

東海大學環境科學與工程學系研究所

碩士論文

都市熱島效應對台中市二次空污 PM<sub>2.5</sub> 與 O<sub>3</sub> 濃度  
分佈探討

The Urban Heat Island Effect on The Distribution of  
Secondary Pollutants From Ozone and PM<sub>2.5</sub> in  
Taichung

指導教授：程萬里 博士

鄧宗禹 博士

研究生：林俞宏

中華民國一百零二年一月

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林俞宏君所提之論文

題目：都市熱島效應對台中市二次空污 PM<sub>2.5</sub> 與 O<sub>3</sub> 濃度分佈探討

The urban heat island effect on the distribution of secondary  
pollutants from ozone and PM<sub>2.5</sub> in Taichung

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授： 程萬里 (簽章)  
游宇為

102 年 1 月 14 日

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林俞宏君所提之論文

題目：都市熱島效應對台中市二次空污 PM<sub>2.5</sub> 與 O<sub>3</sub> 濃度分佈探討

The urban heat island effect on the distribution of secondary  
pollutants from ozone and PM<sub>2.5</sub> in Taichung

---

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 盧重興 (簽章)

委員 程萬里

吳子偉

陳宇為

中華民國 102 年 1 月 14 日

## 誌 謝

學生生涯求學過程隨著碩士學位的完成終於告一段落，在學業、生活與做人處事上，要感謝的人實在太多了，特別要感謝程萬里教授在研究所期間的諄諄教誨，無論是在平常的研究工作或是論文寫作上，都給我極大的啟發及指導，且時常關懷學生生活起居與身心狀況，讓我在研究所期間內學得專業上的知識以及更多待人處事的道理，並且讓遊子在外的內心充滿溫暖，在此致上最誠摯的敬意與謝意。

論文口試期間承蒙鄧宗禹教授、盧重興教授、鄭曼婷教授，於百忙中抽空親臨指導，對我論文的斧正並提供寶貴的意見以供參考，使我的論文能更加嚴謹、充實，在此僅致上由衷的感謝。

最後要感謝學姐白珏玲，讓我有幸能加入 101 年台中市 PM<sub>2.5</sub> 垂直分布調查及管制策略評估計畫，在論文寫作方面也給予了極大的照顧與幫助，提供給我許多意見與想法，讓我的論文能順利生產。也謝謝曾經協助我、以及所有關心我的朋友。

最後要感謝我的家人，謝謝你們給予我支持與包容，讓我在求學過程能心無旁騖、全心全力的投入完成學業，僅以此論文獻給你們，院你們與我共同分享這份成果。

林俞宏 謹誌

東海大學 2013 年 1 月

# 目錄

摘要	I
目錄	II
圖目錄	IV
表目錄	VII
第一章 緒論	1-1
1-1 前言	1-1
1-2 研究動機與目的	1-3
1-3 研究大綱	1-5
第二章 文獻回顧	2-1
2-1 都市熱島效應	2-1
2-1-1 都市熱島效應理論	2-1
2-1-2 都市熱島效應成因	2-3
2-1-3 都市熱島強度	2-6
2-1-4 都市熱島效應之影響	2-8
2-1-5 熱島效應減輕對策	2-9
2-2 細懸浮微粒	2-10
2-2-1 大氣細懸浮微粒特性	2-10
2-2-2 細懸浮微粒之生成機制	2-11

2-2-3	細懸浮微粒對人體影響	2-14
2-3	臭氧	2-14
2-3-1	臭氧前驅物	2-14
2-4	繫留探空儀(Tethersonde)	2-16
第三章 研究方法		3-1
3-1	研究方向與流程	3-1
3-2	研究區域	3-1
3-3	都市熱島效應研究工具	3-4
3-4	繫留探空儀(Tethersonde)	3-6
3-4-1	裝置流程	3-6
3-4-2	繫留探空儀(Tethersonde)儀器說明	3-11
3-4-3	空氣採樣設備說明	3-12
3-4-4	空氣品質分析儀器說明	3-13
3-5	資料來源	3-14
第四章 結果與討論		4-1
4-1	天氣概況	4-1
4-2	綜觀採樣期間天氣分析	4-2
4-3	熱島強度案例分析	4-10
4-3-1	熱島效應的日變化	4-13

4-4	PM <sub>2.5</sub> 監測採樣案例分析	4-18
4-4-1	3 月採樣期間	4-18
4-4-2	10 月採樣期間	4-28
4-5	O <sub>3</sub> 監測採樣案例分析	4-37
4-5-1	3 月採樣期間	4-37
4-5-2	10 月採樣期間	4-43
4-6	垂直污染物分析	4-50
第五章	結論與建議	5-1
5-1	結論	5-1
5-2	建議	5-3

# 圖目錄

圖 1-1-1 都市熱島效應之熱力環流輻合現象示意圖-----	1-3
圖 1-3-1 研究流程架-----	1-6
圖 2-2-1 大氣懸浮微粒形成、來源機制(Whitby and Cantrell, 1976)-----	2-13
圖3-2-1 台中都會區監測站位置圖-----	3-3
圖3-4-1 繫留探空間測示意圖-----	3-9
圖3-4-2 繫留探空儀器模組-----	3-10
圖 4-1-1 101 年 3 月 21~22 日地面天氣圖-----	4-3
圖 4-1-2 101 年 5 月 22~23 日地面天氣圖-----	4-5
圖 4-1-3 101 年 8 月 8~9 日地面天氣圖-----	4-7
圖 4-1-4 101 年 10 月 2~3 日地面天氣圖-----	4-9
圖 4-3-1 3 月 21 日溫度統計圖-----	4-11
圖 4-3-2 3 月 22 日溫度統計圖-----	4-11
圖 4-3-3 10 月 3 日溫度統計圖-----	4-12
圖 4-3-4 10 月 4 日溫度統計圖-----	4-12
圖 4-3-5 3 月 21 日大里與大甲地區的氣溫日變化圖-----	4-14
圖 4-3-6 3 月 22 日大里與大甲地區的氣溫日變化圖-----	4-14
圖 4-3-7 10 月 3 日大里與后里地區的氣溫日變化圖-----	4-15
圖 4-3-8 10 月 4 日大里與后里地區的氣溫日變化圖-----	4-15

圖 4-3-9	3 月 21 日大里大甲地區的氣溫差(Tu-r)日變化圖	4-16
圖 4-3-10	3 月 2 日大里大甲地區的氣溫差(Tu-r)日變化圖	4-16
圖 4-3-11	10 月 3 日大里后里地區的氣溫差(Tu-r)日變化圖	4-17
圖 4-3-12	10 月 4 日大里后里地區的氣溫差(Tu-r)日變化圖	4-17
圖 4-4-1	3 月 21 日中部空品區水平日平均溫度圖	4-20
圖 4-4-2	3 月 21 日水平風場與 PM <sub>2.5</sub> 濃度圖	4-21
圖 4-4-3	3 月 21 日水平風場與 PM <sub>2.5</sub> 濃度圖	4-22
圖 4-4-4	3 月 22 日中部空品區水平日平均溫度圖	4-25
圖 4-4-5	3 月 22 日水平風場與 PM <sub>2.5</sub> 濃度	4-26
圖 4-4-6	3 月 22 日水平風場與 PM <sub>2.5</sub> 濃度	4-27
圖 4-4-7	10 月 3 日中部空品區水平日平均溫度圖	4-30
圖 4-4-8	10 月 3 日水平風場與 PM <sub>2.5</sub> 濃度	4-31
圖 4-4-9	10 月 3 日水平風場與 PM <sub>2.5</sub> 濃度	4-32
圖 4-4-10	10 月 4 日中部空品區水平日平均溫度圖	4-34
圖 4-4-11	10 月 4 日水平風場與 PM <sub>2.5</sub> 濃度	4-35
圖 4-4-12	10 月 4 日水平風場與 PM <sub>2.5</sub> 濃度	4-36
圖 4-5-1	3 月 21 日水平風場與 O <sub>3</sub> 濃度圖	4-39
圖 4-5-2	3 月 21 日水平風場與 O <sub>3</sub> 濃度圖	4-40
圖 4-5-3	3 月 22 日水平風場與 O <sub>3</sub> 濃度圖	4-42

圖 4-5-4	3 月 22 日水平風場與 O <sub>3</sub> 濃度圖	4-43
圖 4-5-5	10 月 3 日水平風場與 O <sub>3</sub> 濃度圖	4-45
圖 4-5-6	10 月 3 日水平風場與 O <sub>3</sub> 濃度圖	4-46
圖 4-5-7	10 月 4 日水平風場與 O <sub>3</sub> 濃度圖	4-48
圖 4-5-8	10 月 4 日水平風場與 O <sub>3</sub> 濃度圖	4-49
圖 4-6-1	3 月 21 日~3 月 23 日風場垂直剖面圖	4-52
圖 4-6-2	10 月 2 日~10 月 4 日風場垂直剖面圖	4-52
圖 4-6-3	3 月 21 日~3 月 23 日虛位溫垂直剖面圖	4-53
圖 4-6-4	10 月 2 日~10 月 4 日虛位溫垂直剖面圖	4-53
圖 4-6-5	3 月 21 日~3 月 23 日 CO 垂直剖面圖	4-54
圖 4-6-6	3 月 21 日~3 月 23 日 NMHC 垂直剖面圖	4-54
圖 4-6-7	3 月 21 日~3 月 23 日 NO 垂直剖面圖	4-55
圖 4-6-8	3 月 21 日~3 月 23 日 NO <sub>x</sub> 垂直剖面圖	4-55
圖 4-6-9	3 月 21 日~3 月 23 日 O <sub>3</sub> 垂直剖面圖	4-56
圖 4-6-10	3 月 21 日~3 月 23 日 SO <sub>2</sub> 垂直剖面圖	4-56
圖 4-6-11	10 月 2 日~10 月 4 日 CO 垂直剖面圖	4-57
圖 4-6-12	10 月 2 日~10 月 4 日 NMHC 垂直剖面圖	4-57
圖 4-6-13	10 月 2 日~10 月 4 日 NO 垂直剖面圖	4-58
圖 4-6-14	10 月 2 日~10 月 4 日 NO <sub>x</sub> 垂直剖面圖	4-58

圖 4-6-15 10 月 2 日~10 月 4 日 O<sub>3</sub> 垂直剖面圖 ----- 4-59

圖 4-6-16 10 月 2 日~10 月 4 日 SO<sub>2</sub> 垂直剖面圖 ----- 4-59

# 表目錄

表 2-1-1 都市溫度(°F)和都市與郊區的溫度差 -----	2-2
表3-3-1都市熱島效應觀測方法操作方式與優缺點比較-----	3-6

## 摘要

近年來文明快速進步，全球都市化的現象極為明顯，導致空氣污染的情況日趨嚴重，而空氣污染事件主要是由人為因素及汽機車、工廠排放，伴隨著特定的天氣型態所造成。本研究蒐集統計 2012 年 3 月 21 日~23 日、5 月 22 日~24 日、8 月 8 日~10 日、10 月 2 日~4 日，四次監測採樣期間內，環保署監測站、中央氣象局、台中市政府地方測站的氣象資料以及污染物資料來分析風場、都市熱島效應與污染物濃度三者之間的相關性研究。並且探討採樣期間中部地區熱島效應的案例發生與日變化，海陸風環流對中部地區熱島現象及污染物濃度的影響，以及在熱島中心做繫留探空垂直污染物採樣，分析熱島中心的垂直污染物分布。

在監測採樣期間，大里地區明顯為台灣中部都會區的熱島中心，而熱島效應所產生的輻合現象大約在下午接近傍晚時段(約 1500LST~1800LST)最為明顯，在熱島效應產生並且伴隨著輻合作用的影響下，風速會有顯著的減弱且風向逆時針方向轉變成向熱島中心地區集中的趨勢，有機會將鄰近地區的空氣污染物傳輸累積於熱島中心，而形成高污染事件。

關鍵字：都市熱島效應、繫留探空

## **Abstract**

In recent years, the rapid progress of civilization and urbanization has produced the serious air pollution. And the air pollution episodes are mainly caused by human factors such as vehicle exhausts and industrial pollution and accompany with certain weather pattern. The meteorological and air pollutants data from government-owned observation stations are used to analyze the correlation among wind field, urban heat island and pollutant concentration in central Taiwan during four periods (21-23 March, 22-24 May, 8-10 August and 2-4 October in 2012). This study has also discussed the influence of urban heat island episodes, diurnal variation and sea breeze to heat island phenomenon and pollutant concentration. In addition, in this study, the tether sonde was used to collect air samples of different height and analyze the vertical distribution of pollutants in heat island center.

The result indicates that Dali is the heat island center of central Taiwan. The phenomenon of convergence, which caused by urban heat island (UHI), is more obvious between afternoon and evening (1500LST~1800LST). There was a significant decrease in wind speed under the influence of phenomenon of convergence while making the anticlockwise direction and turn out to be concentrate toward heat island center. Furthermore, the weather pattern might concentrate and accumulate air pollutants to the heat island center and then cause serious air pollution episodes.

Key words : UHI 、 Tethersonde

# 第一章 緒論

## 1-1 前言

近年來文明快速進步，全球都市化的現象極為明顯，社會結構上工商業蓬勃發展，且自工業革命以來世界人口數爆炸性成長，工業工廠與汽機車數量跳躍式的增加，導致空氣污染的情況日趨嚴重，而空氣污染事件主要是由人為因素及汽機車、工廠排放，伴隨著特定的天氣型態所造成。台灣地區的空气品質近年來，在受到重視的情況下已有相當程度的改善，許多指標性污染物的排放量也有逐年下降的趨勢。例如  $PM_{10}$  近幾年在控制排放量上已有成效，在監測資料數據上，濃度與排放量有趨於減緩，故在本研究上並不深入探討。然而中部地區，隨著台中工業區、中部科學園區及彰濱工業區蓬勃發展，大型污染源相繼成立，環境負荷日趨嚴重，對總量管制之環保概念亦日趨受到重視，所以完整的了解中部空品區污染物之傳輸機制，並且對污染物做有效之監測、分布之調查與分析實為當務之急，也為評估總量管制之依據。

在都市化的過程中，人口數與建築物快速增長，越來越大量的人為活動逐漸改變了城市的氣候型態與氣候條件，綜合種種因素的影響最終導致了氣候在平衡上的變異，因而產生了新的氣候，就稱為都市氣候(Landsberg,1981;Oke,1987)。都市熱島效應(Urban Heat Island)是都

市氣候重要的特徵之一，是指在都市中市區的溫度高於周圍郊區的一種氣候現象，都市熱島化的程度會因地面狀況、人口密度、地理位置、氣候區域等的差異而有所不同，都市熱島強度是多種因素綜合作用的結果。由於都市迅速發展，過度的人為開發，造成人口與建築物密集，且柏油鋪面面積不斷增加，導致都市蓄熱能力上升，使得都市的溫度明顯高於鄰近郊區，成為了獨特的都市氣候，都市熱島效應，當都市中心的熱空氣上升時會產生一股上昇氣流，而周圍郊區相較溫度低的空氣就會往都市中心遞補，因而產生一個熱力環流輻合現象，如圖 1-1-1 所示。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的空氣污染物傳輸到熱島中心，進而影響都市地區的空气品質。熱島效應之強弱可將其量化為都市熱島強度(Urban Heat Island Intensity, UHII)

$$P=T_u-T_r$$

(P=熱島強度指標；Tu：都市溫度；Tr：郊區溫度)，該指標定義為都市與郊區的溫度差值(Oke，1987)。

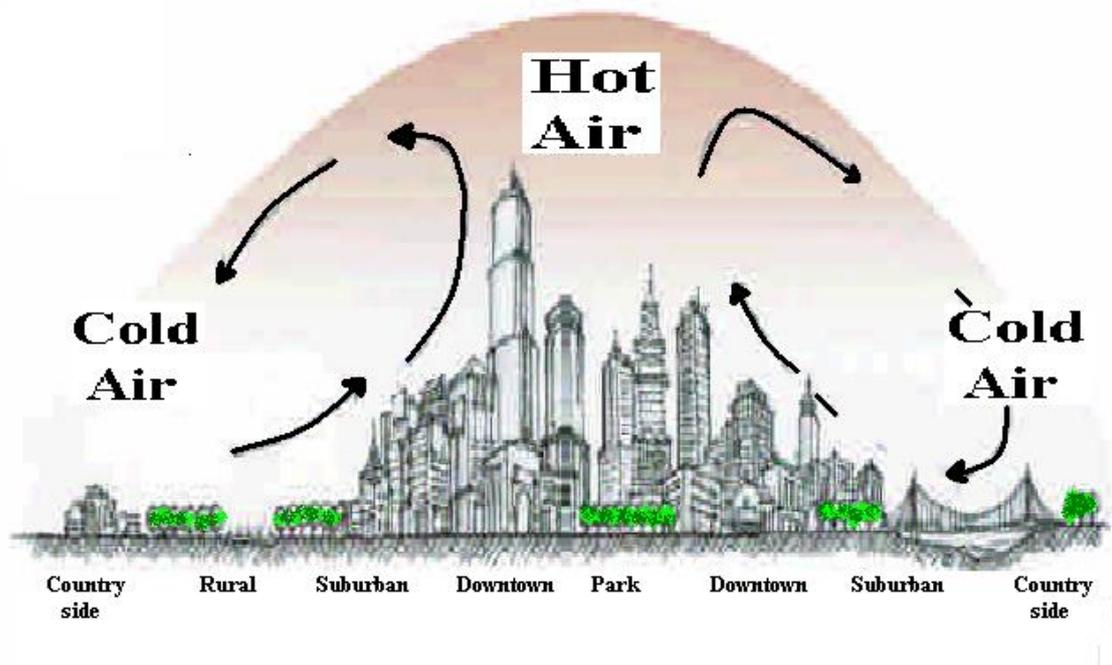


圖 1-1-1 都市熱島效應之熱力環流輻合現象示意圖(Bornstein，2000)

## 1-2 研究動機與目的

台中都會區位於台中盆地內，由大肚台地、八卦山以及中央山脈所圍繞，當靠近中部沿海地區的空气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。

都市化的結果造成都市熱島效應，產生高溫化、乾燥化、日照量減少、雲量增多、霧日增多、降雨量微增、平均風速降低、空氣污染等現象(Landsberg，1981)。1952年12月英國倫敦，由於燃煤發電及取暖的關係，倫敦出現嚴重熱島現象，風速減弱，促使空气中懸浮微粒與二氧化碳濃度遞增，白霧變為黑霧，且在高壓滯留不去的情況下，一連六天能見度都很差，經事後調查統計，災難期間死亡人數較

正常情況下死亡人數增加 4000 人。

本研究在探討都市熱島效應對台中市二次空污  $PM_{2.5}$  與  $O_3$  濃度分佈關係。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污染物水平濃度分析之外，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。

### 1-3 研究大綱

本研究收集彙整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)以及台中市政府環保局自設測站(Environment Protection Bureau Taichung County, EPB)的，從中利用溫度場數據呈現地面都市熱島效應情形，運用歷年數據推估不同季節熱島現象發生之區域，再選定熱島中心做繫留探空實驗。本研究大綱及流程圖如圖 1-3-1 所示。

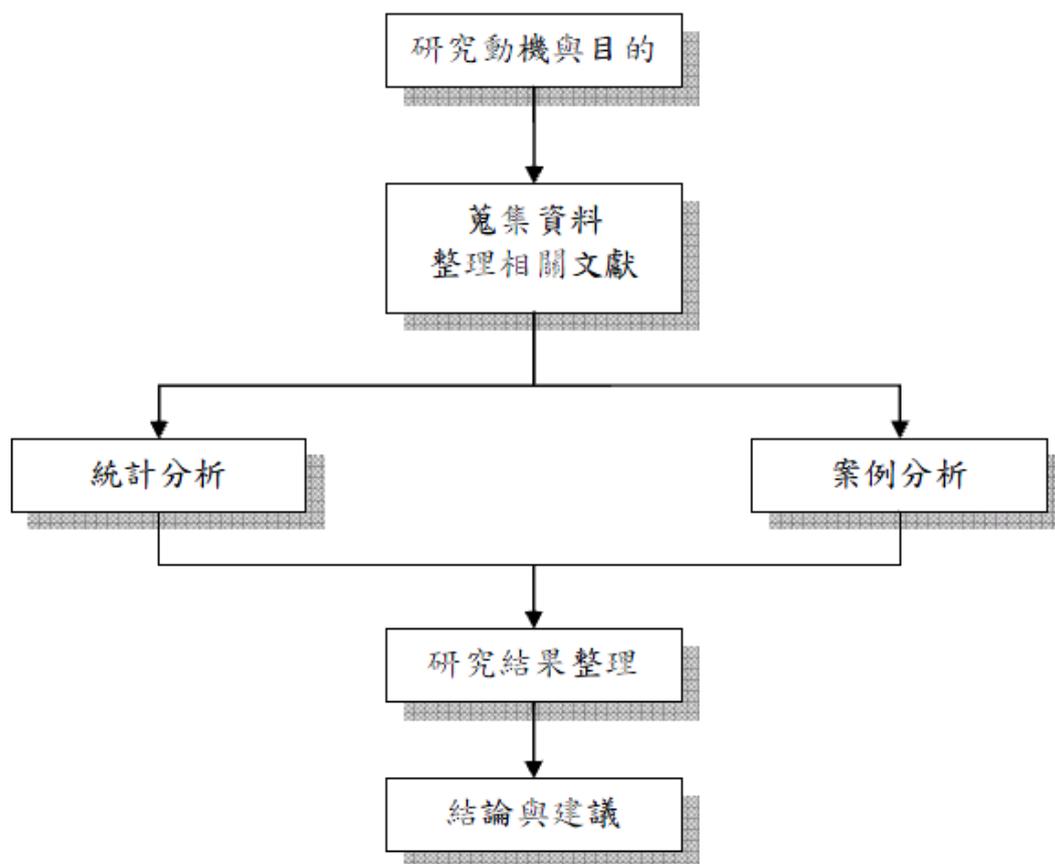


圖 1-3-1 研究流程架構

## 第二章 文獻回顧

### 2-1 都市熱島效應

#### 2-1-1 都市熱島效應理論

Howard 在 1818 年首度提出市區溫度高於郊區之現象，此為熱島效應的概念(Landsberg, 1981)。而在 1833 年，Howard 根據英國倫敦與鄰近的鄉村郊區長期的氣溫觀測結果，發表了一份倫敦與鄉村的溫度計指數對照表，進而發現都市夜晚氣溫較鄉村高約 3.7°F，便提出都市熱島效應(Urban Heat Island Effect)理論。直到 20 世紀左右，「都市熱島效應」一詞才由 Gordon Manley 在英國皇家氣象學會出版的學報中正式提出。

表 2-1-1 都市溫度(°F)和都市與郊區的溫度差

日夜之月平均溫度及溫差				1807~1816之月平均溫度			
月份	日間 月平 均最 高溫	夜間 月平 均最 高溫	溫差	月份	鄉村	倫敦	差值
01	40.28	31.36	8.92	01	34.16	36.20	2.04
02	44.63	33.70	10.93	02	39.78	41.47	1.69
03	48.08	35.31	12.77	03	41.51	42.77	1.26
04	55.37	39.42	15.95	04	46.89	47.69	0.80
05	64.06	46.54	17.52	05	55.79	56.28	0.49
06	68.36	49.75	18.61	06	58.66	59.91	1.25
07	71.50	53.84	17.66	07	62.40	63.41	1.01
08	71.23	53.94	17.29	08	61.35	62.61	1.26
09	65.66	48.67	16.99	09	56.22	58.45	2.13
10	57.06	43.51	13.55	10	50.24	52.23	1.99
11	47.22	36.49	10.73	11	40.93	43.08	2.15
12	42.66	33.90	8.76	12	37.66	39.40	1.74

「都市熱島效應」之定義為，都市化影響下，大量的人工發熱、人工高蓄熱體建築物的增加、人口過度集中、綠地與水分蒸發量減少，人工發熱量在都市中心會產生一股上昇熱流，而周圍郊區相較溫度低的空氣就會往都市中心遞補，因而產生一個熱力環流輻合現象，進而造成都市內大氣與地表平均溫度明顯高於外圍郊區之地表溫度(Oke, 1987)。若將此現象繪製為等溫分佈圖，數個封閉的等溫線圖，以平均溫度向外降低的方式，近似同心圓狀包圍著都市的中心，由立

體的剖面圖看來就有如一座發熱的島嶼形成的局部高溫現象，也就是「熱島」名稱的由來(林憲德，2005)。

都市熱島效應增溫現象主要表現於都市平均低溫與夜間之平均溫度增高，造成都市平均溫差與日夜溫差縮減。綜合過去學者研究成果，都市熱島效應在大氣平穩的狀態下，熱島效應達到最強，並終年不斷發生。此一結論說明，無論何種季節下，大氣在夜晚或無風的狀態下，有助於加強熱島現象的發生。

## 2-1-2 都市熱島效應成因

都市熱島效應產生的主要原因有三項：人為排放熱與空氣污染、高蓄熱體與吸熱面積增加以及自然景觀與排水系統減少。

### 1. 人為排放熱與空氣污染

工業革命以來，都市人口過度集中加上現代文明迅速的發展，人類使用石化燃料而使大氣層中二氧化碳含量急遽上升，近十年來增加將近 30%，凡是現代人生活之大小事到整體經濟之發展，皆與燃燒石化燃料息息相關。使用石化燃料為人類生活帶來便利，也提升整體經濟，但卻也為大氣環境帶來大量的人為溫室氣體(氟氯碳化物(CFC<sub>s</sub>)、全氟碳化物(PFC<sub>s</sub>)二氧化碳(CO<sub>2</sub>)等。

可見光可自由通過溫室氣體，但會吸收紅外線與紫外線，以保存熱能，使地表平均溫度維持在 15°C 左右(楊任徵，1993)。人為產生的

溫室氣體，破壞了大氣層中溫室氣體的濃度比例，使大氣的保熱程度增加，使得大氣狀態失衡，地表溫度上升，形成溫室效應。

溫室氣體濃度增加造成地表平均溫度上升，導致地球生態環境遭到破壞，嚴重威脅到人類的生存空間。都市環境的改變與人為活動的發展，使得都市區域內的溫室氣體濃度增加，輻射熱也因此大量保存在都市環境內，這些人為排放熱讓都市內部的地表溫度上升幅度加劇，因而產生都市熱島效應。

## 2. 高蓄熱體與吸熱面積增加

物質對熱量的吸收與反射主要來自於其反照率的影響。反照率(albedo)是指物體反射太陽輻射與該物體表面接收太陽總輻射的兩者比率或分數度量，也就是指反射輻射與入射總輻射的比值。

大都市(mega-cities)中，人造建築物通常包含三項特性：高導熱性、高熱容量與低反照率等。白天時，都市內部的人工建築物因此三種特性活躍，會大量吸收太陽輻射能，並且快速增加都市內部的溫度，使得都市內部溫度上升幅度遠高於人造建築物較少的郊區。進入夜晚後，太陽熱輻射量減少，但白天內建築物與其他人造物質所吸收的熱能會釋放到大氣中，使得都市內部在夜晚仍保持在高溫的狀態。

且都市內的人造建築多半高大聳俊，其設計建造也多採規格多面體幾何形狀與高吸熱、高反射率之建材(如玻璃帷幕等)，產生都市峽

谷效應(canyon effect)會形成風阻，使得氣流無法平行對流，空氣中污染物質與氣溫也無法和周遭的大氣平衡，造成氣流聚集的高污染濃度區。另外，不透水高反射建材與建築物的高度，會增加地表反射輻射能與大氣入射輻射能的反射路徑，也阻擋氣流對流，吸熱面積增加，使得都市內環境續熱能力高昇不下。

### 3. 自然景觀與排水系統減少

都市區域因人為開發改變了地表覆蓋型態，郊區人口較市區稀少，人為活動與開發干擾也較少，因此地表覆蓋保持的自然景觀比例也較高。自然景觀的植生葉片上，會產生蒸散作用，可藉由將植物體力的水分散發至空氣中，並且帶走熱能，降低周圍溫度，使得附近地表與近地面大氣可以冷卻降溫，但當人工不透水鋪面取代植被鋪面，會降低冷卻降溫效果，造成都市熱島效應(韓可宗，1998；劉紹臣等，2003；李明晃，2004)。

自然景觀植栽約可反射 10%~25%的太陽輻射能，可以避免陽光直射都市鋪面，且一棵樹平均能蒸散出 100 加侖的水分，藉由蒸散作用冷卻的熱能相當於 5 部普通的窗型冷氣運轉 20 個小時(韓可宗，1998)，而植被的遮蔭可以降低建築物的表面溫度約到 17°C 並可減少 20%~80%的空調費用，都市植栽能夠降低夏天的高溫酷熱且具有調節溫度、緩和氣溫極端變化的功能，研究指出植栽具有降低氣溫的原因

有：植物蒸散作用，釋放水蒸氣吸收空氣中熱能、植栽形成遮蔭阻擋太陽光直射、植物反射太陽輻射此三種。

都市內公園由於具有大量植栽，可提供遮蔭、吸收太陽輻射、增加蒸散量、降低都市內局部低溫、增加濕度等功能，因此稱之為都市冷島(The urban cool-island)。都市公園能夠改善都市環境，也兼具了降低環境負荷(調節都市微氣候、淨化空氣、調節水文)等能力，且可平衡都市開發所帶來的衝擊，並儲存都市資源；修補都市中的生態領域，以成為生物跳島，以提供生物棲息，在社會與經濟層面上，都市公園具有防災以及創造舒適生活環境等功能(李明晃，2004)。

### **2-1-3 都市熱島強度**

都市熱島效應是一個自1960年代開始，在世界各地大城市所發現的一個地區性氣候現象。其定義為都市內部的氣溫比四周郊區高，其等溫線空間分佈上，自都市中心向四周鄉村遞減，由空中往下看，其溫度分布顯示圖宛如海島的地形圖，因此稱都市中較熱的地方為「熱島」。

測量都市熱島的方法很多，但最後皆依據觀測器測得知地表/大氣平均溫度，來說明都市熱島的分布現象與其變化趨勢，對其發生強度與都市熱導嚴重程度較少探討。

都市熱島強度是一經由科學方法評定，具有客觀性評定都市熱島

嚴重程度的指標，「都市熱島強度」是指都市中心溫度與郊區溫度之差 (Oke, 1987; 李魁鵬, 1999)。更明確而言，都市熱島強度指標，即表達都市內部任一點之地表平均溫度與該都市郊區最低地表溫之差值。透過此一指標，我們具有更客觀的評估方式，說明都市內部熱島效應的嚴重程度，提供都市環境管理者更據科學性且可性度更高的參考指標。都市熱島效應強度計算公式如下：

$$P=T_U-T_r$$

其中：P=熱島強度指標； $T_U$ 都市內部之平均地表溫度； $T_r$ 研究區最低平均地表溫度

都市熱島強度指標越高，代表該研究區內部相較於其郊區產生並集中更多的熱能，即可說明，都市熱島效應現象越嚴重。如同都市熱島效應為相對性的現象表徵，都市熱島強度指標是一種相對性的指標，無法藉由絕對標準尺規規範判定是否有都市熱島現象的產生與其嚴重程度之等級。

#### **2-1-4 都市熱島效應之影響**

綜合學者研究成果，都市熱島的產生對於人類生活及地球生態無疑是一種不利的現象，而探究起導致的結果大致有三：

##### **1. 都市高溫化：**

都市熱島效應就如同字面上所說的，都市猶如一座發熱的島嶼。由於都市區域內遍佈著太陽反射率低、也就是冷卻低的實體(人工建材與建築)，因此都市的吸熱比遠遠超過放熱比，在這種大氣失衡的狀況下，都市內部環境氣溫會不斷向上攀升。

##### **2. 都市環境空氣污染日益嚴重：**

都市熱島效應的產生現象常伴隨著「煙霧」。而當煙霧現象產生時，都市內部的能見度降低，此時空氣污濁、濃霧增多，影響交通狀況，包含了汽機車的行駛與飛行交通工具的起伏等。此外，煙霧的產生也可能引起心臟病、氣喘以及支氣管炎等病症，像前章節所提到

的，1952 年倫敦大煙霧，造成四千多人死亡。除了煙霧的發生外，「塵罩」也是經常發生的現象，這些煙塵和落塵微粒也含有對人體有害的危險有毒物質，例如汽機車燃油所排放的含鉛有毒物質，這些空氣污染都將直接或間接的對人體健康產生負面的影響。

### 3. 能源消耗：

因為都市內部的氣溫不斷攀升，惡性循環下，人類便大量使用放熱量大的空調設備，除了導致都市的高溫化現象更加嚴重外，大量使用空調冷卻設備使得人類對電力的需求也急遽增加，促使地球的能源大量被消耗。

綜觀上述，都市熱島效應已是國際上、現今社會裡不可忽是的共通問題，而且也是目前重要的研究環境議題之一。此現象對於都市居民的生活品質、身體健康以及地球環境皆有不利的影響。

## 2-1-5 熱島效應減輕對策

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)，而面對這勢不可避免的衝擊，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 細懸浮微粒**

### **2-2-1 大氣細懸浮微粒特性**

細懸浮微粒顧名思義就是粒徑小於 2.5 $\mu\text{m}$  之懸浮微粒，化學成分主要可包括水溶性離子、碳成分及金屬元素等，其來源可分為人為活動或生物源排放，及隨地理位置而有所差異，其來源大致可分為兩大類，即原生性(primary aerosols)及衍生性(secondary aerosols)，原生性係污染源直接排放，例如道路揚塵、火山灰、廢料燃燒、工業製程、石化業燃燒及農業活動等，此性質之污染物的粒徑分布較為廣泛，一般而言道路揚塵等所生成的大多屬於粒徑大於 2.5 $\mu\text{m}$  之粗微粒，而經燃燒所生成的大多屬於粒徑小於 2.5 $\mu\text{m}$  之細微粒，但總結原生性微粒多半仍屬粒徑大於 2.5 $\mu\text{m}$  之粗微粒；衍生性係原生性污染物在大氣中由化學反應經氣固轉化生成，或是其他污染物再經化學反應合成，此性質之污染物粒徑幾乎皆小於 2.5 $\mu\text{m}$ ，故衍生性之大氣微粒，多半屬

於細微粒(鄭曼婷等, 1998)。

微粒依其粒徑大小不同, 質量、數量及其表面積也不相同, 若粒徑為  $1\mu\text{m}$  之微粒其質量為  $0.1\mu\text{m}$  之微粒的 1000 倍; 而質量相同的微粒, 粒徑為  $0.1\mu\text{m}$  其表面積是粒徑  $1\mu\text{m}$  的 10 倍。故粒徑較小之微粒雖其質量較小, 但表面積較大, 所以能附著之毒化物相對較多。

### 2-2-2 細懸浮微粒之生成機制

細微粒生成機制大致可分為幾類, 如氣體由凝聚累積生成、由機械力所生成、艾特坎核子等三類(袁中新等, 1999), 由凝聚累積生成的細微粒, 係氣體轉化為低揮發性蒸氣, 再經同相核化機制 (homogeneous nucleation) 及核凝結生長機制 (condensation growth of nuclear) 作用, 生成液滴再經凝聚機制生成細微粒, 其粒徑大多介於  $0.1\sim 2\mu\text{m}$  之間; 由機械力生成的細微粒, 係由工業製程、海水飛沫、火山爆發、風蝕揚塵等所產生之微粒, 其粒徑大多在  $2\mu\text{m}$  以上, 故細微粒在此機制佔少數, 大多屬原生性之粗微粒; 艾特坎核子亦可稱為轉變性核子, 主要是由海水飛沫或森林大火等天然來源形成高溫蒸氣冷凝成微粒, 再由凝聚鍊聚合而成, 粒徑大多小於  $0.1\mu\text{m}$  或介於  $0.1\sim 2.5\mu\text{m}$  之間。而在另一研究發現, 細微粒可分為兩類, 其中包括成核型 (nucleation mode) 及累積型 (accumulation mode), 成核型細微粒主要來自燃燒過程熱蒸氣凝結大氣中物種成核, 其粒徑小於

0.08 $\mu\text{m}$ ；累積型微粒主要來自成核型微粒的膠凝、揮發性物質的凝結及氣固相轉化形成微粒，其粒徑介於 0.08~2 $\mu\text{m}$  之間。

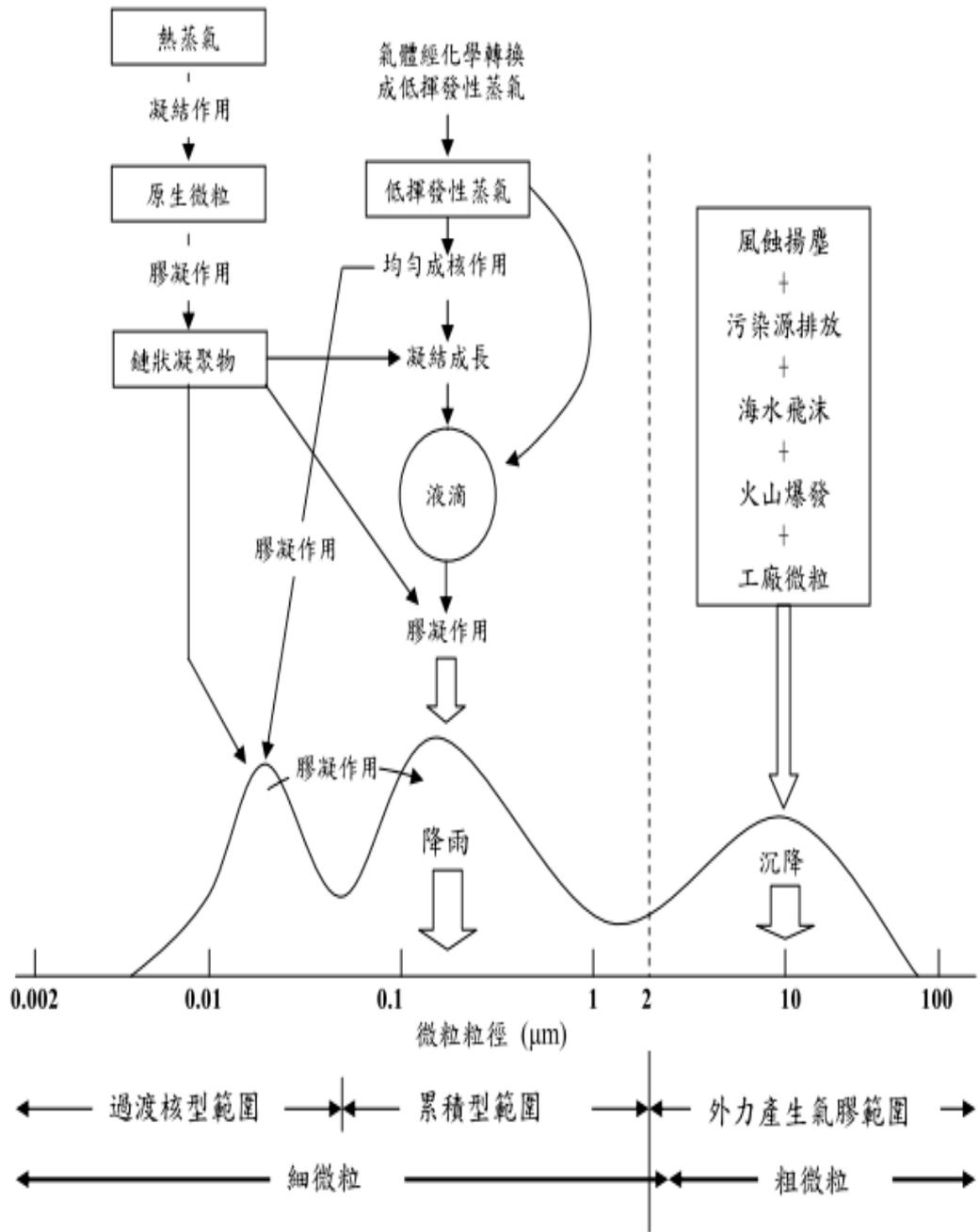


圖 2-2-1 大氣懸浮微粒形成、來源機制(Whitby and Cantrell, 1976)

### 2-2-3 細懸浮微粒對人體影響

空氣中的懸浮微粒會經由鼻、咽及喉進入人體，10微米以上的微粒可由鼻腔去除，較小的微粒則會經由氣管、支氣管進入人體內部。PM<sub>2.5</sub>細懸浮微粒易附著戴奧辛、多環芳香烴以及重金屬等有毒物質，長期吸入會引起過敏、氣喘、肺氣腫、肺癌、心血管疾病、肝癌、血液疾病等。

## 2-3 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(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。

### 2-3-1 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 繫留探空儀(Tethersonde)**

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。比較過去 10 年，在北美及歐洲

所進行臭氧研究，發現若要瞭解大氣之傳輸、擴散乃至於化學反應機制，絕對必須輔助以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 1000m 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。多項研究亦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(程萬里，2000；Baumann et al.，2001)。

# 第三章 研究方法

## 3-1 研究方向與流程

本研究收集彙整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)等資料，利用其溫度場數據呈現地面都市熱島效應情形，且運用歷年數據推估不同季節都市熱島現象發生之區域，來選定熱島中心加以做案例分析與探討。

## 3-2 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，台中都會區為台中中心位置，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 3-2-1)，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。

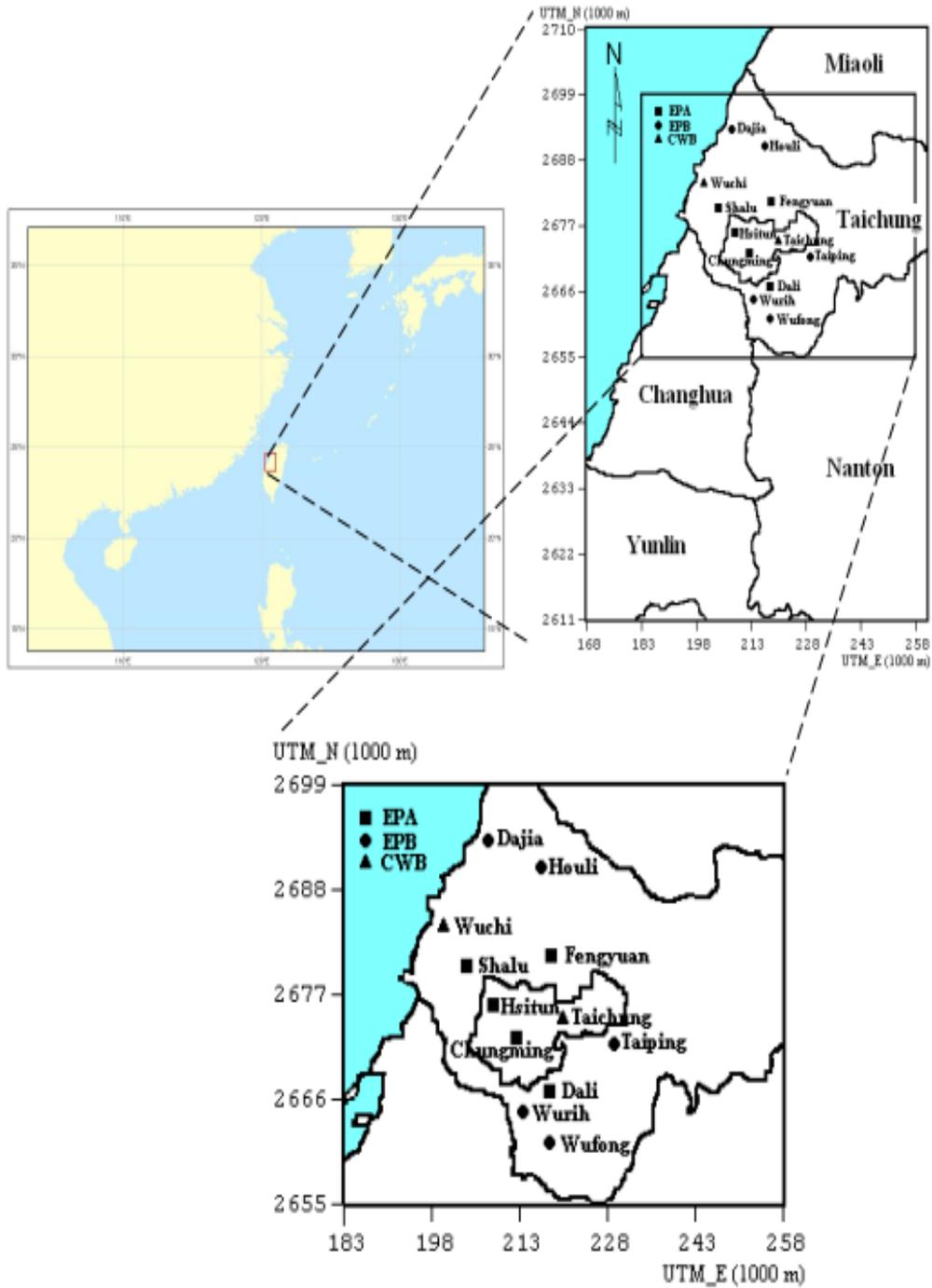


圖3-2-1台中都會區監測站位置圖

### 3-3 都市熱島效應研究工具

一般使用來觀測都市與郊區地區溫度梯度分佈的方法有四種，

即：

#### 1. 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。為考慮氣象觀測站的代表性與客觀性，所以其架設位置多半位於不受人為活動影響的地方。利用自動測溫儀器自動觀測測溫站之溫度，進行都市與周圍鄉村溫度間差異之研究(Jauregui，1997；Figuerola，1998)。

#### 2. 移動測溫法(auto-traverse measurement)：

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。利用機車配置自動量測紀錄器(data logger)，依台灣四大都會區台北、台中、台南及高雄之都市規模大小，分別以機車團隊同時進行研究區域之觀測實驗(林憲德、李魁鵬等，1999)。則將都市規劃出九條移動的路線，在這九條移動路線中一共設置了170個觀測站，用以觀察都市之微氣(Deosthali，2000)。

#### 3. 衛星遙感探測(remotely sensed thermal data)：

利用衛星上所搭載的高解析度輻射計(advanced very high resolution radiometer，AVHRR)進行地面溫度的觀測，其觀測不受移動觀測法時間差的影響，唯觀測時段受限於衛星運轉軌道及角度的關

係，觀測時間比較無彈性，且受雲層影響。

#### 4. 電腦模式模擬(computer modellings)：

使用電腦模式模擬仍須上述其他觀測方法資料的輔助，進行電腦模式的建立與基本參數估計，以及模式的驗證。利用三維模式模擬都市環境和熱島發展情形(Saitoh et al.，1995；Troude et al.，2001；Lemonsu and Masson，2002；Luhar and Hurley，2003；Fan and Sailor，2005；Sarrat et al.，2006)。

本研究採用上述固定式監測法，主要原因是利用固定式氣象監測站資料可以直接而且有效的觀察到明顯的熱島效應趨勢變化。而汽機車的移動觀測需要儀器的設備以及人力的充裕調度，資料彙集不便；衛星遙感探測則是資料取得不易，加上目前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發展趨勢，且易受雲層影響，因此本研究選取固定式監測法，以便能確實掌握都市熱島效應的發展趨勢。

表3-3-1都市熱島效應觀測方法操作方式與優缺點比較

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。	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。	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。

### 3-4 繫留探空儀(Tethersonde)

#### 3-4-1 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。在進行繫留探空採樣監測前，必須選擇適當釋放繫留氣球的地點，需有空曠的平地，且其周圍應避

免航道範圍、高大建築物或樹木、天線及避雷針等尖銳的物件，以利於釋放繫留探空儀之安全性及操作性。在執行監測前 24 小時，於選定之監測地點完成繫留探空儀及空氣品質監測儀之架設、暖機及校正等預備工作，以便監測工作順利進行。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 750lb 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. 進行垂直氣象監測與無機氣狀污染物採樣，於每日 0000

LST、0300 LST、0600 LST、0900 LST、1200 LST、1500 LST、1800 LST及2100 LST進行，在採樣時間前約20分鐘將繫留氣球釋放到採樣高度。

- F. 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。
- G. 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。
- H. 監測到之氣象數據經由無線天線傳輸至數據轉換機中，再經由數據轉換機傳送到個人電腦，並將當時所監測到之近地面氣象資料(風速、風向、溫度、濕度、氣壓、降水情況、雲量及能見度等)紀錄下來。
- I. 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。
- J. 採樣完畢後收下Teflon 採樣袋，利用空氣品質分析儀分析採樣袋中各污染物(包括 $\text{O}_3$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ 及 $\text{CO}$ )濃度，並將讀

值紀錄下來。

- K. 將監測採樣出來之數據整理成繪圖軟體所需要之格式並繪出垂直氣象剖面圖及垂直污染物濃度剖面圖。
- L. 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。

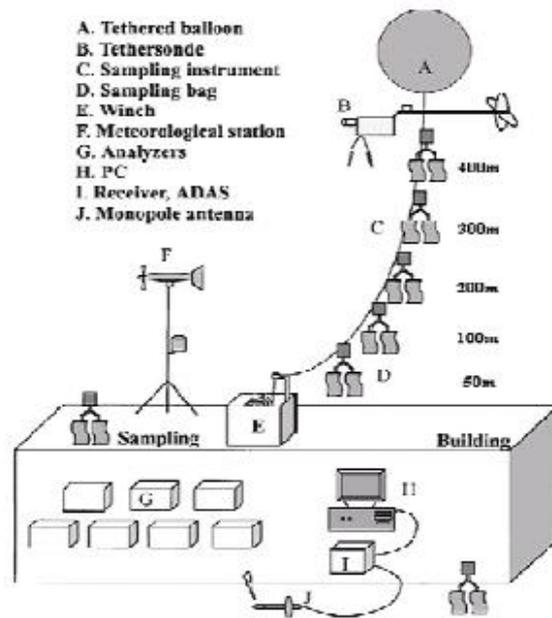


圖3-4-1繫留探空間測示意



圖3-4-2繫留探空儀器模組

### 3-4-2 繫留探空儀(Tethersonde)儀器說明

- A. 探空氣球(Tether Balloon)：採用直徑約4m之廣告氣球。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600g，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。

### 3-4-3 空氣採樣設備說明

**A.** 空氣採樣器：考量到探空氣球浮力有限，所以使用之採樣器為『定時採樣器』，其設計乃參考利園環境顧問公司的自製採樣器。採樣器上設有定時開關裝置，所使用之電源為2個1.5 V的1號乾電池及1個9 V的乾電池，含電池總重約為480 g重，採樣抽器流量約為0.056 l/s，體積為14 × 7 × 3.5 cm。本研究所設定之空氣採樣器開始採樣時間均設為一致，於15 min後所有空氣採樣器將會同停止抽氣。

**B.** 採樣袋：10 L Teflon Sample Bag 232-08，其材質為透明的Teflon 採樣袋，採樣接頭為PE 的材質。

由於繫留探空監測採樣氣體為 High-Sensitive Compounds，且由地面施放至高空抽氣採樣到分析氣體需要 30 分鐘過程。因此在氣體分析過程中，可能會發生採樣袋的清洗造成殘留之影響，引起氣體衰退或增長。

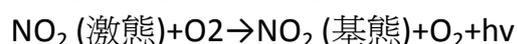
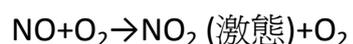
實驗結果顯示採樣袋之清洗次數應至少清洗 6 次，方可作為乾淨之採樣袋，以達到所監測出之氣體濃度得以正確且無較大偏差。因此本研究決定於每次採樣完成時均會清洗採樣袋 6 次為基準。

### 3-4-4 空氣品質分析儀器說明

本研究所使用之空氣品質分析儀如下所示，儀器使用前需確認各儀器的操作參數達到標準，各項儀器操作參數詳如下。

#### A. 氮氧化物分析儀(API Model 200A)

1. 測定方法：採用化學發光法(Chemiluminescence Method)。
2. 測定原理：將抽進儀器的氣體與 O<sub>3</sub> 反應，則試料氣體中之 NO 與 O<sub>3</sub> 反應形成激態的 NO<sub>2</sub>，再放出一特定波長之螢光而形成基態的 NO<sub>2</sub>，反應式如下：



螢光之強度與 NO 的濃度成正比，利用光電倍增管

(Photomultiplier Detector)測定其螢光度可得知試料氣體中 NO 之濃度。NO<sub>x</sub> 濃度之測定則必需在進入反應室之前先利用還原介質使之還原成 NO，再利用上法測定，即可測得試料氣體中 NO<sub>x</sub> 測定的濃度，NO<sub>x</sub> 濃度與 NO 濃度之差即為 NO<sub>2</sub> 濃度(API Model 200A NO<sub>x</sub> Analyzer Operator manual，1994)。

#### B. 臭氧分析儀(API Model 400)

1. 測定方法：O<sub>3</sub> 之測定方法採用紫外線光度計法(Ultraviolet Photometric Method)。
2. 測定原理：由於 O<sub>3</sub> 在不同光譜內對紫外線光吸收能力不同，

故可利用  $O_3$  在特定光譜內對紫外線光吸收能力之差異，由其差異值與濃度成正比之關係而作定量分析。差異值越大，表示  $O_3$  濃度越大； $O_3$  對於波長為 254 nm 之紫外線吸收能力最強，將試料氣體以波長為 254 nm 紫外線照射，由其吸收量變化即可分出試料氣體中  $O_3$  之濃度。

#### C. 一氧化碳分析儀(API Model 300E)

1. 測定方法：一氧化碳之測定係採用紅外線偵測法(Infrared Measurement)。
2. 測定原理：於反應室中，當紅外線穿過高濃度  $N_2/CO$  輪轉時，信號分別通過  $CO$  及  $N_2$ ，利用紅外線穿過高濃度  $CO$  時，紅外線放射源完全被高濃度  $CO$  所吸收，此時所偵測之信號為 ZERO，當紅外線通過  $N_2$  時，紅外線不被吸收而進入反應室中，由反應室中  $CO$  SAMPLE 氣體所吸收，此兩種信號相減即為正確之測值。

#### D. 二氧化硫分析儀(API Model 100A)

1. 測定方法：二氧化硫之測定方法採用紫外光螢光法 (Ultraviolet Fluorescence)。
2. 測定原理：利用波長介於 190 nm~230 nm 之紫外光來激發二氧化硫分子，再量測其降回基態時所發出 350 nm 的螢光強

度，以測定氣體中二氧化硫的濃度。

### 3-5 資料來源

本研究彙整了台灣環境保護署(Environmental Protection Administration, EPA)環境監測站資料、中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB)大氣監測站資料、台中市環保局(Environment Protection Bureau Taichung County, EPB)環境監測站資料以及繫留探空監測資料等。案例分析選用的監測站點如表3-5-1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；台中市環保局太平、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。

## 第四章 結果與討論

本研究於 2012 年裡的 3 月、5 月、8 月以及 10 月每個時段 48 小時(四個時段分別為 101 年 3 月 21~23 日、101 年 5 月 22~24 日、101 年 8 月 8~10 日、101 年 10 月 2~4 日)做繫留探空監測採樣實驗，並與台灣環保署中部地區環境監測站和中央氣象局氣象監測站一起做資料分析與探討。地點則是依歷年統計資料選取了台中都會區都市熱島效應強度最強之大里地區。繫留探空監測可以幫助了解都市熱島效應發生時之大氣垂直結構與污染物傳輸情形；而自動監測站資料則可以了解都市熱島效應產生時，水平污染物濃度分佈。

### 4-1 天氣概況

本文選取四次監測採樣實驗的其中 3 月與 10 月。5 月因為採樣期間，環保署的自動測站缺值過多，影響可信賴度；而 8 月在採樣期間受到颱風的外圍環流影響，下著綿綿細雨，會影響污染物傳輸與累積，所以 5 月和 8 月不予以選取採用，且在 3 月採樣期間，台灣地區受到大陸高壓影響，天氣型態為高壓迴流天氣型態過渡至高壓出海天氣型，所以此時台灣地區的天氣型態趨於平穩，也因此測得了四次監測採樣的  $PM_{2.5}$  最高濃度  $70\mu g/m^3$ ；10 月採樣期間則有  $O_3$  高污染事

件，故選取 3 月與 10 月做為案例加以分析討論。

## 4-2 綜觀採樣期間天氣分析

101 年 3 月 21 日至 3 月 23 日監測採樣期間的天氣，如圖 4-1-1 所示，主要受到大陸高壓的影響，其天氣型態為高壓迴流天氣型態過渡至高壓出海天氣型態，台灣西部因為高壓系統籠罩加上地形影響，導致污染物擴散不良，且伴隨著穩定的大氣環境再加上轉趨微弱的東風，污染物持續累積惡化。監測採樣期間有高污染事件日，在 3 月 22 日下午至傍晚都有 PM<sub>2.5</sub> 的高值產生。

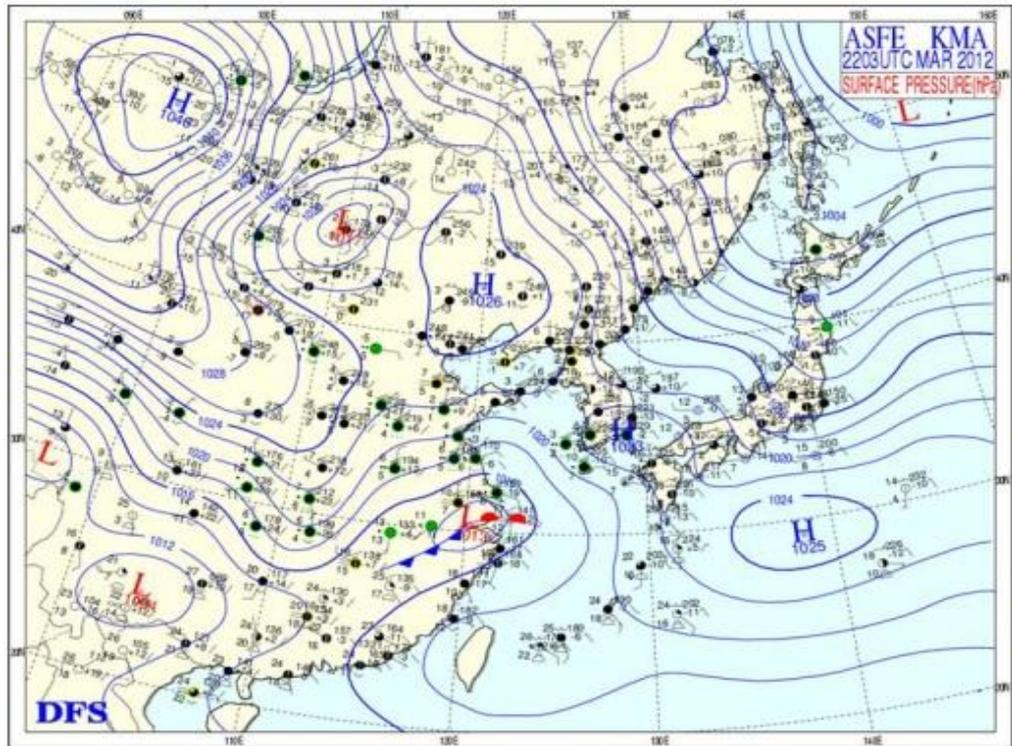
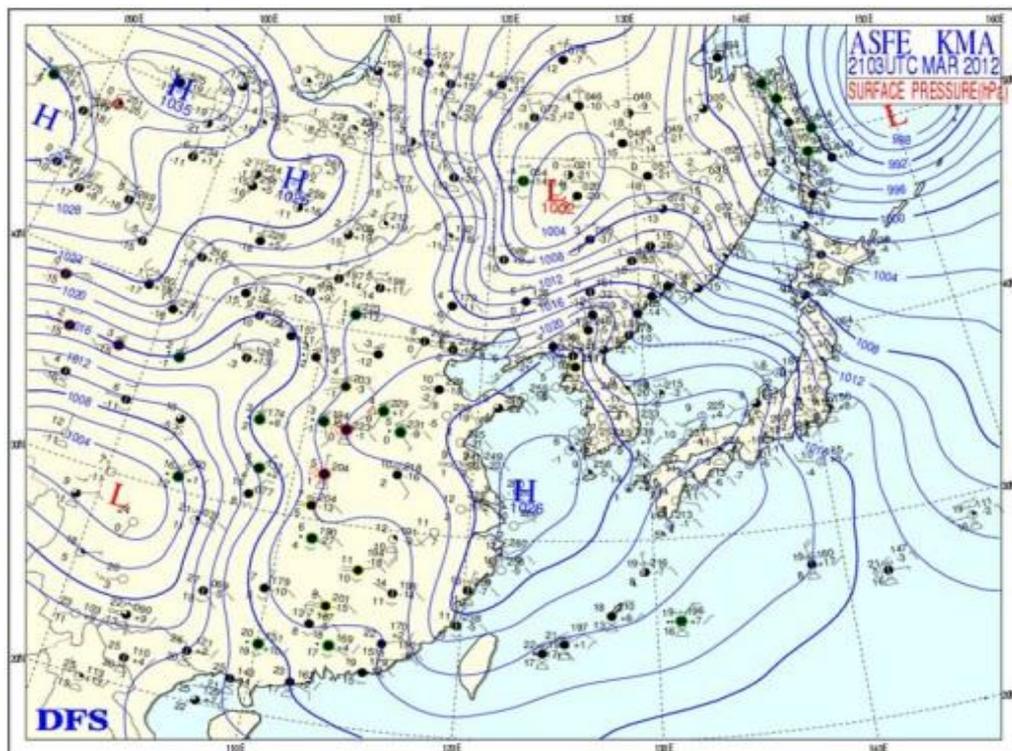


圖 4-1-1 101 年 3 月 21~22 日地面天氣圖

101 年 5 月 22 日至 5 月 24 日監測採樣期間的天氣，如圖 4-1-2 所示，台灣地區也受到大陸微弱的高壓影響及來自東北邊低壓影響，很明顯可以看出台灣地區的天氣型態為典型的高壓出海天氣型態，大氣環境大致上西部以東風為主、北部與東部以東北風為主，呈現的風速較大。



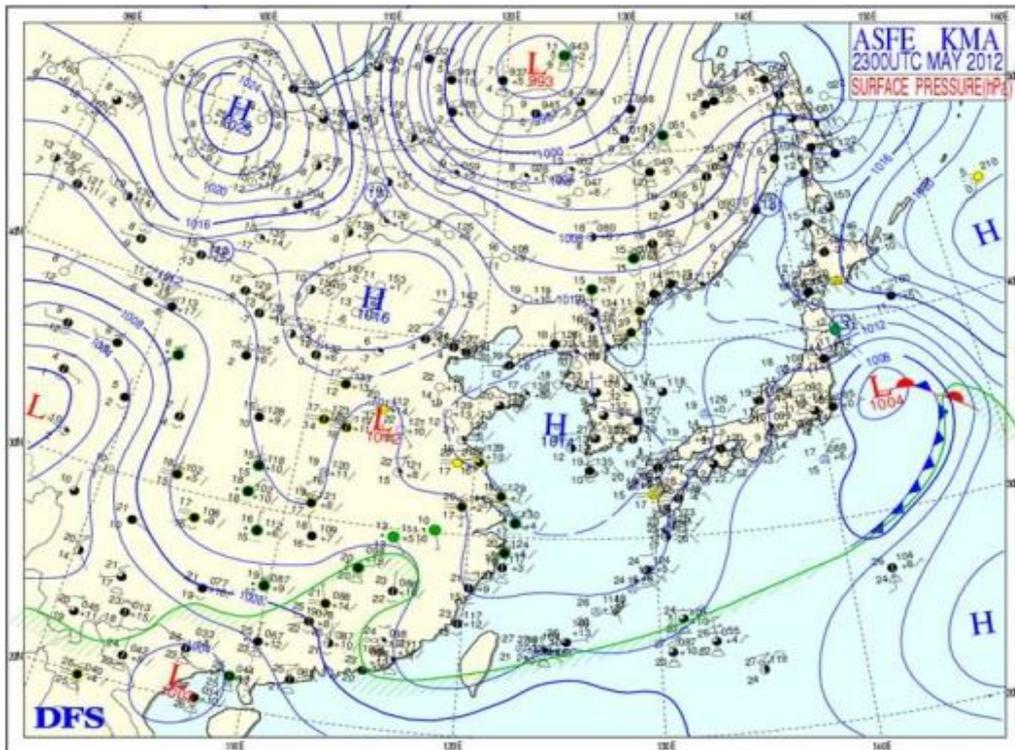
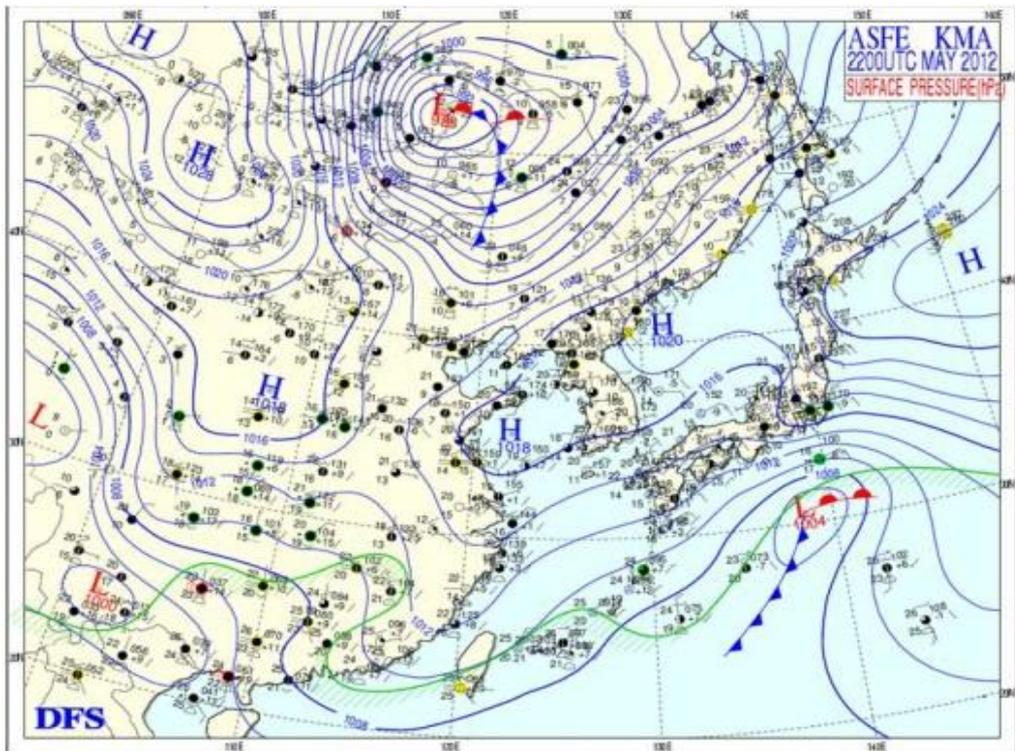


圖 4-1-2 101 年 5 月 22~23 日地面天氣圖

101年8月8日至8月10日監測採樣期間的天氣，如圖4-1-3所示，台灣地區很明顯受到海葵颱風外圍環流以及鋒面影響，台灣北部以及西部大致上都呈現東南風。因颱風外圍環流以和鋒面及高壓迴流影響，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。



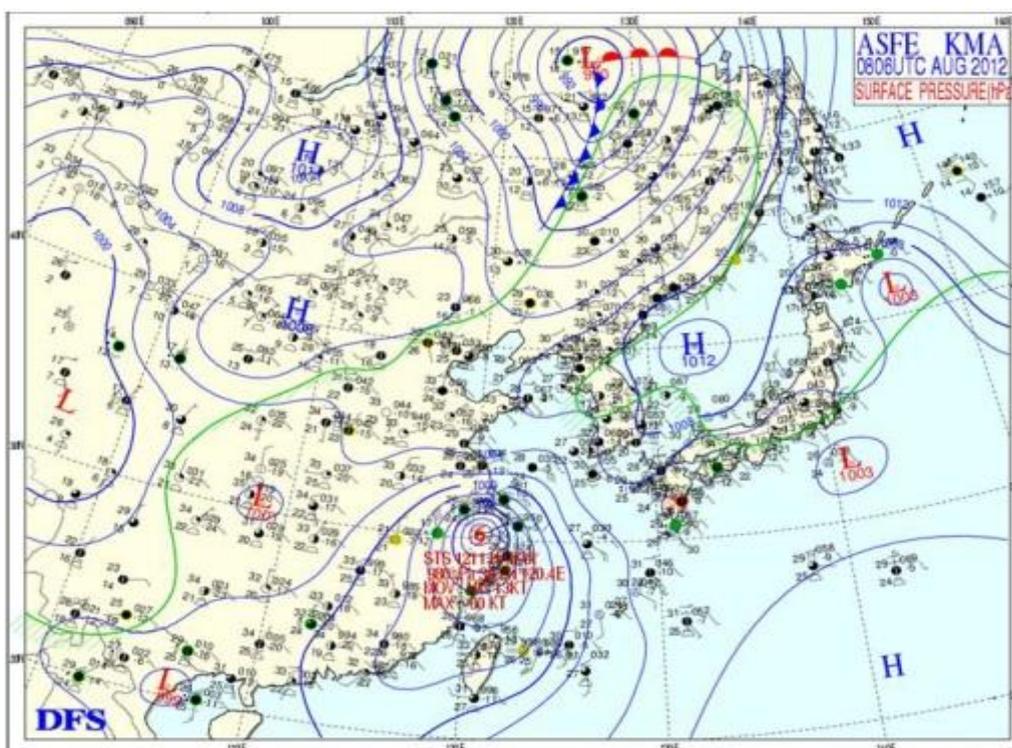
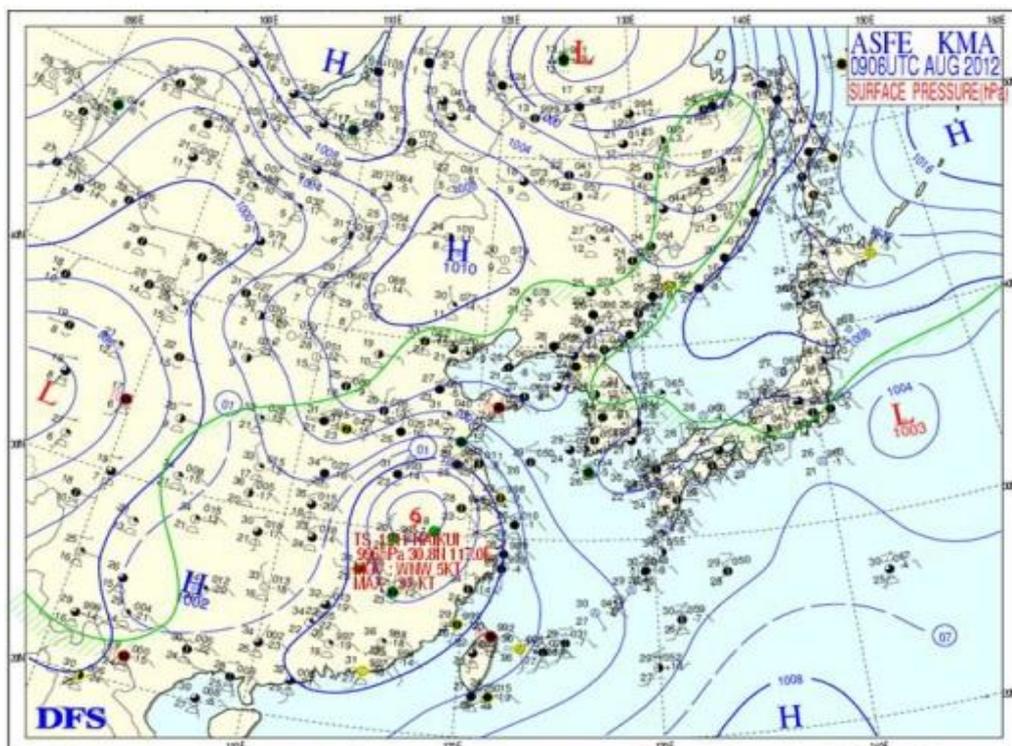


圖 4-1-3 101 年 8 月 8~9 日地面天氣圖

101年10月2日至10月4日監測採樣時間的天氣，如圖4-1-3所示，台灣地區也是明顯受到颱風影響，天氣型態為熱帶低壓天氣型態，台灣東南方受到熱帶低氣壓馬力斯颱風的外圍環流以及鋒面影響，大氣環境呈現風速大且不穩定的天氣型態，此時東半部以北風為主，而西半部則是以西北風為主導。

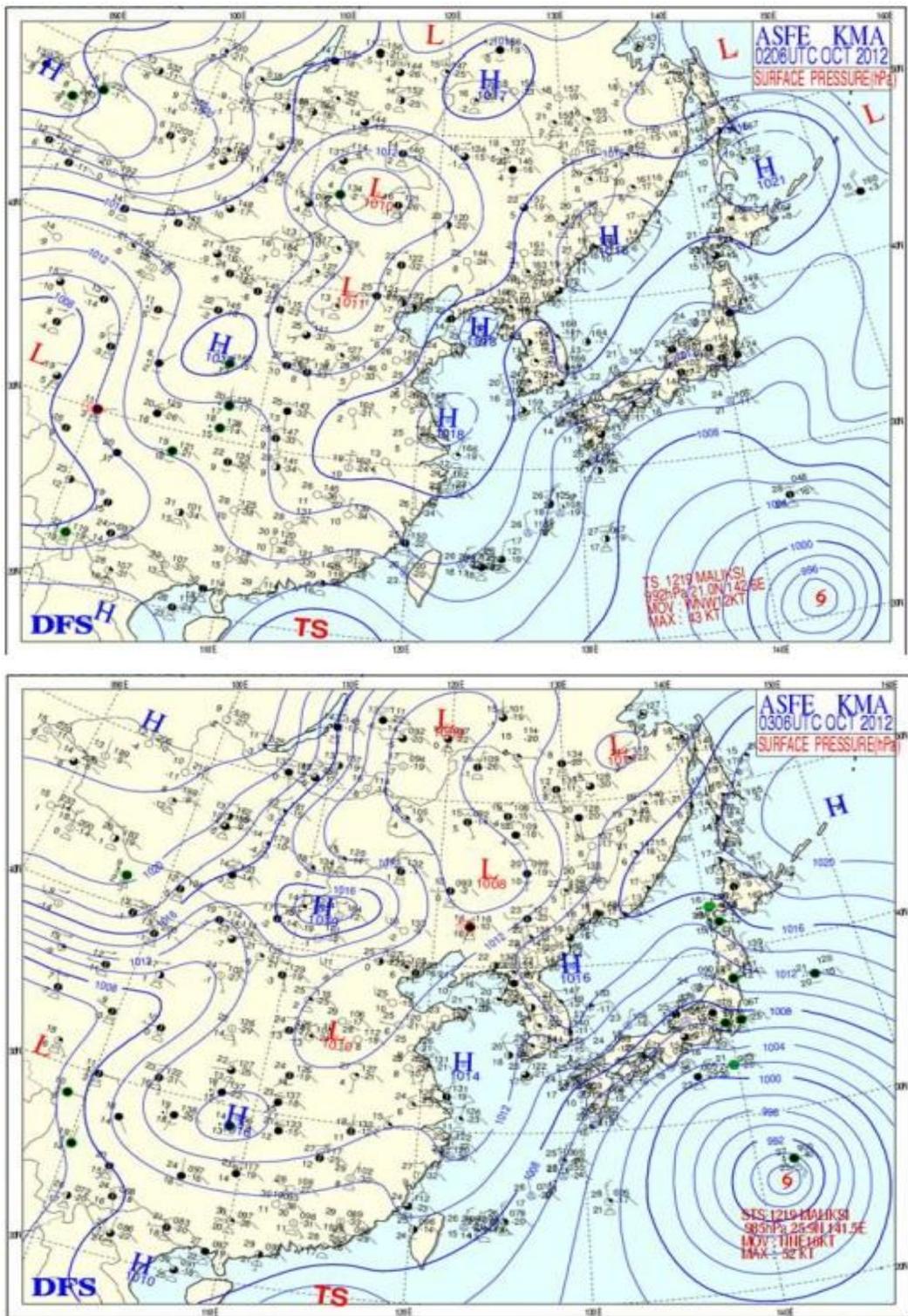


圖 4-1-4 101 年 10 月 2~3 日地面天氣圖

### 4-3 熱島強度案例分析

本研究探討細懸浮微粒  $PM_{2.5}$  與臭氧  $O_3$ ，故選取灣環保署中部地區環境監測站  $PM_{2.5}$  與  $O_3$  之監測資料繪製成水平污染物濃度圖，再加上中央氣象局氣象監測站氣象資料，明顯呈現出中部地區風場即時狀況。也利用監測站溫度即時值資料呈現中部空品區水平溫度圖。

透過3月監測採樣期間台中都會區之溫度統計(圖4-3-1、圖4-3-2)，大里地區平均溫度最高，而大甲地區平均溫度最低，故3月案例由大甲做為基準站。統計結果顯示大里地區3月監測採樣期間的熱島強度最強到 $7^{\circ}C$ ，而熱島強度最低為 $1^{\circ}C$ 。

10月監測採樣期間台中都會區之溫度統計(圖4-3-3、圖4-3-4)，也是同樣大里地區平均溫度最高，后里的平均溫度最低，所以10月案例就由後裡最為基準站。統計結果顯示大里地區10月監測採樣期間的熱島強度最強到 $6^{\circ}C$ ，而熱島強度最低為 $1^{\circ}C$ 。

在文獻回顧提到，都市熱島效應容易於穩定晴朗的氣候情況下發展，因此風場對熱島效應導致污染物濃度累積有很大的關鍵因素。熱島效應產生之輻合現象，形成所謂的都市環流，此環流可能造成鄰近地區之污染物累積於都市上空，影響都市空氣品質，甚至於次日藉由盛行風將累積之污染物傳輸至其它地區。因此，本研究於案例期間都市熱島發展時段，進行熱島效應以及風場的相互關係進行探討。

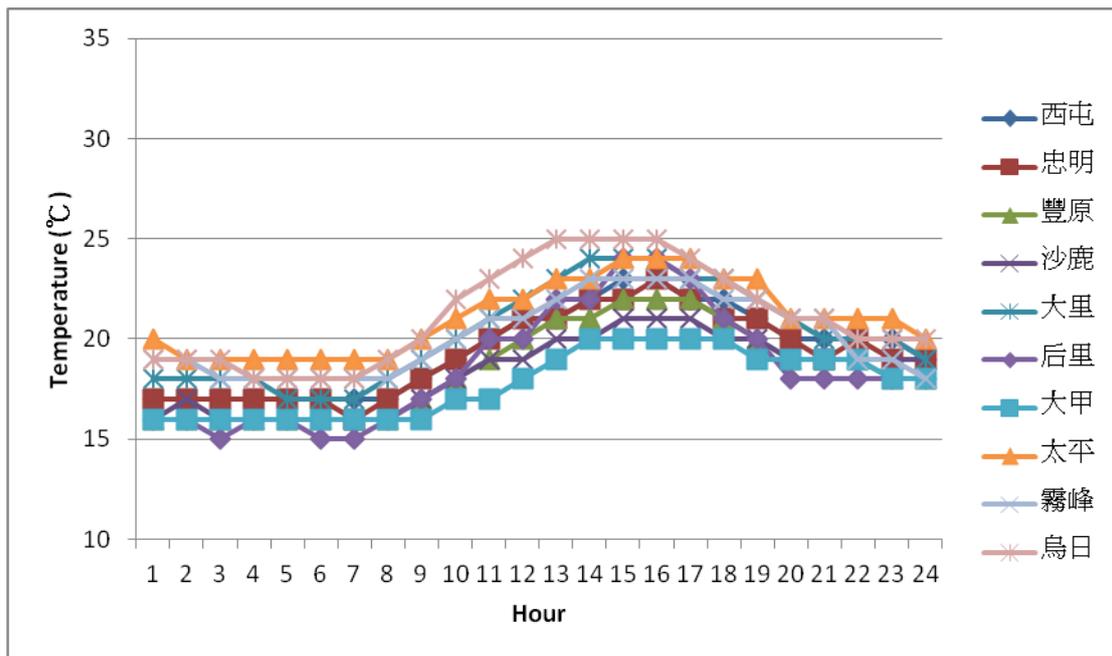


圖 4-3-1 3 月 21 日溫度統計圖

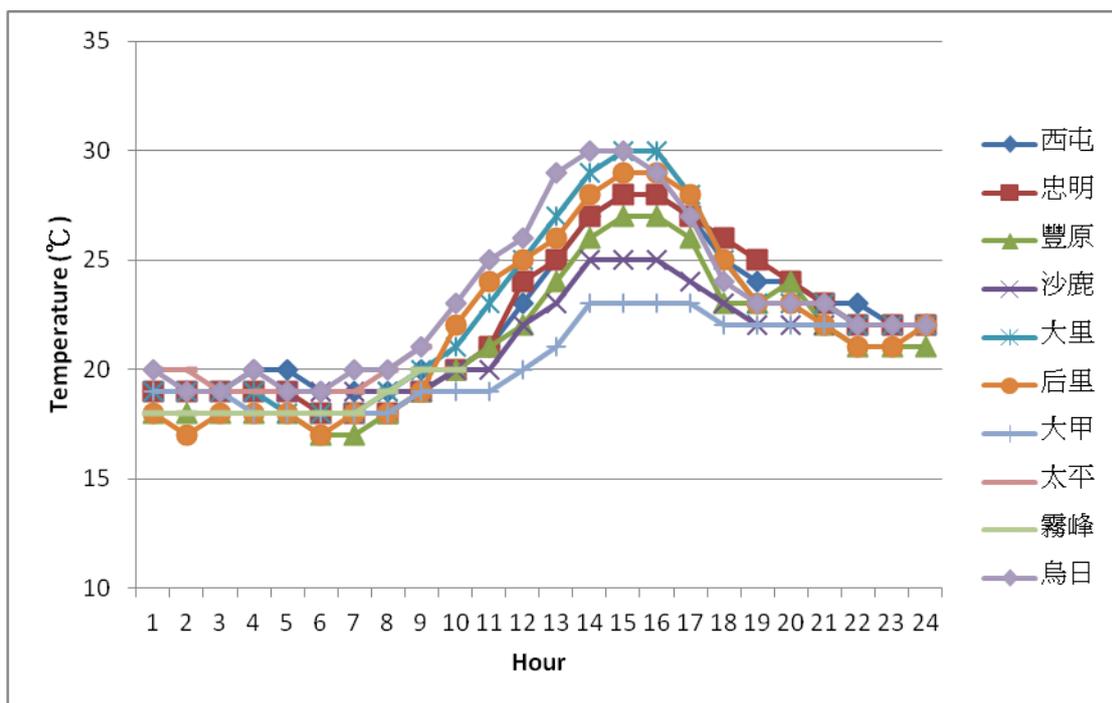


圖 4-3-2 3 月 22 日溫度統計圖

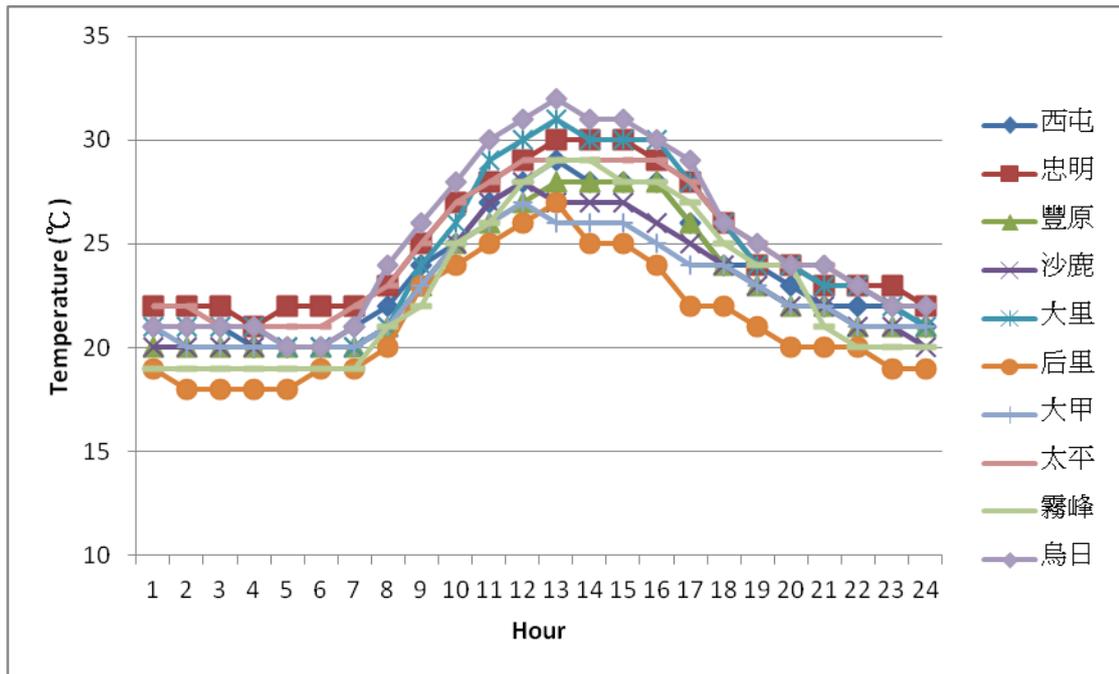


圖 4-3-3 10月3日溫度統計圖

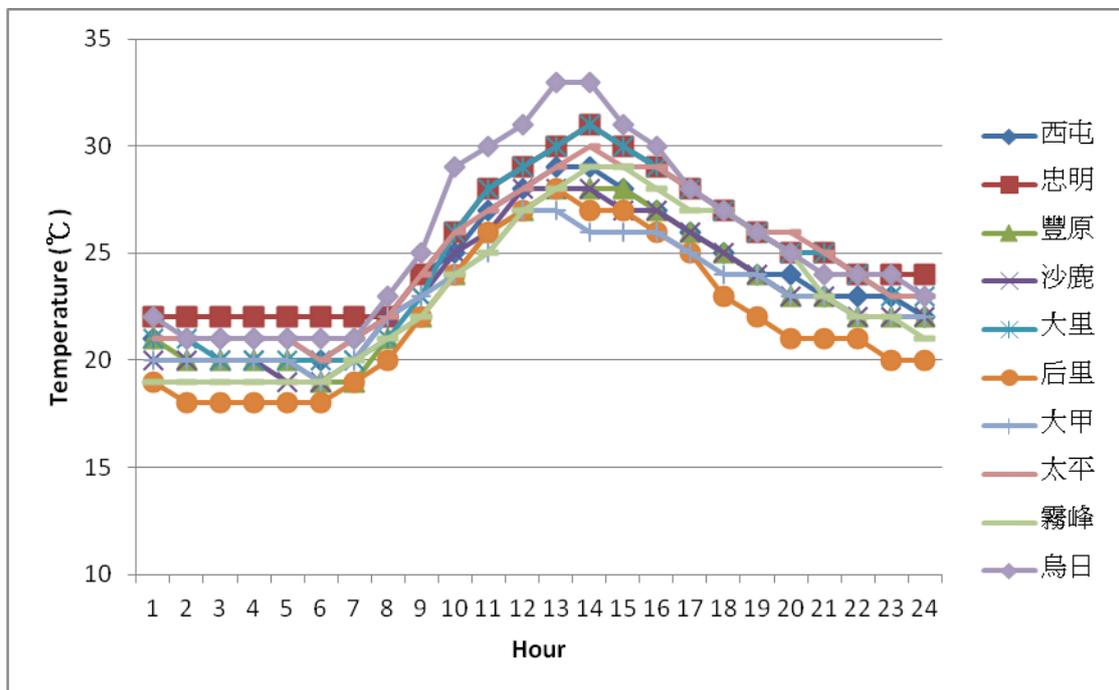


圖 4-3-4 10月4日溫度統計圖

### 4-3-1 熱島效應的日變化

圖4-3-5與圖4-3-6是3月監測採樣期間都市(大里測站)與郊區(大甲測站)的每小時氣溫變化及差別比較圖、而圖4-3-7與圖4-3-8是10月監測採樣期間都市(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4-3-9~圖4-3-12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。

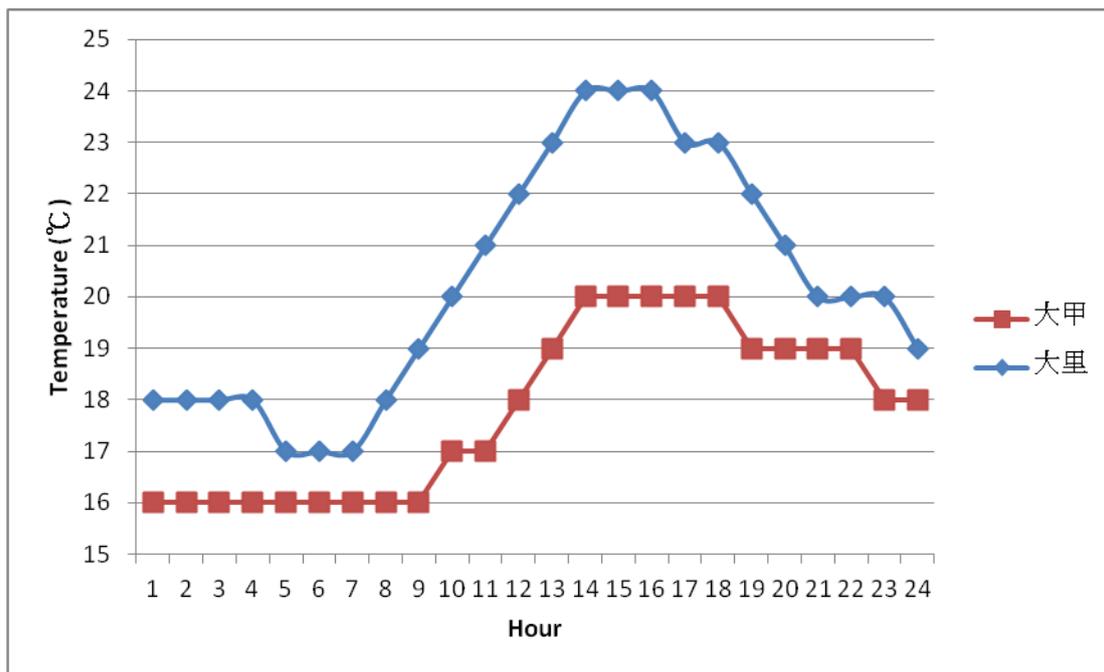


圖 4-3-5 3月21日大里與大甲地區的氣溫日變化圖

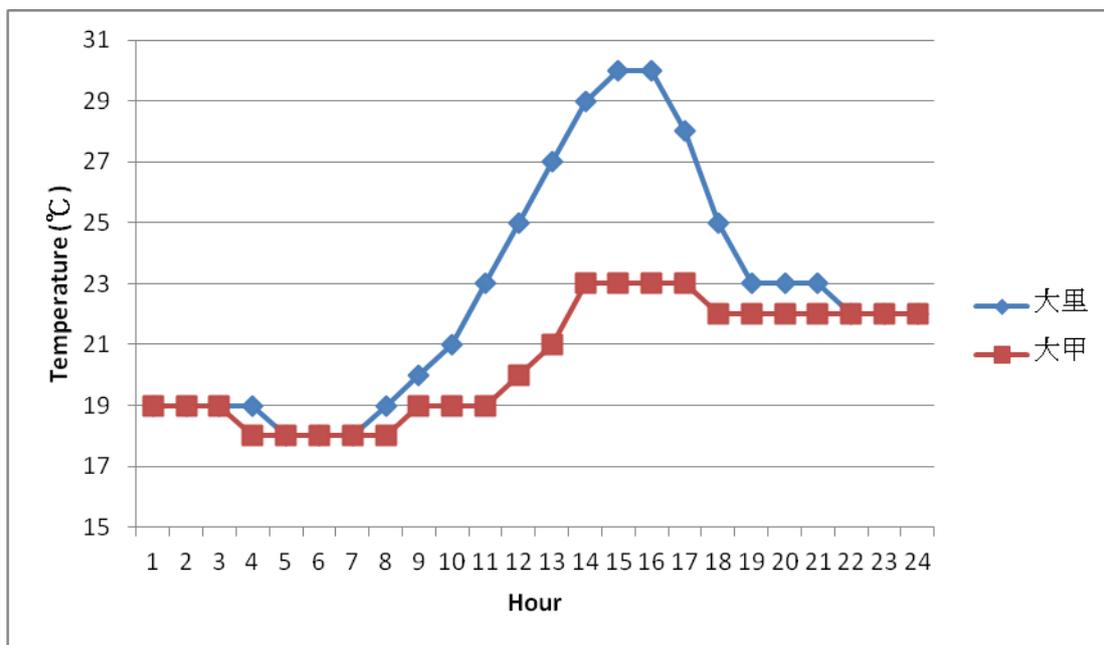


圖 4-3-6 3月22日大里與大甲地區的氣溫日變化圖

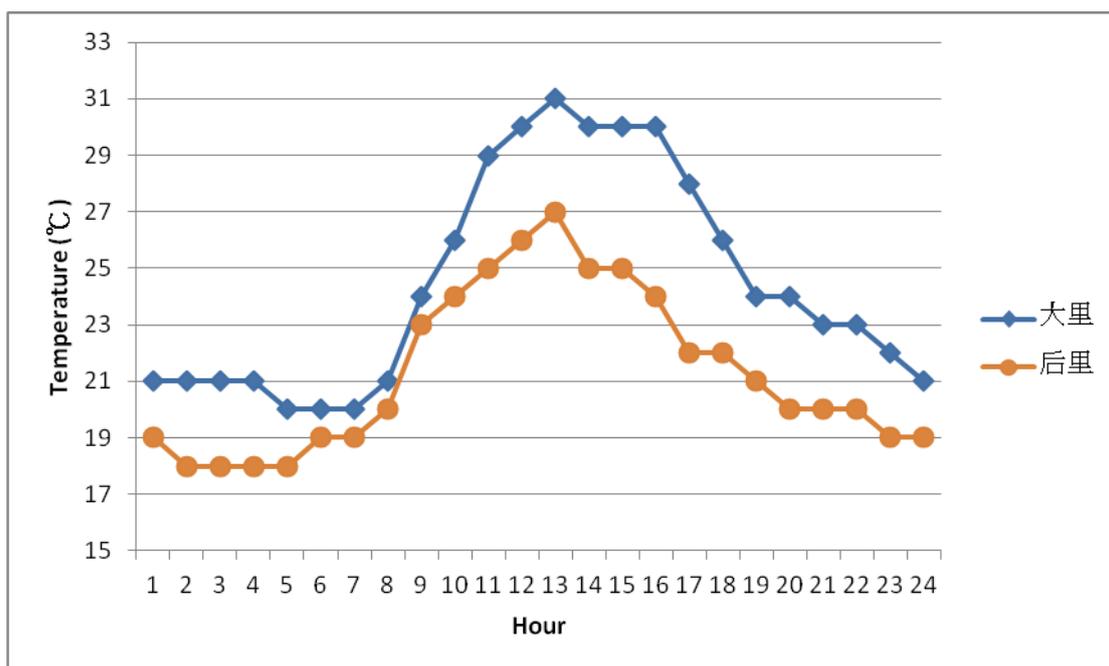


圖 4-3-7 10月3日大里與后里地區的氣溫日變化圖

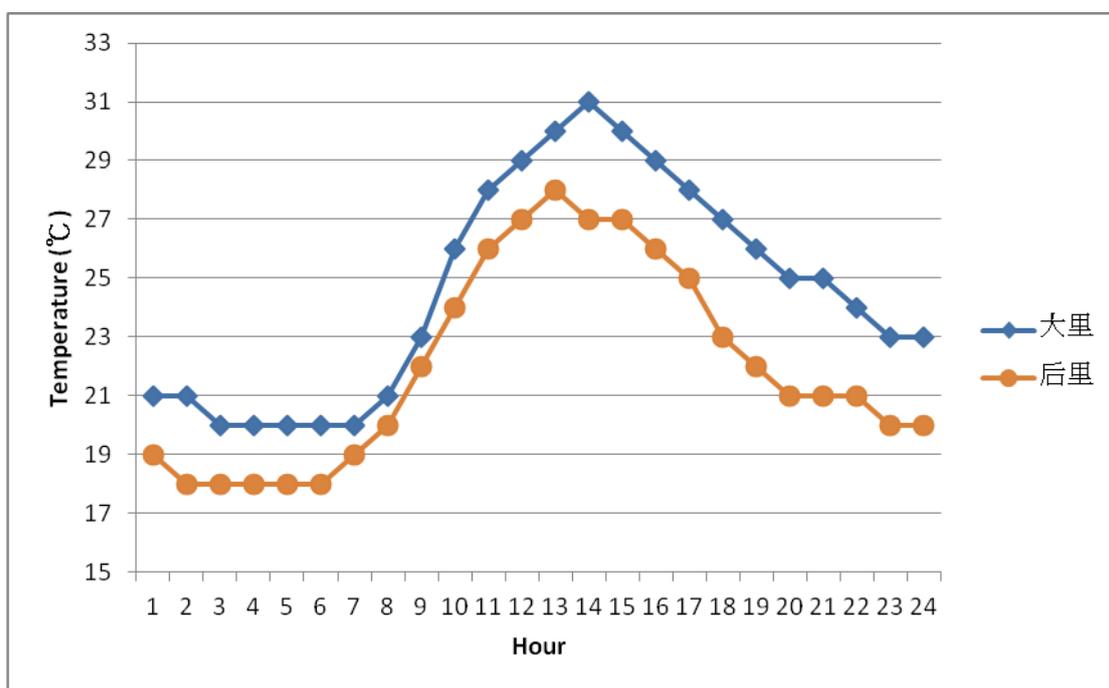


圖 4-3-8 10月4日大里與后里地區的氣溫日變化圖

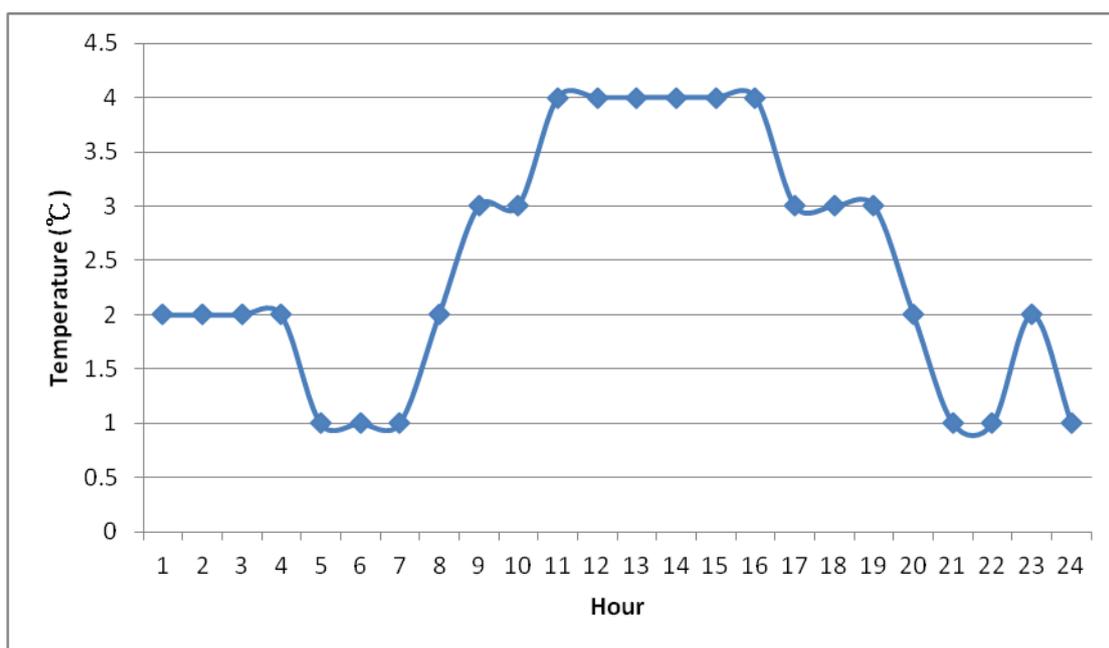


圖 4-3-9 3月21日大里大甲地區的氣溫差(Tu-r)日變化圖

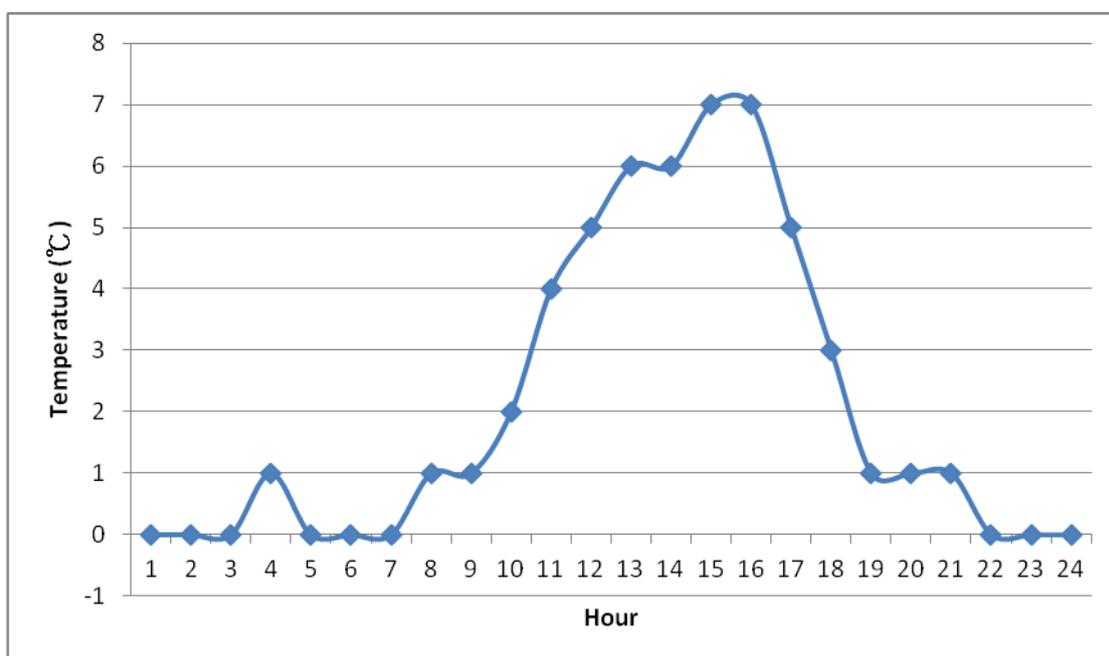


圖 4-3-10 3月2日大里大甲地區的氣溫差(Tu-r)日變化圖

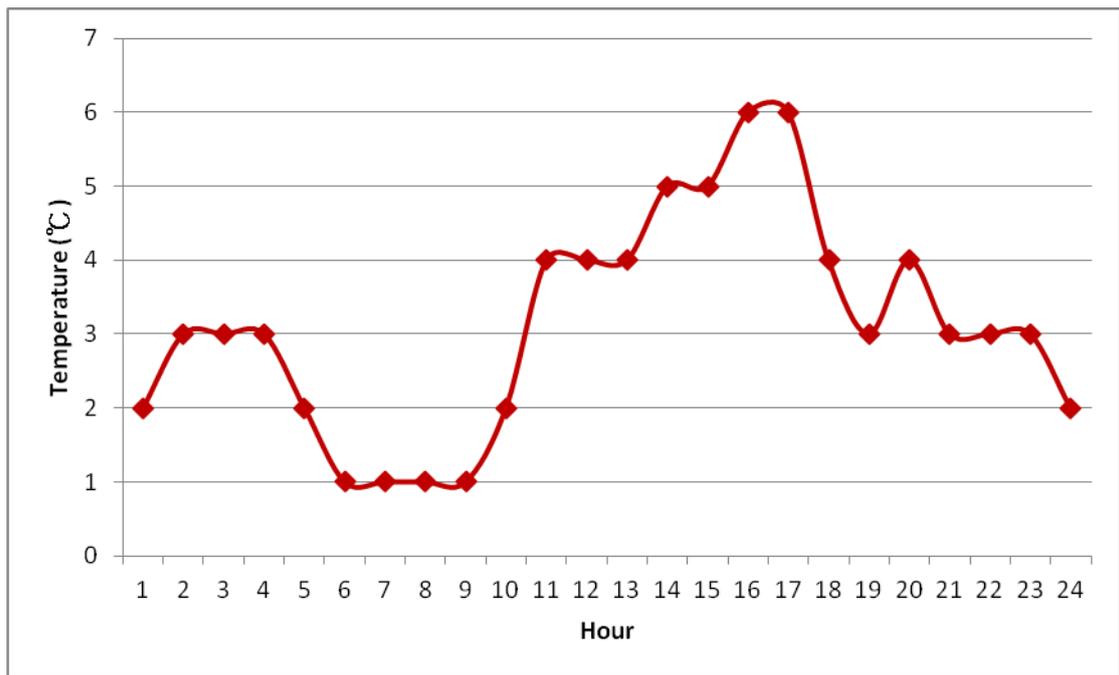


圖 4-3-11 10月3日大里后里地區的氣溫差(Tu-r)變化圖

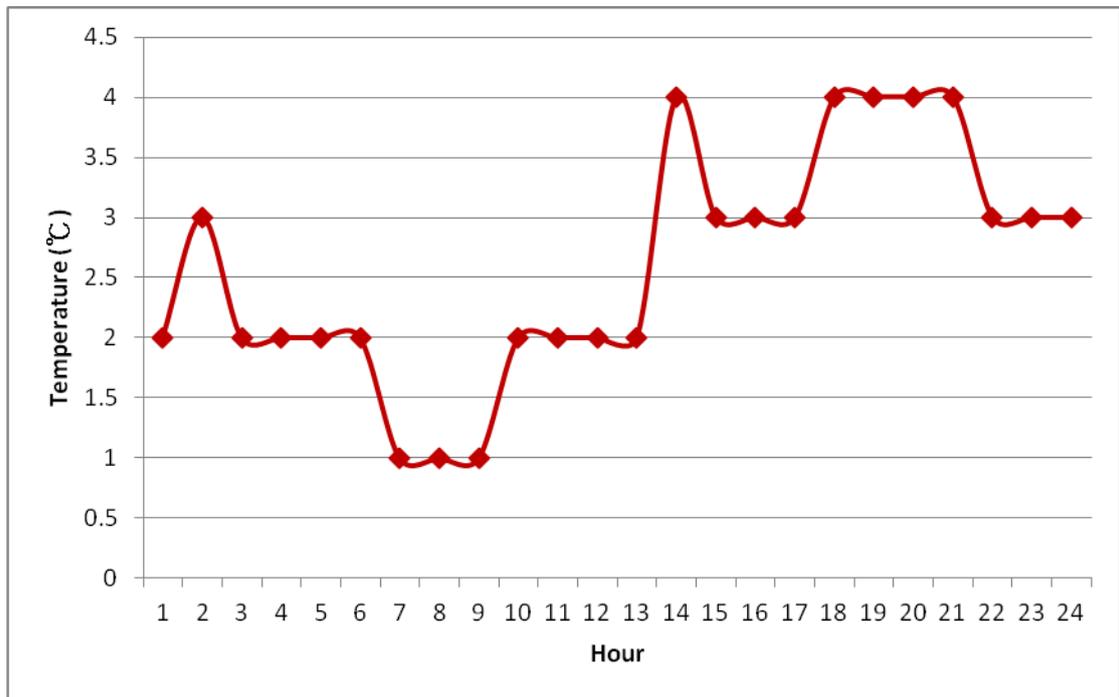


圖 4-3-12 10月4日大里后里地區的氣溫差(Tu-r)日變化圖

## 4-4 PM<sub>2.5</sub> 監測採樣案例分析

### 4-4-1 3月採樣期間

台中都會區，白天為北風系主導之西面陸風以及夜晚東風系主導之海風，此海陸風轉換對風場的變化有一定的影響。另外，當夜晚都會地區周圍的風往熱島中心流動的時候，產生的輻合現象有助於熱島的發展，此時，有可能把鄰近地區排放的污染物傳輸累積於台中都會區而不易擴散出去。

3月21日大里的平均熱島強度(大甲地區為基準站)為2.5°C，而最強的熱島強度發生在中午過後到下午接近傍晚，此時段的平均熱島強度到達4°C。在0000LST時，圖4-4-2(A)，台中都會區受到強烈的東南風與沿海的陸風影響，此時沿海沙鹿、梧棲的風速來到6ms<sup>-1</sup>，平均熱島強度約只有1.5°C，雖不明顯，但已有污染物累積產生，大里地區的PM<sub>2.5</sub>濃度高達42µg/m<sup>3</sup>。在旺盛的北風帶動下，三義地區與沙鹿地區風速高達6.8ms<sup>-1</sup>與6.9ms<sup>-1</sup>，強勁的北風污染物將逐漸向南面彰化、二林吹送，雖然在旺盛的北風作用下，台中都會區的污染物都往南方傳輸，但在大里地區卻是吹著微弱的西面海風，此時風速1.9ms<sup>-1</sup>，污染物又開始在此累積，再加上清晨過後，人類開始外出活動，圖4-4-2(D)，大里地區累積污染物PM<sub>2.5</sub>濃度28µg/m<sup>3</sup>，而此時大里地區的熱島強度為3°C。1200LST圖4-4-3(A)在西面海風持續作用下，

再加上中央山脈地形阻隔關係，累積在大里地區的污染物被傳輸到南方的南投附近。1500LST圖4-4-3(B)，雖然沿海與北面風速依舊強勁，但是熱島效應逐漸顯著，大里地區熱島強度高達 $4^{\circ}\text{C}$ ，此時大里污染物 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度達 $38\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，爾後風速逐漸降低，但由於先前風速強勁，又因沿海海風持續向陸地吹送，所以將沿海的污染物往內陸輸送，而台中都會區之 $\text{PM}_{2.5}$ 帶往彰化地區。到了1800LST圖4-4-3(C)，綜觀中部空品區之風場處於微風狀態，故污染物得以在此時於彰化地區累積，大里地區之 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度降低，但彰化地區之 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度逐漸升高。晚間1800~2100點正值下班時間，交通流量龐大，導致 $\text{PM}_{2.5}$ 在台中市區濃度偏高。

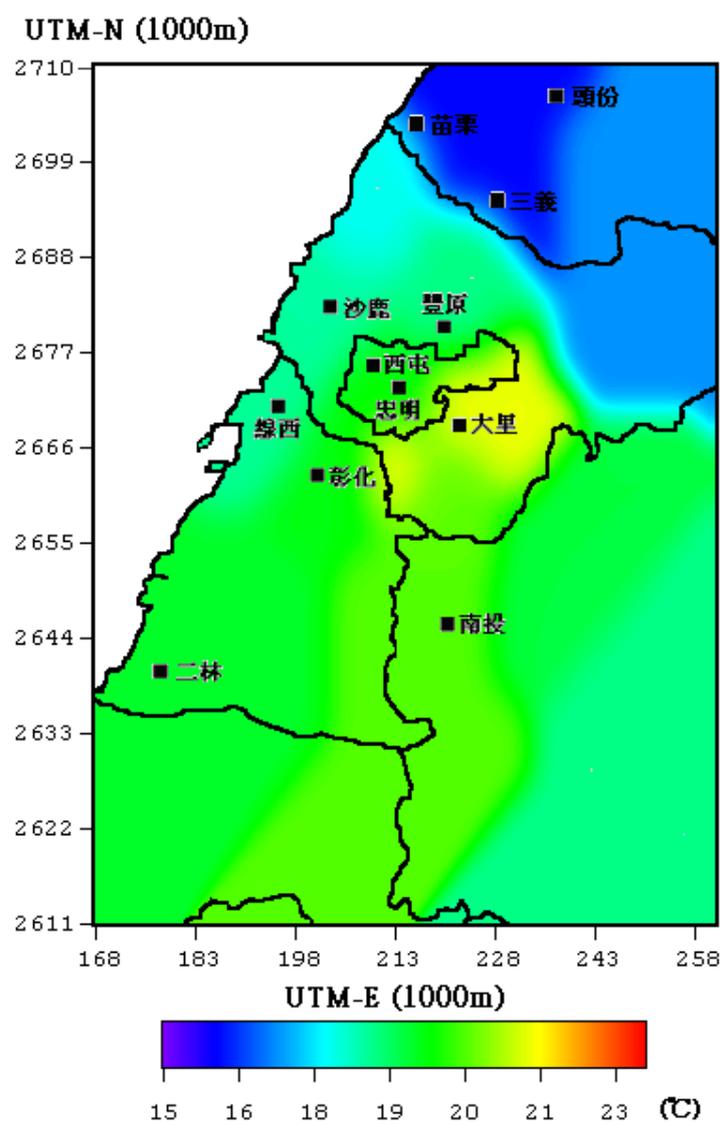
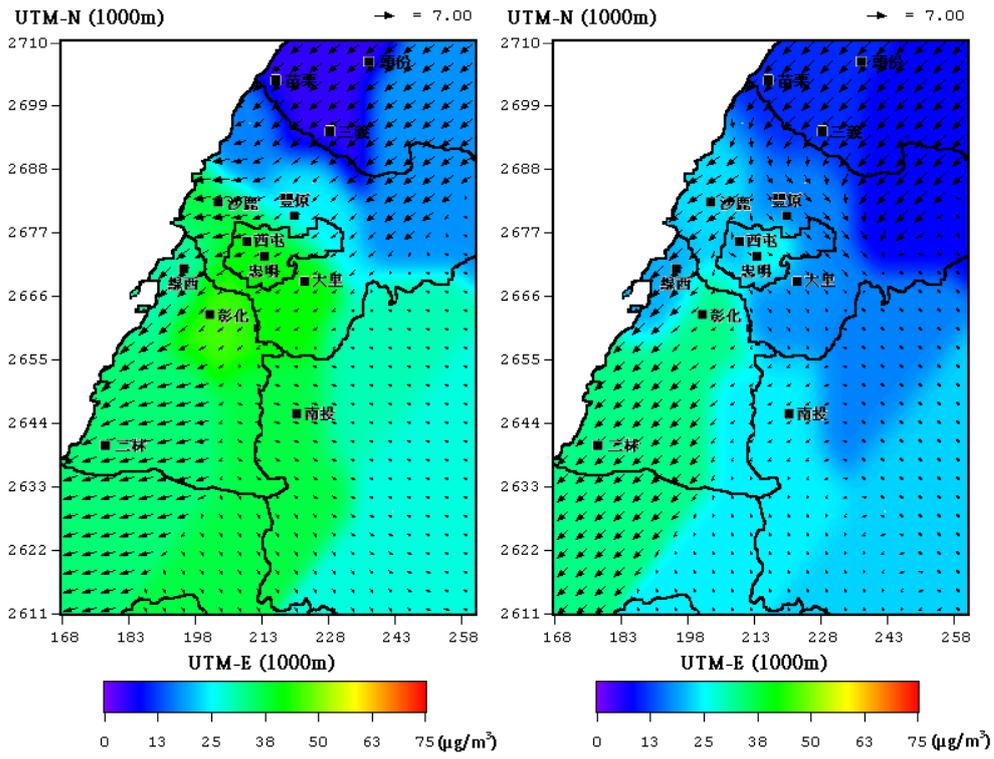
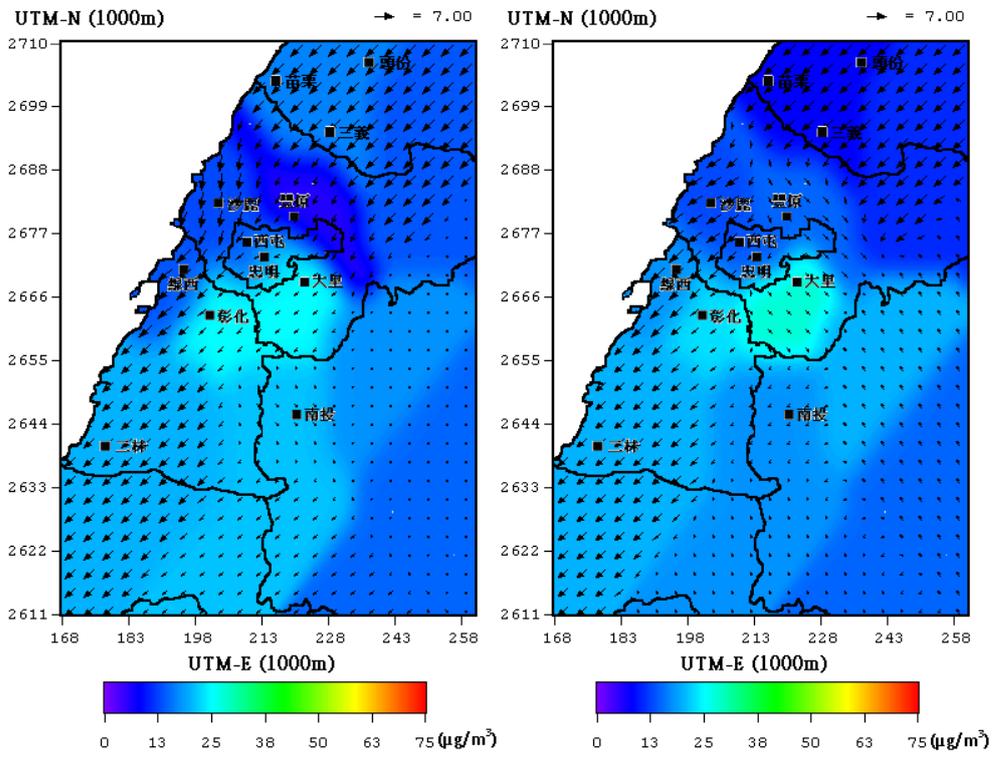


圖4-4-1 3月21日中部空品區水平日平均溫度圖



(A)00:00

(B)03:00



(C)06:00

(D)09:00

圖 4-4-2 3 月 21 日 (A)0000LST、(B)0300LST、(C)0600LST、(D)0900LST

水平風場與 PM<sub>2.5</sub> 濃度圖



## 水平風場與 PM<sub>2.5</sub> 濃度圖

3月22日大里平均熱島強度(大甲地區為基準站)為 2.1°C，而最高熱島強度出現在下午 1500LST，熱島強度為 7°C。0000LST 圖 4-4-5(A)，由於熱島效應不顯著，綜觀中部空品區之風場微弱，此時風速皆在 1.5 ms<sup>-1</sup> 左右，且半夜時刻無交通源之影響，故各地區 PM<sub>2.5</sub> 濃度無顯著之差異。從 0000LST~0300LST 風速逐漸增強，且中部空品區盛行東北風，故中部以北之 PM<sub>2.5</sub> 隨著東北風傳輸至台中都會區，又因大里地區風速相當微弱，約為 0.5 ms<sup>-1</sup>，故污染物容易在此地區累積，此時大里 PM<sub>2.5</sub> 濃度為 41µg/m<sup>3</sup>。0600LST 圖 4-3-17(C)，沿海地區風向轉為西北風，往大里方向吹送，且中部以北之東北風比起 0300LST 更為強勁，故污染物不易擴散。1200LST 圖 4-4-6(A)，此時西北海風強勁，沿海地區沙路一帶風速達 4.1 ms<sup>-1</sup>，不斷往內陸吹送，將污染物帶進台中市區，中部以北亦吹拂旺盛之東北風，並將污染物傳輸進入台中都會區，反觀大里地區風速平緩，且熱島效應逐漸顯著，此時大里地區之熱島強度高達 5°C，故污染物開始在此累積，此時 PM<sub>2.5</sub> 濃度達 56µg/m<sup>3</sup>。到了 1500LST 圖 4-4-6(B)出現四次監測採樣期間最強熱島強度發生的時段，大里熱島效應非常顯著，熱島強度高達 7°C，強烈的熱島效應伴隨著輻合現象，風速明顯減弱且風向有明顯的轉變成往大里集中的趨勢，導致污染物不易往外擴散，因此大里

也測得四次監測採樣時間最高 PM<sub>2.5</sub> 濃度，加上綜觀風場以強勁的西北風為主導，不斷往大里地區吹拂，此時 PM<sub>2.5</sub> 濃度高達 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

1500LST~1800LST，因熱島效應減弱，大里地區熱島強度降低，且風速微增，故 PM<sub>2.5</sub> 濃度稍微降低，但綜觀台中空品區風場還是處於微弱風狀態，所以污染物也不易擴散出去。1800LST~2100LST 處於下班時間，交通量增加，污染物排放量也隨之增加，而大里地區的風速又稍微減弱，所以此時再次出現 PM<sub>2.5</sub> 高值 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

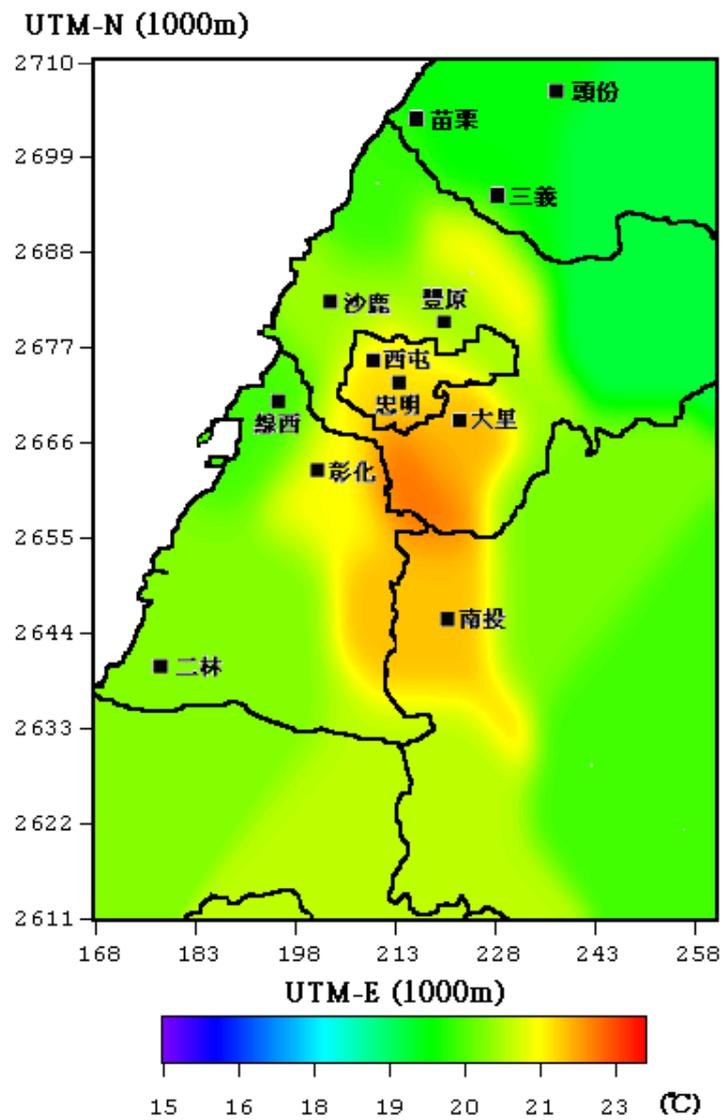


圖 4-4-4 3 月 22 日中部空品區水平日平均溫度圖

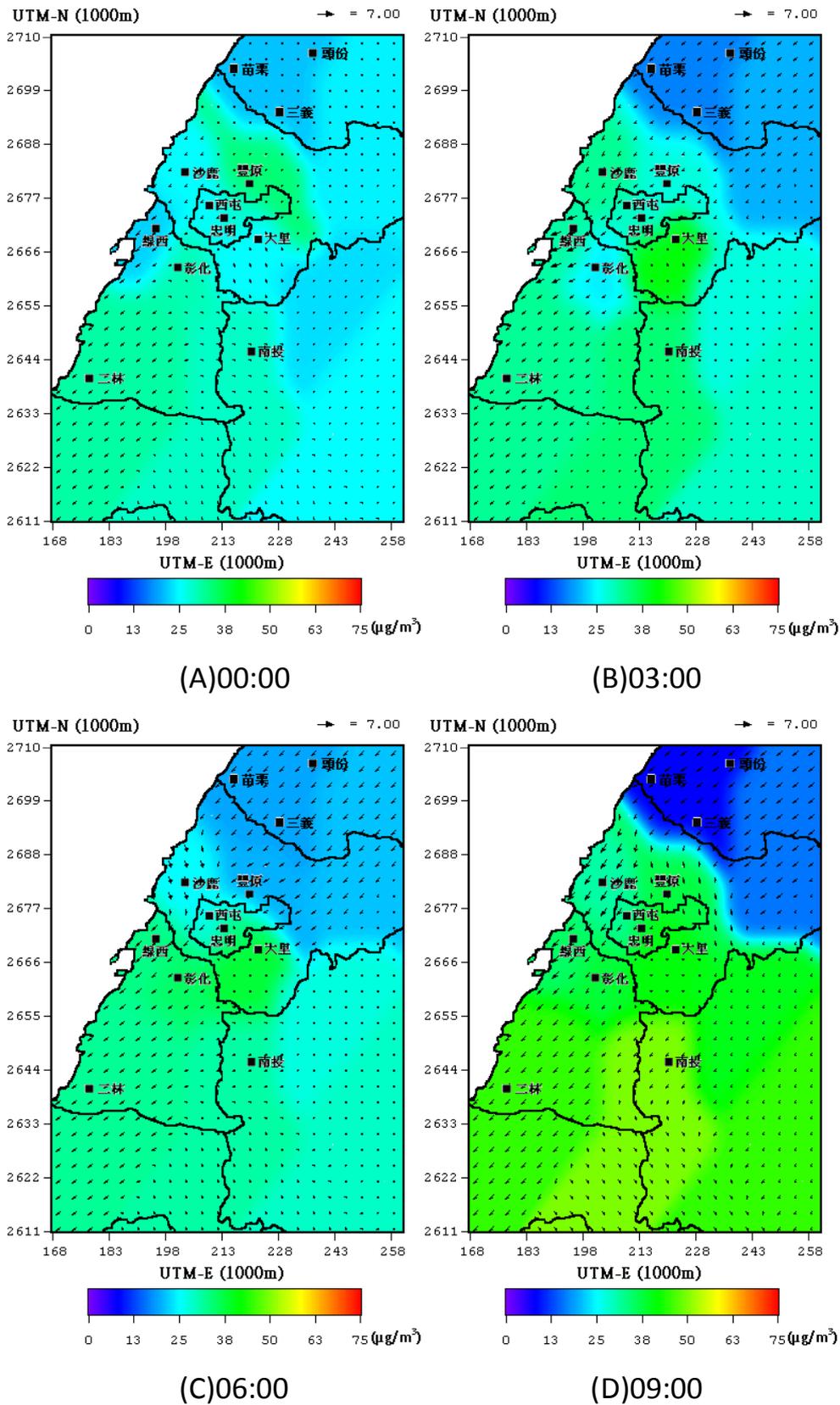


圖 4-4-5 3 月 22 日 (A)0000LST、(B)0300LST、(C)0600LST、(D)0900LST

### 水平風場與 PM<sub>2.5</sub> 濃度圖

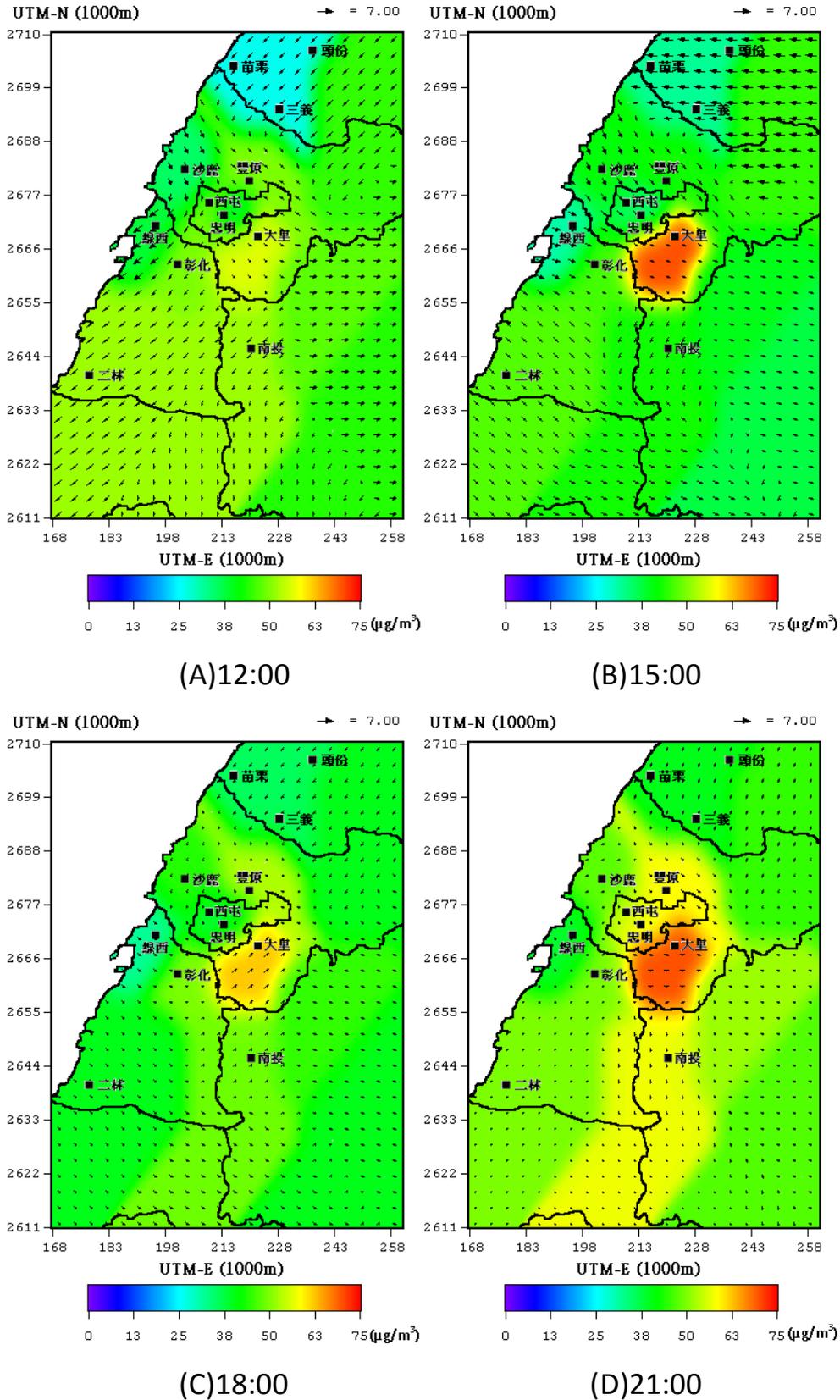


圖 4-4-6 3 月 22 日 (A)1200LST、(B)1500LST、(C)1800LST、(D)2100LST

## 水平風場與 PM<sub>2.5</sub> 濃度圖

### 4-4-2 10 月採樣期間

綜觀 10 月 3 日~10 月 4 日其天氣型態為熱帶低壓天氣型態，受到台灣東海面方向之颱風影響，監測採樣期間平均風速偏大，平均風速  $3.7 \text{ ms}^{-1}$ ，最大風速達  $6.8 \text{ ms}^{-1}$ 。10 月 3 日大里平均的熱島強度(以后里為基準站)為  $3.1^\circ\text{C}$ 。0000LST 圖 4-4-8(A)，綜觀風場風速趨於平均，污染物傳輸不易，又因深夜時段無其他排放源影響，故 PM<sub>2.5</sub> 濃度分佈趨於平均，但到了 0300LST，大里地區風速減弱，其他地方風速依舊強勁，且大里熱島效應逐漸顯著，故 PM<sub>2.5</sub> 濃度比周圍地區要高些。0600LST~1200LST，中部以北風速逐漸增強，綜觀風場以東北風為主體，其最大風速為  $6.6 \text{ ms}^{-1}$ ，其 PM<sub>2.5</sub> 隨風速的增加濃度呈現遞減狀態。1500LST 圖 4-4-9(B)，中部空品區各地風速持續增強，最大風速達到  $6.8 \text{ ms}^{-1}$ ，但大里地區熱島效應也持續增強，也因為強烈熱島效應所產生之輻合現象的影響，風速到大里有稍微減弱且風向有明顯的轉變成往大里地區集中的趨勢，污染物容易在此累積不易擴散，故大里此時 PM<sub>2.5</sub> 濃度也相較於其他中部空品區要高。

相較於 3 月 22 日 1500LST，10 月 3 日 1500LST 同樣熱島效應顯著時，也同樣產生明顯之輻合現象，有機會將鄰近的空氣污染物傳輸累積於熱島中心，而形成高污染事件，但 10 月因受到強烈的綜觀風

場影響，加上颱風外圍環流以及鋒面影響，PM<sub>2.5</sub>濃度並沒有3月來的高。

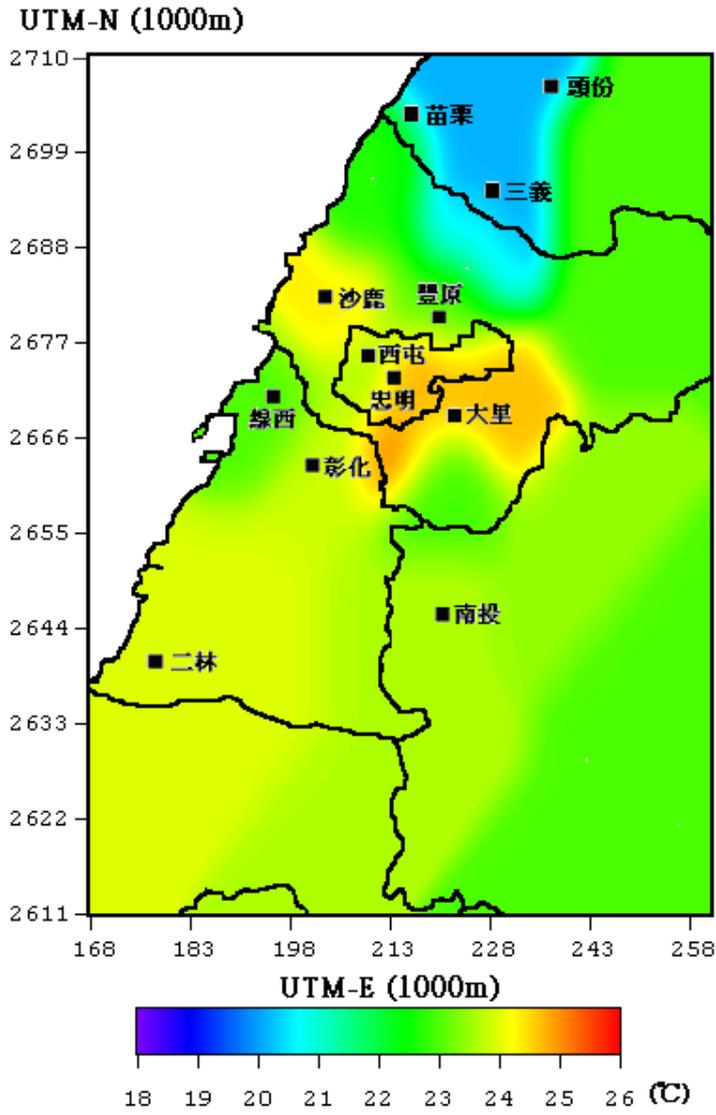
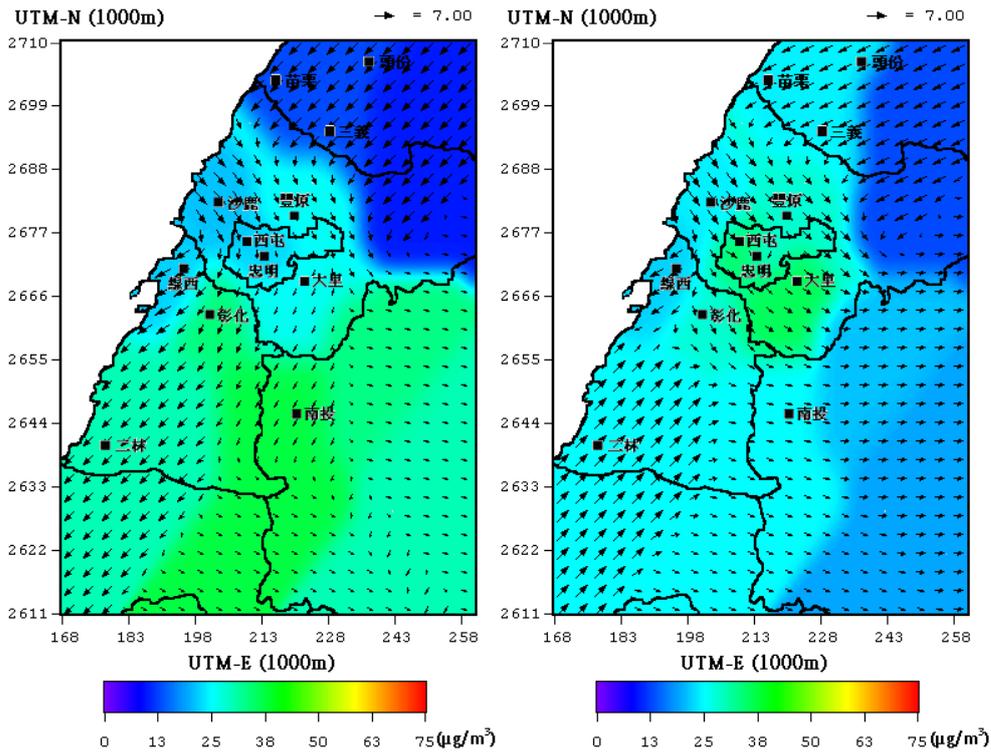


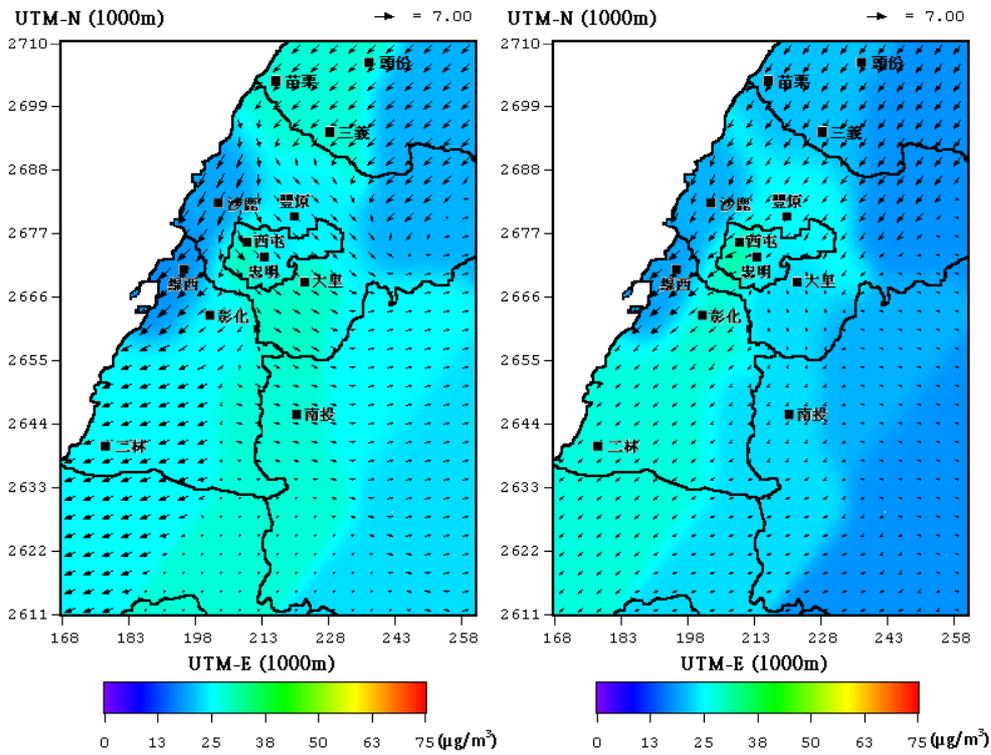
圖 4-4-7 10 月 3 日中部空品區水平日平均溫度圖





(A)12:00

(B)15:00



(C)18:00

(D)21:00

圖 4-4-9 10月3日(A)1200LST、(B)1500LST、(C)1800LST、(D)2100LST

水平風場與 PM<sub>2.5</sub> 濃度圖

10 月 4 日大里平均的熱島強度(以后里為基準站)為  $2.5^{\circ}\text{C}$ 。

0000LST 圖 4-4-11(A)此時大里溫度較周圍較高些，且風速貧弱只有  $0.9\text{ms}^{-1}$ ，污染物慢慢在此累積，此時大里  $\text{PM}_{2.5}$  濃度為  $36\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

0300LST~0600LST，豐原的風速減弱，但來自台中以北的西北風不斷吹送，將污染物傳輸到豐原一帶，但 0600LST 豐原風速又逐漸增強，再次將污染物擴散到周圍去，而大里地區都因為風場微弱，污染物不易傳輸到別的地方，故都擁有較高的  $\text{PM}_{2.5}$  濃度。0600LST~1200LST，綜觀風場風速增強，加上熱島效應並不明顯，故原本累積在大里的污染物慢慢被傳輸到周圍豐原、甚至到彰化、南投。而到了 1500LST 圖 4-4-12(B)，沿海地帶的強勁西面海風又將污染物往台中市內陸吹送，造成大里的污染物濃度較周圍要高些，但很快的，台中以北旺盛的東南風不斷吹拂，台中都會區的污染物都不易累積。

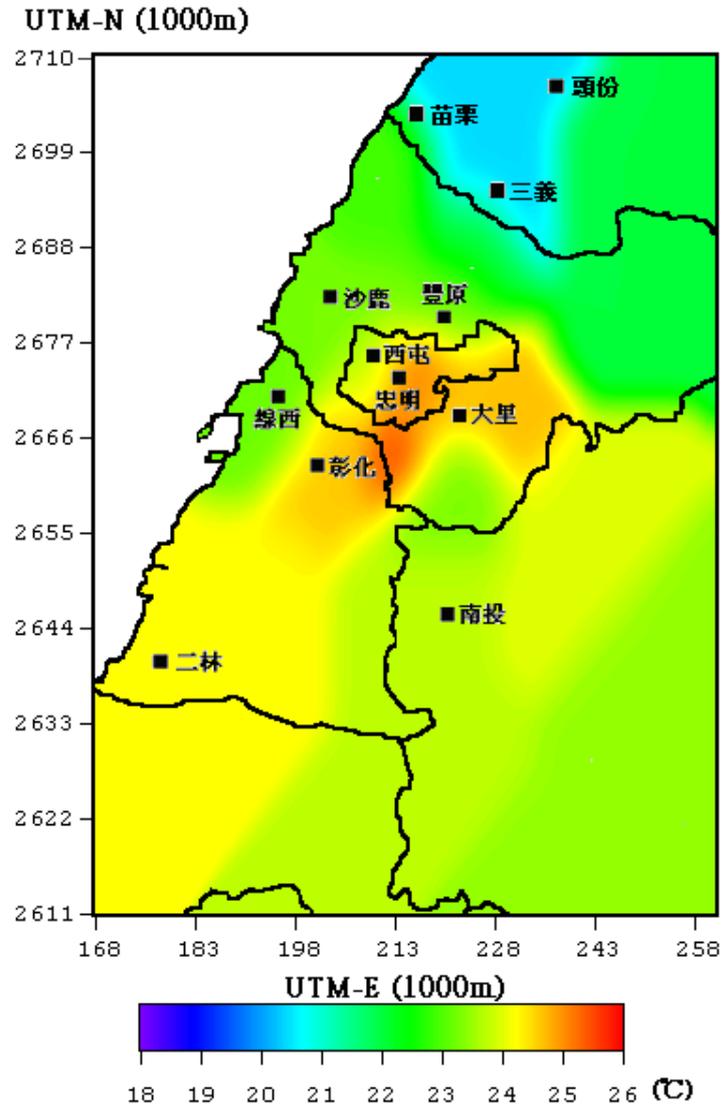


圖 4-4-10 10 月 4 日中部空品區水平日平均溫度圖

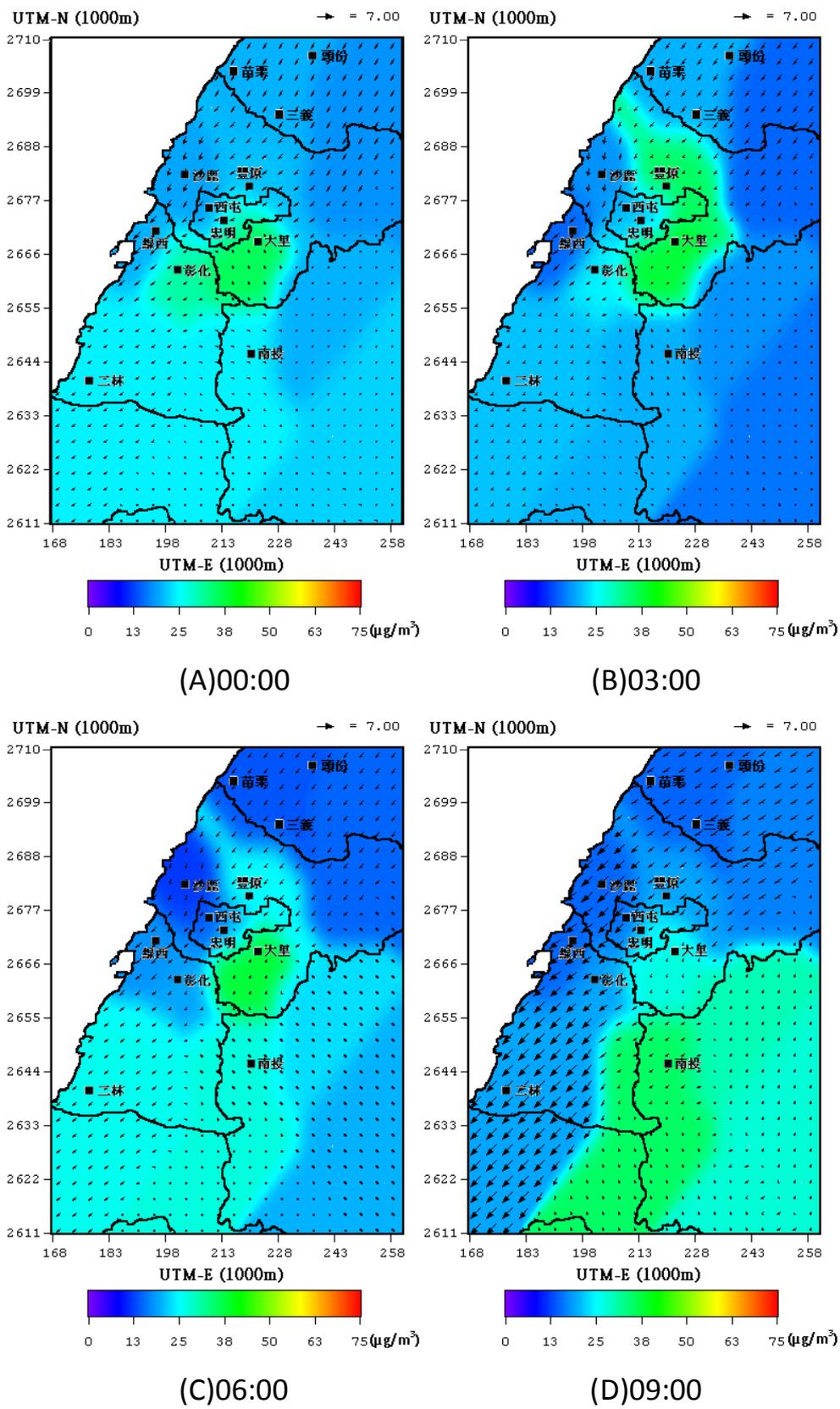
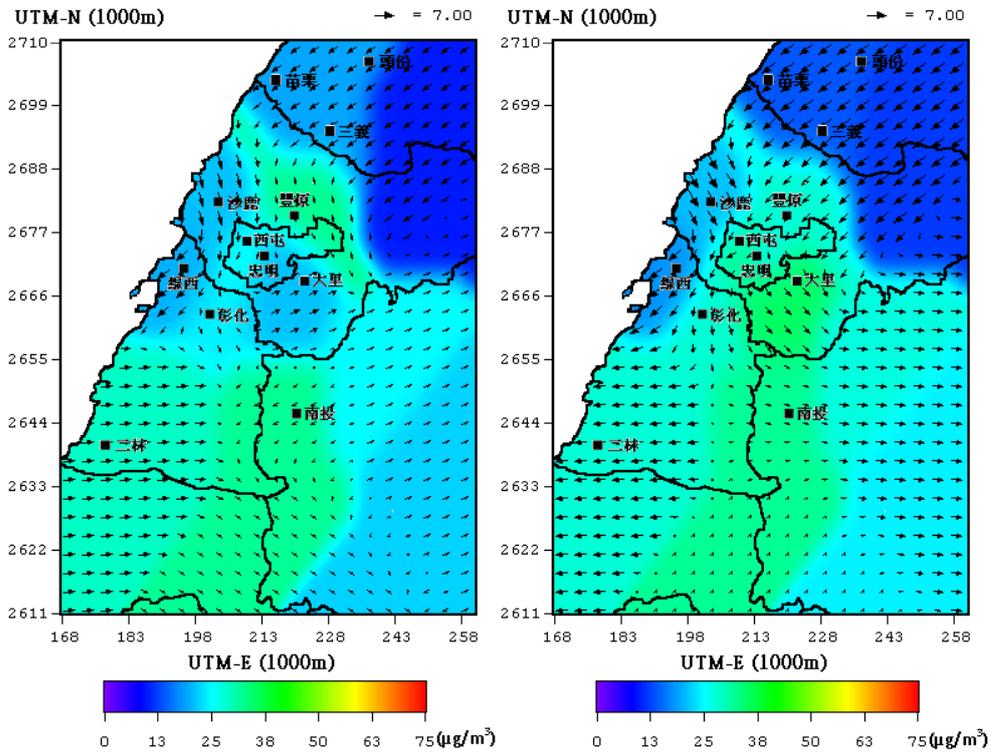


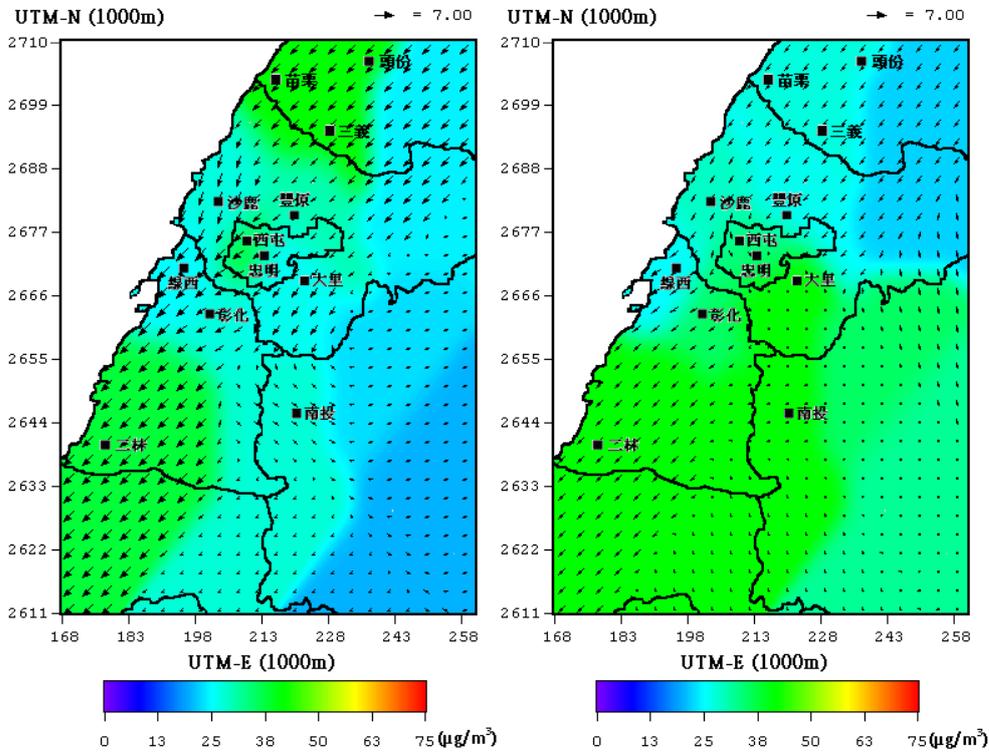
圖 4-4-11 10 月 4 日 (A)0000LST、(B)0300LST、(C)0600LST、(D)0900LST

### 水平風場與 PM<sub>2.5</sub> 濃度圖



(A)12:00

(B)15:00



(C)18:00

(D)21:00

圖 4-4-12 10月4日(A)1200LST、(B)1500LST、(C)1800LST、(D)2100LST

## 水平風場與 PM<sub>2.5</sub> 濃度圖

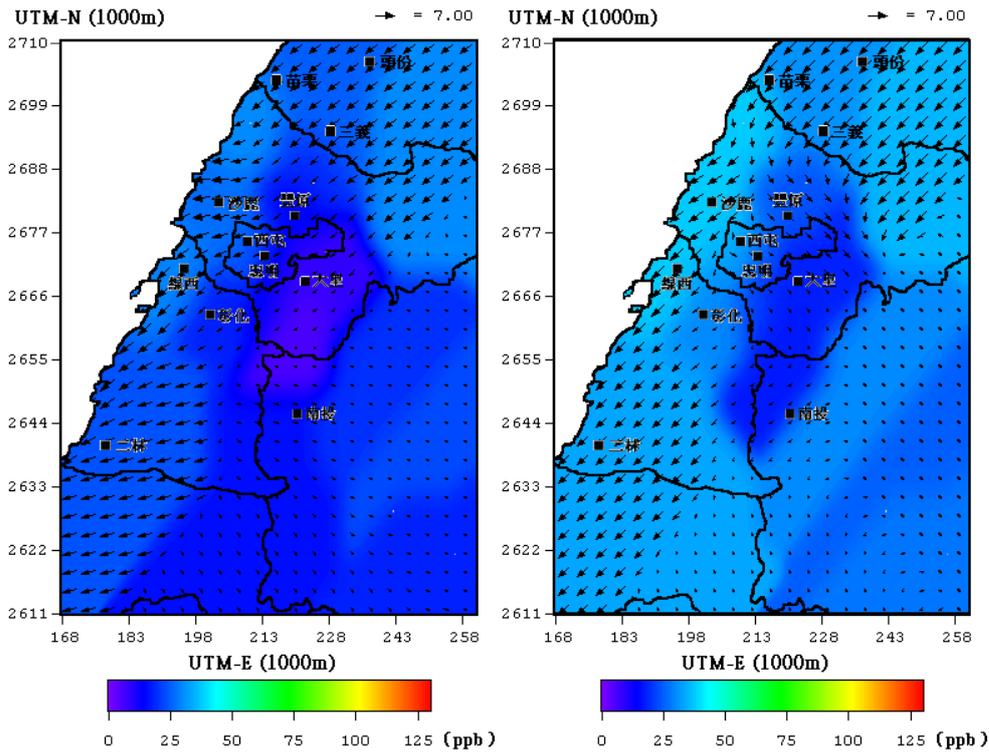
## 4-5 O<sub>3</sub> 監測採樣案例分析

### 4-5-1 3月採樣期間

台中都會區，白天為北風系主導之陸風以及夜晚西風系主導之海風，此海陸風轉換對風場的變化有一定的影響。另外，當夜晚都會地區周圍的風往熱島中心流動的時候，產生的輻合現象有助於熱島的發展，此時，有可能把鄰近地區排放的污染物傳輸累積於台中都會區。

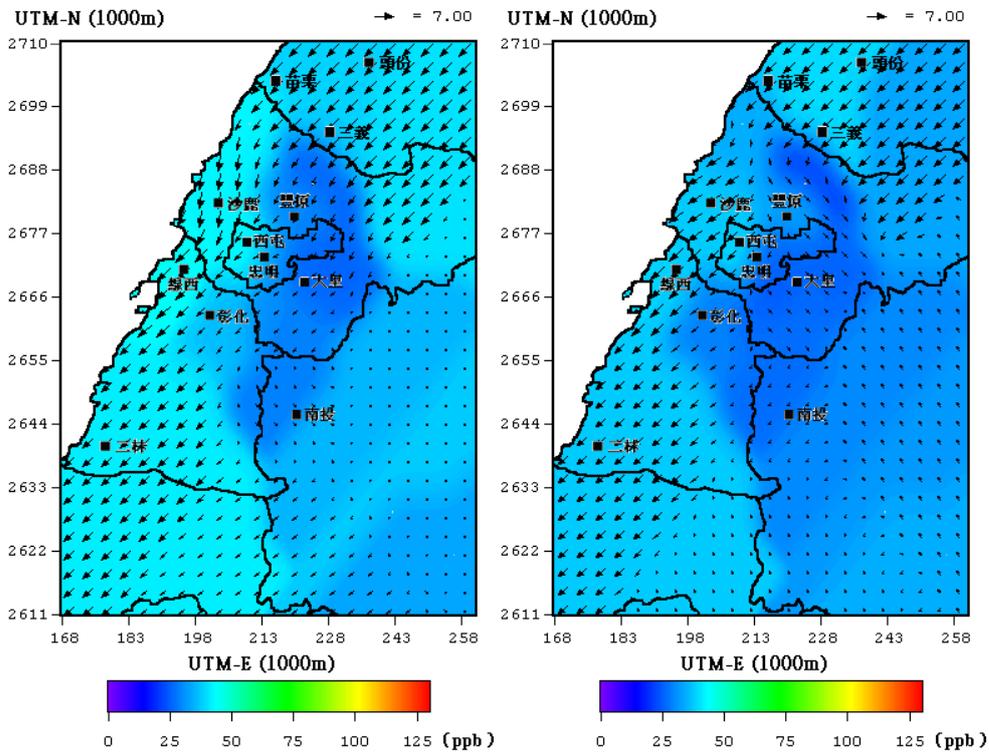
3月21日大里的平均熱島強度(大甲地區為基準站)為2.5°C，而最強的熱島強度發生在中午過後到下午接近傍晚，此時段的平均熱島強度到達4°C。對流層之O<sub>3</sub>主要由NO<sub>2</sub>經光化學反應所造成白天大氣中NO<sub>2</sub>經太陽紫外線分解而解離成NO及O分子，同時再藉由觸媒M等介質(可能為N<sub>2</sub>或O<sub>2</sub>)催化，產生O<sub>3</sub>。在夜晚到早晨期間圖4-5-1(A)~(D)，台中都會區受到強烈的東南風與沿海的陸風影響，此時沿海沙鹿、梧棲的風速來到6ms<sup>-1</sup>，平均熱島強度約只有1.5°C，污染物皆不易累積，污染濃度偏低，但中午過後1200LST~1800LST圖4-5-2(A)~(C)，充裕的陽光持續照射下，溫度也逐漸上升，O<sub>3</sub>前驅物經強烈的光化學反應作用下，再加上人為活動，交通流量增大，排放量增加，O<sub>3</sub>逐漸形成累積，且大里、霧峰等周圍地區風速貧弱，此時風速約1.9ms<sup>-1</sup>，大里地區內部風向有明顯的轉變，且周圍缺乏較大風速將污染物傳輸至沿海地區或是內陸地區，此時污染物不易擴散且容易累積至熱島中心大里

地區。圖4-5-2(B)1500LST，在大里與霧峰等地，由於熱島效應逐漸顯著，大里地區熱島強度高達4°C，此時大里污染物O<sub>3</sub>濃度達55ppb，且對照先前所提之PM<sub>2.5</sub>濃度，在此時也達38μg/m<sup>3</sup>。



(A)00:00

(B)03:00

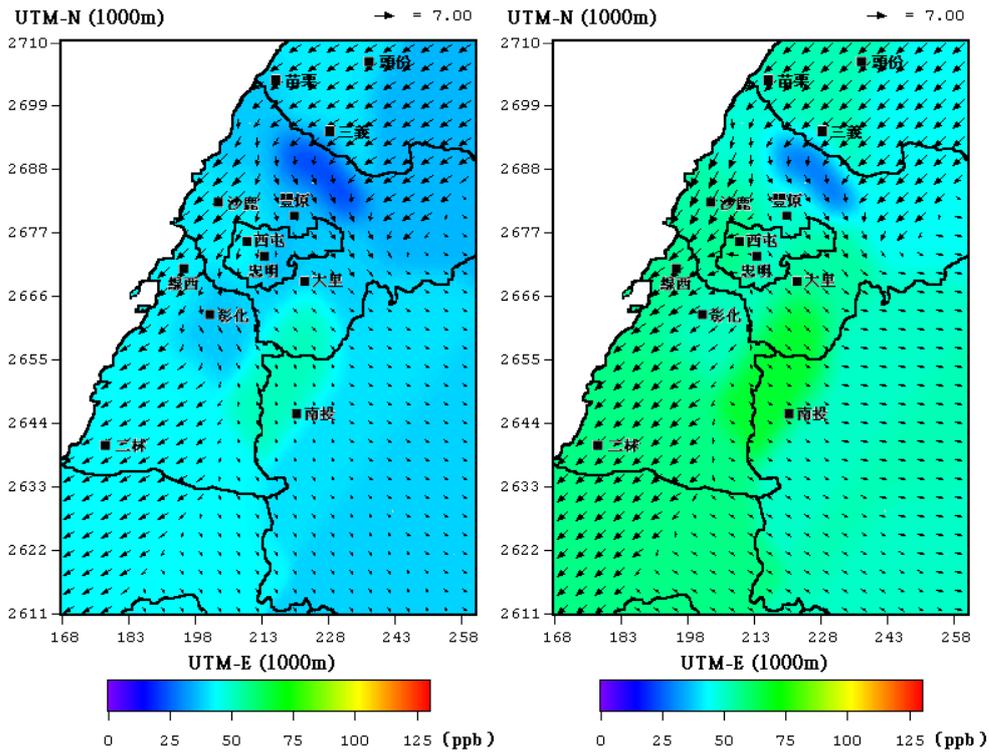


(C)06:00

(D)09:00

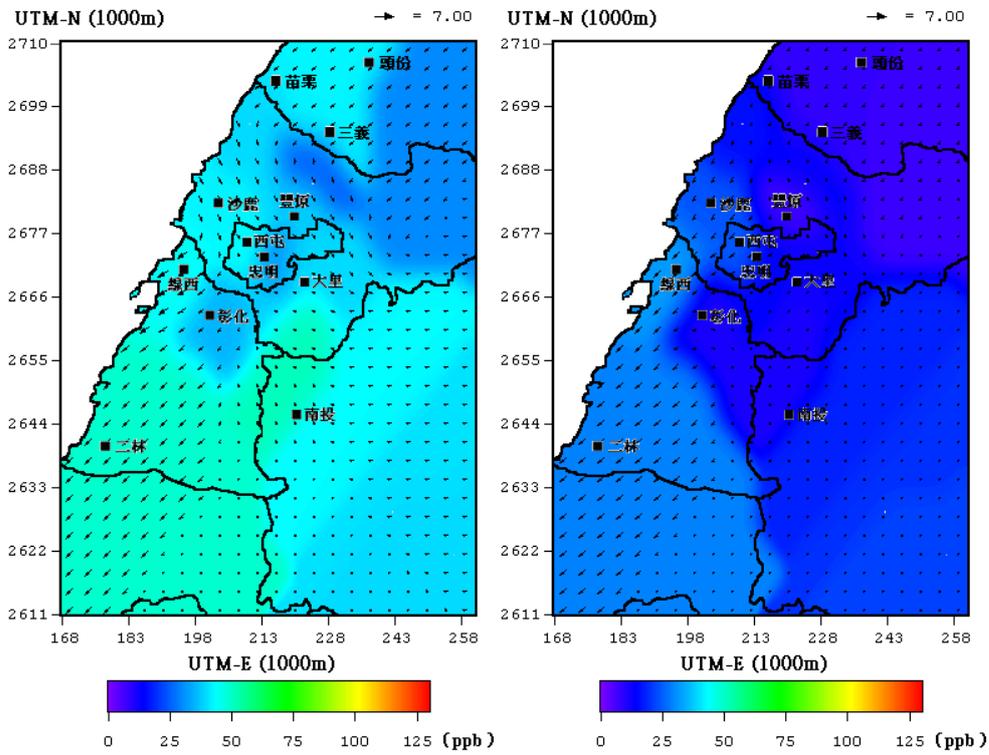
圖 4-5-1 3 月 21 日 (A)0000LST、(B)0300LST、(C)0600LST、(D)0900LST

水平風場與 O<sub>3</sub> 濃度圖



(A)12:00

(B)15:00



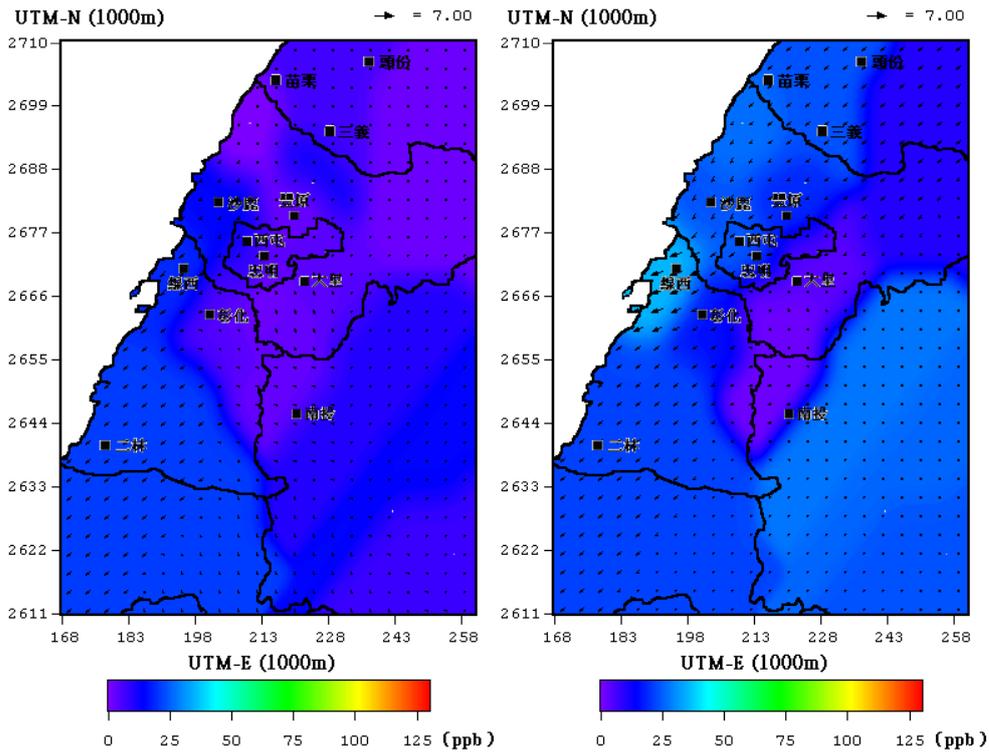
(C)18:00

(D)21:00

圖 4-5-2 3 月 21 日 (A)1200LST、(B)1500LST、(C)1800LST、(D)2100LST

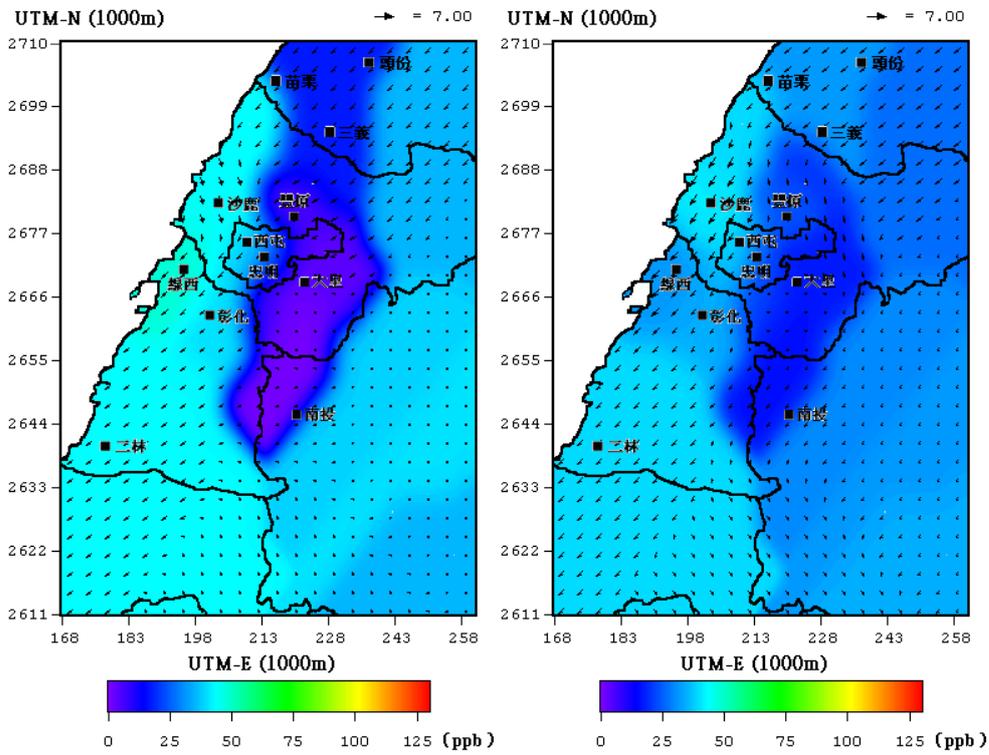
水平風場與 O<sub>3</sub> 濃度圖

3月22日大里平均熱島強度(大甲地區為基準站)為 $2.1^{\circ}\text{C}$ ，而最高熱島強度出現在下午1500LST，熱島強度為 $7^{\circ}\text{C}$ 。0000LST圖4-5-3(A)，由於熱島效應不顯著，綜觀中部空品區之風場微弱，此時風速皆在 $1.5\text{ms}^{-1}$ 左右，且半夜時刻無交通源之影響，故污染物不易累積；在0300LST圖4-5-3(B)大里地區的風速相當微弱，約為 $0.5\text{ms}^{-1}$ ，且周圍地區風場依舊貧弱，沒有強勁的風傳輸污染物，也沒有充裕的陽光行光化學反應，烏日、大里、霧峰地區溫度較低，台中、太平等區溫度較高，因此大里地區形成冷島現象，再搭配 $\text{O}_3$ 水平濃度分佈圖加以探討，冷島中心烏日、大里、霧峰地區因為冷島效應所產生之輻散現象造成此區域的臭氧濃度受到稀釋，濃度值約為4ppb，大里霧峰地區產生輻散現象而台中、太平地區則因熱島效應產生風輻合將污染物往此地傳輸，造成此區域臭氧濃度較高約20ppb，所以在凌晨期間， $\text{O}_3$ 的濃度都偏低。但中午過後，溫度逐漸升高，熱島效應也漸漸明顯，日照充足，光化學反應也逐漸強烈，再加上熱島中心移往大里地區，且風速依舊微弱，來自沿海地區的西面海風將污染物傳輸到風速貧弱的大里地區，所以污染物在此累積， $\text{O}_3$ 濃度也顯著升高。1500LST圖4-5-4(B)此時 $\text{O}_3$ 濃度達80ppb。



(A)00:00

(B)03:00

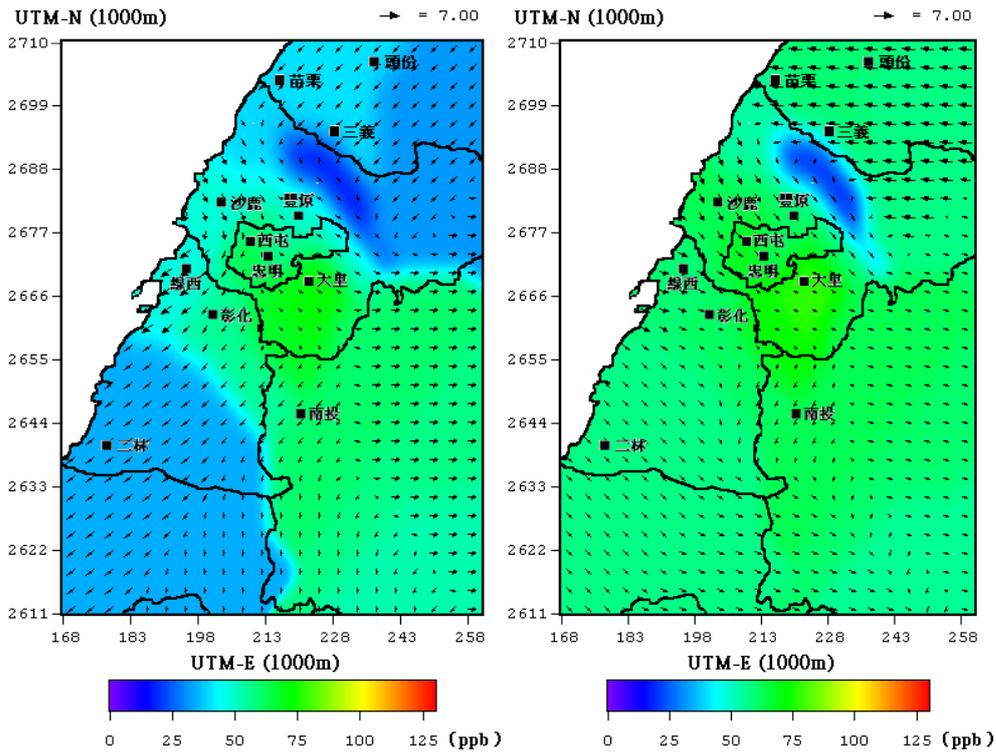


(C)06:00

(D)09:00

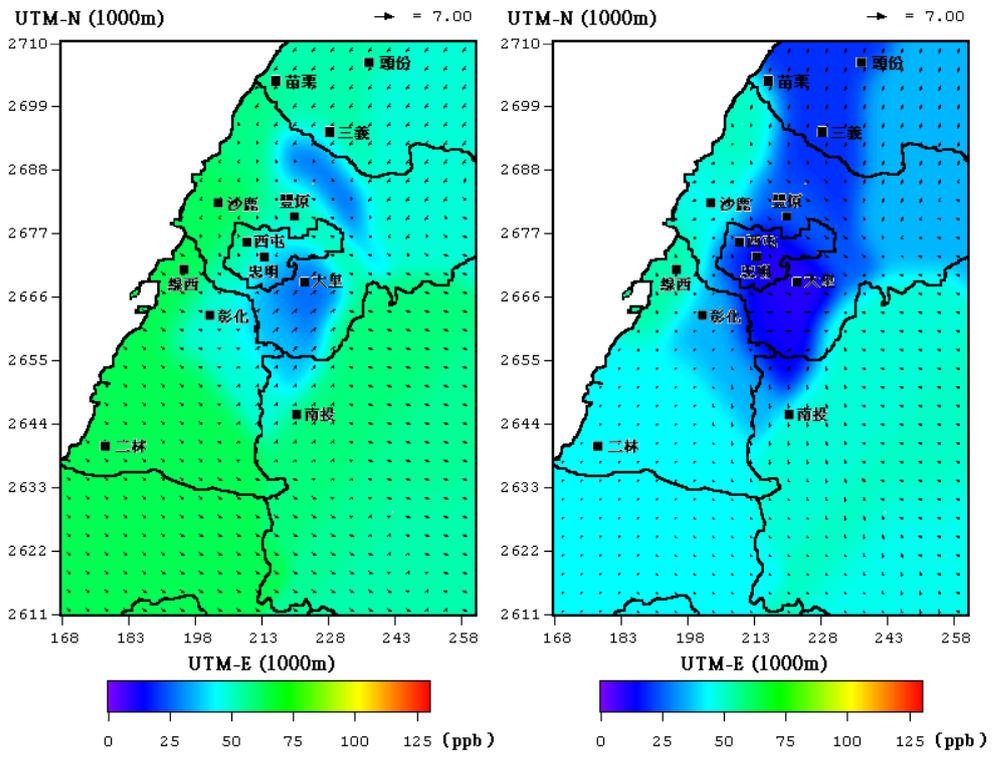
圖 4-5-3 3 月 22 日 (A)0000LST、(B)0300LST、(C)0600LST、(D)0900LST

水平風場與 O<sub>3</sub> 濃度圖



(A)12:00

(B)15:00



(C)18:00

(D)21:00

圖 4-5-4 3 月 22 日 (A)1200LST、(B)1500LST、(C)1800LST、(D)2100LST

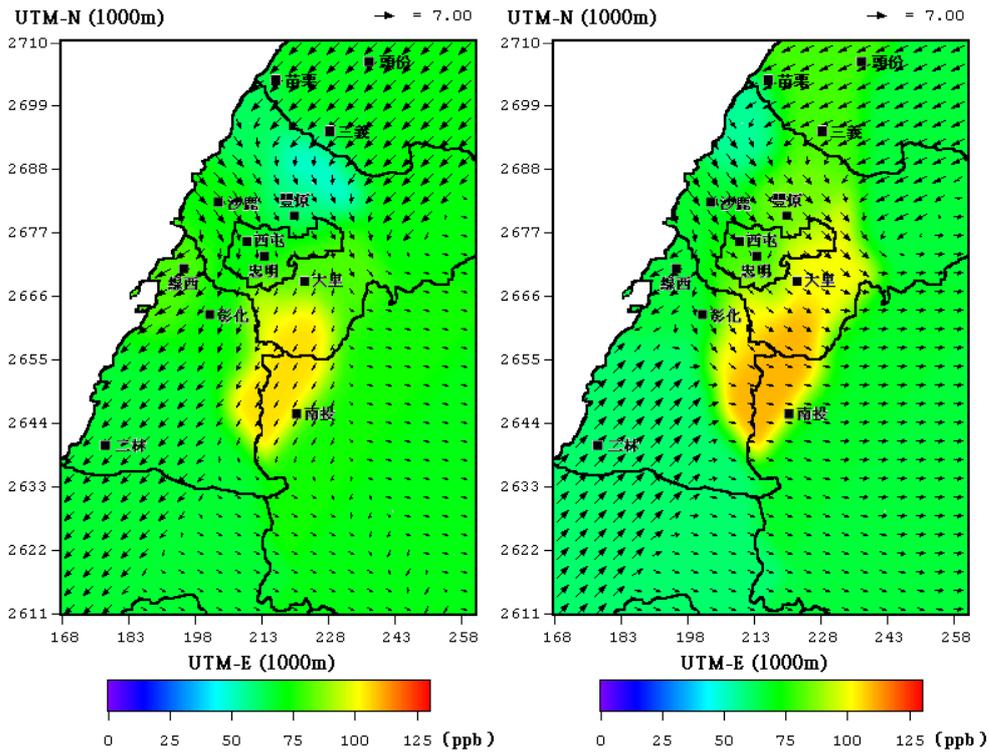
水平風場與 O<sub>3</sub> 濃度圖

#### 4-5-2 10月採樣期間

綜觀10月3日~10月4日其天氣型態為熱帶低壓天氣型態，受到台灣東海面方向之颱風影響，監測採樣期間平均風速偏大，平均風速 $3.7\text{ms}^{-1}$ ，最大風速達 $6.8\text{ms}^{-1}$ 。10月3日大里平均的熱島強度(以后里為基準站)為 $3.1^{\circ}\text{C}$ 。由前一節的溫度統計圖(圖4-3-3)中可發現，在凌晨時，烏日、大里、霧峰地區溫度較低，而忠明、西屯等地區溫度較高，也因此大里地區再次形成冷島現象，再加上 $\text{O}_3$ 水平濃度分佈圖分析可得，冷島中心烏日、大里、霧峰地區因為冷島效應所產生之輻散現象造成此區域的臭氧濃度受到稀釋，濃度值約為12 ppb，大里、霧峰地區產生輻散現象，形成大里、烏日地區污染物輻散至忠明、西屯地區。而忠明、西屯地區則因熱島效應產生風輻合將污染物往此地傳輸，造成此區域臭氧濃度較高約36ppb。

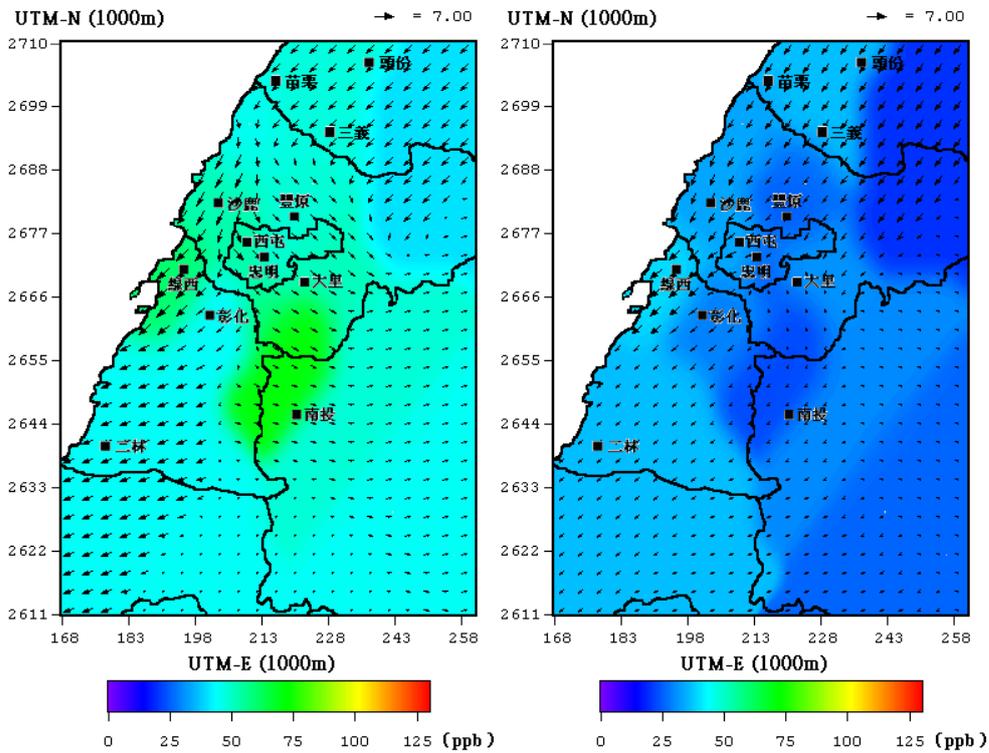
日間熱島強度最強於1500 LST高達 $5^{\circ}\text{C}$ ，綜觀風場以北風系與西面海風所主導，沿海地區風速高達 $6.8\text{ms}^{-1}$  將海上及沿海地區污染物往南傳輸，但內陸地區風速微弱，於大里地區明顯的風速減弱且風向有明顯的轉變形成輻合現象，造成大里地區臭氧濃度累積上升至84ppb。





(A)12:00

(B)15:00



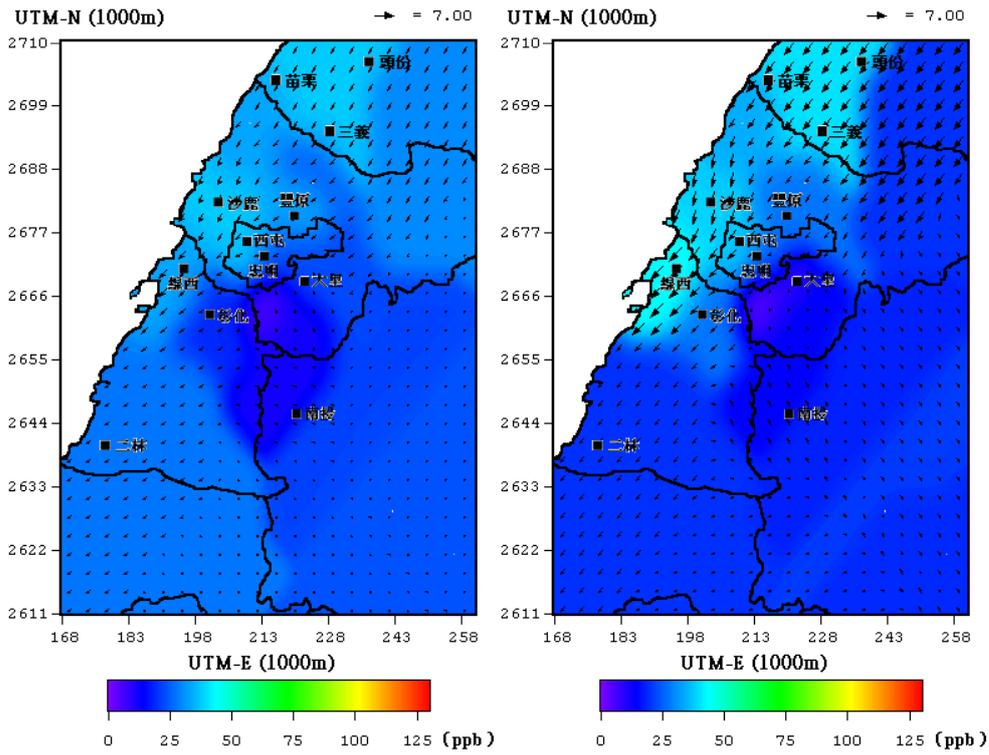
(C)18:00

(D)21:00

圖 4-5-6 10月3日(A)1200LST、(B)1500LST、(C)1800LST、(D)2100LST

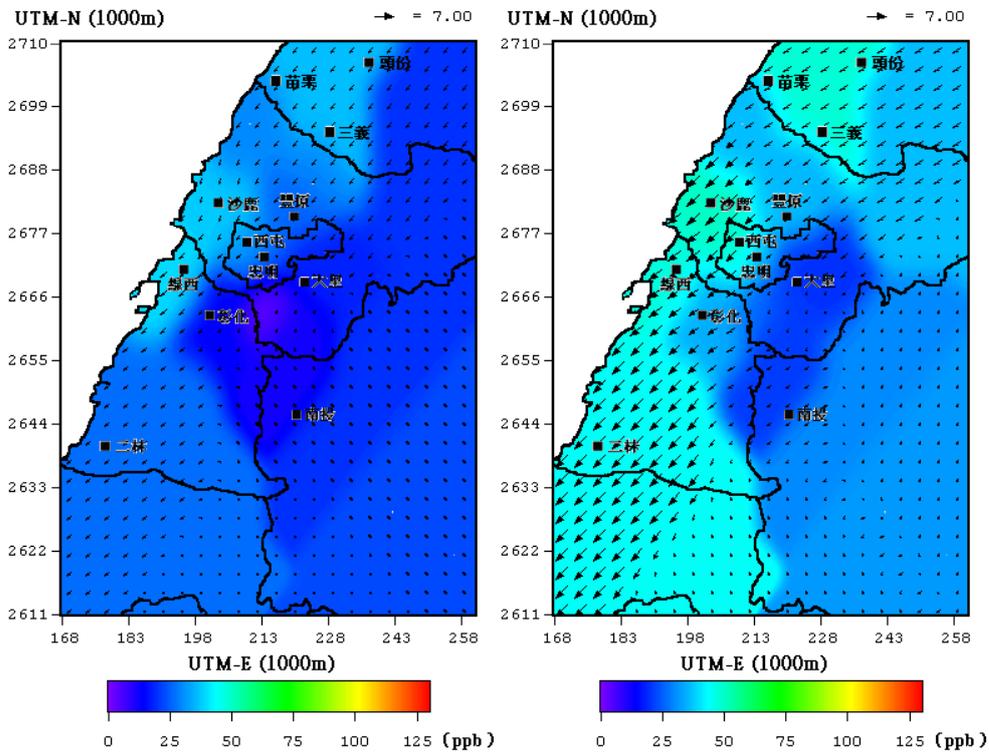
水平風場與 O<sub>3</sub> 濃度圖

10月4日大里平均的熱島強度(以后里為基準站)為 $2.5^{\circ}\text{C}$ 。在夜間至凌晨期間，來自台中北部的西北陸風不斷吹送，且因氧化作用，臭氧在這段期間濃度偏低。但在日照後，中午時刻 1200LST 圖 4-5-8(A)，光化學反應作用旺盛，且此時熱島中心大里地區的熱島強度來到 $4^{\circ}\text{C}$ ，有明顯的輻合現象產生，風速在大里地區有稍緩減弱，且風向也逆時針方向轉變成向熱島中心地區集合的趨勢，而這個時候的大里與霧峰接測得四次採樣期間的 $\text{O}_3$ 濃度高最值 120ppb。到下午傍晚左右，因日照不再旺盛，且強勁的西北風持續的吹拂，故 $\text{O}_3$ 也漸漸擴散不容易累積在熱島中心。



(A)00:00

(B)03:00

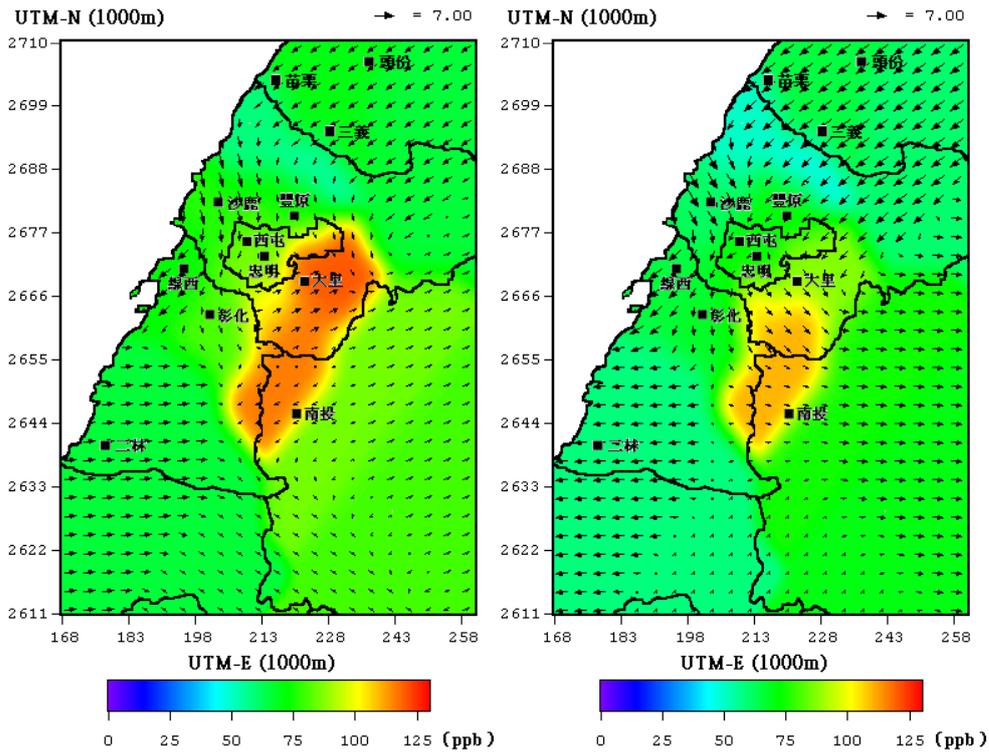


(C)06:00

(D)09:00

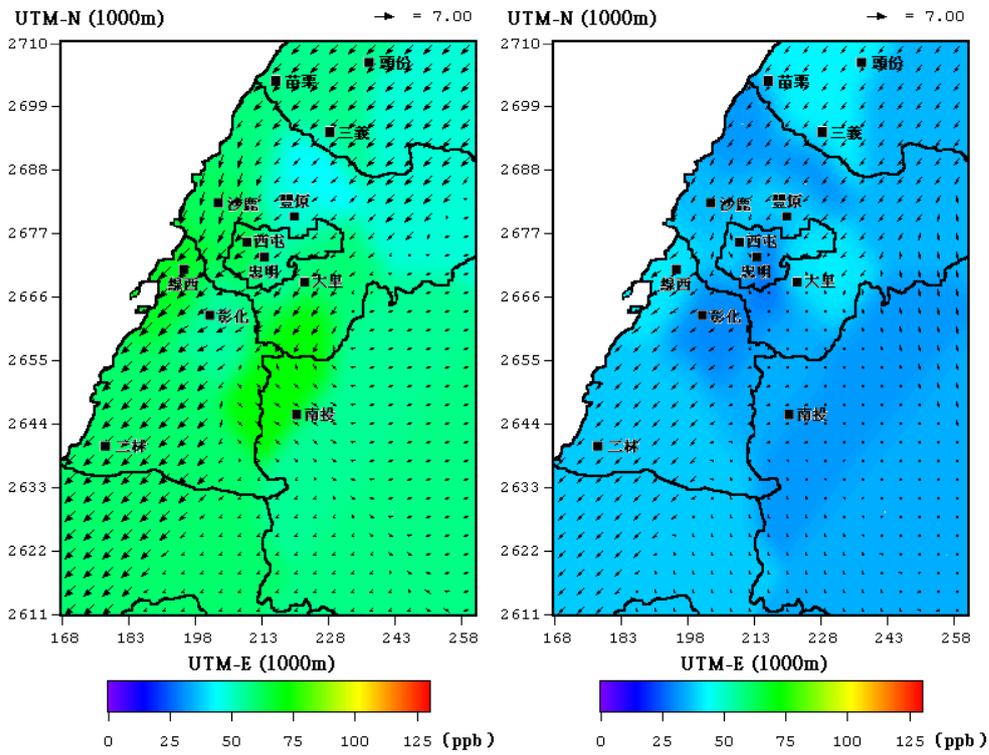
圖 4-5-7 10 月 4 日 (A)0000LST、(B)0300LST、(C)0600LST、(D)0900LST

水平風場與 O<sub>3</sub> 濃度圖



(A)12:00

(B)15:00



(C)18:00

(D)21:00

圖 4-5-8 10月4日(A)1200LST、(B)1500LST、(C)1800LST、(D)2100LST

水平風場與 O<sub>3</sub> 濃度圖

## 4-6 垂直污染物分析

PM<sub>2.5</sub> 採樣濃度在高壓迴流天氣型態期間高於高壓出海期間，O<sub>3</sub> 濃度也有同樣的結果(如圖 4-6-9)；離地面 18 公尺處的 O<sub>3</sub> 濃度在 3 月 22 日 12:00 為 85ppb，3 月 23 日 12:00 以監測到 114ppb。O<sub>3</sub> 前驅物 NO 與 NMHC 濃度則成相反情況，此與其化學反應關係相符合。

圖 4-6-5 至圖 4-6-10 為 101 年 3 月 21~3 月 23 日期間氣狀污染物垂直剖面圖，除了 SO<sub>2</sub> 近地面與高空濃度變化不明顯外，其他污染物 NO<sub>x</sub>、CO、O<sub>3</sub> 與 NMHC 近地面濃度起伏越明顯，高度越高濃度起伏趨緩。在 350 公尺以上隨時間的起伏變化較不明顯，及高低值差異較小，越近地面起伏變化越大，此現象充分反應污染物濃度變化受到人為污染排放的影響。

在採樣期間，PM<sub>2.5</sub> 濃度在高壓迴流天氣型期間高於高壓出海期間，O<sub>3</sub> 濃度亦有相同的結果，如圖 4-6-9 所示，而其 O<sub>3</sub> 前驅物 NO 與 NMHC 濃度則呈相反情況，此與其化學反應關係相符合。

O<sub>3</sub> 於 3 月 22 日採樣期間 1200LST 有高值出現，近地面濃度為 80ppb，當時風速相當微弱，約在 0.5~0.8 ms<sup>-1</sup>，在低風速的狀態下利於 O<sub>3</sub> 濃度迅速累積，NO<sub>2</sub> 在 3 月 21 日 1500LST，430 m 之濃度達到 22.50 ppb，此處風速約為 0.7 ms<sup>-1</sup>，在 2100 LST 時，近地面濃度為 30 ppb，風速約為 1.5 ms<sup>-1</sup>。

除 SO<sub>2</sub> 近地面與高空濃度變化不明顯外，其他污染物 NO<sub>x</sub>、CO、O<sub>3</sub> 及 NMHC 近地面濃度起伏變化明顯，高度越高濃度起伏趨緩。在 350 m 以上隨時間的起伏變化較不明顯，即高低值差異較小，越近地面起伏變化越大，此現象則反應污染物濃度變化受人為污染排放的影響較大。

圖 4-6-11 至圖 4-6-16 為 101 年 10 月 2 日~10 月 4 日期間氣狀污染物垂直剖面濃度，除 SO<sub>2</sub> 近地面與高空濃度變化不明顯外，其他污染物 NO<sub>x</sub>、CO、O<sub>3</sub> 與 NMHC 近地面濃度起伏越明顯，高度越高濃度起伏趨緩。

採樣期間，天氣型態屬於熱帶低壓型，較之 3 月、5 月案例而言，風速增加，較 8 月案例而言，風速較小，因其受颱風外圍環流影響較小之緣故，而採樣期間之平均風速約為 2.5~4.5 ms<sup>-1</sup>。

採樣期間除 O<sub>3</sub> 濃度有明顯高值之外，其餘氣狀污染物之濃度並無太大明顯的變化趨勢，O<sub>3</sub> 濃度在 10 月 3 日 1200 LST 近地面濃度為此次採樣最高值，值為 64 ppb，高度越高污染物濃度遞減，SO<sub>2</sub> 近地面與高空之濃度無明顯變化起伏，平均濃度約為 2.78 ppb，NO 及 NO<sub>x</sub> 之濃度關係成正比，當 NO 濃度高時，NO<sub>x</sub> 之濃度亦高，但與前幾次採樣相比，濃度值減少了許多。

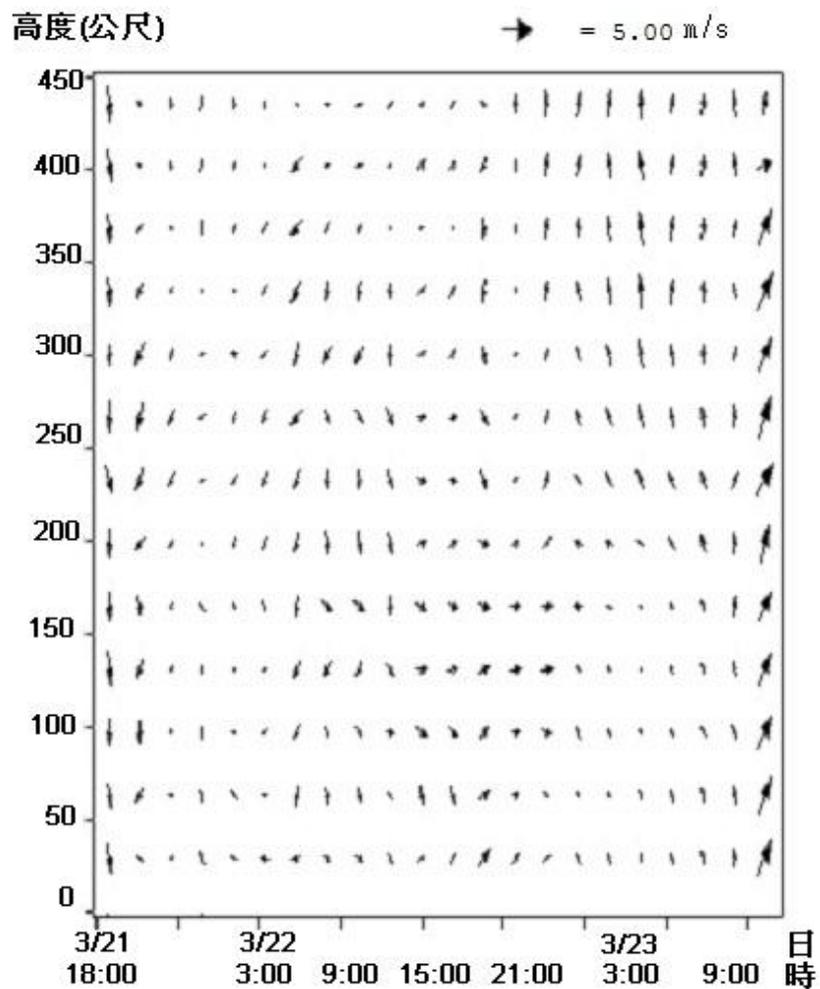


圖 4-6-1 3 月 21 日~3 月 23 日風場垂直剖面圖

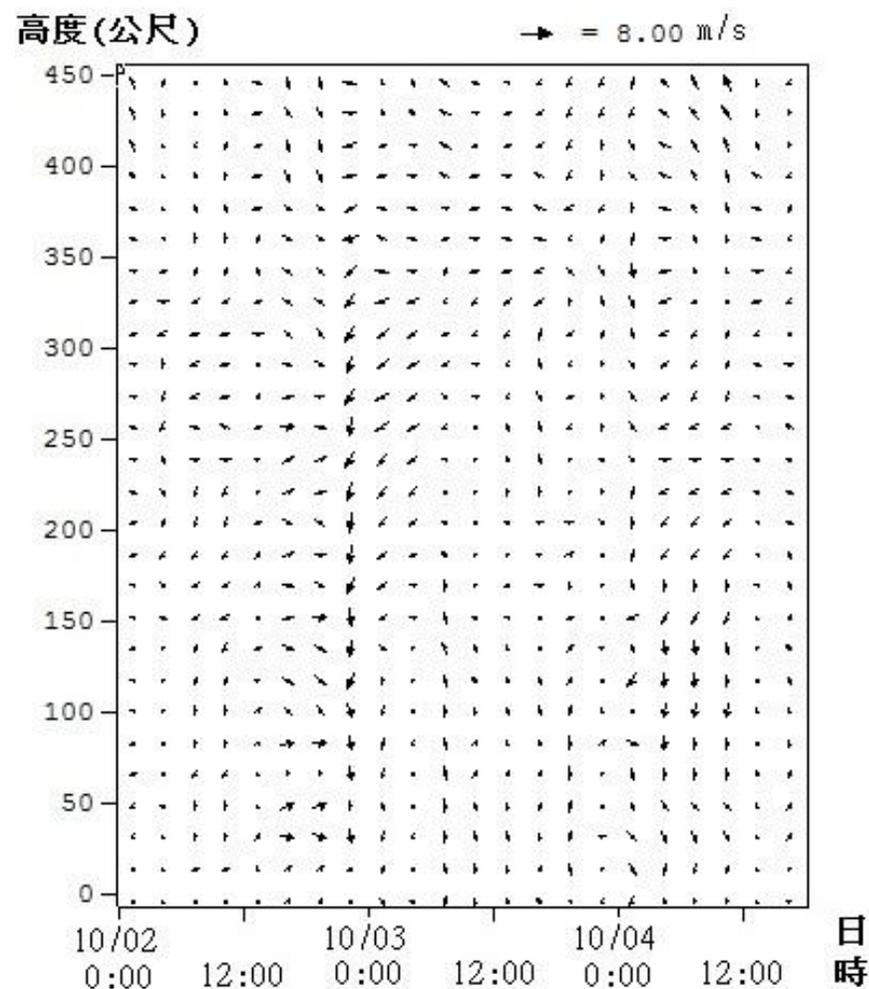


圖 4-6-2 10 月 2 日~10 月 4 日風場垂直剖面圖

高度(公尺)

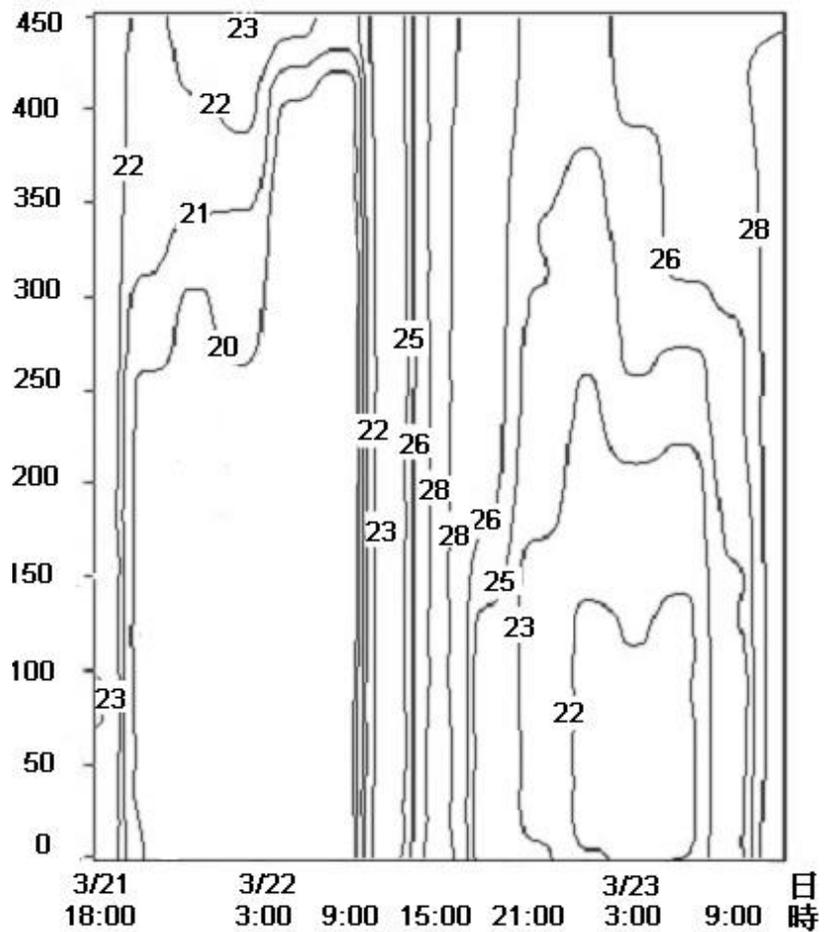


圖 4-6-3 3 月 21 日~3 月 23 日虛位溫垂直剖面圖

高度(公尺)

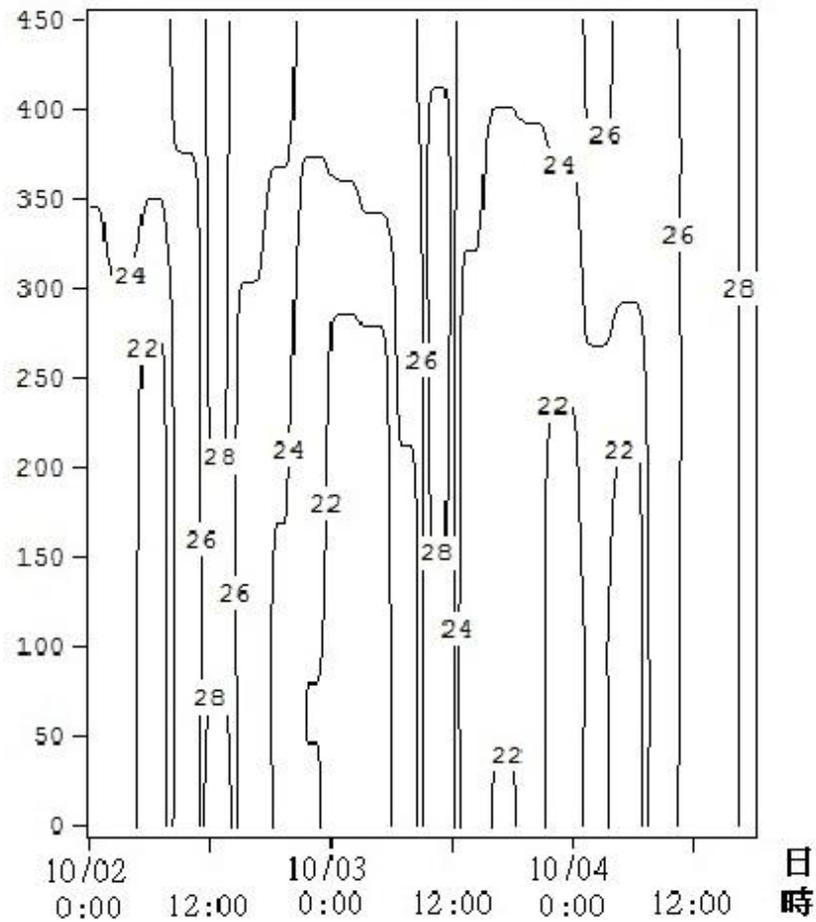


圖 4-6-4 10 月 2 日~10 月 4 日虛位溫垂直剖面圖

高度(公尺)

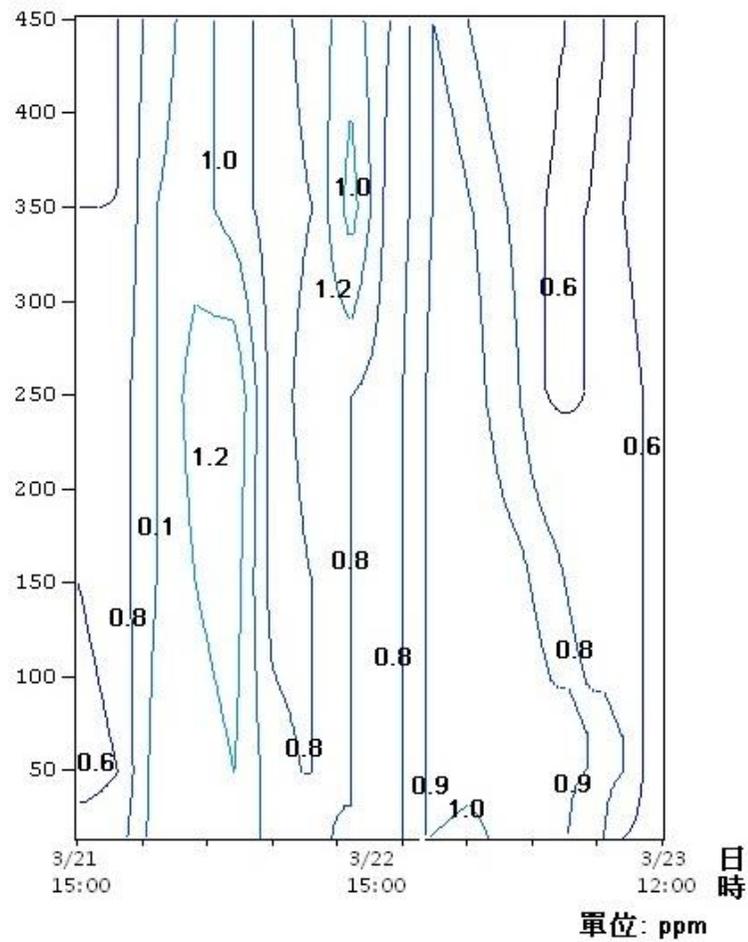


圖 4-6-5 3月21日~3月23日 CO 垂直剖面圖

高度(公尺)

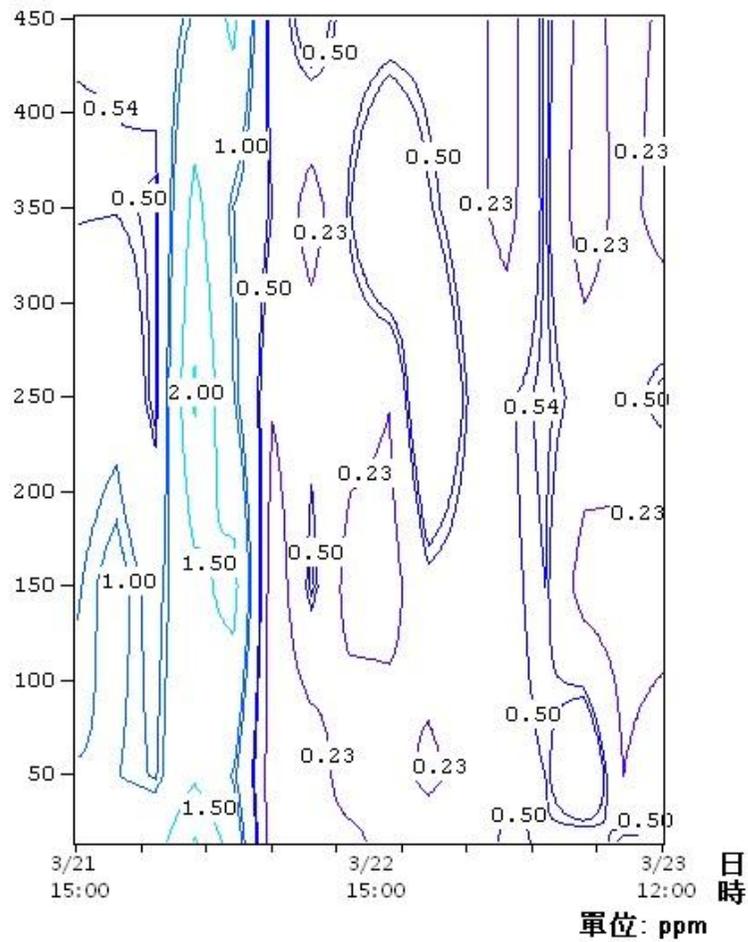


圖 4-6-6 3月21日~3月23日 NMHC 垂直剖面圖

高度(公尺)

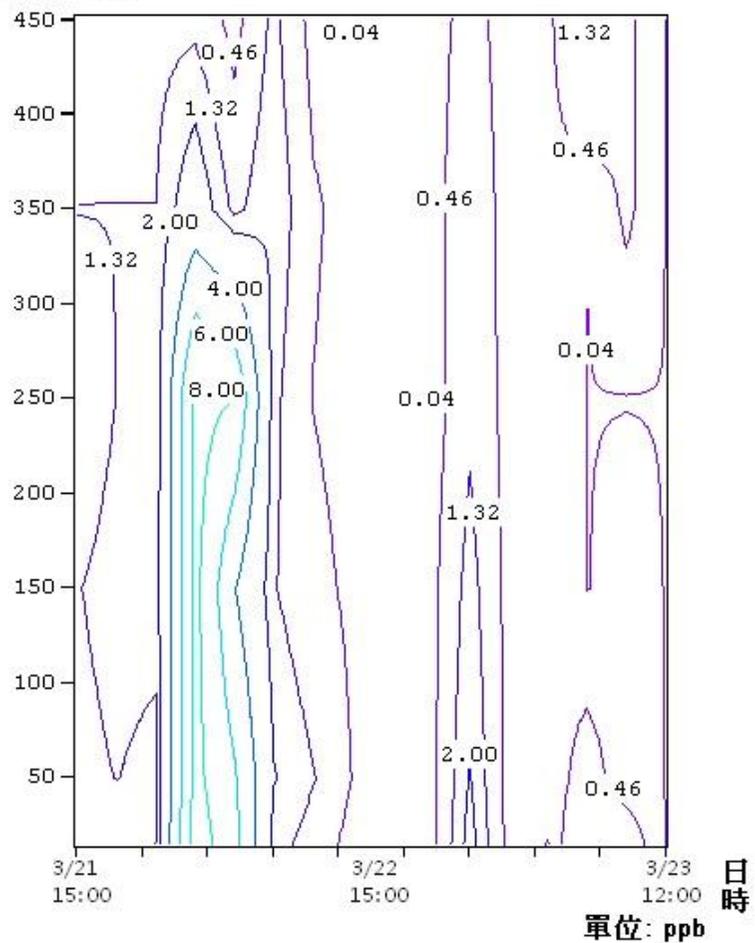


圖 4-6-7 3月21日~3月23日 NO 垂直剖面圖

高度(公尺)

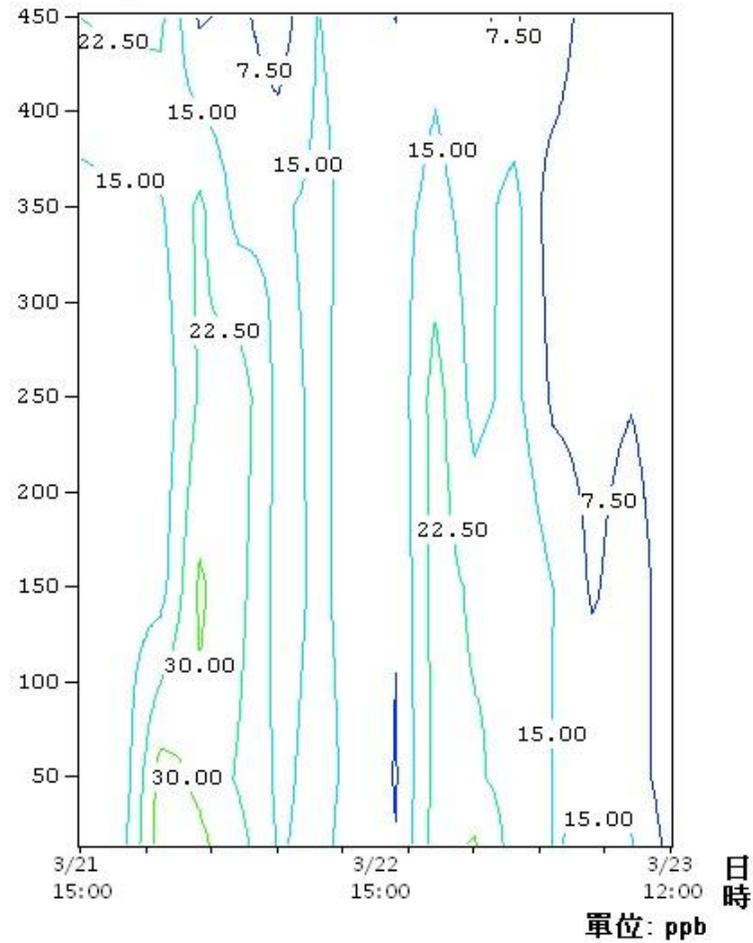


圖 4-6-8 3月21日~3月23日 NO<sub>x</sub> 垂直剖面圖

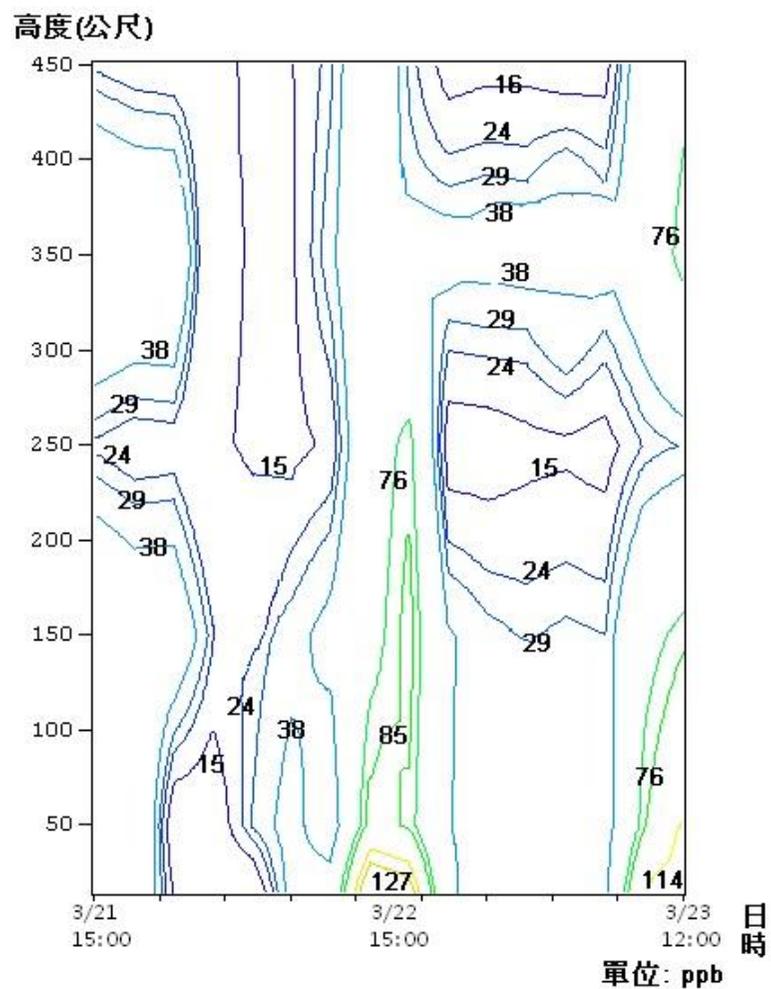


圖 4-6-9 3 月 21 日~3 月 23 日 O<sub>3</sub> 垂直剖面圖

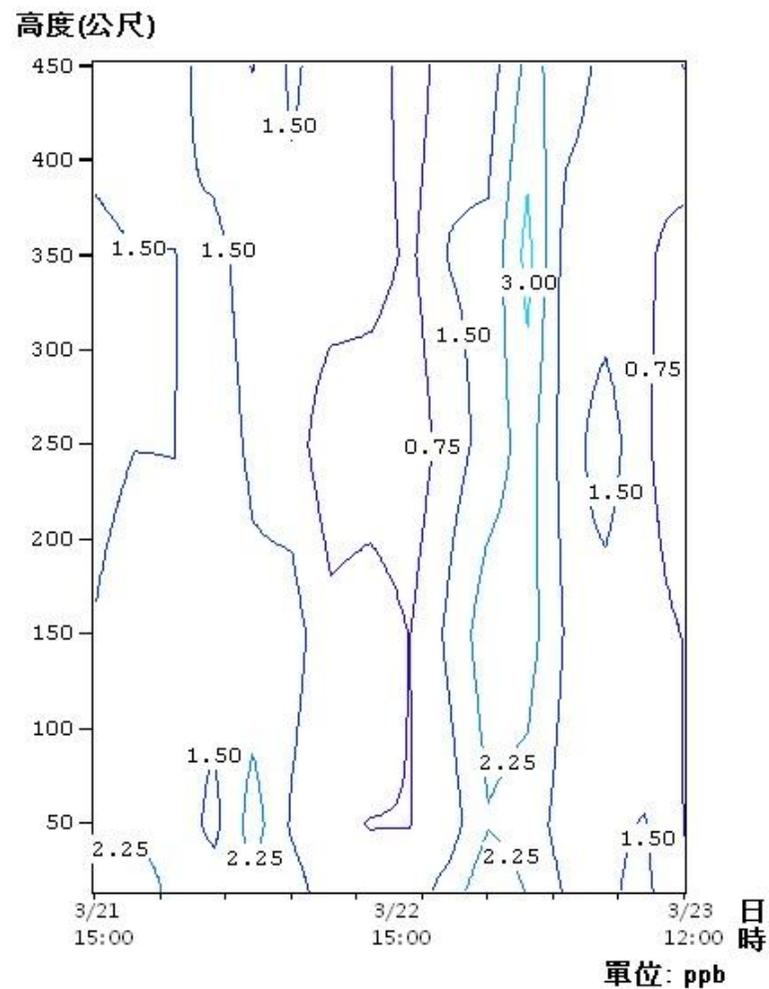


圖 4-6-10 3 月 21 日~3 月 23 日 SO<sub>2</sub> 垂直剖面圖

高度(公尺)

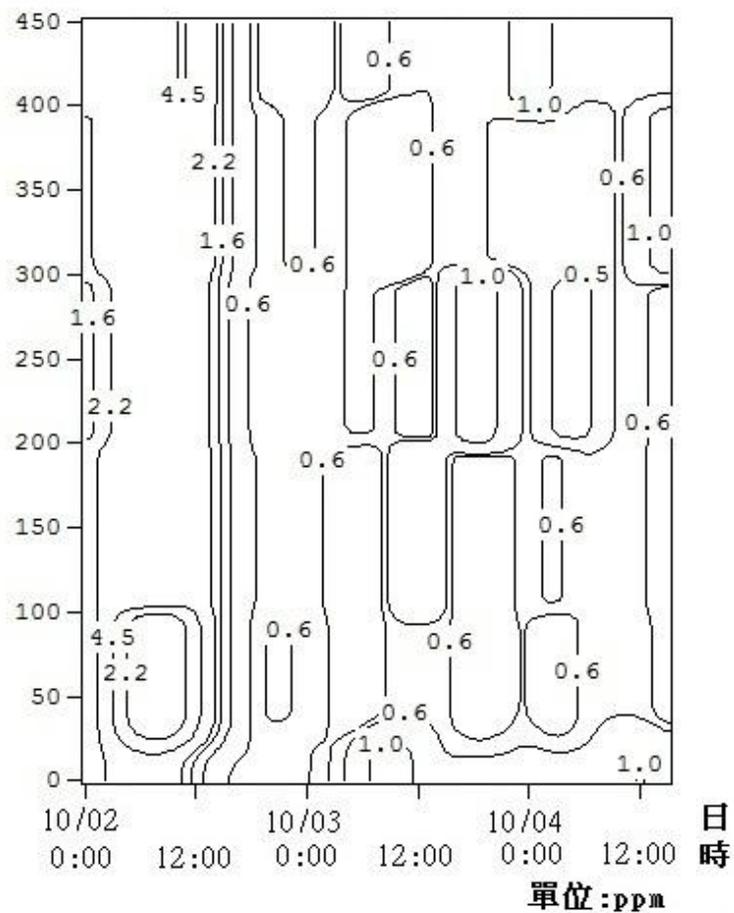


圖 4-6-11 10月2日~10月4日CO垂直剖面圖

高度(公尺)

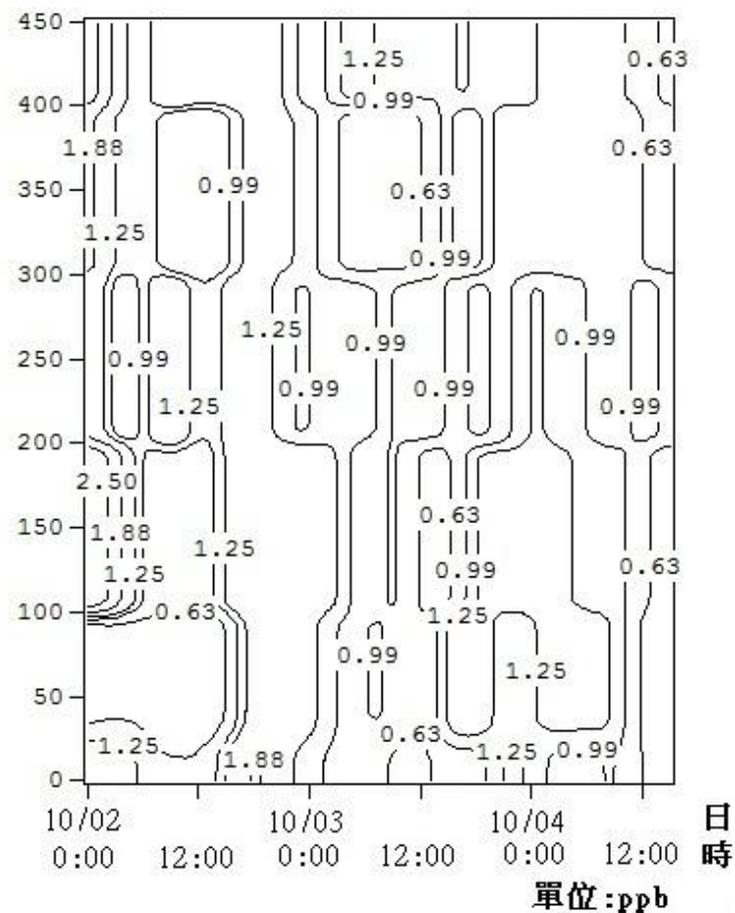


圖 4-6-12 10月2日~10月4日NMHC垂直剖面圖

高度(公尺)

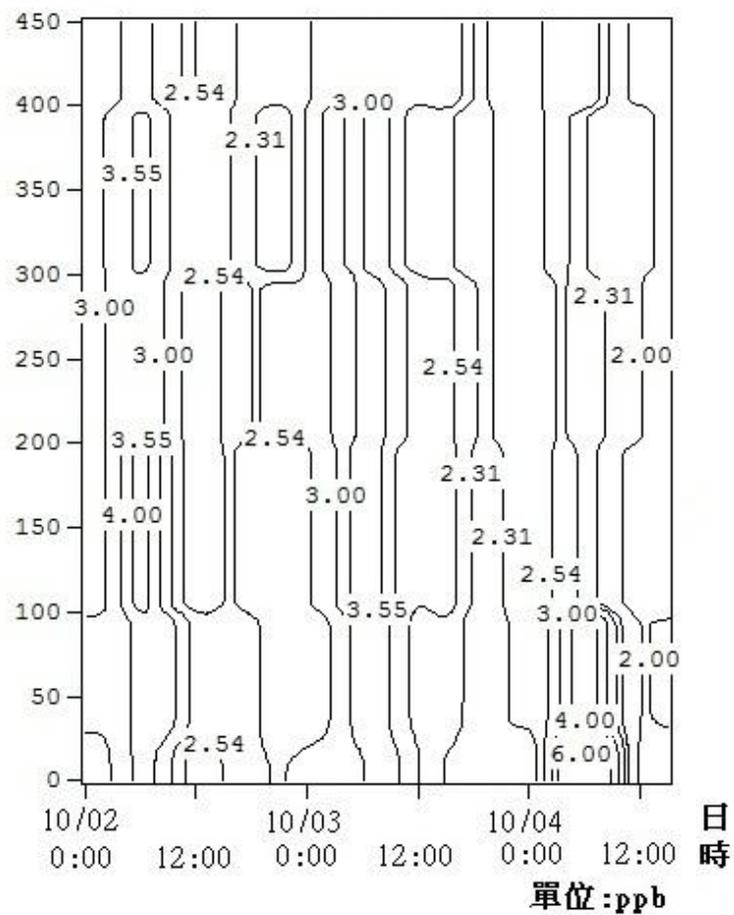


圖 4-6-13 10月2日~10月4日 NO 垂直剖面圖

高度(公尺)

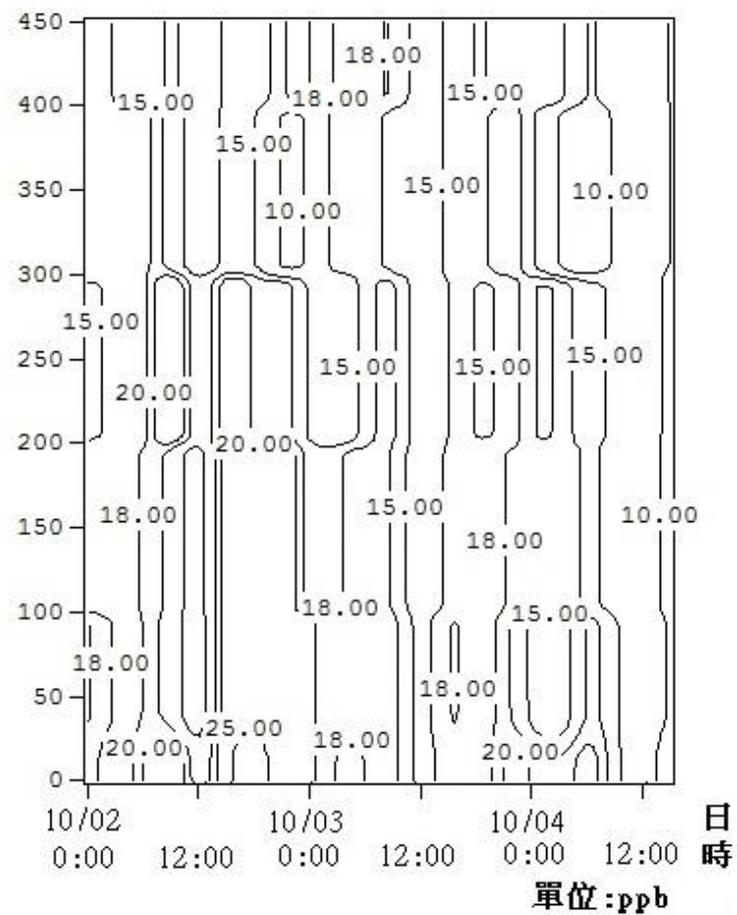


圖 4-6-14 10月2日~10月4日 NO<sub>x</sub> 垂直剖面圖

高度(公尺)

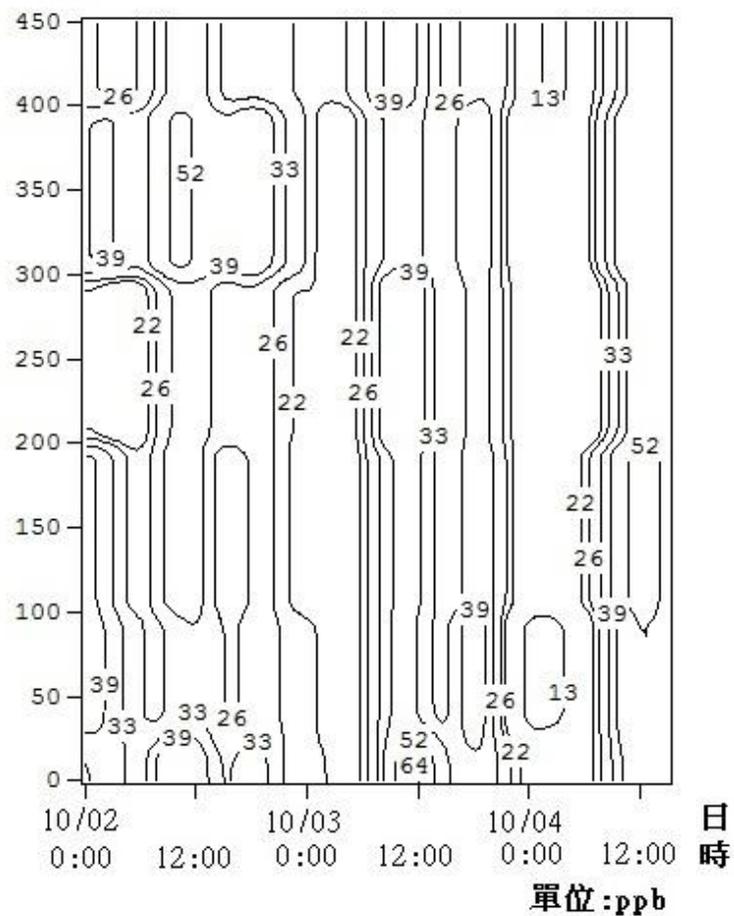


圖 4-6-15 10月2日~10月4日 O<sub>3</sub> 垂直剖面圖

高度(公尺)

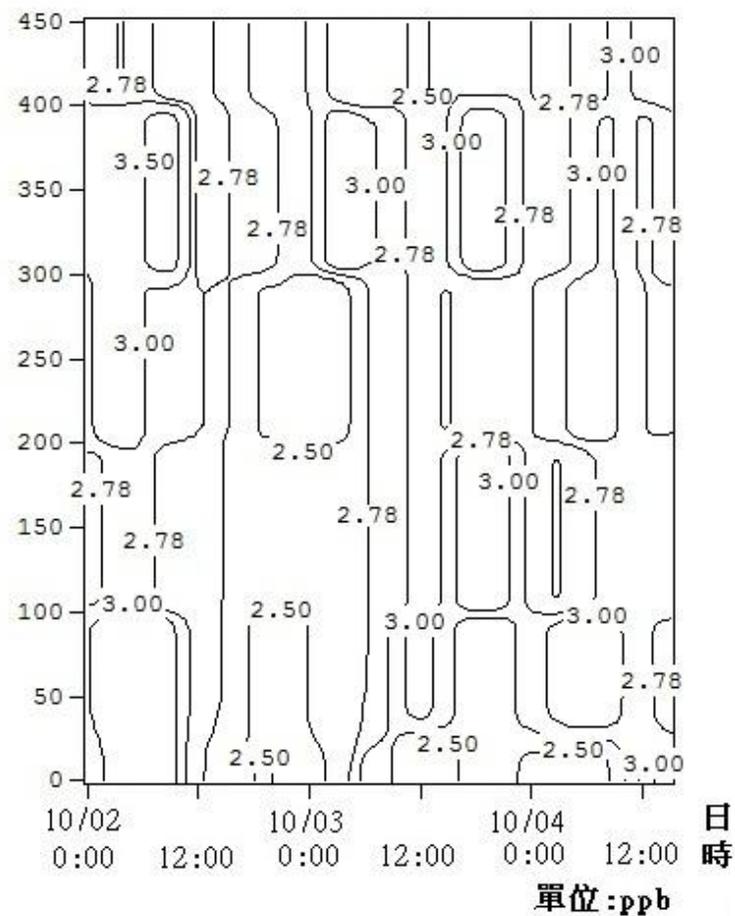


圖 4-6-16 10月2日~10月4日 SO<sub>2</sub> 垂直剖面圖

## 第五章 結論與建議

本研究蒐集統計 2012 年 3 月 21 日~23 日、5 月 22 日~24 日、8 月 8 日~10 日、10 月 2 日~4 日，四次監測採樣期間內，環保署監測站、中央氣象局、台中市政府地方測站的氣象資料以及污染物資料來分析風場、都市熱島效應與污染物濃度三者之間的相關性研究。並且探討採樣期間中部地區熱島效應的案例發生與日變化，海陸風環流對中部地區熱島現象及污染物濃度的影響，以及在熱島中心做繫留探空垂直污染物採樣，分析熱島中心的垂直污染物分布。本文最後根據上述分析提出以下之結論：

### 5-1 結論

1. 從本研究看來，大里都市熱島效應所呈現的高溫環境配合適當的天氣型態下有助於  $O_3$  濃度的生成與  $PM_{2.5}$  濃度的累積，熱島中心產生之輻合的現象約在下午接近傍晚時段(1500LST~1800LST)，此時  $O_3$  與  $PM_{2.5}$  污染物在大里地區有顯著累積，藉由輻合的作用，有機會將鄰近地區污染物累積於熱島中心
2. 而本研究也統計分析綜觀風場並繪製水平風場圖與水平污染物圖以及水平日平均溫圖加以探討，結果顯示，台灣中部海陸風環流，對於台中都會區內部所形成的熱島效應強弱與空氣污染物傳輸分布也具有相當程度的影響。在監測採樣期間，大里測站的  $PM_{2.5}$  與

O<sub>3</sub> 濃度的累積與擴散都很明顯受到海路風環流傳輸的影響而相對的減少或增加。

3. 在本研究 2012 年四次監測採樣期間，熱帶低壓天氣型態、高壓迴流天氣型態過渡至高壓出海天氣型的影響外，另外 8 月和 10 月採樣期間皆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。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. 而在熱島效應日變化的部分整體而言，都市地區的小時平均溫度較郊區為高，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。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。
5. 垂直污染物分析部分，除 SO<sub>2</sub> 近地面與高空濃度變化不明顯外，其他污染物 NO<sub>x</sub>、CO、O<sub>3</sub> 及 NMHC 近地面濃度起伏變化明顯，高度越高濃度起伏趨暖。在 350 m 以上隨時間的起伏變化較不明顯，即高低值差異較小，越近地面起伏變化越大，此現象則反應污染物濃度變化受人為污染排放的影響較大。

## 5-2 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. 若能運用以上資訊，建立精確度更高的多時序空間資料庫，結合都市熱島變化情況及實際土地使用變遷資訊，加以探討都市環境產生之變遷，並提供未來都市開發與建設決策之參考憑據。
  3. 未來研究中，可加入更多人為活動因素，分析實際人為活動對環境的影響，使都市熱島效應研究更能符合實際真實情況。

## 參考文獻

- 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.
- 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., 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.
- 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.
- Figuerola, P. Mazzeo, N. A., 1998. Urban-Rural temperature differences in Buenos Aires. *International of Climatology*, 18, 1709-1723.
- 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.
- 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.
- Jauregui, E. (1997) Climatic changes in Mexico during the instrumented period. *Int. Quaternary*, accepted.
- 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.
- 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.
- 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., 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.

- 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.
- Saitoh, T.S., Shimada, Hoshi, T. H., 1995. Modeling and simulating of the Tokyo urban heat island. Atmospheric Environment, 30, 3431-3442.
- 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.
- 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.
- Yamashita, S., 1995. Detailed structure of heat island phenomena from moving observations from electric tram-cars in metropolitan Tokyo. Atmospheric Environment 30, 429-435.
- 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。

李明晃，2004，「都市公園與局地氣溫效應之關係研究-以台北市公園為例」，中國文化大學景觀學研究所碩士論文

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O<sub>3</sub>與PM<sub>10</sub>污染之氣象條件研究，國科會/環保署科技合作研究計劃報告。

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、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。

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。

袁中新、洪崇軒、王宏恩、劉山豪，1999，PM<sub>2.5</sub>及PM<sub>2.5-10</sub>懸浮微粒  
成份分析及生成機制初探，環境分析化學研討會論文摘要pp.78。

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。

楊任徵，1993，台灣地區與能源使用相關的CO<sub>2</sub>排放量及特性分析，  
抑制CO<sub>2</sub> 排放之能源與產業發展對策研討會，第 89 頁。

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。

鄭曼婷，邱嘉斌，楊宏隆，陳紀綸，1998，沿海地區大氣懸浮微粒污  
染來源分析，第十五屆空氣污染控制技術研討會論文專輯，pp.  
733-740

廖偉翔、李崇德、劉紹臣、黃希爾，2003 北台灣地區長程傳輸氣膠  
光學特性。

劉紹臣、劉振榮、林傳堯、許乾忠、林文澤，2003，台灣西部竹原熱  
島效應，看孚台灣，第 5 卷，第 4 期，第 14-21 頁。

韓可宗，1998，都市森林理論與應用

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/>。