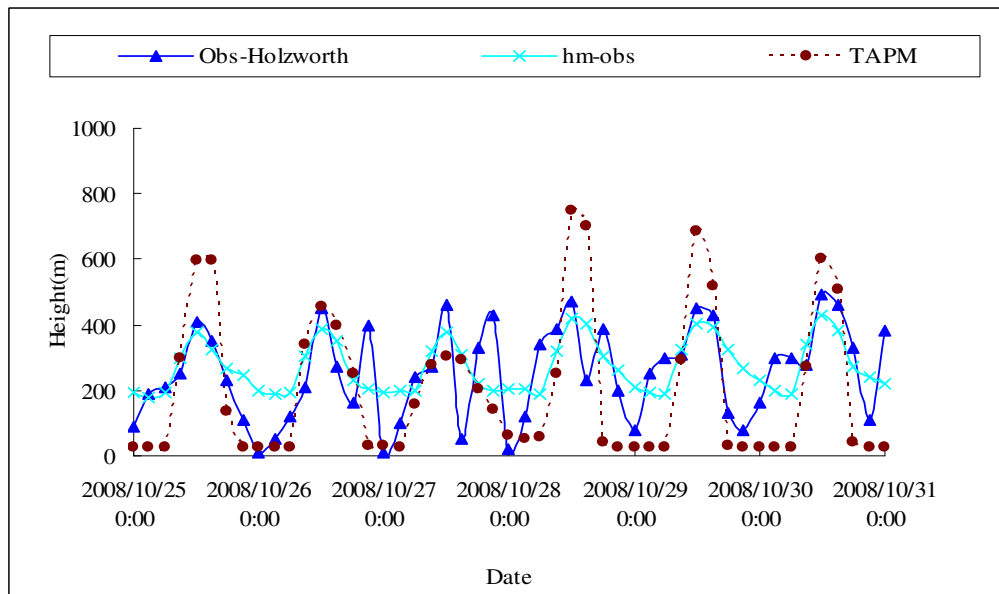


圖 5-2-2 2008 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區混合層高度圖

### 5.2.2 通風指數(Ventilation index)

混合層厚度 (mixing height, MH.) 與通風指數 (ventilation index, VI.) 是影響空氣污染物擴散或累積的重要參考指標 (Cheng, 2000)。通風指數一般定義為混合層內平均風速與混合層高度的乘積，可視為某一定時間內之空氣置換率，其中混合層高度代表空氣污染物垂直方向可擴散之高度，而風速則代表水平方向污染物可傳送的範圍；當通風指數越小時，表示污染物越不易擴散，因此可做為空氣污染潛勢預報因子之一(Hsu, 2003；Ashrafi et al., 2009)。

$$VI = H_m * W_{S(avg)}$$

$H_m$ : 混合層高度(m)

$W_{S(avg)}$ : 混和層內之平均風速( $m/s^{-1}$ )

在國內，胡婷堯等(1995)使用通風指數預測桃園地區每日最大臭氧濃度，有高度相關的氣象因子包括：早上九點的風速、當日最大混合層高度、早上八點的臭氧通量、早上九點的通風指數、當日最高溫與最低溫之差，以及前一日的最大臭氧濃度。另一方面，林清和等(1989)使用日平均通風指數，來分析台灣北部地區的嚴重空氣污染事件日。

本研究利用實地繫留探空垂直監測所得之溫度數據，配合 Holzworth 法以及複迴歸方程式估算法，來求得逐時的混合層高度，在乘上混合層內之平均風速，來決定通風指數。希望藉由通風指數來評估混合層高度對於都市地區空氣污染物累積的影響以及與熱島效應之間的相關性。

圖 5-2-3~圖 5-2-4 分別是 2007 年及 2008 年兩次秋季採樣期間的逐時熱島強度與通風指數之相關趨勢比較圖，圖中顯示，2007 年的通風指數普遍較 2008 年為低，但熱島強度卻是 2008 年較高，而從整體趨勢來看，在這兩年的秋季案例中，皆呈現出當熱島強度較強時，而通風指數則較低的趨勢，顯示出當強烈的都市熱島效應發生時，混合層高度會降低且風速微弱，因此導致都市地區的大氣擴散能力減弱，容易造成污染物濃度的累積。

另外，評估通風指數與各種污染物濃度之間的關聯性，從圖 5-2-5 中可看出，在  $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$  及  $\text{CO}$  濃度的部分都是呈現出當通風指數越小時，污染物濃度越高的情況，但是  $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$  以及臭氧濃度卻是呈現相反的情形，此種情況可能與臭氧濃度較高的時段多發生在日照較強、熱對流較旺盛的中午，而並非是混合層較低的夜間因素有關，而進一步將所計算之通風指數與臭氧濃度利用時間序列作比對發現(圖 5-2-6~圖 5-2-7)，當白天發生高臭氧污染事件時，通風指數相對於非高臭氧日確實有明顯之下降，顯示混合層高度對於臭氧濃度的累積還是具有相當程度的影響。而在  $\text{PM}_{10}$  以及  $\text{PM}_{2.5}$  濃度分析方面，將所計算之通風指數與逐時  $\text{PM}_{10}$  以及  $\text{PM}_{2.5}$  濃度作比對發現(圖 5-2-8~圖 5-2-11)，逐時  $\text{PM}_{10}$  濃度的日夜變化趨勢與通風指數相比之下較無相關性與一致性，而推測原因是因為  $\text{PM}_{10}$  的濃度變化會受到風速大小、沙塵暴或汽機車揚塵所影響，因此導致濃度的變化趨勢較無規則性可言，而由以上分析結果顯示，較低的混和層高度對於導致  $\text{PM}_{10}$  濃度增加的影響程度較不明顯，而風速大小可能才是影響的主因。另外，在  $\text{PM}_{2.5}$  濃度分析方面也是呈現出相同的結果。

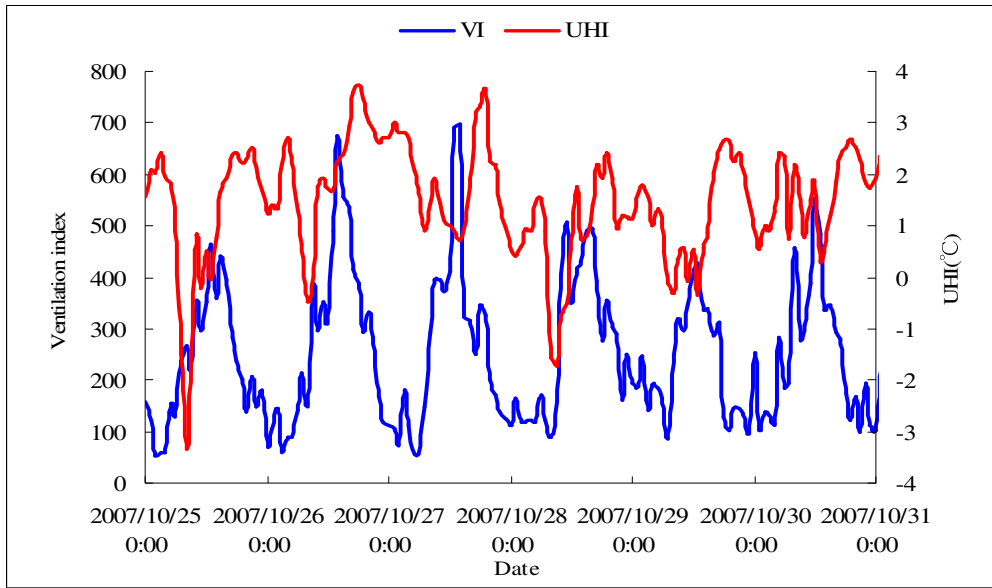


圖 5-2-3 2007 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時熱島強度與通風指數之相關趨勢比較圖

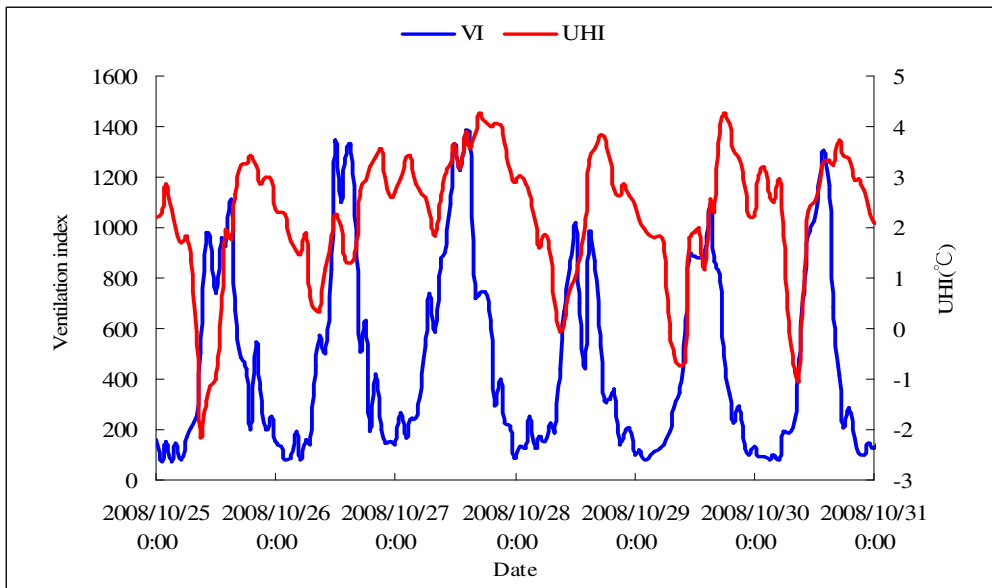
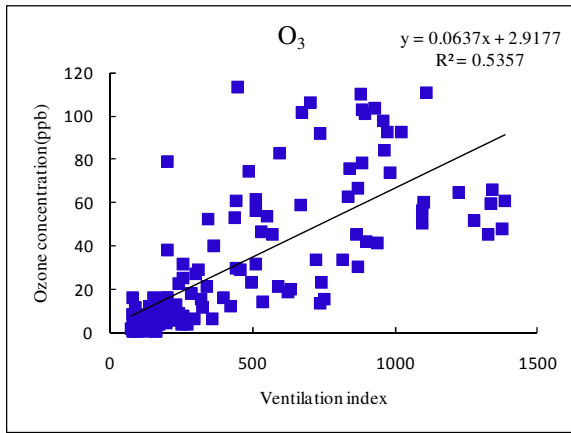
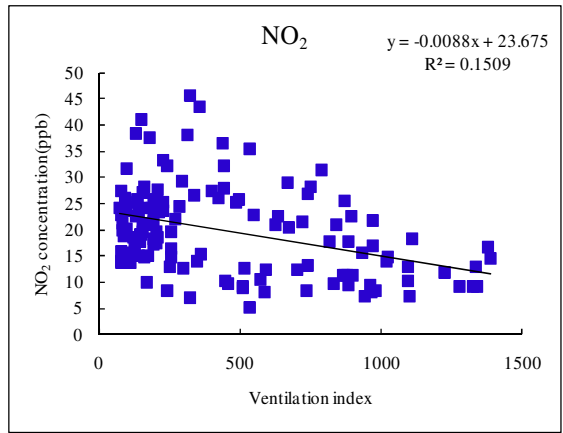


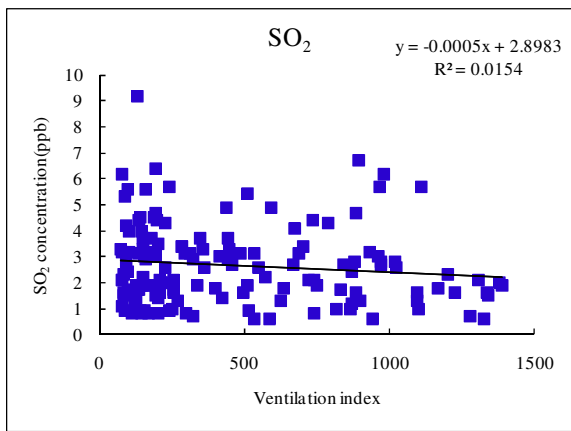
圖 5-2-4 2008 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時熱島強度與通風指數之相關趨勢比較圖



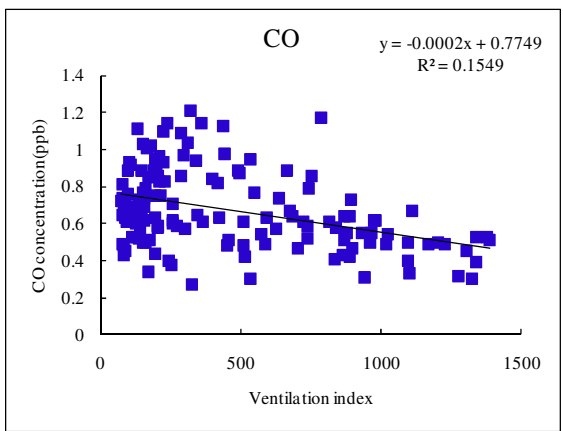
(a)



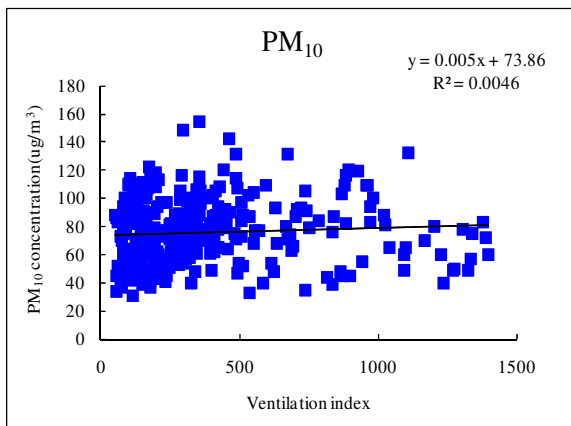
(b)



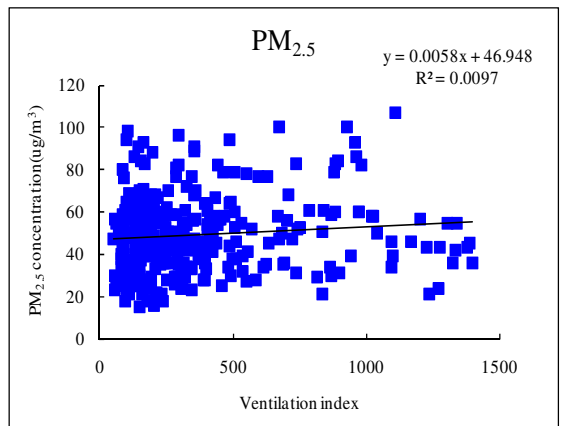
(c)



(d)



(e)



(f)

圖 5-2-5 大里地區通風指數與(a)O<sub>3</sub>(b)NO<sub>2</sub>(c)SO<sub>2</sub>(d)CO(e)PM<sub>10</sub>(f)PM<sub>2.5</sub> 濃度之相關性分析圖

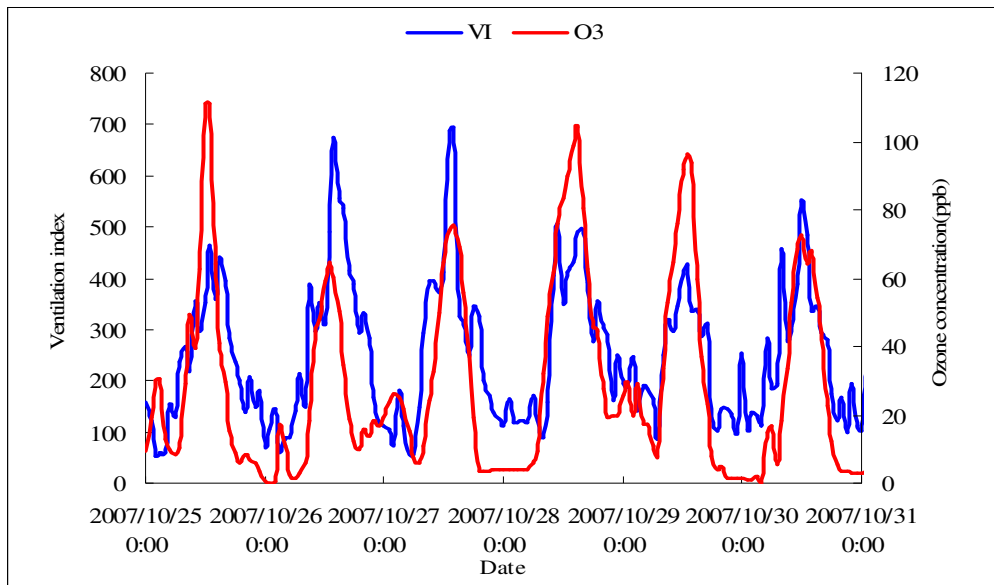


圖 5-2-6 2007 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時臭氧濃度與通風指數之相關趨勢比較圖

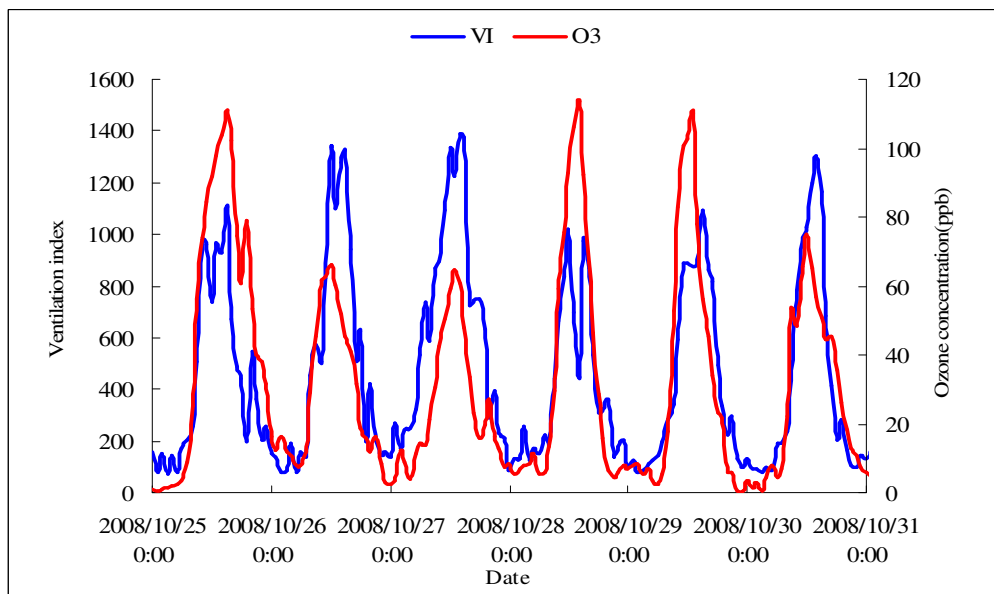


圖 5-2-7 2008 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時臭氧濃度與通風指數之相關趨勢比較圖

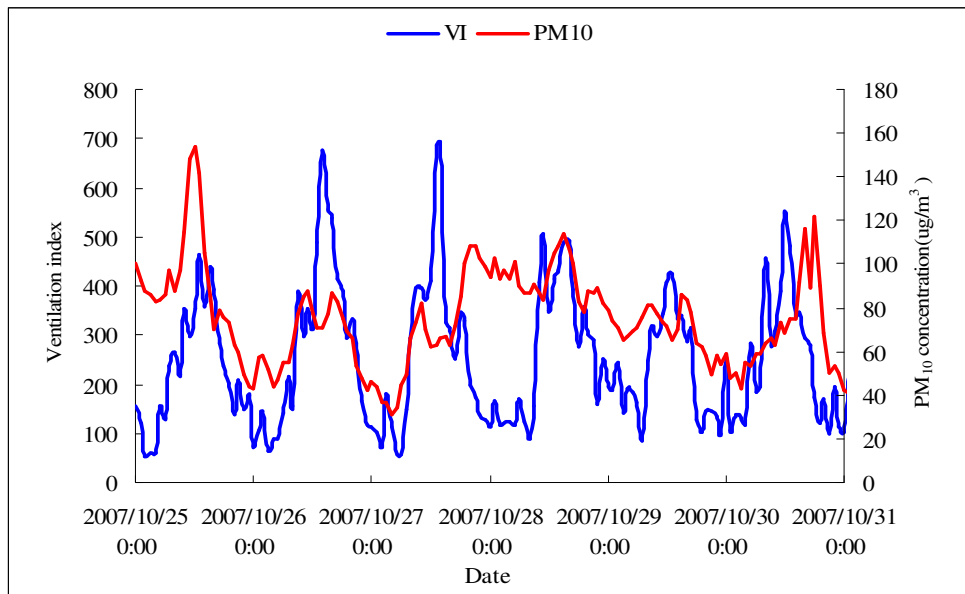


圖 5-2-8 2007 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時 PM<sub>10</sub> 濃度與通風指數之相關趨勢比較圖

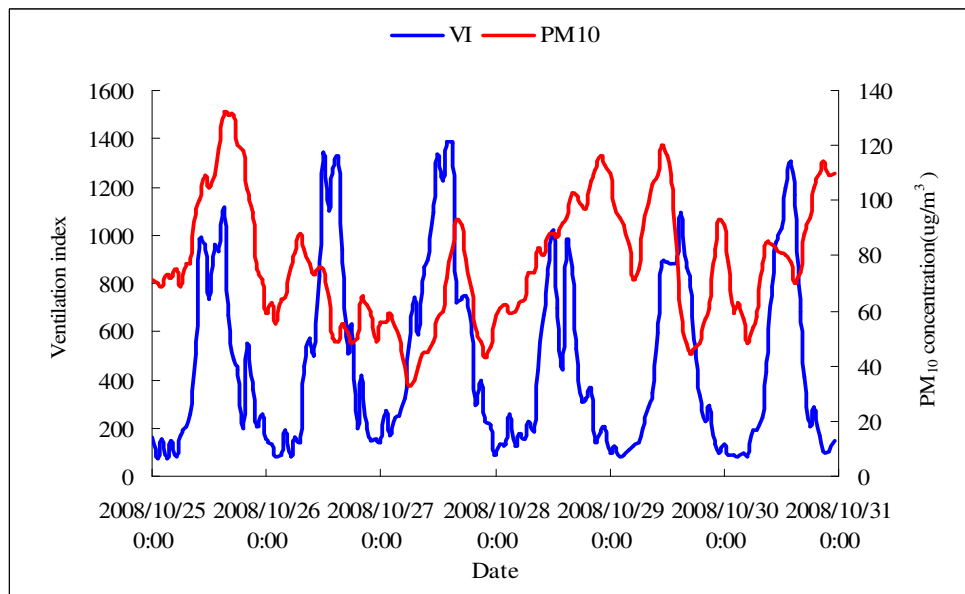


圖 5-2-9 2008 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時 PM<sub>10</sub> 濃度與通風指數之相關趨勢比較圖

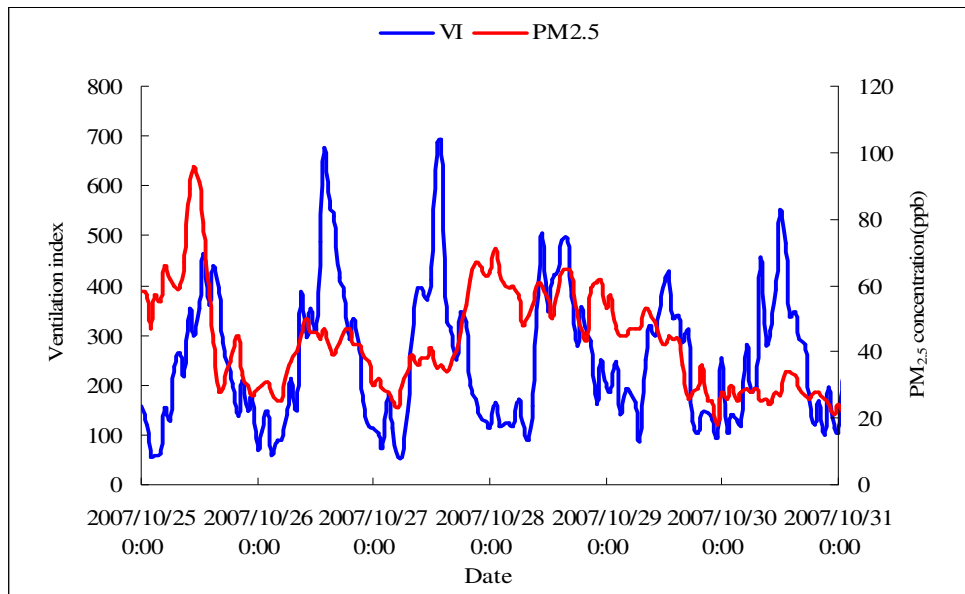


圖 5-2-10 2007 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時 PM<sub>2.5</sub> 濃度與通風指數之相關趨勢比較圖

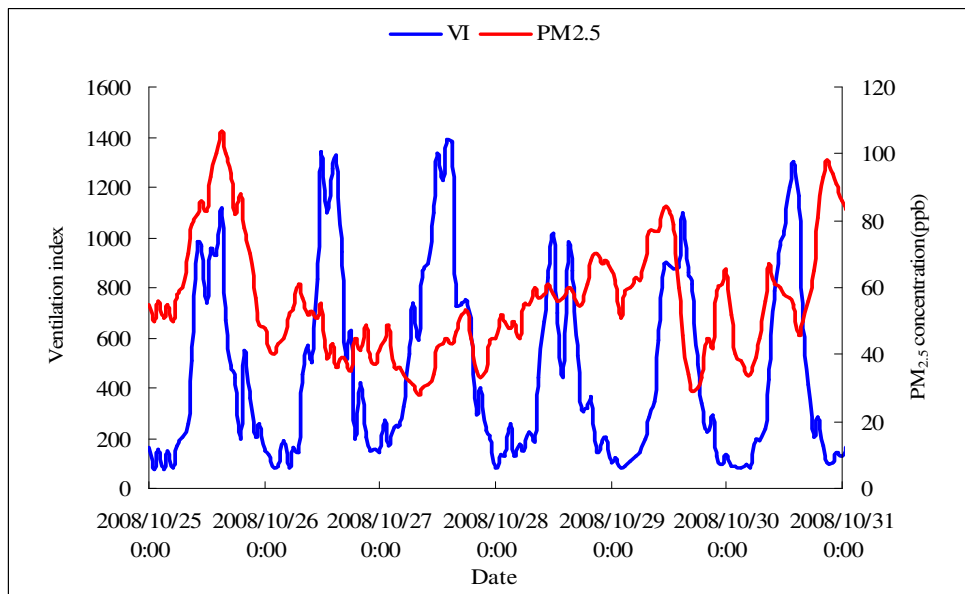


圖 5-2-11 2008 年 10 月 25 日至 10 月 30 日大里地區逐時 PM<sub>2.5</sub> 濃度與通風指數之相關趨勢比較圖



### 5.2.3 垂直污染物分析

探討 2007 年秋季期間 10 月 25 日至 31 日台灣中部大里地區的垂直氣象場與污染物分布情況，於監測階段中，台灣地區主要受到高壓出海與高壓迴流型態天氣型態之影響，並對垂直風場(圖 5-2-12)、垂直虛位溫(圖 5-2-13)及污染物濃度垂直剖面監測(圖 5-2-14~圖 5-2-17)進行分析。10 月 25 日綜觀氣象場微弱，中部地區主要受區域環流之影響，上午 09 時混合層高度發展至 370 m，有利於污染物垂直擴散，O<sub>3</sub> 濃度(圖 5-2-14)由近地面向高空遞增，中午 12 時近地面呈現較微弱之西南風；夜間混合層高度降至 75 m，地面 O<sub>3</sub> 受滴定效應 (Titration Effect) 消耗，因此殘留層 O<sub>3</sub> 較近地面 O<sub>3</sub> 濃度高。10 月 26 日在台灣東方有颱風形成，午前主要風向為東北風及西北風，且風速微弱，使臭氧前驅物濃度易生成累積，經過一系列光化學反應臭氧濃度於下午 15 時高空 200 公尺處累積至最高 100.2ppb，下午 15 時後風向轉為北風及東北風，風速變大為 6.0~7.0 m/s<sup>-1</sup>，於內陸的污染物被強烈的風吹散。10 月 27 日颱風位於台灣的東北方，主要風向為北風和東北風及東南風，中午 12 時後風向轉為西北風，混合層高度發展至約 380 m，較不利於污染物擴散，O<sub>3</sub> 濃度增至 105.5 ppb；夜間高空風向為較大之南風，NO<sub>2</sub> 濃度(圖 5-2-16)約 34.7 ppb。10 月 28 日綜觀氣象場微弱，風向呈現東北風；午後 12 時~15 時則因高日照，於 27 日所累積較高濃度之 NO、NO<sub>2</sub>(圖 5-2-15~圖 5-2-16)受光化學之作用下，在高空 100 公尺處 O<sub>3</sub> 小時濃度值高達 112.7 ppb。10 月 29 日風速減弱且風向呈現北風和東北風及東南風，混合層高度發展至 370 m 利於污染物垂直方向擴散，因此一次污染物濃度於近地面至高空變化不大，但是 O<sub>3</sub> 濃度在中午 12 時 200 公尺處監測到 124.6ppb。10 月 30 日上午高壓出海之天氣型態，中部地區天氣型態穩定，12 時光照強烈，滴定效應旺盛，因此 O<sub>3</sub> 小時濃度值升高至 93.7 ppb。10 月 31 日風向主要為西北風和東北風及東南風，風速較微弱為 2.0 m/s<sup>-1</sup>，中午 12 時混合層高度發展至約 370 m，在中午 12 時於 200 公尺處監測到 O<sub>3</sub> 濃度達 108.7ppb。

而 2008 年秋季探空監測期間為 10 月 25 日至 11 月 1 日，天氣型態則以高壓出海與高壓迴流為主，對監測期間之垂直風場(圖 5-2-18)、垂直虛位溫(圖 5-2-19)及污染物濃度垂直剖面監測(圖 5-2-20~圖 5-2-23)進行分析。繫留探空監測期間，當高壓系統中心位於台灣北方或西北方時，綜觀風場呈現北風形式，受到中央山脈的地形屏風阻擋下，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及過山後之下沉氣流。25 日台灣地區受到高壓迴流影響，風面呈現偏北風，而近地面風速受到海風影響，風面呈現東北風，在中午過後風向轉向東南風，風速逐漸變大，上午 9 時混合層高度 250 m，到 12 時混合層高度達到 410 m，有利於污染物垂直擴散，中午 12 時受到光化學反應和前晚高空臭氧向下混合作用之影響，使得 O<sub>3</sub> 小時濃度在 100 公尺處監測到當日最大值 88.2ppb(圖 5-2-20)。26、27 日風速最大達 8.3 m/s<sup>-1</sup>，近地面風向呈現西南風，27 日上午 9 時混合層高度 270 m，12 時混合層高度上升至 460 m，但因風速增強使得污染物被吹散，不易造成累積。28 日受到高壓出海天氣型態的影響，風向呈現偏北風，此時 28 日凌晨近地面風速為 0.4 m/s<sup>-1</sup>，風向為東風，到了中午風向呈現北風，而在高度 250 m 風速為 2.1 m/s<sup>-1</sup>，上午 9 時混合層高度 390 m，12 時混合層為 470 m，綜觀盛行風微弱，有利於污染物垂直擴散，加上日照旺盛，O<sub>3</sub> 濃度於 400 公尺累積達到 91.2ppb(圖 5-2-20)；下午受到陸風的影響，風向轉為東風，夜間光化作用停止，且混合層高度下降，近地面 NO 會消耗 O<sub>3</sub> 生成 NO<sub>2</sub>，造成 NO<sub>2</sub> 濃度於 25 公尺處上升至約 52.8 ppb(圖 5-2-22)，O<sub>3</sub> 濃度降低。29 日(圖 5-2-18)凌晨近地面風速較小，在高度 300 m 風向為南風，風速則為 2.1 m/s<sup>-1</sup>，在中午 12 點時，受到海風的影響，風向轉為西風，此時上午 9 時混合層高度為 310 m，12 時混合層高度 450 m，利於污染物垂直擴散，中午 12 時至 15 時日照強烈，天氣型態穩定，受光化學反應作用下，28 日所累積較高濃度之 NO<sub>2</sub> 轉化成 O<sub>3</sub>，O<sub>3</sub> 濃度累積高達 106.4ppb(圖 5-2-20)。30 日縱觀氣象場微弱，近地面風速為 0.2 m/s<sup>-1</sup>，風向為南風，上午 9 時混合層高度 280 m，12 時混合層高度發展至 490 m，到了下午 15 時混合層高度 460 m，利於污染物垂直擴散，並受到高壓迴流天氣型態影響，海風盛行，沿海之污染物會往內陸地區平流輸送，O<sub>3</sub> 小時濃度值在 100 公尺處達到約 89.6ppb(圖 5-2-20)。31 日近地面風速為 0.8 m/s<sup>-1</sup> 風向則為南風，上午 9 時混合層高度 300m，12 時混合層高度為 490 m，下午 15 時混合層高度 270 m，天氣穩定，日照旺盛，在中午 12 時 100 公尺處 O<sub>3</sub> 小時濃度監測值達到 82.9ppb(圖 5-2-20)。11 月 1 日 00 時，風速 1.3 m/s<sup>-1</sup>，近地面呈現北風，混合層高度 390 m。

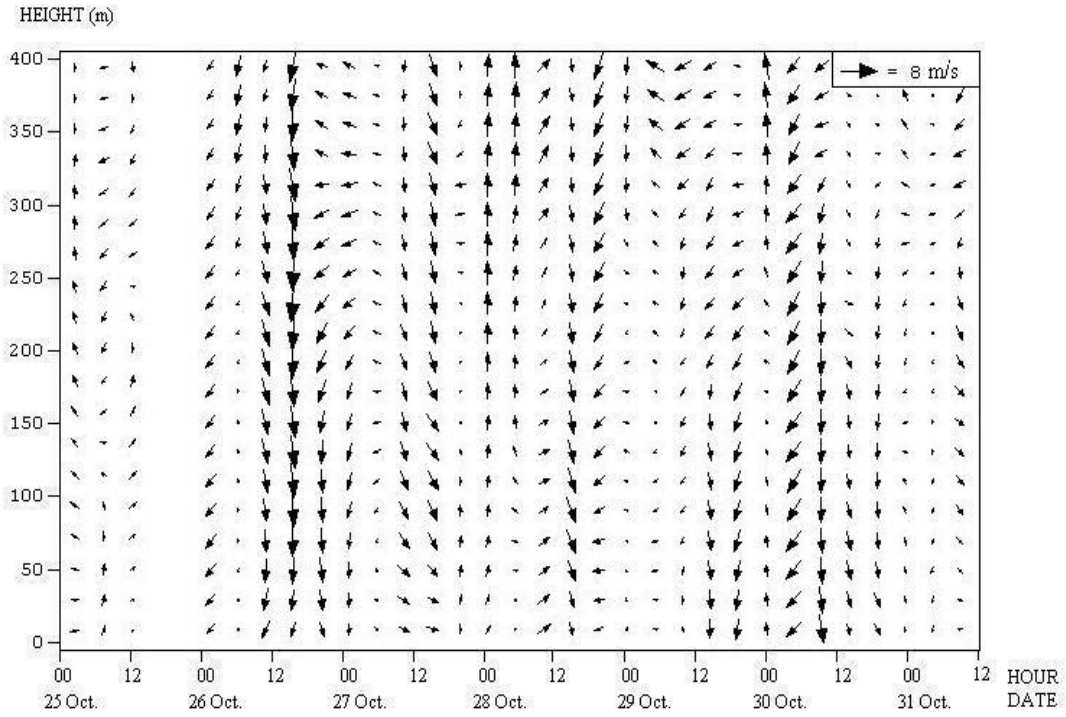


圖 5-2-12 2007 年 10 月 25 日至 31 日於大里之風場垂直剖面圖

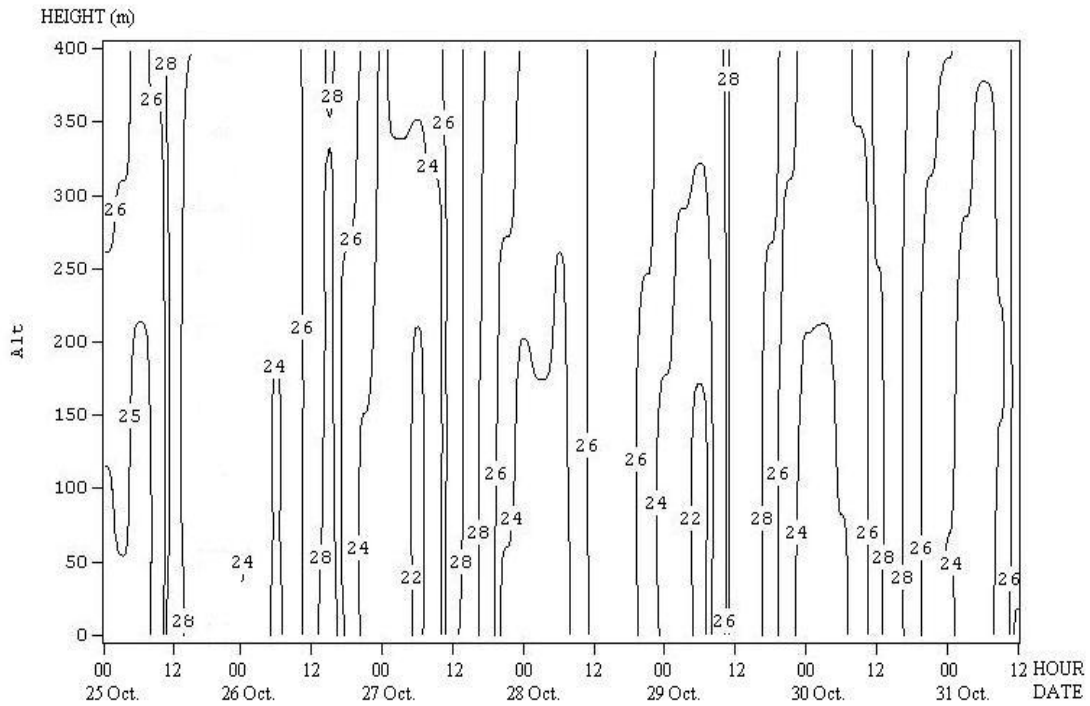


圖 5-2-13 2007 年 10 月 25 日至 31 日於大里之虛位溫垂直剖面圖

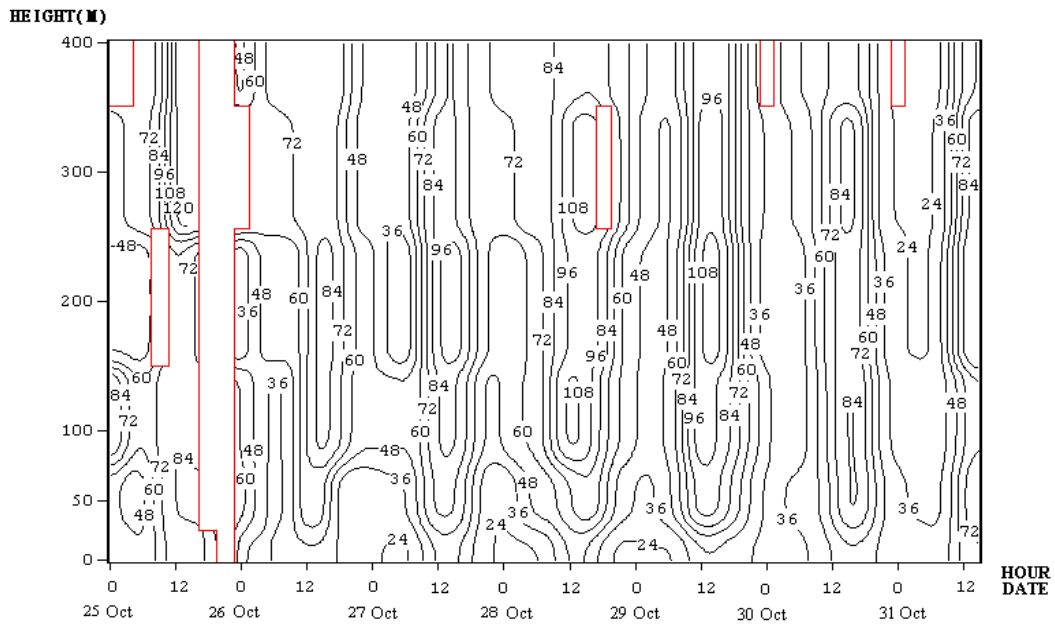


圖 5-2-14 2007 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 O<sub>3</sub> 垂直剖面圖(ppb)

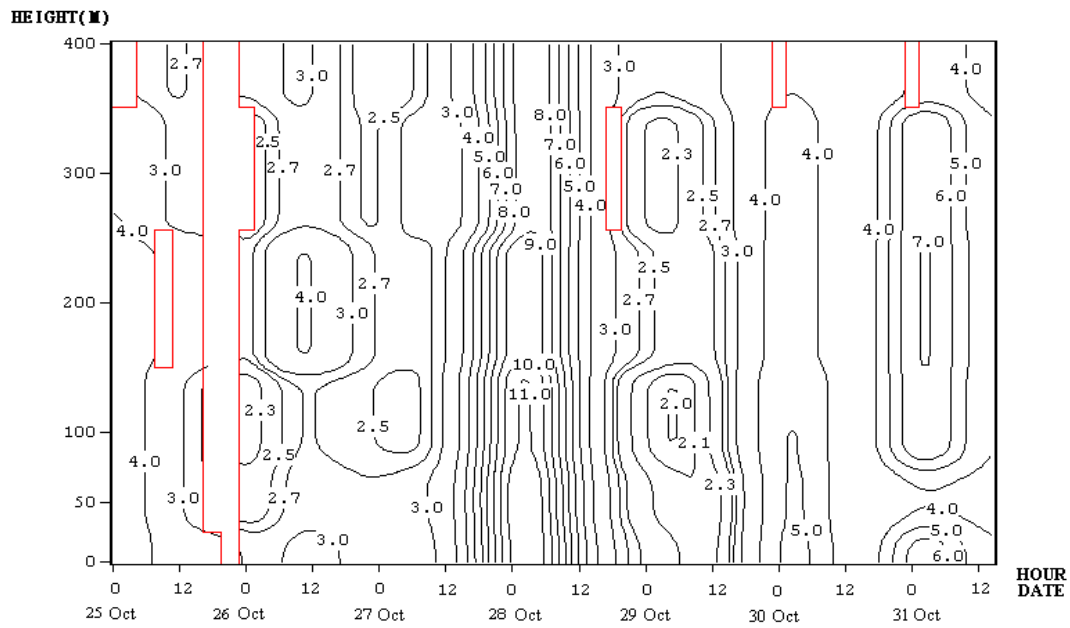


圖 5-2-15 2007 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 NO 垂直剖面圖(ppb)

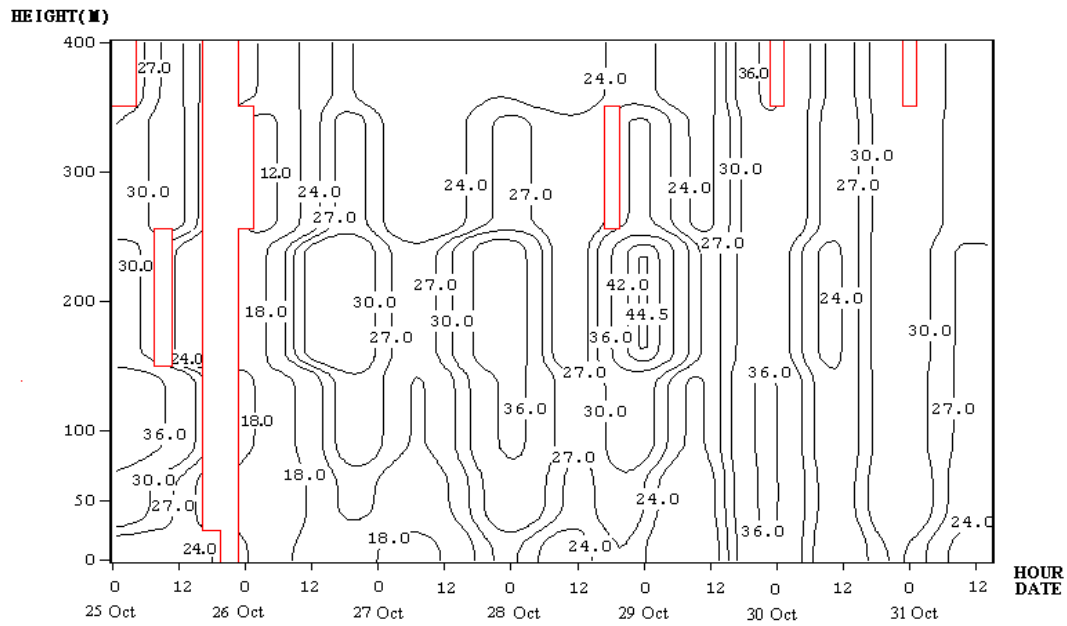


圖 5-2-16 2007 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 NO<sub>2</sub> 垂直剖面圖(ppb)

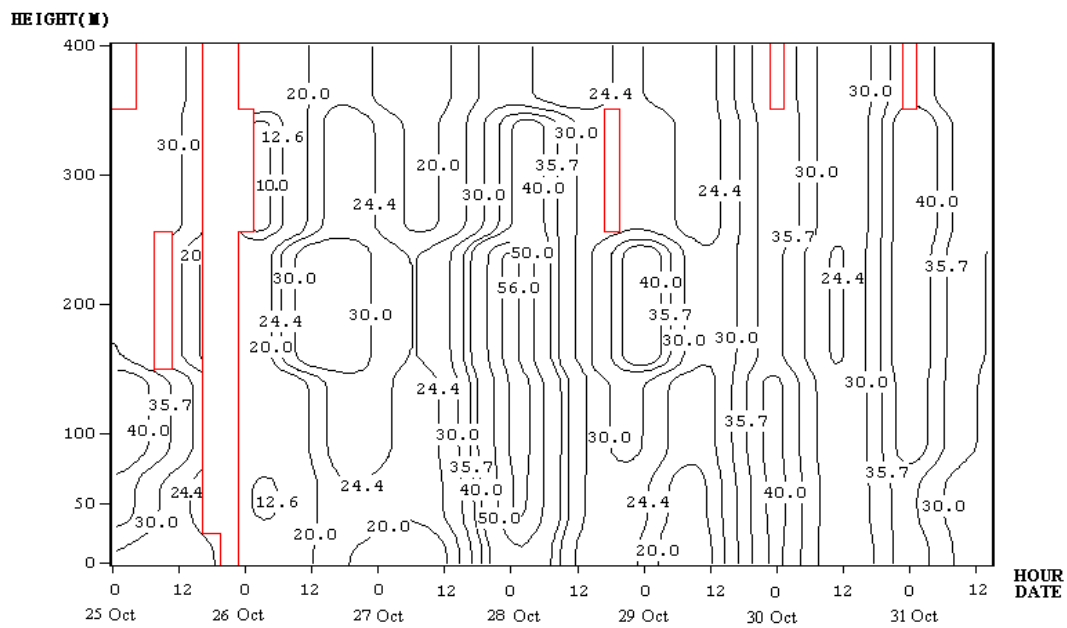


圖 5-2-17 2007 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 NO<sub>x</sub> 垂直剖面圖(ppb)

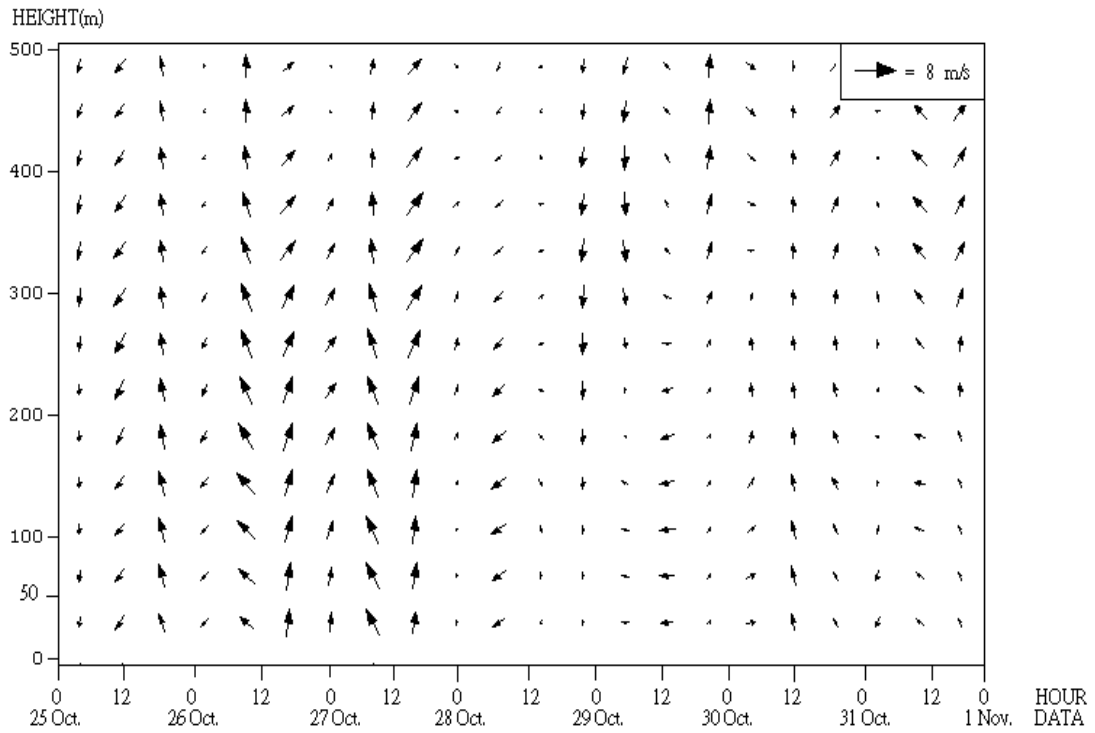


圖 5-2-18 2008 年 10 月 25 日至 31 日於大里之風場垂直剖面圖

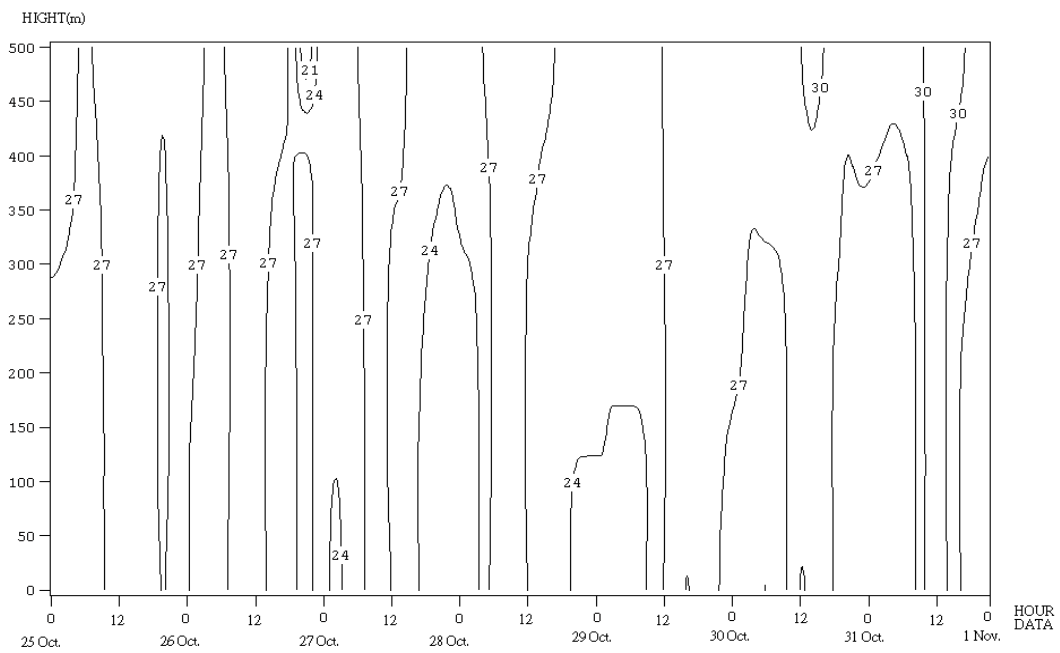


圖 5-2-19 2008 年 10 月 25 日至 31 日於大里之虛位溫垂直剖面圖

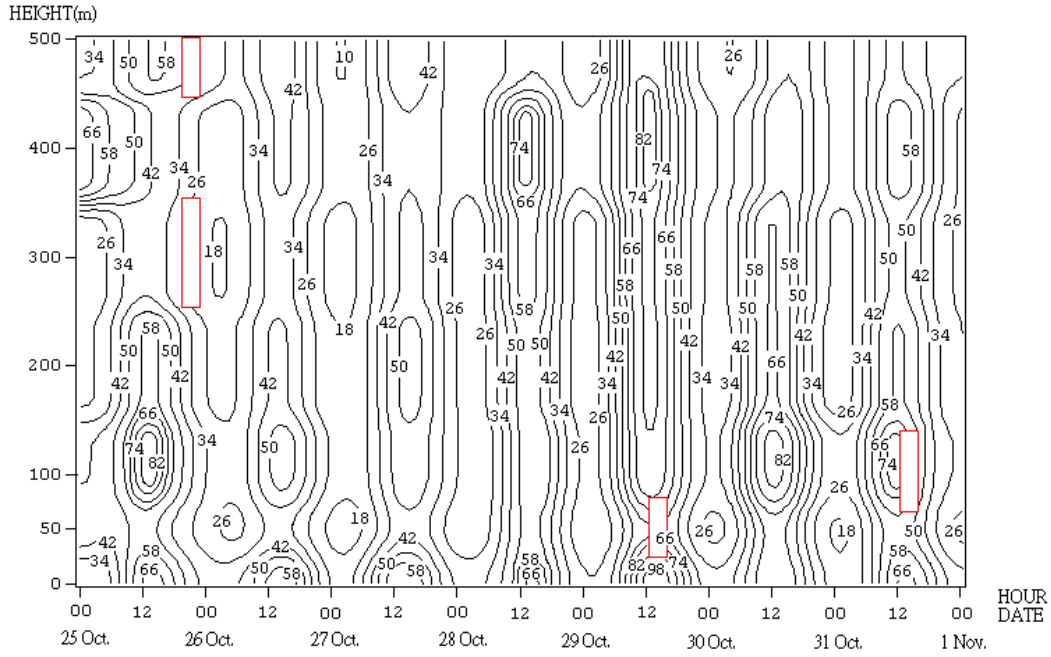


圖 5-2-20 2008 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 O<sub>3</sub> 垂直剖面圖(ppb)

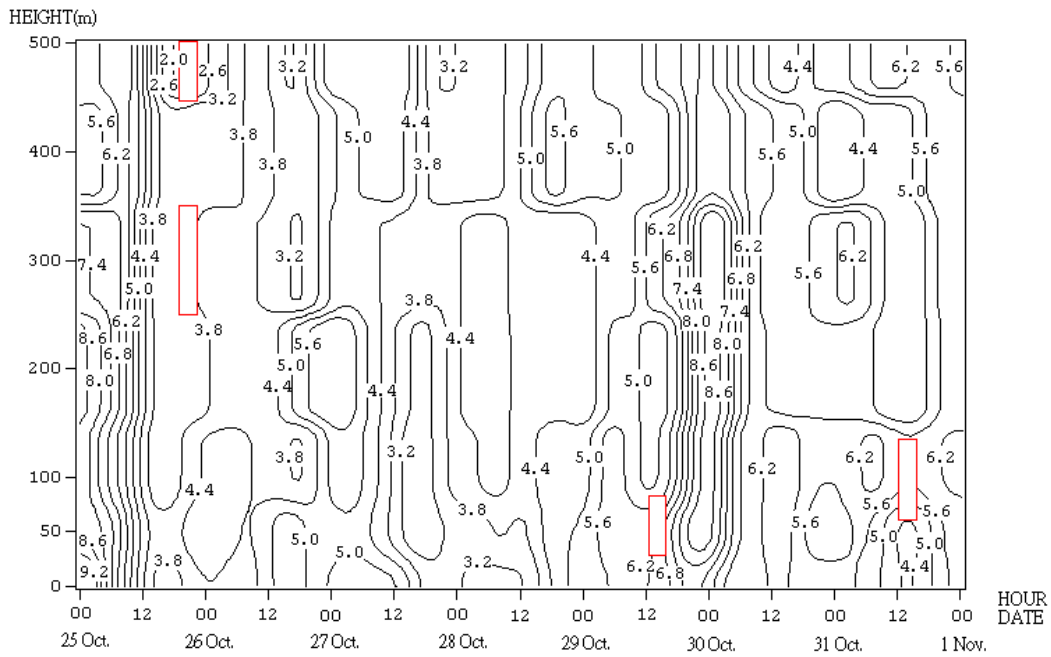


圖 5-2-21 2008 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 NO 垂直剖面圖(ppb)

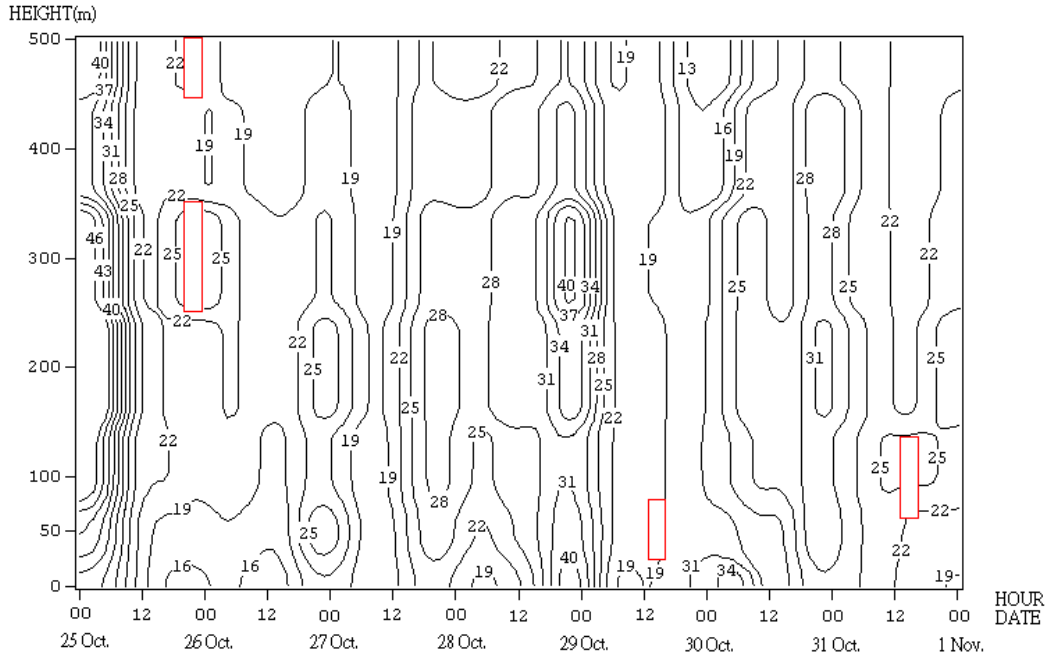


圖 5-2-22 2008 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 NO<sub>2</sub> 垂直剖面圖(ppb)

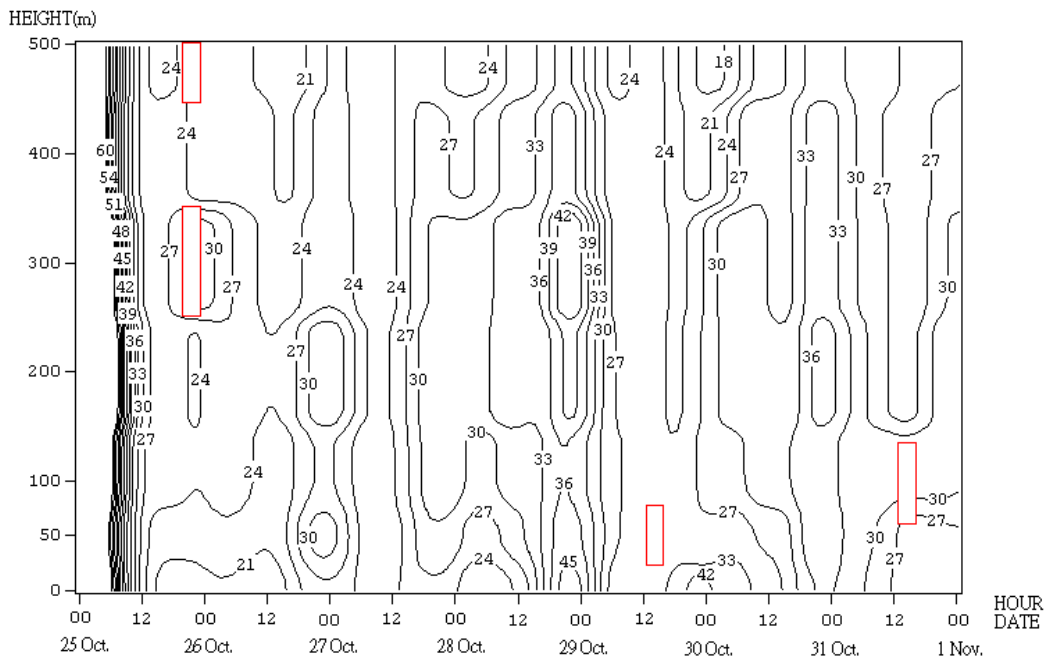


圖 5-2-23 2008 年 10 月 25 日至 31 日於大里之 NO<sub>x</sub> 垂直剖面圖(ppb)



### 5.3 模式驗證與軌跡

本研究在於利用模式模擬台中都會區熱島效應的發展以及綜觀風場情形，並利用順逆軌跡來驗證了解，當強熱島現象發生時污染物的移動情況，希望藉此推估污染物的來源以及傳輸途徑，因此模式模擬值的評比對研究發展是很重要的考量依據。透過 TAPM 模式模擬，其中將針對台中地區與其周圍測站選用梧棲、台中、沙鹿、忠明、西屯、豐原、大里、霧峰、大甲、后里、太平和烏日等 12 個測站輸出逐時模擬值，並將其與實際監測資料進行一致性指數(IOA)分析比對，詳細結果請參照附錄。

另外，本研究透過過去經驗的累積，於 TAPM 氣象模組內加入了四維資料風場同化以及建築物資料庫，使模擬結果最佳化。

本研究選定 2007 年與 2008 年的秋季 10 月 26 日至 29 日為案例期間輸出，依據 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，輸出台中都會區 12 個測站逐時模擬值，並與測站觀測值進行比對分析。模式驗證結果如表 5-2-1 所示，各站結果都有良好的一致性。

表 5-3-1 案例期間 TAPM 模式 IOA 驗證結果表

Accuracy analysis	2007 Autum Wind speed	2007 Autum Temperature	2007 Autum Ozone	2008 Autum Wind speed	2008 Autum Temperature	2008 Autum Ozone
Wuchi	0.89	0.91		0.92	0.86	
Shalu	0.95	0.90	0.65	0.97	0.92	0.73
Fengyuan	0.90	0.92	0.67	0.95	0.91	0.67
Hsitun	0.93	0.93	0.82	0.94	0.85	0.76
Chungming	0.77	0.88	0.86	0.84	0.91	0.46
Taichung	0.93	0.91		0.94	0.92	
Dali	0.91	0.91	0.77	0.95	0.93	0.89
Wurih	0.87	0.97	0.78	0.89	0.97	0.58
Dajia	0.90	0.87	0.63	0.96	0.81	0.66
Houli	0.84	0.72	0.52	0.84	0.95	0.59
Wufeng	0.90	0.93	0.30	0.88	0.95	0.63
Taiping	0.85	0.77	0.61	0.93	0.94	0.61
AVG	0.89	0.89	0.66	0.92	0.91	0.66

### 5.3.1 順逆軌跡分析

在 2007 年秋季 10 月 26 日至 29 日的模擬案例期間，挑選每日大里地區發生熱島效應最強之時段輸出其氣塊軌跡以及中部地區綜觀風場，藉此來探討污染物的傳輸移動情形。

在 2007 年 10 月 26 日 1800LST，此時熱島強度達  $3.61^{\circ}\text{C}$ ，綜觀風場以東北風及北風為主(圖 5-3-1(a))，由氣塊軌跡顯示(圖 5-3-1(b))，氣塊經由北風進入中部地區，帶來苗栗地區的污染物，並在途中經過忠明都會區後在 1800LST(模擬時間第 60 小時)時到達大里地區，且因受到都市熱島效應的影響，微弱的風場導致污染物不易擴散出去，因此在 2100LST 到 2400LST(模擬時間第 70 小時至 73 小時)之間，氣塊在霧峰地區持續徘徊之後才逐漸往內陸南投地區傳輸移動。

而 2007 年 10 月 27 日 1900LST，此時為案例期間最強熱島強度發生的時段，高達  $3.75^{\circ}\text{C}$ ，中部地區綜觀風場以西北風為主(圖 5-3-2(a))，圖中顯示在西北風的作用下，氣塊伴隨著污染物由大甲地區逐漸往台中都會區移動傳輸(圖 5-3-2(b))，在 1900LST(模擬時間第 92 小時)時，大里地區發生強烈的熱島現象，而伴隨所產生的輻合現象大大的減弱了陸風的強度，因而阻礙了氣流擴散，導致污染物持續在大里與太平地區附近徘徊累積，氮氧化物的濃度達到了案例期間的最高值  $53.94\text{ppb}$  左右。

在 2007 年 10 月 28 日 1900LST 之綜觀風場部份，此時熱島強度達  $2.43^{\circ}\text{C}$ ，此日的風場與 27 日相似(圖 5-3-3(a))，氣塊受到綜觀風場北風偏西北風的影響，由中部以北以及苗栗地區往台中都會區方向傳輸移動(圖 5-3-3(b))，另外，在傍晚 1900LST(模擬時間第 116 小時)時，大里地區有熱島現象產生，但強度較不明顯，因此在盛行陸風的作用下，氣塊並未因熱島現象而停留在大里地區，反而往彰化沿海地區移動，使得污染物不易累積在都會區內。

2007 年 10 月 29 日 1800LST，此時熱島強度達  $2.64^{\circ}\text{C}$ ，從氣塊軌跡圖中可看出，氣塊移動的路徑與 27 日相似，在 1500LST(模擬時間第 136 小時)時，綜觀風場以東北風為主(圖 5-3-4(a))，之後在海風的影響作用下風向轉為西北風，氣塊往內陸都會區方向移動，在接近傍晚 1800LST(模擬時間第 139 小時)時，因受到大里地區熱島輻合現象的影響，導致氣塊在大里以及太平地區徘徊(圖 5-3-4(b))。

而在 2008 年秋季案例期間模擬的部分，模擬時間範圍同樣為 10 月 26 日至 29 日，其中大里地區臭氧濃度最高以及熱島強度最強皆發生於 2008 年 10 月 29 日，因此模擬此段時間大里地區之氣塊軌跡來印證高臭氧濃度來源，以及污染路徑。在 26 日 2100LST(模擬時間第 70 小時)時，此時熱島強度達  $3.55^{\circ}\text{C}$ ，綜觀風場以東北風及北風為主(圖 5-3-5(a))，氣塊由中部以北地區往都會區內傳輸移動(圖 5-3-5(b))，並受到大里地區都市熱島效應的影響，加上夜晚陸風現象較不明顯的因素，因此使得氣塊持續在大里地區徘徊後才向內陸地區移動。

在 2008 年 10 月 27 日 1700LST 的氣塊軌跡部份，此時熱島強度達  $4.1^{\circ}\text{C}$ ，此日氣塊移動的路徑與去年 2007 年同一天相似，同樣受到午後盛行海風的作用下，綜觀風向由偏北風轉為西北風為主(圖 5-3-6(a))，氣塊由沿海地區往都會區移動，此時大里地區雖有強熱島現象發生，但從氣塊的移動路徑來看，顯示受到海風的影響較顯著，而輻合現象卻不明顯，氣塊並未停留在大里地區，反而往霧峰以南地區移動徘徊後才往內陸傳輸(圖 5-3-6(b))。

2008 年 10 月 28 日 1800LST，此時熱島強度達  $3.83^{\circ}\text{C}$ ，此時中部地區綜觀風場以東風及東南風的離岸風為主(圖 5-3-7(a))，從氣塊移動軌跡來看(圖 5-3-7(b))，在午後 1500LST(模擬時間第 112 小時)時，海風先將污染物由沿海地區吹往內陸都會區，之後在盛行陸風以及都市熱島效應的作用下，污染物往沿海地區移動後又繞回內陸地區，在這段過程中，污染物的濃度因持續不斷的累積而升高。

2008 年 10 月 29 日，此日為案例期間臭氧濃度最高以及夜間熱島強度最強的時段，熱島強度高達  $4.27^{\circ}\text{C}$ ，中部地區綜觀風場微弱，以微弱的東風或東北風為主(圖 5-3-8(a))，經由實際監測結果顯示，29 日海陸風現象明顯，當白天海風盛行時，空氣污染物在海風的作用下由沿海地區往台中都會區內傳輸移動，到了夜晚，強烈的熱島輻合現象減弱了陸風的強度，因此使得空氣污染物不易從都會區內擴散出去，導致污染物的濃度持續累積升高。從 1800LST(模擬時間第 139 小時)的氣塊軌跡線中可發現，氣塊先在大里以及忠明地區徘徊後才往彰化沿海地區移動(圖 5-3-8(b))，因而造成彰化地區污染物濃度升高。

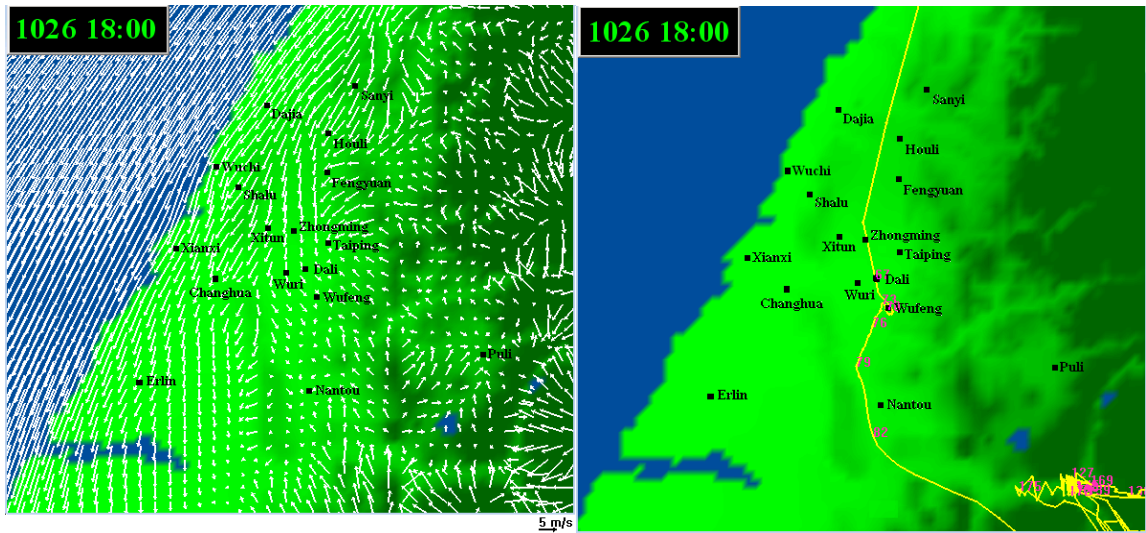


圖 5-3-1 2007 年 10 月 26 日 1800LST 之綜觀風場與順逆軌跡圖

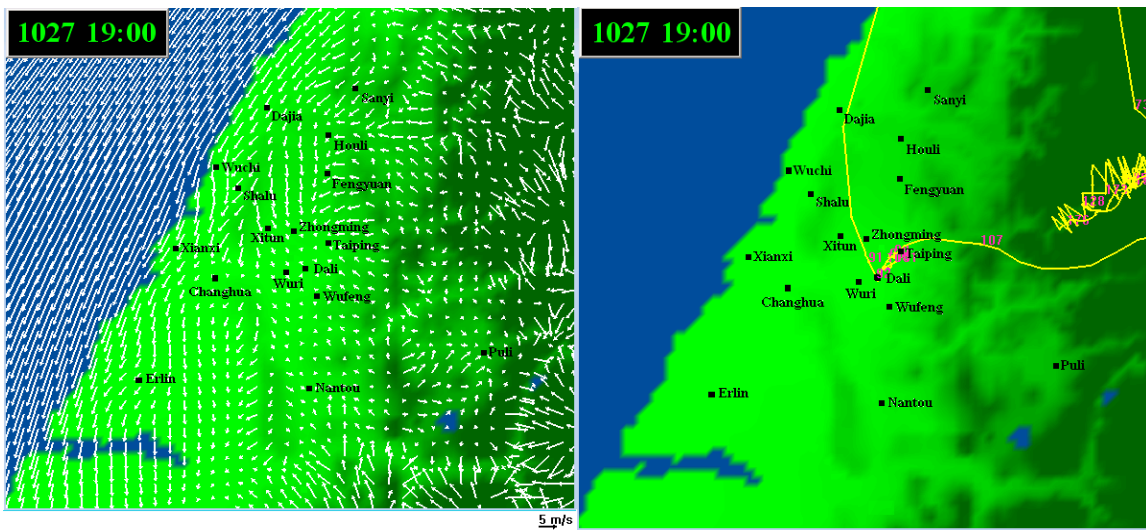


圖 5-3-2 2007 年 10 月 27 日 1900LST 台中都會區之綜觀風場與順逆軌跡圖

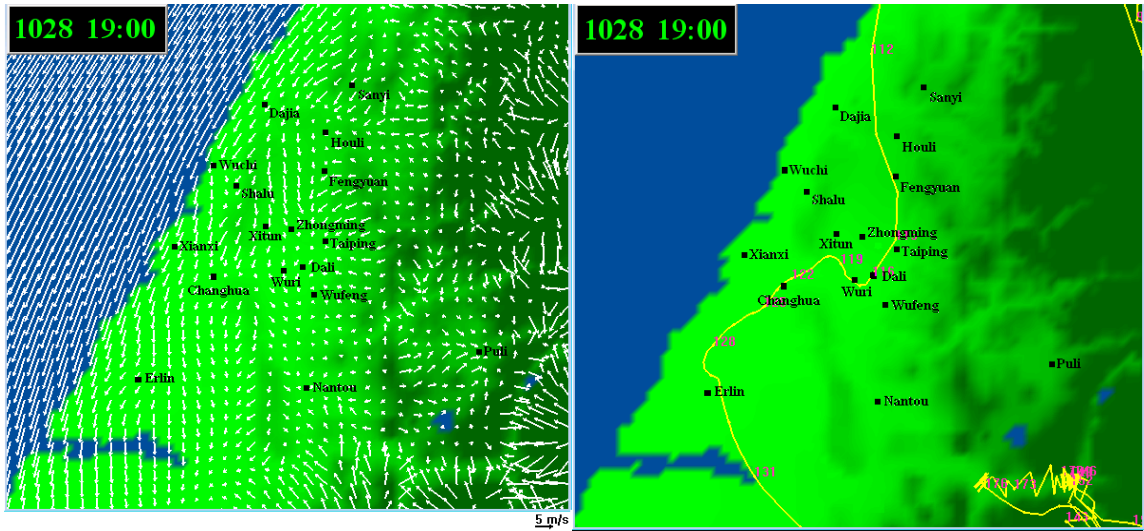


圖 5-3-3 2007 年 10 月 28 日 1900LST 之綜觀風場與順逆軌跡圖

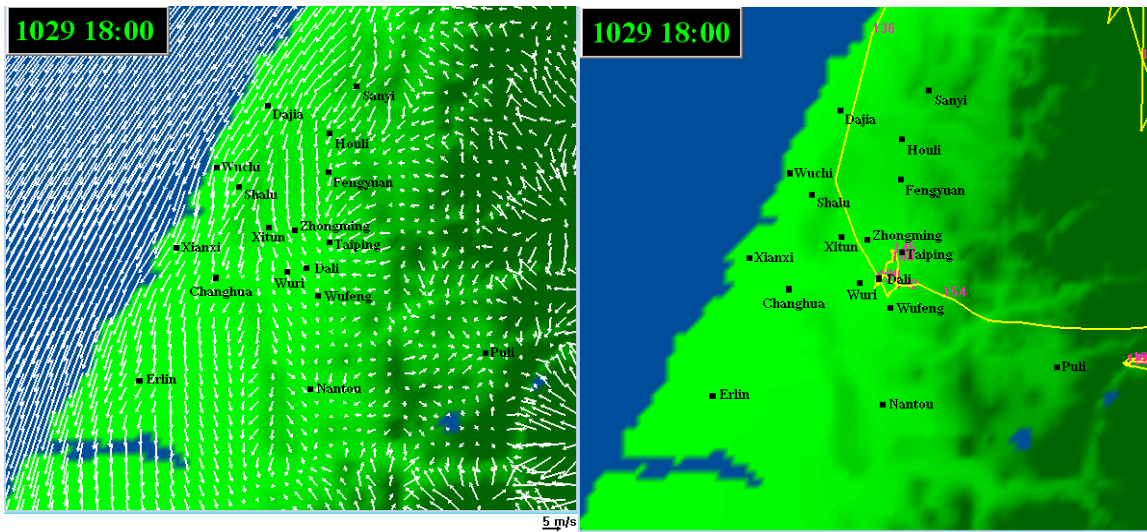


圖 5-3-4 2007 年 10 月 29 日 1800LST 之綜觀風場與順逆軌跡圖

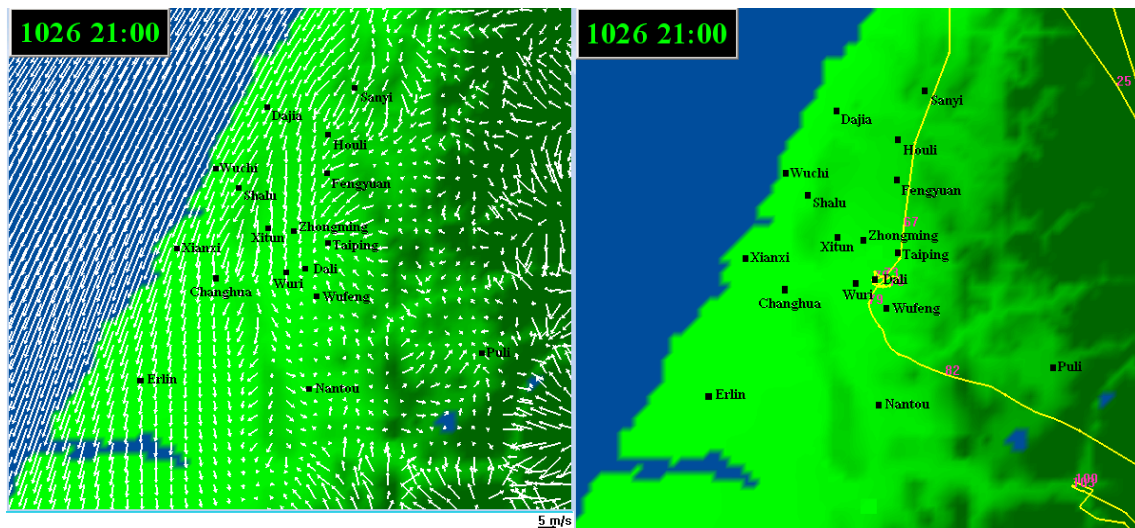


圖 5-3-5 2008 年 10 月 26 日 2100LST 之綜觀風場與順逆軌跡圖

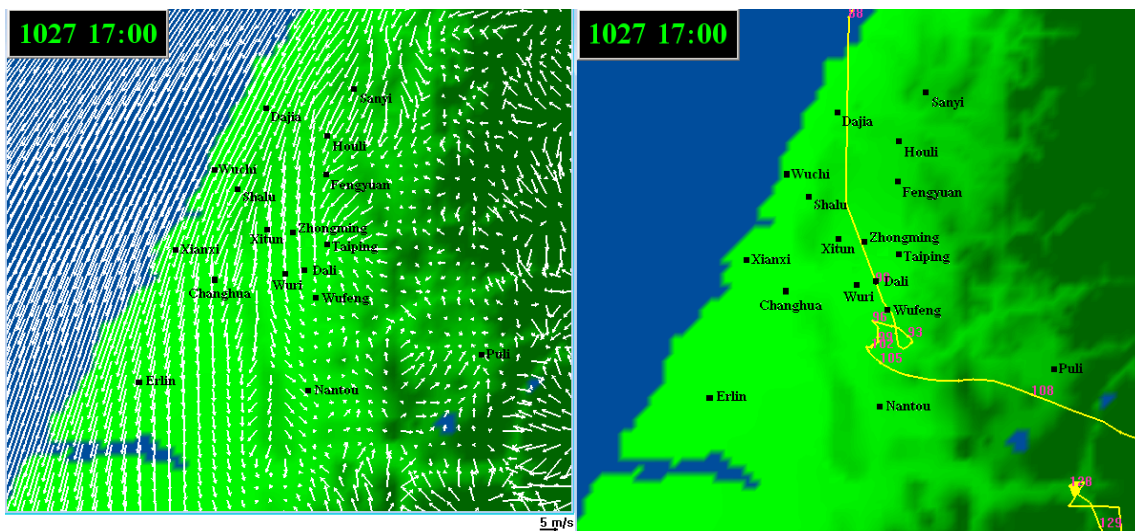


圖 5-3-6 2008 年 10 月 27 日 1700LST 之綜觀風場與順逆軌跡圖

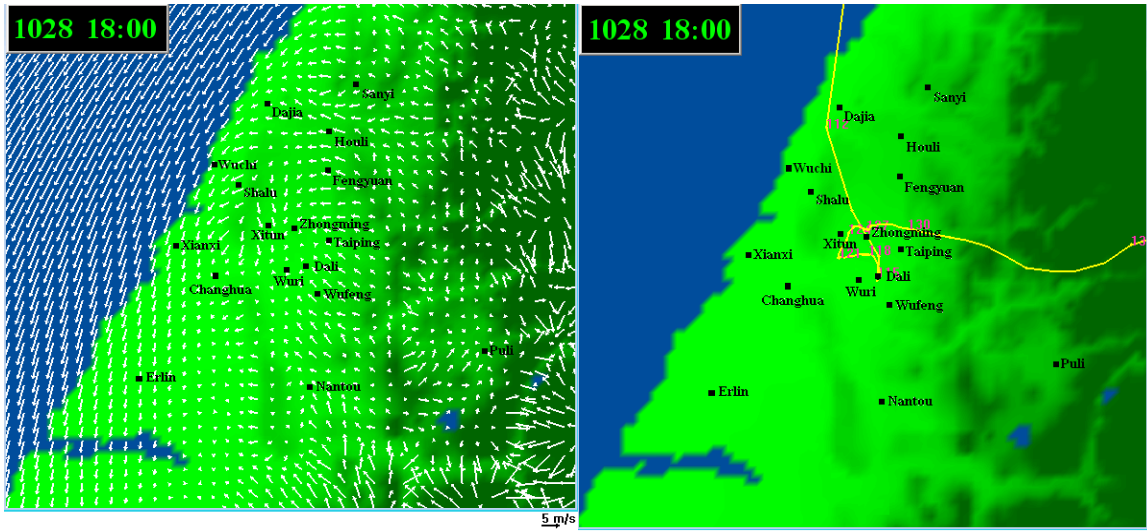


圖 5-3-7 2008 年 10 月 28 日 1800LST 之綜觀風場與順逆軌跡圖

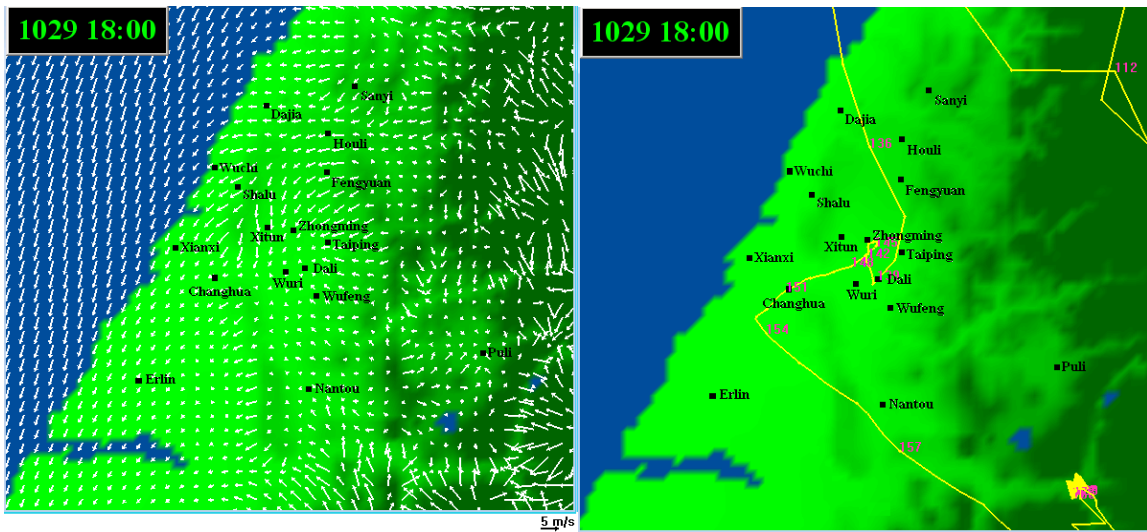


圖 5-3-8 2008 年 10 月 29 日 1800LST 之綜觀風場與順逆軌跡圖

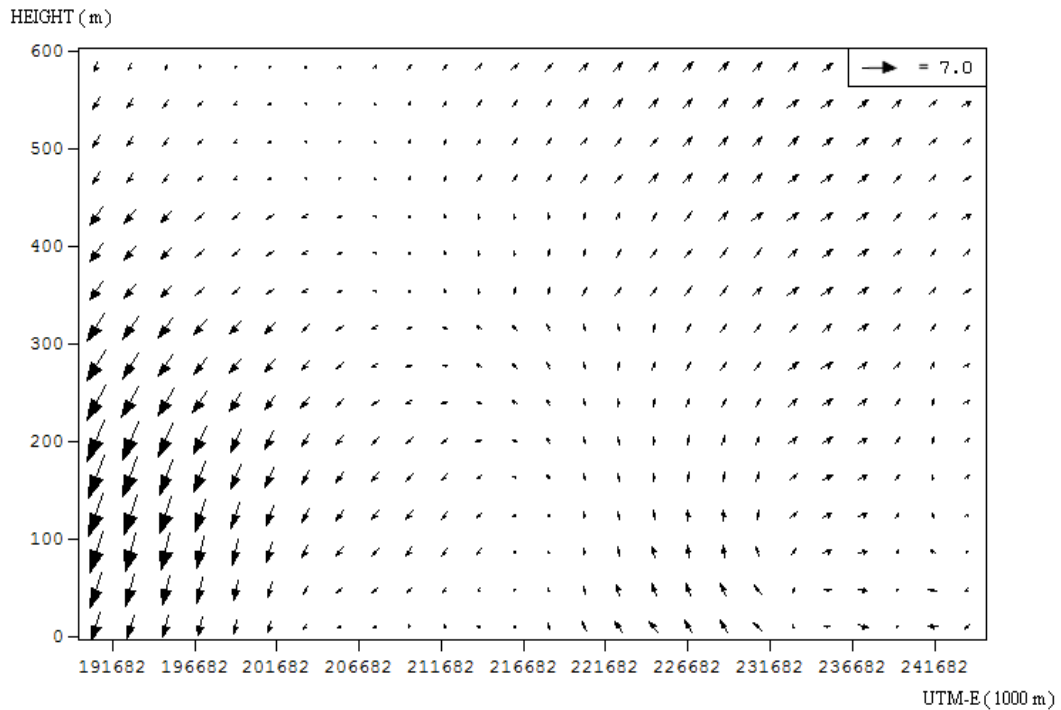
### 5.3.2 垂直風場與污染物模擬分析

當都市熱島現象發生時，熱島中心會產生輻合現象，此時，風向與風速將發生改變，將空氣污染物集中於熱島中心。由於繫留探空監測只適用於單一特定地點的垂直氣象場監測，對於熱島輻合以及海陸風現象等屬於綜觀尺度的氣候變化較無法確實掌握，因此本研究將利用 TAPM 模式來還原兩次案例期間最強都市熱島事件的垂直風場以及污染物分佈情況。

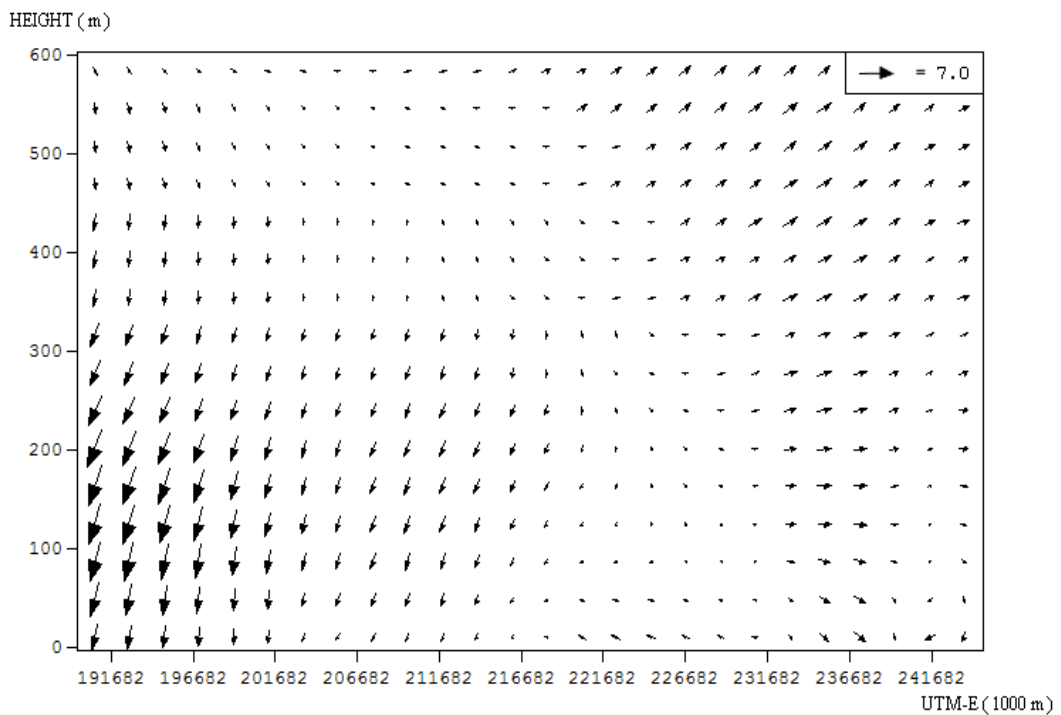
在 2007 年案例期間，最強都市熱島強度發生於 10 月 27 日 1900LST，達  $3.75^{\circ}\text{C}$ ，因此輸出當時的風場以及  $\text{NO}_2$  濃度的垂直模擬分布來分析探討，當時熱島中心位於大里地區(UTM-E 216682)，從垂直風場模擬中可發現(圖 5-3-9(a))，由於受到熱島輻合現象的影響，在接近大里周圍的地區風速與風向皆發生改變，而從  $\text{NO}_2$  的垂直濃度分布來看(圖 5-3-10(a))，沿海工業區所排放的較高濃度氮氧化物隨著局部環流逐漸的往內陸擴散，而垂直方向的擴散也被侷限在 550 公尺以內，在加上此時大里地區有強熱島現象發生，伴隨所產生的輻合現象也因此使得污染物被侷限在大里地區而無法繼續往內陸擴散移動。

而在 2008 年案例期間的部分，最強都市熱島強度發生於 10 月 29 日 1800LST，高達  $4.27^{\circ}\text{C}$ ，此時熱島中心位於大里地區，從垂直風場模擬(圖 5-3-9(b))來看，在接近大里地區周圍的風向與風速皆發生改變，情況與 2007 年的案例相同，而從  $\text{NO}_2$  的濃度分布(圖 5-3-10(b))來看，沿海地區與內陸大里地區皆有高濃度的氮氧化物累積情況發生，其中大里地區因有強烈熱島現象發生，使得污染物被限制在此處不容易擴散出去，而沿海地區則因為是工業區所在地的關係，另外，垂直濃度的擴散高度也被侷限在 200 公尺以內。



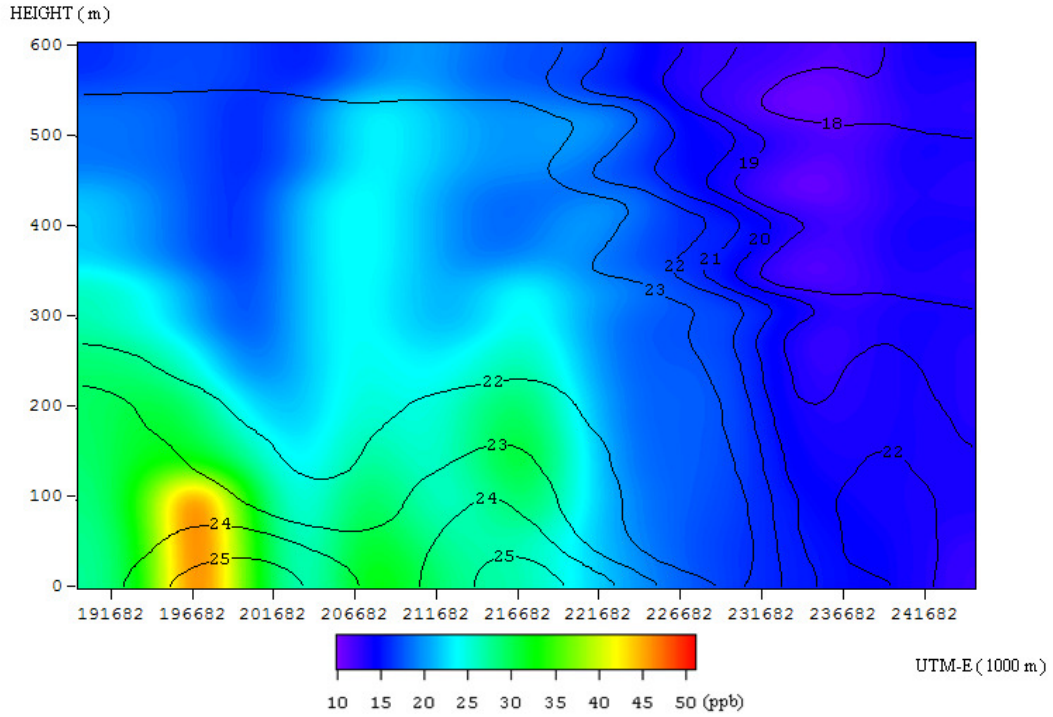


(a)

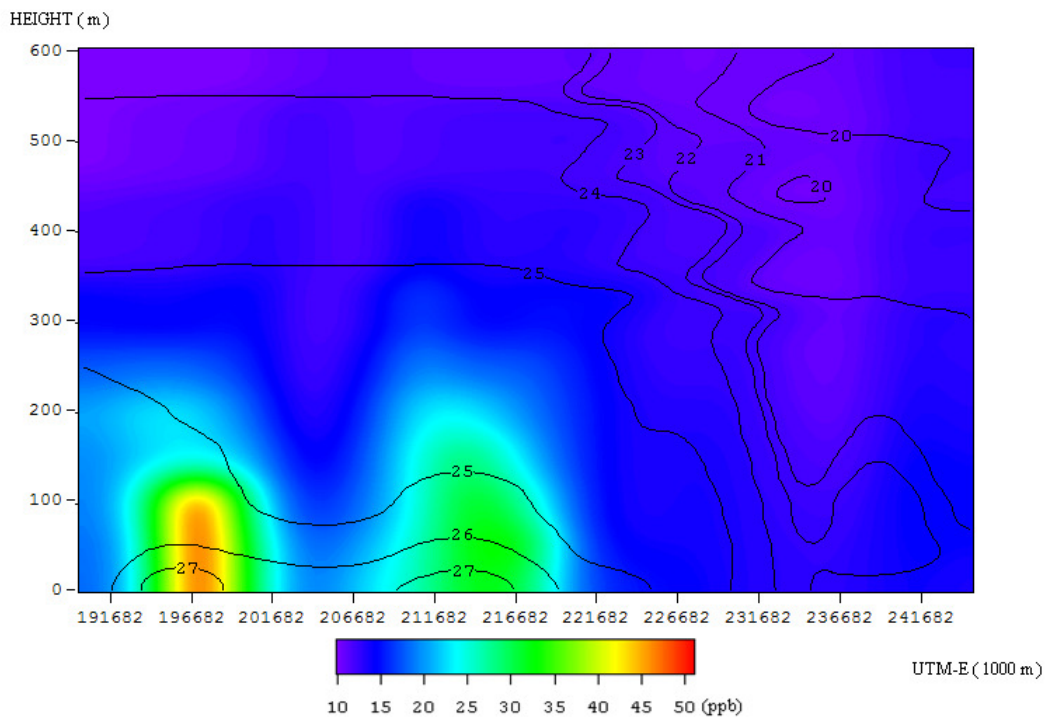


(b)

圖 5-3-9 台中都會區 TAPM 模擬之垂直風場 X 截面圖，大里中心位於 UTM-216682(1000m)，寬約 8km。(a)2007 年 10 月 27 日 1900LST(b)2008 年 10 月 29 日 1800LST



(a)



(b)

圖 5-3-10 台中都會區 TAPM 模擬之  $\text{NO}_2$  濃度與溫度 X 截面圖，大里中心位於 UTM-216682(1000m)，寬約 8km。(a)2007 年 10 月 27 日 1900LST(b)2008 年 10 月 29 日 1800LST

## 第六章 結論與建議

本研究蒐集統計 2007 年至 2008 年中部地區測站的氣象及污染物資料，作局部環流、熱島效應以及污染物濃度三者之間的相關性研究。分析近兩年中部地區熱島效應的日夜與季節變化、海陸風環流對中部地區熱島現象及污染物濃度的影響、混合層高度分析以及通風指數對熱島強度與污染物濃度之相關性探討。本文最後根據上述分析提出以下之結論：

### 6.1 結論

1. 從本研究來看，在案例期間，大里地區為台灣中部都會區的熱島中心，而熱島中心所產生之輻合現象約在傍晚時段最為明顯，在輻合作用的影響下，有機會將鄰近地區的空气污染物傳輸累積於熱島中心，因此 NO<sub>2</sub> 臭氧前驅污染物的濃度此時在大里地區有顯著的累積。
2. 而本研究統計分析中部地區的海陸風現象結果顯示，台灣中部地區的海陸風環流，對於台中盆地內部所形成的熱島效應強弱也具有相當程度的影響。另外，在秋季，大里測站的臭氧濃度累積也明顯受到海陸風傳輸的影響而增加。
3. 在本研究 2007 年與 2008 年二次秋季的監測採樣期間，除了受到高壓出海與高壓迴流天氣型態的影響以外，另外還有颱風接近台灣的因素。北方的高壓系統與颱風外圍環流所共伴的偏東風氣流會受到台灣地形的影響，發生繞流與過山沉降。此現象會在台灣中部造成低風速穩定與低相對濕度的氣象條件，有利於高污染事件的生成。
4. 在混合層高度分析方面，實際觀測值與模擬值的夜間混合層高度均發展至約 200 公尺以下，因此夜間較低的混合層高度加上強熱島現象發生時所產生的微弱風速與輻合作用的影響，限制了空氣污染物的傳輸擴散，將使得熱島中心的 NO<sub>2</sub> 濃度累積而上升。而在整個趨勢變化中可發現，Obs-Holzworth 及迴歸方程式 ( $h_m\text{-obs}$ ) 所得的混合層高度變化趨勢較一致，而 TAPM 的模擬結果可能是因為同化資料不足的因素，因此才造成模擬值與實際監測值之間的差異較大。

5. 在通風指數方面，當都市出現強熱島現象時，確實會造成都市中心的通風能力減弱，不利於空氣污染物的擴散，而從與各種空氣污染物濃度之間的相關性分析中發現，通風指數雖然與臭氧濃度之間沒有呈現出良好的相關性，但在時間序列分析中卻呈現出當白天高臭氧污染事件發生時，通風指數有明顯下降的情況，因此顯示混合層高度對於臭氧濃度的累積具有相當程度的影響。
6. 而在 PM<sub>10</sub> 以及 PM<sub>2.5</sub> 的部分，則由於懸浮微粒的濃度變化易受到風速大小、沙塵暴或汽機車揚塵等因素所影響而呈現不規則性，因此與通風指數之間的相關性情況較不明顯。
7. 利用 TAPM 模式的氣塊順逆軌跡研究可以準確解析空氣污染物的傳輸路徑以及熱島效應的影響，未來可以善加利用。而從氣塊順逆軌跡研究中可以發現，中部都會區空氣污染物的來源主要是受到海風的影響，由中部以北沿海地區往內陸地區傳輸移動，並在熱島輻合效應的作用下而持續在大里地區徘徊累積，造成高污染事件。

## 6.2 建議

1. 目前國內對於都市熱島效應的研究大多把重點放在地面發展現象，而對於垂直方向溫度場以及風場變化的探討卻非常缺乏，因此建議未來可以朝這方面進行，來探討當都市熱島現象發生時，都市地區大氣垂直結構變化的情形。
2. 而對於 TAPM 模式的氣塊順逆軌跡研究，可以藉由輸入更加完整之氣象同化資料以及調整模式之參數，來達到更加具有可信度的模擬結果，能夠作為探討空氣污染物傳輸移動的重要參考依據。

## 參考文獻

- Alexander, V. L., Jorge, E. G., Amos, W., 2006. Urban heat island effect analysis for San Juan, Puerto Rico. *Atmospheric Environment*, 40, 1731-1741.
- Alonso MS, Fidalgo MR, Labajo JL. The urban heat island in Salamanca (Spain) and its relationship to meteorological parameters. *Clin Res* 2007;34:39-46.
- Ashrafi, Kh., Shafie-Pour, M., Kamalan, H., 2009. Estimating Temporal and Seasonal Variation of Ventilation Coefficients. *International Journal of Environmental Research*, 3, 637-644.
- Baumann, K., Maurer, H., Rau, G., Piringer, M., Pechinger, U., Prévôt, A., Furger, M., Neininger, B., Pellegrini, U., 2001. The influence of south Foehn on the ozone distribution in the Alpine Rhine valley-results from the MAP field phase. *Atmospheric Environment*, 35, 6379-6390.
- Bornstein, R., Lin, Q., 2000. Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: Three case studies. *Atmospheric Environment* 34, 507-516.
- Cai G., Du, M., Xue, Y., 2008. Monitoring of seasonal change of urban heat island effect in Beijing using ASTER data. *International Conference on Earth Observation Data Processing and Analysis (ICEODPA). Proc. Of Society of Photographic Instrumentation Engineers (SPIE) 7285, 5B.*
- Chan, C. C., Chuang, K. J., Chien, L. C., Chen, W. J., and Chang, W. T., 2006. Urban air pollution and emergency admissions for cerebrovascular diseases in Taipei, Taiwan, *European Heart Journal*, 27: 1238-1244.
- Chang, S.Y., Lee, C.T., Chou, C.C.K., Liu, S.C., Wen, T.X., 2007. The performance comparison of the In Situ IC instrument and the continuous field measurements of soluble aerosol compositions at the Taipei Aerosol Supersite, Taiwan. *Atmospheric Environment* 41, 1936-1949.
- Chang, S.Y., Fang, G.C., Chou, C.C.K., Chen, W.N., 2006. Chemical compositions and radiative properties of dust and anthropogenic air masses study in Taipei Basin, Taiwan, during spring of 2004. *Atmospheric Environment* 40, 7796-7809.

- Chen, C. L., Tsuang, B. J., Tu, C. Y., Cheng, W. L., Lin, M. D., 2002. Winter time vertical profiles of air pollutants over a suburban area in central Taiwan. *Atmospheric Environment*, 36, 2049–2059.
- 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.
- Cheng, W-L., 2001. Spatio-temporal variations of sulphur dioxide patterns with wind conditions in central Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 66, 77-98.
- Cheng, W-L., 2002. Ozone distribution in coastal Taiwan under sea-breeze conditions. *Atmospheric Environment* 36, 3445-3459.
- Chow WTL, Roth M., 2006. Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore. *Int J Climatol*, 26:2243-60.
- Deosthali, V., 2000. Impact of rapid urban growth on heat and moisture islands in Pune City, India. *Atmospheric Environment*, 34, 2745-2754.
- Dixon, P. G., Mote, T. L., 2003. Patterns and causes of Atlanta's urban heat island-initiated precipitation. *Journal of Applied Meteorology*, 42, 1273-1284.
- Edwards, M., Hurley, P. J., Physick, W. L., 2004. Verification of TAPM meteorological predictions using sodar data in the Kalgoorlie region. *Australian Meteorological Magazine*, 53, 29-37.
- Fan, H., Sailor, D. J., 2005. Modeling the impacts of anthropogenic heating on the urban climate of Philadelphia: a comparison of implementations in two PBL schemes. *Atmospheric Environment*, 39, 73-84.
- Fast, JD., Torcolini, JC., Redman, R., 2005. Pseudovertical temperature profiles and the urban heat island measured by a temperature datalogger network in Phoenix, Arizona, *journal of applied meteorology*, 44 (1): 3-13.
- Figuerola, P. Mazzeo, N. A., 1998. Urban-Rural temperature differences in Buenos Aires. *International of Climatology*, 18, 1709-1723.
- Freitas, E. D., Rozoff, C. M., Cotton, W. R., and Dias, P. L. S., 2007. Interactions of an urban heat island and sea-breeze circulations during winter over the metropolitan area of Sao Paulo, Brazil, *Boundary-layer Meteorology*, 122 (1): 43-65.

- Fujibe, F., 2003. Long-term surface wind changes in the Tokyo metropolitan area in the afternoon of sunny days in the warm season, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 81: 141-149.
- Gallo, K.P., 1995. Assessment of urban heat island: a satellite perspective. *Atmospheric Environment*, 37, 37-43.
- Hayden, K. L., Anlauf, K. G., R. Hoff, M., J. Strapp, W., Bottenheim, J. W., Helmig, D., Boulter, J., David, D., Bricks, J.W., Cullen, N.J., Steffen, K., Johnson, B.J., Oltmans, S.J., 2002. Ozone and meteorological boundary-layer conditions at Summit, Greenland, during 3-21 June 2000. *Atmospheric Environment*, 36, 2595-2608.
- Hinkel, K. M. and Nelson F. E., 2007. Anthropogenic heat island at Barrow, Alaska, during winter:2001–2005. *Journal of geophysical research*, 112, D06118.
- 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.
- Hosseinpoor, A. R., Forouzanfar, M. H., Yunesian, M., Asghari, F., Naieni, K. H., and Farhood, D., 2005. Air pollution and hospitalization due to angina pectoris in Tehran, Iran: A time-series study, *Environmental Research*, 99: 126-131.
- Hsu, S.A., 2003. Nowcasting Mixing Height and Ventillation Factor for Rapid Atmospheric Dispersion Estimates on Land, *National Weather Digest*, 37, 75-78.
- Hua L. J., Ma Z. G., Guo W. D., 2008. The impact of urbanization on air temperature across China. *Theoretical and Applied climatology*, 93, 179-194.
- Huang L. M., Li H. T., Zha D. H., Zhu J. Y., 2008. A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China. *Bulid Environ*, 43:7-17.
- Hung, T., Uchihama, D., Ochi, S., Yasuoka, Y., 2005. Assessment with satellite data of the urban heat island effects in asian mega cities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 8(1), 35-28.
- Hurley, P. J., Manins, P. C., Lee, S. H., 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., Manins, P. C., Lee, S. H., 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., 2005a. The Air Pollution Model (TAPM) Version 3. User manual. CSIRO Atmospheric Research Internal Paper, 31, 37pp.
- Hurley, P., 2005b. The Air Pollution Model (TAPM) Version 3. Part 1: Technical Description. CSIRO Atmospheric Research Internal Paper, 71, 54pp.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). J. T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden and D. Xiaosu (Eds.). Cambridge University Press, UK. 944pp.
- Jauregui, E., 1997. Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 31, 3821-3831.
- Khan, S. M., and Simpson, R. W., 2001. Effect of a heat island on the meteorology of a complex urban airshed, *Boundary-layer Meteorology*, 100: 487-506.
- Kim, Y. H., Baik, J. J., 2004. Daily maximum urban heat island intensity in large cities of Korea. *Theoretical and Applied Climatology*, 79, 151-164.
- Lai, L. W., Cheng, W. L., 2009. Air quality influenced by urban heat island coupled with synoptic weather patterns. *Science of the Total Environment*, 407: 2724-2733.
- Lai, L. W., Cheng, W. L., 2010. Urban heat island and air pollution – an emerging role for hospital respiratory admissions in an urban area. *Journal of Environmental Health*, 72(6):32-5.
- 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.
- Lemonsu, A., Masson, V., 2002. Simulation of a summer urban breeze over Paris. *Boundary-Layer Meteorology*, 104, 463-290.
- Landsberg, H. E., 1981. *The urban climate*. Academic Press, 275.



- Lin, C. H., Y. L. Wu., C. H. Lai., P. H. Lin., H. C. Lai., P. H. Lin., 2004. Experimental investigation of ozone accumulation overnight during a wintertime ozone episode in south Taiwan. *Atmospheric Environment*, 38, 4267-4278.
- Lin, C-Y., Chen, F., Huang, J. C., Chen, W-C., Liou, Y-A., Chen, W-N., Liu, Shaw-C., 2008. Urban heat island effect and its impact on boundary layer development and land-sea circulation over northern Taiwan. *Atmospheric Environment*, 42, 5635-5649.
- Llorca, J., Salas, A., Prieto-Salceda, D., Chinchon-Bengoechea, V., and Delgado-Rodriguez, M., 2005. Nitrogen dioxide increases cardiohospital respiratory admissions in Torrelavega (Spain), *Journal of Environmental Health*, 68: 30-35.
- Luhar, A. K., Hurley P., 2003. Evaluation of TAPM, a prognostic meteorological and air pollution model, using urban and rural point-source data. *Atmospheric Environment*, 37, 2795-2810.
- Luhar, A. K., Hurley P., 2004. Application of a prognostic model TAPM to sea-breeze flows, surface concentrations, and fumigating plumes. *Environmental Modelling & Software*, 19, 591-601.
- O'Doherty, S., et al., 2001. In situ chloroform measurements at Advanced Global Atmospheric Gases Experiment atmospheric research stations from 1994 to 1998, *J. Geophys. Res.*, 106, 20,429– 20,444.
- Oke, T. R., 1982. The energetic basis of the urban heat island, *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 108, 1-24.
- Oke, T. R., Johnson GT, Steyn DG, and Watson I.D., 1991. Simulation of surface urban heat islands under 'idea' conditions at night, Part 2: diagnosis of causation. *Bound-layer Meteorol.* 56, 339-358.
- Oke, T.R., 1987. *Boundary-Layer Climates*, 2nd edition, Routledge, London, 435.
- Oke, T.R., 1987. *Boundary-Layer Climates*, 2nd edition, Routledge, London, 435.
- Oke, T. R., Maxwell, G. B., 1975. Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver . *Atmospheric Environment*, 9, 191-200.
- Oke, T. R., 1973. City size and the nocturnal urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7, 769-779.
- Ortega, S., Soler, M. R., Beneito, J., Pino, D., 2004. Evaluation of two ozone air quality modeling systems. *Atmospheric Chemistry and Physics discussion*, 4, 1855-1885.

- Physick, W. L., Noonan, J. A., 2000. Mesoscale modeling with MM5 for the PATH study (pollutants in the atmosphere and their transport over Hong Kong). Preprints of the 11th Joint Conference on Application of air Pollution Meteorology with AWMA, LONG BEACH, CA, USA., 90-95.
- Pisano, J. T., Mckenday, I., Steyn, D. G., Hastie, D. H., 1997. Vertical Nitrogen dioxide and ozone concentrations measured from a tethered balloon in the Lower Fraser Valley. *Atmospheric Environment*, 31, NO. 14, 2071-2078.
- Rosenfeld, A. H.; Akbari, H.; Bretz, S.; Fishman, B. L.; Kurn, D. M.; Sailor, D.; Taha, H., 1995. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings*, 22, 225-265.
- Saitoh, T.S., Shimada, Hoshi, T. H., 1995. Modeling and simulating of the Tokyo urban heat island. *Atmospheric Environment*, 30, 3431-3442.
- Sakakibara, Y., Owa, K., 2005. Urban-rural temperature differences in coastal cities : influence of rural sites. *International Journal of Climatology* 25, 811-820.
- Sarkar, A., Saraswat, R. S. and Chandrasekar, A., 1998. Numerical study of the effects of urban heat island on the characteristic features of the sea breeze circulation, *Proceedings of the Indian Academy of Sciences*, 107: 127-137.
- Sarrat, C., Lemonsu, A., Masson, V., Guedalia, D., 2006. Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution. *Atmospheric environment*, 40, 1743-1758.
- Seaman, N. L., 2000. Meteorological modeling for air quality assessments. *Atmos. Environ.*, 34, 2231-2259.
- Shafie-Pour, M. and Khmasei, S.B., 2008. *Air pollution Engineering*. Published by Air Quality Control Co., ISBN: 978-964-600-5221-58-9, Tehran, Iran.
- Solomon, P., Barrett, J., Connor, B., Zoonematkermani, S., Parrish, A., Lee, A., Pyle, J., Chipperfield, M., 2000. Seasonal observations of chlorine monoxide in the stratosphere over Antarctica during the 1996- 1998 ozone holes and comparison with the SLIMCAT three-dimensional model, *Geophysical Research*., 105, NO. D23, 28,979- 29,001.
- Soriano, C., Soler, R. M., Pino, D., Alarcón, M., Physick, W. L., Hurley, P. J., 2003. Modeling different meteorological situations in Catalunya, Spain, with MM5 and TAPM mesoscale models: a comparative study. *International Journal of Environment*

- and Pollution, 20, 256-268.
- Streutker, D. R., 2003. Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. *Remote Sensing Environment*, 85, 282-289.
- Troude, F., Dupont, E., Carissimo, B., Flossmann, A. I., 2001. Mesoscale meteorological simulations in Paris : comparisons with observations during the experiment. *Boundary-Layer Meteorology*, 99, 21-51.
- Voogt, J. A. and T. R. Oke., 2003. Thermal remote sensing of urban areas. *Remote Sensing of Environment*. 86:370-384.
- Wanner, H., Hertig, J.A., 1984. Studies of urban climates and air pollution in Switzerland. *Journal of Applied Meteorology* 23, 1614–1625.
- Wellenius, G. A., Schwartz, J., and Mittleman, M. A., 2005. Air pollution and hospital admissions for ischemic and hemorrhagic stroke among medicare beneficiaries, *Stroke*, 36: 2549-2553.
- Weng, Q., and S. Yang., 2004. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city, *J. Envir. Manag.*, 70,145-156.
- Wiebe, H. A., Froude, F. A., Martin, J. b., 1997. The vertical chemical and meteorological structure of the boundary in the Lower Fraser Valley during Pacific 1993. *Atmospheric Environment*, 31, 2089-2105.
- William, D. S., Cynthia, R., Gregory, P., Mark, C., Richard, G., Alex, P., 2004. Urban Heat Island and Climate Change: An Assessment of Interacting and Possible Adaptations in the Camden, New Jersey Region. *Environmental Assessment and Risk Analysis Element Research Project Summary*.
- Willmott, C.J., Ackleson, S.G., Davis, R.E., Feddema, J.J., Klink, K.M., Legates, D.R., O'Donnell, J., Rowe, C.M., 1985. Statistics for the evaluation and comparisons of models. *Journal of Geophysical Research*, 90, 8995-9005.
- Wong, G. W. K., and Lai, C. K. W., 2004. Outdoor air pollution and asthma, *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, 10: 62-66.
- Xu Han-qiu, Chen Ben-qing., 2004. Remote sensing of the urban heat island and its changes in Xiamen City of SE China. *Journal of Environmental Sciences*, 16(2):276-281.

- Yamashita, S., 1995. Detailed structure of heat island phenomena from moving observations from electric tram-cars in metropolitan Tokyo. *Atmospheric Environment* 30, 429-435.
- Yoshikado, H., 1996. High levels of winter air pollution under the influence of the urban heat island along the shore of Tokyo Bay. *Journal of Applied Meteorology*, 35, 1804-1813.
- Zeka, A., Zanobetti, A., and Schwartz, J., 2005. Short term effects of particulate matter on cause specific mortality: effects of lags and modification by city characteristics. *Occupational and Environmental Medicine*, 62: 718-725.
- Zhou, L., R.E. Dickinson, Y. Tian, J. Fang, Q. Li, R.K. Kaufmann, C.J. Tucker, and R.B. Myneni, 2004: Evidence for a significant urbanization effect on Climate in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101, 9540-9544.
- 白珏玲，1998，中部地區臭氧濃度特徵與天氣型態相關探討，東海大學環境科學系研究所碩士論文。
- 江宙君，2007，海陸風對台灣沿海地區空氣品質之影響，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
- 李中和、陳怡誠，1997，火力發電廠對複雜地形環境空氣品質的影響(一)-模式擴散模擬，第十四屆空氣污染控制技術研討會論文集，766-768。
- 李魁鵬，1999，台灣四大都會區都市熱島之研究，國立成功大學博士論文。
- 林能暉，2000，北中南空品區 O3 與 PM10 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。
- 林清和，1989，臺灣北部地區嚴重空氣污染事件日分析，國立臺灣大學環境工程研究所碩士論文。
- 林憲德、孫振義，2006，台南地區都市熱島強度全年變動之研究，都市計劃期刊，33(1):51-68。
- 林憲德、郭曉青、李魁鵬、陳子謙、陳冠廷，2001，台灣海岸型城市之都市熱島現象與改善對策解析-以台南、高雄及新竹為例，中華民國都市計畫學會，28(3)：323-341。

- 林憲德、孫振義、李魁鵬、郭曉青，2005，台南地區都市規模與都市熱島強度之研究，中華民國都市計劃學會，第三十二卷，第一期，第83-97頁。
- 林憲德、李魁鵬、陳冠廷、林立人、郭曉青、陳子謙，1999，台灣四大都會區都市熱島效應實測解析（一），建築學報，31：51-73。
- 林憲德、李魁鵬、林立人、郭曉青、陳子謙，1999，台灣四大都會區都市熱島效應實測解析（二），建築學報，31：75-90。
- 吳兌、鄧雪嬌，2001，環境氣象學與特種氣象預報，北京：氣象出版社，394pp。
- 胡婷堯，1989，桃園地區每日最大臭氧濃度之預測，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
- 黃怡嘉，2001，中部空品區天氣型對臭氧濃度相關之解析，東海大學環境科學系研究所碩士論文。
- 彭啟明、林松錦，1994，台灣北部地區混合層高度的觀測與模擬，第11屆空氣污染控制技術研討會論文專輯，513-522。
- 姜善鑫、盧光輝，1994，台北地區都市熱島及風場之研究，國科會專題研究計畫成果報告。
- 張能復、胡人傑，1998，空氣品質模式氣象參數推估模組之地表參數化，第15屆空氣污染控制技術研討會論文集，611-619。
- 程萬里，2000，中部空品區空氣污染事件之天氣型態暨氣象資料庫整合建立，環保署研究計畫報告。
- 歐陽嶠暉，2005，都市環境學，台北：詹氏書局，509pp。
- 賴栗葦、程萬里、蔡佳珊，2007，熱島效應與空氣品質急呼吸道疾病就診人關係分析，第十九屆環工年會空氣污染控制技術研討會。
- 中央氣象局全球資訊網，<http://www.cwb.gov.tw/V5/index.htm>。
- 行政院環境保護署，<http://www.epa.gov.tw/>。

## 附錄一

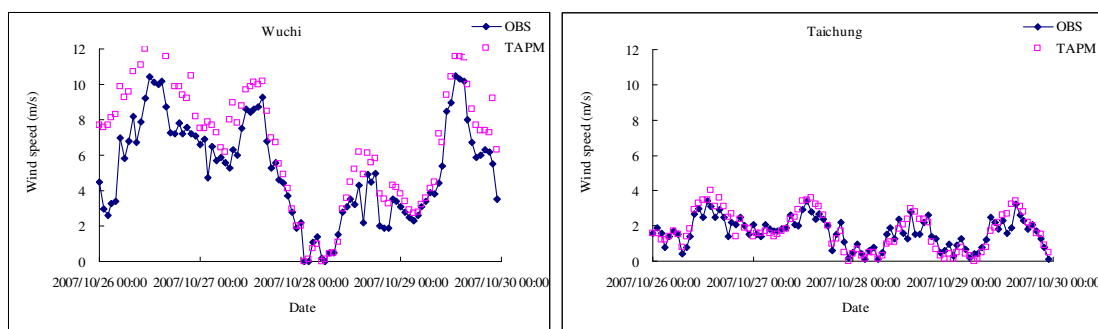
### (1) 2007年秋季案例期間模擬結果

表 1~表 5 中顯示秋季案例 2007 年 10 月 26 日至 29 日之 TAPM 模擬結果，台中都會區之 12 個測站在水平風速、風向及溫度上之 IOA 值皆呈現良好的一致性，平均值均達 0.8 以上。而在污染物濃度的部分，臭氧以及 NO<sub>2</sub> 濃度之 IOA 值也有達到平均值 0.5 以上，顯示 TAPM 輸出的模擬值具有相當程度的可信度。另外，從圖 1~圖 5 的模擬值與實際觀測比較圖中顯示，不管是在水平氣象場或是污染物濃度的變化趨勢上，TAPM 模式輸出的模擬值皆具有很高的準確性。

表 1 2007 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區 TAPM 風速模擬驗證結果表

Wind speed(m/s-1)						
SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Wuchi	5.69	6.82	2.74	3.09	0.93	0.92
Shalu	4.27	4.46	2.06	2.01	0.93	0.96
Fengyuan	2.50	2.49	0.96	1.14	0.83	0.90
Hsitun	2.95	3.15	1.43	1.56	0.89	0.94
Chungming	1.97	2.23	1.15	1.24	0.60	0.75
Taichung	1.72	1.70	0.85	1.01	0.85	0.91
Dali	1.69	1.63	0.73	0.99	0.91	0.93
Wurih	1.56	1.77	0.78	1.18	0.89	0.89
Dajia	3.84	4.61	2.04	2.37	0.91	0.92
Houli	1.84	2.57	1.25	1.68	0.88	0.84
Wufeng	1.16	1.31	0.66	0.91	0.91	0.92
Taiping	1.07	1.44	0.84	1.09	0.89	0.89
Avg.	2.52	2.85	1.29	1.52	0.87	0.90

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



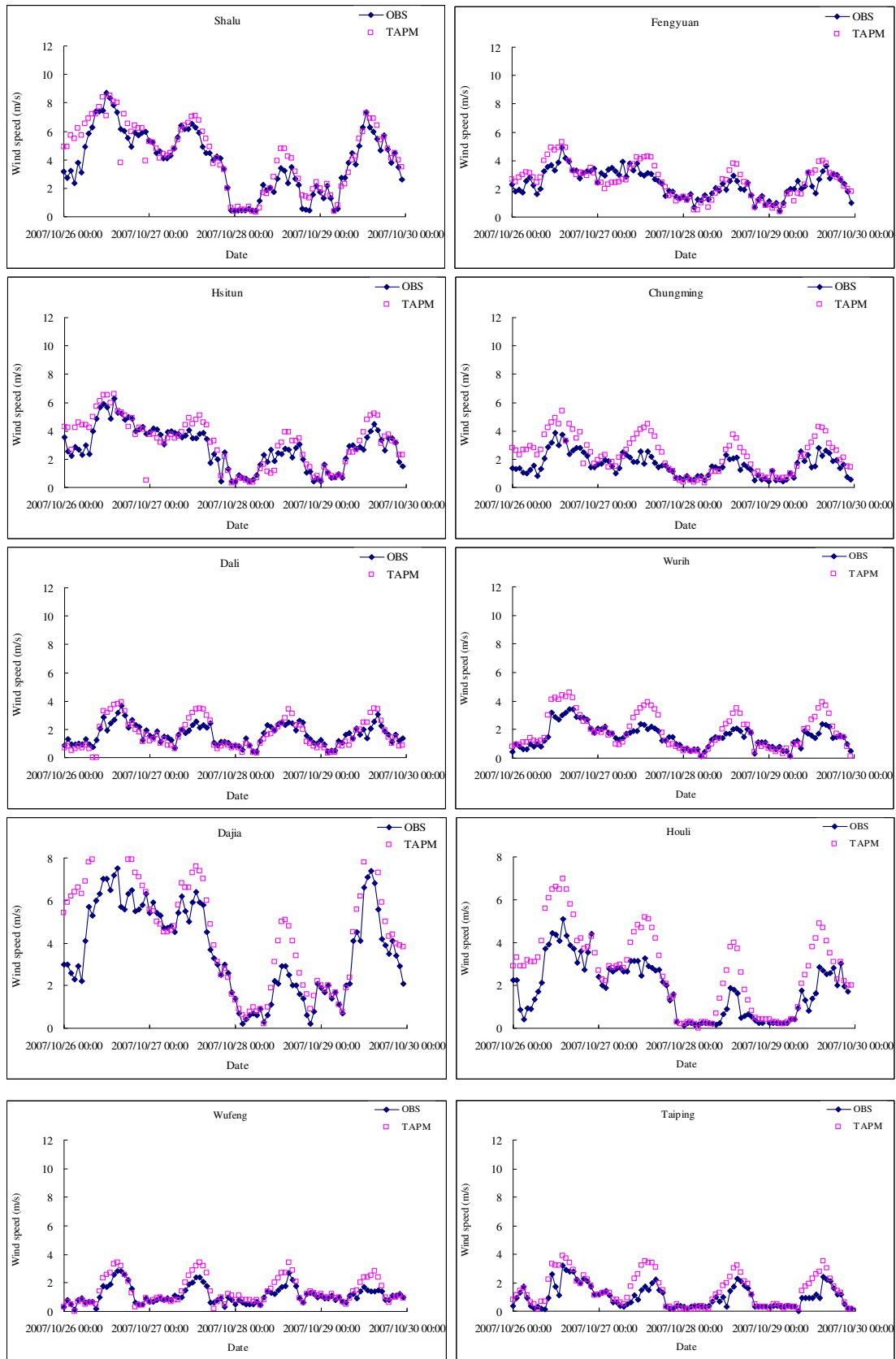


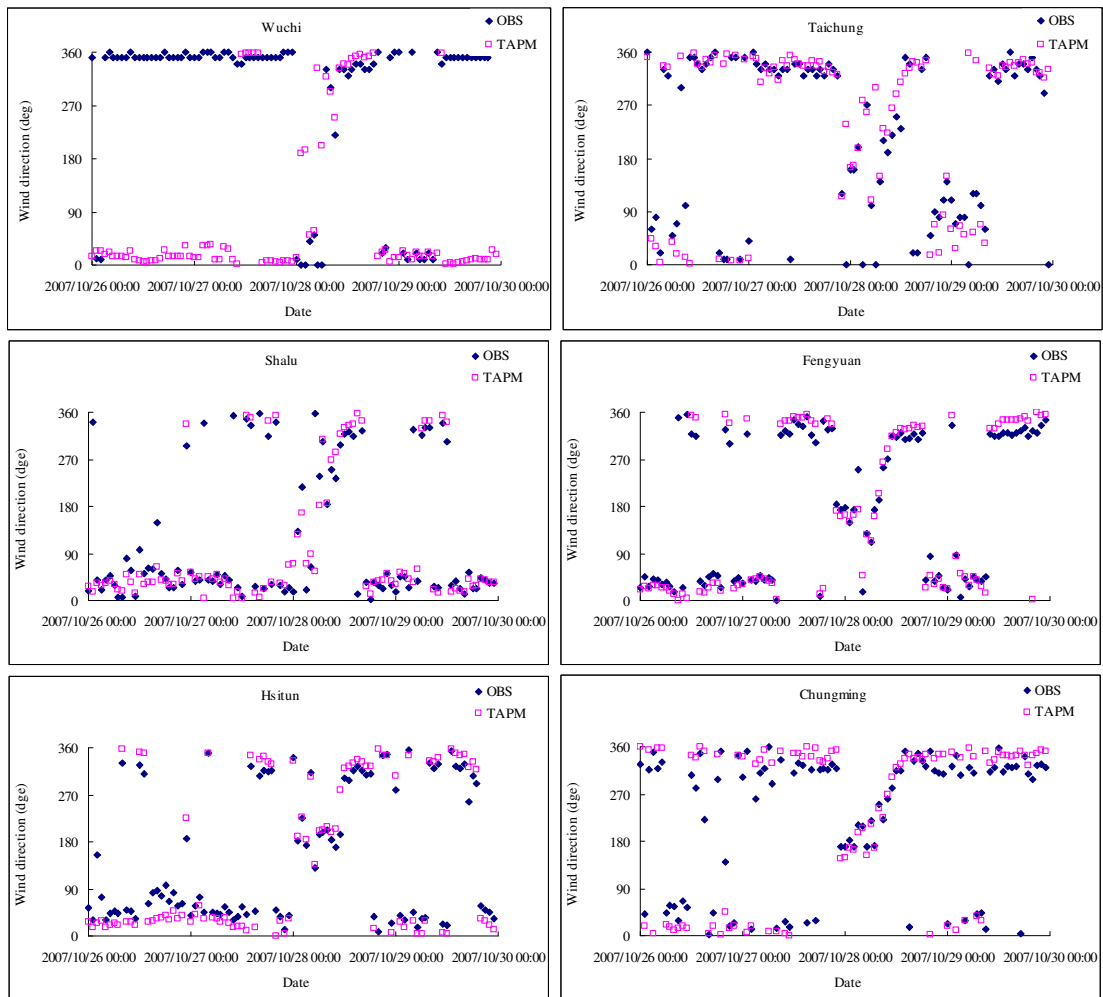
圖 1 2007 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區之水平風速模擬值與實際觀測值比較圖

表 2 2007 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區 TAPM 風向模擬驗證結果表

Wind direction

SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Wuchi	297.86	82.38	119.82	135.13	0.04	0.36
Shalu	110.24	97.43	127.21	121.69	0.69	0.84
Fengyuan	193.50	174.54	139.45	151.68	0.82	0.90
Hsitun	156.38	153.10	129.73	146.95	0.97	0.98
Chungming	225.90	210.18	128.78	155.86	0.57	0.77
Taichung	223.15	237.69	137.91	138.80	0.48	0.73
Dali	236.42	247.32	97.41	97.54	0.90	0.95
Wurih	279.84	263.61	88.83	116.85	0.55	0.74
Dajia	54.52	51.39	60.40	64.80	0.87	0.93
Houli	79.73	74.26	113.30	113.77	0.81	0.90
Wufeng	210.30	216.97	85.86	92.48	0.93	0.96
Taiping	189.26	231.95	150.25	136.40	0.53	0.75
Avg.	188.09	170.07	114.91	122.66	0.68	0.82

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





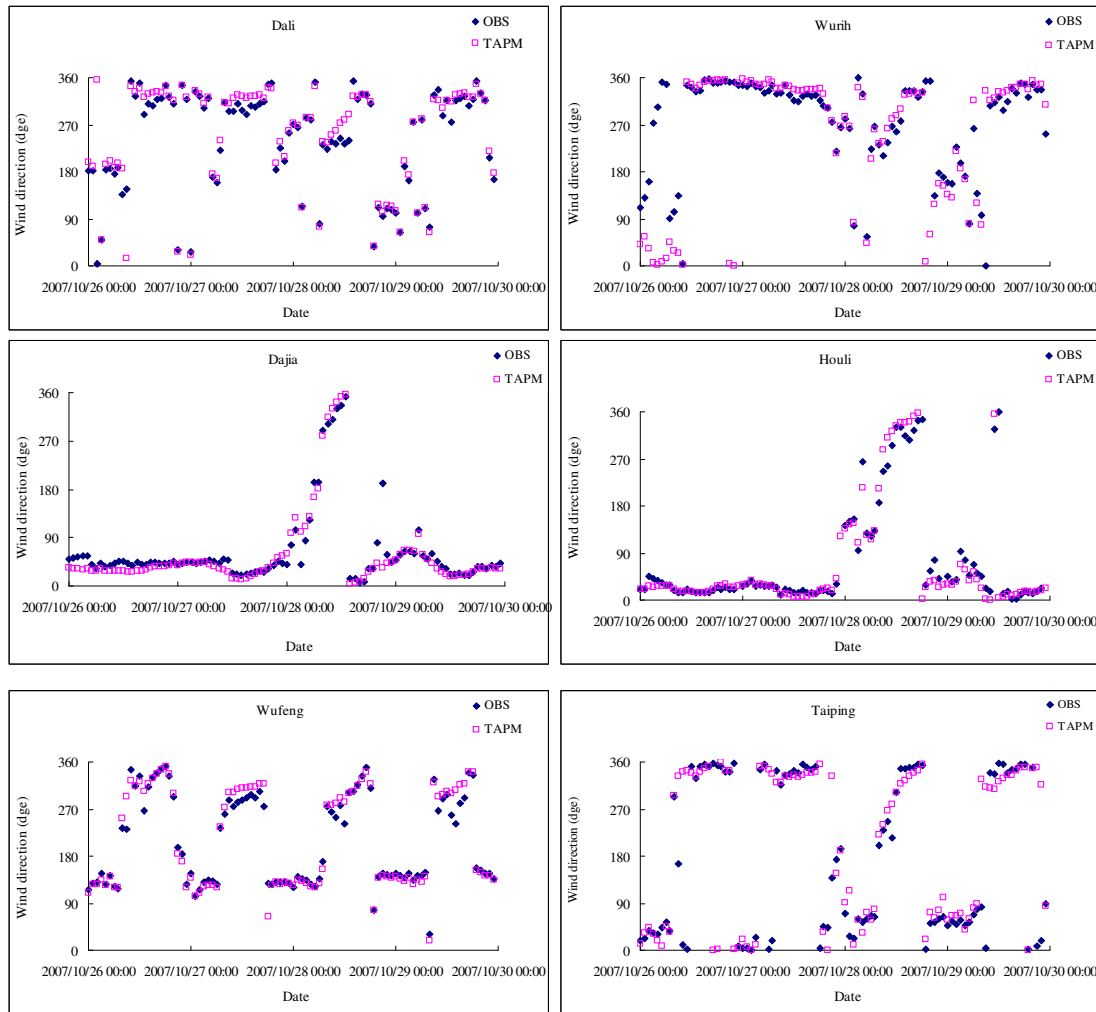


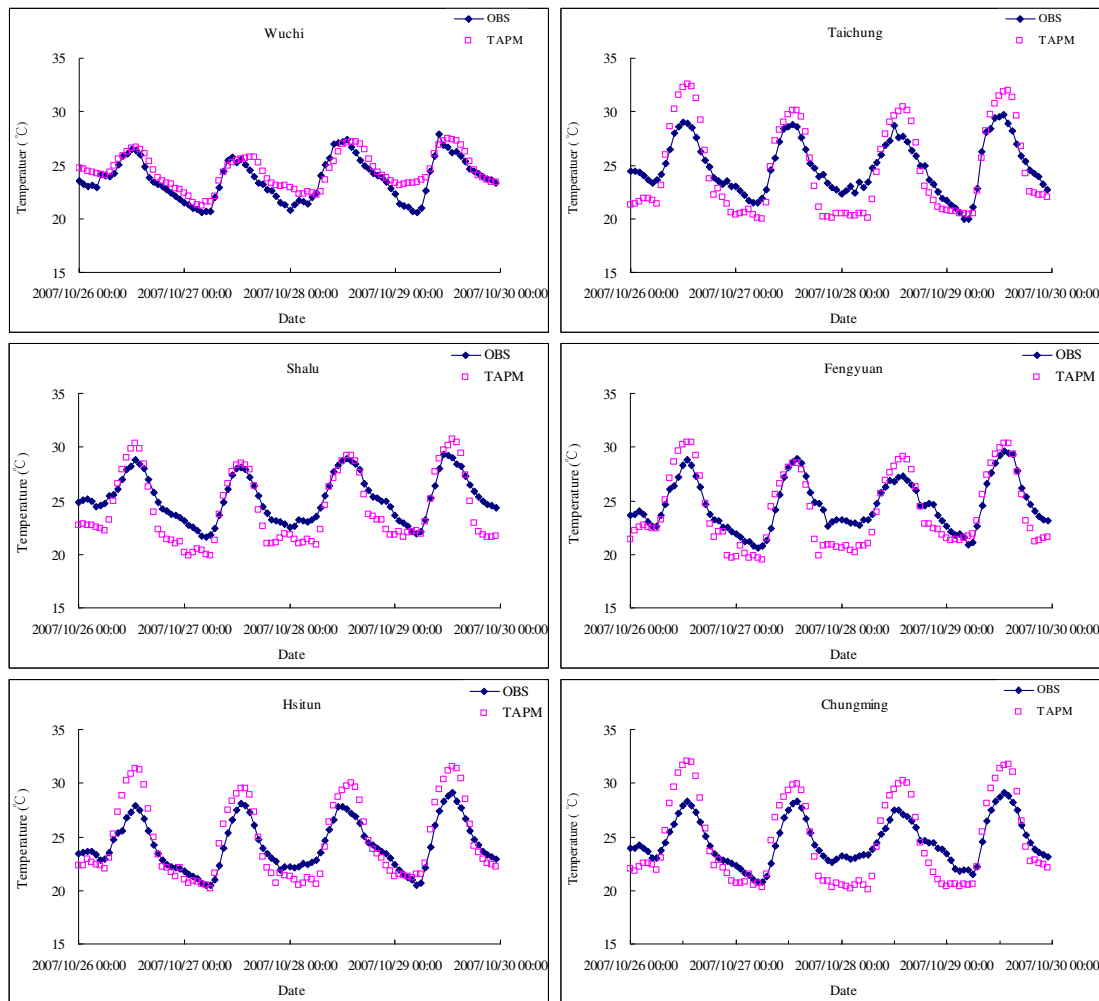
圖 2 2007 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區之水平風向模擬值與實際觀測值比較圖

表 3 2007 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區 TAPM 溫度模擬驗證結果表

Temperature(°C)

SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Wuchi	23.92	24.46	1.71	1.49	0.80	0.86
Shalu	25.38	23.70	1.93	3.09	0.80	0.77
Fengyuan	24.85	24.06	2.25	1.14	0.84	0.87
Hsitun	24.41	24.50	2.15	3.16	0.87	0.90
Chungming	24.51	24.55	2.09	3.43	0.81	0.84
Taichung	25.15	24.62	2.42	3.59	0.84	0.87
Dali	25.95	24.99	2.60	3.58	0.82	0.86
Wurih	25.04	24.92	3.15	3.53	0.86	0.92
Dajia	25.04	23.64	1.68	2.97	0.84	0.77
Houli	24.55	23.76	2.91	2.90	0.85	0.70
Wufeng	24.54	25.23	2.70	3.24	0.83	0.89
Taiping	26.69	24.95	1.85	3.55	0.82	0.74
Avg.	25.00	24.45	2.29	2.97	0.83	0.83

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



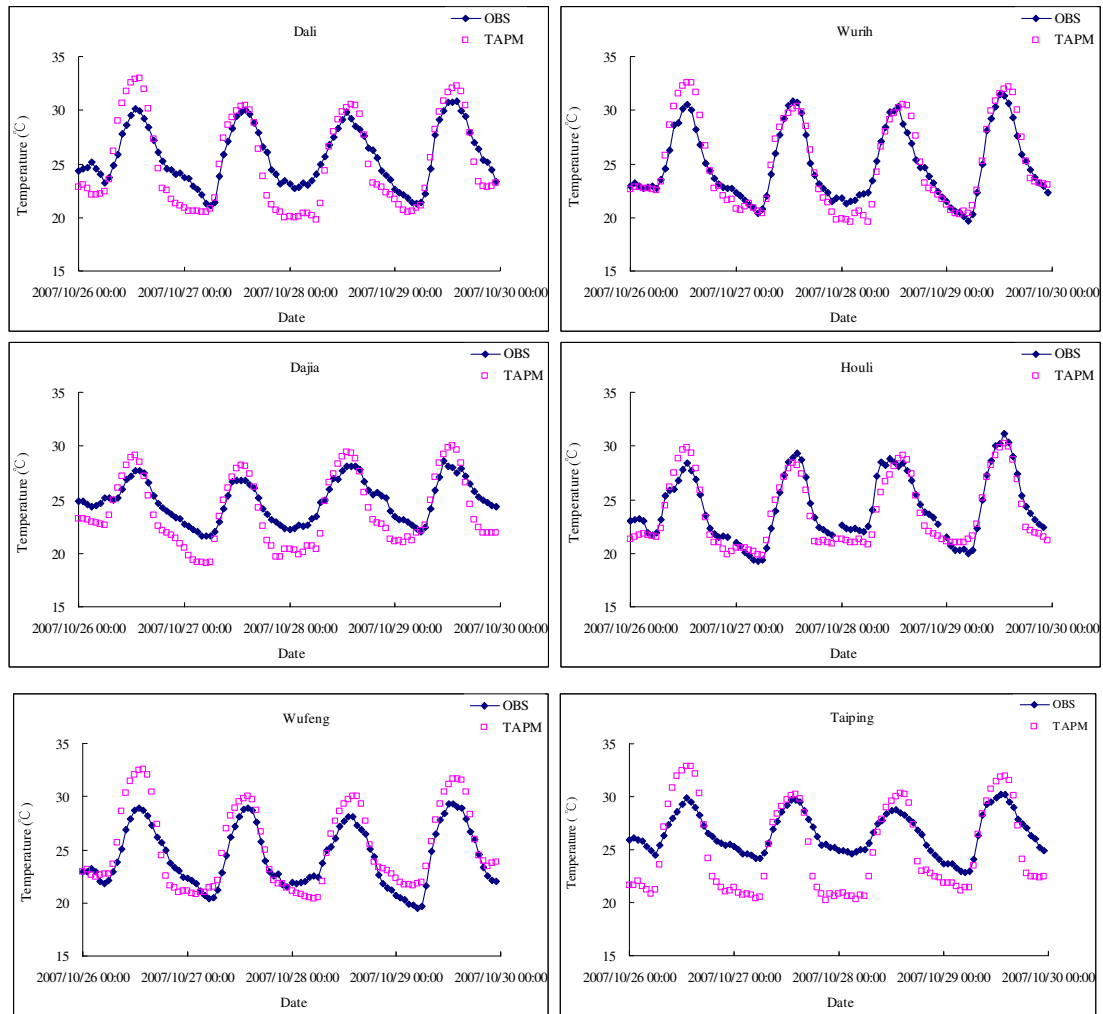


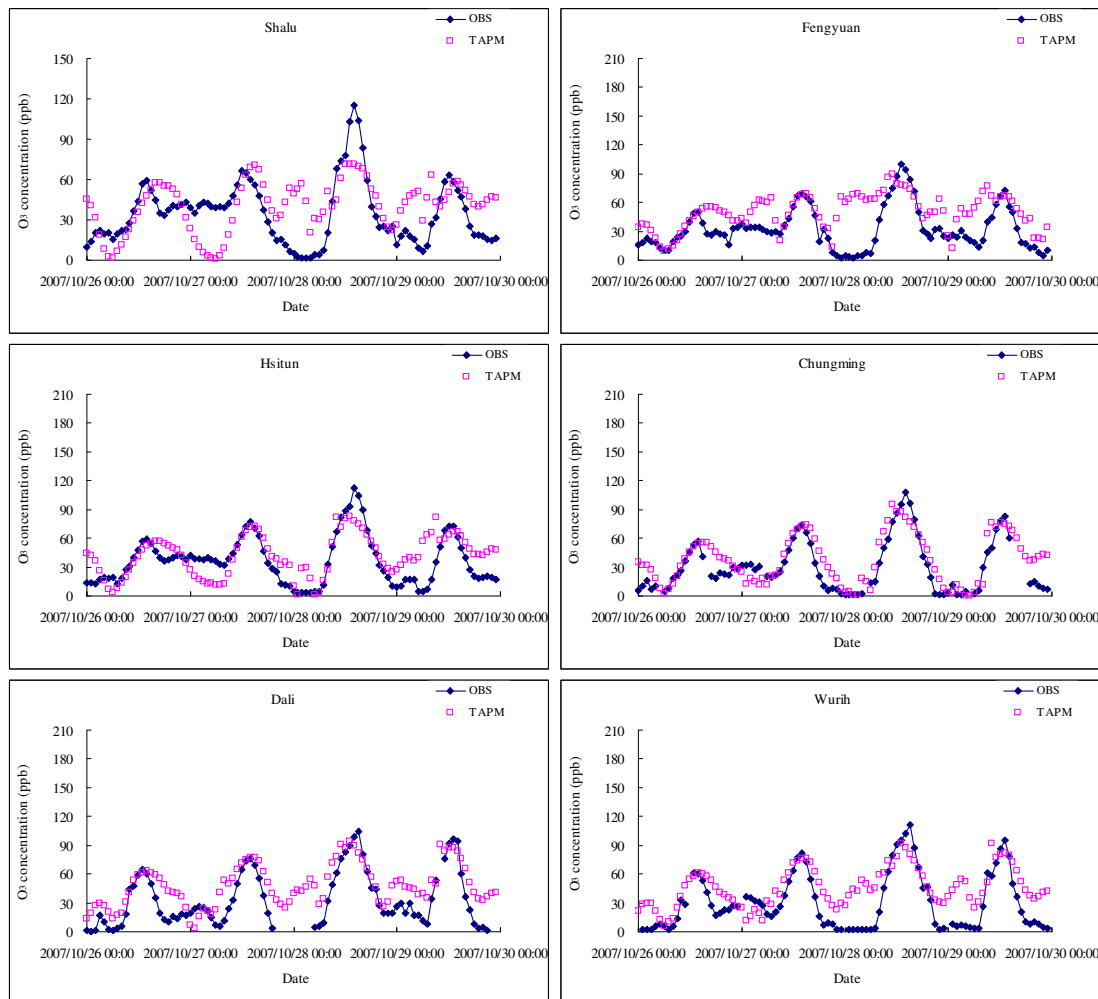
圖 3 2007 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區之水平溫度模擬值與實際觀測值比較圖

表 4 2007 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區 TAPM 臭氧濃度模擬驗證結果表

O3 concentration(ppb)

SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Shalu	34.43	40.08	23.21	18.72	0.41	0.65
Fengyuan	32.67	50.03	21.91	18.21	0.55	0.67
Hsitun	36.17	41.75	24.94	21.19	0.69	0.82
Chungming	30.32	37.30	26.95	25.44	0.87	0.86
Dali	34.11	47.91	28.43	21.75	0.86	0.77
Wurih	31.11	46.03	29.50	20.64	0.78	0.78
Dajia	32.22	35.14	19.76	19.45	0.37	0.63
Houli	36.62	49.45	19.40	16.41	0.34	0.52
Wufeng	12.55	66.05	16.92	13.34	0.51	0.30
Taiping	31.53	53.91	23.00	17.36	0.88	0.61
Avg.	31.17	46.77	23.40	19.25	0.63	0.66

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



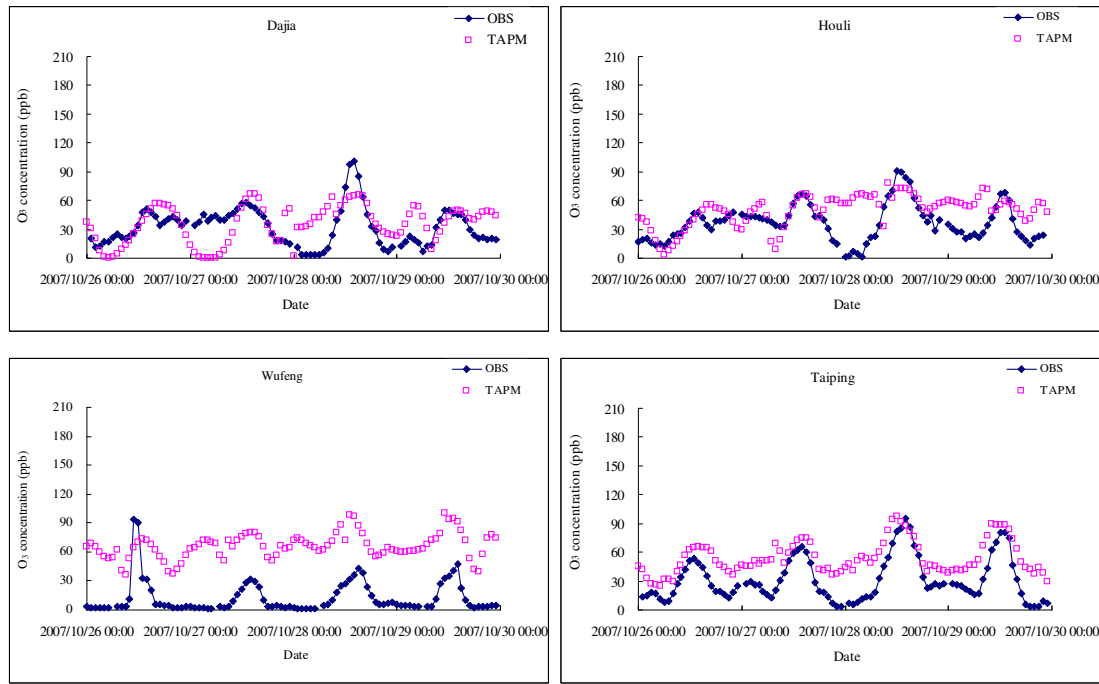


圖 4 2007 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區之水平臭氧濃度模擬值與實際觀測值比較圖

表 5 2007 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區 TAPM 氮氧化物濃度模擬驗證結果表  
NO2 concentration(ppb)

SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Shalu	18.23	17.21	9.39	10.40	0.46	0.66
Fengyuan	19.80	18.50	9.59	10.96	0.18	0.48
Hsitun	17.97	20.95	9.26	12.51	0.59	0.73
Chungming	21.65	24.72	9.82	12.59	0.44	0.60
Dali	22.69	23.60	9.19	10.94	0.36	0.61
Wurih	27.76	22.91	7.72	9.61	0.24	0.48
Dajia	17.81	20.17	7.62	12.68	0.59	0.62
Houli	17.35	15.63	7.03	10.76	0.32	0.52
Wufeng	27.47	15.46	16.32	9.03	0.18	0.63
Taiping	21.05	21.68	9.57	8.76	0.28	0.51
Avg.	21.18	20.08	9.55	10.83	0.36	0.58

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

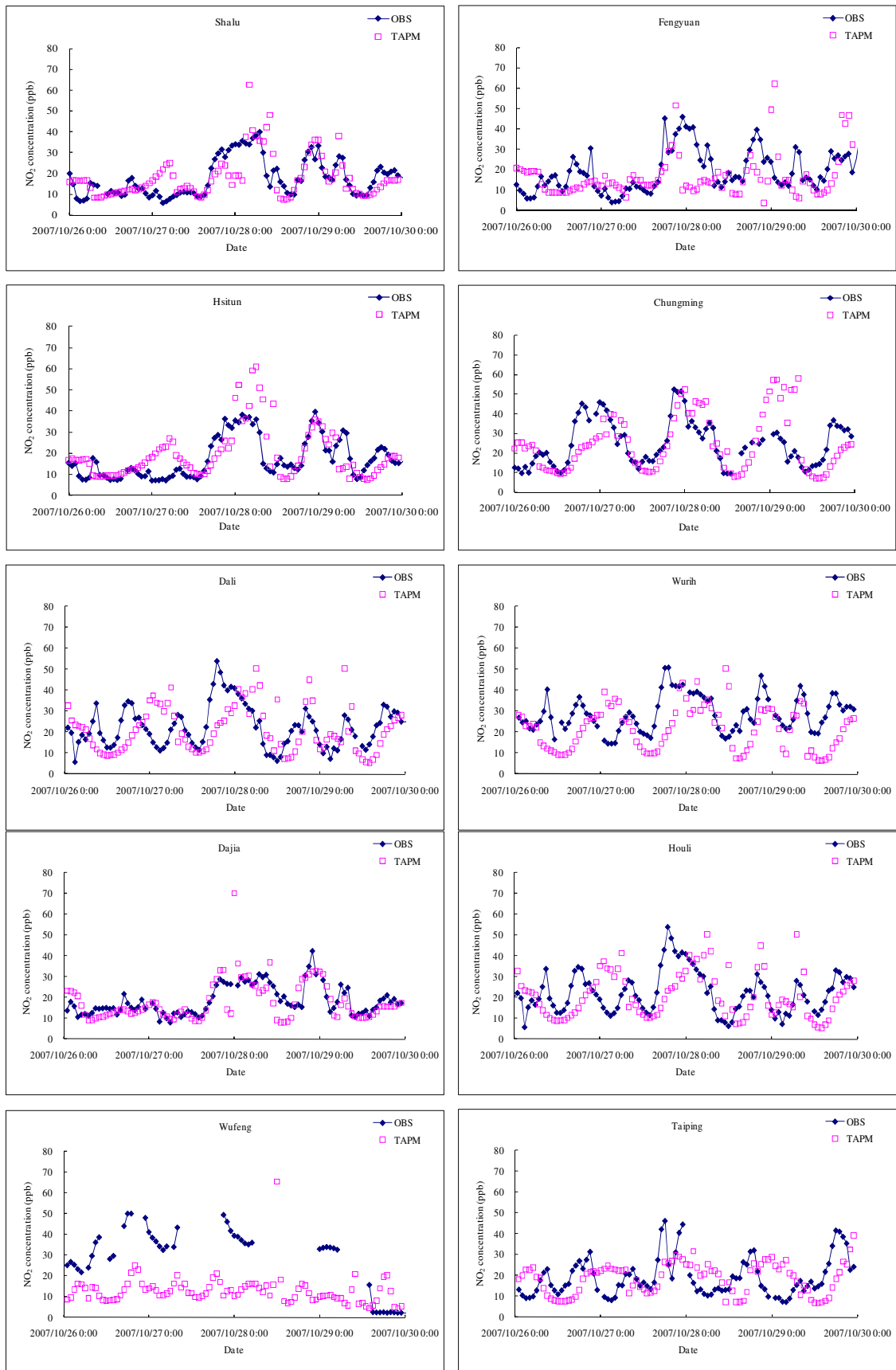


圖 5 2007 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區之水平 NO<sub>2</sub> 濃度模擬值與實際觀測值比較圖

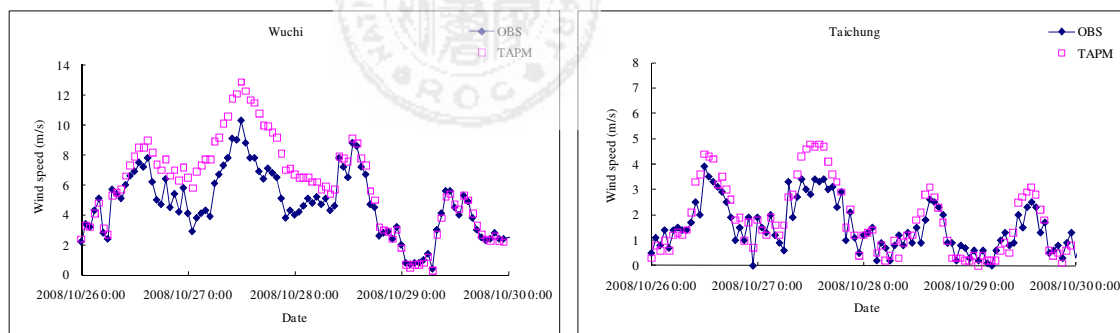
(2) 2008年秋季案例期間模擬結果

表 6~表 10 中顯示秋季案例 2008 年 10 月 26 日至 29 日之 TAPM 模擬結果，台中都會區之 12 個測站在水平風速、風向及溫度上之 IOA 值皆呈現良好的一致性，平均值均接近 0.9。而在污染物濃度的部分，雖然氮氧化物的模擬結果不盡理想，但臭氧濃度之 IOA 值也有達到平均值 0.5 以上，顯示 TAPM 輸出的模擬值具有相當程度的可信度。另外，從圖 6~圖 10 的模擬值與實際觀測比較圖中顯示，不管是在水平氣象場或是污染物濃度的變化趨勢上，TAPM 模式輸出的模擬值皆具有很高的準確性。

表 6 2008 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區 TAPM 風速模擬驗證結果表

Wind speed(m/s-1)						
SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Wuchi	4.29	5.03	2.07	2.83	0.93	0.92
Shalu	3.27	3.19	1.76	1.72	0.95	0.97
Fengyuan	2.22	2.37	1.07	1.34	0.93	0.95
Hsitun	2.30	2.60	1.28	1.65	0.94	0.94
Chungming	1.50	2.00	0.82	1.47	0.92	0.84
Taichung	1.46	1.61	0.95	1.25	0.92	0.94
Dali	1.54	1.64	0.96	1.29	0.94	0.95
Wurih	1.51	1.82	0.85	1.43	0.94	0.89
Dajia	2.87	3.35	1.91	2.36	0.97	0.96
Houli	2.35	2.84	1.09	1.44	0.80	0.84
Wufeng	1.07	1.43	0.77	1.24	0.93	0.88
Taiping	1.22	1.53	0.97	1.34	0.95	0.93
Avg.	2.13	2.45	1.21	1.61	0.93	0.92

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



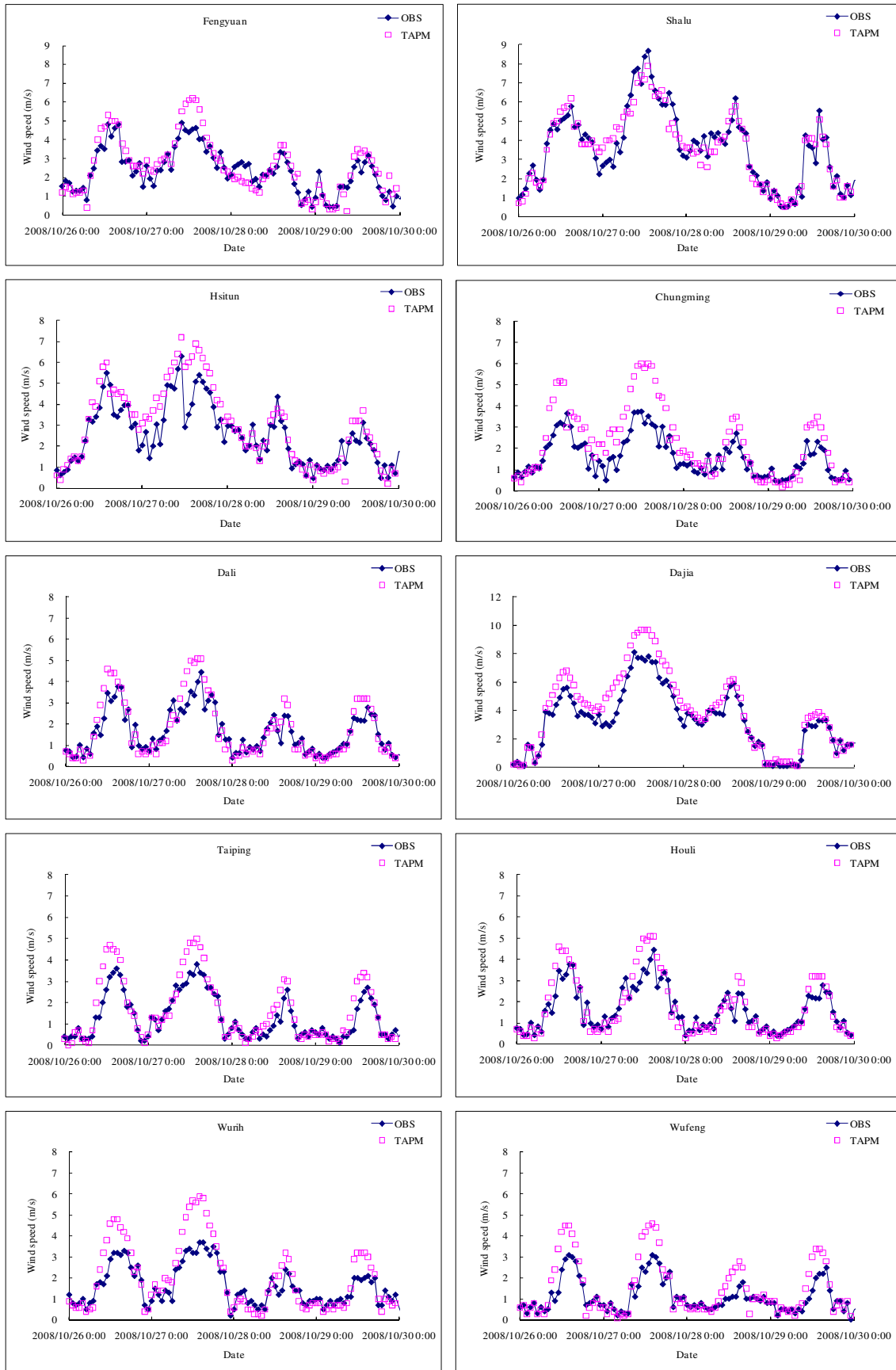


圖 6 2008 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區之水平風速模擬值與實際觀測值比較圖

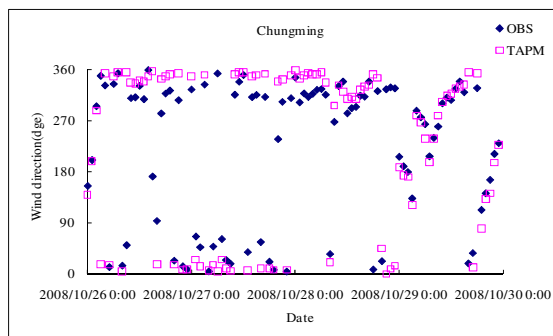
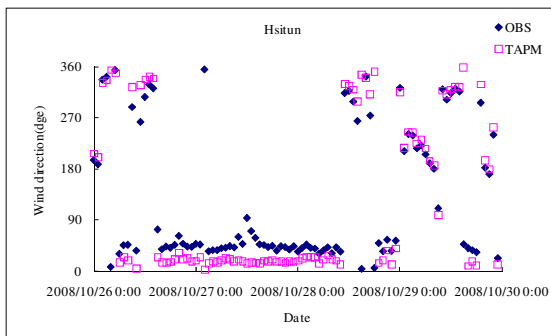
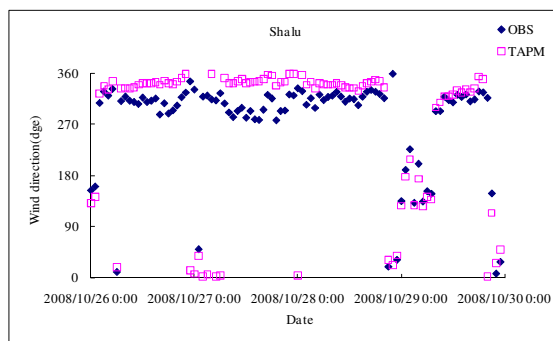
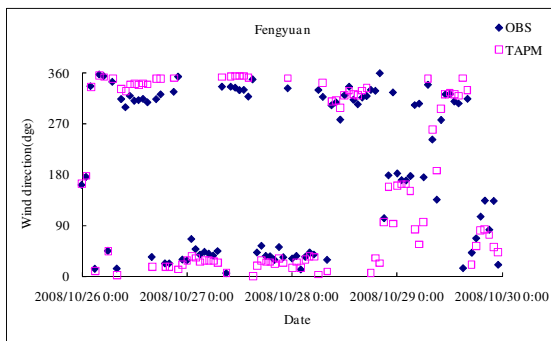
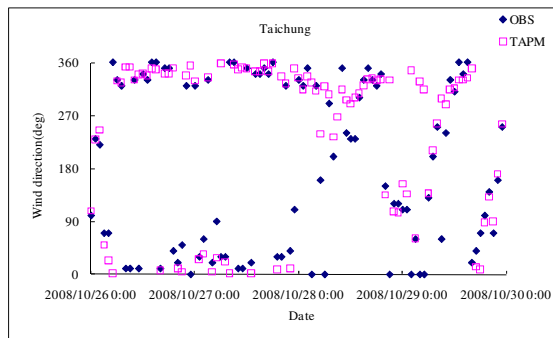
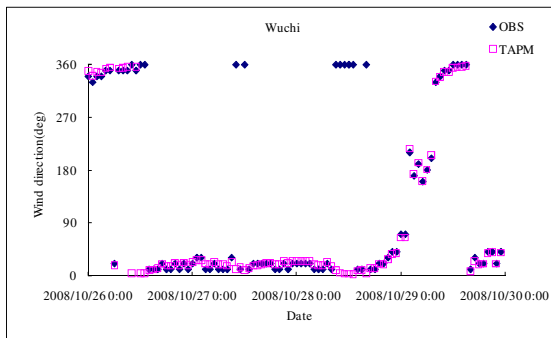


表 7 2008 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區 TAPM 風向模擬驗證結果表

Wind direction

SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Wuchi	138.69	108.58	155.73	142.83	0.74	0.86
Shalu	268.77	263.27	96.77	123.90	0.69	0.82
Fengyuan	202.01	177.81	133.99	143.62	0.71	0.85
Hsitun	152.22	157.67	127.28	144.08	0.85	0.92
Chungming	240.20	229.93	117.00	138.08	0.63	0.80
Taichung	203.99	246.56	159.76	120.93	0.39	0.65
Dali	224.08	240.66	89.19	87.86	0.84	0.91
Wurih	254.96	242.80	88.11	105.02	0.73	0.85
Dajia	65.92	87.28	84.52	109.53	0.56	0.73
Houli	125.01	132.25	131.57	136.91	0.86	0.93
Wufeng	211.84	215.21	85.09	88.92	0.87	0.94
Taiping	160.58	193.00	134.72	133.92	0.71	0.85
Avg.	187.36	191.25	116.98	122.97	0.71	0.84

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



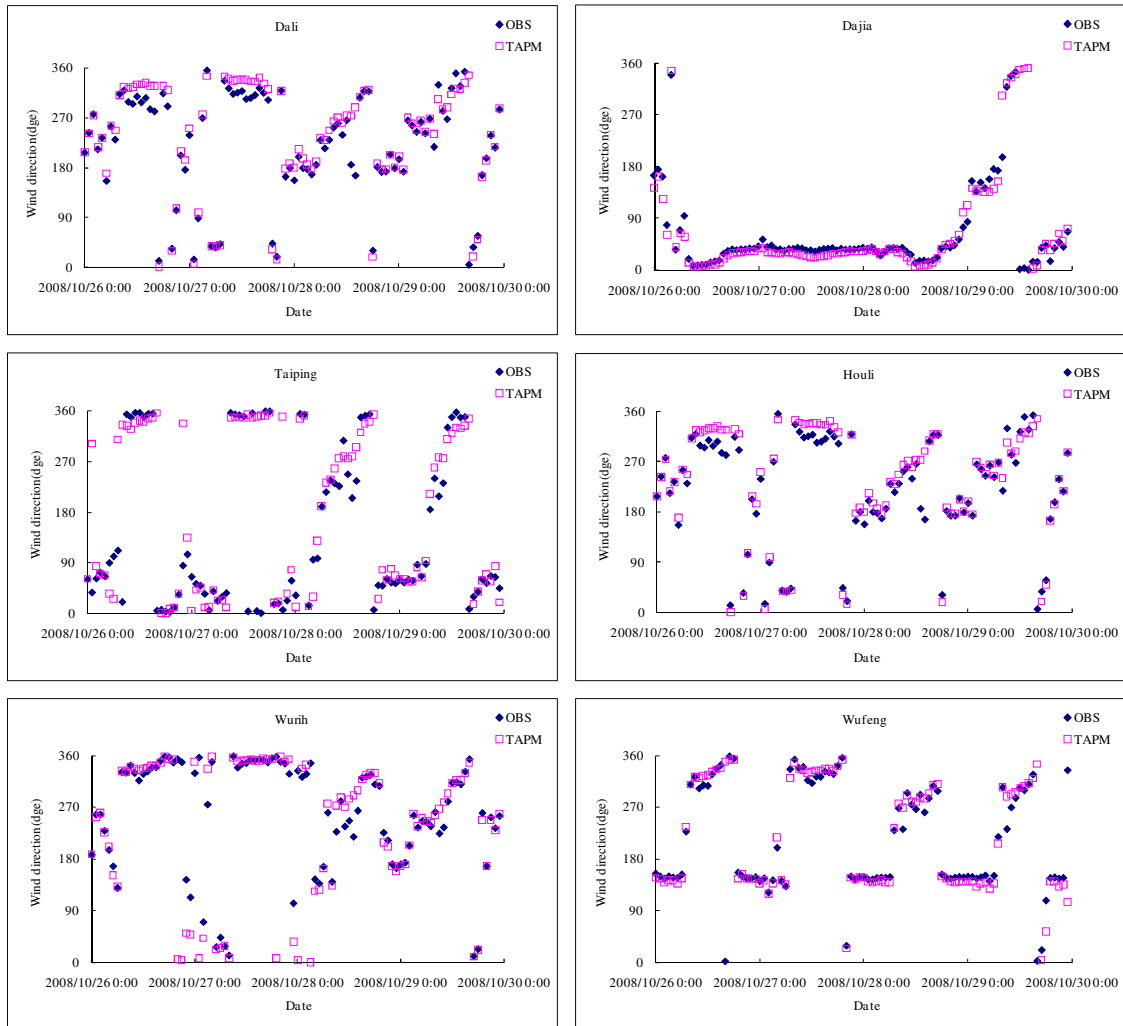


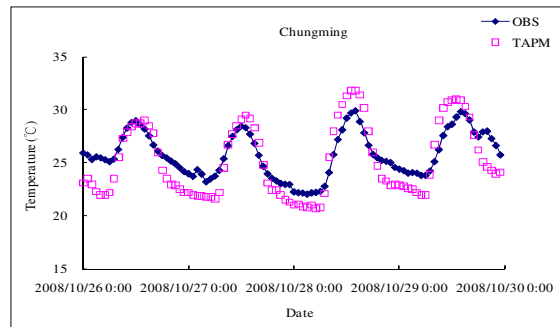
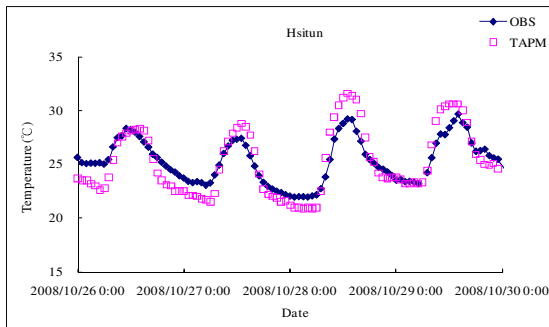
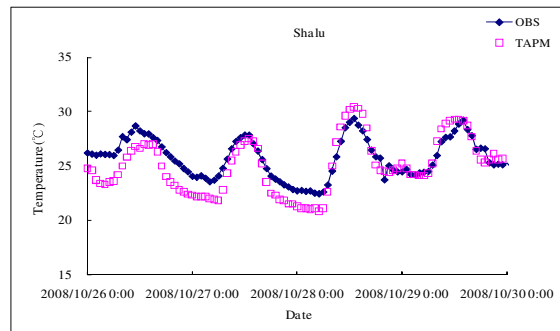
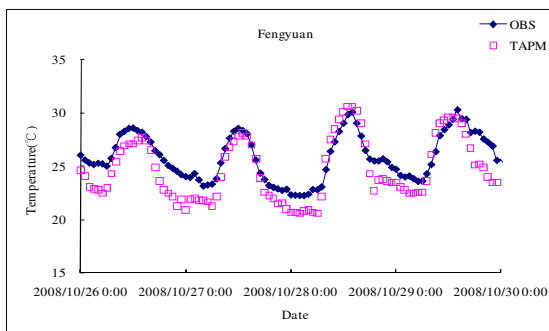
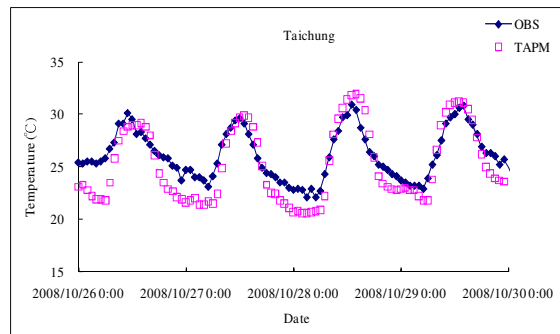
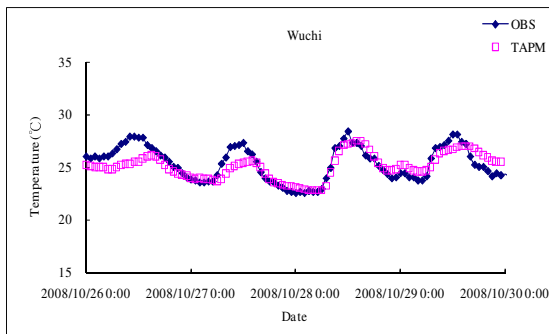
圖 7 2008 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區之水平風向模擬值與實際觀測值比較圖

表 8 2008 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區 TAPM 溫度模擬驗證結果表

Temperature(°C)

SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Wuchi	25.70	25.45	1.71	1.21	0.81	0.86
Shalu	26.19	25.59	1.91	2.47	0.90	0.92
Fengyuan	26.29	25.26	2.28	1.34	0.92	0.91
Hsitun	25.75	25.77	2.16	3.07	0.94	0.85
Chungming	26.18	25.68	2.22	3.40	0.93	0.91
Taichung	26.47	25.68	2.51	3.54	0.94	0.92
Dali	26.56	26.14	2.56	3.50	0.92	0.93
Wurih	26.50	26.11	3.34	3.43	0.95	0.97
Dajia	26.67	25.27	1.64	2.66	0.90	0.81
Houli	24.34	25.01	2.91	2.80	0.92	0.95
Wufeng	25.83	26.35	2.73	3.18	0.93	0.95
Taiping	25.79	26.03	2.54	3.46	0.93	0.94
Avg.	26.02	25.70	2.37	2.84	0.92	0.91

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



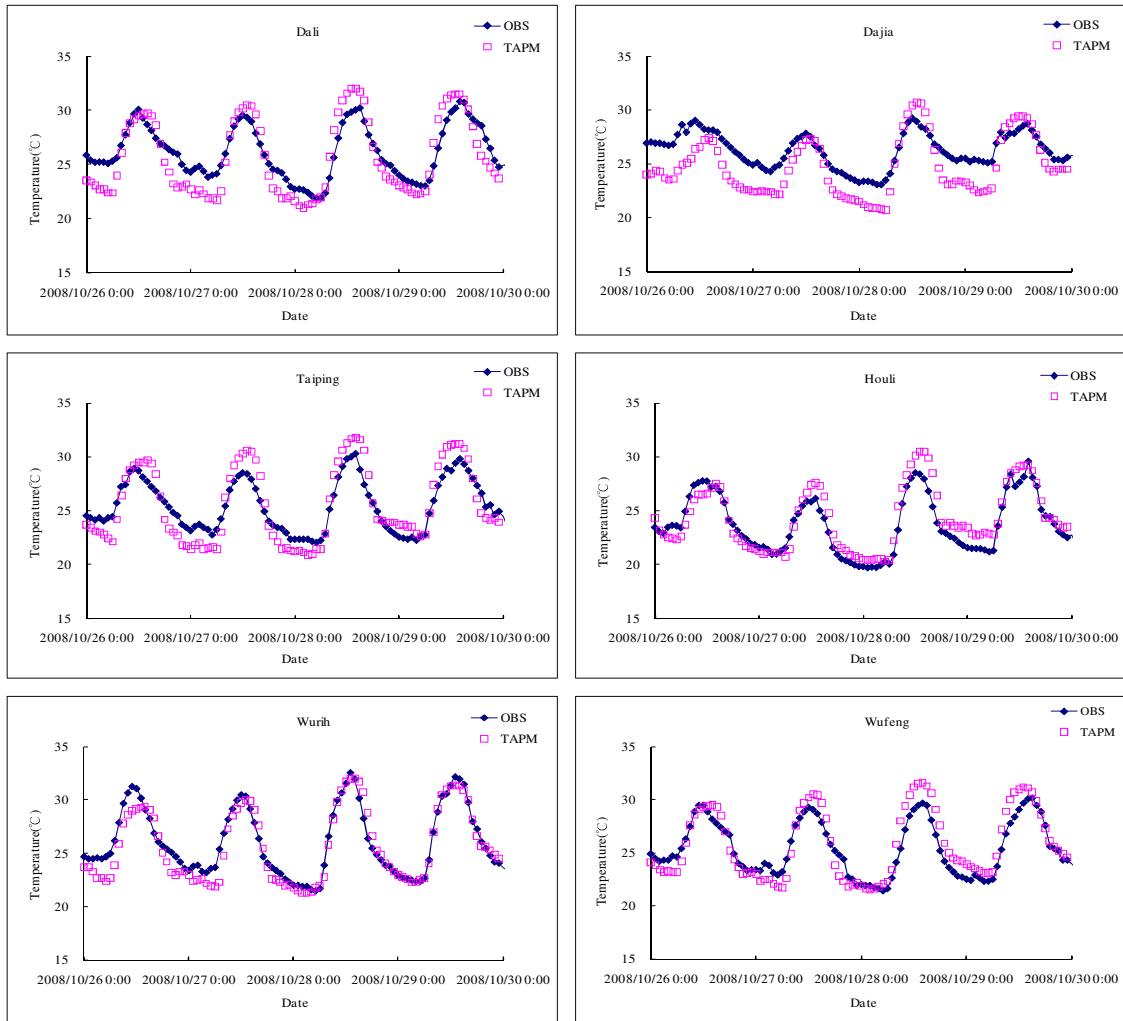


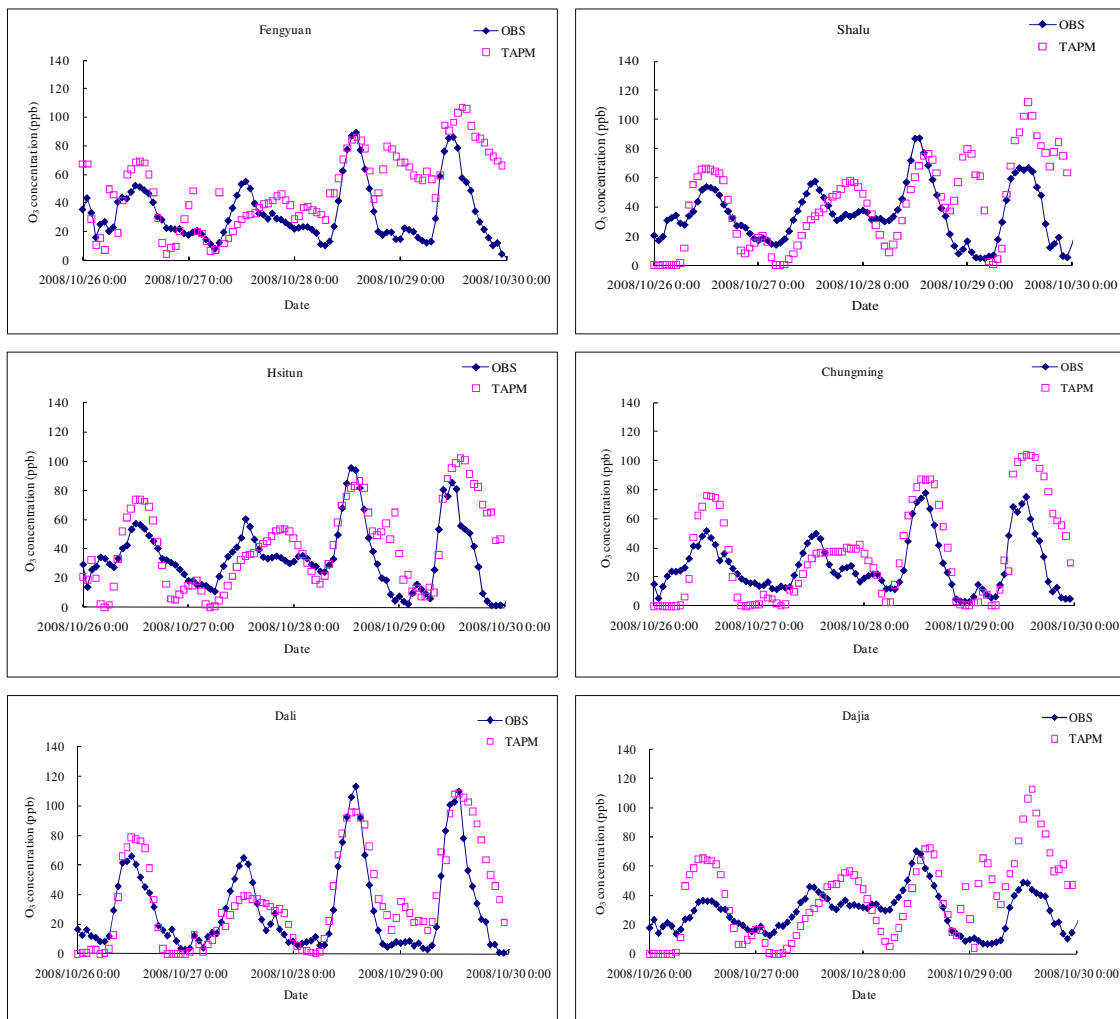
圖 8 2008 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區之水平溫度模擬值與實際觀測值比較圖

表 9 2008 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區 TAPM 臭氧濃度模擬驗證結果表

O3 concentration(ppb)

SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Shalu	37.99	44.15	22.77	29.31	0.56	0.73
Fengyuan	35.19	55.55	25.36	25.48	0.55	0.67
Hsitun	37.13	45.07	25.76	29.14	0.60	0.76
Chungming	28.85	41.83	13.24	30.39	0.39	0.46
Dali	32.64	41.16	31.43	33.16	0.82	0.89
Wurih	18.49	48.75	17.86	30.61	0.66	0.58
Dajia	28.85	40.04	15.59	28.69	0.60	0.66
Houli	31.89	53.87	23.30	24.46	0.42	0.59
Wufeng	38.89	64.86	33.91	27.07	0.45	0.63
Taiping	28.82	62.00	25.81	24.15	0.61	0.61
Avg.	31.88	49.73	23.50	28.25	0.56	0.66

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



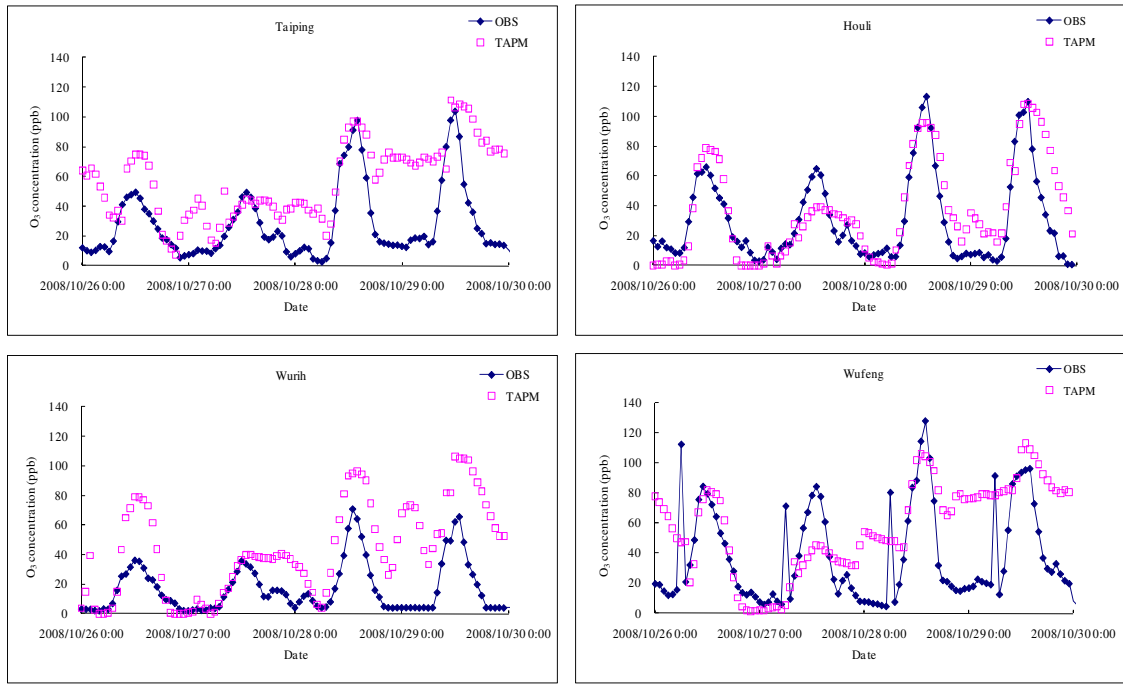


圖 9 2008 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區之水平臭氧濃度模擬值與實際觀測值比較圖

表 10 2008 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區 TAPM 氮氧化物濃度模擬驗證結果表  
NO2 concentration(ppb)

SITE_NAME	MEAN_OBS	MEAN_TAPM	STD_OBS	STD_TAPM	CORR_TAPM	IOA_TAPM
Shalu	16.36	22.08	9.35	16.88	0.31	0.46
Fengyuan	17.70	21.57	6.98	10.69	0.12	0.41
Hsitun	17.03	27.58	8.35	20.51	0.34	0.41
Chungming	22.22	32.05	9.53	19.95	0.55	0.58
Dali	20.62	30.99	8.51	16.39	0.30	0.46
Wurih	18.92	23.58	6.57	15.70	0.10	0.34
Dajia	14.30	23.68	6.67	15.75	0.38	0.43
Houli	13.47	20.47	5.39	12.32	(0.03)	0.24
Wufeng	21.10	14.35	8.44	12.33	(0.02)	0.35
Taiping	15.83	16.96	7.93	9.00	0.09	0.42
Avg.	17.76	23.33	7.77	14.95	0.21	0.41

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

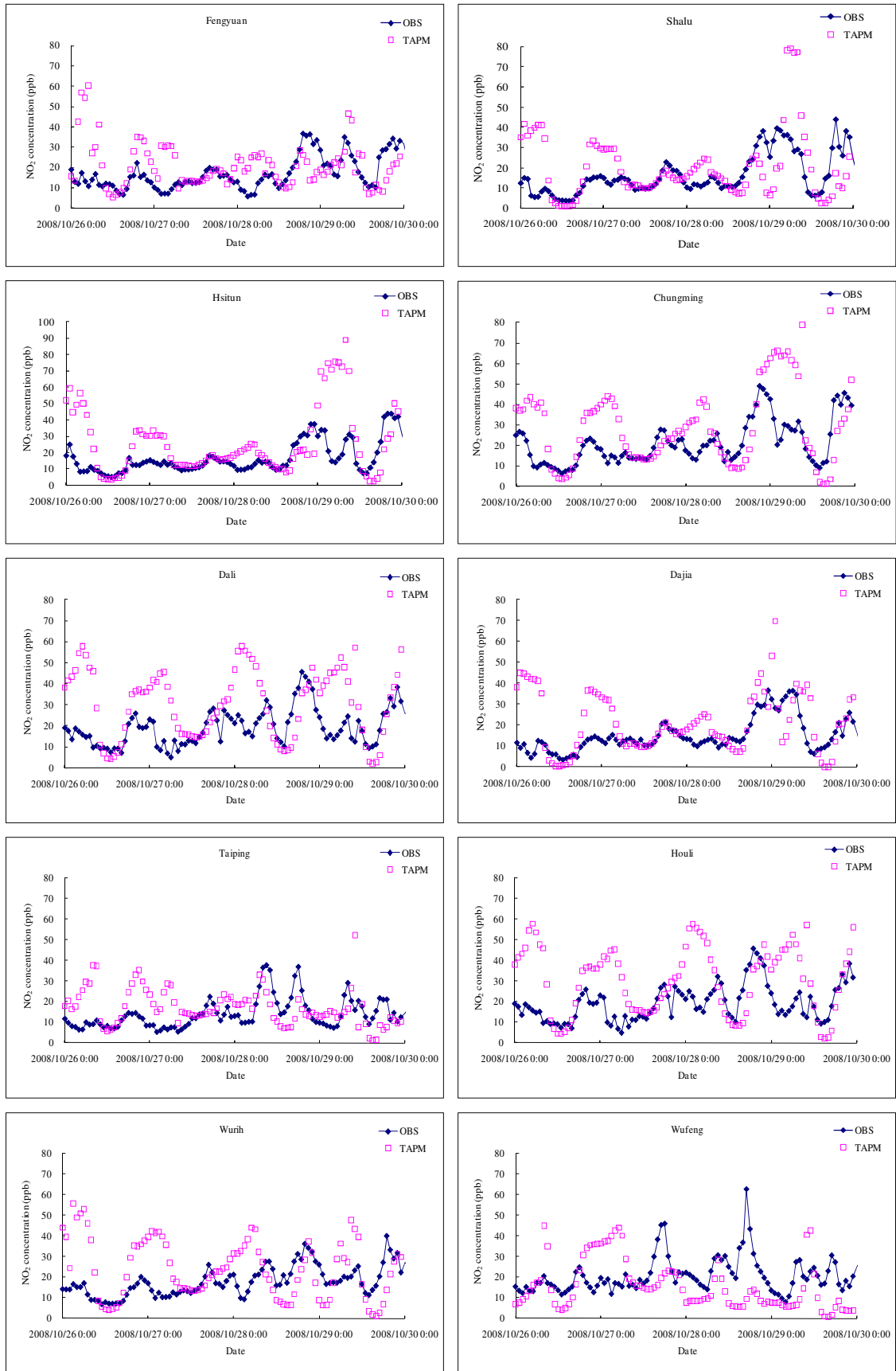


圖 10 2008 年 10 月 26 日至 29 日台中都會區之水平氮氧化物濃度模擬值與實際觀測值比較圖