

# 第一章 緒論

## 1.1 前言

台灣地區自 1960 年代起推動各項經建計劃，積極發展煉油、化學、鋼鐵等重工業，均屬高污染高耗能產業，雖然促使經濟蓬勃發展，但也使得污染負荷日益嚴重。為掌握空氣品質狀況，以作為政策制定之參考，環保署於 1982 年起陸續設置空氣品質監測站，根據歷年監測資料統計分析顯示，中部地區之空氣污染指標(Pollutant Standards Index, PSI)，主要以 PM<sub>10</sub> 及 O<sub>3</sub> 作為當日之指標污染物，而根據環保署 1996 年至 2000 年空氣品質監測資料顯示，以 O<sub>3</sub> 為主要指標污染物的比例有逐年增加的趨勢（環保署，2001；環保署，2000），甚至在 1997 年 PSI 大於 100 的空氣品質不良日數中，O<sub>3</sub> 所佔的比例更首度超過懸浮微粒，故本研究特別針對 O<sub>3</sub> 作深入之探討。

O<sub>3</sub> 為一種氧化性極高的二次光化產物，許多報告指出對流層中日益增加的 O<sub>3</sub> 對環境、經濟與人體皆有不利之影響。醫學研究指出，當生物體短時間暴露在高濃度 O<sub>3</sub> 或長時間低濃度的 O<sub>3</sub> 下，對呼吸系統結構及功能上將造成傷害（Petroeschovsky et al., 2001；Pope, 2000；Lippmann, 1989），對植物生長具破壞抑制作用，造成植物萎黃（Krupa, 2000；Seinfeld and Pandis, 1998），而且由於 O<sub>3</sub> 的腐蝕性與強氧化作用，將損害自然及人造物質，如加速橡膠老化、使銀器變黑、鐵器生鏽、侵蝕建築與藝術雕塑品等，對生態環境及經濟效益皆具有負面之影響（Copper and Alley, 1990）。

## 1.2 文獻回顧

### 1.2.1 臭氧之來源與影響

平流層內之 O<sub>3</sub> 會吸收紫外光，維持平流層溫度與能量之平衡，隔絕大部分紫外光線進入下層大氣中，減低紫外光線對生態環境之危害；而對流層內之 O<sub>3</sub>

則扮演一溫室氣體的角色 ( Chalita et al., 1996 )。近年來對流層內的 O<sub>3</sub> 濃度不斷增加，引起越來越多學者的注意，一般說來，對流層內 O<sub>3</sub> 之污染源大致上可分為人為源及自然源二種，自然源主要包括平流層內 O<sub>3</sub> 的下沉輸入、光化學反應產生和植物排放等，人為源則包括交通與工業發展之排放，詳述如下：

## 一、自然源

### 平流層 O<sub>3</sub> 的輸入

在南、北緯 30° 和 60° 附近，由於極地氣團與中緯度氣團、中緯度氣團與赤道氣團相遇，在熱結構不同的冷熱氣團相遇下，將造成對流層頂產生摺疊 ( Tropopause folds )，因而在對流層頂出現空隙，讓平流層之 O<sub>3</sub> 隨空氣運動而混入對流層內，加上局部地區 O<sub>3</sub> 之滴定效應與沉降作用，造成近地面 O<sub>3</sub> 濃度的增加( Brönnimann et al., 2000; 王明星, 1999; Seinfeld and Pandis, 1998; 唐孝炎, 1990 )。一般平流層 O<sub>3</sub> 輸入對流層時有以下現象：

- (1) O<sub>3</sub> 濃度是突然增加的，且峰值出現時間與光化最有利時間不同。
- (2) O<sub>3</sub> 的年峰值在春季或冬季出現，且其濃度並無明顯的日夜變化。
- (3) O<sub>3</sub> 的濃度將隨高度的增加而增加。
- (4) Be 濃度會與 O<sub>3</sub> 的濃度同步增加。
- (5) 通常會在緯度 30°、40° 或 60° 附近的乾淨地區出現高 O<sub>3</sub> 值。

### 植物排放

植物在其生長過程中將排放各類的帖烯類、CO 等，其排放速度隨溫度與日照之升高而增加，故有明顯的日變化，並在夏季有較高的排放強度。而這些植物所排放的帖烯類與 CO 將作為 O<sub>3</sub> 的前驅物，並經光化反應產生 O<sub>3</sub>，進而造成都會區及非都會區的高 O<sub>3</sub> 濃度。

## 光化學反應

大氣中存在 O<sub>3</sub> 前驅物，如 CO、NO、CH<sub>4</sub> 與植物排放的帖烯類等，經光照轉化成 O<sub>3</sub>。光化反應成的 O<sub>3</sub> 應有以下特徵( Seinfeld and Pandis, 1998 ):

- (1) O<sub>3</sub> 濃度具明顯日變化，濃度隨日照強度而變動。
- (2) O<sub>3</sub> 的夏季濃度應高於其他季節。

## 二、人為源

### 交通運輸

都會區 O<sub>3</sub> 的前驅物質( NO<sub>x</sub> 與 NMHC )主要貢獻來源為汽、機車排放。尤其在交通擁塞時期，汽、機車的啟動、加速與減速動作頻率提高，導致燃料未完全燃燒的尾氣排放、曲軸箱吹漏氣和油料系統揮發等情形發生，造成 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 濃度較正常行駛的汽機車排放量更高 ( Table 1 )。

Table 1 The concentrations of O<sub>3</sub> emitted from vehicles.

項目	空轉	加速	行駛	減速
NO <sub>x</sub> ( ppm )	10-50	1000-4000	1000-3000	5-50
NMHC ( ppm )	500-1000	50-800	200-800	3000-12000

( 資料來源：Seinfeld and Pandis, 1998 )

### 工業排放

在固定排放源中，以火力發電廠與石油相關產業為主要排放來源。火力發電廠以煤或石油作燃料，在燃燒過程中將產生大量的 NO<sub>x</sub>；而在石油相關工業中，包括石化工業、加油站、有機溶劑與衣物乾洗等相關業別，皆會使用揮發性液體，在使用過程中將有相當量揮發至大氣中，稱為逸散性的 NMHC，這些 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 的排放，都將造成 O<sub>3</sub> 的生成量增加。

O<sub>3</sub> 是反應性極高的氧化劑，在生物體中易與含雙鍵有機物（如不飽和脂肪酸、蛋白質等）反應，而當高濃度的 O<sub>3</sub> 被吸入人體時，O<sub>3</sub> 將與呼吸道的細胞、

黏膜和組織快速反應，導致肺功能減弱、組織損傷、鼻咽刺激、咳嗽、呼吸短促等症狀，甚至連深呼吸都有不適或疼痛感；而持續暴露在低濃度的 O<sub>3</sub> 中，則會有頭痛、疲勞和食慾減退等情形發生（賴耿陽，1994；唐孝炎等，1990）。

植物亦是 O<sub>3</sub> 的加害對象之一，根據學者的研究指出，O<sub>3</sub> 通常會由植物的氣孔進入植物組織內，傷害植物細胞，進一步造成葉片萎黃壞死、出現白斑點和生長遲滯等現象，此外 O<sub>3</sub> 亦會與空氣中的烯烴、二烯烴作用，破壞橡膠所含碳氫化合物的雙鍵，使橡膠材質龜裂、損耗，減短其使用壽命（Seinfeld and Pandis, 1998；王春乙和關福來，1996；Copper and Alley, 1990；Perkins, 1974），基於 O<sub>3</sub> 對生態環境與經濟所造成的損害，聯合國世界衛生組織（World Health Organization, WHO）針對農作物與人體健康提出 O<sub>3</sub> 不同之參考指標：農作物方面有三個建議，1 小時—100 ppb、8 小時—33 ppb 和一季—30 ppb；人體健康方面則建議小時警界值訂在 76-100 ppb（150-200 μg/m<sup>3</sup>）之間（Bower et al., 1994），Table 2 列出臭氧暴露時間與引起動植物傷害所需要的濃度；Table 3 為各國環保署訂定之 O<sub>3</sub> 小時警界值一覽表，我國主要則參考美國之標準來訂定之。

此外對流層中的 O<sub>3</sub> 亦是重要的溫室氣體之一，它會吸收 9.6 μm 範圍的紅外線，使近地表層增溫，造成氣候的變異（Seinfeld and Pandis, 1998），而氣候變異的影響面則更為廣大。

Table 2 The concentrations and relative exposed times that ozone demands to cause harmful to plants and animals.

O <sub>3</sub> 濃度 (ppb)	暴露時間 (小時)	症狀
30 <sup>a</sup>	4	葉片出現白斑點、生長遲滯、針葉類樹種夜間開始萎黃壞死
88 <sup>b</sup>	4	抑制玉米與大豆的硝酸還原酶產生
80 <sup>c</sup>	6.6	咳嗽、呼吸不適、呼吸道發炎、運動力降低

a. Seinfeld and Pandis, 1998    b. 王春乙與關福來，1996    c. Lippmann, 1989

Table 3 Summary of air quality standard for various countries.

國 家	小時最大警界值濃度 ( ppb )
美 國 <sup>a</sup>	120
台 灣 <sup>b</sup>	120
日 本 <sup>c</sup>	60
中國大陸 <sup>d</sup>	一級標準
	二級標準
	三級標準
加 拿 大 <sup>e</sup>	82
墨 西 哥 <sup>f</sup>	110
巴 西 <sup>f</sup>	80
波 蘭 <sup>g</sup>	50
新 加 坡 <sup>h</sup>	120
澳 洲 <sup>i</sup>	100
香 港 <sup>j</sup>	122

a. Lippmann, 1989

b. 行政院環保署, 1994

c. 柳中明與蘇維中, 1997

d. Xu and Zhu, 1994

e. Poissant et al., 1996

f. Romieu et al., 1991

g. Godzik, 1997

h. ~ j. 各當地國環保署網站

### 1.2.2 對流層內臭氧之生成機制

一般認為大氣中的氮氧化物 (NO<sub>x</sub>) 與碳氫化合物 (HCs) 是 O<sub>3</sub> 的前驅污染物 (Precursor), 在進行光化學反應後, 產生具刺激性與氧化性的物質 (統稱 O<sub>x</sub>), 其組成主要包括 O<sub>3</sub> (約佔 90%)、過氧乙醯基硝酸酯 (PAN)、二氧化氮 (NO<sub>2</sub>)、醛類 (RCHO)、過氧化氫 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 等物質 (唐孝炎等, 1990), 其中尤以 O<sub>3</sub> 為光化學煙霧的指標污染物。

光化學反應的第一個步驟是由原子、分子、自由基 (free radical) 或離子吸收一個光子的反應, 吸收的效果視能量 (即光的波長) 而定, 要引起光化學反應, 需要光譜中的可見光及紫外線, 光能的吸收可以造成一個受激態的分子解離、分子內部重組或是螢光作用等。通常對於吸收光能並且解離的物質感到興趣, 因為這些物質是形成光化學煙霧的基礎。光子的吸收與光解效應稱為初級光化學反應 (primary photochemical reaction), 而由初級光化學反應所引發的各種後續反應

則稱為二級光化學反應 (secondary photochemical reaction), 這些反應對光化學煙霧的形成十分重要( Perkins , 1974 ) 以下則就 O<sub>3</sub> 的主要生成反應機制作探討。

大氣中生成 O<sub>3</sub> 的唯一途徑是單氧原子 O ( <sup>3</sup>P ) 與氧分子 O<sub>2</sub> 結合 ( 見反應式【1】), 其中 O ( <sup>3</sup>P ) 主要由 NO<sub>2</sub> 光解 ( photodissociation ) 而來 ( 見反應式【2】), 故地表之 O<sub>3</sub> 可以說主要由 NO<sub>2</sub> 經光解作用所造成 ( Heal et al., 2001 ; Raga<sup>a</sup> and Raga<sup>b</sup>, 2000 ; Kley et al., 1999 ) NO<sub>2</sub> 可以吸收光譜中之紫外線與可見光, 但是波長越長, 其吸收的程度越少, 分解作用隨著波長減小而增加, 當波長大於 420 nm 時, 因缺乏足夠能量, 故不會引起光解作用, 但會發生其他的光化學反應 ( 如螢光反應 )。



【M : Energy-absorbing third body, usually a molecule of N<sub>2</sub> or O<sub>2</sub>】

然而反應式 ( 1 ) 生成物之一 NO 會將 O<sub>3</sub> 快速還原成 NO<sub>2</sub> ( 見反應式【3】), 使得反應式 ( 1 ) ( 2 ) ( 3 ) 形成一循環反應 ( 如 Fig 1 ), 但正因如此, 使近地面大氣中 O<sub>3</sub> 無法持續累積。然空氣中存在的 HCs, 又使反應轉趨複雜。

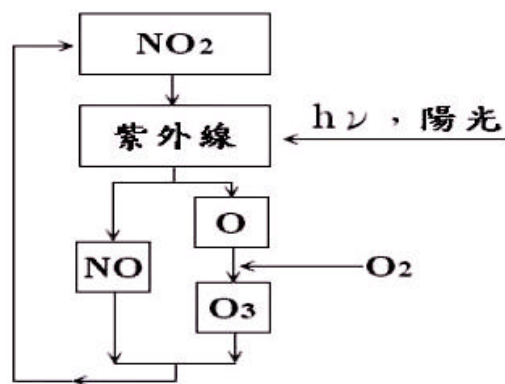
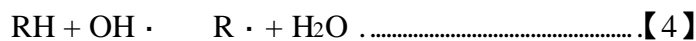


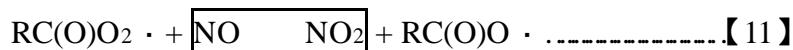
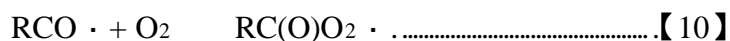
Fig 1. The photochemical cycle of NO<sub>x</sub>.

大氣中甲烷 (CH<sub>4</sub>) 是 HC<sub>s</sub> 中最豐富的物種，但由於 CH<sub>4</sub> 與 NO 進行光氧化反應速率 (定義為 HC<sub>s</sub> 促成 NO 氧化成 NO<sub>2</sub> 的反應速率) 較其他 HC<sub>s</sub> 慢，故一般在討論 O<sub>3</sub> 光化學反應時只以非甲烷碳氫化合物 (NMHC) 來代表 (Seinfeld and Pandis, 1998)。NMHC 能比 O<sub>3</sub> 早一步與 NO 反應生成 NO<sub>2</sub>，使得 NO 減少、NO<sub>2</sub> 增加，而 O<sub>3</sub> 濃度亦得以累積。NMHC 中以烷類 (RH) 與醛類 (RCHO) 為關鍵反應物，分別詳述如下：

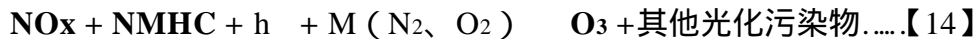
一、反應式【4】 【8】為 RH 在大氣中將 NO 氧化成 NO<sub>2</sub> 的過程 (見   處)，其中 ROO· 與 HOO· 代表因氧化而產生之有機過氧自由基 (Organic Peroxy Radical)。



二、反應式【9】 【13】為 RCHO 在大氣中受氫氧自由基 (OH·) 轉化，進而在過程中將 NO 氧化成 NO<sub>2</sub>，其中醛類的來源，除污染源直接排放外，亦可從烷類的轉化過程中生成 (如反應【7】所示)。



綜合反應式【1】 【13】，歸納成一簡化總反應，表示如下：



### 1.2.3 臭氧與氣象因子之研究

綜觀天氣系統及其伴隨之氣象因子在大氣中的現象，對大氣中污染物的擴散與傳輸扮有舉足輕重的角色，利用氣象條件制約污染源活動，即是控制污染在大氣中之散佈，如氣象條件發生變化時，大氣的稀釋擴散能力在幾小時內可改變十倍以上。

由於空氣污染在近地面對人類的影響非常巨大，因此近地面風向、風速之計算更形重要。對於空氣污染事件起因的探討，多半以氣象因子為主，而模式於模擬污染物濃度時，也是利用所收集之氣象資料，來模擬可能之污染源與可能之污染潛勢，故氣象資料之收集與計算影響模擬結果甚鉅（林清和等，1999）。

空氣污染之傳送、擴散以及累積、化學轉化和移除都牽涉到大氣動力、熱力及化學反應過程，因此在空氣污染研究中，氣象部分之分析研究一直佔有重要之地位。由於空氣污染現象會因地形與氣象條件及社會型態而有區域性污染，其分析研究需極高之解析度才能對區域的局部環流及地形等有較好之表現，因此其所需之水平網格解析度須達 1 ~ 5 公里（鄭曼婷等，2000）。

在許多的空品模式或軌跡型模式常運用到氣象資料，例如王作臺等（1994）利用氣象環流對背景大氣成分之傳送作探討；Cope et al.（1999）利用模式預測澳洲空氣品質；Kim et al.（2000）探討應用於診斷式風場之氣象網格化資料處理，由於氣象資料大部分來自於研究區域範圍內之氣象監測站，所以監測站之位置、分布和密度等，皆會影響模擬上之準確性。而對於研究區域外之測站點之加入，亦能調和網格範圍之邊界值。望熙榮等（1999）對中部地區空氣測站代表性評估中發現，針對竹山、埔里測站周圍之地形情況來看，於大肚山跟八卦山的附近，



有著大肚溪跟濁水溪地形上的缺口，可能造成台中縣市跟彰化縣所排放的污染物經由這些缺口進入南投縣，造成竹山、埔里兩站的測值提高。因此本研究特針對這些缺口設立監測站，並加入了研究區域範圍外之測站（國姓、阿里山和日月潭），希望能得到更合理之風場資料，提供軌跡模式之用。

有更多的研究探討氣象與污染物之關係，例如 Kitada et al. (1990) 探討污染物在海陸風氣象條件下對海岸地區和島嶼之影響；柳中明與蘇維中 (1996) 探討區域氣象環境與高臭氧之關係，發現在雲量少、日照時間長、盛行風受地形阻擋致盛行風風速弱、區域環流（如海陸風）主導該區域風場時，容易產生高臭氧值。林沛練等 (1990) 探討海風邊界層之發展與污染物濃度的日變化；Cheng et al.(1998)分析香港地區風場對 SO<sub>2</sub>、TSP 濃度之影響。

中部地區背山面海，東依中央山脈，西臨台灣海峽，中有大肚台地、八卦台地和斗六台地，其間穿插有平原與盆地，在此複雜地形之下，加上位處於熱帶與副熱帶氣候交會區，中部地區一到夏半年，在大環境綜觀天氣微弱時，區域環流將是左右污染物濃度傳輸與擴散的主要原因，其中尤以海陸風環流（sea-land breeze circulation）最為明顯。海洋對熱量富有保守性，不易熱也不易冷，海面上空氣的溫度日夜溫差很小，但相反的，陸地因地表比熱小，白天吸熱快，晚上散熱亦快，於是濱海地區在此海陸間的溫差作用下，便會產生一種熱力環流，日間從海洋吹向陸地的風稱為海風（sea breeze），夜晚從陸地吹到海洋的風則稱為陸風(land breeze)，海風通常在日出後 3-4 小時開始發展，午後 2-3 點達極盛期，此時環流可到達海岸內外各約 20 公里，有時還可深入內陸達 60-70 公里。許多研究指出，在此海陸風環流的作用下，濱海地區日間容易將空氣污染物往內陸傳輸與累積，進而造成下風處之高污染值產生（程萬里等，1999；Suppan et al.，1998；柳中明，1997；Chang et al.，1989）。

根據許多學者的研究成果，Table 4 列出各地易產生高 O<sub>3</sub> 濃度值的氣象條件，不同地區的主要影響氣象因子也會不同，其影響效應亦頗具差異。

Table 4 Relationship between ozone concentrations and meteorological factors.

地 區	利 於 高 O <sub>3</sub> 生 成 之 氣 象 條 件
西班牙 <sup>a</sup> Valladolid	風 速 < 1.5 m/s
瑞士 <sup>b</sup>	日照強度 > 450 w/m <sup>2</sup> 溫 度 > 20 風 速 < 3.0 m/s
台北 <sup>c</sup>	日照時數 > 5.5 小時 風 速 < 4.0 m/s ( 彭佳嶼 )
台灣 北部 <sup>d</sup>	日照時數 8 小時 地面風速 3.0 m/s ( 中正機場風速 6 m/s ) 低 雲 量 6/10 850 hpa 風速 10 m/s ( 板橋探空站 ) 850 hpa T 0 ( 板橋探空站 ) 通風指數 2500 m <sup>2</sup> /s 混合層高度 1200 m
a. Sanchez et al., 1990	b. Bronnimann and Neu, 1997
c. 柳中明與蘇維中,1997	d. 楊宏宇, 1993

#### 1.2.4 臭氧與氣候條件之研究

許多學者的研究指出，綜觀天氣型與高污染物濃度值有密切之相關。在許多的研究中（林能暉，2000；李清勝等，2000）發現，造成台灣北部地區空氣品質劣化的天氣類型有下列 5 個主要天氣類型：(1) 副熱帶動力高壓型 (2) 高壓出海迴流型 II (長江口以南出海) (3) 台灣北部鋒面過境型 (4) 台灣北部鋒面滯留型 (5) 台灣北部鋒前暖區型。而在 Cheng (2001)、白珣玲 (1998) 與黃怡嘉 (2001) 的研究中發現，台灣中部地區受高壓迴流及熱帶低壓北移天氣型影響時亦有高 O<sub>3</sub> 之情形。林斌龍及李崇德 (1990) 運用多變量統計分析，發現台北地區在高壓迴流及移動性高壓天氣型下易有高污染事件發生。柳中明 (1994) 發現台北盆地在鋒前暖區與高壓迴流天氣型下，高 O<sub>3</sub> 發生機率偏高。

由於天氣系統之變化與區域性臭氧污染潛勢關係至為密切，使得不利擴散的天氣型態常造成某一地區空氣污染情況嚴重惡化。學者的研究中發現，在一穩定的天氣系統下（如移動緩慢之高氣壓）易出現 O<sub>3</sub> 濃度上升之情形（Dye et al., 1995；Xu and Zhu, 1994）。在大陸高壓出海後，其迴流以東西向量為主，受中央山脈之阻擋下，台灣西部地區污染物濃度將容易累積（行政院環保署，1995）。因大範圍之沉降氣流形成絕熱加溫，使得大氣更加穩定，污染物垂直擴散受到限制，若配合區域內風場微弱，則更有助於高濃度污染物之形成（林能暉，2000；Brönnimann et al., 2000；Cheng and Lam, 2000）。

### 1.2.5 臭氧與風場之研究

風場對於污染物在大氣環境中之傳輸有很重要之影響，因此研究風場的目的之一，是為了要了解空氣污染物在大氣中之濃度分布與其跟風場之相關性。風的形成主要由氣壓的水平分布不均勻而引起，而氣壓水平分布不均勻又是因溫度分布不均勻所造成。風的形成除了熱力原因外還有動力因素，自然界的風是兩種原因綜合作用之結果。在大氣邊界層中，由於機械動力及熱力之影響而產生紊流，機械紊流主要取決於近地面風速隨高度的變化及地面粗糙度，熱力紊流則由氣溫之垂直分布決定，氣溫的垂直分布反映了大氣的穩定程度，因而造成了垂直運動的發生與發展。

在台灣地區，冬季多吹東北季風，夏季則吹西南季風，風亦常隨高度而變化，在遠離地面之高度，風速則由氣壓梯度及柯氏力之平衡關係而決定。隨著地理環境之不同，風亦發生變化，例如靠海之城市會有海陸風、山脈起伏所造成之山谷風和都市之熱島環流等。很多學者發現，風場之變化對空氣污染物之傳輸影響重大，隨著地形的起伏，風速與風向配合地形的變化，以及週遭排放源之分布等，都將使得空氣污染物之傳送與累積受到影響。

Demirci and Cuhadaroglu (2000) 的研究中發現，在對土耳其的城市 Trabzon 所作之空氣污染物與風場的統計分析中，發現風速與風向跟空氣污染物濃度有一弱相關。Tirabassi et al. (1990) 之研究發現，風速與地面污染物濃度在沿海城市 Ravenna 有強的相關性。而區域環流如海陸風、山谷風等之產生，亦對區域性之空氣污染產生重大之影響 (Baumbach and Vogt, 1999; Hastie et al., 1999; Suppan et al., 1998)，而上述這些研究顯示，區域環流 (尤其是海陸風環流) 影響許多濱海大都市的氣象環境，並有將都會區的空氣污染物帶往鄰近郊區的現象，並造成許多鄉村地區之空氣污染。

在 Suppan et al. (1998) 的研究中，懷疑海陸風並非是造成希臘雅典地區產生高臭氧污染的唯一原因，而可能是加總綜觀天氣型與區域風場後之平衡風系，故其將海陸風類型加以分成三類，(1) Etesian days：強烈的北風 (綜觀天氣系統顯著) 影響下，海陸風不明顯。(2) Normal days：中度的北風 (綜觀天氣型中等顯著) 影響下，有微弱海陸風形成。(3) Sea-breeze days：微弱的北風 (綜觀天氣型不顯著) 影響下，海陸風主導區域氣象。並探討這三種風場類型與臭氧之相關性，結果發現臭氧與 PAN 受風場之影響很大，且其濃度隨海岸線往內陸距離遠近有顯著之變化，而在分類的風場類型中亦發現，Sea-breeze days 發生高臭氧機率最高，且其臭氧濃度比 Normal days 之臭氧濃度甚至高出 57%。

### 1.3 研究動機與目的

O<sub>3</sub> 污染為目前世界各大都市最緊迫實際的環境問題之一，尤其是存在對流層內的 O<sub>3</sub> 污染特別受到重視，因其影響人體健康最為直接。O<sub>3</sub> 為二次光化污染物，許多文獻皆指出，O<sub>3</sub> 不只是前驅物 (NO<sub>x</sub>、NMHC) 排放源當地光化反應之結果，關鍵因素主要在於當地之地形位置與氣候條件，在某些的氣象條件與地形位置搭配下，O<sub>3</sub> 或其前驅物會隨氣流的輸送向下風處擴散，使 O<sub>3</sub> 由局地性污

染發展成區域性的問題 ( United Nations Environment Programme, UNEP, 1992 ), 為當今迫切需要探討的環境課題之一。

在許多學者的研究中指出地面風場與臭氧之關係顯著, 故本研究綜合綜觀天氣型與區域風場所得之近地面風場, 針對中部地區近地面風場作分類, 並探討其與近地面臭氧之相關性作一分析。

在環境科學領域中, 軌跡的計算是一項被十分廣泛應用的工具。由於空氣污染大部分皆發生於近地面, 對人類之影響非常巨大, 根據過去研究指出 ( 張能復等, 1996; 蘇維中與柳中明, 1996; Lin et al., 1995; Liu et al., 1994; Xu and Zhu, 1994 ), 大都會區的高 O<sub>3</sub> 污染事件, 多因都會區本身或週遭存在氮氧化物 ( NO<sub>x</sub> ) 與碳氫化合物 ( 主要為 NMHC ) 之排放源, 遇有適當氣象條件如, 高溫、日照時數長、低雲量、相對溼度低或盛行風受地形阻擋致盛行風風速弱、區域環流( 如海陸風 ) 主導該區域風場等情形相配合時, 便可能使光化反應更加旺盛, 進而產生臭氧濃度的不斷累積升高, 形成高臭氧事件。而地形與風場在此反應所扮演的角色, 則是決定空氣污染物在當地累積或向下風處傳送的主因之一。

氣團反軌跡也是應用於界定污染源與受體間關係之重要方法 ( Stohl, 1998 ), 早期多運用於單一事件之解析, 但從 1980 年代後, 許多學者則紛紛提出藉由大量的氣團反軌跡, 配合受體點濃度之統計分析, 進而預測可能之污染源位置。張能復等 ( 1996 ) 與林清和等 ( 1999 ) 利用 Ashbaugh 計算氣團反軌跡線出現於每一網格之機率, 結合每一網格之排放強度, 進而求得每一網格對受體點的污染貢獻。本文即利用此氣團反軌跡結合排放資料庫之方法, 分析中部地區不同污染源對境內高污染測站之貢獻。本文並採用 Stohl and Wotawa ( 1995 ) 之建議, 利用混合層內之平均風場來計算氣團行進之軌跡。

基於 O<sub>3</sub> 與其前驅物、風場和氣象條件之密切關係, 本研究特從此著手, 探討其相關性, 冀能提供決策者對改善臭氧等光化學煙霧之污染問題時參考之用。

## 第二章 研究原理與分析方法

本文研究方法流程如 Fig. 2 所示，分以下步驟：

- (1) 擷取氣象監測站資料
- (2) 將所擷取之氣象資料經 QA/QC 整理後，輸入至氣象資料庫建檔。
- (3) 套用美國 EPA 所發展之 Mesopuff 模式中，有關混合層內平均風場之求取方法，利用 SQL 程式擷取氣象資料庫之數據，並以 Fortran 程式將氣象資料作運算處理以輸出網格化之風場資料。
- (4) 經由繪圖軟體，可將網格化之風場資料繪製成中部地區之風場圖。
- (5) 計算 1996 - 2000 年中部地區之風場，將所輸出之風場資料整理進風場資料庫。
- (6) 利用風場資料庫作中部地區之風場分類，並希望藉由分類結果與發生高臭氧濃度之機率作一相關性分析，進而探討中部地區發生臭氧事件日時之風場特徵。
- (7) 利用風場資料庫作逆軌跡推演，藉由分析臭氧前驅物 (NO<sub>x</sub>、NMHC) 之逆軌跡分布，期能得知造成中部地區發生臭氧事件日之主要貢獻來源區。

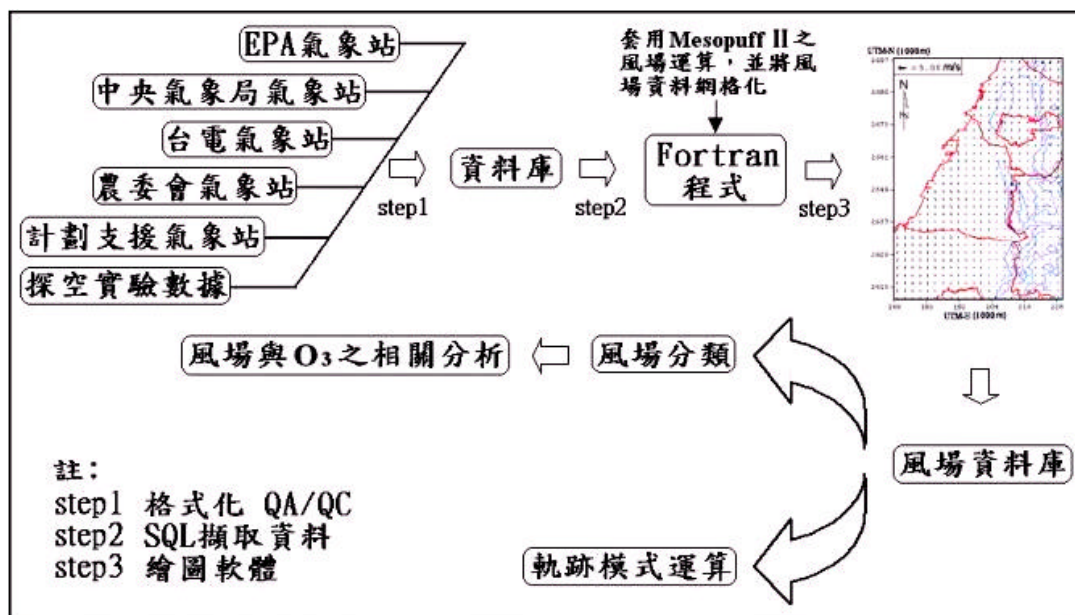


Fig. 2 Flow chart of research method

## 2.1 資料收集

本文為國科會 ( NSC-89-EPA-Z-029-001 )、環保署 ( EPA-89-FA11-03-231 ) 與台中市環保局計畫資助下之研究，配合其工作項目 - 建立中部地區地面風場資料庫，故本研究在氣象資料上之收集，分別詳述如下：

### 研究區域

本研究所選取的區域主要為中部地區之台中縣、台中市、彰化縣、南投縣和雲林縣，其座標範圍分別為：UTM\_E 168000 230000 與 UTM\_N 2609000 2697000，網格大小為 1 km×1 km，共 63×89 ( 5607 ) 個網格。

### 氣象測站簡介

本研究所選定之地面氣象測站包含環保署、台電公司、中央氣象局和農委會等 25 個，加上環保署、國科會和南投 SIP 計畫支援之自設氣象站 6 個，合計共 31 個地面測站，其位置與簡介如 Fig. 3 與 Table 5 所示。目前本研究已收集上述各測站 1996 - 2000 年之氣象資料 ( 自設測站為 2000 年初才設立 )。

### 垂直氣象資料之收集

由於中部地區無常設之探空氣象站，故在垂直氣象資料之收集上，本研究在各計畫的補助下，與中興大學合作，逐年定點施放探空氣球實驗，實驗方法與步驟將於下節作介紹，而本研究所收集的資料長度從 1997 年至 2000 年，資料涵跨四季，總計共 358 筆 ( 小時點 ) 探空資料。

### NO<sub>x</sub> 與 NMHC 排放量資料之收集

本文所使用之 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 排放量資料為中鼎顧問公司之 TEDs 4.2 資料庫，此資料庫以 1997 為基準年，以點源、線源與面源來加以分類。其顯示方式

為：點源（固定污染源）以各公司行號所在地之 UTM 座標及年排放量作排列；線源（移動性污染源）以  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$  的網格作計算基點，以車流量及各車種的排放係數計算各車種之年排放量；面源（逸散性污染源，如水田、建築表面圖漆等）也是以  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$  的網格作計算基點，以各排放源及其排放係數計算出年排放量。

利用此排放量資料，擷取本研究所選定之中部地區內所有  $\text{NO}_x$  與 NMHC 之點、線、面源，可得 Fig. 4 和 Fig. 5，此即代表中部地區  $\text{NO}_x$  與 NMHC 之排放量分布圖（1997）。從 Fig. 4 中可看出，中部地區之  $\text{NO}_x$  排放主要以線源（移動性污染源）之污染最大，尤其是中山高速公路，年排放量皆在 100 噸以上，而其他省道之排放也在 40 tons / year 以上，另外台中市一半以上的區域排放量也超過 40 tons / year，十分可觀。點源的排放量亦相當驚人，Table 6 列出中部地區前十大污染點源，可發現前三大固定污染源如台灣電力股份有限公司台中發電廠、台灣玻璃工業股份有限公司和台灣化學纖維股份有限公司等，其排放量皆超過 4000 tons / year，亦是中部地區主要的污染源。從 Fig. 5 中可看出，中部地區之 NMHC 主要以面源之排放量最大，尤其分布在一些人口較密集的城鎮或工業區，如台中市區、豐原市區、台中港區、彰化市區、員林鎮與竹山鎮等，另外線源如中山高速公路、省道台一線等亦有不小的排放量。

由以上的描述中可發現， $\text{O}_3$  污染前驅物  $\text{NO}_x$  與 NMHC 的污染排放主要集中在中部地區的台中縣市、彰化市、主要交通要道與特定點源，然而在許多的研究中卻指出，受氣象因素與地形的影響，將造成污染物的跨縣市傳輸，形成  $\text{O}_3$  高值不易在污染排放量高的縣市測得，反而是在內陸的南投縣市易測得高  $\text{O}_3$  濃度值。



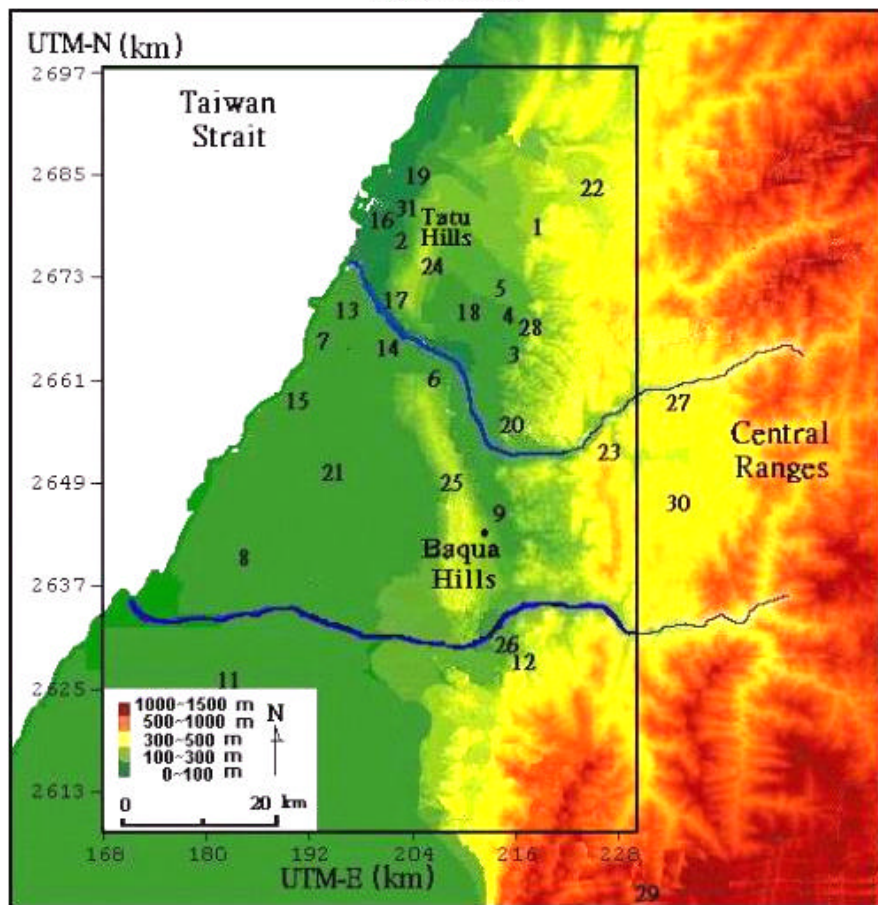
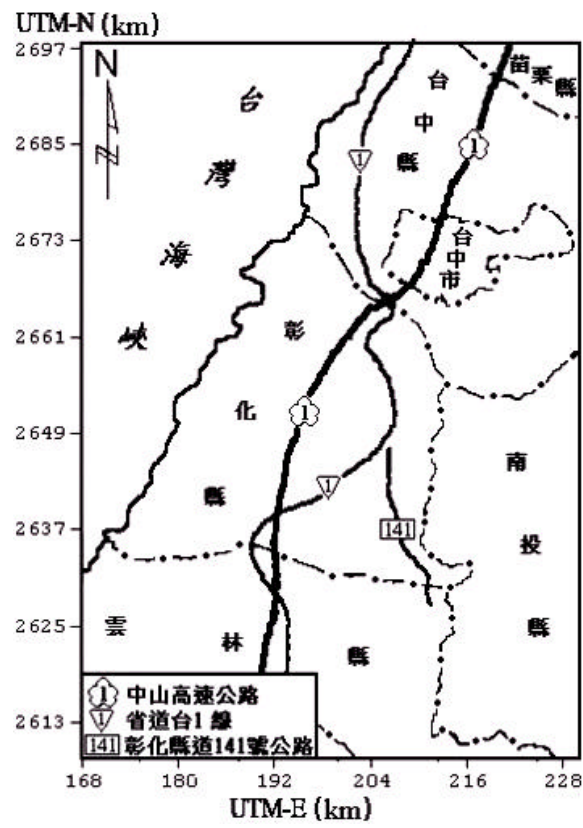


Fig. 3 Location of monitoring stations over central Taiwan.

Table 5 The profiles of monitoring stations used in this study.

代碼	測站名稱	UTM_E	UTM_N	測站屬性	監測項目*
1	豐原	220125	2682649	環保署	1,2
2	沙鹿	204110	2680368	環保署	1,2
3	大里	216446	2666146	環保署	1,2
4	忠明	214529	2672767	環保署	1,2
5	西屯	210299	2673130	環保署	1,2
6	彰化	203087	2664287	環保署	1,2
7	線西	195368	2669772	環保署	1,2
8	二林	189060	2647088	環保署	1,2
9	南投	217382	2644313	環保署	1,2
10	台西	168817	2622681	環保署	1,2
11	崙背	183225	2628665	環保署	1,2
12	竹山	216250	2628350	環保署	1,2
13	伸港	196800	2671300	台電	1
14	和美	198300	2667044	台電	1
15	鹿港	191700	2661300	台電	1
16	梧棲	201700	2683044	台電	1
17	大肚	203000	2671700	台電	1
18	東大	208300	2674900	台電	1
19	清水	205300	2684168	台電	1
20	農業試驗所	218000	2658800	農委會	1,2,3,4,5
21	台中農改場	201670	2655630	農委會	1,2,3,4,5
22	頭嵙山	228932	2680274	國科會計畫	1,2,3,4,5
23	雙冬	228350	2653590	環保署計畫	1,2,3,4,5
24	大肚山	206127	2675157	國科會計畫	1,2,3,4,5
25	八卦山	211320	2651275	國科會計畫	1,2,3,4,5
26	竹山	214420	2629720	環保署計畫	1,2,3
27	國姓	236750	2653100	南投SIP計畫	1,2,3
28	台中	217819	2671680	中央氣象局	1,2,3,4,5
29	阿里山	229576	2600741	中央氣象局	1,2,3,4,5
30	日月潭	239816	2642120	中央氣象局	1,2,3,4,5
31	梧棲	202400	2684750	中央氣象局	1,2,3,4,5

\* : 1.風向、風速 2.溫度 3.相對濕度 4.壓力 5.日輻射

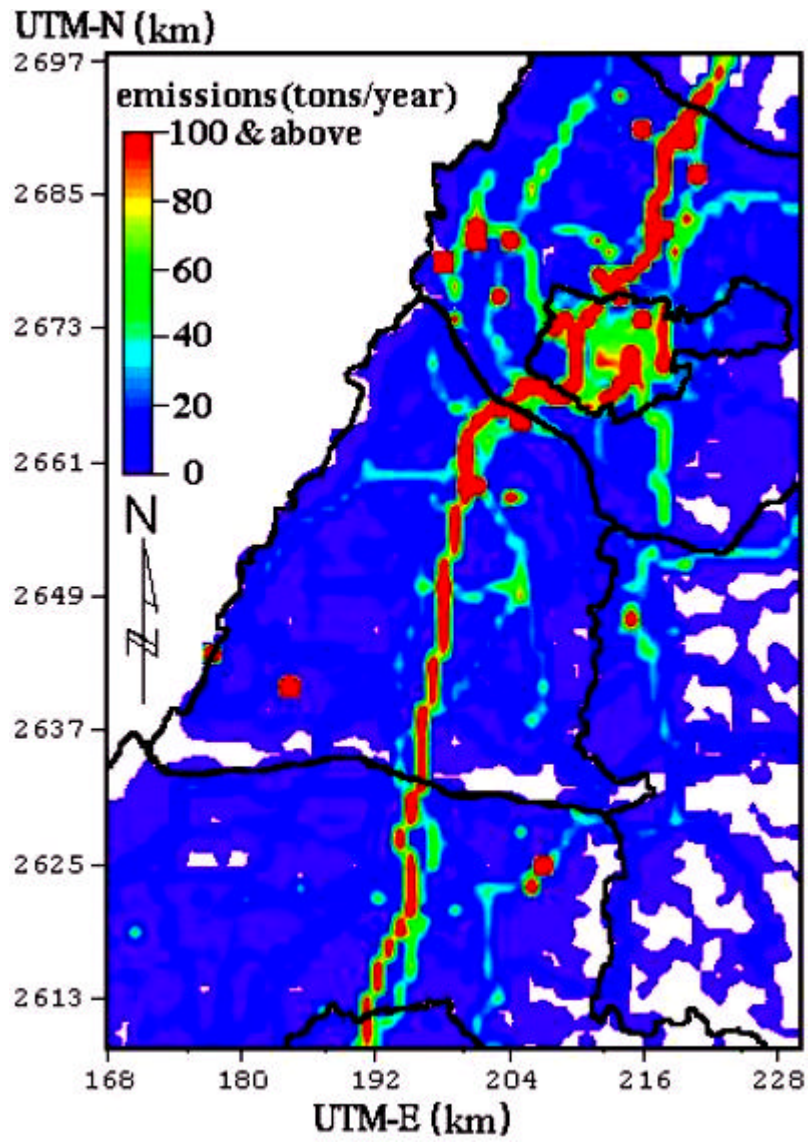


Fig. 4 NOx emissions in central Taiwan in 1997.  
 (中鼎顧問公司 TEDs 4.2)

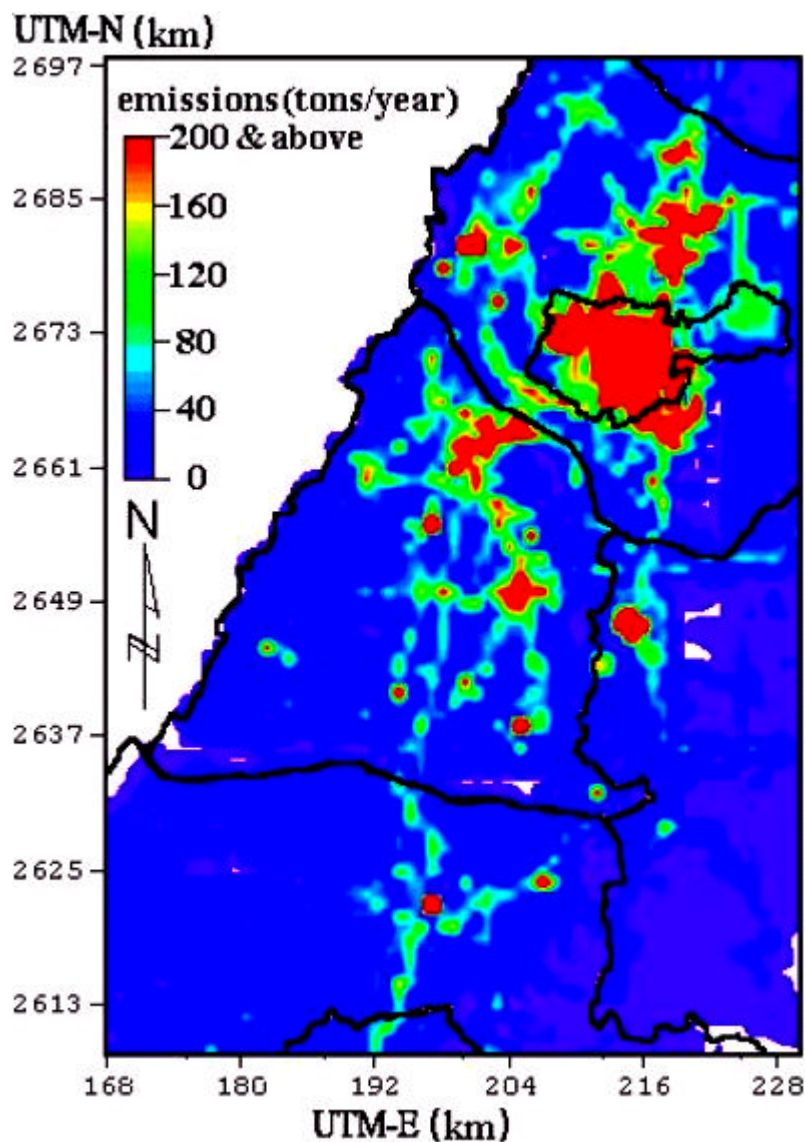


Fig. 5 NMHC emissions in central Taiwan in 1997.

(中鼎顧問公司 TEDs 4.2)

Table 6 Ten maximum of NO<sub>x</sub> emitters in central Taiwan in 1997.

名次	工廠名稱	UTM_E (m)	UTM_N (m)	NO <sub>x</sub> 排放量 (tons/year)
1	台灣電力股份有限公司台中發電廠	197566	2679060	30147.15
2	台灣玻璃工業股份有限公司台中廠平板三廠	200590	2681455	6062.25
3	台灣化學纖維股份有限公司	204656	2665022	4176.35
4	榮成紙業股份有限公司	184318	2640713	2213.06
5	正隆股份有限公司后里分公司	221095	2686865	979.99
6	鎂光熱處理廠股份有限公司	218053	2682434	706.35
7	台灣司普工業股份有限公司	215699	2690529	686.84
8	台灣玻璃工業股份有限公司台中廠	200596	2681599	645.56
9	宏東洋實業股份有限公司	200300	2659000	638.86
10	信發印鐵工業股份有限公司	202689	2666313	519.04

(中鼎顧問公司 TEDs 4.2)

## 2.2 探空實驗

為收集中部地區大氣之垂直氣象資料，在計畫支持下，本研究團隊曾多次與中興大學環境工程學系合作，於大甲、龍井和草屯等地施放繫留探空儀，除獲得中部地區垂直氣象數據與污染物濃度資料外，亦藉以瞭解中部地區邊界層內大氣結構對污染物擴散傳輸之影響。

### 2.2.1 實驗設計

台灣地處熱帶與副熱帶氣候交會區，夏季受西擴之太平洋暖高壓影響，綜觀環境地面風場主要以偏南風（東南 西南風）為主，冬季則受西伯利亞大陸冷高壓南下之影響，綜觀環境地面風場主要以偏北風（東北 北風）為主，春秋兩季則為一交替期，在盛行環境風場微弱的情形下，區域風場（山谷風、海陸風）將主宰污染物之累積與傳輸。高壓迴流天氣型乃大陸分裂冷高壓中心東移出海至台灣東北方稱之，此時之綜觀環境風場以東風系為主，且風場微弱，易出現在春、秋季節，是典型的季節交替天氣型。中部地區由於地處中央山脈西麓，在此天氣型下，中部地區將形成一相對低壓，此時局部環流更為顯著。為了解在不同綜觀環境風場的影響下，中部地區區域風場對熱力邊界層之發展與污染物擴散傳輸之影響，本研究團隊特與中興大學環境工程系合作進行探空實驗，並於台中盆地之上風處（大甲、龍井）及下風處（草屯）進行密集採樣（Fig. 6）。

繫留探空氣球與 Tethersonde 的施放，所需時間視採樣高度與風速而定，以 1200 m 為例，施放一次約需 60 70 分鐘，若風速增強，則作業時間將更長，故本研究採每 3 小時施放一次，時間分別為 00：00、03：00、06：00、09：00、12：00、15：00、18：00、21：00，計一天八次。採樣高度分別為地面、100 m、300 m、500 m、800 m、1200 m 等 6 點，繫留探空氣球由絞線與絞盤控制其上升與下降，並在各個採樣高度繫上定時抽氣幫浦與透明鐵氟龍樣袋進行高空污染物採樣，儀器設備與架構如 Fig. 7 所示。Tethersonde 在上升過程中，每隔 1 2 秒

便會將一筆高空之風速、風向、壓力、溼度、高度等資料傳回地面之接收器，並由電腦紀錄下來，而由各個高度採集之樣本袋收回地面後，便利用空氣品質分析儀進行污染物濃度之分析讀取。

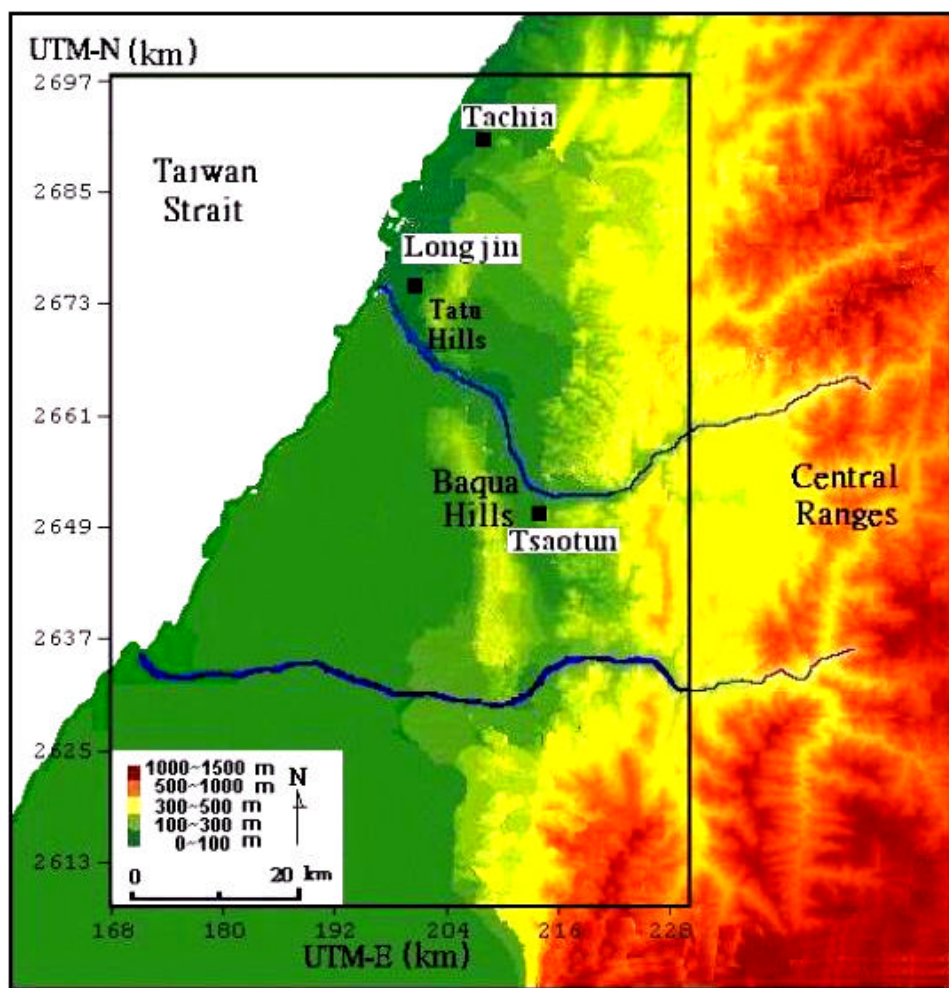


Fig. 6 Map of experiment stations.

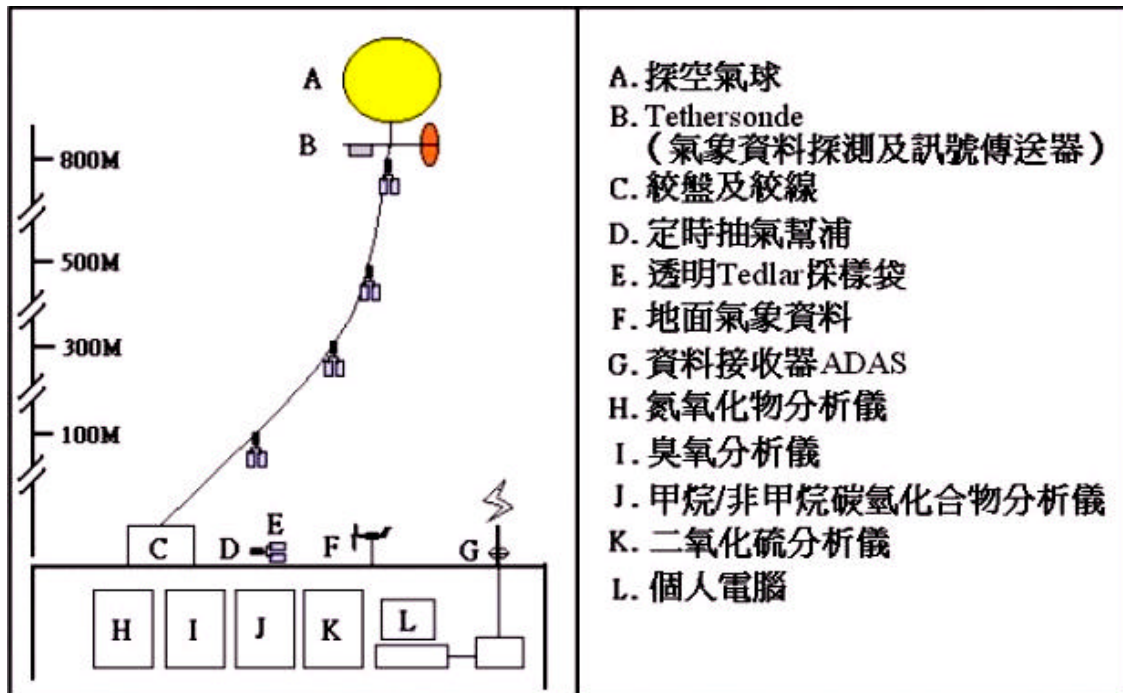


Fig. 7 Instrumental details.

## 2.2.2 探空儀器

### (1) 探空氣球 (Tethered Balloon)

採用一般之廣告氣球，直徑約 2 m，淨重約 5 kg，以氫氣填充之，充滿氫氣後，體積約 3 m<sup>3</sup>，靜風狀態下浮力約 9.7 kg。

### (2) 絞盤(Electric Winch)和絞線(Rope)

主要用於控制氣球之上升與下降，並藉以維持繫放速度之穩定，其規格說明如下：

項 目	規 格
絞盤規格	TS.3A Electric Winch Serial 3021
淨 重	28.0 kg
速 度	0 - 1.8 m s <sup>-1</sup>
最大負荷	45 kg
操作溫度	0 - 50
輸出馬力	1 / 2 HP
絞 線	長 1000 m，720 lbs 拉力

(3) 探空儀(Tethersonde)

探測各項氣象資料，並能將訊號即時傳送至地面接收器。本探空儀採用 AIR 公司所製造之 Model TS-5A-SP 型，Table 7 為探空儀探測之各項氣象參數 ( AIR, 1998 )。

Table 7 Performance characteristics for Air Model TS-SA-SP

Items	Performance Range		Accuracy
Temperature	+ 50.0	- 40.0	± 0.5
Relative humidity	0	100.0 %	± 3.0 %
Atmospheric pressure	600.0	1050.0 hpa	± 1.0 hpa
Wind speed	0	20.0 m s <sup>-1</sup>	± 0.5 m s <sup>-1</sup>
Wind direction	0	360.0 °	± 10.0 °

(4) 資料接收器 ADAS (Atmosphere Data Acquisition System)

IS-5A-RCR 400-406 MHz ( AIR, Boulder, Colorado )，可接收 Tethersonde 所發出之微波訊號，並將其轉換成可讀取之格式化氣象資料 ( AIR, 1998 )。

(5) 定時抽氣幫浦 ( Pump )

為自製之定時採樣器，設計上參考新系環境顧問公司之採樣器，有定時抽氣功能，可於固定時間點抽取所要之空氣樣本，抽氣孔外接兩個採樣袋，抽氣所需時間視採樣袋大小而定，本研究因所用之採樣袋大小定時約 12 mins。本採樣器以 2 個 1.5 Volt 電池當電源，含電池重約 780 g，抽氣流量約為 0.014 l s<sup>-1</sup>。

(6) 採樣袋 ( Tedlar Sample Bags )

採用透明 10 L 之 SKC Tedlar sample bags 232-08，採樣袋之接頭屬 PE 材質。



### 2.2.3 空氣品質分析儀

空品分析儀用來分析探空所採集之空氣樣本，分析項目有 NO<sub>x</sub>、O<sub>3</sub>、HCs 等，以下就各個分析儀之原理與規格作介紹，其他操作參數則詳見附錄一。

#### (1) 零氣產生器 (Zero Air Module, Model 701)

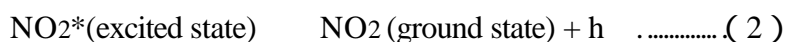
空品分析儀在操作前需先做好校正，而校正所需之標準濃度氣體則是利用零氣與標準氣體經校正器混合所產生，此零氣產生器之作用，即是將空氣中之 SO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>2</sub> 及 O<sub>3</sub> 去除，進而得到我們校正所需之零氣體。

#### (2) 校正器 (Programmable Multi-Gas Calibrator, Dasibi Model 5008)

將標準氣體與零氣體稀釋，進而調配所需之不同濃度值，以利空品分析儀校正工作之進行。

#### (3) 氮氧化物分析儀 (Nitrogen Oxides Analyzer, API Model 200A)

此儀器主要運用化學發光法 (Chemiluminescence method) 之原理來測定，當氣體樣本被抽入分析儀後，將使其與 O<sub>3</sub> 反應，待測氣體中之 NO 會與 O<sub>3</sub> 反應形成激態的 NO<sub>2</sub>，當激態的 NO<sub>2</sub> 恢復到基態的 NO<sub>2</sub> 時將會放出一特定波長之螢光，其反應式如下：



在反應式 (2) 中所放出的螢光強度會與 NO 濃度成正比，利用光電倍增管測定其螢光強度後即可得待測氣體中之 NO 濃度。待測氣體在進入反應室前即會利用還原介質使 NO<sub>2</sub> 還原成 NO，此時便可測得 NO<sub>x</sub> 濃度，而 NO<sub>2</sub> 濃度則為 NO<sub>x</sub> 減 NO 即可得之 (API, 1994)。

(4) 臭氧分析儀 ( Ozone Analyzer, API Model 400 )

採用紫外線光度計法 ( Ultraviolet Photometric Method ) , 不同濃度的 O<sub>3</sub> 在特定光譜下對紫外線的吸收會有差異 , 而此差異又與 O<sub>3</sub> 濃度成正比 , 利用此一關係可做一定量分析。O<sub>3</sub> 在 254 nm 波段之紫外線吸收能力最強 , 故將待測氣體以波長 254 nm 的紫外線照射後 , 由其吸收量之變化即可測得氣體中之 O<sub>3</sub> 濃度。本實驗選取的偵測範圍為 0 – 500 ppb , 誤差為 ± 5.0 ppb ( API, 1994 )。

(5) 碳氫化合物分析儀 ( Methane/Non-Methane Hydrocarbon Analyzer, Dasibi Model 302 )

運用氣相層析儀火焰離子化法 , 將待測氣體輸入後 , 由於其中所含之碳氫化合物在氫焰作用下會增加離子之密度 , 而其反應值與化合物所含碳原子數目將成比例 , 由此關係即可求得碳氫化合物之濃度值 (Dasibi, 1996)。

## 2.3 研究原理與分析方法

本文使用美國環保署所發展之第二代中尺度煙陣模式 ( Mesopuff ) 中 , 關於混合層內平均風場之計算機制來實際計算中部地區混合層內之平均風場 , 繼而利用「氣團反軌跡法」來界定污染源與受體點間之關係。研究中所使用之網格範圍皆為 UTM\_E 168000 230000 UTM\_N 2609000 2697000 , 網格大小為 1 km × 1 km , 共 63 × 89 ( 5607 ) 個網格 ; 研究區域特選定中部地區之台中縣、台中市、彰化縣、南投縣和雲林縣 , 作為風場與氣團反軌跡之研究區域網格範圍 , 所選定之地面氣象測站包含環保署、台電、中央氣象局和農委會等 25 個 , 加上環保署、國科會和南投 SIP 計畫支援之自設氣象站 6 個 , 合計共 31 個地面測站 (Fig. 3 , Table 5)。以下就各項內容作說明 :

## 2.3.1 混合層內平均風場之求取與分類

### (1) 風場求取原理

混合層內的平均風場，為驅動空氣品質模式所必備。本文所採用之美國 EPA Mesopuff 模式中，混合層內平均風場的原理為將各測站的風向、風速分解為 U、V 向量風速後，因將各測站 U、V 向量風速內差至各網格點時，各網格點與測站的距離影響結果甚鉅，故取各網格點與測站的距離平方為權重因子，但在加總的過程中，由於風的傳輸能力，必須考慮到上風、下風的位置，因此將測站點與網格點的相對位置向量及測站風向夾角也列入權重因子，詳細公式如下：

$$(U, V)_{i, j} = \frac{\sum_k \frac{a}{r^2} (U_k, V_k)}{\sum_k \frac{a}{r^2}}$$

$$a = 1 - 0.5 \left| \sin f \right|$$

$(U, V)_{i, j}$ ：為網格點(i,j)之地面 U,V 向量風速

$(U_k, V_k)$ ：為第 k 個測站之地面 U,V 向量風速

$f$ ：為第 k 個測站與網格點(i,j)之夾角

$r$ ：為第 k 個測站與網格點(i,j)之距離

另外在網格點上空之風速，可利用幕次定律 (power law) 來求取，公式如下：

$$\begin{aligned}\bar{U}_{i,j} &= \frac{1}{H - Z_{0i,j}} \int_{Z_{0i,j}}^H U_{i,j} \cdot \left( \frac{Z}{Z_{0i,j}} \right)^n dZ \\ &= \left( \frac{1}{1+n} \right) \cdot U_{i,j} \cdot \left( \frac{H - Z_{0i,j}}{Z_{0i,j}} \right)^n\end{aligned}$$

H：為混合層高度

$z_0$ ：為網格點(i,j)之地形高度

n：為幕次率 (n 值隨著不同穩定度而有異)

$\bar{U}_{i,j}$ ：為網格點(i,j)之混合層內平均 U 向量風速

由於幕次定律的幕次率會隨著應用地點的地形及經緯度不同而改變，因此幕次率影響計算結果甚鉅，但由於中部地區並無常設之探空氣象站，缺乏垂直向風場所需之探空資料，故為求取中部地區的幕次率，本研究收集中部地區近幾年來東海大學環境科學系及中興大學環境工程學系的探空資料，資料範圍從 1997 2000 年，共 358 筆（小時值）探空資料，因幕次率會隨著不同穩定度而異，所以將穩定度分為日間、夜間、風速 0.0-1.0 m/s、 1.1-2.0 m/s、 2.1-3.0 m/s、 3.1-4.0 m/s、 4.1 m/s 以上各五級，將探空資料分級處理後進行迴歸分析，分析結果如 Table 8 所示。

Table 8 The result of power law regression,  $X=Z_i/Z_o$ ,  $Y=U_i/U_o$ ,  $Z_i$ : finding altitude,

$Z_o$ : station altitude,  $U_i$ : finding wind speed,  $U_o$ : station wind speed

風速 (m/s)		迴歸公式	R <sup>2</sup> 值
日	0.0 1.0	$Y = X^{0.67}$	0.85
	1.1 2.0	$Y = X^{0.50}$	0.84
	2.1 3.0	$Y = X^{0.43}$	0.95
間	3.1 4.0	$Y = X^{0.24}$	0.87
	4.1 以上	$Y = X^{0.14}$	0.93
	0. 0.0 1.0	$Y = X^{0.91}$	0.72
夜	1.1 2.0	$Y = X^{0.31}$	0.79
	2.1 3.0	$Y = X^{0.38}$	0.90
	3.1 4.0	$Y = X^{0.28}$	0.94
間	4.1 以上	$Y = X^{0.31}$	0.91

## (2) 風場之分類

台灣地處熱帶與副熱帶氣候交會區，夏季受西擴之太平洋副熱帶高壓影響，綜觀環境地面風場主要以偏南風（東南 西南風）為主，冬季則受西伯利亞大陸冷高壓南下之影響，綜觀環境地面風場主要以偏北風（東北 北風）為主，春秋兩季則為一交替期，在盛行環境風場微弱的情形下，區域風場（山谷風、海陸風）將主宰污染物之累積與傳輸。加上中部地區之山脈大致為南北走向，在盛行風強烈之條件下，風向常呈南北方向，而在盛行風微弱時，區域環流主導中部地區之風場，尤以海陸風最為明顯。基於此種氣象特徵，本研究將風場之分類依大環境的天氣型態（東北季風型、西南氣流型和季節交替型）搭配區域風場類型（偏北風、偏南風和海陸風）來加以區別。

\* 依大環境的天氣型態分類

採用程萬里等(1998)所使用之 14 種綜觀天氣型態分類 (Table 9),  
分成下列三種風場類型：

- a. 東北季風型：若天氣型主要受到東北季風、高壓迴流、高壓出海的影響，而中部地區的風向又是屬於東北風，則判定其為東北季風型。
- b. 西南氣流型：若天氣類型為西南氣流、偏南氣流或太平洋高壓型，且中部地區之風向屬於西南風，則將其判定為西南氣流型。
- c. 季節交替型：若天氣類型為熱帶低壓、鋒前暖區、鋒面滯留、鋒面過境等類型，即屬於此型。

\* 依區域風場之型態分類

- a. 海陸風：選定三個從沿海至內陸分布的測站（線西、和美、彰化），只要一天（0 23 時）中三個測站的風速  $< 5.0 \text{ m/s}$ ，且風向有明顯變化（交角  $> 90^\circ$ ）（殷達中，1997），則定義此為海陸風類型。
- b. 偏南風：風向大致呈現以偏南風為主，即定義此為偏南風型。
- c. 偏北風：風向大致呈現以偏北風為主，即定義此為偏北風型。

(3) 高臭氧污染日與事件日之篩選

為了探討風場之分類與事件日之相關分析，再此須先對事件日定義與篩選。

\* 高臭氧污染日：在選定的中部地區 13 個環保署測站中，選擇一天中（0 時至 23 時）三站以上 O<sub>3</sub> 濃度 ≥ 80 ppb，就定義此日為高臭氧污染日。

\* 高污染事件日：在選定的中部地區 13 個環保署測站中，選擇一天中（0 時至 23 時）三站以上 O<sub>3</sub> 濃度 ≥ 80 ppb 或 PM<sub>10</sub> 濃度 ≥ 125 μg/m<sup>3</sup>，就定義此日為事件日。

Table 9 14 Synoptic patterns

代碼	本文天氣類型	特 徵
P1	東北季風型	極地大陸冷高壓影響台灣，台灣以東北季風為主，但高壓中心尚未出海。
P2	高壓出海型	大陸冷高壓由陸上移至海上，高壓中心未過 125 E。
P3	高壓迴流型	大陸高壓中心出海過 125 E
P4	鋒面過境型	鋒面一日內通過台灣本島。
P5	鋒面滯留型	鋒面於台灣地區停滯。
P6	鋒前暖區型	華南沿海至近台灣北部海面有鋒面。
P7	熱帶低壓北移型	台灣受熱帶低壓或颱風外圍環流影響。
P8	颱風型	颱風侵襲台灣中或颱風由台灣西側移出。
P9	偏南氣流型	華南或華中地區有低壓產生，太平洋高壓微弱，台灣南面海面上有低壓系統，風向由菲律賓持續向北吹。
P10	西南氣流型	颱風北上至韓國或日本一帶，或低壓生成於日本一帶，將水氣由中南半島持續向上拉。
P11	華南雨區東移型	華南至東海一帶滯留鋒面並東移徘徊，通常此鋒面為梅雨鋒。
P12	東海低壓或台灣低壓型	東海或台灣東部海面的低壓系統。
P13	太平洋高壓西伸型	太平洋高壓西伸至台灣。
P14	太平洋高壓型	台灣受太平洋分裂高壓影響。

(參考資料：林能暉,2000；程萬里等,1998；李清勝等,1997)

#### (4) 資料

臭氧與 PM<sub>10</sub> 之濃度值採用環保署設於中部空品區內 13 個測站的逐時觀測值，資料的起訖時間為 1996 年 1 月 1 日至 2000 年 12 月 31 日。氣象資料則採用本研究所建立之風場資料庫，資料的起訖時間同上。其中環保署二林測站於 1999 年 6 月之後，發現該測站風向與其他測站比較之下，差異頗大，在實地觀察之後，發現該測站四周並無其他建築物或地形之影響，推測儀器可能發生故障，經與環保署人員查證過後，確認該測站風向儀損壞，故自 1999 年 6 月 1 日起至 1999 年 12 月 31 日止該測站之風場資料予以剔除。另 1996 年 4 月環保署測站皆缺值，故 1996 年 4 月（共 30 天）亦不列入統計資料內。

### 2.3.2 氣團反軌跡之分析

#### (1) 氣團反軌跡求取方法

軌跡分析的方法一般可分二種：

- a. 源指向 (Source-oriented): 已知污染源位置，將軌跡指向受體點位置。
- b. 受體指向 (Receptor-oriented): 為已知受體點位置，反推上風處污染源位置。

本研究採用受體指向法，也就是反軌跡法 (Backward trajectory)，其公式如下：

$$X_0 = X - U(X, Y, t) \times t$$

$$Y_0 = Y - V(X, Y, t) \times t$$

(X,Y): 時間 t 時煙流受體位置。

U(X,Y, t): 時間 t 時煙流受體位置的水平向量風速。

V(X,Y, t): 時間 t 時煙流受體位置的垂直向量風速。

(X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>): 時間 t - t 時反推之煙流位置。



## (2) 反軌跡線計算之位置設定、事件日篩選與起始時間

根據許多研究顯示 ( Cheng et al. , 2001 ; Cheng , 2001 ; 張良輝 , 2000 ; 程萬里等 , 1999 ) , 中部地區污染較嚴重之地區主要為大里、南投和竹山等地 , 故本研究選取此三地之測站當作氣團反軌跡之起始位置 , 根據測站所測得之 O<sub>3</sub> 濃度 , 若 O<sub>3</sub> 濃度 > 80 ppb , 便定義此日為事件日 , 並以此日之 15 : 00 作為氣團反軌跡之起始時間 , 反溯至當日 8 : 00。另外一些研究指出 , 在高壓迴流與熱帶低壓天氣型下 , 中部地區容易產生高 O<sub>3</sub> 事件日 ( 黃怡嘉等 , 2001 ; 白珏玲等 , 1998 ) , 故本研究亦選定高壓迴流與熱帶低壓等天氣類型日作上述之氣團反軌跡推演。本研究資料分析時間為 1997 年 1 月至 2000 年 12 月共 4 年。

## (3) 前驅物潛勢來源區的劃分與界定

在氣團經過的地方並不一定會有前驅物的排放 , 因此本研究參考林清和等 ( 1999 ) 之定義 , 將氣團反軌跡線所經過之地方稱為『前驅物潛勢來源區』, 而對於所推估之前驅物排放污染程度則稱為『前驅物污染潛勢』。

## (4) 前驅污染物排放資料

本研究所使用的污染源排放資料庫為中鼎公司的 TEDs 4.2 版 , 排放資料以 1997 年為基準年 , 由於台中火力發電廠之排放量對中部地區空品之影響甚鉅 , 故在排放量資料庫中亦更新台中火力發電廠每年之排放資料。在國內外研究中 , 一般認為氮氧化物 ( NO<sub>x</sub> ) 及非甲烷碳氫化合物 ( NMHC ) 為臭氧之主要前驅污染物 , 故本研究特針對這二類污染物對 O<sub>3</sub> 之分析做探討。

## (5) 網格點反軌跡線發生機率

假設所有反軌跡線所產生之軌跡點共 N 次 , 而第 A<sub>i</sub> 網格點反軌跡線經過次數有 N<sub>i</sub> 次 , 則網格點 A<sub>i</sub> 反軌跡線發生機率 O<sub>i</sub> 為 :

$$O_i = N_i / N$$

## (6) 污染源之污染潛勢

假設  $P_i$  為第  $A_i$  網格點的污染源污染潛勢，則  $P_i$  之計算公式如下：

$$P_i = \frac{O_i \times E_i}{\sum_{i=1}^n O_i \times E_i}$$

$O_i$ ：第  $A_i$  網格點的反軌跡線發生機率

$E_i$ ：第  $A_i$  網格點的排放量

$n$ ：總網格數

## 第三章 結果與討論

### 3.1 風場模式模擬之討論

本文選擇 2000 年 2 月 1 日與 2000 年 3 月 30 日兩天進行風場之個案分析，其中 2000 年 3 月 30 日當天是環保署公佈之高臭氧、高 PM<sub>10</sub> 濃度之事件日，中部地區測站除崙背外，其餘都超過法規標準值，另當天是高壓迴流天氣型，屬於容易產生事件日之天氣型。

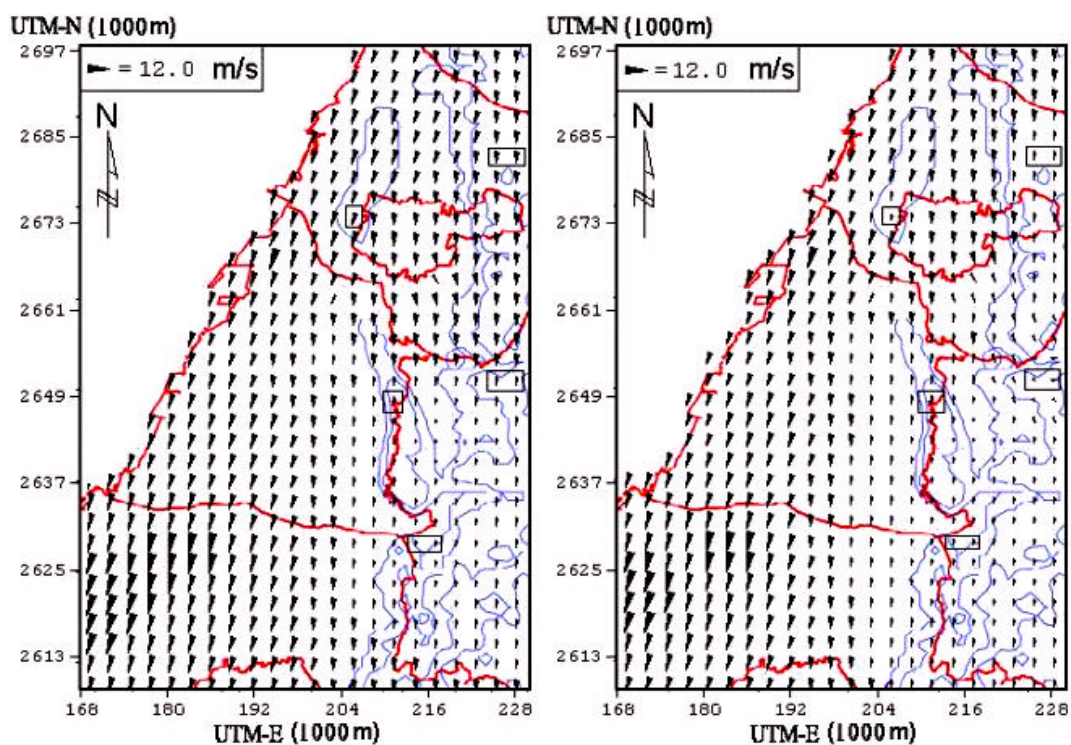
#### 3.1.1 加入計畫支援之自設測站與未加入時之比較

望熙榮等 (1999) 在對中部地區空氣監測站代表性評估中發現，針對竹山、埔里測站周圍之地形情況來看，於大肚山與八卦山附近有著大肚溪和濁水溪地形上的缺口，可能造成台中縣市跟彰化縣所排放之污染物經由這些缺口進入南投縣，造成竹山、埔里兩站的測值提高。針對此項缺失，本研究在作風場計算時，特加入自設測站修正之。

Fig. 8 為 2000 年 2 月 1 日 13:00 之近地面風場，Fig. 8a 為未加入自設測站之風場，Fig. 8b 則為加入自設測站後之風場圖。中部地區所架設之自設測站隸屬於環保署、國科會、南投 SIP 計劃項下所支援，並於 2000 年 1 月架設完成，在此之前中部地區之風場圖皆只能利用其他測站資料作研究，為了比較自設測站之影響，以下對其作一個案分析探討。

由於 Fig. 8 之風場圖都是利用單純內、外插結果所得，並未考慮地形和高度的條件，因此對於位處較高之地點，如頭嵙山 (485m)、大肚山 (243m) 和八卦山 (300m) 等處，其內插結果便較令人存疑。從 Fig. 8 中可發現，加入自設測站後，頭嵙山、大肚山和八卦山等處之風向變化不大，仍維持北偏東之盛行風向，但很明顯的，因地形之阻隔，減弱了風力，因此在這三個測站的風速明顯地減弱。另外在雙冬測站部分，由於雙冬測站位於東-西走向之烏溪南岸，屬於東西向之河谷地形，故其實測風向便不如 Fig. 8a 所示之單純內插結果，而是 Fig. 8b 中加

入雙冬測站所顯示之風場。所以在加入自設測站後，對自設測站所在之地理位置周圍，以及自設測站所圍起之範圍內，將能得到解析度更好之風場圖（和未加入自設測站之圖比較）。



(a) 未加自設測站

(b) 加入自設測站

Fig. 8 Surface wind field in west-central Taiwan on 1 February 2000

地形對風場之影響非常巨大，常常因地形之阻隔而改變了風的行進方向，尤其在海風出現時，通常在近海地區將有較強之風場，越往山區海風風速漸小。但因山區無監測站，因而外插的結果往往是山區的風向風速完全與近海地區相同，此應該是所有利用客觀分析法求取風場者所共同遭遇的困難。因而在自設測站的位置選擇上，選擇了中部地區大肚山、八卦山、中央山脈、河谷地和山谷隘口等地形較特殊之地點設置，期望在利用客觀分析法時能作地形之修正，得到較合理之風場。而事實也證明自設測站之加入對特殊地形之風場所作之修正，提供了較合理之風場資料。

### 3.1.2 Mesopuff II 模式之風場與地面測站實測值之比較

本文取一個案例來探討，並將其分成兩個部分分別驗證風場，第一部份將模擬出來之中部地區近地面風場與地面測站實測值作比較，第二部分則將地面測站去掉 6 個後模擬近地面風場，並將模擬出來所去掉 6 個實測值位置之風場與真正實測值作比較，藉以探討模擬結果之準確性。

#### \* 第一部份：

Fig. 9 為 2000 年 3 月 30 日中部地區近地面風場圖，Fig. 9a 為地面測站實測值，Fig. 9b 則運用 Mesopuff 模式計算所得。由 Fig. 10 之天氣圖可得知，當天屬於高壓迴流之天氣型，由於高壓不強，盛行風相對微弱，導致中部地區區域環流盛行，有海風鋒面出現，而且平均風速弱，一般皆不超過  $5 \text{ m s}^{-1}$ ，導致當天中部地區產生臭氧與  $\text{PM}_{10}$  之高污染值。

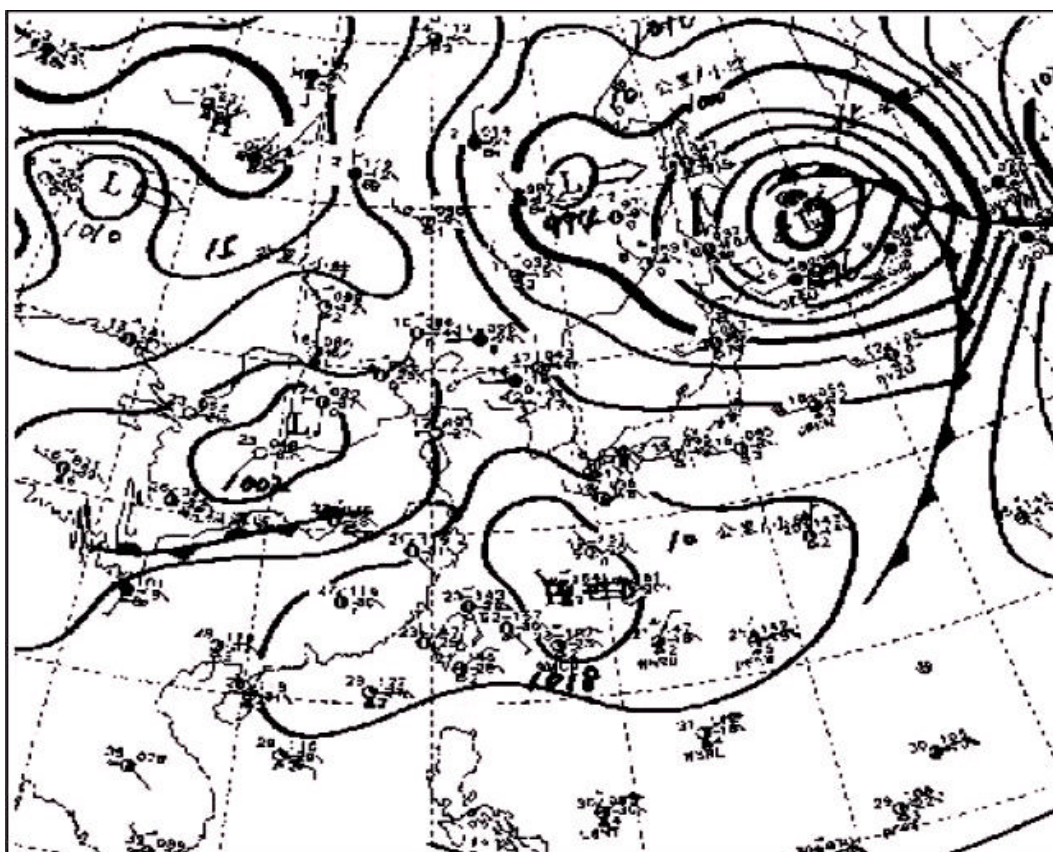


Fig. 10 Surface synoptic weather map in the greater Taiwan on 30 March 2000

(courtesy Central Weather Bureau)

在 9:00 的風場圖 (Fig. 9) 發現, 風向大致呈現東-南風方向、風速相當微弱的陸風, 在經由自設測站的加入, 更可發現風場分兩股勢力由內陸向西流動, 一股從雙冬經由大肚溪河谷向西流動, 一股則由竹山經八卦台地與斗六台地之隘口, 沿濁水溪河谷向西流動, 此與地面測站觀測值有相同之結果。12:00 已有明顯海風鋒面形成, 風向呈現西-南風, 在八卦山區與西南平原區有較大之風速, 此亦與地面實測值相同。15:00 時海風發展到達極盛, 風向垂直海岸線進入內陸, 在沿海部分、西南平原區與八卦山區有較大之風速, 惟一般在海風出現時, 沿海的風速通常最大, 越向內陸因受地形阻撓與摩擦消耗而導致風速慢慢減弱, 但由於山區無測站之分布, 導致因外插之結果, 山區風速無法明顯減少, 此應是所有利用客觀分析法求取風場者所共同遭遇的困難。18:00 時風速已減弱許多, 風向並由垂直海岸線趨而偏向北北西。

從各個時間點之風場模擬與地面實測值比較結果發現, 經由 Mesopuff 模式計算所得之近地面平均風場, 能合理模擬出有測站分布區域之風場。

#### \* 第二部分 :

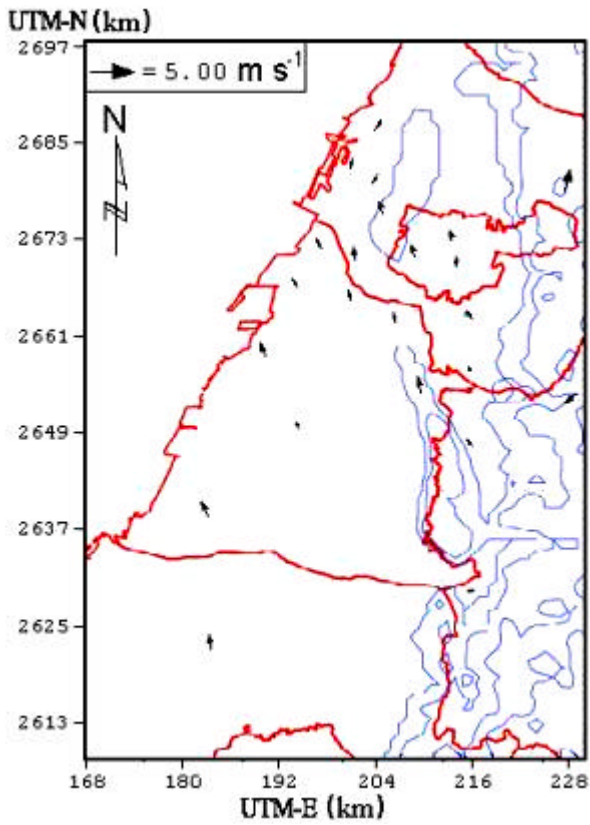
Fig. 11 也是 2000 年 3 月 30 日中部地區近地面風場圖, 但去掉 6 個測站值( 豐原[1]、忠明[4]、西屯[5]、彰化[6]、和美[14]、台中農改場[21] ), Fig. 11a 為 6 個地面測站之實測值, Fig. 11b 則是去掉 6 個測站值後, 運用 Mesopuff 模式計算所得之地面風場圖。

由 Fig. 11a 與 11b 的比較中發現, 在去掉 6 個測站值後所模擬出來的近地面風場圖, 皆能合理的模擬出與實測值相同之結果, 6 個測站值中, 豐原[1]、忠明[4]、西屯[5]、彰化[6]、和美[14]等五站之模擬值非常接近, 除了台中農改場[21]在 9:00 與 18:00 等風場風速比較小時, 比較無法模擬的很好。原因可能是台中農改場[21]位在彰化平原中央, 而且其附近無緊鄰之間測站, 其值乃由沿海測站與靠內陸測站內插而來, 故其值較難合理模擬出。

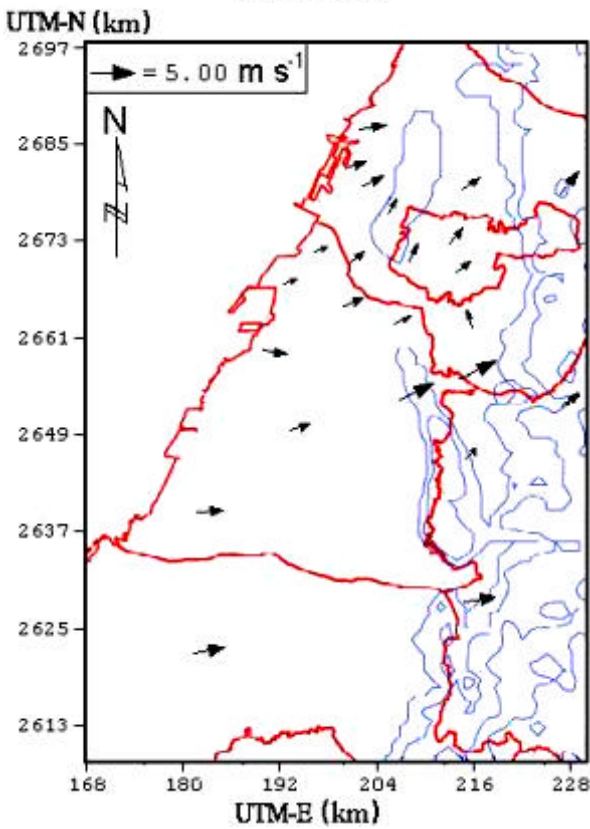
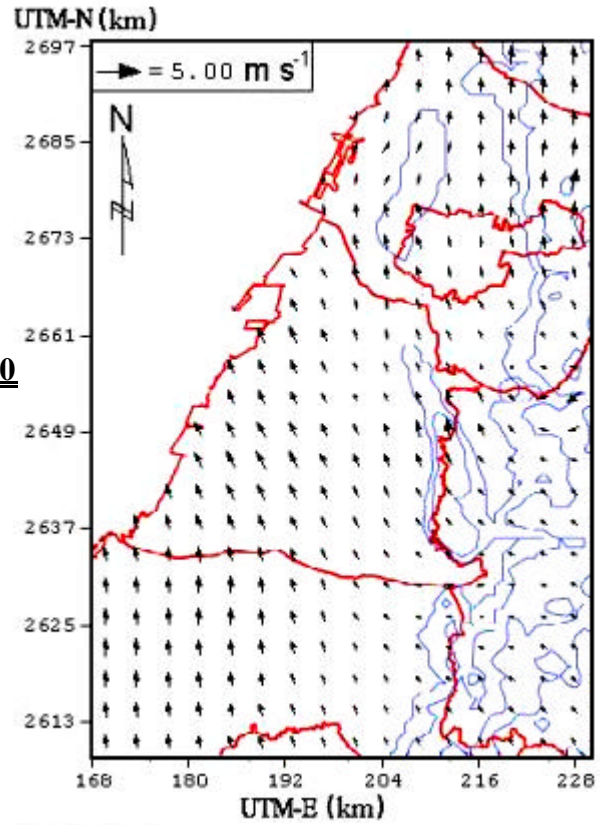
但就一般情況看來, 本研究所用之 Mesopuff 模式計算所得之地面風場, 皆能合理的模擬出測站範圍內之中部地區近地面流場。

(a) 地面測站實測值

(b) 近地面平均風場 (Mesopuff 模式)



9:00



12:00

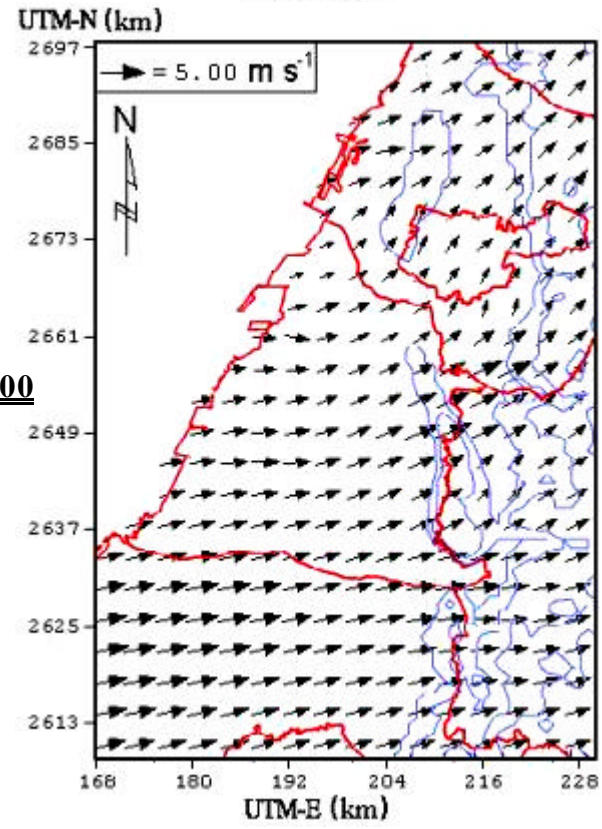
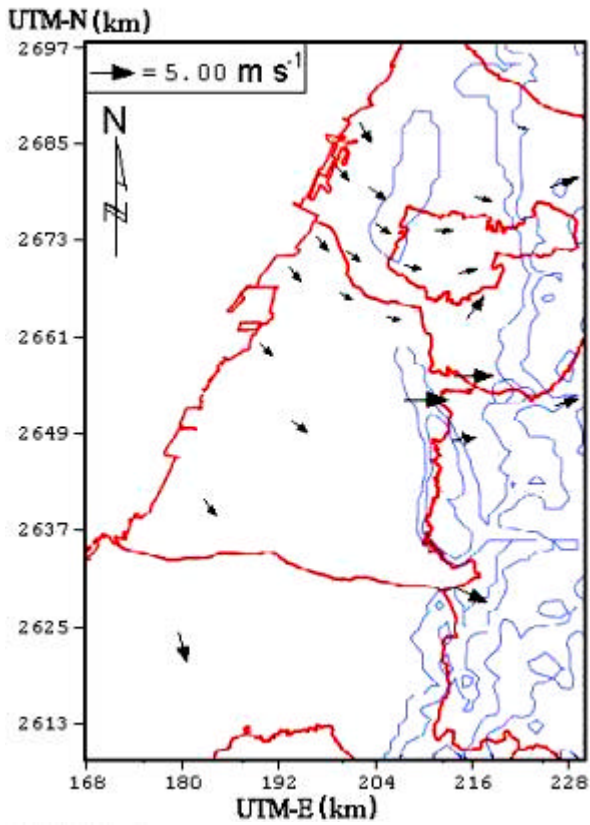


Fig. 9 Surface wind field in west-central Taiwan on 30 March 2000

(a) observed data (b) Mesopuff model

(a) 地面測站實測值



(b) 近地面平均風場 (Mesopuff 模式)

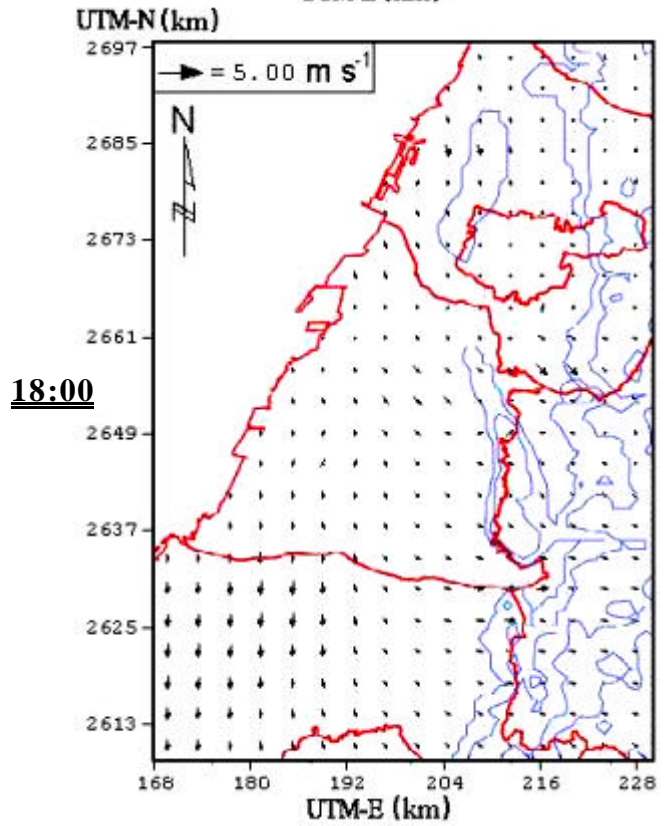
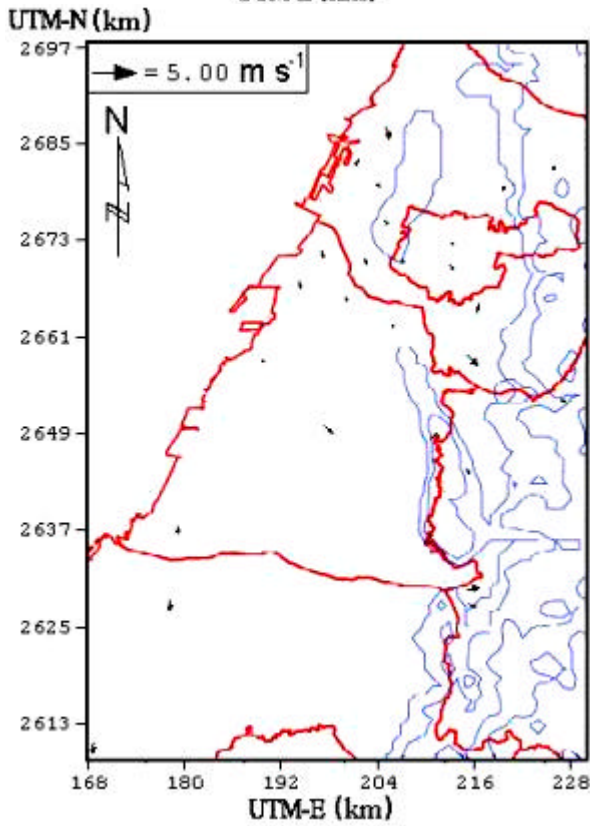
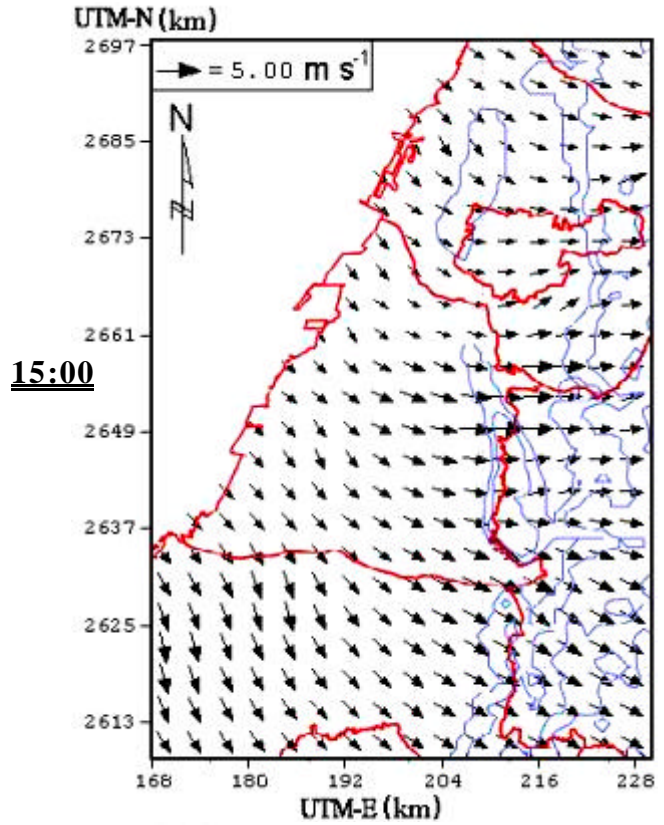


Fig. 9 Surface wind field in west-central Taiwan on 30 March 2000  
(a) observed data (b) Mesopuff model. (Continued)



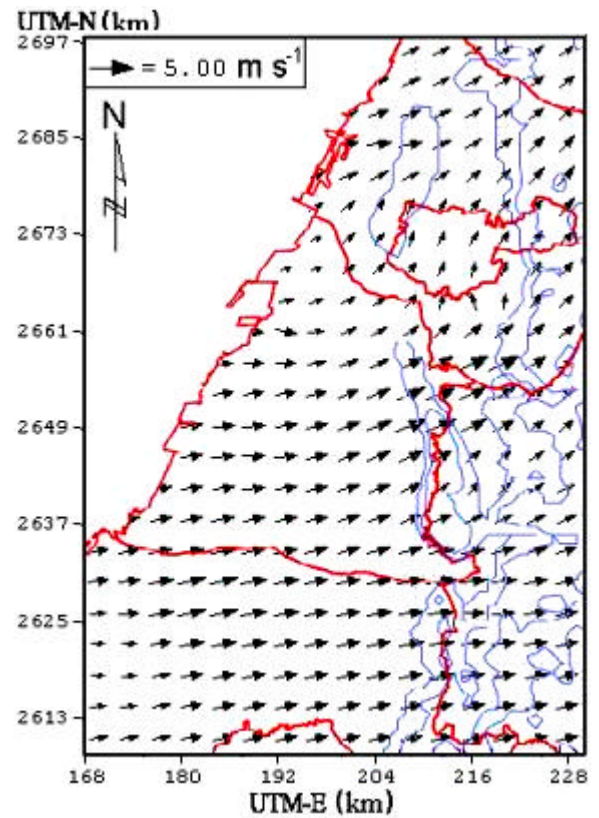
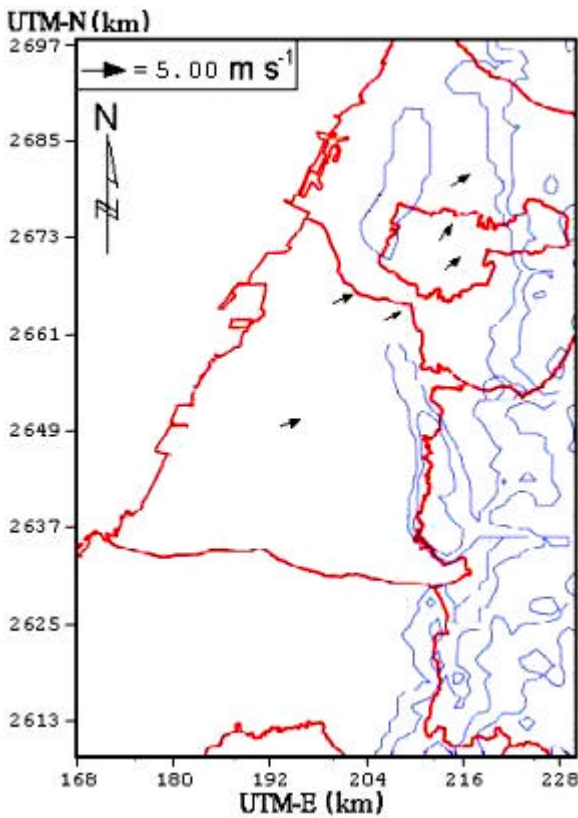
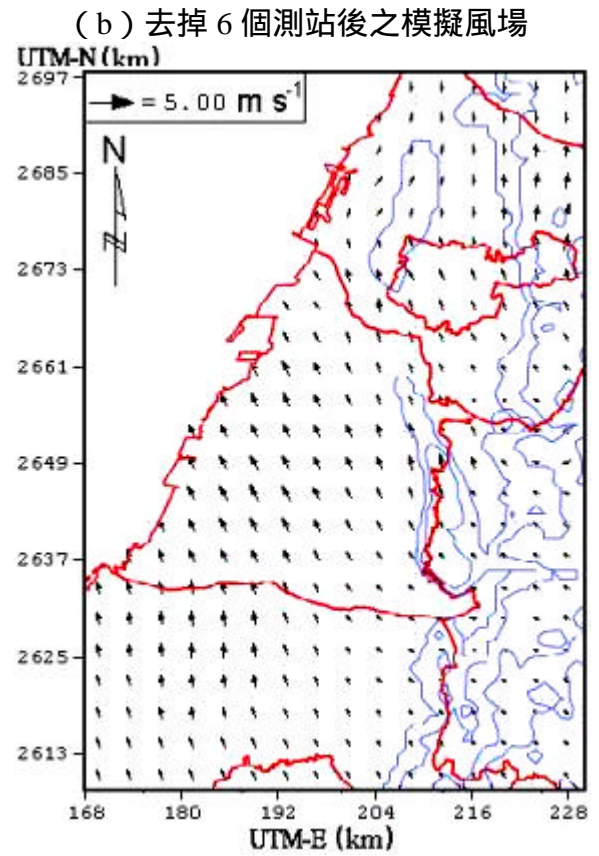
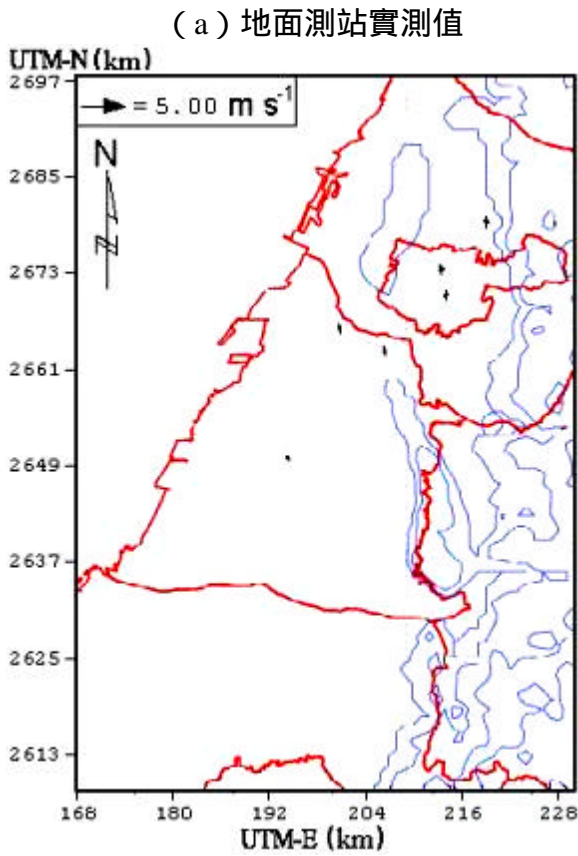
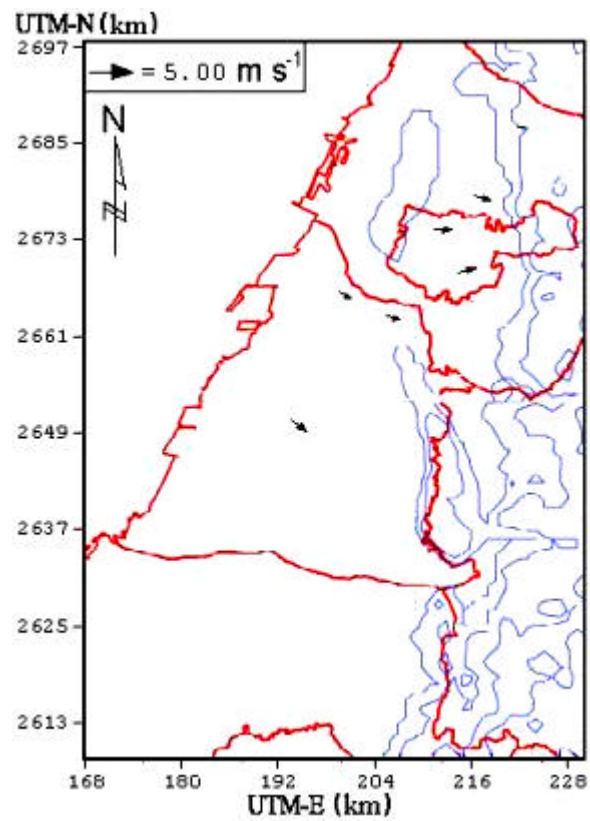


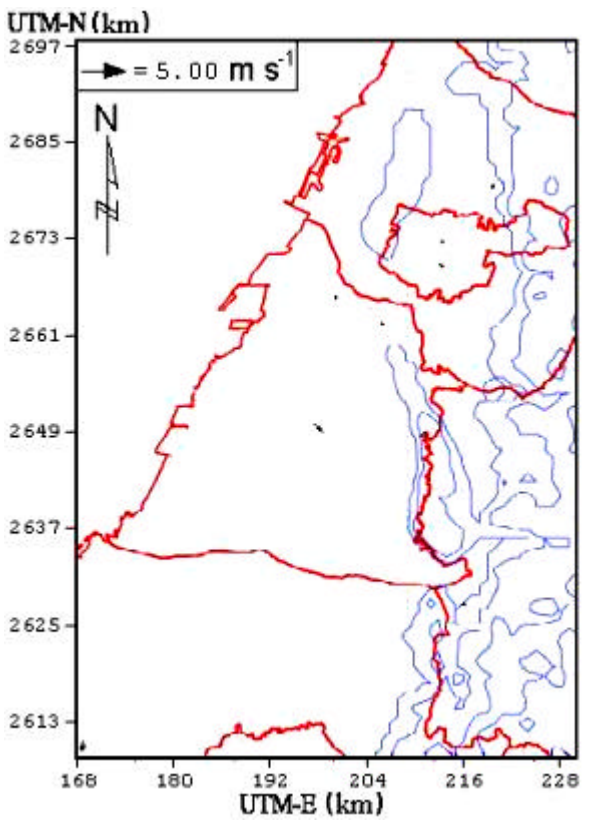
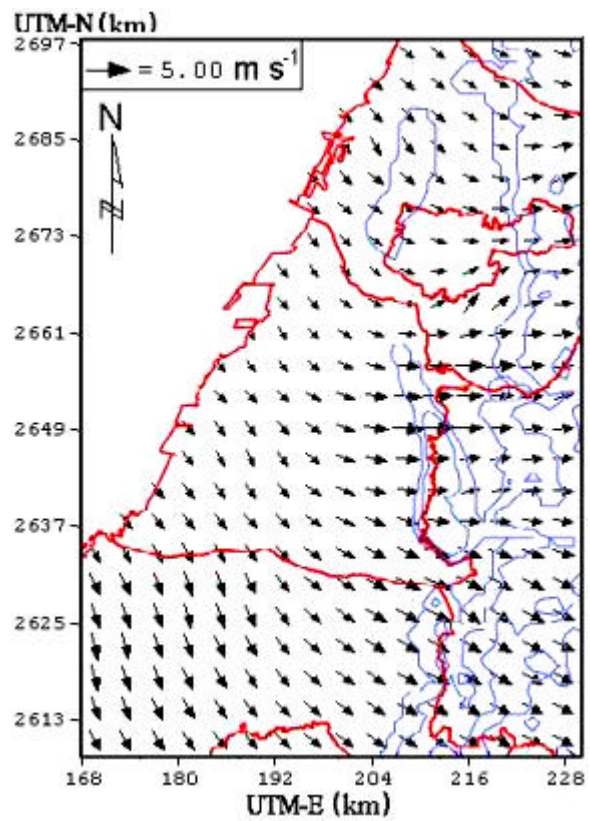
Fig. 11 Surface wind field in west-central Taiwan on 30 March 2000 (a) observed data (b) Mesosuff model (without 6 observed stations).

(a) 地面測站實測值

(b) 去掉 6 個測站後之模擬風場



**15:00**



**18:00**

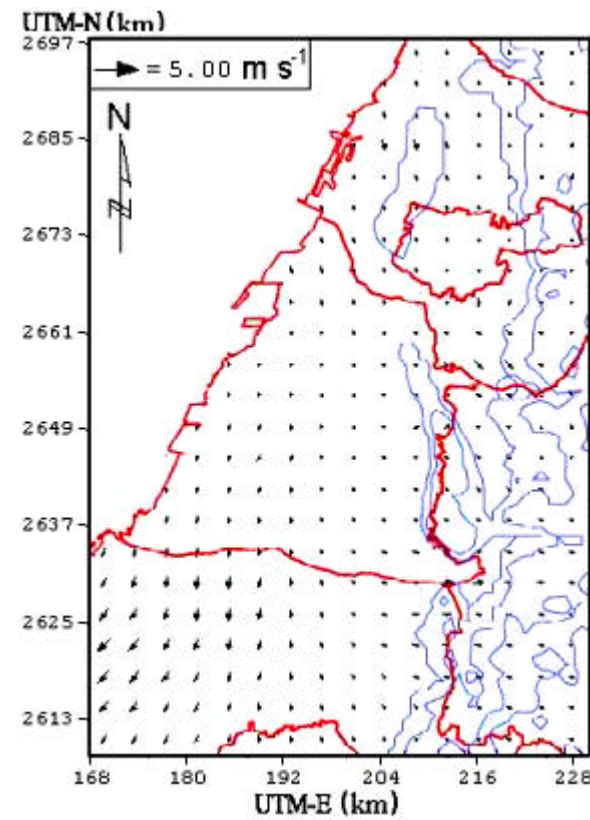


Fig. 11 Surface wind field in west-central Taiwan on 30 March 2000 ( a ) observed data ( b ) Mesopuff model (without 6 observed stations). (Continued)

### 3.1.3 Mesopuff II 模式與純內、外插法之比較

Fig. 12 為 2000 年 3 月 30 日中部地區近地面風場圖，Fig. 12a 以純內外插法所繪，Fig. 12b 則運用 Mesopuff 模式所得，從 Fig. 12 中可見，9：00 時風從雙冬、竹山由內陸往西方行進，沿海則呈微弱之西南東風，最大風速不超過 4.0 m/s，呈現出微弱陸風型態；12：00 時海風逐漸成形，沿海部分（如鹿港、線西）已發展成海風，大致風向呈西南到西風，平均風速仍在 5.0 m/s 以下；15：00 時海風發展成熟，風垂直海岸線向內陸吹去，普遍風速大，但最大風速仍維持在 5.0 m/s 左右；18：00 海風已慢慢減弱，風向逐漸往北移，大致呈西北風向，風速除內陸較大外（八卦山測站 4.4m/s），一般均只有 1.0 2.0 m/s。就 O<sub>3</sub> 地面濃度分布圖來看，9：00 時除豐原濃度達 50 ppb 外，其他測站皆小於 40 ppb；12：00 沿海地區濃度已上升至 100 ppb 以上，內陸濃度則在 50 80 ppb；15：00 時可以發現，大肚山以東之內陸地區 O<sub>3</sub> 濃度皆在 100 ppb 以上，濃度有由沿海往內陸地區傳送之趨勢，並於海風之下風處（竹山、南投、埔里）累積，形成此區域之高污染值；18：00 時中部地區之 O<sub>3</sub> 濃度則已迅速下降，普遍維持在 50 80 ppb 左右，但仍可發現最大濃度累積在竹山、南投一帶。

比較 Fig. 12a 與 Fig. 12b 可以發現，經由 Mesopuff 模式計算後能得到較 smooth 之風場圖（如 Fig. 12b 所示），在考慮上風、下風之權重後，對於非測站點之網格將能得到較合理之代表值。在地面觀測站所圍起之範圍內，利用此模式之計算所得到之流場，經與實際地面觀測值比較，能合理內插出有實測值測站之間的流場變化。一般在客觀分析中，在沒有地面風向與風速觀測的地區，常會出現外差等較不合理之現象（如 Fig. 12a 所示），為解決此問題並調和網格範圍之邊界值，本研究特增加了國姓、阿里山和日月潭等測站，藉由其與選取範圍內測站內插之結果，可幫助本研究減少上述誤差之擴大。

通常在內插過程中，測站越多的地方權重就越大。因此在大肚山上，即使大肚山站風速很小，但大肚山北麓的風速則仍維持高值，推測其原因可能是四箴站北方的清水、梧棲和沙鹿測站之分布，主導其與大肚山站間之客觀分析結果，要改善此現象，只有讓不同地區各擁有相當的觀測站，在必要時也許可以增加虛擬測站，用以增強特定地區之權重。

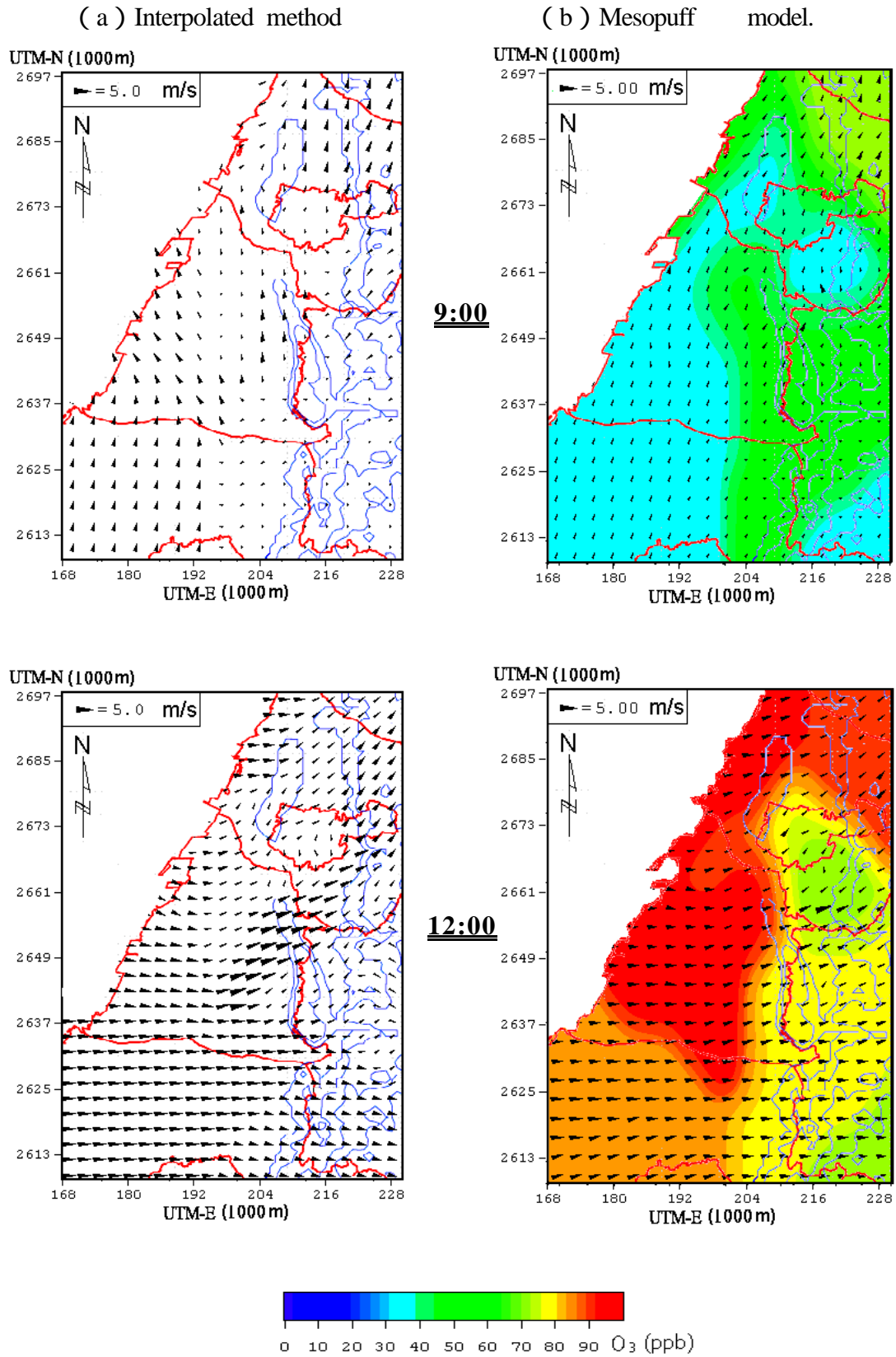


Fig. 12 Wind field and O<sub>3</sub> concentration observed in west-central Taiwan on 30 March 2000 (a) Interpolated method (b) Mesopuff model.

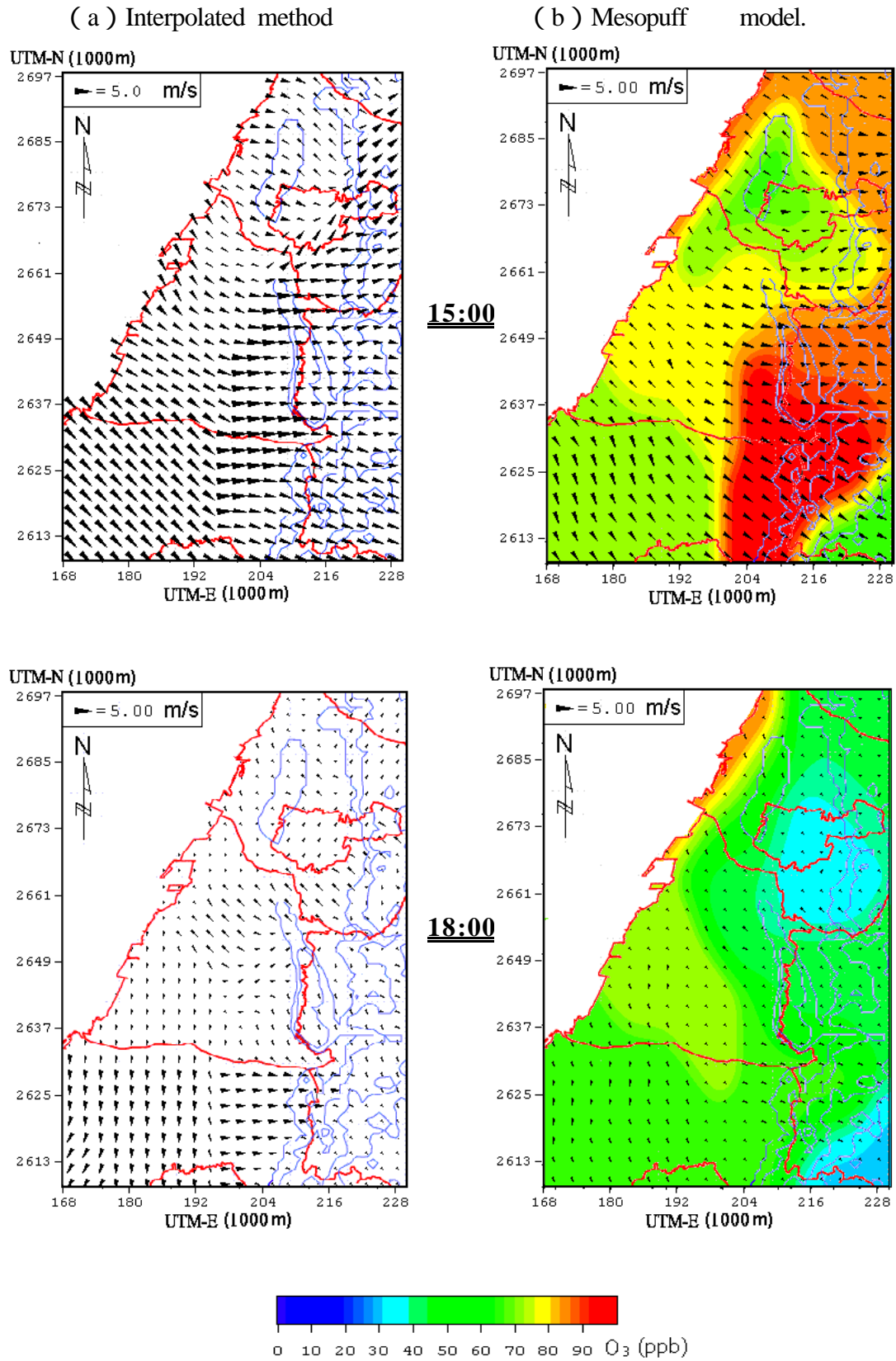


Fig. 12 Wind field and O<sub>3</sub> concentration observed in west-central Taiwan on 30 March 2000 (a) Interpolated method (b) Mesopuff model. (Continued)

### 3.1.4 Mesopuff II 模式風場垂直項之驗證

#### (一) 2000 年 3 月之探空實驗

本文案例選取 2000 年 3 月 26 日 9:00 2000 年 3 月 31 日 21:00 之探空實驗，實驗地點為草屯，平均每三小時施放一筆探空氣球，扣除儀器故障與下雨日未施放外，合計共 35 筆小時值資料。

本研究嘗試以 Mesopuff 模式計算後之草屯位置風向、風速，與實測之探空數據（近地面 100 公尺）之平均風向、風速作比較。由 Fig. 13 中發現，大致上風速之模擬數值與實測值相近，其  $R^2$  值達 0.6824（如 Fig. 15 所示），在一般情況下皆能準確模擬出與實測值接近之數據，但少部分在高風速時則有低估的情形出現，可以迴歸方程式  $y = 0.7105x + 0.1473$ （ $y$ ：模擬值， $x$ ：實測值）修正之。

Fig. 14 為風向之模式模擬值與實測值之比較，模擬結果尚稱合理，都在可接受範圍內，只有少部分之模擬值差距較大，發現在當時之風速都明顯較小（不超過 1 m/s），時間為清晨或夜晚。

#### (二) 2000 年 10 月之探空實驗

另選取 2000 年 10 月 8 日 2000 年 10 月 13 日之探空實驗，實驗地點為草屯與大甲，平均每 3-4 小時施放一筆探空氣球，扣除儀器故障與下雨日未施放外，合計草屯共 29 筆、大甲 23 筆小時值資料。

#### 草屯

Fig. 16 為草屯風速之模式模擬值與實測值之比較，大致上風速之模擬數值與實測值之趨勢相似，其  $R^2$  值達 0.7961，在一般情況下皆能準確模擬出與實測值接近之數據，但可發現模擬值大致上皆略低於實測值，可以迴歸方程式  $y = 0.6879x - 0.4378$ （ $y$ ：模擬值， $x$ ：實測值）(Fig. 18) 修正之。

Fig. 17 為草屯風向之模式模擬值與實測值之比較，結果顯示大部分模擬值都在可接受範圍內，只有少部分之模擬值差距較大，結果如前所述，當時之風速都明顯較小（不超過 1 m/s），時間也為清晨或夜晚。

## 大甲

Fig. 19 為大甲風速之模式模擬值與實測值之比較，大致上風速之模擬數值與實測值之趨勢相似，其  $R^2$  值達 0.8037，在一般情況下皆能準確模擬出與實測值接近之數據，但可發現模擬值大致上皆略低於實測值，尤其在風速  $> 3$  m/s 時，模擬值低估的情形較為嚴重，可以迴歸方程式  $y = 0.6846x - 0.1339$  ( $y$ : 模擬值,  $x$ : 實測值) (Fig. 21) 修正之。

Fig. 20 為大甲風向之模式模擬值與實測值之比較，結果顯示大部分模擬值都在可接受範圍內，只有少部分之模擬值差距較大，結果也如前所述，當時之風速都明顯較小（不超過 1 m/s），時間同為清晨或夜晚。

綜合上述案例分析結果，模擬之風速值一般皆略小於實測值，但都還在可接受範圍內（ $R^2$  值皆頗高），惟在風速較大之情形下，風速需以迴歸方程式修正之。而模擬之風向值一般皆可接受（在  $\pm 45^\circ$  內），惟在風速較小（ $< 1$  m/s）的情況下，風向有較大之差異，其原因為在此接近靜風狀態下，風向之變化本來就大。故在模式模擬值與實測值之比較下，本研究使用之 Mesopuff 模式所計算之草屯與大甲風場模擬值尚稱合理。



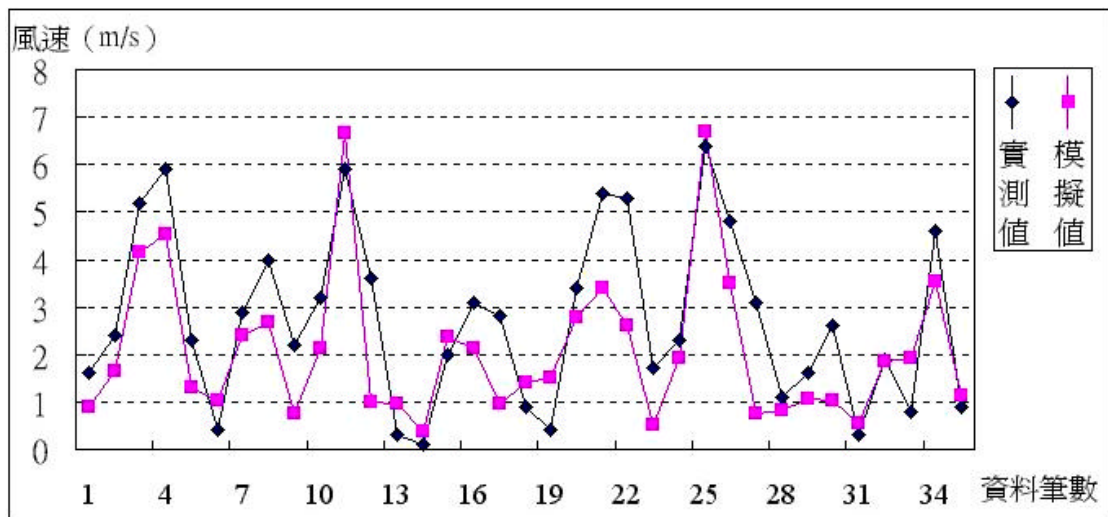


Fig. 13 Trend of wind speed at Tsaotun for contrast between observed data and simulated data during 26 to 31 March 2000.

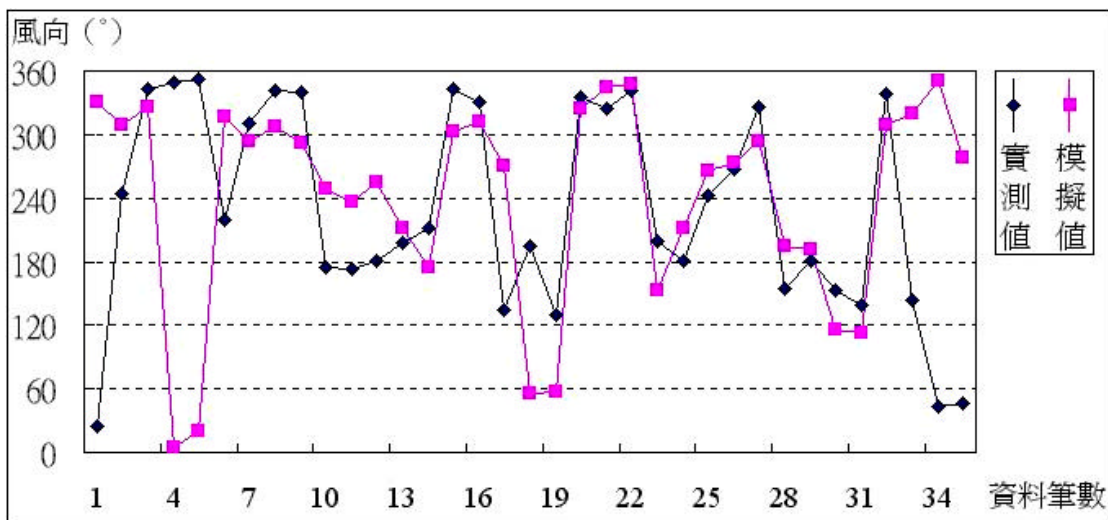


Fig. 14 Trend of wind direction at Tsaotun for contrast between observed data and simulated data during 26 to 31 March 2000.

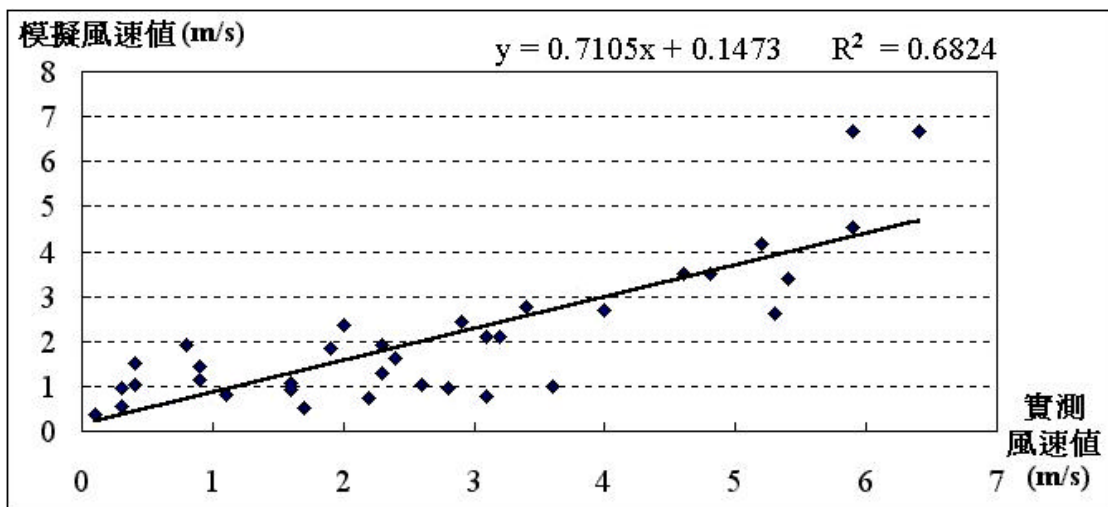


Fig. 15 Simulated data versus observed data for wind speed (m/s) at Tsaotun during 26 to 31 March 2000.

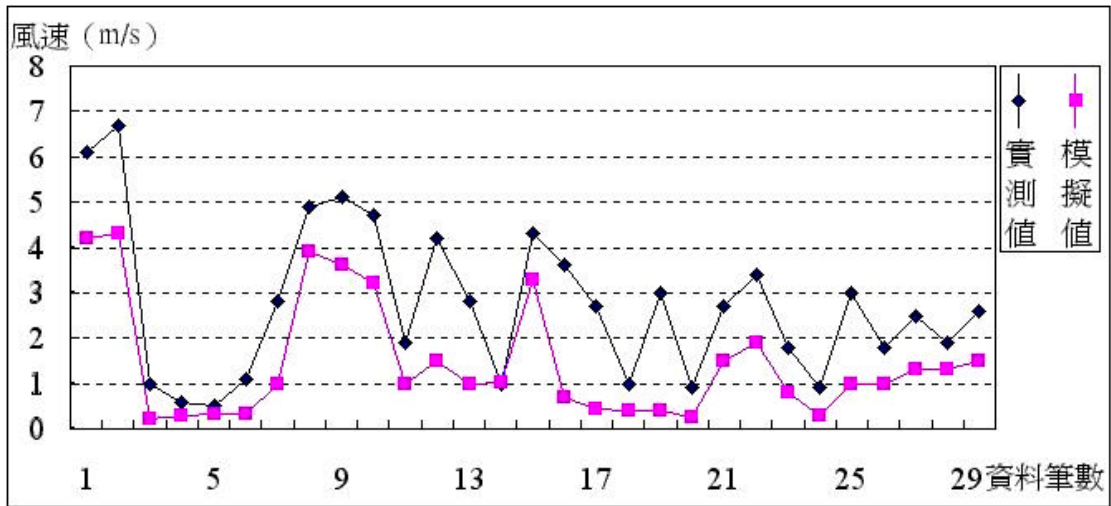


Fig. 16 Trend of wind speed at Tsaotun for contrast between observed data and simulated data during 8 to 13 October 2000.

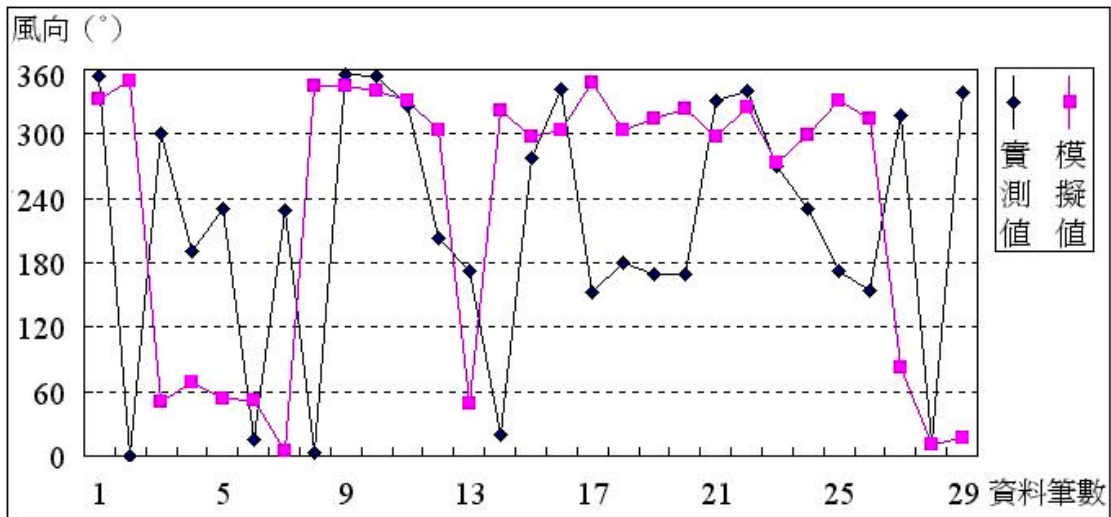


Fig. 17 Trend of wind direction at Tsaotun for contrast between observed data and simulated data during 8 to 13 October 2000.

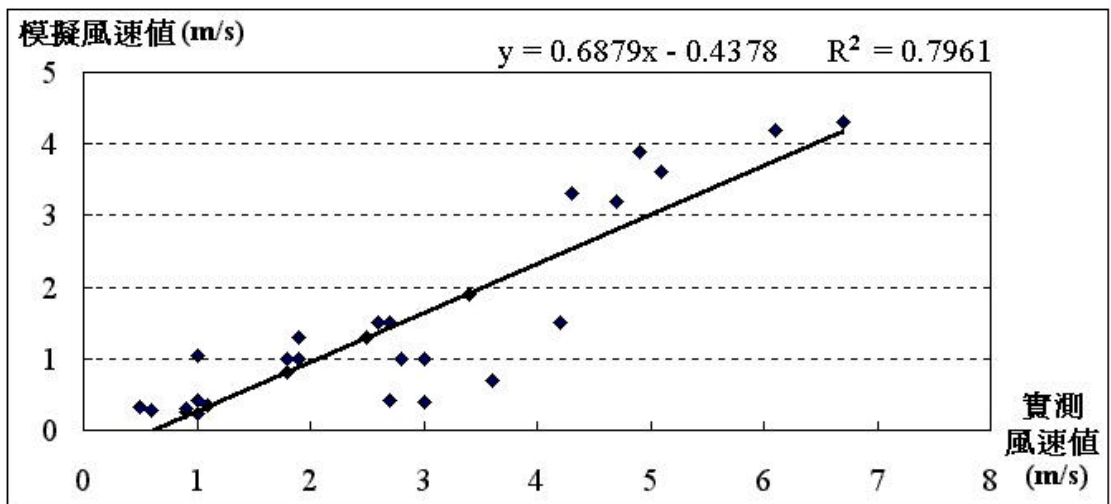


Fig. 18 Simulated data versus observed data for wind speed (m/s) at Tsaotun during 8 to 13 October 2000.

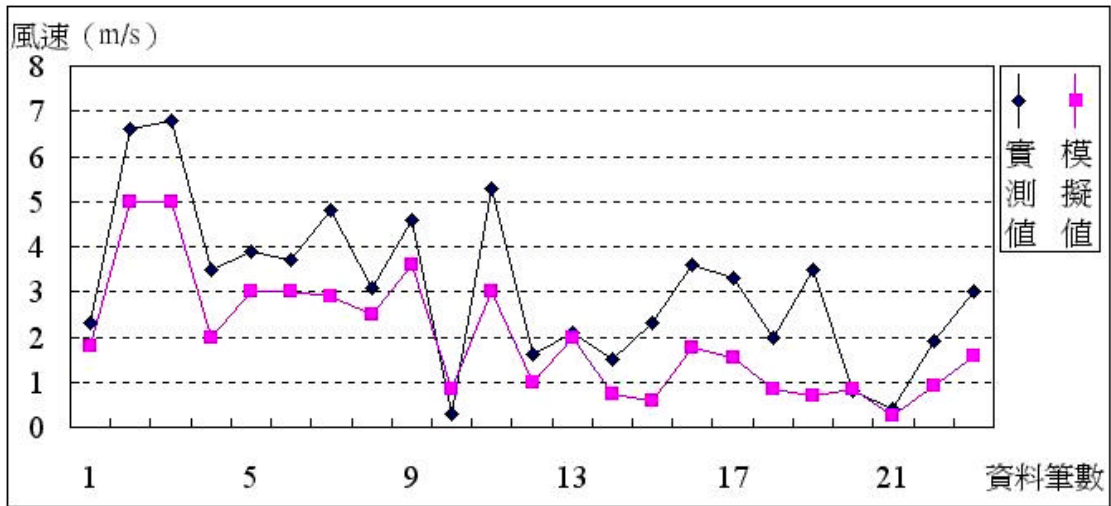


Fig. 19 Trend of wind speed at Tachia for contrast between observed data and simulated data during 8 to 13 October 2000.

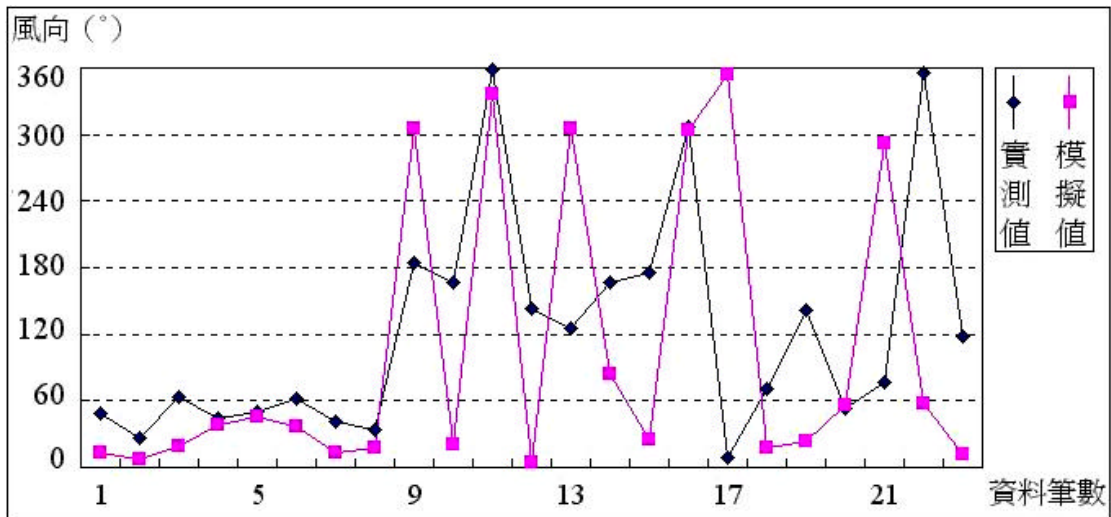


Fig. 20 Trend of wind direction at Tachia for contrast between observed data and simulated data during 8 to 13 October 2000.

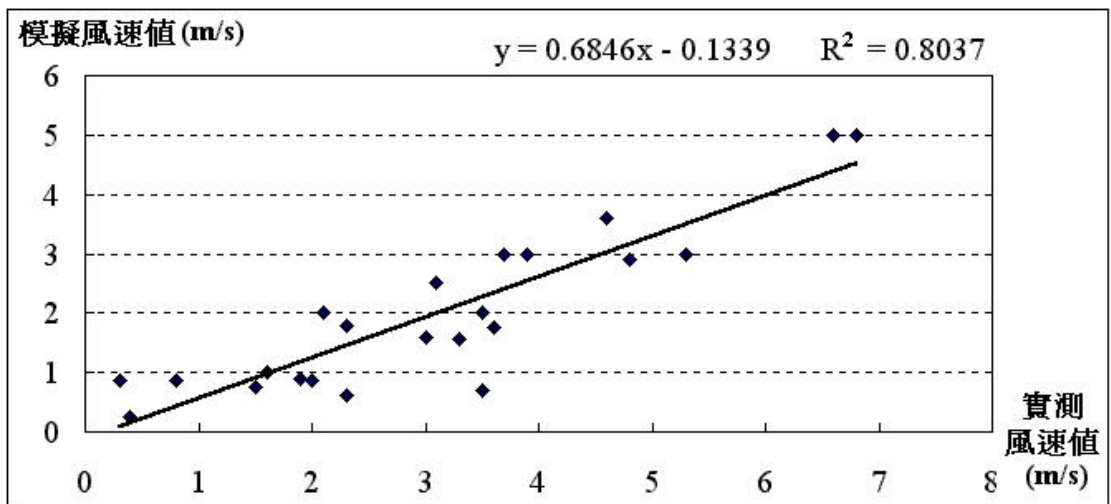


Fig. 21 Simulated data versus observed data for wind speed (m/s) at Tachia during 8 to 13 October 2000.



### 3.2 風場分類之結果

本研究建立了 1996 - 2000 年之風場資料庫，在經過風場的分類與統計分析後，中部地區之風場類型大致上可歸類成 9 種 ( Table 10 )，在扣除降雨日與無法判別風場類型日後，有效日數共 1198 日，其中以第 一 型 ( 東北季風之偏北風型 ) 發生 470 日最多，發生率達 39%，而以第 九 型 ( 西南氣流之偏北風型 ) 發生 4 日最少，發生率只有 0.3% ( Table 11 )。以下僅就九種風場類型作一介紹：

#### (1) 第 一 型 ( 東北季風之海陸風型 )

Fig. 22 是 1998 年 5 月 10 日的風場圖，當日的天氣型屬於高壓迴流型，在大環境的分類上歸類於東北季風型，而在地面風場的分類上，由於盛行風微弱，導致區域環流明顯，6:00 時吹陸風，10:00 後以逆時針方向轉為海風，當日的風向有明顯的日夜變化 ( 交角  $> 90^\circ$  )，且風速到下午也有明顯的增加 ( 但不超過 5.0 m/s )，在地面風場的分類上屬於海陸風型，故將當日之風場歸屬第 一 型。

#### (2) 第 二 型 ( 東北季風之偏南風型 )

Fig. 23 為 1997 年 5 月 15 日之風場圖，當日屬高壓迴流天氣型，在天氣型之影響下，地面風場全天大致呈偏南風系，故將其歸屬於第 二 型。

#### (3) 第 三 型 ( 東北季風之偏北風型 )

Fig. 24 為 1999 年 1 月 7 日之風場圖，在強烈東北季風天氣型影響下，導致盛行風速強 ( 最大風速達 12 m/s )，使得整日之地面風場呈現盛行風向系 ( 偏北風 )，故風場的類型歸屬於第 三 型。

(4) 第 型 (西南氣流之海陸風型)

Fig. 25 為 1999 年 7 月 13 日之風場圖，當日天氣屬西南氣流型，由於盛行風風速弱，使得區域環流明顯，6:00 時吹陸風，10:00 後風向以順時針方向逐漸轉為海風，地面風場與 Fig. 12 類似，同樣具有海陸風現象，故將其歸類為第 型。

(5) 第 型 (西南氣流之偏南風型)

Fig. 26 為 1998 年 7 月 19 日之風場圖，當日天氣類型為偏南氣流型，在天氣型之影響下，使地面風場全天呈現盛行風向系 (偏南風)，故風場的類型屬於第 型。

(6) 第 型 (西南氣流之偏北風型)

Fig. 27 為 1999 年 9 月 30 日之風場圖，天氣型屬太平洋高壓型，高壓線橫越台灣北部，但由於高壓相當微弱，加上台灣海峽之渠道效應，導致地面風場呈現偏北風系，風場的分類則歸類為第 型。

(7) 第 型 (季節交替之海陸風型)

Fig. 28 為 1999 年 9 月 6 日之風場圖，天氣型屬熱帶低壓型，盛行風不顯著，區域環流明顯，6:00 時吹陸風，10:00 時已經轉為海風，14:00 時海風風速達最強，但大致上風速仍弱 (最大風速 4 m/s)，日夜風向有明顯變化，故歸類為第 型。

(8) 第 型 (季節交替之偏南風型)

Fig. 29 為 1998 年 4 月 1 日之風場圖，天氣型屬鋒面過境型，鋒面由西南向西北橫越台灣，致地面風場呈現偏西南風系。

(9) 第 型 (季節交替之偏北風型)

Fig. 30 為 1997 年 5 月 29 日之風場圖，天氣型屬熱帶低壓型，低壓位於台灣東部，低壓線由北向南橫越台灣本島，使中部地面風場呈偏北風系，故歸屬於第 型。

Table 10 Wind conditions with different synoptic weather patterns in central Taiwan.

大環境天氣型態	區域風場類型	類 型
東 北 季 風 型	海 陸 風	第 型
	偏 南 風	第 型
	偏 北 風	第 型
西 南 氣 流 型	海 陸 風	第 型
	偏 南 風	第 型
	偏 北 風	第 型
季 節 交 替 型	海 陸 風	第 型
	偏 南 風	第 型
	偏 北 風	第 型

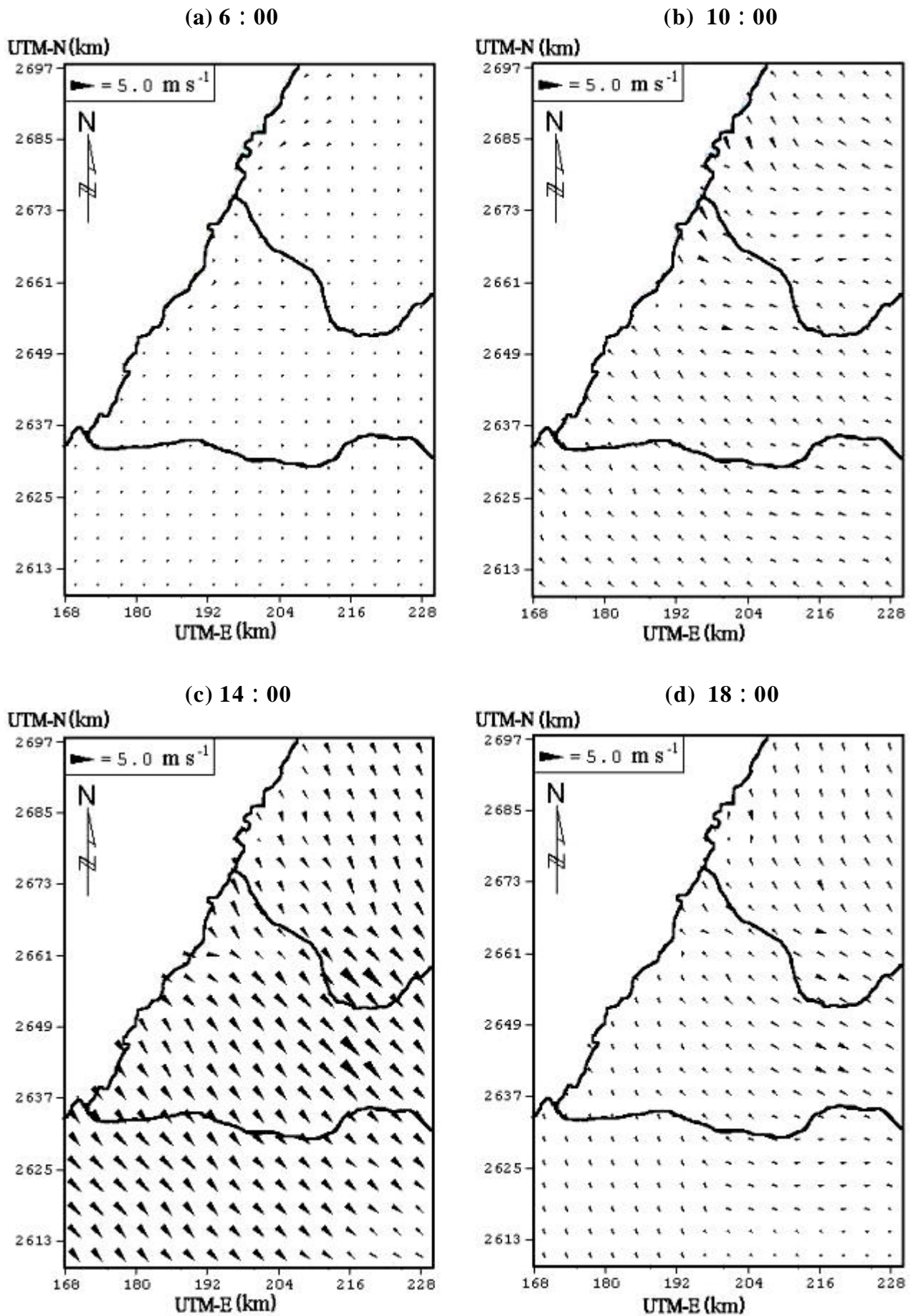


Fig. 22 Wind field in west-central Taiwan on 10 May 1998. (Type )  
 (a) 6 : 00 (b) 10 : 00 (c) 14 : 00 (d) 18 : 00

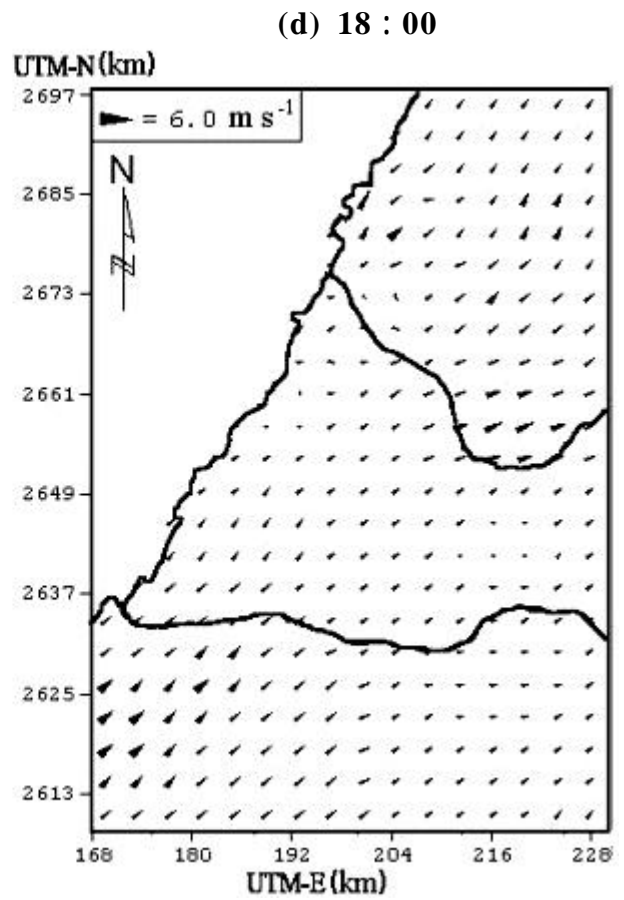
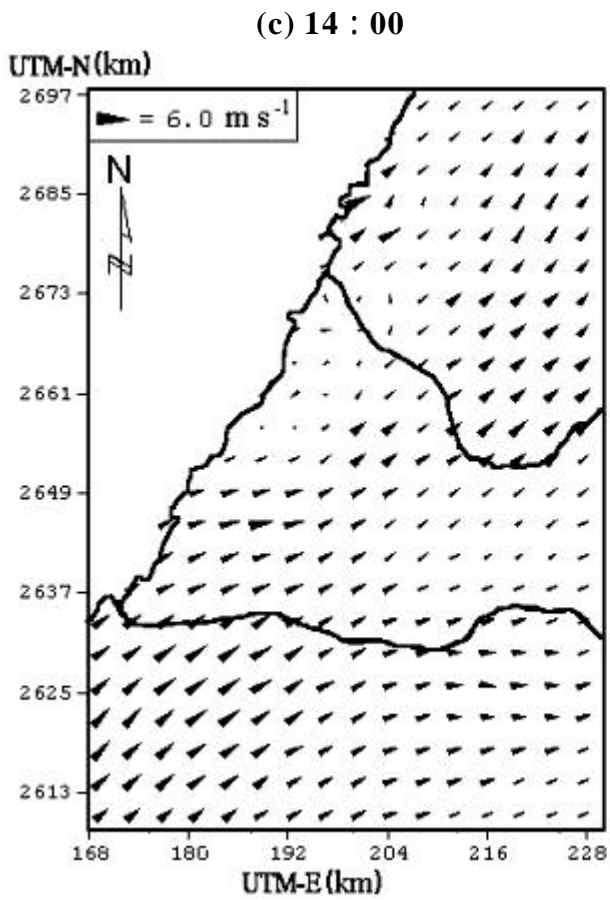
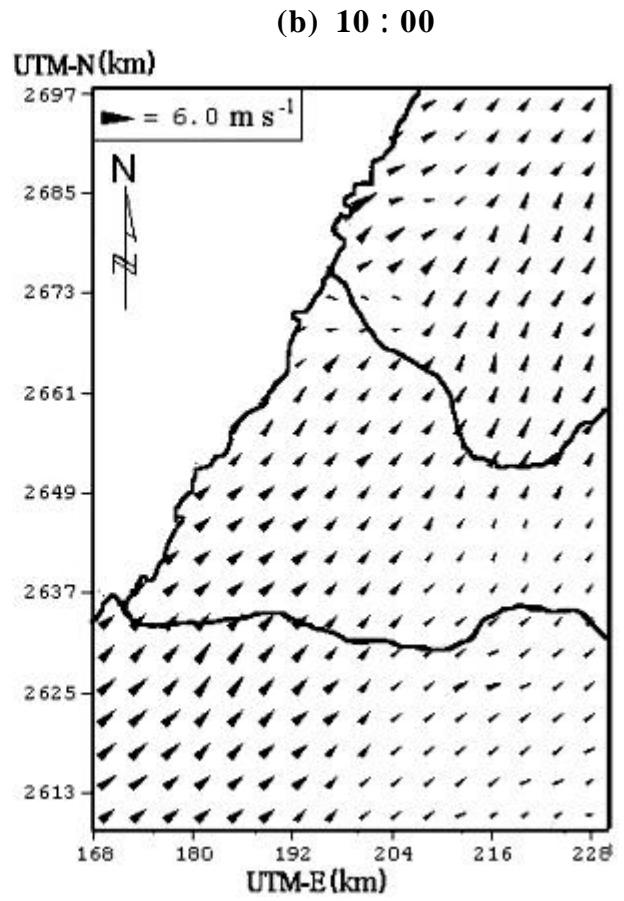
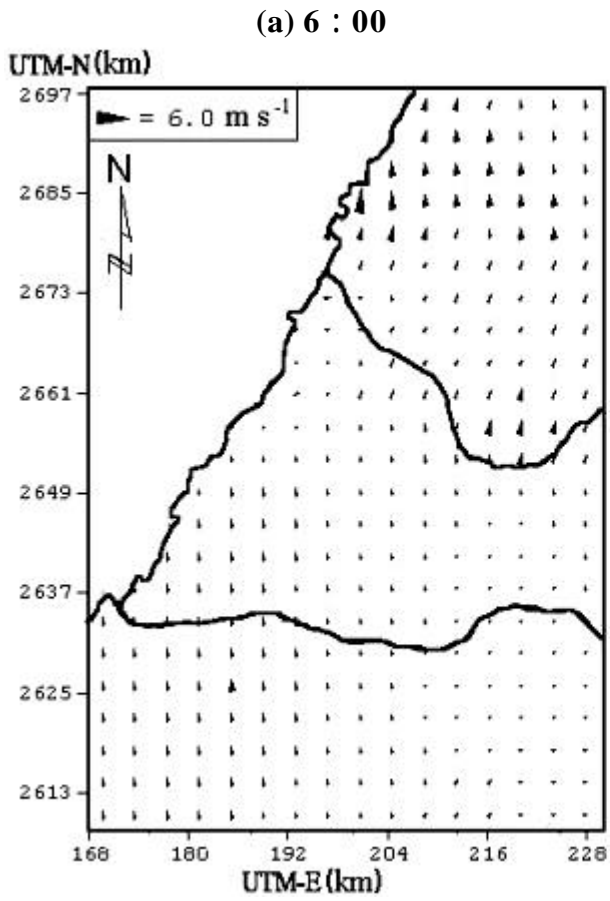


Fig. 23 Wind field in west-central Taiwan on 15 May 1997. (Type )  
 (a) 6 : 00 (b) 10 : 00 (c) 14 : 00 (d) 18 : 00



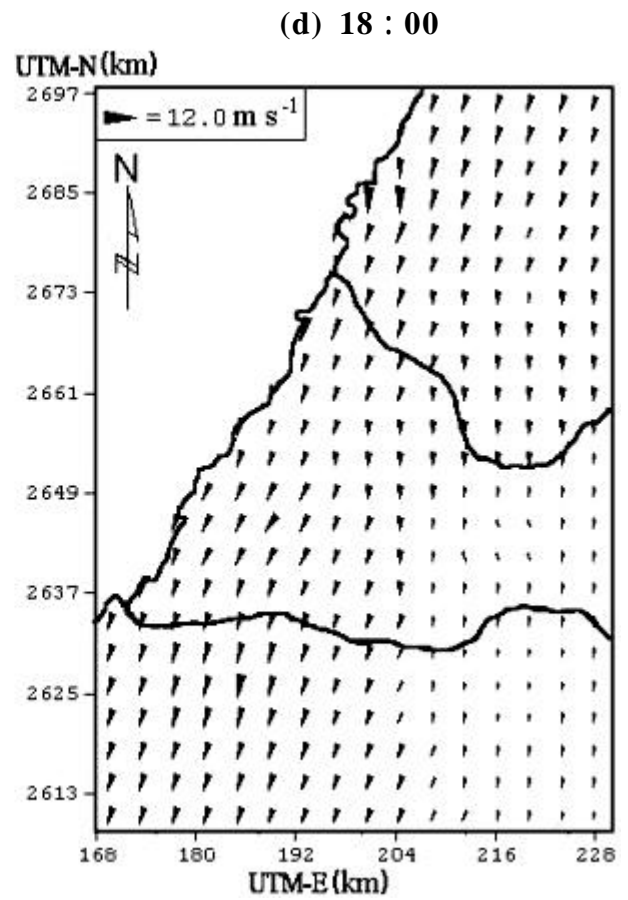
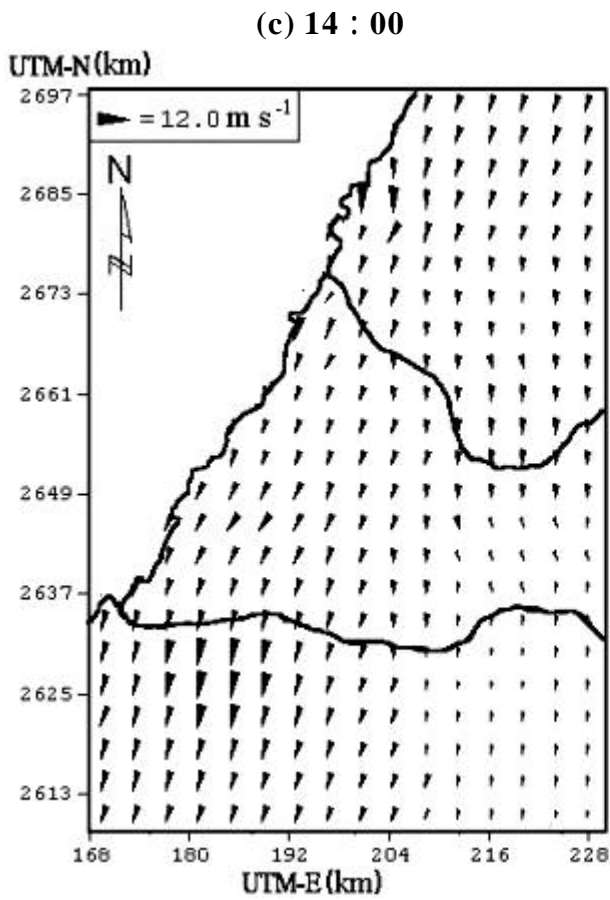
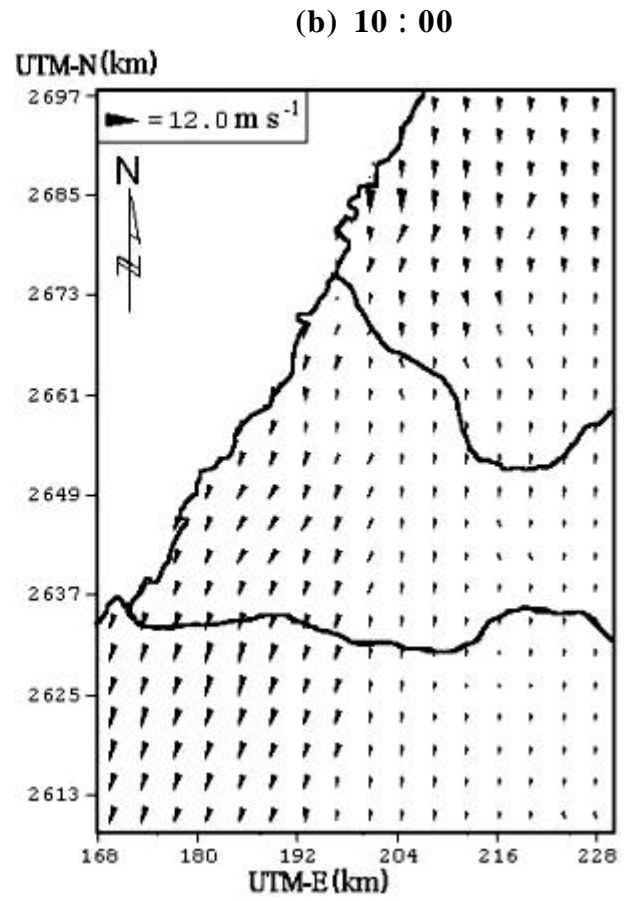
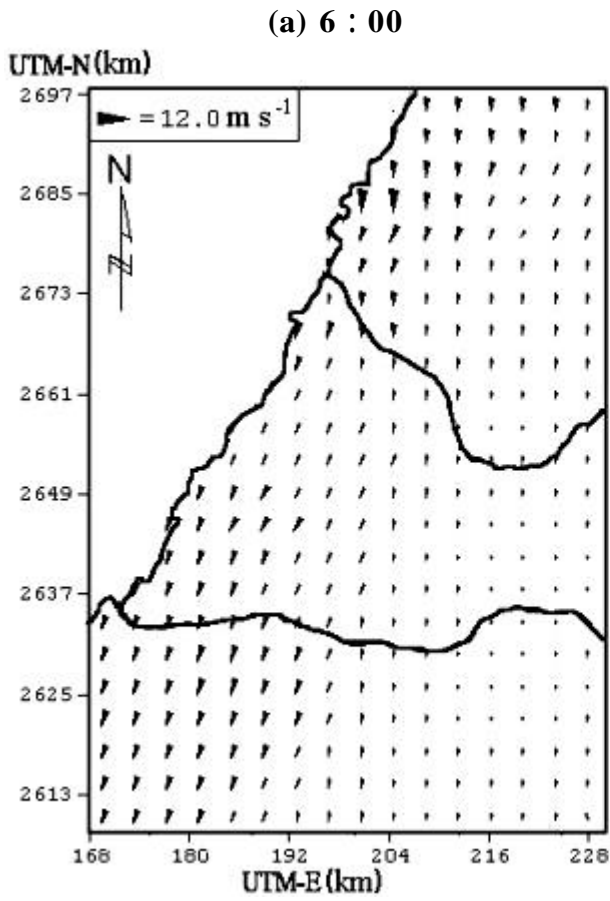


Fig. 24 Wind field in west-central Taiwan on 7 January 1999. (Type )  
 (a) 6 : 00 (b) 10 : 00 (c) 14 : 00 (d) 18 : 00

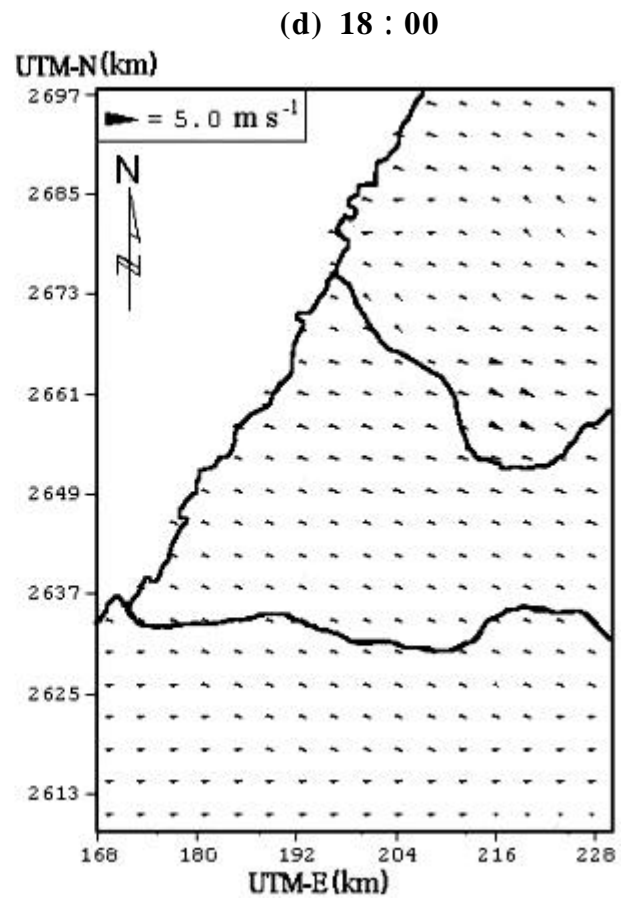
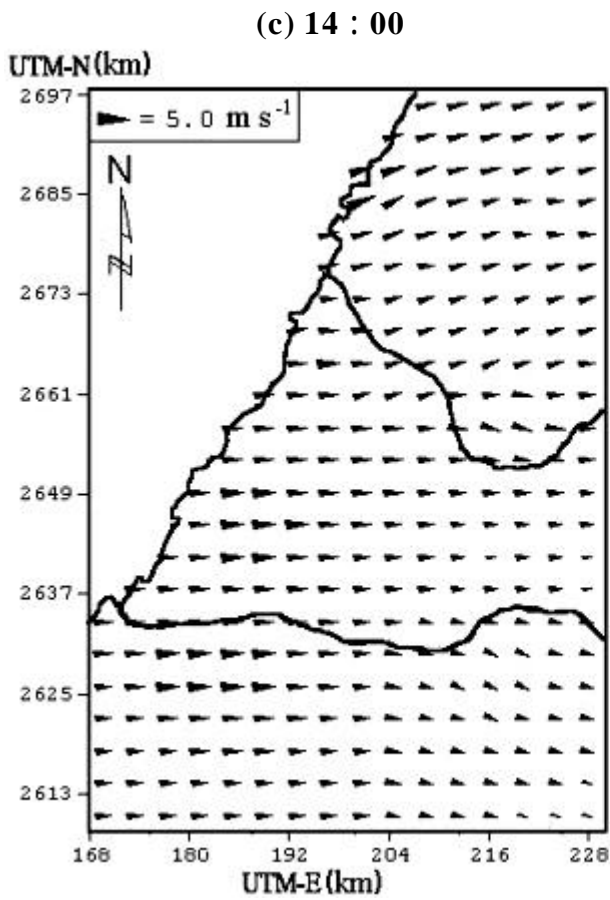
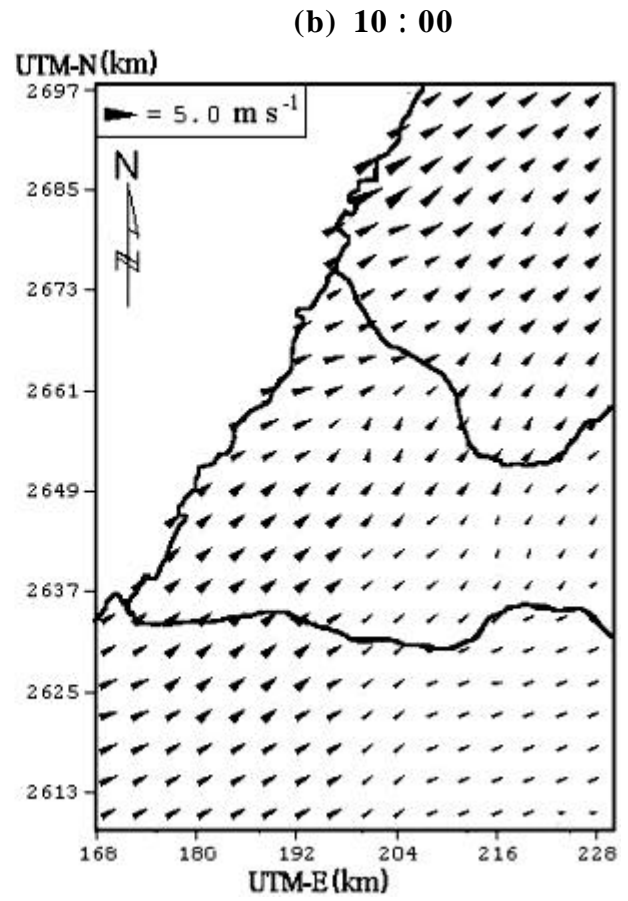
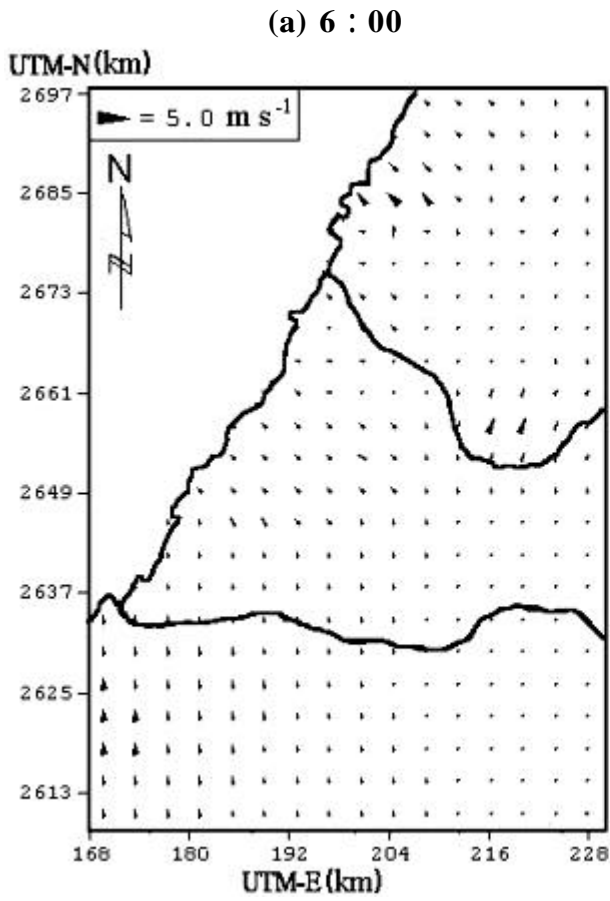


Fig. 25 Wind field in west-central Taiwan on 13 July 1999. (Type )  
 (a) 6 : 00 (b) 10 : 00 (c) 14 : 00 (d) 18 : 00

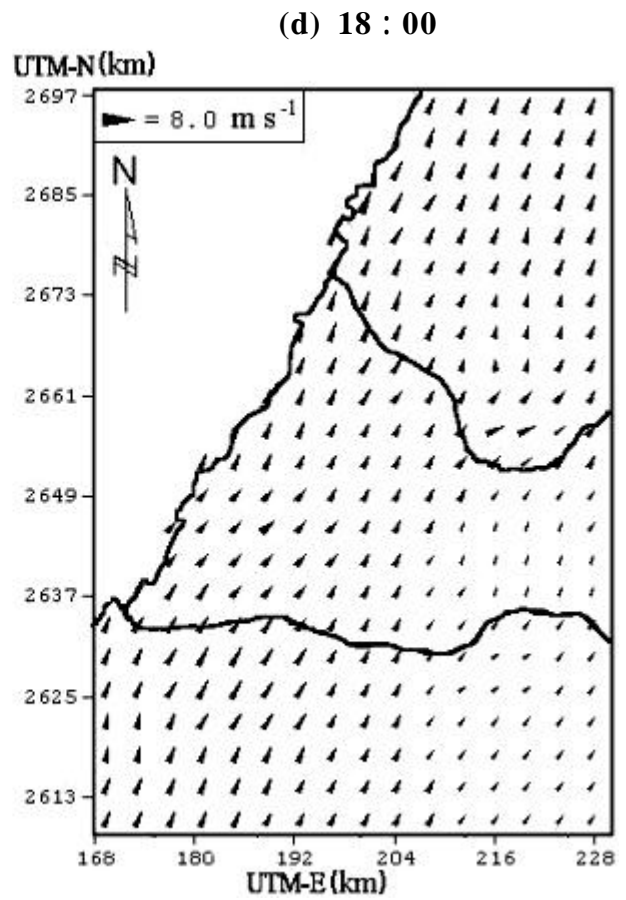
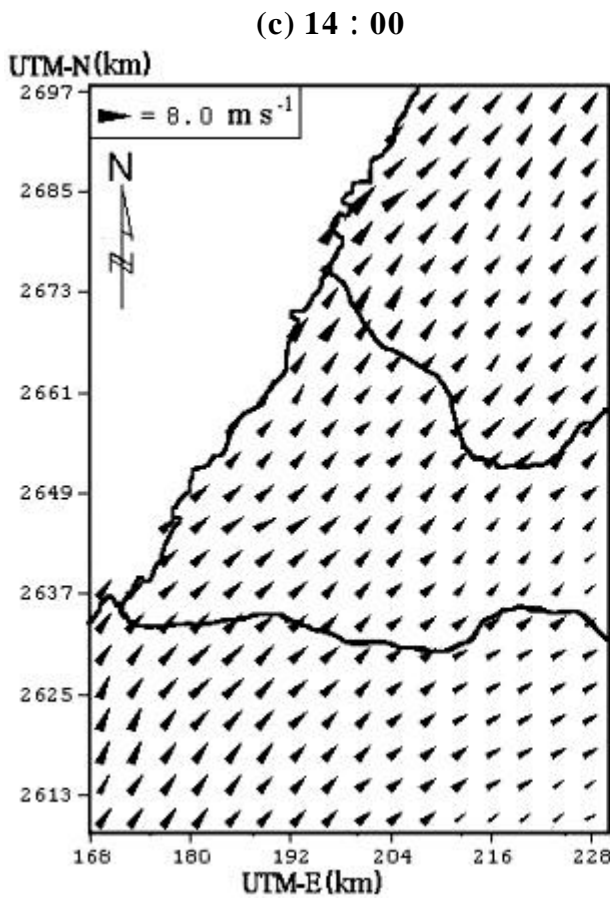
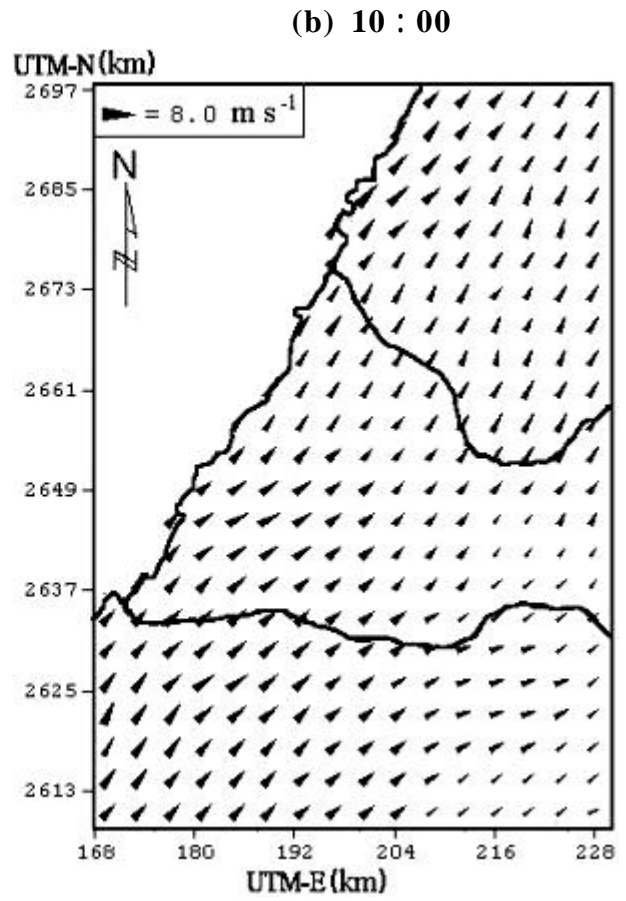
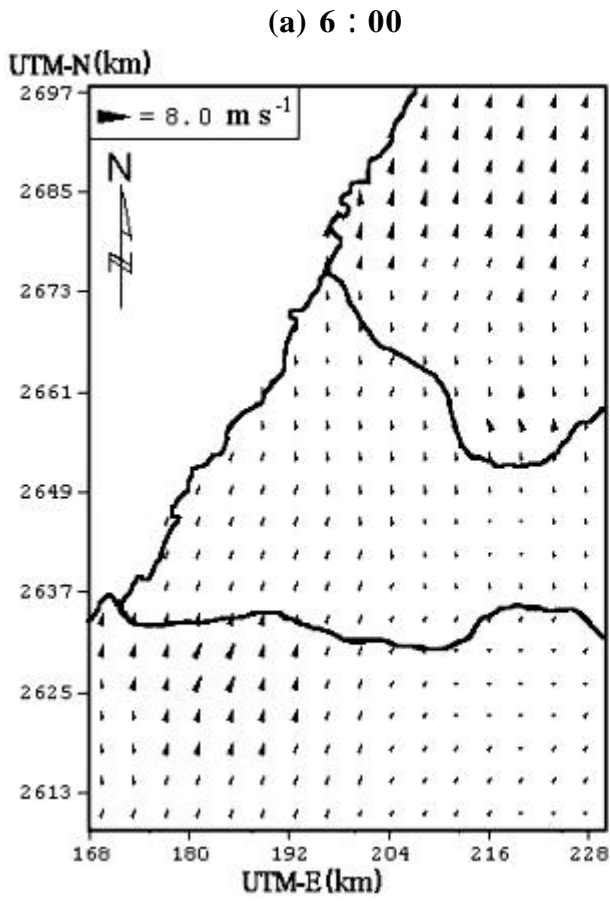


Fig. 26 Wind field in west-central Taiwan on 19 July 1998. (Type )  
 (a) 6 : 00 (b) 10 : 00 (c) 14 : 00 (d) 18 : 00

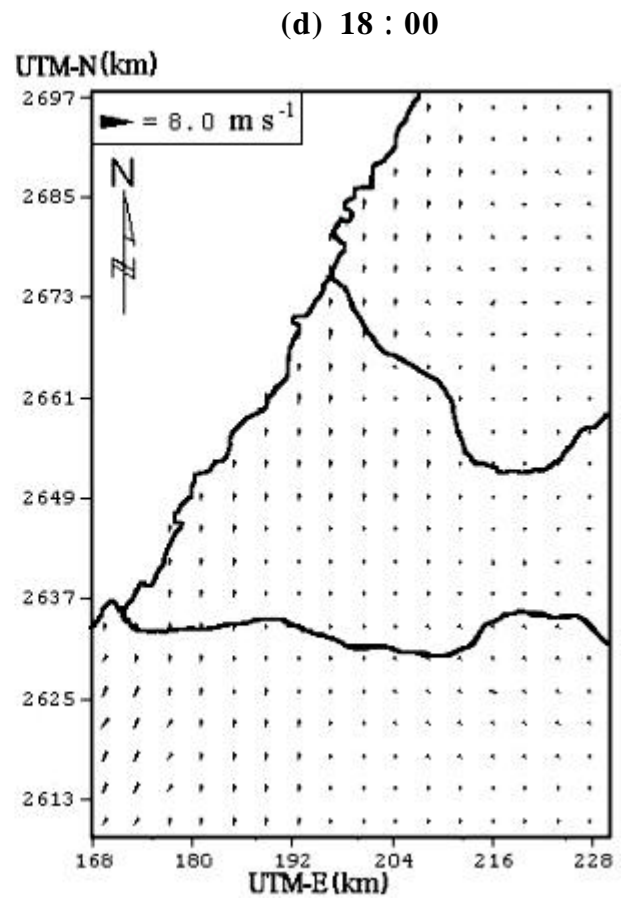
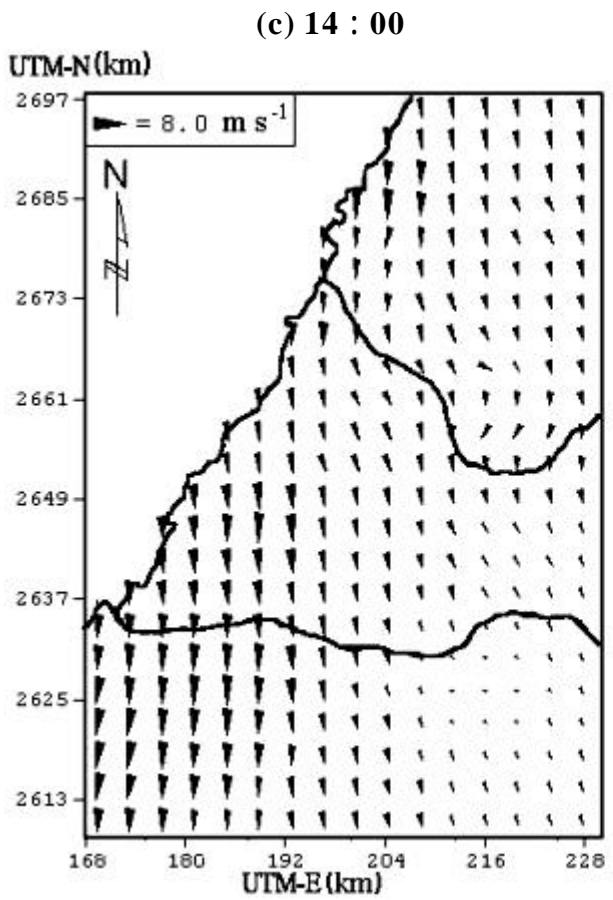
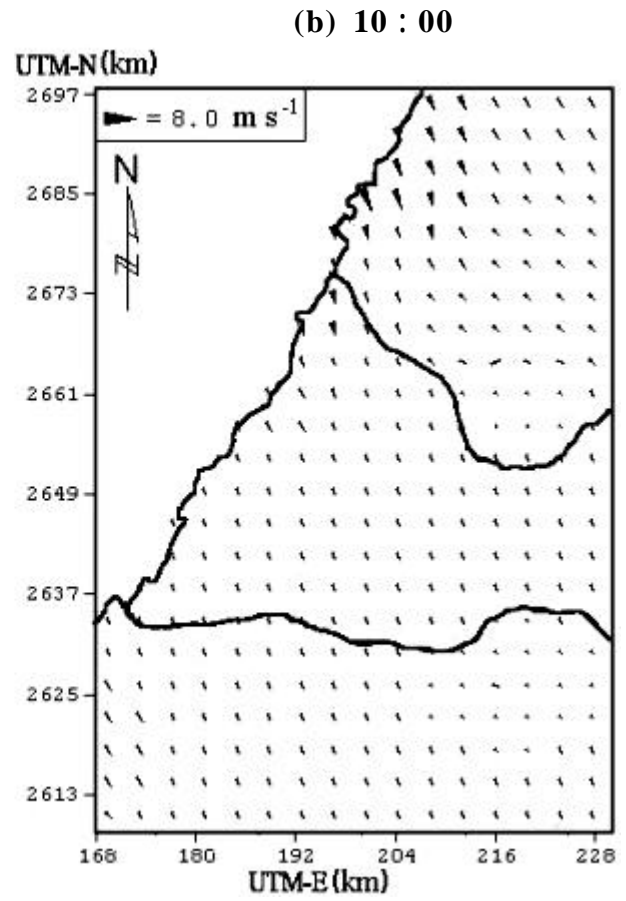
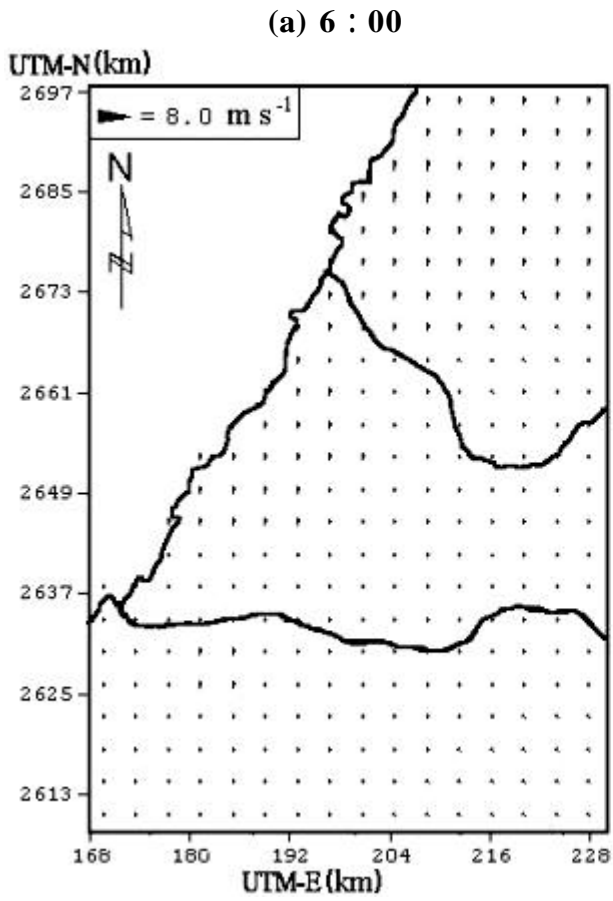


Fig. 27 Wind field in west-central Taiwan on 30 September 1999. (Type )  
 (a) 6 : 00 (b) 10 : 00 (c) 14 : 00 (d) 18 : 00

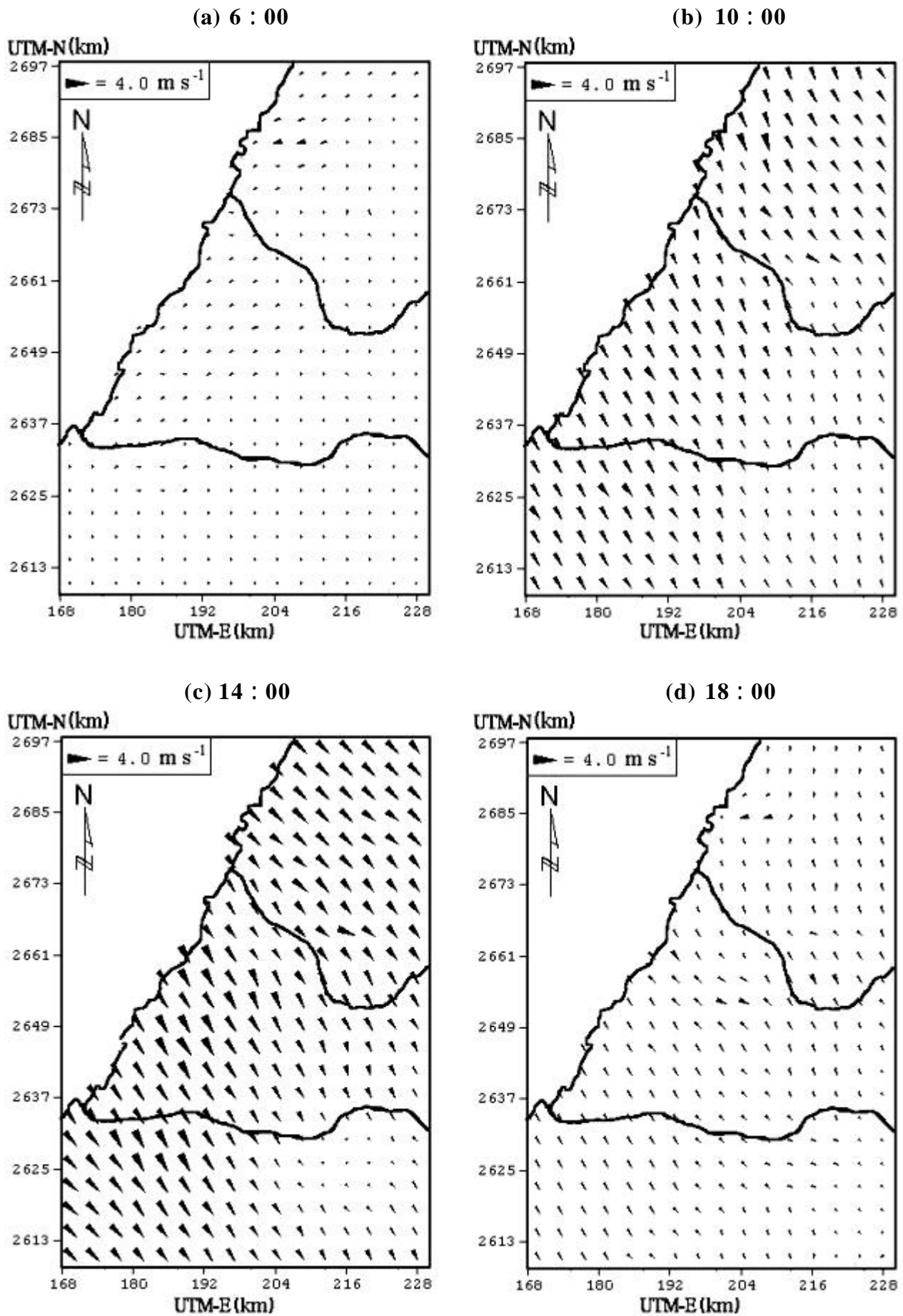


Fig. 28 Wind field in west-central Taiwan on 6 September 1999. (Type )  
 (a) 6 : 00 (b) 10 : 00 (c) 14 : 00 (d) 18 : 00

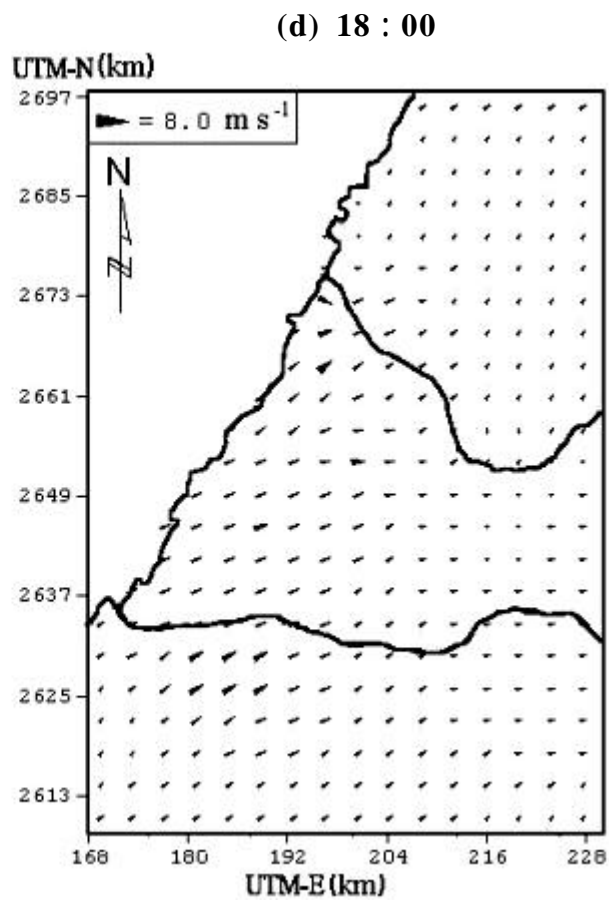
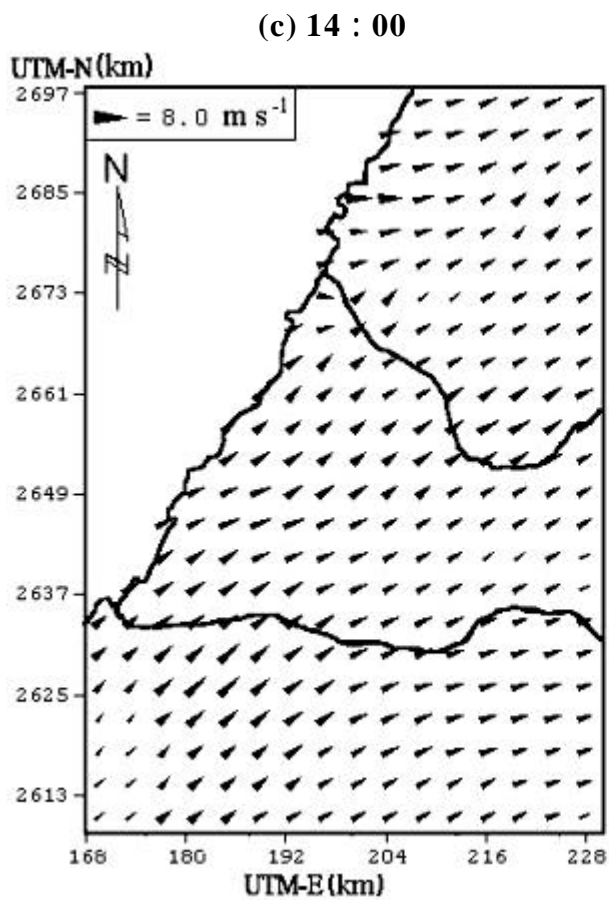
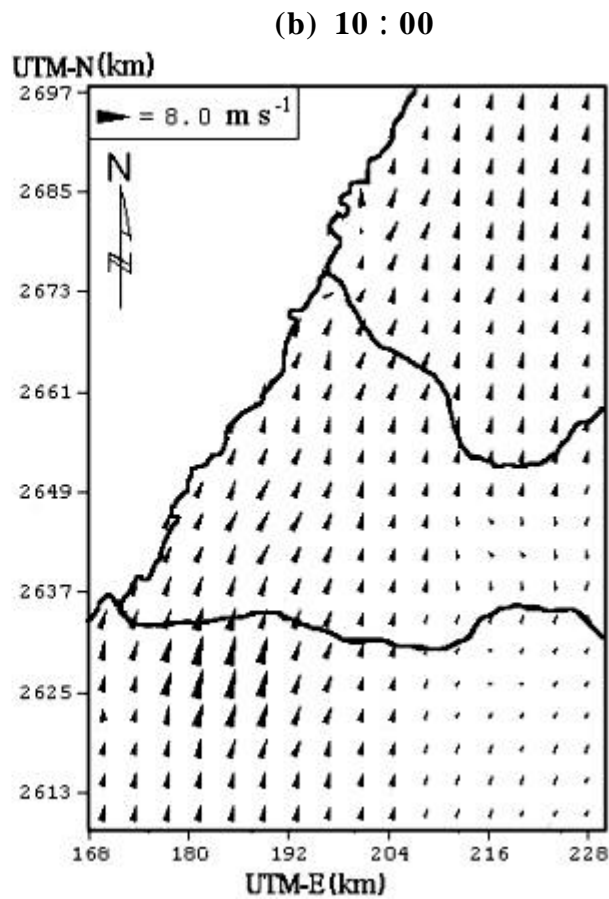
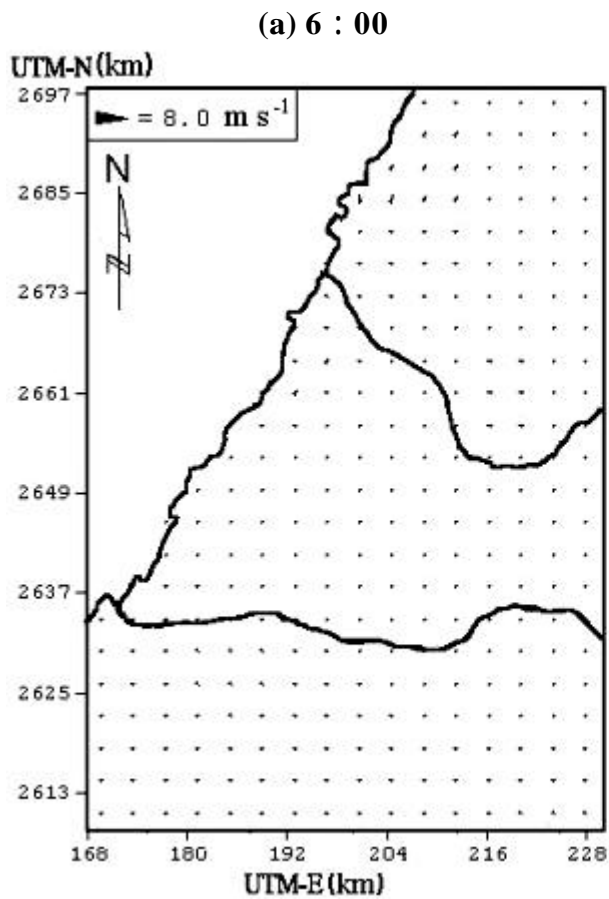


Fig. 29 Wind field in west-central Taiwan on 1 April 1998. (Type )  
 (a) 6 : 00 (b) 10 : 00 (c) 14 : 00 (d) 18 : 00

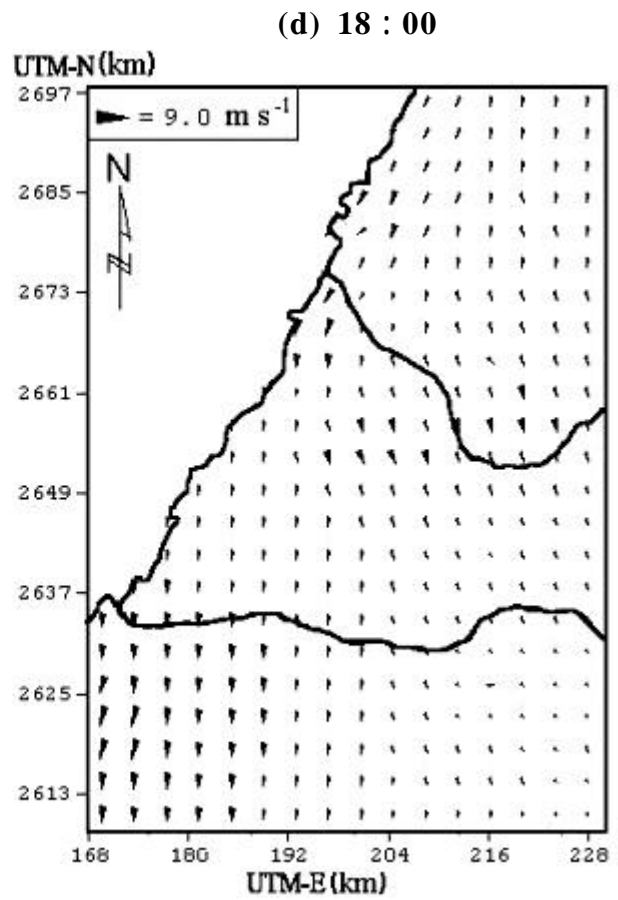
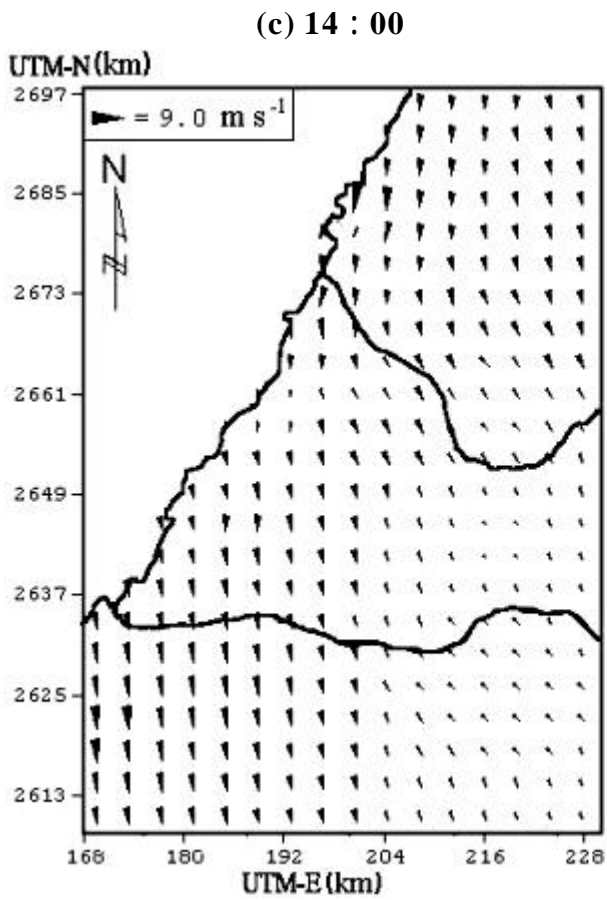
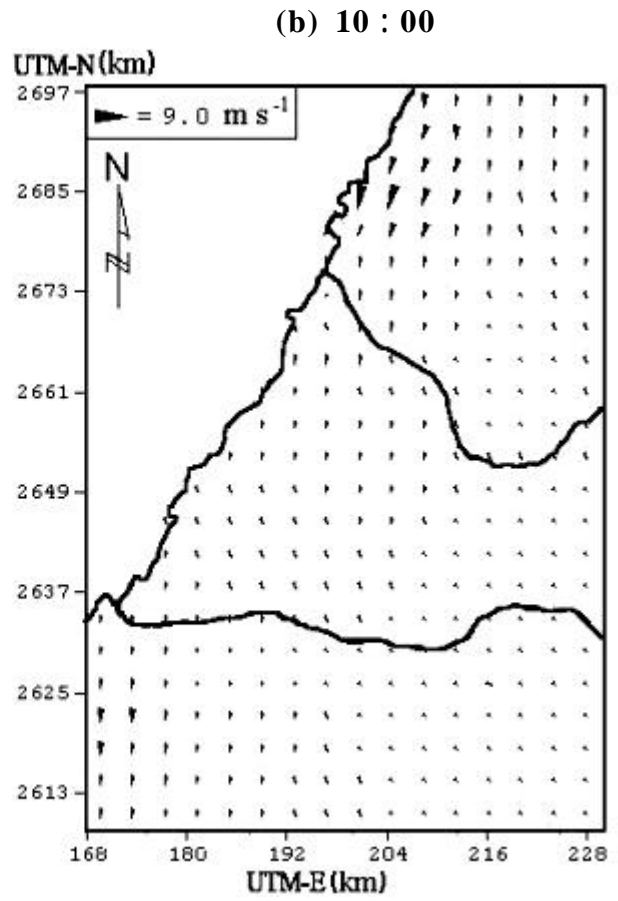
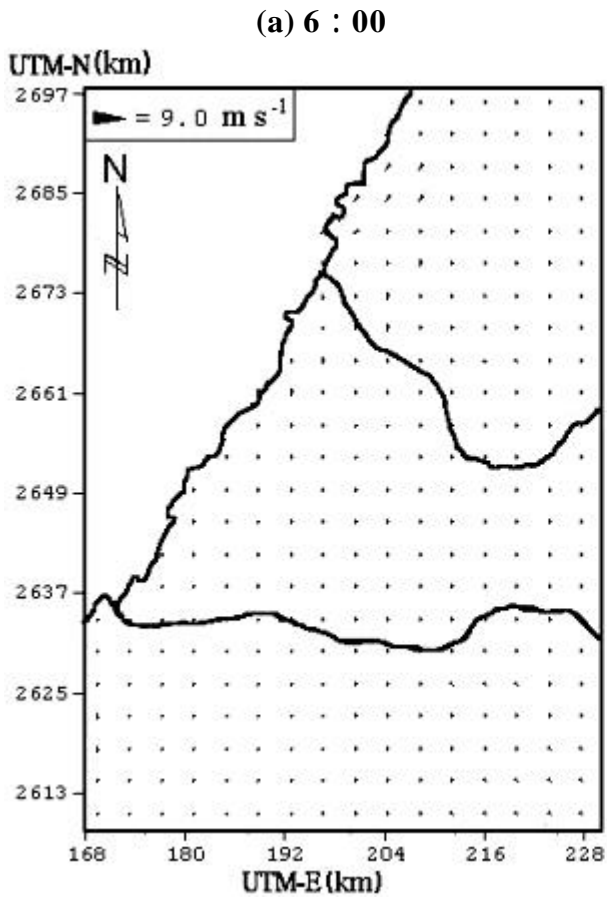


Fig. 30 Wind field in west-central Taiwan on 29 May 1997. (Type )  
 (a) 6 : 00 (b) 10 : 00 (c) 14 : 00 (d) 18 : 00

而在 9 種風場類型與事件日之相關分析上發現，中部地區自 1996 年至 2000 年止，在有效日數 1198 日中，高臭氧污染日共 553 天，發生率為 46 % (Table 11, Fig. 31)。在各類型風場中以第 1 型（東北季風之海陸風型）之高臭氧污染日發生率最高，發生機率高達 79%，其次為第 2 型（季節交替之海陸風型，56%）、第 3 型（季節交替之偏北風型，52%）和第 4 型（東北季風之偏北風型，43%）。

事件日發生日數共 657 天，發生率為 55%，各類型風場中以第 1 型 109 天，事件日發生率 83% 為最高，其次為第 2 型（65%）、第 3 型（60%）和第 4 型（56%）。根據以上統計資料分析結果，發現無論是高臭氧污染日或事件日，在 9 種分類風場中，其高濃度常出現在幾種特定類型（第 1、2、3、4 型），其中尤以第 1 型（東北季風下之海陸風型）之發生率最高。

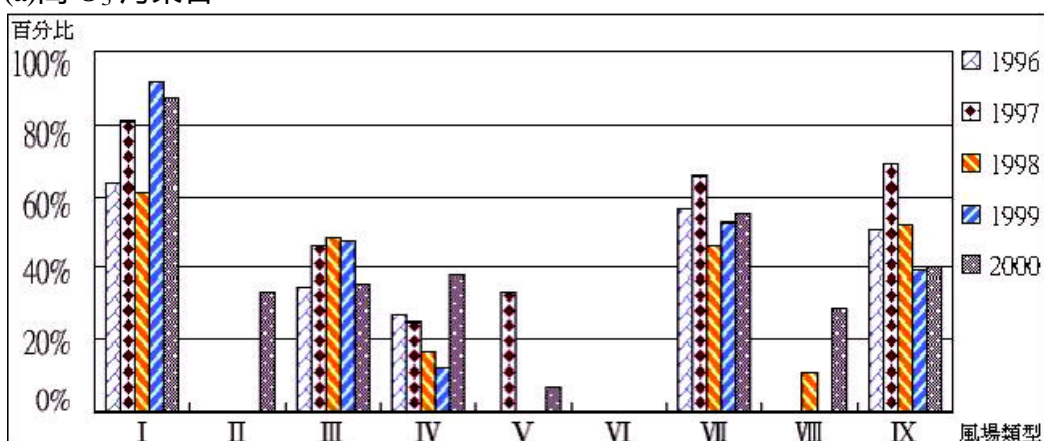
在常發生高臭氧事件日的類型中（第 1、2、3、4 型），其中第 1、2 型大多屬於冬季氣候類型，而第 3、4 型則屬於春、秋季等季節交替型，在統計資料中可發現，高臭氧污染在中部地區不常發生在夏季，原因可能跟中部地區夏季之混合層較高，垂直對流旺盛，致污染物地面濃度不如其他季節來的高。其中第 1 型（東北季風下之海陸風型）之發生率最高，探討其發生事件日之天氣型態時發現，以高壓迴流與高壓出海等天氣型為主，原因可能由於大環境盛行風不強，致區域環流明顯（海陸風），在此微弱風場下，加上其他氣象因子的配合，污染物便容易於近地面累積而導致臭氧事件日的產生。另外在春、秋季之熱帶低壓天氣型下，如第 5、6 型等，其發生率亦高，原因可能跟第 1 型之情形類似。



Table 11 The frequency of occurrence of high O<sub>3</sub> days with different synoptic weather patterns in the period 1996-2000.

類 型	各類型風場 發生日數	高 O <sub>3</sub> 日數	高 O <sub>3</sub> 發生機率	事件日日數	事件日 發生機率
第 一 型	131	103	79%	109	83%
第 二 型	11	2	18%	2	18%
第 三 型	470	202	43%	262	56%
第 四 型	83	18	22%	18	22%
第 五 型	51	2	4%	2	4%
第 六 型	4	0	0%	0	0%
第 七 型	170	95	56%	102	60%
第 八 型	36	5	14%	5	14%
第 九 型	242	126	52%	157	65%

(a)高 O<sub>3</sub> 污染日



(b)事件日

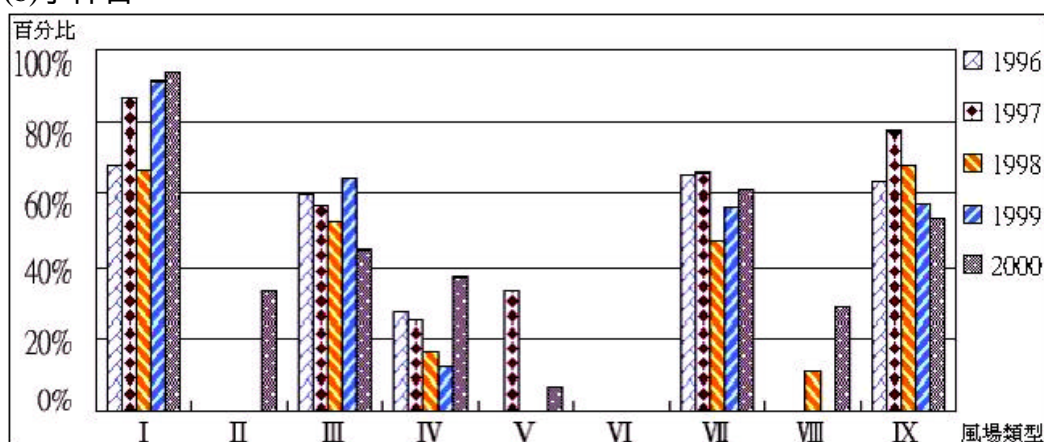


Fig. 31 Frequency of occurrence of (a)O<sub>3</sub> episodes and (b) O<sub>3</sub> or PM<sub>10</sub> episodes, during different synoptic weather patterns for 1996-2000.

### 3.3 氣團反軌跡之分析結果

#### (1) 未限定天氣型( without limits of synoptic patterns)

##### \* 大里

統計 1997-2000 年大里站發生高臭氧污染之日數共 369 天，計算其氣團反軌跡線可得逆軌跡發生率圖 ( Fig. 32a )，由圖中發現，大里站的氣團來源主要來自台中市 ( 南屯和西屯 ) 及其北北西方 ( 介於 315 360 ， 隸屬台中縣有指向苗栗通霄發電廠之潛勢，但主要仍集中在台中市區。

由 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 污染潛勢圖 ( Fig. 32b、c ) 可發現，大里測站臭氧前驅物污染源 NO<sub>x</sub> 主要來自台中市和台中港區，NMHC 亦有同樣之結果。若以不同類型污染源而言，NO<sub>x</sub> 污染潛勢比例為點源佔 39.6 %、線源佔 56.5 %、面源佔 3.9 % ( Table 12 )，所佔比例較重的線源主要分布在台中市之南屯、西屯與中山高速公路，次重的點源依序主要為台灣電力股份有限公司台中發電廠 (193.9 ‰)、台灣玻璃工業股份有限公司(86.4 ‰)及台灣化學纖維股份有限公司 (44.5 ‰) ( Table 13 )。NMHC 污染潛勢比例為點源 3.6 %、線源 38.9 %及面源 57.5 % ( Table 12 )，所佔比例較重的面源主要分布在台中市及台中港區，次重的線源主要則分布於台中市區內 ( Fig. 32c )。

Table 12 The contributions of NO<sub>x</sub> and NMHC sorted by different sources for three monitoring stations during 1997-2000.( without limits of synoptic patterns)

Station	NO <sub>x</sub>			NMHC		
	Point	Line	Area	Point	Line	Area
Tali	39.6%	56.5%	3.9%	3.6%	38.9%	57.5%
Nantou	45.7%	51.1%	3.2%	10.7%	29.2%	60.2%
Chushan	36.8%	59.6%	3.5%	5.0%	30.6%	64.4%

Table 13 Three major contributions of NO<sub>x</sub> based on stationary sources for three monitoring stations during 1997-2000.( without limits of synoptic patterns)

測站	名次	點 源	污染潛勢(‰)
大里	1	台灣電力股份有限公司台中發電廠	193.9
	2	台灣玻璃工業股份有限公司	86.4
	3	台灣化學纖維股份有限公司	44.5
	<b>Total</b>		<b>324.8</b>
南投	1	台灣電力股份有限公司台中發電廠	127.0
	2	台灣玻璃工業股份有限公司	103.3
	3	台灣化學纖維股份有限公司	98.9
	<b>Total</b>		<b>329.2</b>
竹山	1	台灣電力股份有限公司台中發電廠	151.7
	2	台灣玻璃工業股份有限公司	47.5
	3	台灣化學纖維股份有限公司	46.3
	<b>Total</b>		<b>245.5</b>

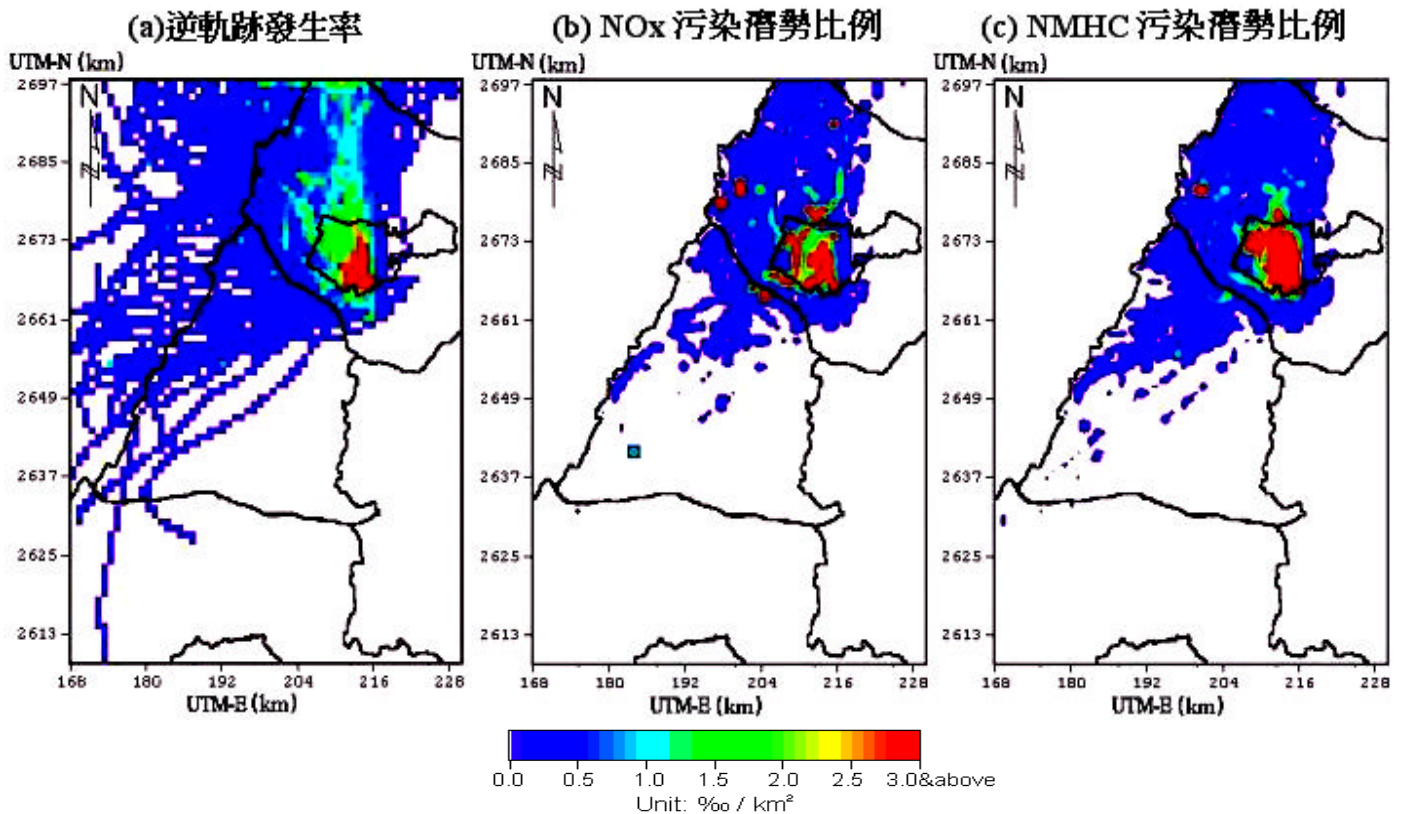


Fig. 32 8 h backward trajectories of NO<sub>x</sub> and NMHC on high ozone days for Tali station in central Taiwan during the period 1997-2000. ( without limits of synoptic patterns)

## \* 南投

南投在 1997-2000 年發生高臭氧污染之日數共 401 天，從所得之逆軌跡發生率圖 ( Fig. 33a ) 發現，南投站的氣團來源主要為南投市及其北北西方 ( 集中在  $320^{\circ}$  -  $360^{\circ}$ ，位於台中縣與彰化縣交界處 )，但以南投市為主要來源區，此乃因南投站位於大肚台地與八卦台地之缺口上，大肚溪流經其間，故氣團容易順著山脊經由河谷進入南投盆地，造成南投地區的污染物累積。

南投測站臭氧前驅物污染源  $\text{NO}_x$  主要來自南投市、中山高速公路和台中港區 ( Fig. 33b )，NMHC 主要則來自南投市、中山高速公路、員林鎮、彰化市、台中市 ( 西屯和南屯 ) 和台中港區 ( Fig. 33c )。若以不同類型污染源而言， $\text{NO}_x$  污染潛勢比例為點源佔 45.7 %、線源佔 51.1 %、面源佔 3.2 % ( Table 12 )，所佔比例較重的線源主要分布在中山高速公路和南投市區，次重的點源依序主要為台灣電力股份有限公司台中發電廠 (127.0 ‰)、台灣玻璃工業股份有限公司 (103.3 ‰) 及台灣化學纖維股份有限公司 (98.9 ‰) ( Table 13 )。NMHC 污染潛勢比例為點源 10.7 %、線源 29.2 % 及面源 60.2 % ( Table 12 )，所佔比例較重的面源主要分布在南投市、彰化市、台中市 ( 西屯和南屯 ) 及台中港區，次重的線源則分布於南投市街道和中山高速公路 ( Fig. 33c )，而南投在 NMHC 的點源污染潛勢比例上，比大里和竹山測站有較高的趨勢 ( Table 12 )。

## \* 竹山

統計 1997-2000 年竹山站發生高臭氧污染之日數共 529 天，從所得之逆軌跡發生率圖 ( Fig. 34a ) 發現，竹山站的氣團來源主要為竹山鎮與其北北西方 ( 介於  $320^{\circ}$  -  $360^{\circ}$ ，隸屬彰化縣 )，此乃因竹山站本身位於八卦台地與斗六台地之隘口，而經濁水溪切割其間，造成氣團易經由河谷進入竹山鎮，使竹山站產生污染高值，而逆軌跡發生率圖亦顯示了此一現象，氣團大部分都從彰化縣取道此隘口進入竹山地區，只有少部分的軌跡方向，顯示從北方的南投地區而來。

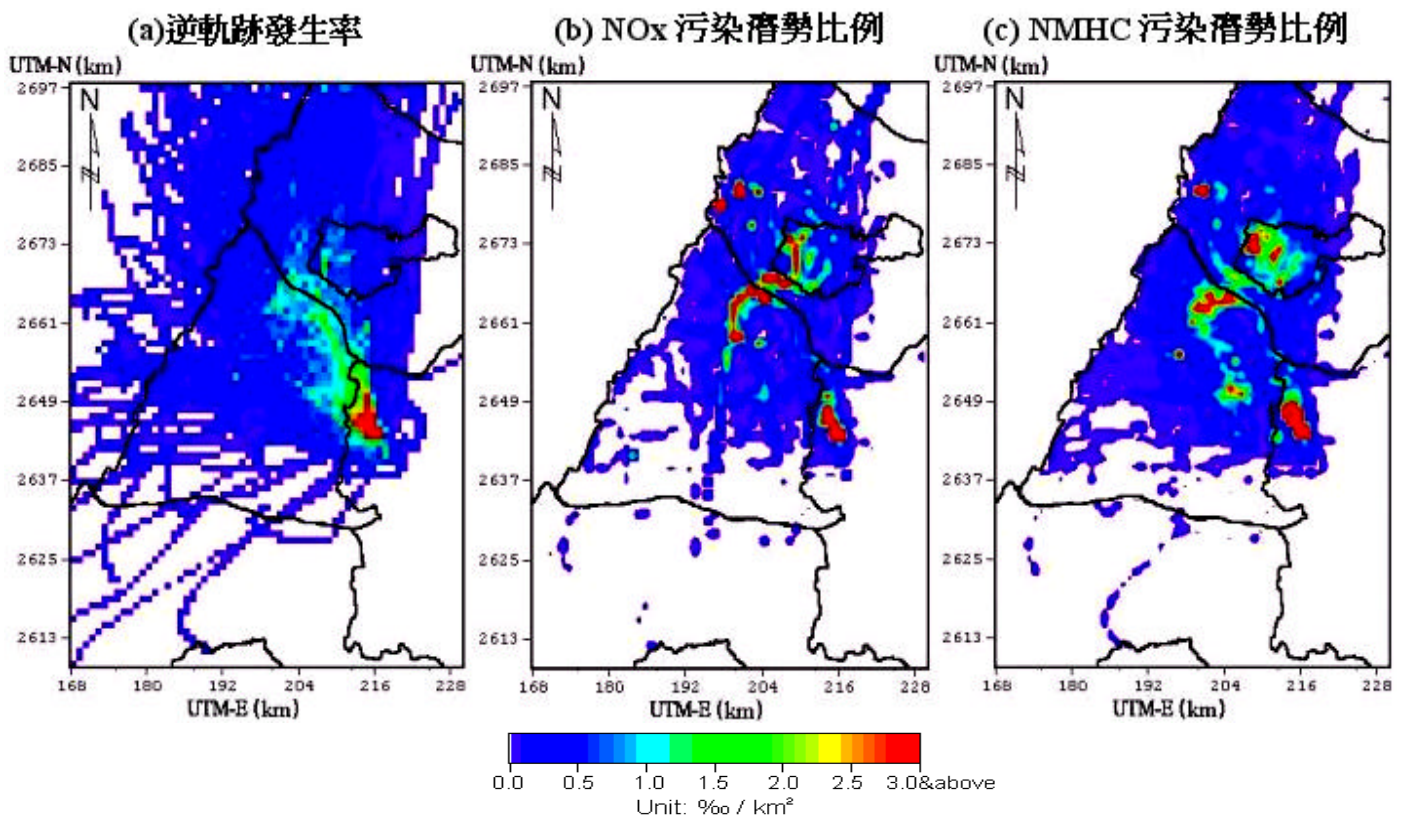


Fig. 33 8 h backward trajectories of NO<sub>x</sub> and NMHC on high ozone days for Nantou station in central Taiwan during the period 1997-2000. ( without limits of synoptic patterns)

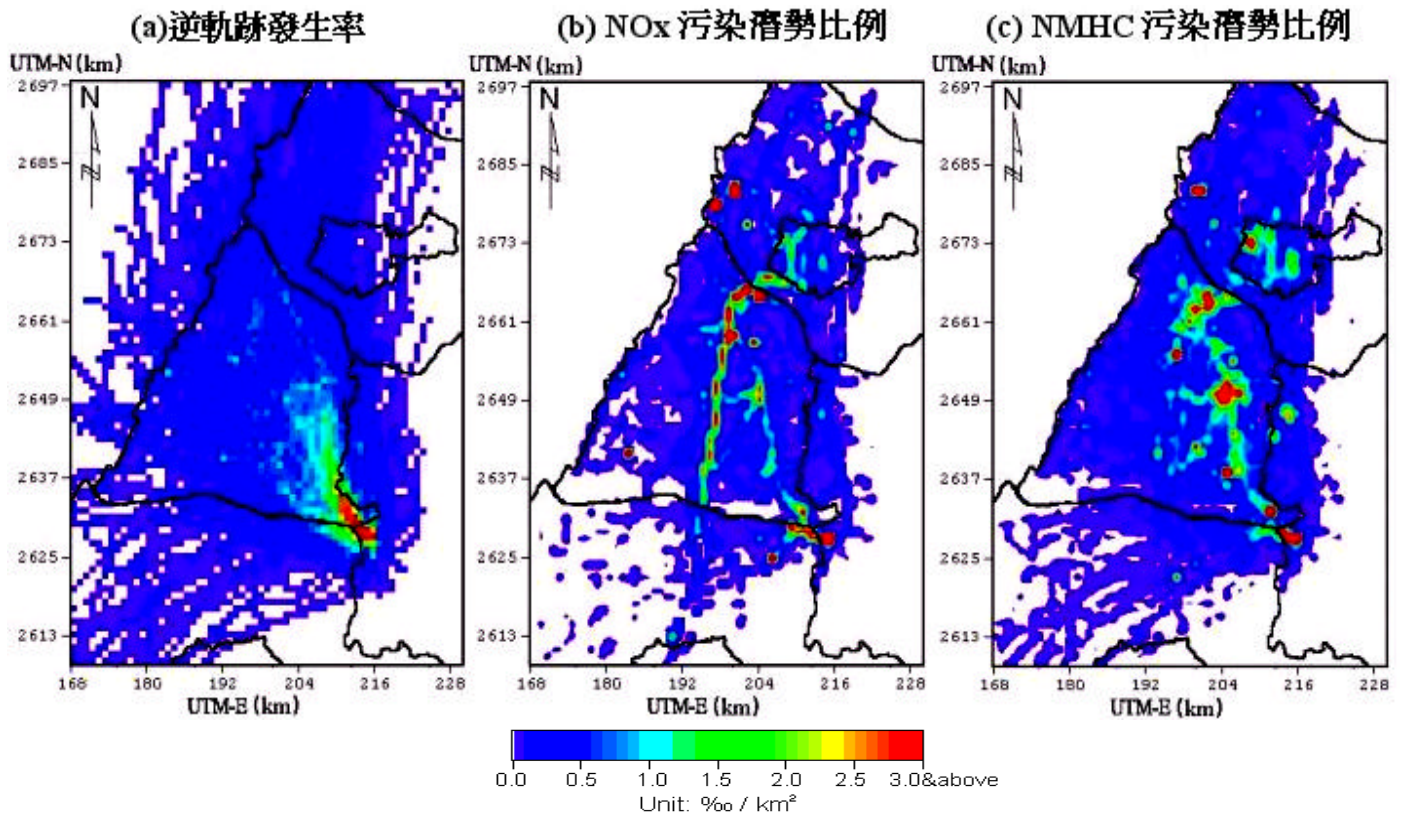


Fig. 34 8 h backward trajectories of NO<sub>x</sub> and NMHC on high ozone days for Chushan station in central Taiwan during the period 1997-2000. ( without limits of synoptic patterns)

竹山測站臭氧前驅物污染源 NO<sub>x</sub> 之污染潛勢分布，若以不同類型污染源來分，NO<sub>x</sub> 污染潛勢比例為點源佔 36.8 %、線源佔 59.6 %、面源佔 3.5 % ( Table 12 )，所佔比例較重的線源主要分布在中山高速公路、省道台 1 線、彰化縣道 141 線和竹山鎮 ( Fig. 34b )，次重的點源依污染潛勢比例則為台灣電力股份有限公司台中發電廠(151.7 ‰)、台灣玻璃工業股份有限公司(47.5 ‰)及台灣化學纖維股份有限公司(46.3 ‰) ( Table 13 )。而 NMHC 污染潛勢比例為點源佔 5.0 %、線源佔 30.6 %、面源佔 64.4 % ( Table 12 )，所佔比例較重的面源主要分布在竹山鎮、員林鎮、彰化市及台中港區，次重的線源則主要分布於竹山鎮、中山高速公路和彰化縣道 141 線 ( Fig. 34c )。

## ( 2 ) 高壓迴流天氣型 ( Back of high pressure system )

### \* 大里

在高壓迴流天氣型下，統計 1997-2000 年大里發生高臭氧污染天數共 139 日，在所得之逆軌跡發生率圖中發現，污染物氣團來源有往北北西集中之趨勢 ( Fig. 35a )，表示大里地區在高壓迴流天氣型下產生高臭氧污染日之氣團來源主要為台中市 ( 南屯和西屯 ) 及其北北西方 ( 介於 315 360 )，隸屬台中並有指向苗栗通霄發電廠之潛勢，但主要仍集中在台中市區。

由 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 污染潛勢比例圖 ( Fig. 35b、c ) 可發現，大里測站臭氧前驅物污染源 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 之污染潛勢分布，大致上與未加入天氣型之結果相同。若以不同類型污染源而言，NO<sub>x</sub> 污染潛勢比例為點源 35.6 %、線源 60.6 % 及面源 3.8 % ( Table 14 )，所佔比例較重的線源主要分布在台中市之南屯、西屯與中山高速公路，次重的點源依序主要為台灣玻璃工業股份有限公司 (130.3 ‰)、台灣電力股份有限公司台中發電廠 (76.1 ‰)及台灣化學纖維股份有限公司(72.1 ‰)( Table 15 ) 而 NMHC 污染潛勢比例為點源 4.6 %、線源 38.1 % 及面源 57.3 % ( Table 14 )，所佔比例較重的面源主要分布在台中市及台中港區，次重的線源主要則分布於台中市區內 ( Fig. 35c )。

Table 14 The contributions of NO<sub>x</sub> and NMHC sorted by different sources for three monitoring stations during 1997-2000.( Back of high pressure system)

Station	NO <sub>x</sub>			NMHC		
	Point	Line	Area	Point	Line	Area
Tali	35.6%	60.6%	3.8%	4.6%	38.1%	57.3%
Nantou	44.2%	52.5%	3.3%	11.4%	29.2%	59.4%
Chushan	58.8%	38.6%	2.5%	6.0%	26.5%	67.4%

Table 15 Three major contributions of NO<sub>x</sub> based on stationary sources for three monitoring stations during 1997-2000.( Back of high pressure system)

測站	名次	點	源	污染潛勢(‰)
大里	1		台灣玻璃工業股份有限公司	130.3
	2		台灣電力股份有限公司台中發電廠	76.1
	3		台灣化學纖維股份有限公司	72.1
	<b>Total</b>			<b>278.5</b>
南投	1		台灣玻璃工業股份有限公司	174.8
	2		台灣化學纖維股份有限公司	94.8
	3		台灣電力股份有限公司台中發電廠	64.7
	<b>Total</b>			<b>334.3</b>
竹山	1		台灣電力股份有限公司台中發電廠	336.2
	2		台灣玻璃工業股份有限公司	83.7
	3		台灣化學纖維股份有限公司	50.3
	<b>Total</b>			<b>470.2</b>

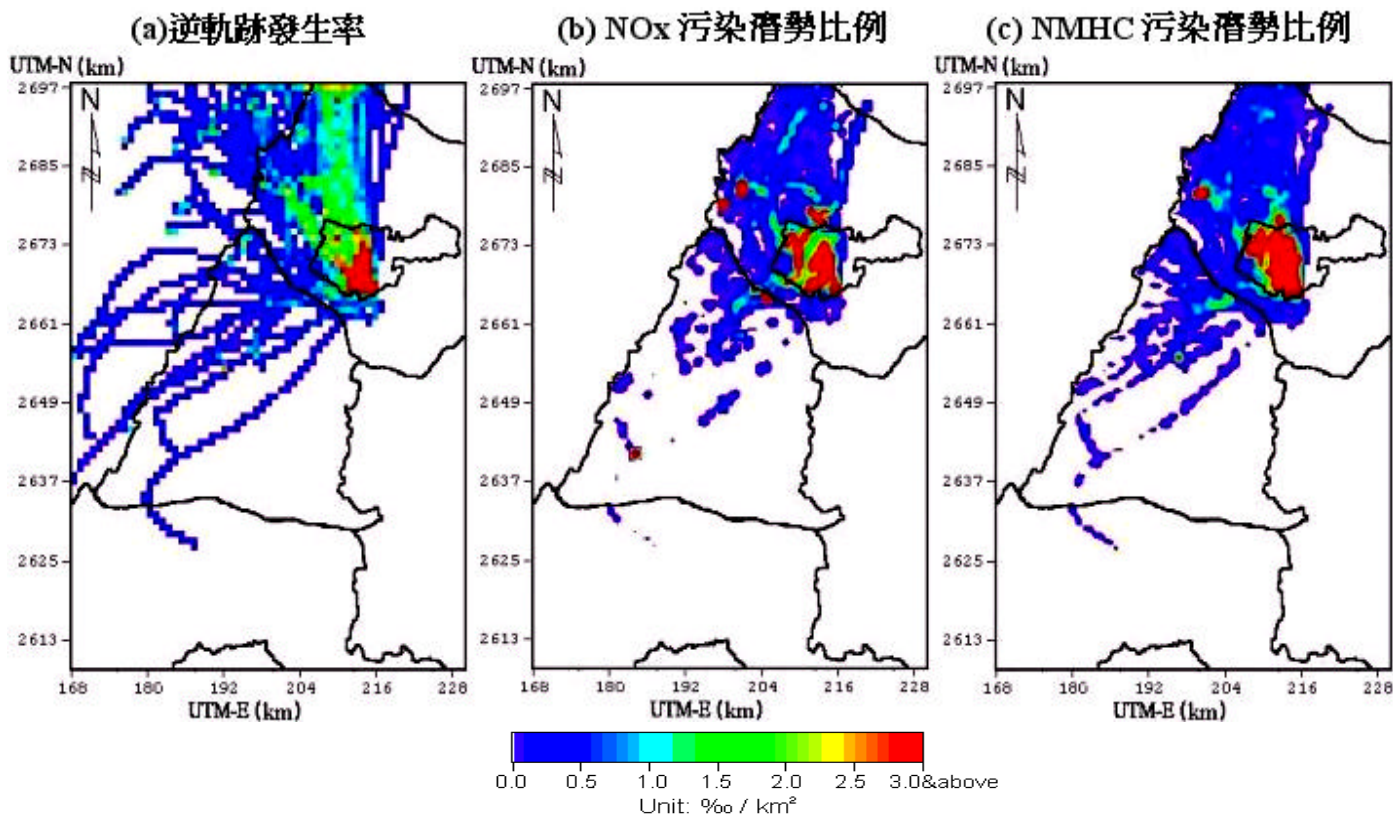


Fig. 35 8 h backward trajectories of NO<sub>x</sub> and NMHC on high ozone days for Tali station in central Taiwan during the period 1997-2000. ( Back of high pressure system)

## \* 南投

在高壓迴流天氣型下，統計 1997-2000 年南投發生高臭氧污染天數共 138 日，在所得之逆軌跡發生率圖(Fig. 36a)中發現，其與未限定天氣型相較下並無多大改變，氣團主要來源仍為南投市及其北北西方（集中在 320° - 360°，位於台中縣與彰化縣交界處），但以南投市為主要來源區，原因可能與南投地區之地理位置和地形之影響有關。

由 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 污染潛勢比例圖（Fig. 36b、c）可發現，南投測站臭氧前驅物污染源 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 之污染潛勢分布，大致上與未加入天氣型之結果相同。若以不同類型污染源而言，NO<sub>x</sub> 污染潛勢比例為點源佔 44.2 %、線源佔 52.5 %、面源佔 3.3 %（Table 14），所佔比例較重的線源主要分布在中山高速公路和南投市區，次重的點源依序主要為台灣玻璃工業股份有限公司（174.8 ‰）、台灣化學纖維股份有限公司(94.8 ‰)及台灣電力股份有限公司台中發電廠（64.7 ‰）（Table 15）。NMHC 污染潛勢比例為點源 11.4 %、線源 29.2 %及面源 59.4 %（Table 14），所佔比例較重的面源主要分布在南投市、彰化市、台中市（西屯和南屯）及台中港區，次重的線源則主要分布於南投市街道和中山高速公路（Fig. 36c）。

## \* 竹山

在高壓迴流天氣型下，統計 1997-2000 年竹山發生高臭氧污染之日數共 166 天，從所得之逆軌跡發生率圖(Fig. 37a)發現，逆軌跡發生率大致上皆由彰化縣經八卦台地與斗六台地之隘口往竹山方向輸送，表示大里地區在高壓迴流天氣型下產生高臭氧污染日之氣團來源主要為彰化縣，並且沿著縣道 141 號公路經由地形上之隘口進入竹山地區。

由 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 污染潛勢比例圖（Fig. 37b、c）可發現，竹山測站臭氧前驅物污染源 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 之污染潛勢分布，大致上與未加入天氣型之結果相同。若以不同類型污染源而言，NO<sub>x</sub> 依比例為點源佔 58.8 %、線源佔 38.6 %、



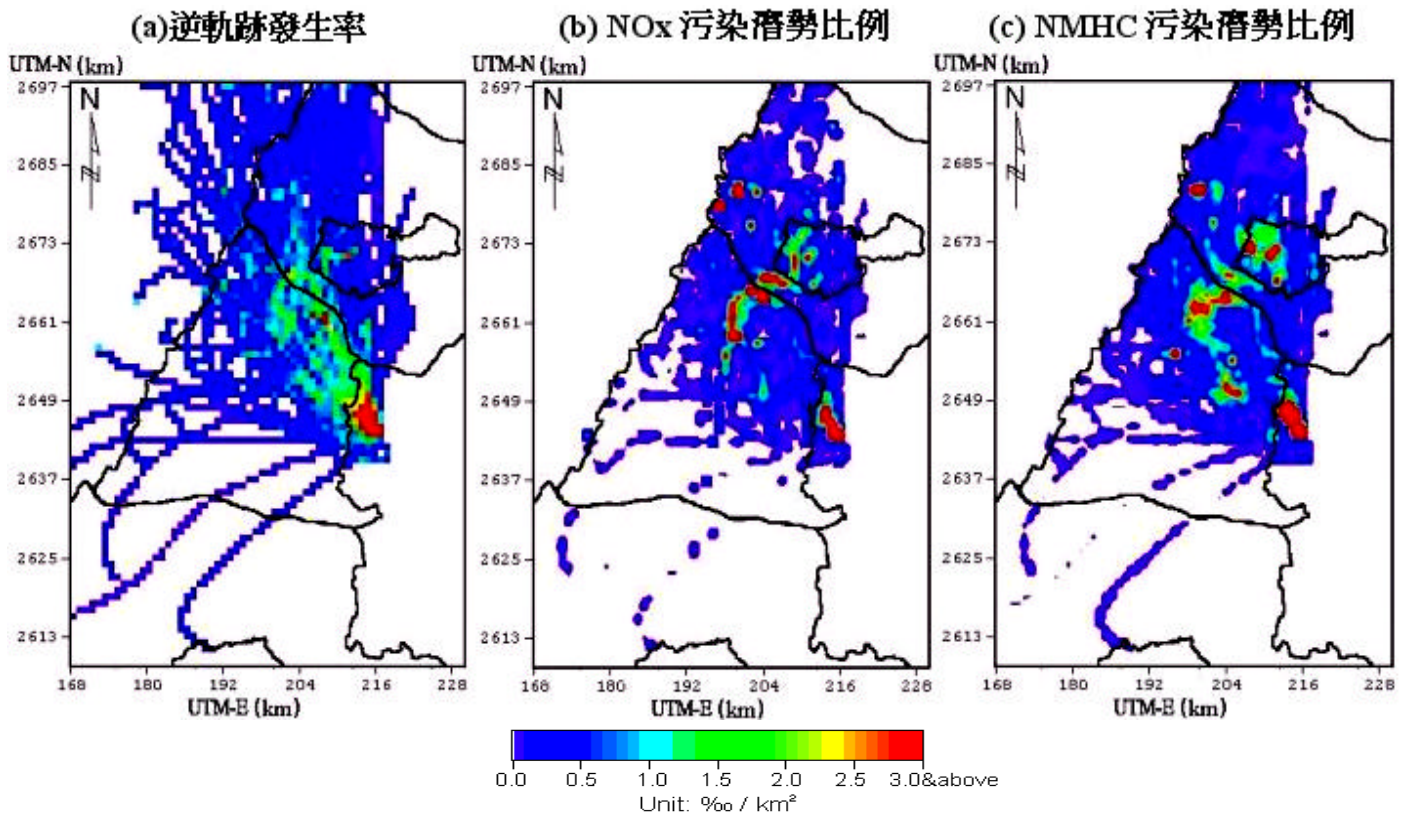


Fig. 36 8 h backward trajectories of NO<sub>x</sub> and NMHC on high ozone days for Nantou station in central Taiwan during the period 1997-2000. ( Back of high pressure system)

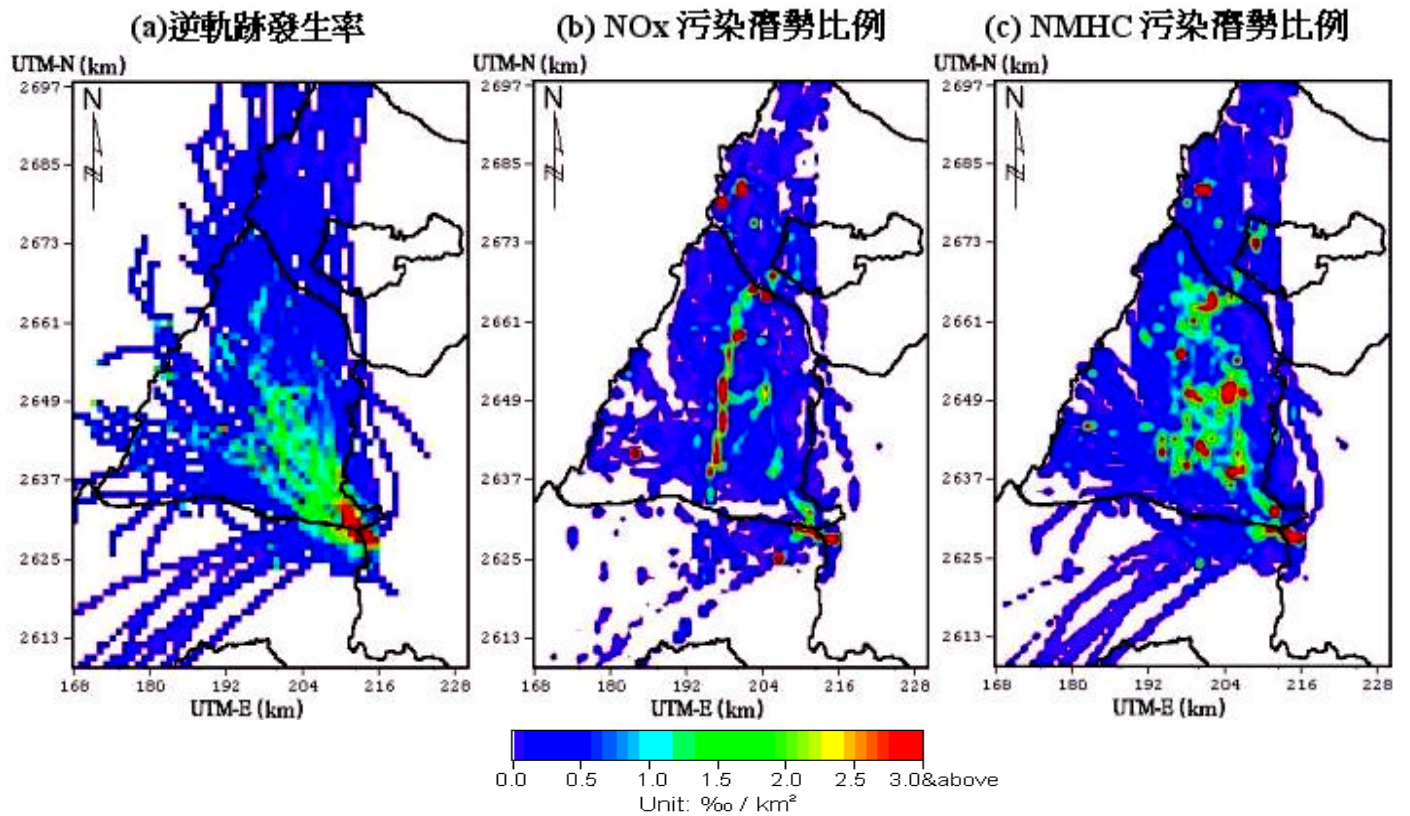


Fig. 37 8 h backward trajectories of NO<sub>x</sub> and NMHC on high ozone days for Chushan station in central Taiwan during the period 1997-2000. ( Back of high pressure system)

面源佔 2.5 % ( Table 14 ), 所佔比例較重的線源主要分布在中山高速公路、省道台 1 線、彰化縣道 141 線和竹山鎮, 次重的點源依序主要為台灣電力股份有限公司台中發電廠(336.2 ‰)、台灣玻璃工業股份有限公司(83.7 ‰)及台灣化學纖維股份有限公司(50.3 ‰) ( Table 15 ); 而 NMHC 污染潛勢比例為點源佔 6.0 %、線源佔 26.5 %、面源佔 67.4 % ( Table 14 ), 所佔比例較重的面源主要分布在彰化縣, 次重的線源主要則分布於竹山鎮、中山高速公路和彰化縣道 141 線 ( Fig. 37c )。

### ( 3 ) 熱帶低壓天氣型 ( Tropical low pressure system )

#### \* 大里

在熱帶低壓天氣型中, 大里發生高臭氧污染日數共 76 天, 在所得之逆軌跡發生率圖中發現(Fig. 38a), 大里站污染物之氣團來源較無集中某一特定方向之趨勢, 路徑分布較分散, 但主要仍以第二象限 ( 270 360 ) 為主, 歸納其氣團來源大致為台中市區與大理市。

由 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 污染潛勢比例圖 ( Fig. 38b、c ) 可發現, 若以不同類型污染源來分, 大里測站臭氧前驅物污染源 NO<sub>x</sub> 之污染潛勢比例為點源 38.5 %、線源 58.2 % 及面源 3.3 % ( Table 16 )。線源集中在台中市區街道與中山高速公路, 點源依所佔比例順序為台灣電力股份有限公司台中發電廠(188.7 ‰)、台灣化學纖維股份有限公司 ( 65.7 ‰)及台灣玻璃工業股份有限公司 ( 34.6 ‰) ( Table 17 ), 而面源的影響則較小。NMHC 污染潛勢比例為點源佔 2.9 %、線源佔 37.4 %、面源佔 59.7 % ( Table 16 ), 所佔比例較重的面源和線源主要皆分布於台中市區內 ( Fig. 38c )。

Table 16 The contributions of NOx and NMHC sorted by different sources for three monitoring stations during 1997-2000.( Tropical low pressure system)

Station	NOx			NMHC		
	Point	Line	Area	Point	Line	Area
Tali	38.5%	58.2%	3.3%	2.9%	37.4%	59.7%
Nantou	52.6%	44.6%	2.8%	12.5%	26.0%	61.5%
Chushan	23.6%	71.7%	4.6%	4.1%	28.7%	67.1%

Table 17 Three major contributions of NOx based on stationary sources for three monitoring stations during 1997-2000.( Tropical low pressure system)

測站	名次	點	源	污染潛勢(‰)
大里	1		台灣電力股份有限公司台中發電廠	188.7
	2		台灣化學纖維股份有限公司	65.7
	3		台灣玻璃工業股份有限公司	34.6
	<b>Total</b>			<b>289.0</b>
南投	1		台灣電力股份有限公司台中發電廠	206.3
	2		台灣化學纖維股份有限公司	146.7
	3		台灣玻璃工業股份有限公司	37.0
	<b>Total</b>			<b>390.0</b>
竹山	1		台灣電力股份有限公司台中發電廠	76.4
	2		台灣玻璃工業股份有限公司	0.0
	3		台灣化學纖維股份有限公司	0.0
	<b>Total</b>			<b>76.4</b>

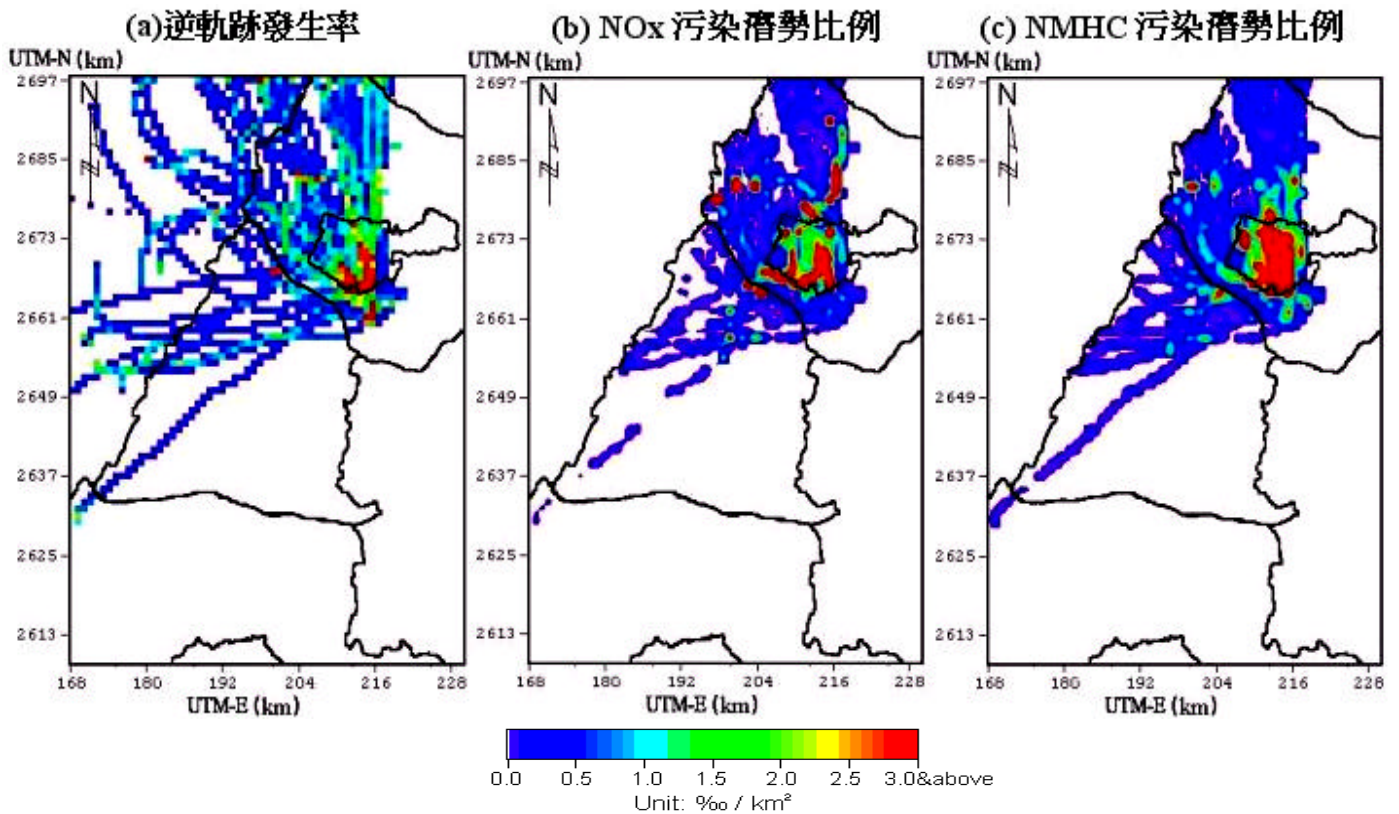


Fig. 38 8 h backward trajectories of NOx and NMHC on high ozone days for Tali station in central Taiwan during the period 1997-2000. (Tropical low pressure system)

## \* 南投

在熱帶低壓天氣型中，南投站發生高臭氧污染之日數共 94 天，從所得之逆軌跡發生率圖(Fig. 39a)發現，逆軌跡發生率大致同前兩型結果，然其氣團來源較集中於彰化縣與台中縣（西北部），但主要路徑仍沿著大肚台地與八卦台地缺口上之大肚溪流進南投盆地，造成南投地區的污染物累積。

由 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 污染潛勢比例圖（ Fig. 39b、 c ）可發現，若以不同類型污染源來分，大里測站臭氧前驅物污染源 NO<sub>x</sub> 主要則以點源為主，污染潛勢比例為 52.6%（ Table 16 ），所佔比例較重者依序為台灣電力股份有限公司台中發電廠（206.3 ‰）、台灣化學纖維股份有限公司（146.7 ‰）及台灣玻璃工業股份有限公司（37.0 ‰）（ Table 17 ）；次重的線源污染潛勢比例佔 44.6%（ Table 16 ），主要集中在中山高速公路和南投市區；面源的污染潛勢比例則僅佔 2.8%（ Table 16 ），影響較小。NMHC 污染潛勢比例為點源佔 12.5 %、線源佔 26.0 %、面源佔 61.5 %（ Table 16 ），所佔比例較重的面源主要分布在南投市、彰化市及台中市（西屯）台中港區，次重的線源則主要分布於南投市街道和中山高速公路（ Fig. 39c ）。

## \* 竹山

在熱帶低壓天氣型中，竹山站發生高臭氧污染之日數共 81 天，從所得之逆軌跡發生率圖（ Fig. 40a ）發現，逆軌跡發生率分布比較散，有從彰化縣沿地形隘口輸入竹山，亦有從北方的南投進入竹山，但主要仍如同前述之路徑，以從彰化縣沿著縣道 141 號公路，經過八卦台地與斗六台地間之隘口而進入竹山地區為主要氣團來源。

由 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 污染潛勢比例圖（ Fig. 40b、 c ）可發現，竹山測站臭氧前驅物污染源 NO<sub>x</sub> 與 NMHC 之污染潛勢分布，大致上與前兩種類型之結果相同。若以不同類型污染源而言，NO<sub>x</sub> 依比例為點源佔 23.6 %、線源佔 71.7 %、面源佔 4.6 %（ Table 16 ），在此天氣型下可以發現，線源所佔比例遠大於點源與面源，顯示線源之影響佔有相當大的比例。推論其原因，可能在此天氣型下，軌

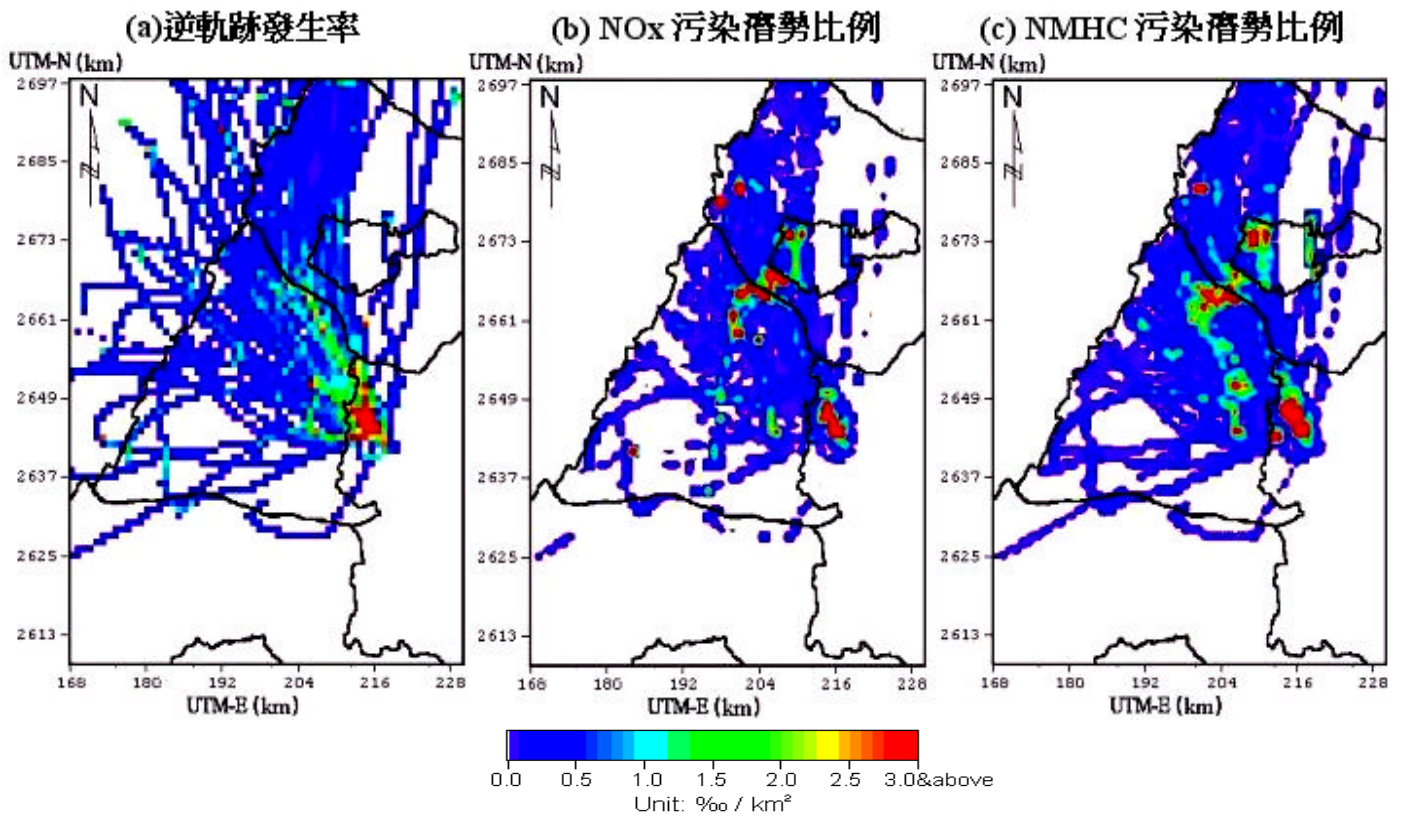


Fig. 39 8 h backward trajectories of NO<sub>x</sub> and NMHC on high ozone days for Nantou station in central Taiwan during the period 1997-2000. (Tropical low pressure system)

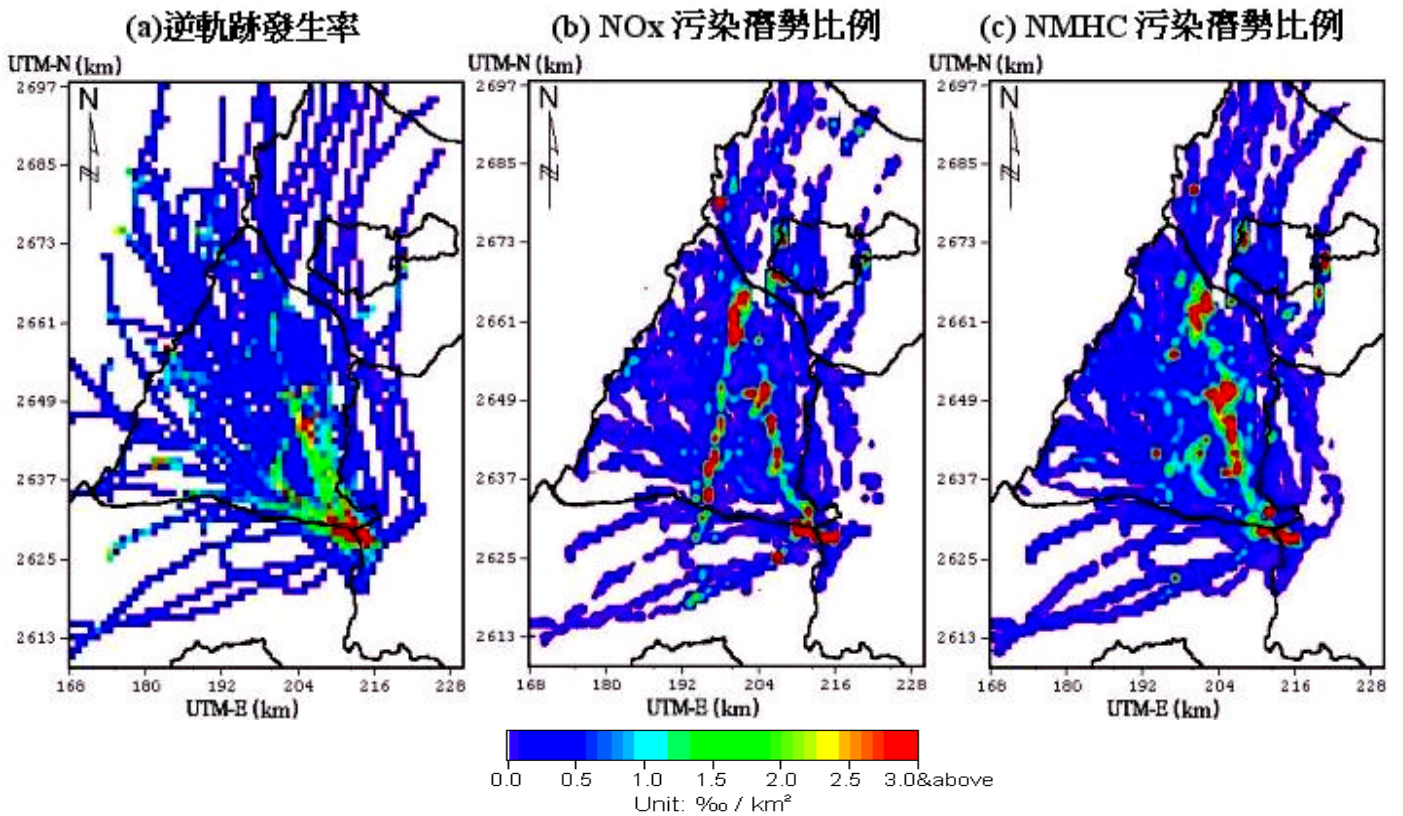


Fig. 40 8 h backward trajectories of NO<sub>x</sub> and NMHC on high ozone days for Chushan station in central Taiwan during the period 1997-2000. (Tropical low pressure system)

跡線較少通過污染重大的點源（如台灣電力股份有限公司台中發電廠、台灣玻璃工業股份有限公司及台灣化學纖維股份有限公司）。線源的主要污染分布在中山高速公路、省道台 1 線、彰化縣道 141 線和竹山鎮，次重的點源主要則為台灣電力股份有限公司台中發電廠(76.4 ‰) ( Table 17 )。而 NMHC 污染潛勢比例為點源佔 4.1 %、線源佔 28.7 %、面源佔 67.1 % ( Table 16 )，所佔比例較重的面源皆沿著彰化縣道 141 號公路分布，包括竹山鎮、員林鎮和彰化市，次重的線源主要則分布於竹山鎮和彰化縣道 141 線 ( Fig. 40c )。

綜合上述三個測站之結果，我們發現臭氧前驅物 NO<sub>x</sub> 來源主要由點源與線源所排放，平均分別佔 40.7%與 55.7%，因此針對 NO<sub>x</sub>，本研究特深入探討點源和線源之主要污染公司行號與車種類別。在點源部分，發現台灣電力股份有限公司台中發電廠、台灣玻璃工業股份有限公司及台灣化學纖維股份有限公司等三間行號，在代表測站前三大排放公司行號中皆名列前茅，顯示這三間公司之 NO<sub>x</sub> 污染物排放量對整個中部地區的空气品質影響甚巨，只有竹山站在熱帶低壓天氣型發生時，由於氣團逆軌跡路線經過重大污染點源的機率小，因而在此天氣型下，NO<sub>x</sub> 對竹山之污染潛勢分布，線源之影響遠大於點源。至於 NO<sub>x</sub> 線源方面，以車種作區別類型，三個代表測站 NO<sub>x</sub> 總排放量皆以自用汽油小客車及柴油大貨車為最大，平均分別佔 252.7 ‰及 201.8 ‰ (Table 18)，在大里與南投地區以自用汽油小客車為主要線源污染車種，其次為柴油大貨車，但竹山站則是以柴油大貨車為主要線源污染車種，其次才為自用汽油小客車，可能跟竹山砂石業盛行，載砂石貨車量較多有關。

由南投站之軌跡模擬圖中發現 ( Fig. 33 )，其污染物氣團來源區大部分並非來自台中市，而是沿著大肚溪河谷（彰化縣與台中縣縣界）分布，其中更經過彰化都會區，故本文亦嘗試比較彰化站與南投站之臭氧濃度是否具有關聯性。Fig. 41 為彰化站與南投站 NO<sub>x</sub> 濃度之相關性比較，相關係數 R 為 0.52；Fig. 42 為彰化站與南投站 O<sub>3</sub> 濃度之相關性比較，相關係數 R 為 0.80。大致上彰化站與南投

站之污染物濃度相關性大，更印證了軌跡模擬結果之正確性。

三個代表測站的 NMHC 來源主要由面源所提供，平均佔 60.7 %，但由於 TEDs 4.2 資料庫並無針對面排放源類別做統計，因此無法統計出行業類別的污染程度。

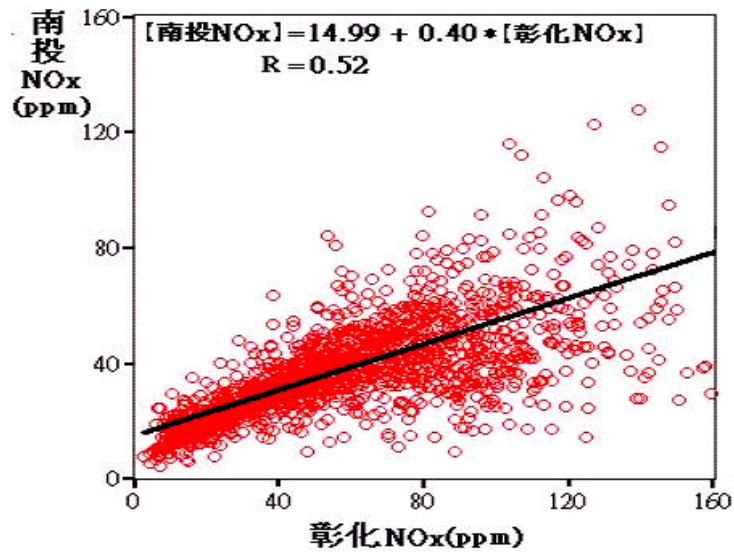


Fig. 41 Nantou versus Changhwa for NO<sub>x</sub> concentration (ppm) during 1997-2000.

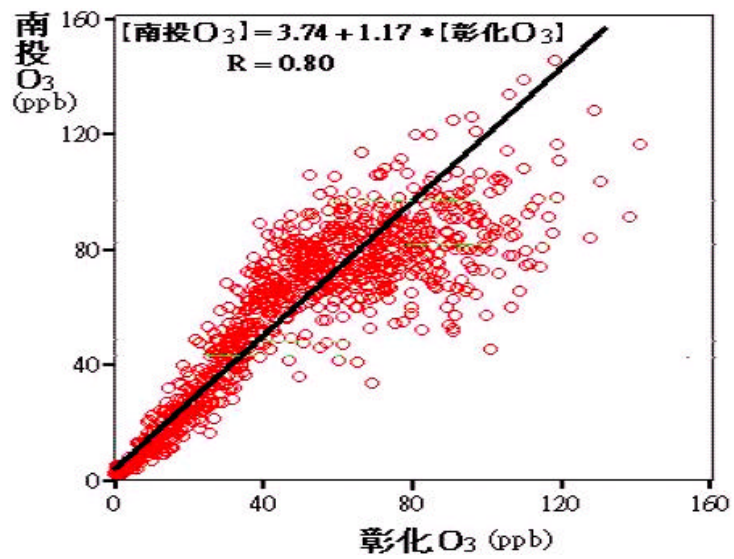


Fig. 42 Nantou versus Changhwa for O<sub>3</sub> concentration (ppb) during 1997-2000.

Table 18 The estimated contributions of NOx based on mobile sources for three monitoring stations during 1997-2000.(a)without limits of synoptic patterns (b)Back of high pressure system (c)Tropical low pressure system.

(a)未限定天氣型

Mobile Sources	Tali(‰)	Nantou(‰)	Chushan(‰)
自用汽油小客車	<b>290.5</b>	<b>236.7</b>	<b>231.0</b>
營業用汽油小客車	10.1	3.8	2.9
汽油小貨車	14.1	17.1	19.7
柴油小貨車	6.0	8.8	10.8
公車 / 客運車	25.2	12.9	15.0
遊覽車	49.4	36.1	45.2
柴油大貨車	<b>160.9</b>	<b>183.2</b>	<b>261.2</b>
二行程機車	1.1	1.0	0.9
四行程機車	7.7	11.5	9.6
合計	<b>565.1</b>	<b>511.1</b>	<b>596.3</b>

(b)高壓迴流天氣型

Mobile Sources	Tali(‰)	Nantou(‰)	Chushan(‰)
自用汽油小客車	<b>320.2</b>	<b>253.3</b>	<b>149.7</b>
營業用汽油小客車	11.0	3.5	1.5
汽油小貨車	15.6	18.4	13.9
柴油小貨車	6.3	9.6	7.7
公車 / 客運車	30.0	12.1	11.4
遊覽車	54.0	36.1	32.3
柴油大貨車	<b>159.5</b>	<b>176.8</b>	<b>162.3</b>
二行程機車	1.2	1.1	0.6
四行程機車	8.2	13.7	7.1
合計	<b>606.0</b>	<b>524.5</b>	<b>386.5</b>

(c)熱帶低壓天氣型

Mobile Sources	Tali(‰)	Nantou(‰)	Chushan(‰)
自用汽油小客車	<b>280.1</b>	<b>198.5</b>	<b>282.1</b>
營業用汽油小客車	9.5	2.9	2.7
汽油小貨車	14.7	15.3	25.1
柴油小貨車	6.6	8.1	14.1
公車 / 客運車	23.2	11.1	19.1
遊覽車	48.2	31.9	58.4
柴油大貨車	<b>191.1</b>	<b>168.0</b>	<b>301.5</b>
二行程機車	1.0	0.8	1.2
四行程機車	7.5	9.6	13.3
合計	<b>582.0</b>	<b>446.1</b>	<b>717.4</b>



## 第四章 探空案例分析

由於中部地區高臭氧事件日 (HOD) 常發生於春、秋季節，而且以高壓迴流天氣型 (P3) 發生率最高，故本文選取 O<sub>3</sub> 平均濃度較高之春 (2000 年 3 月)、秋季 (2000 年 10 月) 進行探空採樣，並比較垂直大氣結構及污染物濃度 (NO<sub>x</sub>、NMHC、O<sub>3</sub>) 之差異性。兩季之採樣時間、實驗地點及天氣型態詳述於 Table 19。

Table 19 Synoptic patterns during the experimental campaigns.

季節	施放探空地點	施放探空時間	天氣型
春季	龍井、草屯	30/03/2000	高壓迴流
		31/03/2000	高壓迴流
		01/04/2000	鋒面滯留
秋季	大甲、草屯	09/10/2000	高壓迴流
		10/10/2000	高壓迴流
		11/10/2000	高壓迴流

### 4.1 春季之案例分析

春季採樣選在 2000 年 3 月 30 日 - 4 月 1 日，實驗地點選擇濱海之龍井與內陸之草屯 (位置如 Fig. 6 所示)，其綜觀天氣型在 3 月 30 - 31 日受大陸高壓東移出海至 125°E 之迴流影響，盛行風微弱，以東風系為主。而 4 月 1 日凌晨起，鋒面開始南下影響中部地區，並帶來降雨。

Table 20 為 2000 年 3 月份高壓迴流天氣型下發生 HOD 與 NHOD(非高臭氧事件日)之氣象因子比較。由於臭氧常於 11:00 時後開始生成，故表中所列之氣象因子數據皆取早上 8 - 11 時之值，較能代表造成 O<sub>3</sub> 生成之氣象條件。由表中發現，在 HOD 時之雲量為 58.7%，顯著低於 NHOD 時之 93.3%；HOD 之風速及日低溼度值亦較 NHOD 低。溫度差則以 HOD 較高，此即表示其接受太陽輻射

能量較多，和許多學者所得結果相似，即在低雲量、高日照及低相對溼度條件下較利於 O<sub>3</sub> 之生成及累積。

Table 20 Mean values of meteorological variables for P3 in central Taiwan for spring experimental campaign.

	HODs	NHODs
8-11雲量 (%)	58.7	93.3
8-11溫度差 (°C)	4.1	3.8
8-11風速 (m s <sup>-1</sup> )	1.2	1.5
RH min.(%)	51.8	57.0
O <sub>3</sub> 濃度 (ppb)	83.0	64.1

#### 4.1.1 地面氣象環境

此次春季採樣時間選定為 2000 年 3 月 30 日 4 月 1 日，就綜觀天氣型來看，3 月 30 日當天之天氣型屬於高壓迴流型，台灣地區為北高南低之氣壓場，在北部至中部及西南部皆存在一小型低壓（如 Fig. 43 所示，資料來源：俞家忠）。由於氣壓梯度之差異將使空氣由高壓區往低壓區移動，故中部地區因位處於一低壓區，使得海上之冷空氣將開始往陸地輸送，形成顯著之海風現象，沿海之污染物亦會隨著海風鋒面之輸送而往內陸擴散與累積，加上受限於平流逆溫(advective inversion)下，污染物之垂直擴散有限，因而造成高臭氧日之發生。平流逆溫(advective inversion)的形成為暖空氣覆蓋在冷空氣上，如較冷之海風被較溫暖之陸風所覆蓋，垂直之大氣運動將受限，形成一逆溫現象(Seinfeld and Pandis, 1998)。3 月 31 日之天氣型亦屬於高壓迴流型，台灣地區之氣壓場仍呈現北高南低（Fig. 44，資料來源：俞家忠），中部地區有一小型低壓出現，故仍有海風鋒面之形成，但雲量則較 3 月 30 日為多。4 月 1 日台灣受鋒面影響，綜觀天氣型屬於鋒面滯留型，中部地區因遇到鋒面降雨影響，無明顯之海風，且有較低之污染物濃度值。

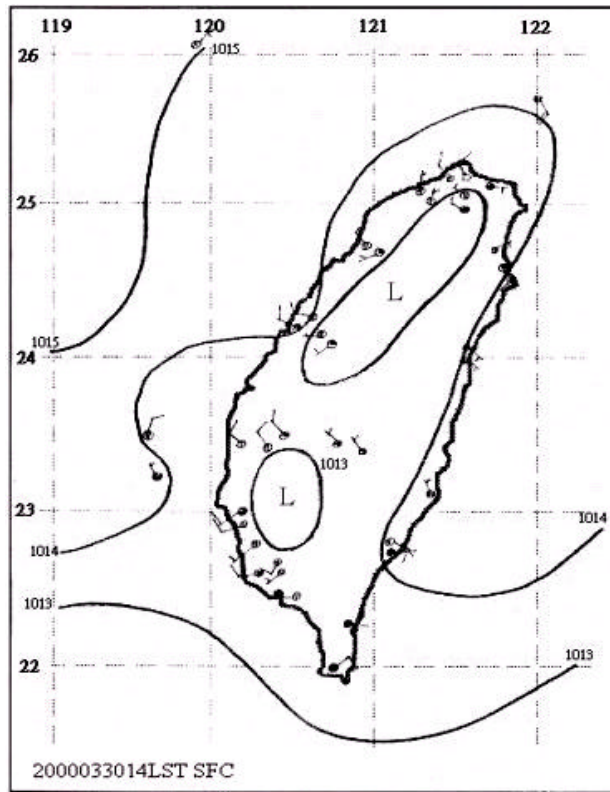


Fig. 43 Micro-scale synoptic map at 14:00 h on 30 March 2000.

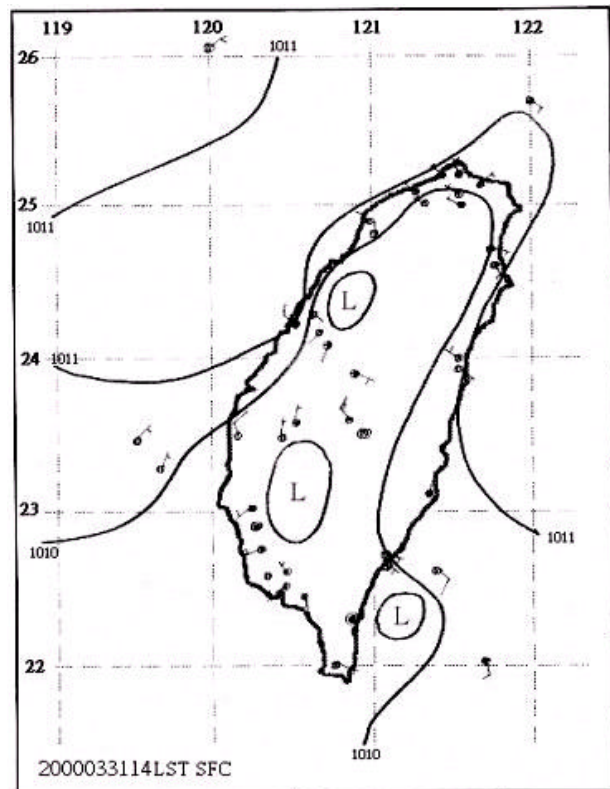


Fig. 44 Micro-scale synoptic map at 14:00 h on 31 March 2000.

為了探討在海陸風影響下，中部地區是否發生海風輸送沿海污染物往內陸累積之現象，本文除了探討探空所得之垂直氣象與污染物濃度之關係（將於下一小節闡述），亦選取探空地點附近之地面監測站（沙鹿與南投）作比較，期望以水平項與垂直項之數據加以分析探討。Fig. 45 為沙鹿與南投測站之風向、風速和  $O_3$  濃度值，由  $O_3$  濃度值可發現，海風出現時，上風處之沙鹿測站  $O_3$  濃度最高值常出現於 12:00 - 1:00，而下風處之南投測站  $O_3$  濃度最高值出現時間則約在 14:00 - 15:00，比上風處延遲約 2 小時。就風速來看，在實驗期間之風速一般都不強（ $< 4 \text{ m s}^{-1}$ ），晚上風速非常微弱，到早上 7 - 8:00 後風速漸漸增強，在 14 - 15:00 時風速達最強，與許多學者對海風之觀察結果相吻合。就風向來看，沙鹿測站在 30 - 31 日日間吹西南 - 北風，顯現出吹海風之風向，夜間則吹東北 - 東南風，為綜觀天氣型所造成，4 月 1 日則受鋒面之影響，日間風向皆以偏北風為主；南投測站在 30 - 31 日日間吹西南 - 西北風，以順時針方向形成海風，夜間則吹東南 - 南風，為一陸風型式。綜合來看，由於 4 月 1 日受鋒面降雨影響，沙鹿站與南投站之  $O_3$  濃度值皆沒有 3 月 30、31 日來的高，而在 30、31 日兩天，區域環流（海陸風）主導中部地區氣象環境，致使  $O_3$  濃度皆超過法規標準值，並在海風輸送下，中部地區日間之  $O_3$  濃度有由海岸線往內陸擴散之趨勢（Fig. 46）。

Fig. 46、47 為 3 月 30 日之地面風場及等濃度圖。由 Fig. 46 可看到 9 時風場呈微弱之南風系，至 12 時風速增強，風向轉為西風系，此時已有明顯之海風現象，至 15 時海風發展至極盛，以垂直海岸線之風向往內陸吹，到了 18 時風速轉趨弱，風向亦逐漸偏北。 $O_3$  濃度 9:00 在台中縣北部一帶與內陸有較高濃度值約 60ppb，12:00 時中部沿海地區  $O_3$  濃度開始聚積，到了 15:00 因海風之傳輸，整個內陸地區（南投、竹山）之  $O_3$  濃度達一高值，而此時海岸線一帶之濃度已慢慢下降（但值仍很高），18 時海風逐漸減弱，加上光化反應之停滯，內陸地區之濃度值開始下降。

Fig. 47 為 3 月 30 日之地面風場及 NO<sub>x</sub> 之濃度變化圖，在 9:00 時沿海地區有較高之 NO<sub>x</sub> 濃度值，約 50-60 ppb，隨著光化反應之消耗及沉降作用，NO<sub>x</sub> 濃度值開始下降，12 時之濃度值大多低於 40 ppb，至傍晚 18 時隨著光化反應之停止及交通排放所產生之 NO<sub>x</sub>，在台中縣北部、台中市及彰化市有較高之濃度值。對照 Fig. 46 中 18:00 之 O<sub>3</sub> 濃度圖可發現在台中市之 O<sub>3</sub> 濃度明顯低於其他地區，推測此應是受交通排放之 NO 消耗 O<sub>3</sub> 所致。在此案例中，只能隱約發現 NO<sub>x</sub> 隨風場之改變而輸送，但並不如光化反應中 NO<sub>x</sub> 之消耗來的顯著。

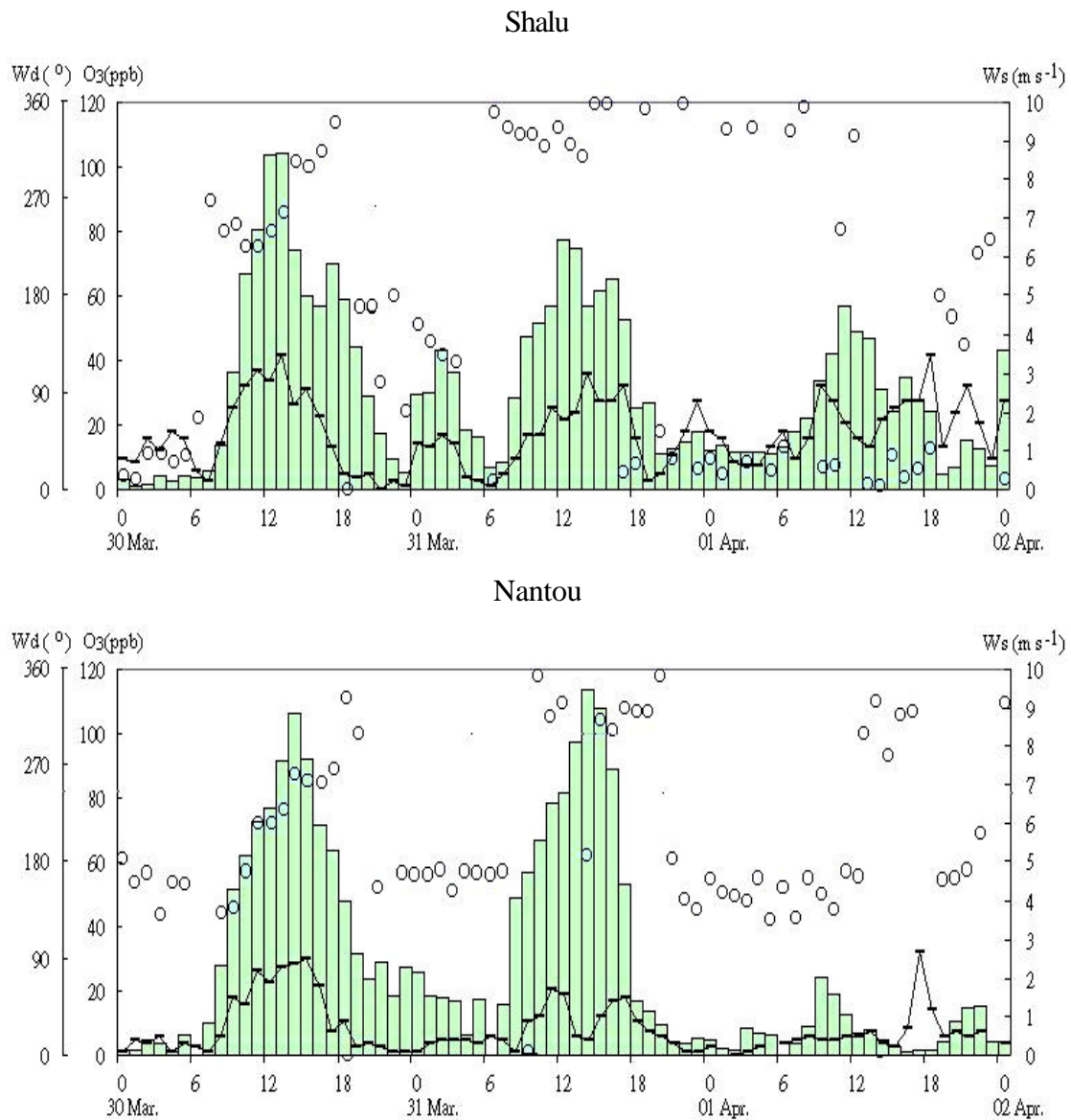


Fig. 45 Trends of ws, wd and O<sub>3</sub> concentration during 30 March to 01 April 2000 in central Taiwan. (○ : wd, - : ws, □ : O<sub>3</sub> concentration)

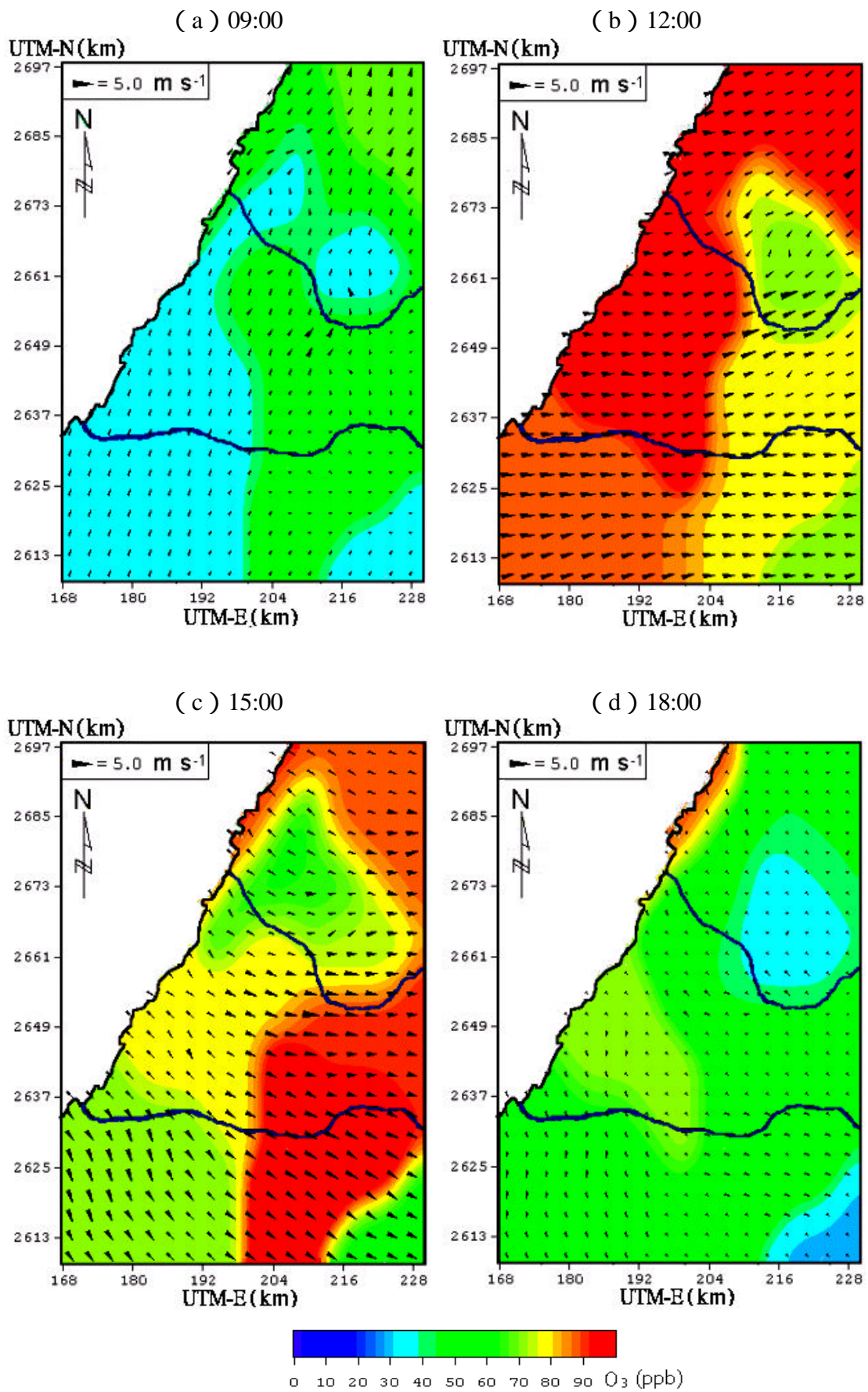


Fig. 46  $O_3$  concentration and wind field in central Taiwan on 30 March 2000.

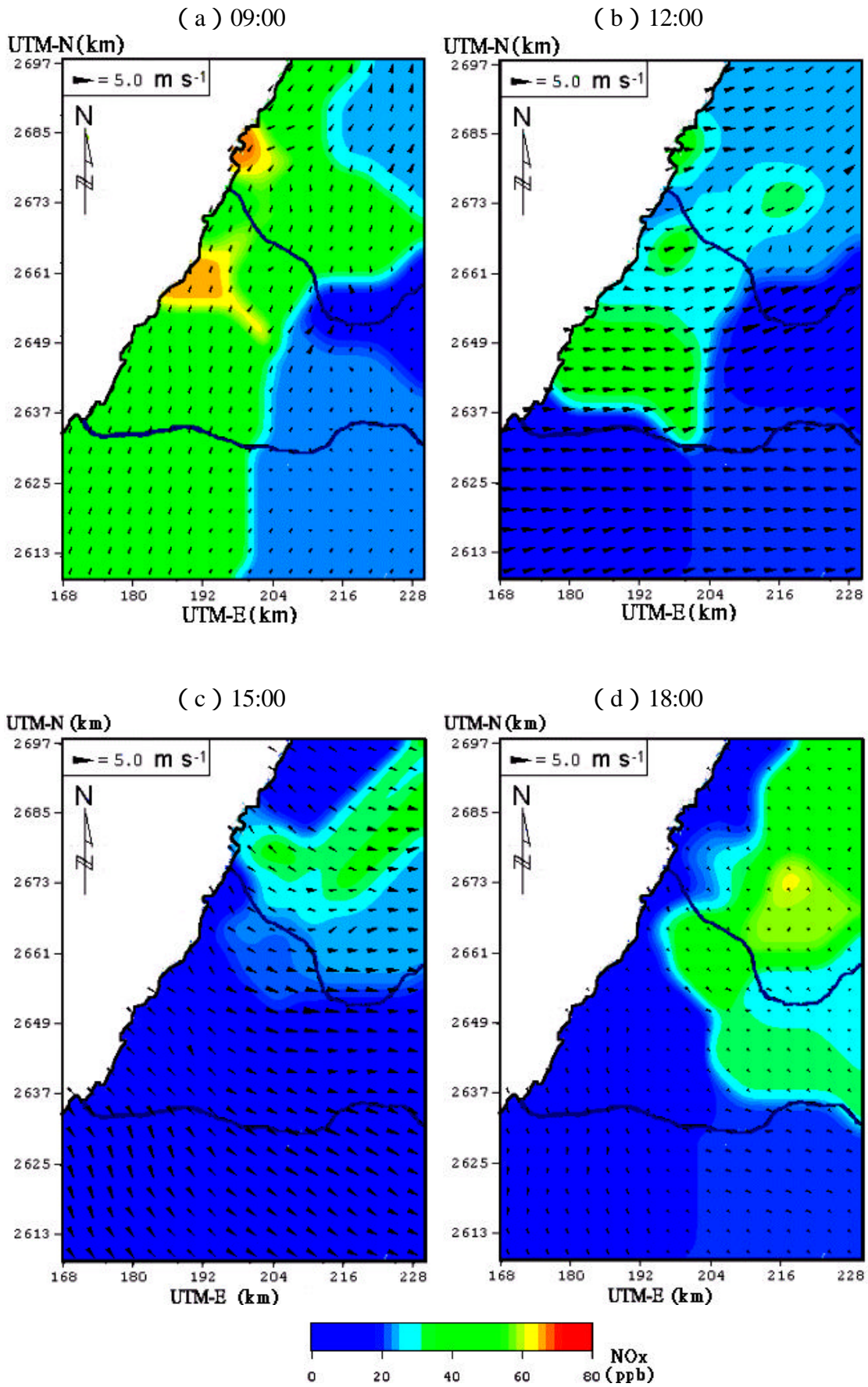


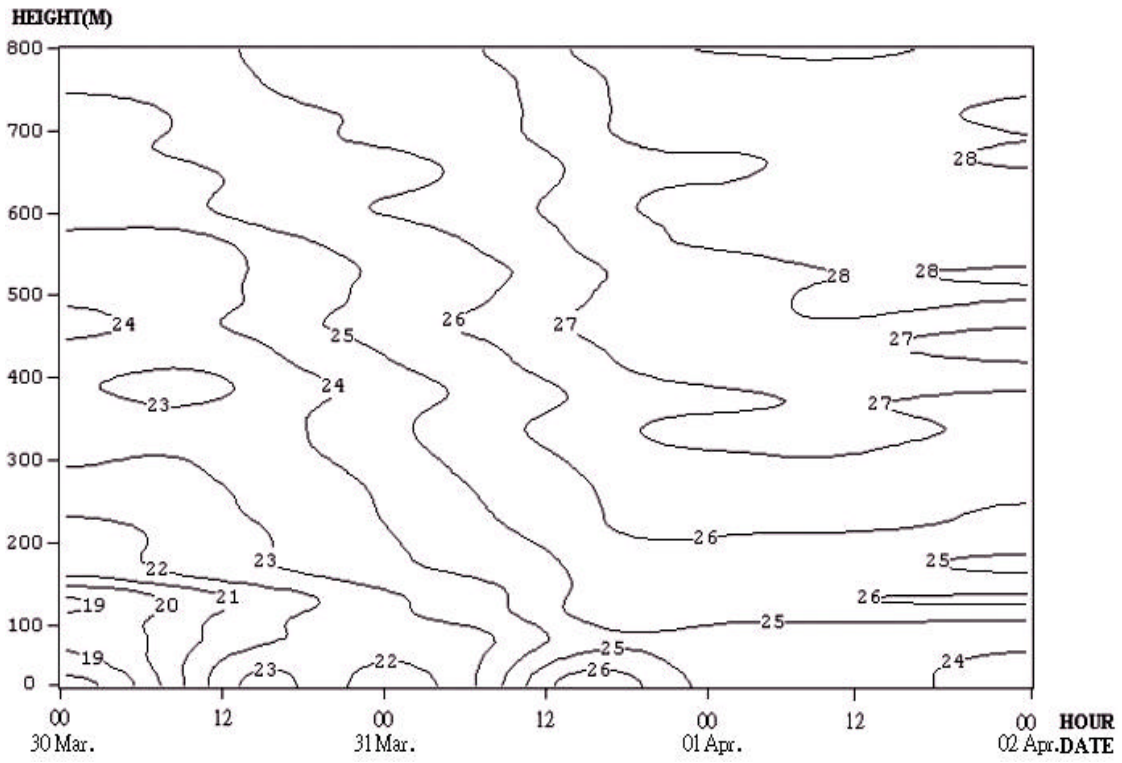
Fig. 47 NO<sub>x</sub> concentration and wind field in central Taiwan on 30 March 2000.

#### 4.1.2 垂直大氣結構及污染物分布趨勢

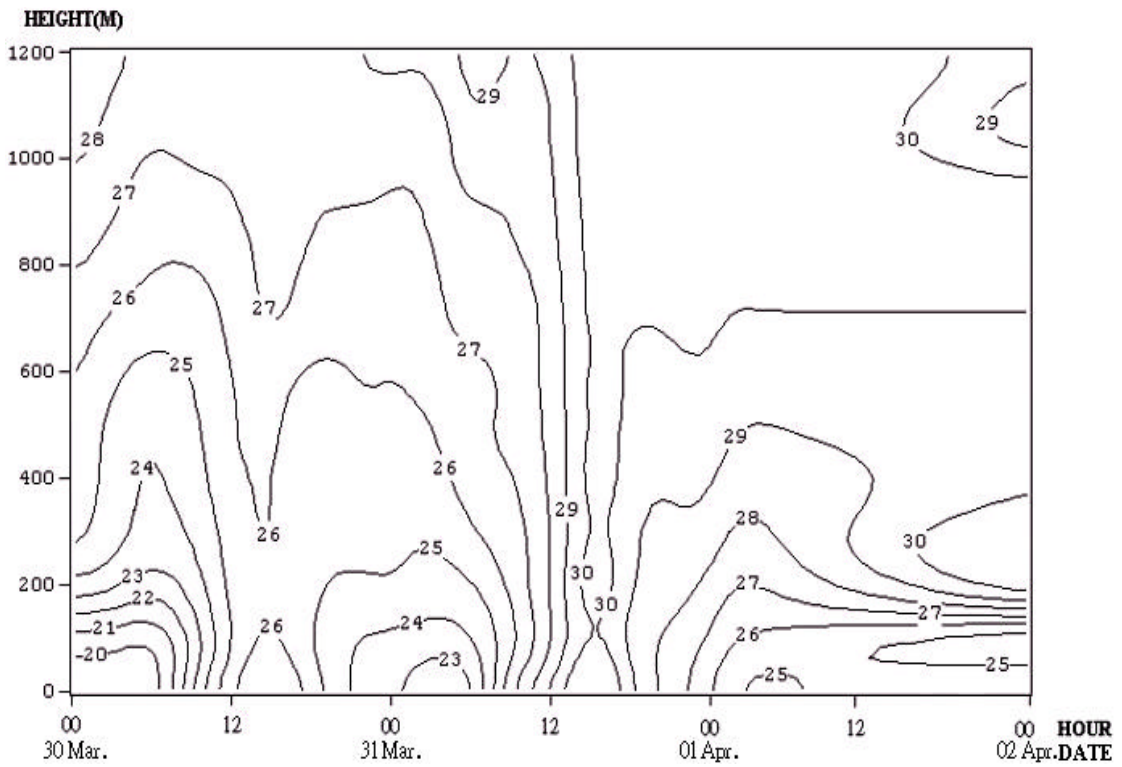
Fig. 48 為龍井與草屯之虛位溫等值線垂直剖面圖，一般在凌晨至日出前有最低之虛位溫，且溫差小於 1℃，其原因可能為地表夜間輻射冷卻所造成。而日間因受太陽輻射影響，一般虛位溫皆較高，而比較龍井與草屯之結果發現，草屯之日間虛位溫比龍井高，其近地面虛位溫差達 3℃ 以上，原因可能是龍井位處濱海地區，日間易受濕冷海風影響所致。本研究利用 Holzworth Method (1967) 法計算混合層高度，其原理乃運用垂直剖面溫度之變化作估算，將地表溫度之乾絕熱線與位溫垂直變化線之交點當作混合層頂高度 (Fig. 49)。從圖中發現，實驗期間龍井及草屯夜間之混合層頂高度約 30-50 m，疑為地表輻射冷卻造成明顯之輻射逆溫現象 (radiational inversion)，導致地表溫度急速冷卻，混合層高度低。日間 (6-7 點以後) 在太陽升起後，地表因受太陽輻射加溫之影響，逐漸打破夜間之逆溫現象，混合層高度迅速抬昇，一般在 13-15 點混合層高度達最高。30 日龍井日間混合層厚度發展至 600 m，在草屯則發展至 1100 m。31 日混合層高度在龍井抬升至 850m 左右，草屯地區則達 1600 m，4 月 1 日因鋒面降雨影響，在此則不加以討論。

Fig. 50a 為龍井實驗期間之風速風向垂直剖面圖，觀測近地表之風向可發現，夜間風向以東北-東南之東風系為主 (即陸風, land-breeze)，日間則明顯轉變成西北風系，海風 (sea-breeze) 主導區域之風場。30 日龍井在清晨由偏北風轉為東北風繼而轉成東南風，並在 10:00 後轉為偏西之海風，風向以順時針方向作轉變，海風在 14:00 達極盛，厚度達 300 m，18:00 後海風開始消退，風向轉為微弱陸風。在 31 日凌晨地面風速非常微弱，風向不明顯，高層風向則以西南風為主，9:00 海風開始發展，13-14:00 達極盛，厚度則約 200 m，18:00 風向又開始轉為陸風，至 4 月 1 日凌晨中部地區開始受鋒面影響，地面至 600 m 之風場皆為東北風，至中午過後 500 m 以下轉東南風系。另發現在高度 650-750 m 之風速急遽增大，且皆以偏南風系為主。Fig. 50b 為草屯實驗期間之風速





( a ) Longjin



( b ) Tsaotun

Fig. 48 Vertical profile of Virtual potential temperature during 30 March to 1 April 2000 at Longjin and Tsaotun.

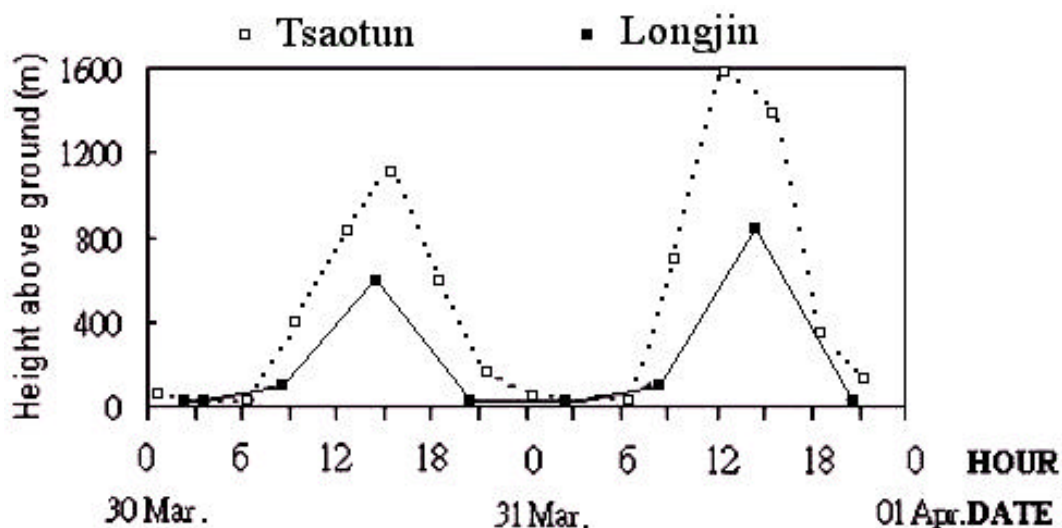
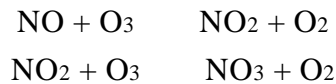


Fig. 49 Trend of mixing height at Longjin and Tsaotun for experimental campaigns.

風向垂直剖面圖，由圖中發現在草屯地區一般風速皆較小，可能因其位於台中盆地內之東南方下風處，東有中央山脈之阻隔，左有八卦山環繞，故在山脈阻隔下致使風速較微弱，在 30 日凌晨吹偏南風系，風速相當微弱，10:00 後在向岸風影響下，風速增強，並以西風系為主要風向，夜間則轉以東風系為主，風速亦趨微弱。31 日白天近地表風向仍為微弱之東風，但高層以西南風為主，從風速可發覺，當天在 1000 m 內之風速皆相當小。4 月 1 日凌晨受鋒面影響，整個垂直之風向轉為東風系。因此在實驗期間除了 4 月 1 日受鋒面影響外，其餘兩天皆有明顯之局部環流海陸風之現象。

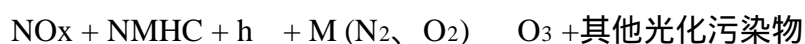
Fig. 51、52、53、54、55 分別為實驗期間之  $O_3$ 、NO、 $NO_2$ 、 $NO_x$  與 NMHC 之濃度垂直剖面圖，在比較五個圖之關係中發現， $O_3$  濃度日夜間有顯著變化，夜間  $O_3$  濃度小（約 10–30 ppb），日間則在光化反應作用下， $O_3$  濃度上升至 80–90 ppb，並有隨高度略增之趨勢。比較龍井與草屯站之  $O_3$  濃度，發現日間在下風處之草屯站濃度略高於上風處之龍井，原因可能是受海風之影響，海風將污染物由上風處傳送至上風處，造成下風處之草屯站濃度較上風處來的高。由於日間光化反應會將前驅物 NMHC 及  $NO_x$  反應成  $O_3$ ，造成  $O_3$  濃度上升，而  $O_3$  濃

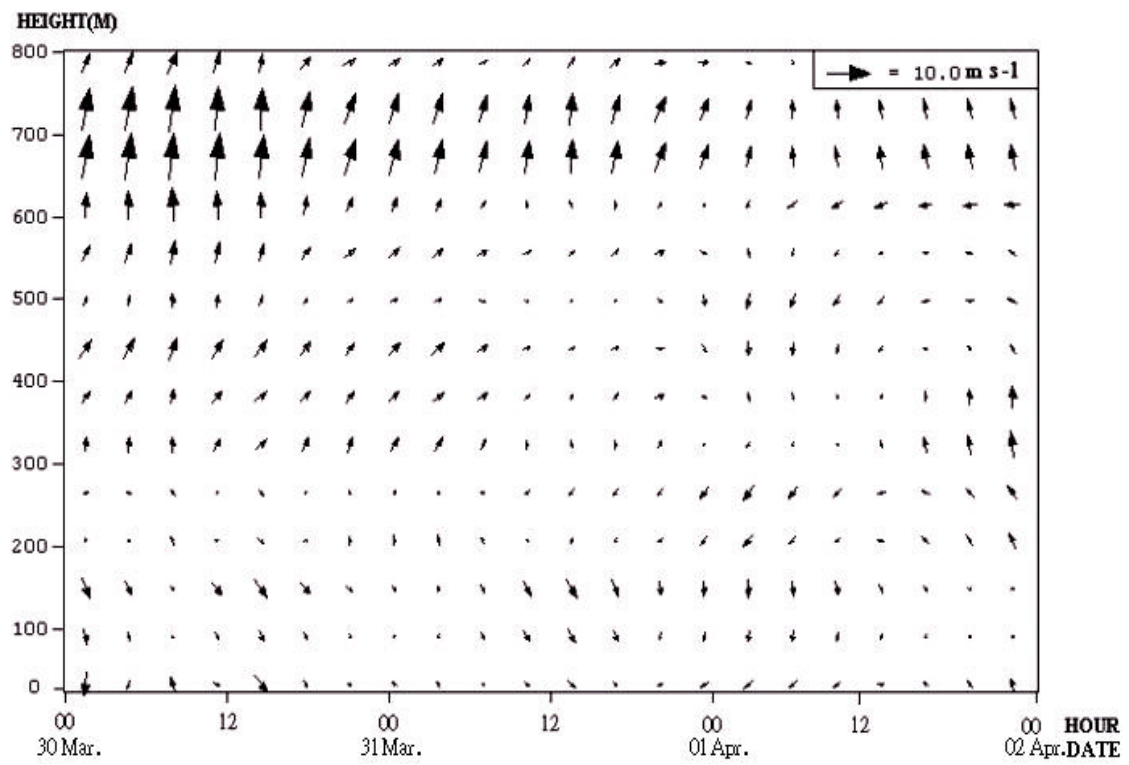
度又有隨高度略增之趨勢，原因除了受近地表排放源 NO 消耗地表 O<sub>3</sub> 所致，許多學者亦發現海風環流會將近地面生成之臭氧帶至上空 (Kitada and Kitagawa, 1990; 林沛練, 1990), 導致環流的上方出現二次污染物的低濃度值。夜間光化反應終止，近地表之 O<sub>3</sub> 受 NO 的滴定效應及沉降作用影響，造成 O<sub>3</sub> 及 NO 濃度降低，NO<sub>2</sub> 濃度增加，而高空 O<sub>3</sub> 則能維持較穩定的濃度。此和 Hoff et al. (1995)、Pisano et al.(1997)及 Güsten et al.(1998)採樣結果相同。當 NO 快速與 O<sub>3</sub> 反應完後，產生之 NO<sub>2</sub> 亦會與 O<sub>3</sub> 反應，造成 NO<sub>2</sub> 濃度降低，但此反應時間緩慢許多，此即 O<sub>3</sub> 之滴定效應 (Titration effect)，其反應式如下：



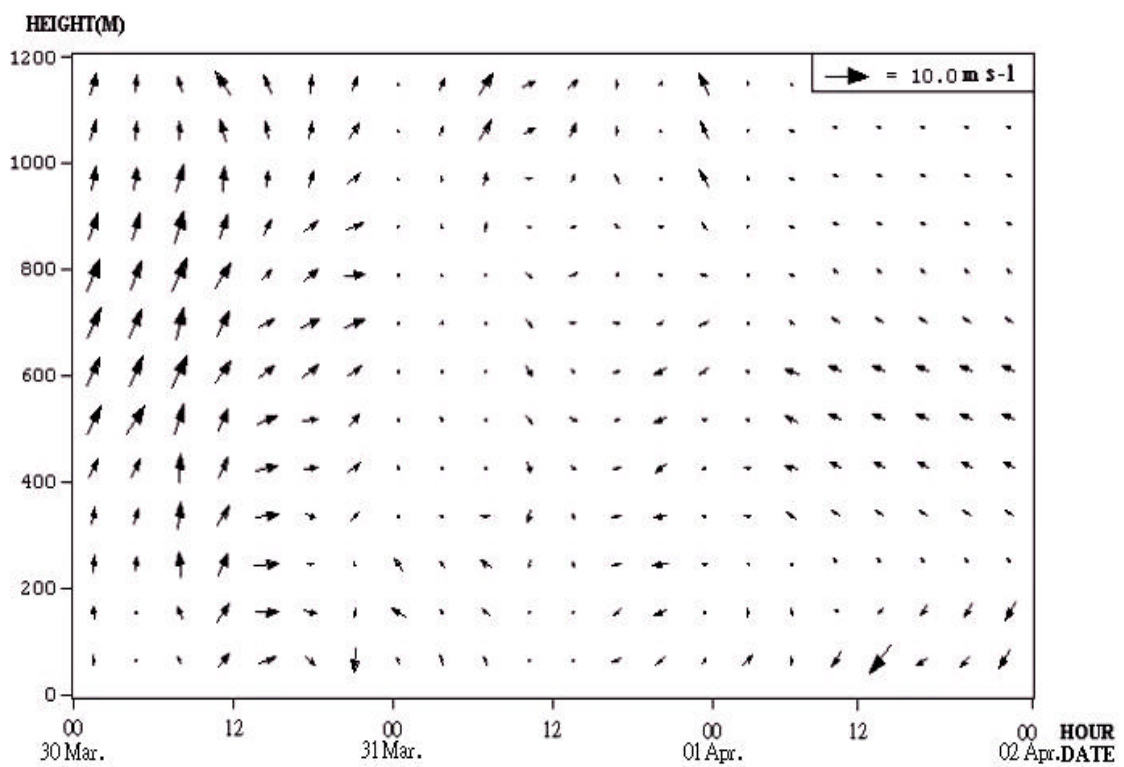
在此次實驗中可明顯發現 O<sub>3</sub>、NO 與 NO<sub>2</sub> 之相關性，NO 與 NO<sub>2</sub> 之濃度為一雙高蜂值，凌晨之高峰 (約 8-9 點)，NO 與 NO<sub>2</sub> 扮演 O<sub>3</sub> 前驅物之角色，造就 O<sub>3</sub> 濃度逐漸升高，在午後達最高值 (約 13-14 點)；另一高峰則在夜間，O<sub>3</sub> 因光化反應停止與沉降作用影響，濃度逐漸降低，NO 與 NO<sub>2</sub> 濃度則逐漸增高，此時之 NO 與 NO<sub>2</sub> 扮演滴定效應之角色，消耗近地表之 O<sub>3</sub>，使得夜間近地表之 O<sub>3</sub> 濃度降低，並有隨高度略增之趨勢。龍井與草屯兩地上午之 NO<sub>2</sub> 濃度值無顯著差距，但傍晚後草屯濃度 (24-36 ppb) 顯著高於龍井 (12-15 ppb)，應是上風處傳送來之 NO<sub>x</sub> 值隨著光化反應之減少而累積，及部分 O<sub>3</sub> 與 NO 反應產生之 NO<sub>2</sub> 所累加造成。NO 與 NO<sub>2</sub> 多為近地面排放所致，一般為點源與線源佔絕大部分，故可發現其濃度所呈之雙高峰趨勢與交通排放趨勢相同，另在龍井站 3 月 31 日 15 時約 500m 高處可發現一極高之 NO 與 NO<sub>2</sub> 濃度值，由當時之風場與週遭之排放點源看來，有可能是受台中火力發電廠 250 m 煙囪排放之煙流所影響。

在 NMHC 方面，龍井之濃度值 (0.4-0.6 ppm) 高於草屯地區 (0.2-0.4 ppm)，而且在夜間有較高之 NMHC 濃度值，日間因 NMHC 能比 O<sub>3</sub> 早一步將 NO 反應成 NO<sub>2</sub>，亦即減少 NO 而導致 NO<sub>2</sub> 增加，使 O<sub>3</sub> 濃度累積，其反應式如下：



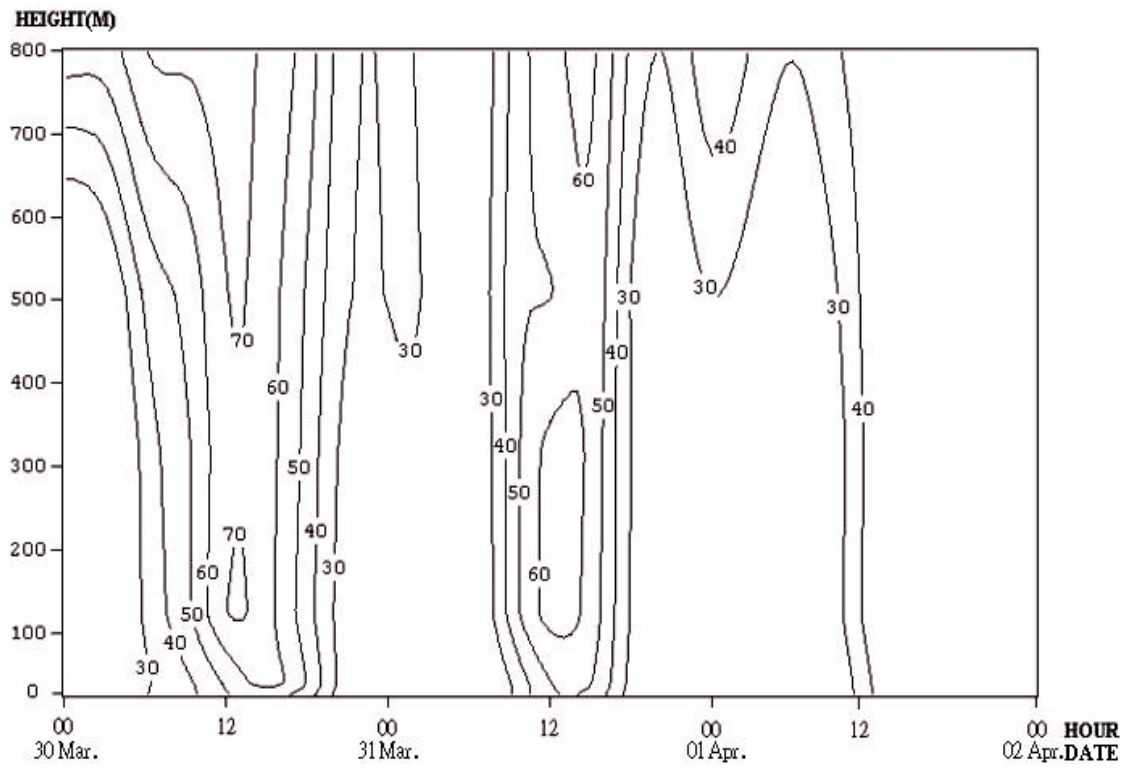


( a ) Longjin

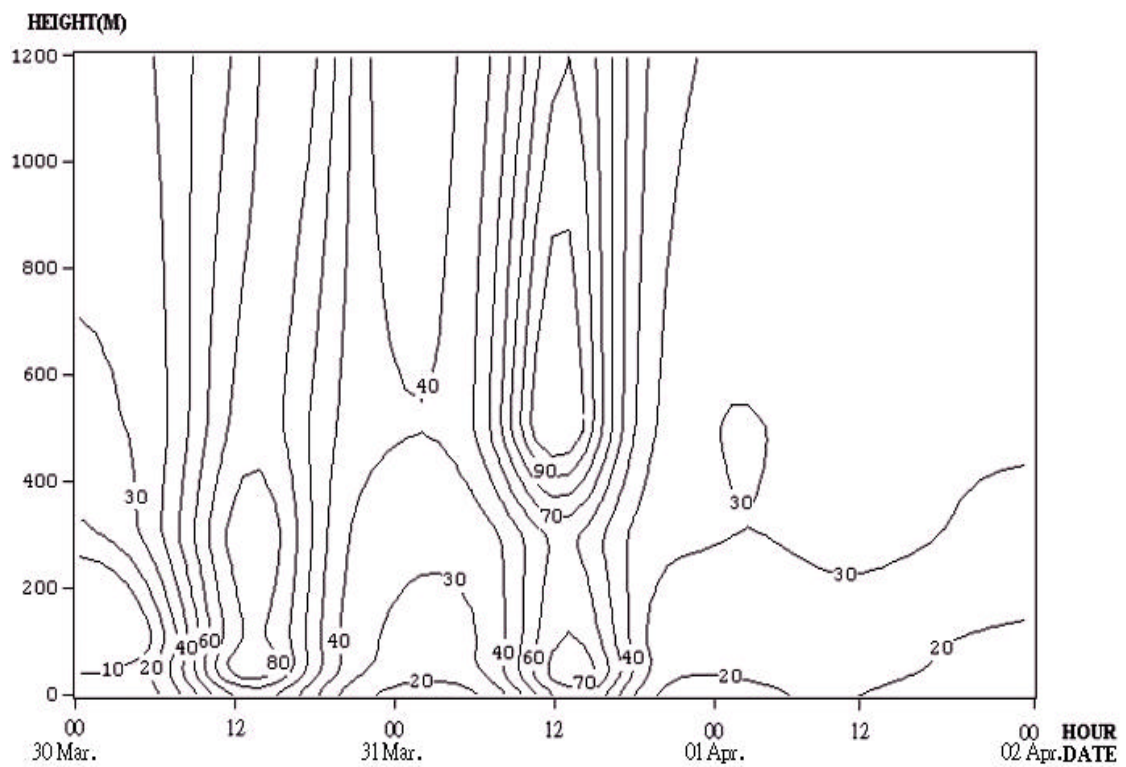


( b ) Tsaotun

Fig. 50 Vertical profile of Wind field during 30 March to 1 April 2000 at Longjin and Tsaotun.

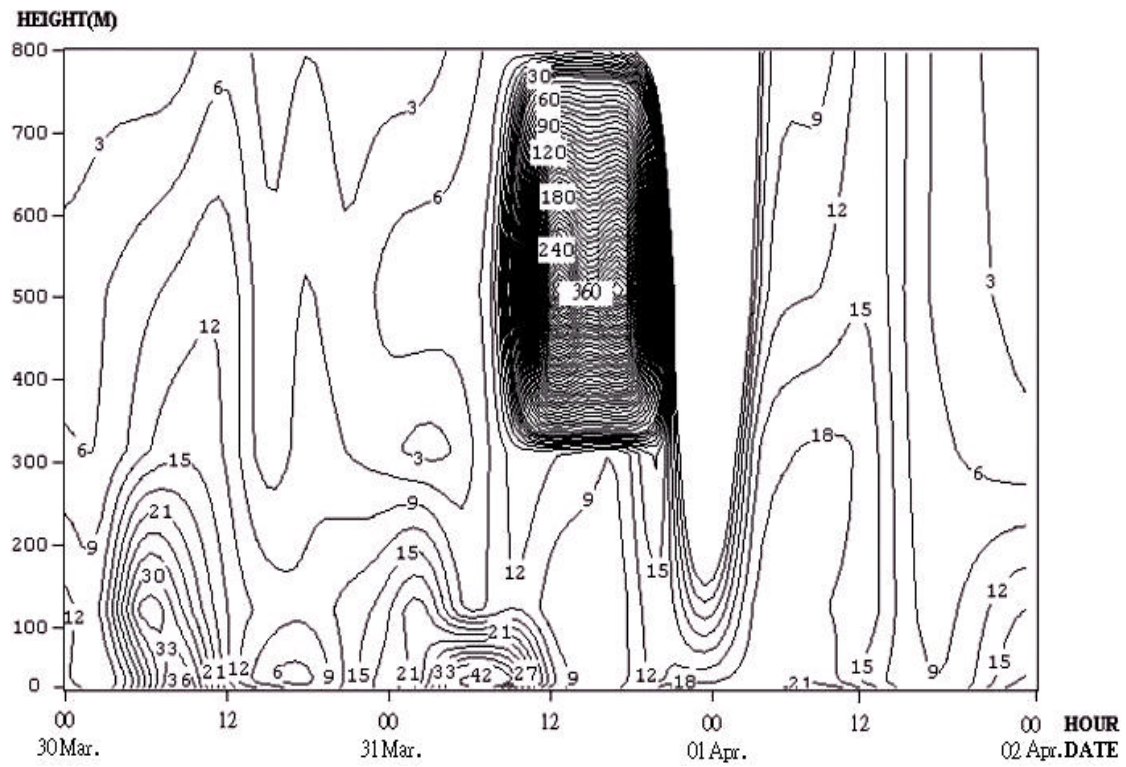


( a ) Longjin

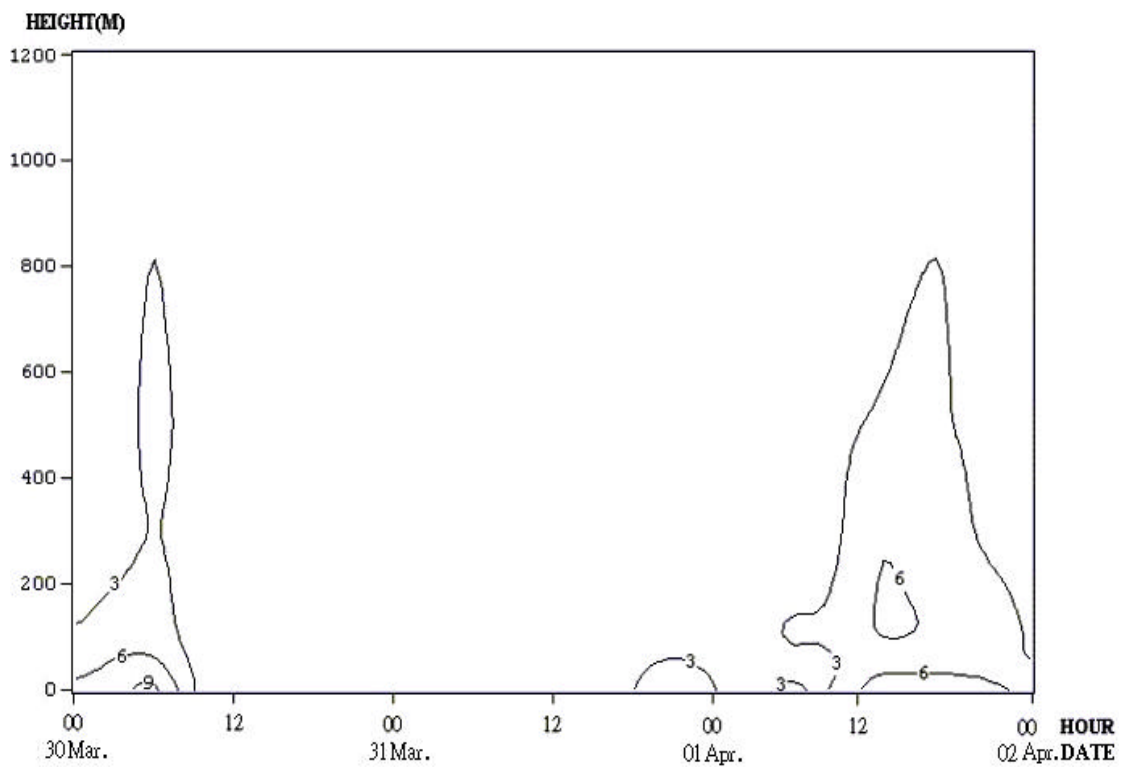


( b ) Tsaotun

Fig. 51 Vertical profile of O<sub>3</sub> concentration during 30 March to 1 April 2000 at Longjin and Tsaotun.

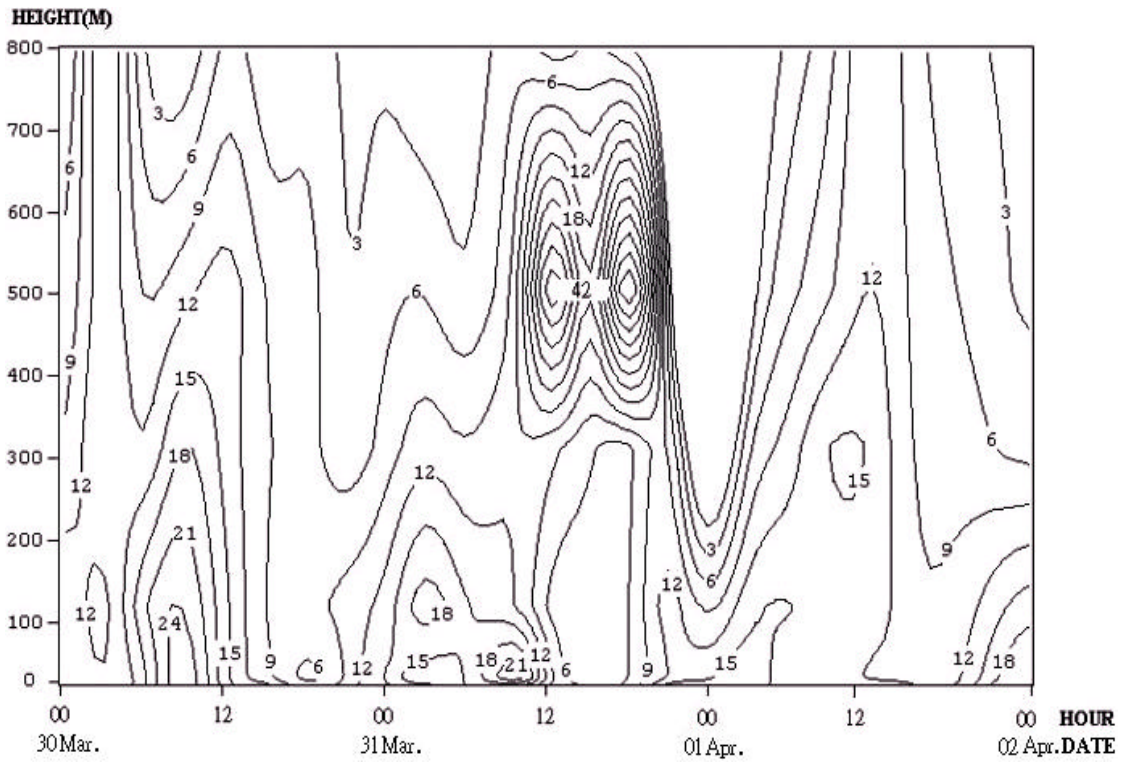


( a ) Longjin

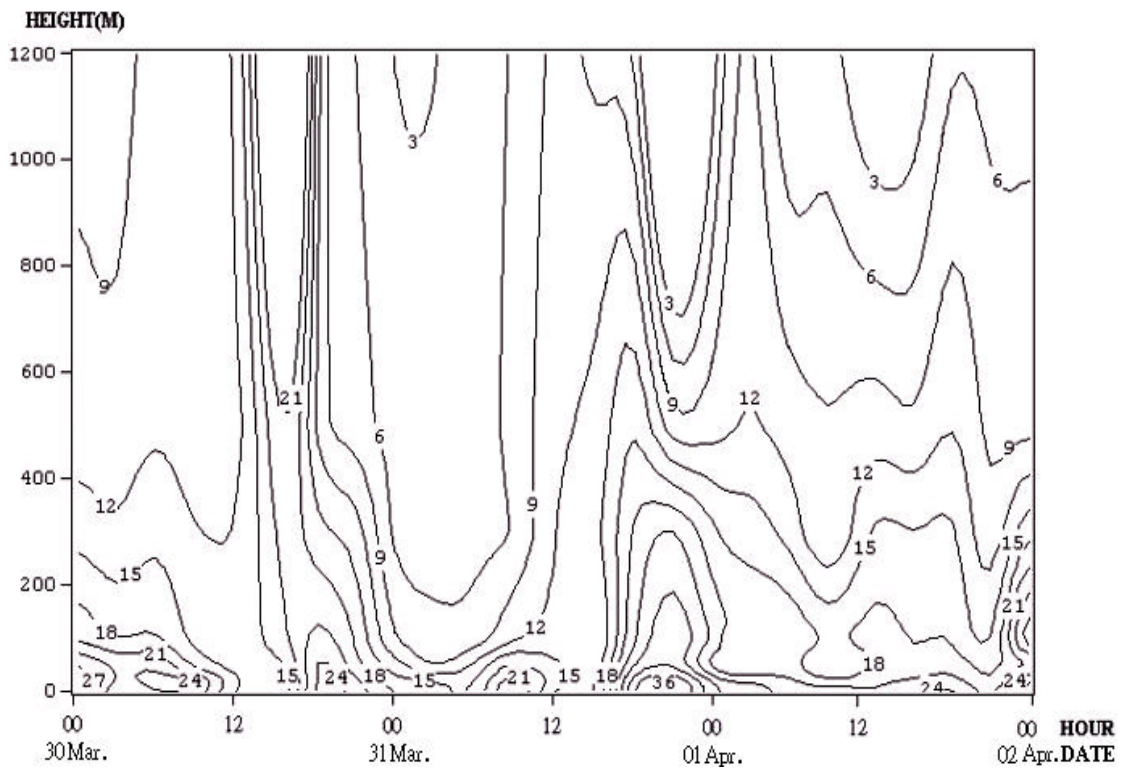


( b ) Tsaotun

Fig. 52 Vertical profile of NO concentration during 30 March to 1 April 2000 at Longjin and Tsaotun.

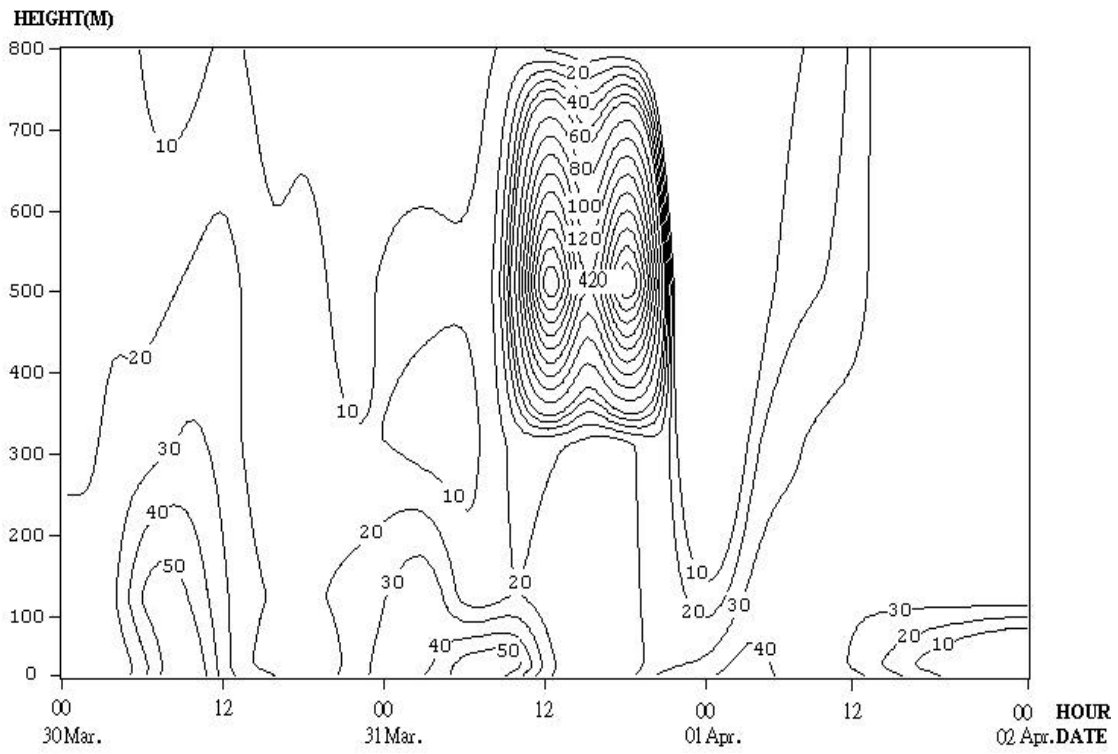


( a ) Longjin

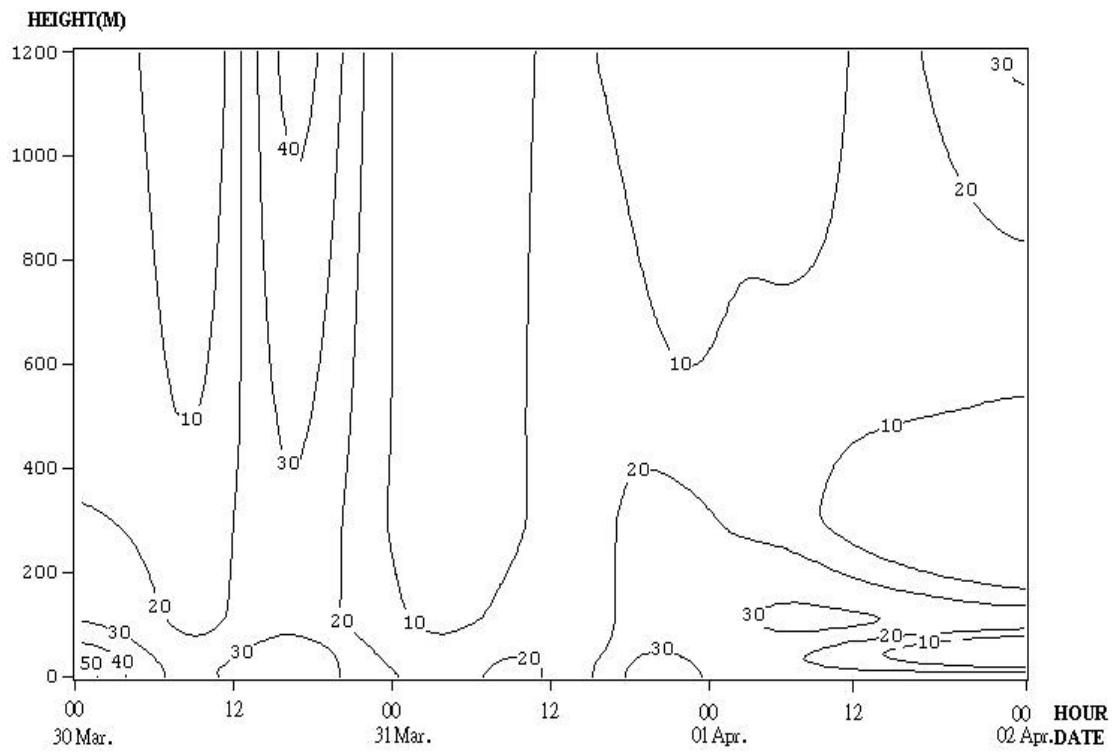


( b ) Tsaotun

Fig. 53 Vertical profile of NO<sub>2</sub> concentration during 30 March to 1 April 2000 at Longjin and Tsaotun.



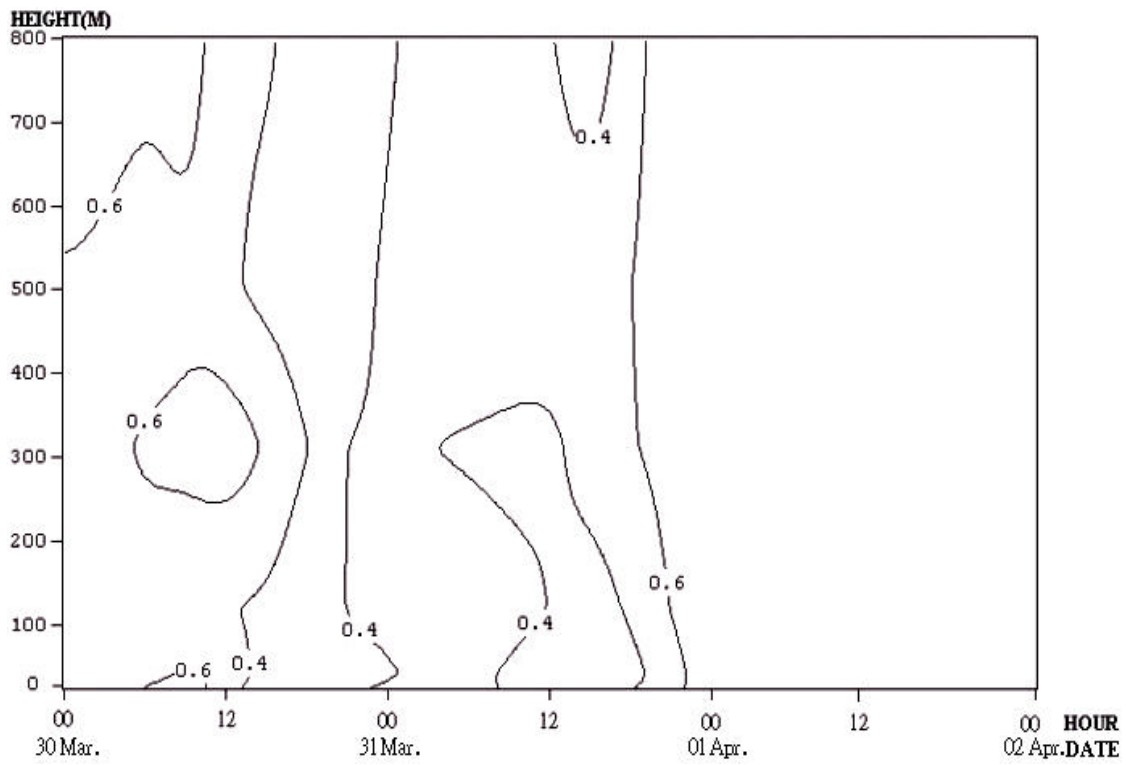
( a ) Longjin



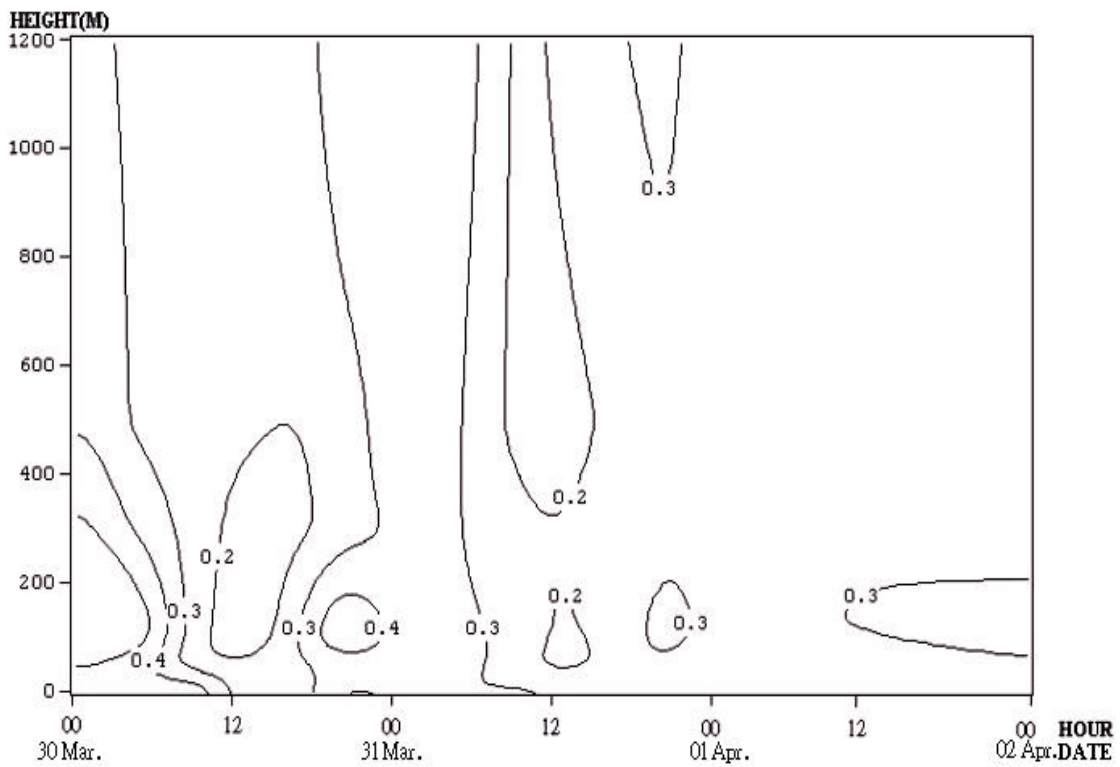
( b ) Tsaotun

Fig. 54 Vertical profile of NO<sub>x</sub> concentration during 30 March to 1 April 2000 at Longjin and Tsaotun.





( a ) Longjin



( b ) Tsaotun

Fig. 55 Vertical profile of NMHC concentration during 30 March to 1 April 2000 at Longjin and Tsaotun.

## 4.2 秋季之案例分析

秋季採樣選在 2000 年 10 月 9 11 日，實驗地點選擇濱海之大甲與內陸之草屯（位置如 Fig. 6 所示），實驗期間綜觀天氣型皆屬於高壓迴流天氣型，其中 10 月 10、11 日有明顯海陸風現象。

Table 21 為 2000 年 10 月份高壓迴流天氣型下發生 HOD 與 NHOD(非高臭氧事件日)之氣象因子比較。由表中發現，在 HOD 時之雲量為 42.3 %，低於 NHOD 時之 55.0 %；HOD 之風速及日低溼度值亦較 NHOD 低。溫度差則以 HOD 較高，HOD 在此低雲量、高日照及低相對溼度條件下較 NHOD 利於 O<sub>3</sub> 之生成及累積。

Table 21 Mean values of meteorological variables for P3 in central Taiwan for autumn experimental campaign.

	HODs	NHODs
8-11雲量 (%)	42.3	55.0
8-11溫度差 (°C)	4.3	3.7
8-11風速 (m s <sup>-1</sup> )	0.5	1.9
RH min.(%)	55.0	59.5
O <sub>3</sub> 濃度 (ppb)	85.9	55.2

### 4.2.1 地面氣象環境

此次秋季採樣時間選定為 2000 年 10 月 9 11 日，微觀氣象選取 9 日及 10 日說明。就綜觀天氣型來看，10 月 9 日當天之天氣型屬於高壓迴流型，台灣地區為北高南低之氣壓場，在中部及南高地區有低壓存在（如 Fig. 56 所示）。中部地區之低壓造成海上冷空氣往陸地平流傳輸，濱海測站之風速明顯增強，內陸地區則風速微弱。10 日（Fig. 57）在南投及彰化山區一帶有小型低壓存在，亦容易造成海風之發生。實驗期間雲量皆小於 30%，而陸海之溫差在 9 日 14 時最大為 3.5，10 日、11 日則各為 3.0 及 2.5，因此在 9 日於濱海地區有較強盛之海風風速。

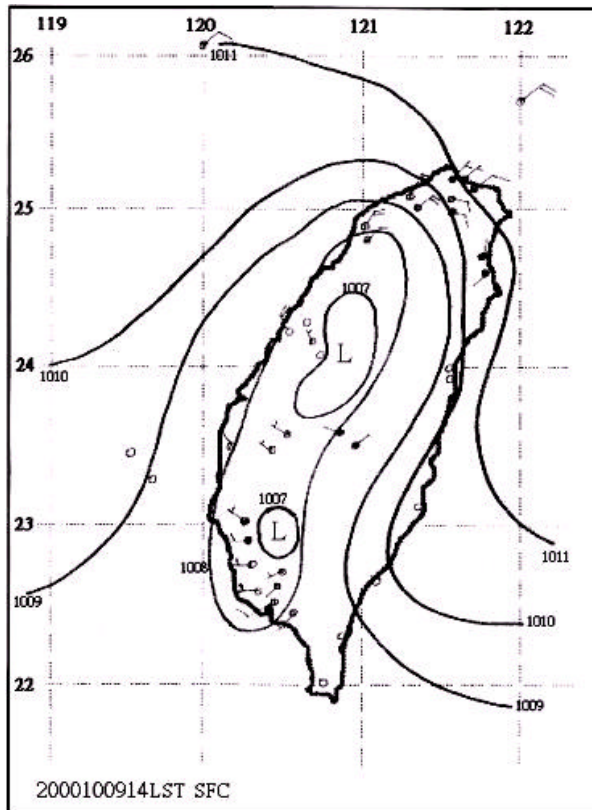


Fig. 56 Micro-scale synoptic map at 14:00 h on 09 October 2000.

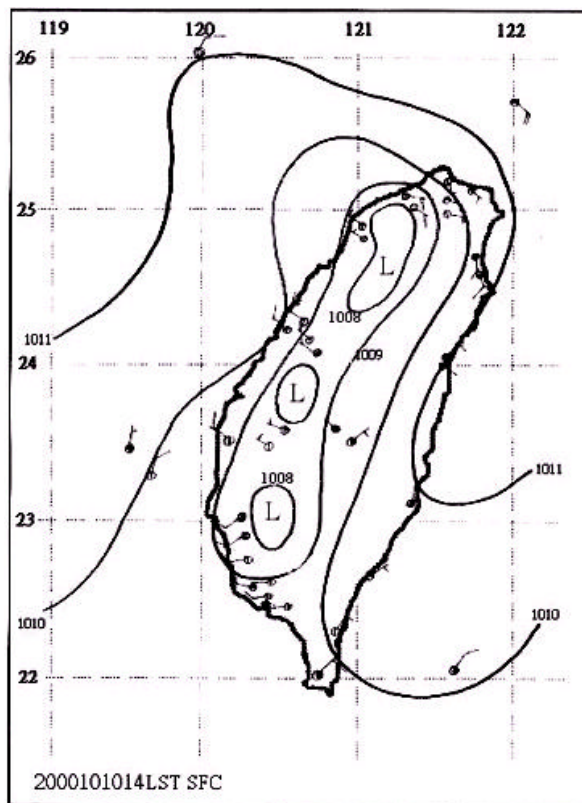


Fig. 57 Micro-scale synoptic map at 14:00 h on 10 October 2000.

由於在此次實驗期間日間風向以偏北風為主，故為探討南投站發生高  $O_3$  值之原因，特加入其上風處之大里站作探討。Fig. 58 為沙鹿、大里與南投測站之風向、風速和  $O_3$  濃度值，沙鹿站 9 日風速一般較大（最大風速達  $6 \text{ m s}^{-1}$ ），以吹北風為主，海陸風不明顯，而 10、11 日風速小（ $< 3 \text{ m s}^{-1}$ ），夜間風速小，8：00 後風速逐漸增加，14 15：00 風速達最大，夜間風向以西南風為主，日間吹偏北風，海陸風明顯，然而沙鹿站之  $O_3$  濃度值在實驗期間皆不高（ $< 50 \text{ ppb}$ ），而且最高值出現時間不固定，較無規律可循。大里站之風速皆比濱海沙鹿站來的小，大致上小於  $4 \text{ m s}^{-1}$ ，夜間風速小，吹南風系，日間 8：00 後風速增強，於午後 13 15：00 達最大，吹西北風，海陸風明顯， $O_3$  濃度值最高皆大於  $80 \text{ ppb}$ ，出現時間約在 11 13：00。南投站於實驗期間每日之風向、風速和  $O_3$  濃度值趨勢皆相當類似，風速相當微弱（ $< 2 \text{ m s}^{-1}$ ），夜間風速小，日間 8：00 後風速逐漸增加，於午後達最大，而夜間風向以偏南風為主，日間則吹偏北風，為一典型海陸風風場。南投站之  $O_3$  濃度值在實驗期間皆相當高，最大值皆大於  $80 \text{ ppb}$ ，出現時間約在 13 15：00，比上風處之大里站延遲約 1 2 小時，而且此時也正好是海風最強烈之時。綜合來看，由於實驗期間以吹北風為主，故南投站之污染來源應是沿著大里站延伸至台中市而來，加上實驗期間風速皆相當小，故  $O_3$  濃度亦有可能為當地污染源所造成。

Fig. 59、60 為 10 月 10 日中部地區之地面風場及等濃度圖（ $O_3$ 、 $NO_x$ ），9：00 時風場呈微弱之偏北風系， $O_3$  濃度值約  $40 \text{ ppb}$ ，彰化市濃度較低，可能與  $NO_x$  濃度較高有關，因此時正值交通尖峰期，交通排放源排放大量  $NO$  致使彰化市  $O_3$  濃度降低。至 12：00 時風速增強，風向轉為西北風系，此時已有明顯之海風現象， $O_3$  濃度因受光化反應影響，濃度普遍已達  $80 \text{ ppb}$  以上，尤其在台中市與西南部之值最高， $NO_x$  濃度值則普遍偏低，可能受光化反應影響所致。15：00 海風發展至極盛，在海風影響下， $O_3$  濃度在內陸有較高之值（南投、竹山地區），但  $O_3$  濃度已有開始下降之趨勢， $NO_x$  也逐漸增加中，此時台中市有高值，應為交通源所致。18：00 風速轉趨弱，風向亦逐漸偏北， $O_3$  濃度隨光化反應之降低，

亦顯著降到 50 ppb 以下，最高值集中在內陸（南投、竹山），而 NO<sub>x</sub> 濃度亦在內陸地區明顯上升，尤其為台中市、彰化市與南投地區有較高之值，應為交通顛峰期排放所致。

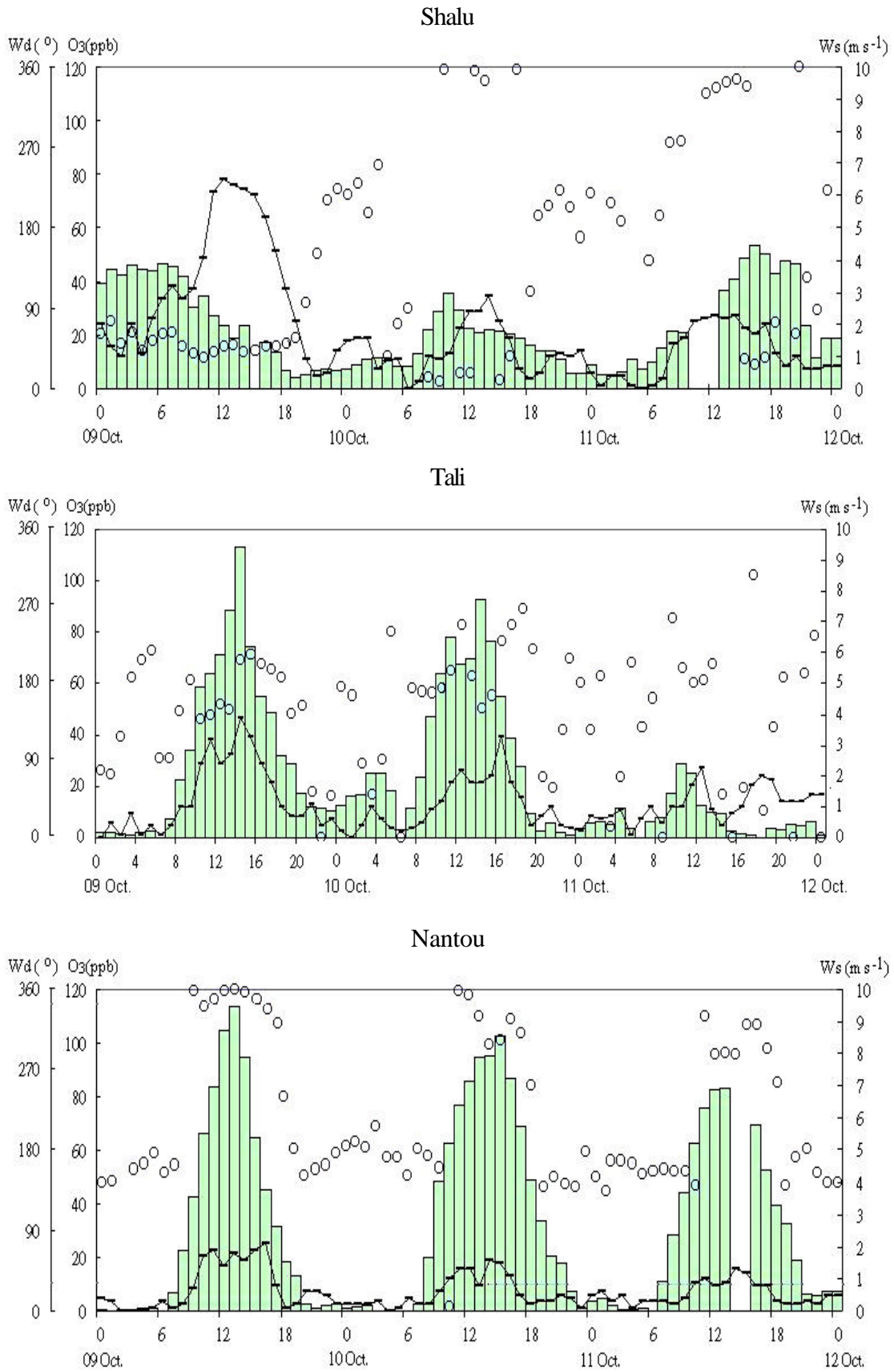


Fig. 58 Trends of ws, wd and O<sub>3</sub> concentration during 30 March to 01 April 2000 in central Taiwan. (○ : wd, - : ws, □ : O<sub>3</sub> concentration)

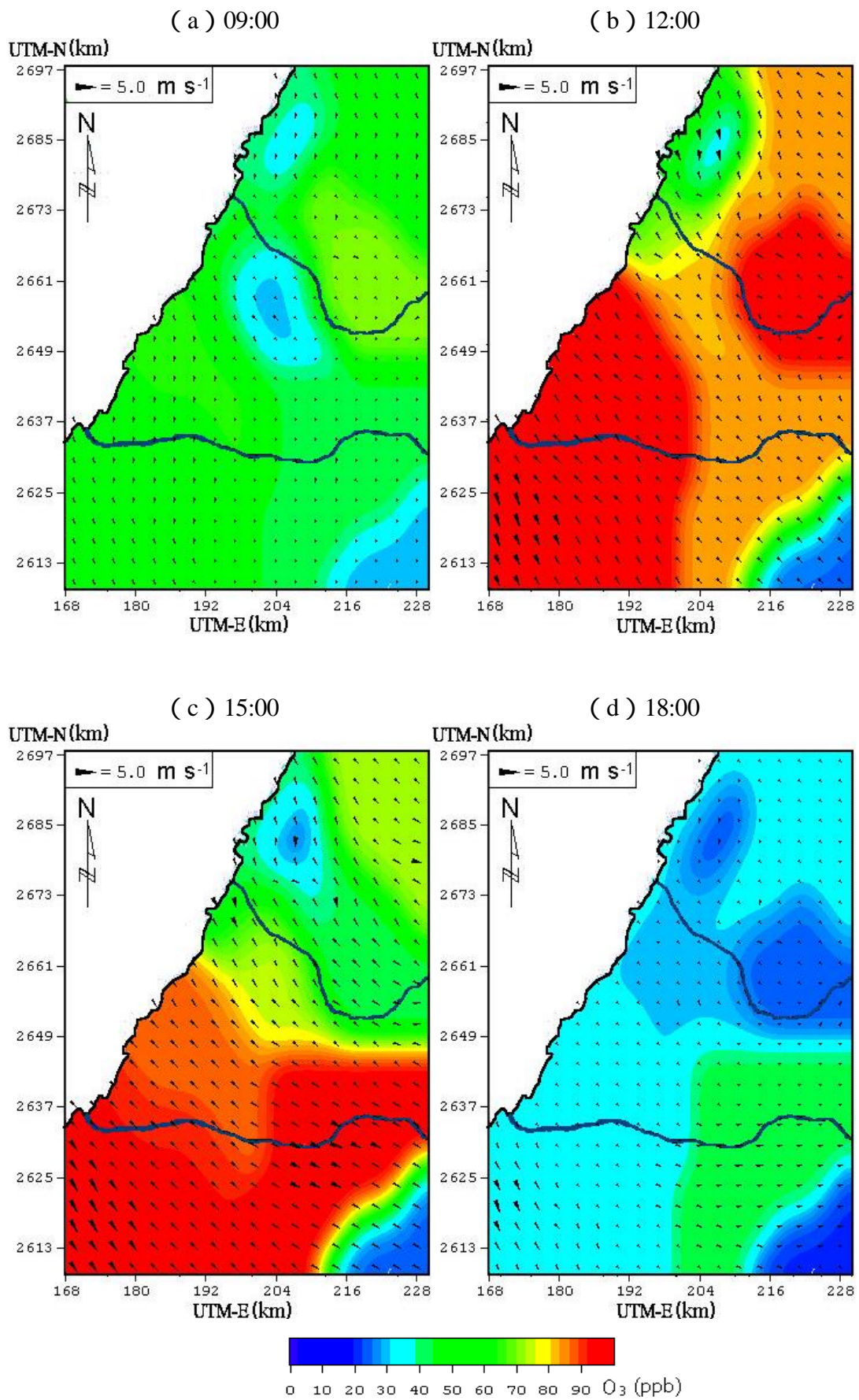


Fig. 59 O<sub>3</sub> concentration and wind field in central Taiwan on 10 October 2000.

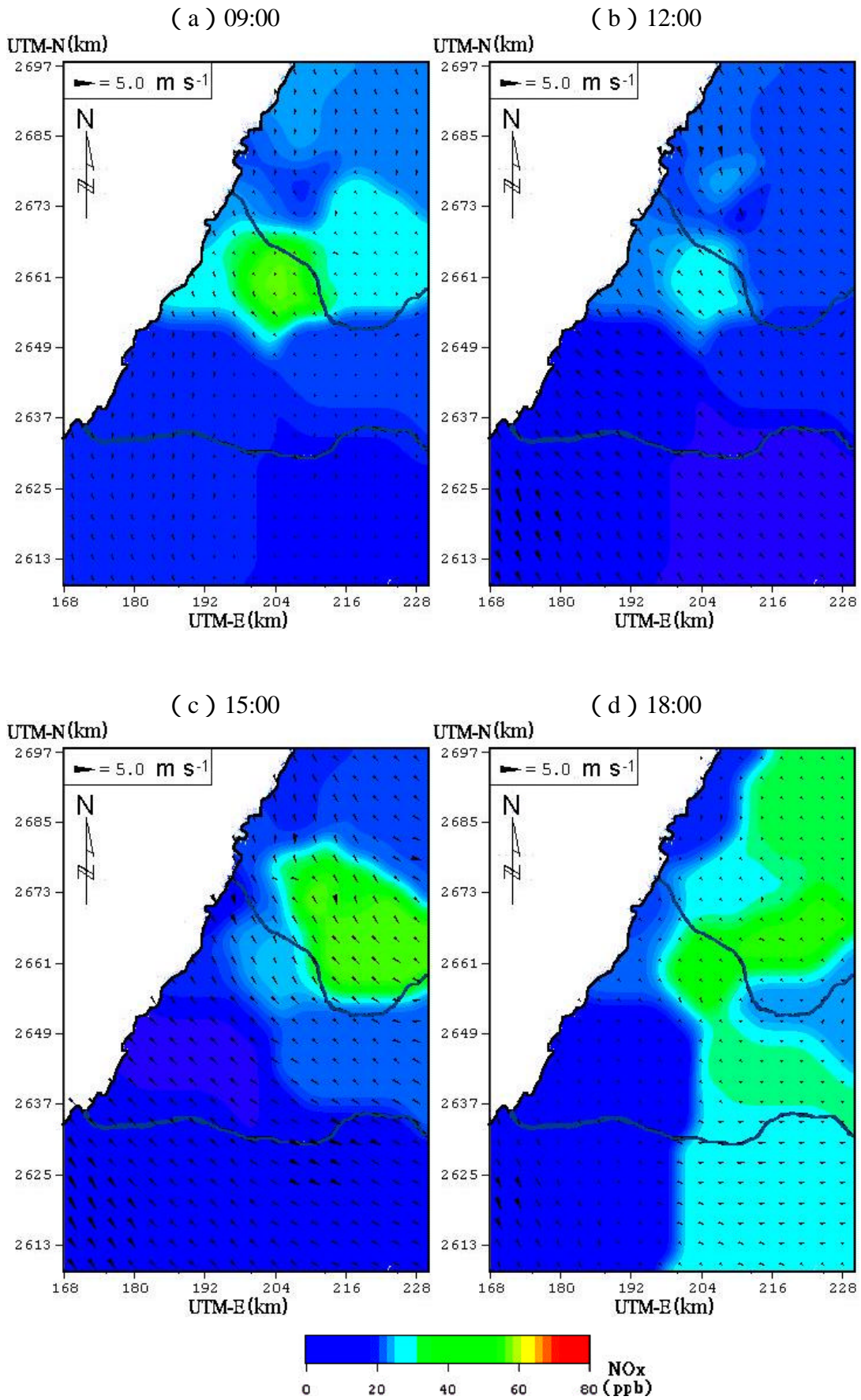


Fig. 60 NO<sub>x</sub> concentration and wind field in central Taiwan on 10 October 2000.

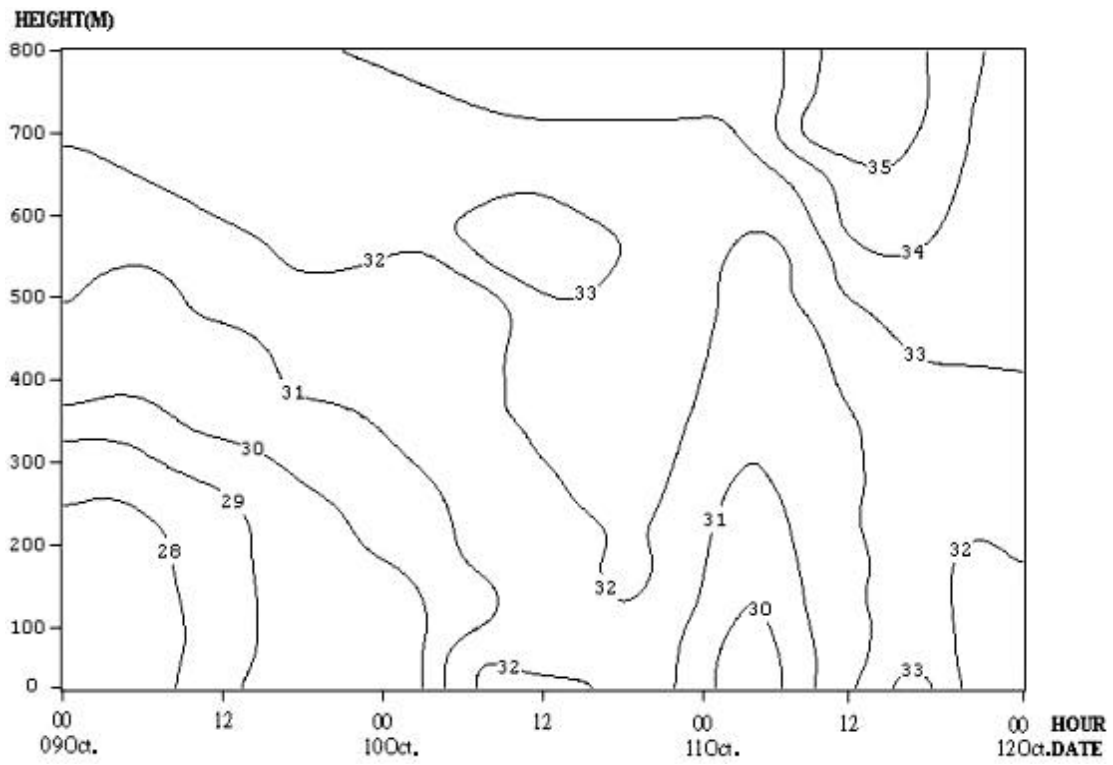


#### 4.2.2 垂直大氣結構及污染物分布趨勢

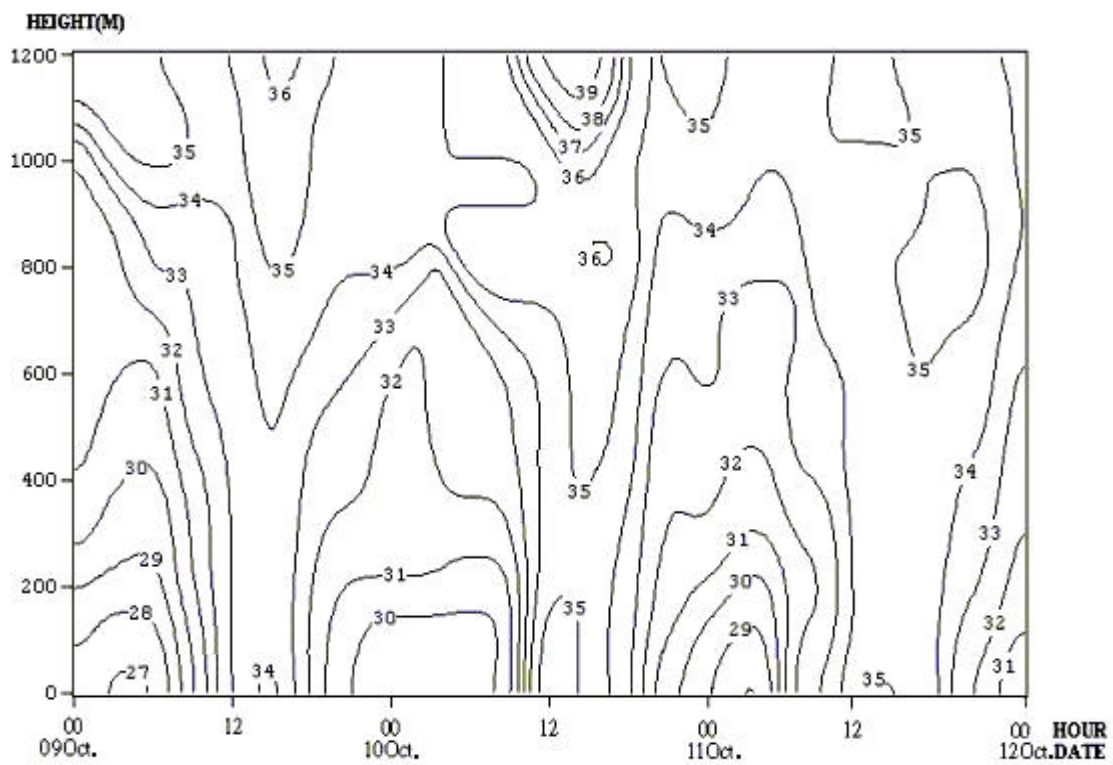
Fig. 61 為大甲與草屯之虛位溫等值線垂直剖面圖，一般在凌晨至日出前有最低之虛位溫，且溫差小於  $1^{\circ}\text{C}$ ，其原因可能為地表夜間輻射冷卻所造成。而日間因受太陽輻射影響，一般虛位溫皆較高，而比較大甲與草屯之結果發現，草屯之日間虛位溫比大甲高，其近地面虛位溫差達  $2\sim 5^{\circ}\text{C}$ ，原因可能是大甲位處濱海地區，日間易受濕冷海風影響所致。從 Fig. 62 中發現，實驗期間大甲及草屯夜間之混合層頂高度約 30-50 m，疑為地表輻射冷卻造成明顯之輻射逆溫現象 (radiational inversion)，導致地表溫度急速冷卻，混合層高度低，此夜間逆溫亦將污染物侷限在近地表處，不利污染物擴散。日間在太陽升起後，地表因受太陽輻射加溫之影響，逐漸打破夜間之逆溫現象，混合層高度迅速抬昇，大甲在實驗期間日間之混層高度平均約 600 m，草屯則約 800 m。

Fig. 63a 為大甲實驗期間之風速風向垂直剖面圖，觀測近地表之風向可發現，9 日大甲以東北風為主，在 200 m 左右風速最大，達  $8.0\text{ m s}^{-1}$ ，區域環流不明顯。10 日夜間風向則以南風系為主，約 9:00 後風向逐漸轉為海風 (sea-breeze)，且風速微弱，到 13:00 左右海風達極盛，明顯轉變成偏北風系，海風主導區域之風場，但上層約 400 m 以上則為南風系，18:00 後海風開始消退，風向轉為微弱陸風之南風系為主，11 日亦有如同 10 日之局部環流變化。

Fig. 63b 為草屯實驗期間之風速風向垂直剖面圖，草屯地區在為期 3 天之實驗期間皆有顯著之日夜風速及風向之變化。近地面之夜間風向皆以南風系 (即陸風, land-breeze) 為主，日間受海風 (sea-breeze) 之影響轉變成北風系。



( a ) Tachia



( b ) Tsaotun

Fig. 61 Vertical profile of Virtual potential temperature during 09 to 11 October 2000 at Tachia and Tsaotun.

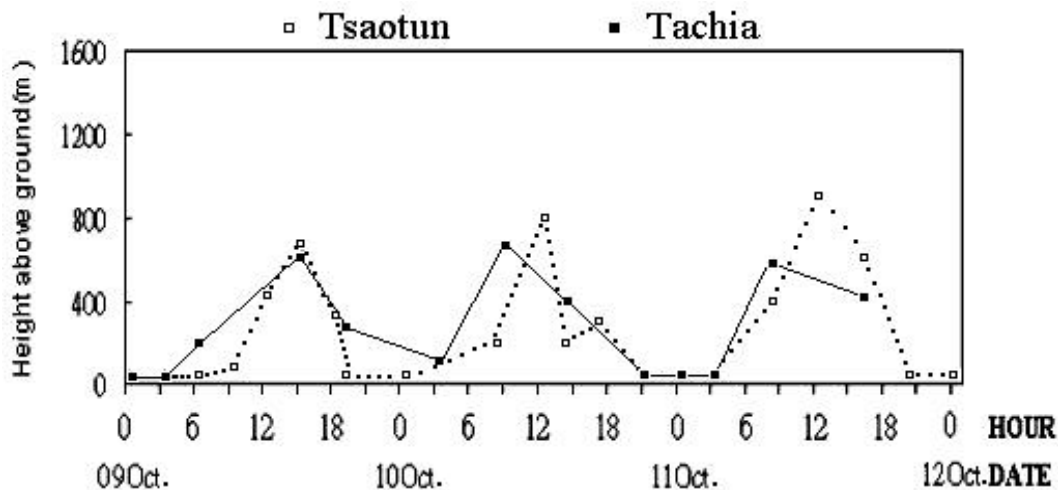
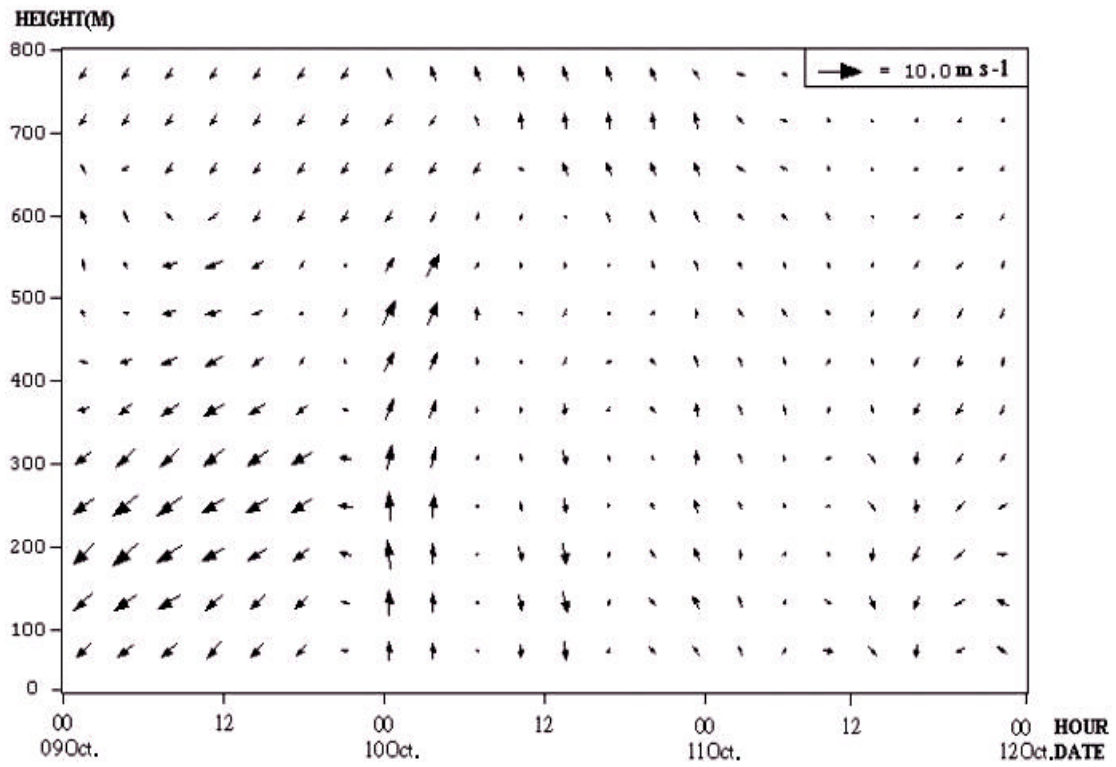


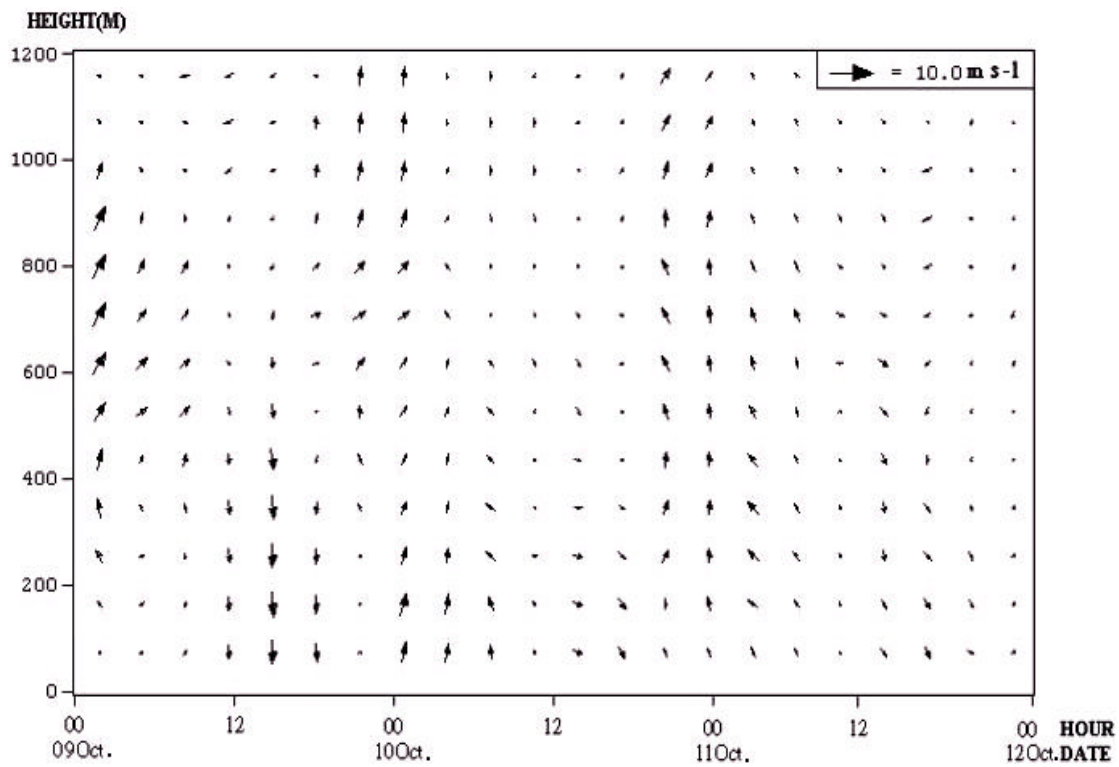
Fig. 62 Trend of mixing height at Tachia and Tsaotun for experimental campaigns.

Fig. 64、65、66、67 分別為實驗期間之  $O_3$ 、 $NO$ 、 $NO_2$  與  $NO_x$  之濃度垂直剖面圖，在比較四個圖之關係中發現， $O_3$  濃度日夜間有顯著變化，夜間  $O_3$  濃度小（約 10–20 ppb），日間則在光化反應作用下， $O_3$  濃度上升至 70–100 ppb，由圖中更可發現垂直上之變化不大，呈現整層濃度一致之現象。比較大甲與草屯站之  $O_3$  濃度，發現日間在草屯站皆顯著高於大甲站，尤其在實驗期間大甲站  $O_3$  濃度普遍不高，而內陸海風下風處之草屯站日間  $O_3$  濃度則皆相當高，尤以 9 日濃度最高，對照風場、混合層高度與虛位溫圖來看，發現草屯在實驗期間之風速皆相當微弱，地面溫度亦達 34℃，其中 9 日之混合層高顯著低於 10、11 日，抑制垂直向之擴散作用，使得當日之  $O_3$  濃度值較高。

實驗期間發現大甲之  $NO$  濃度明顯大於草屯，而  $NO_2$  則相反，此觀測與春季之案例相同，應是在濱海地區有較高之交通流量與點源污染，使大甲地區之  $NO$  值較內陸之草屯地區高。 $NO$  在近地表有較高之濃度，而且在日落後，隨著日照減少，加上交通源之排放， $NO$  濃度開始增加，而近地表之  $O_3$  受  $NO$  的滴定效應及沉降作用影響，造成  $O_3$  濃度降低， $NO_2$  濃度增加，而高空  $O_3$  則能維持較穩定的濃度。日出後  $NO_x$  開始進行光化反應，形成  $O_3$  濃度之累積，而  $NO$  及  $NO_2$  濃度下降， $O_3$  濃度上升。草屯之  $NO$  及  $NO_2$  則自中午開始累積，至 19:00 有一最大值，隨即濃度緩慢下降。

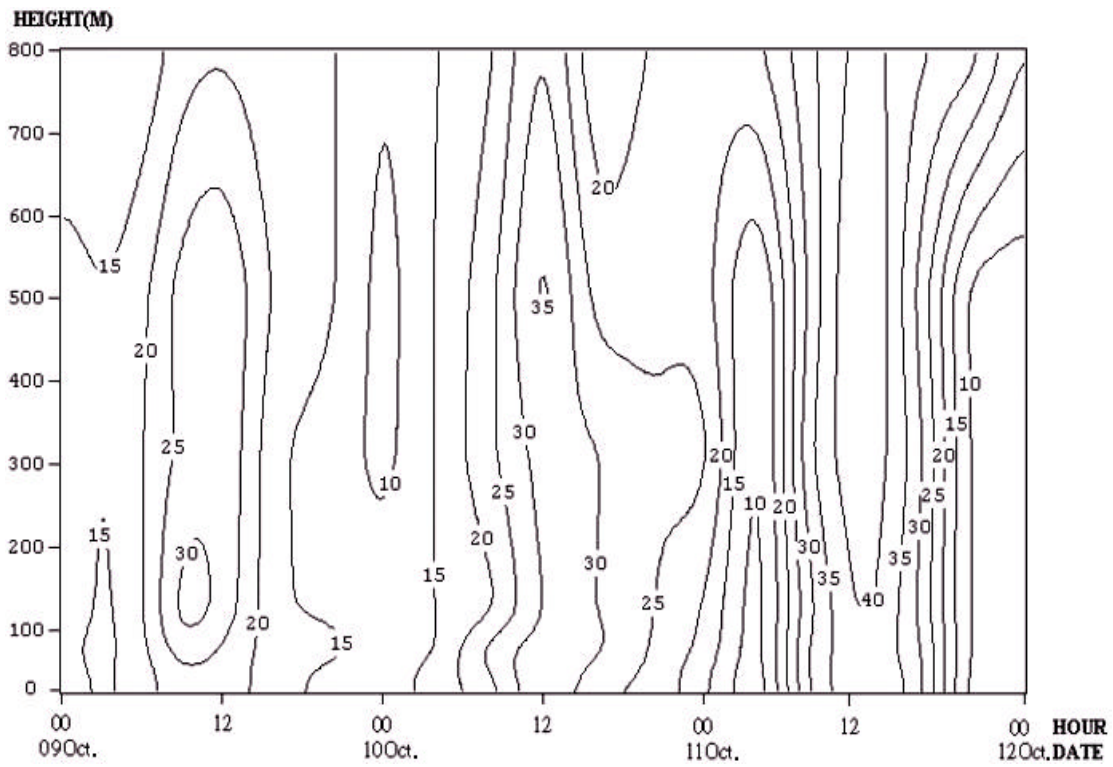


( a ) Tachia

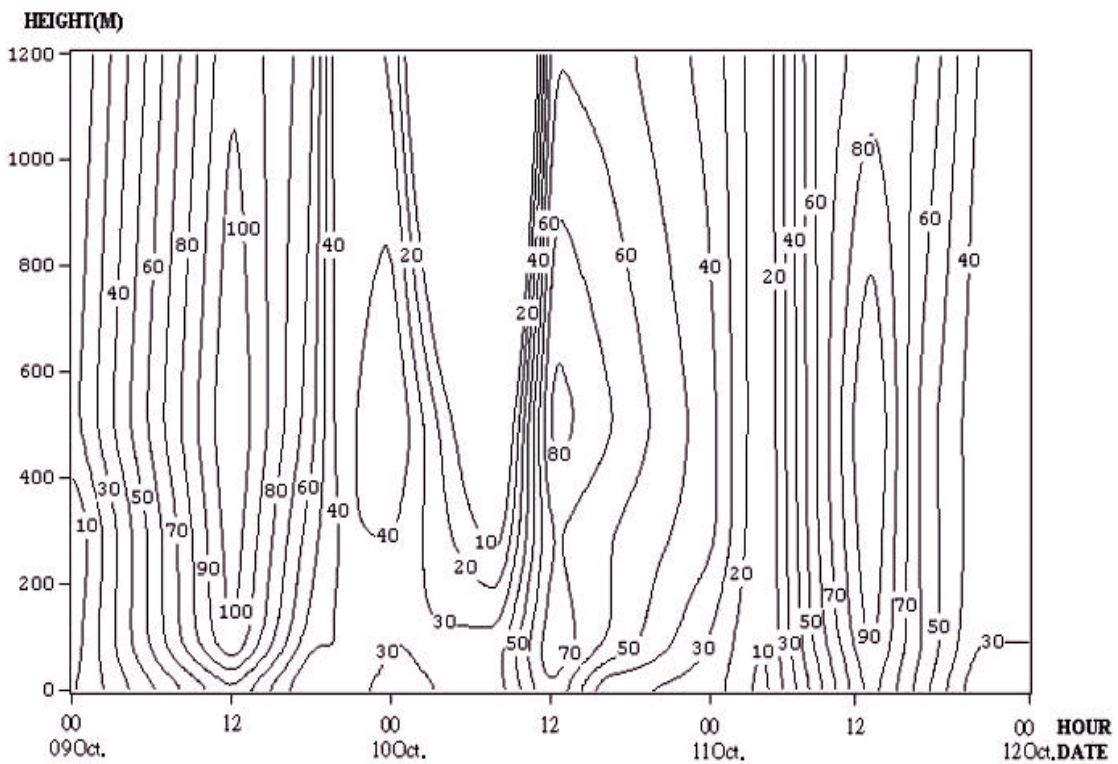


( b ) Tsaotun

Fig. 63 Vertical profile of Wind field during 09 to 11 October 2000 at Tachia and Tsaotun.

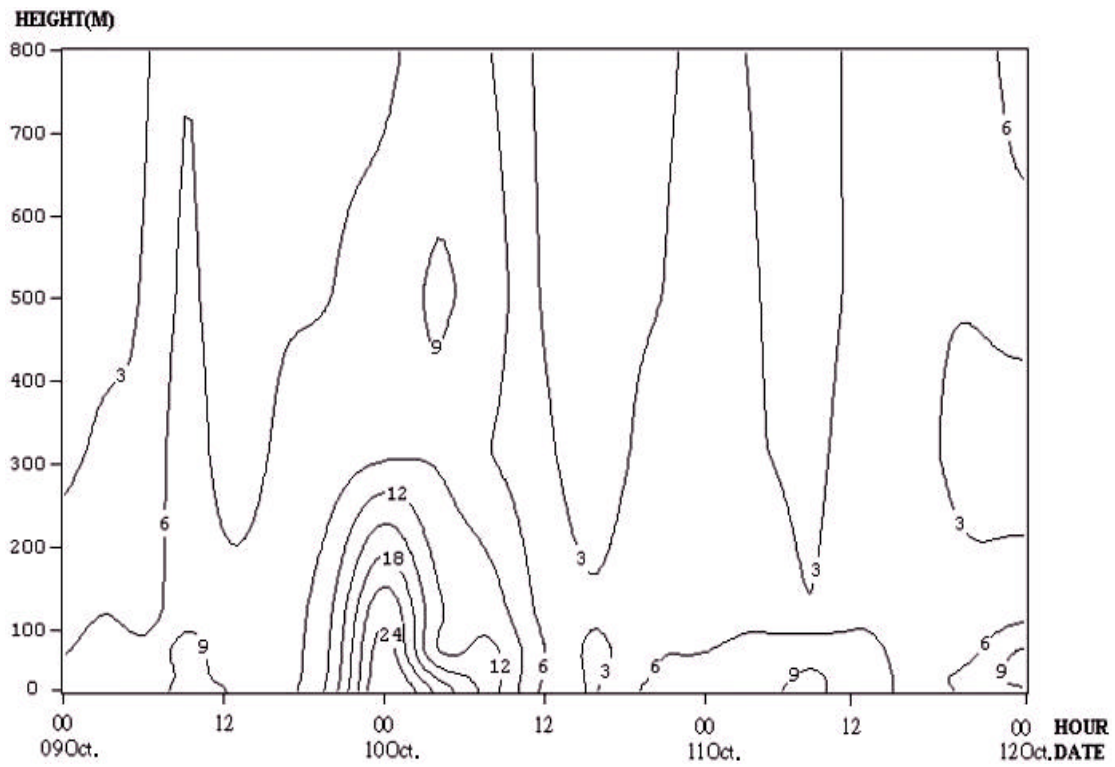


( a ) Tachia

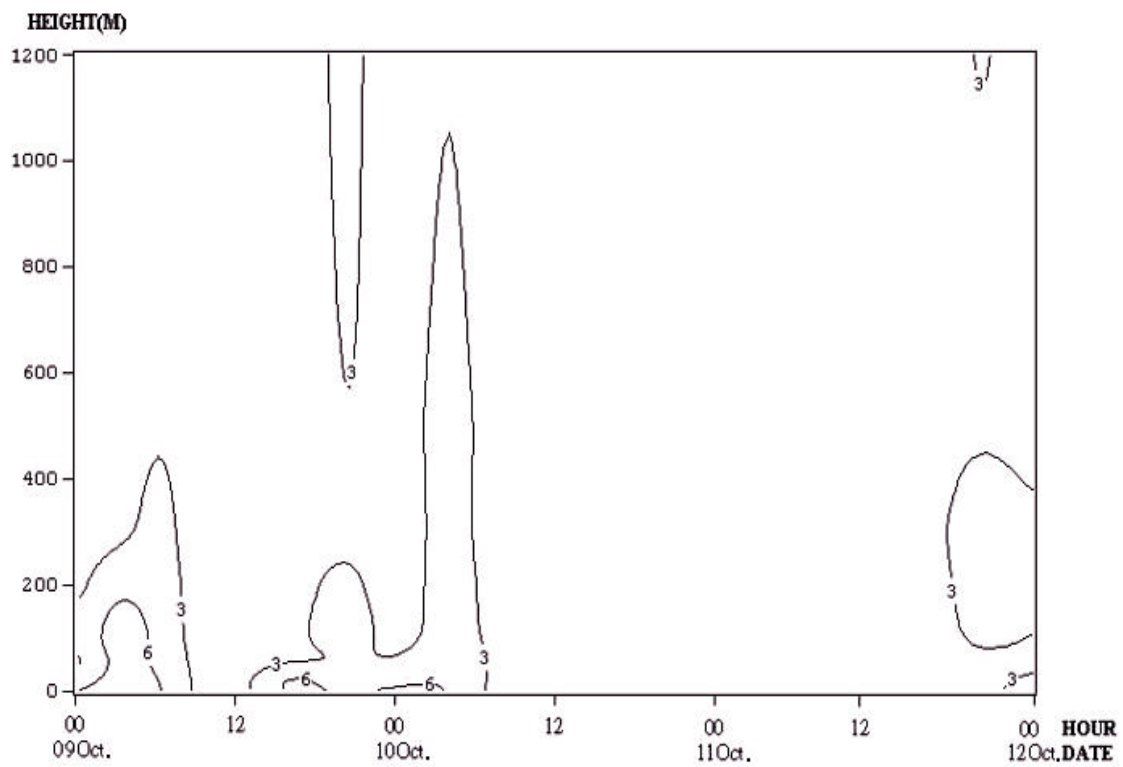


( b ) Tsaotun

Fig. 64 Vertical profile of O<sub>3</sub> concentration during 09 to 11 October 2000 at Tachia and Tsaotun.

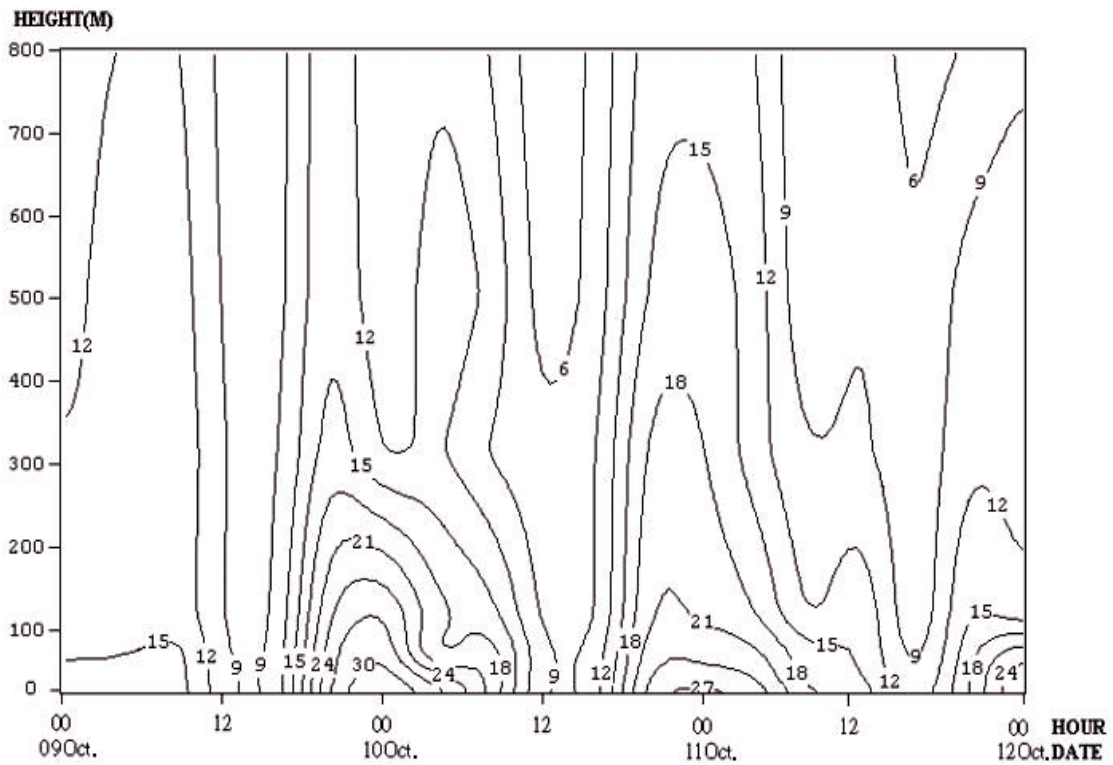


( a ) Tachia

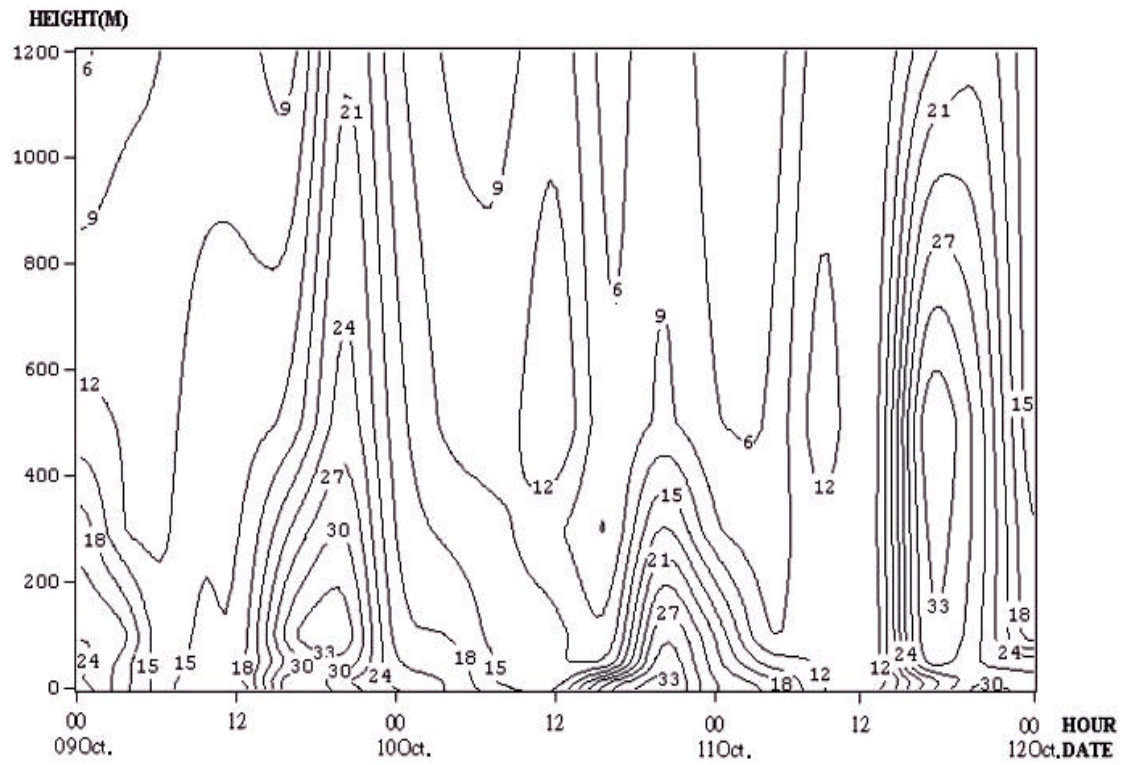


( b ) Tsaotun

Fig. 65 Vertical profile of NO concentration during 09 to 11 October 2000 at Tachia and Tsaotun.

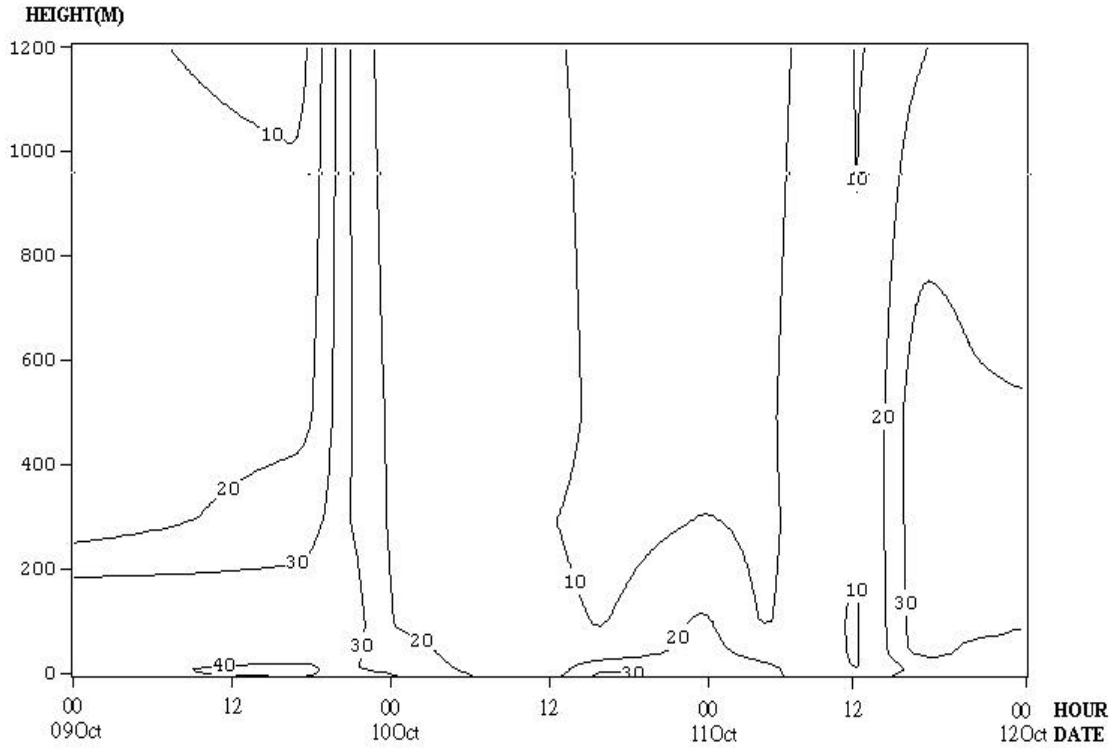


( a ) Tachia

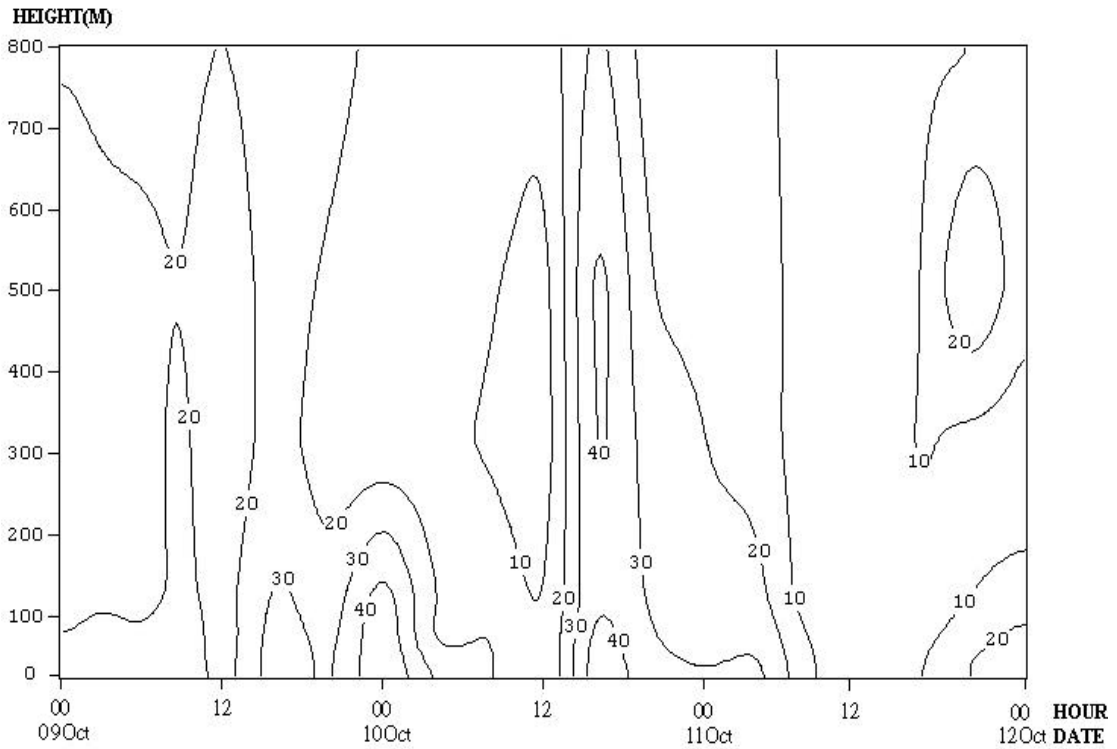


( b ) Tsaotun

Fig. 66 Vertical profile of NO<sub>2</sub> concentration during 09 to 11 October 2000 at Tachia and Tsaotun.



( a ) Tachia



( b ) Tsaotun

Fig. 67 Vertical profile of NOx concentration during 09 to 11 October 2000 at Tachia and Tsaotun.



### 4.3 春、秋季案例比較

在第三章風場分類與臭氧事件日相關分析中發現，在綜觀天氣型為高壓迴流型下，風場為海陸風型時有較高之臭氧事件日發生率，可達 79%，故在此次春、秋季節案例探討中，選定高壓迴流天氣型日來作探討與比較，亦發現此兩次案例中部地區皆發生高臭氧事件日，以下將就不同因子探討春、秋二季之異同。

#### (1) 氣象因子之比較

在微觀氣象分析上，在兩次實驗期間，中部地區皆有低壓存在，進而促進海風之形成，此海風能將沿海之污染物平流輸送至內陸，故造成內陸之南投、草屯地區較濱海地區之龍井、大甲和沙鹿等，有較高之臭氧濃度產生，而且內陸產生高臭氧值時間常較濱海地區延遲約 1~3 小時。在二次實驗期之高壓迴流天氣型下，由於高壓強度較弱，致使大環境盛行風不強，區域環流（海陸風）主導中部地區風場，在此微弱風場下，使得在此兩次案例中部地區皆發生高臭氧事件日。春季在實驗期間中部地區與台灣最大之氣壓差距可達 2~3 hpa，秋季之氣壓差距則約 4 hpa。在陸海溫差上，春季（最大達 5.4℃）大於秋季案例（約 3.5℃）。

#### (2) 混合層高度之比較

Table 22 為兩次實驗濱海（龍井、大甲）與內陸（草屯）之混合層高度列表，由表中可發現，春季案例中不管是濱海或內陸地區，其混合層高度一般皆大於秋季，在檢視 1999-2001 年實驗期間之春、秋季日間混合層高度，也有同樣情形發生，此應為秋季有較高污染物濃度的原因之一。而濱海地區日間之混合層高皆小於內陸地區，原因可能為濱海地區在日間受平流逆溫（advective inversion）影響，而有較低之混合層高度。在實驗期間，夜間的混合層高度皆介於 30~50 m，並無顯著之差異。

Table 22 Mean values of mixing height at Longjin、Tsaotun and Tachia for experimental campaigns.

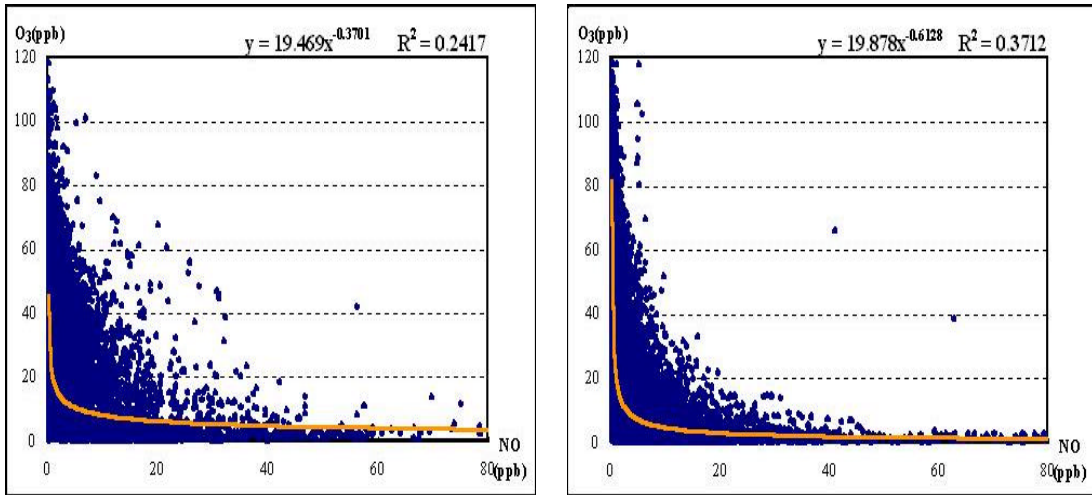
	日				夜			
	春		秋		春		秋	
	龍井	草屯	大甲	草屯	龍井	草屯	大甲	草屯
混合層高度(m)	600-850	1100-1600	600	900	皆介於 30 - 50			

### (3) 污染物濃度之比較

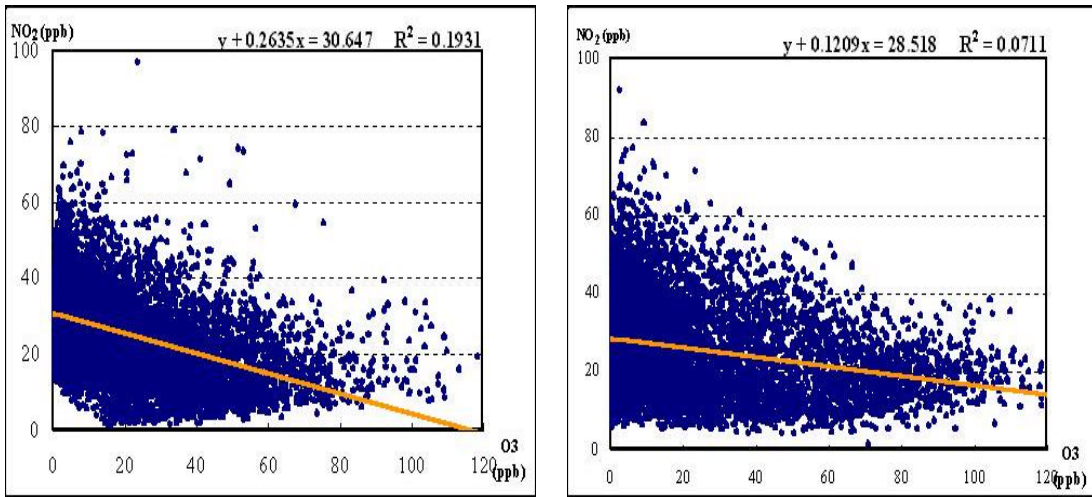
O<sub>3</sub> 濃度在垂直剖面分布上，日間因受垂直熱對流影響，故濃度分布在春、秋季整層皆很均勻，但在近地表處，部分因受 NO 消耗而有較低之 O<sub>3</sub> 濃度值。夜間 O<sub>3</sub> 濃度則有隨高度而遞增之趨勢，可能因日落後光化反應之停滯及受 NO 消耗及沉降影響，造成近地表之 O<sub>3</sub> 濃度較低，而高空之濃度則受限於夜間逆溫層之影響，無法往上擴散，加上無法被近地表所排放之 NO 消耗及沉降，故能維持一較高之濃度。NO 與 NO<sub>2</sub> 之濃度為一雙峰值，與交通排放趨勢一致，春季較秋季來的明顯。凌晨之高峰（約 8 - 9 點），NO 與 NO<sub>2</sub> 扮演 O<sub>3</sub> 前驅物之角色，造就 O<sub>3</sub> 濃度逐漸升高；另一高峰則在夜間，O<sub>3</sub> 因光化反應停止與沉降作用影響，濃度逐漸降低，NO 與 NO<sub>2</sub> 濃度則逐漸增高，此時之 NO 與 NO<sub>2</sub> 扮演滴定效應之角色，消耗近地表之 O<sub>3</sub>，使得夜間近地表之 O<sub>3</sub> 濃度降低，並有隨高度略增之趨勢。NMHC 垂直分布上則較無一致性，但其與 NO<sub>x</sub> 因屬光化反應生成之臭氧前驅物，故在日間有較低濃度值。

在 Minoura (1999) 的研究中發現，O<sub>3</sub>-NO<sub>x</sub> 系統為控制近地面臭氧濃度之重要因子，就其利用地面測站監測之污染物濃度所分析之結果發現，O<sub>3</sub> 和 NO 為一雙曲線之關係，並得一關係式  $[O_3] \times [NO] = 21.6 \text{ ppb}^2$ ，O<sub>3</sub> 和 NO<sub>2</sub> 則為一直線關係，其關係式為  $[O_3] + [NO_2] = 30 \text{ ppb}$ ，NO 與 NO<sub>2</sub> 亦可得一關係式  $[NO_2] = 14 \times [NO]^{0.22}$ 。本研究利用同樣方法，取 1997-2000 之沙鹿與南投站來作分析，結果如 Fig. 68、69 所示。

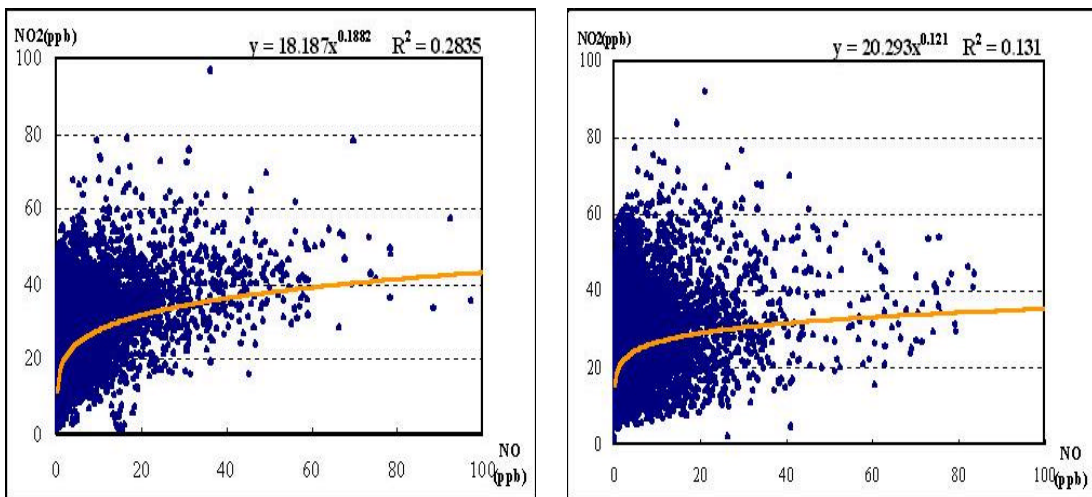
(1) O<sub>3</sub> versus NO



(2) O<sub>3</sub> versus NO<sub>2</sub>



(3) NO versus NO<sub>2</sub>

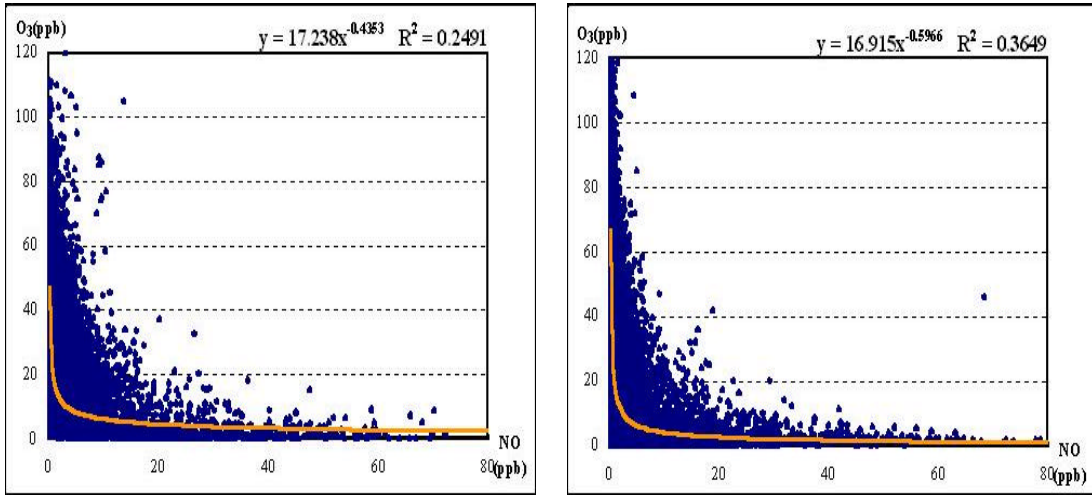


(a) Shalu

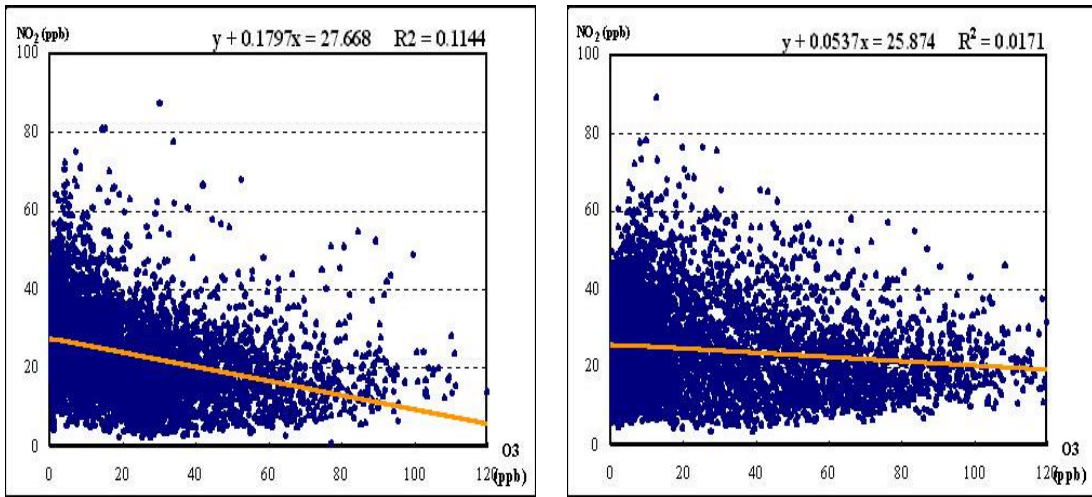
(b) Nantou

Fig. 68 The relationships between (1) O<sub>3</sub> and NO, (2) O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub>, (3) NO and NO<sub>2</sub> observed in spring during 1997-2000 at (a) Shalu and (b) Nantou.

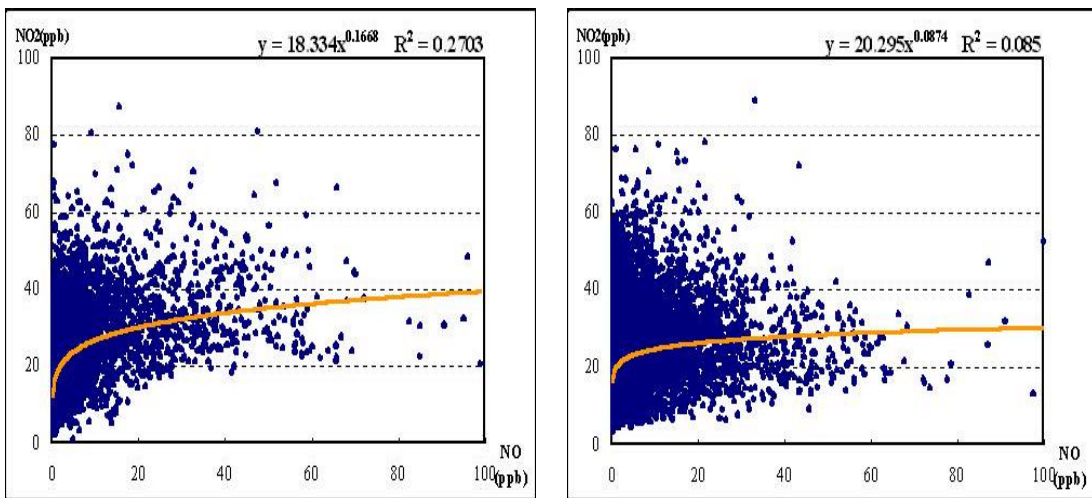
(1) O<sub>3</sub> versus NO



(2) O<sub>3</sub> versus NO<sub>2</sub>



(3) NO versus NO<sub>2</sub>



(a) Shalu

(b) Nantou

Fig. 69 The relationships between (1) O<sub>3</sub> and NO, (2) O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub>, (3) NO and NO<sub>2</sub> observed in fall during 1997-2000 at (a) Shalu and (b) Nantou.

由圖中發現，其結果與 Minoura 的研究相當雷同，不管是春季或秋季，亦或沙鹿與南投， $O_3$ - $NO_x$  系統皆能明顯呈現出一定之相關性，尤其在  $O_3$  與  $NO$  濃度相關性最高，當  $NO$  濃度很低時， $O_3$  濃度會急劇上升，而  $NO$  濃度提高，則會損耗  $O_3$  的產生，使  $O_3$  濃度下降。就  $O_3$  與  $NO_2$  之關係而言，其間則呈現一直線關係。而在  $NO$  與  $NO_2$  之關係呈現一指數型曲線，當切線斜率較大時代表  $O_3$  濃度較高（因此時  $NO$  濃度較低，由  $O_3$  與  $NO$  之關係得知），高臭氧濃度將易於氧化  $NO$ ，並造成  $NO_2$  濃度的快速產生，這在春秋案例實驗期間亦可發現同樣情形，而當切線斜率較小時則代表  $O_3$  濃度較低，此時的  $NO$  則被認為是較難以氧化消耗的。

Fig. 68、69 說明了地面臭氧濃度受  $NO_x$  濃度之影響很大，雖然在此並未加入碳氫化合物之探討為一大遺憾，但由圖中之  $O_3$  與  $NO$ 、 $NO_2$  之相關性，我們亦可大膽的假設： $O_3$ - $NO_x$  之光化反應系統為主導近地面臭氧濃度之重要因子之一。

## 第五章 結論

本文蒐集 1996-2000 年中部空品區之空品及氣象資料作分析，並建立中部地區風場資料庫與空品資料作相關性研究，在容易發生事件日之天氣型下檢視高污染之可能發生原因，期能提供執政者決策上之參考。

### (1) 風場之建立

本研究採用美國環保署所發展之第二代中尺度煙陣模式(Mesopuff)來求取中部地區近地面之風場，此模式將混合層之高度與穩定度經由實測值求出，而非使用假設值，並在權重方面考慮上風下風之位置，將測站點與網格點的相對位置向量及測站風向夾角也列入考慮，利用近幾年來東海大學環境科學系及中興大學環境工程學系的探空資料，實際計算風速在垂直地面方向上的變化，進而積分求得每個網格點處近地面(100m)之平均風場，所求風場之真實性高。

### (2) 風場分類之結果

針對中部地區 1996-2000 年之區域風場作分類，結果發現共有 9 種風場的類型(Table 10)。在扣除降雨日與無法判別風場類型日後，有效日數共 1198 日，其中以第 1 型(東北季風之偏北風型)發生 470 日最多，發生率達 39%，而以第 9 型(西南氣流之偏北風型)發生 4 日最少，發生率只有 0.3%。

### (3) 風場分類與高臭氧污染日、事件日之相關性

在 9 種風場類型與事件日之相關分析發現，無論是高臭氧污染日或事件日，其高濃度常出現在幾種特定類型(第 1、2、3 型)，其中尤以第 1 型(東北季風下之海陸風型)之發生機率最高，發生率分別高達

79%與 83% (Table 11), 其結果亦可從大里、南投與竹山站之反軌跡分析中發現, 各測站高臭氧污染事件日發生時, 其氣團主要皆由海風由西北面帶進來, 而中部地區西北方正是污染源最多的地區。第 型發生事件日時之天氣型態以高壓迴流與高壓出海最多, 由於大環境盛行風不強, 致區域環流明顯 (海陸風), 在此微弱風場下, 更須特別注意高污染之發生。另第 、 型發生事件日時之天氣型態, 以春、秋季之熱帶低壓天氣型之發生率最高, 原因可能跟第 型之情形類似。

#### (4) 逆軌跡分析結果

在所選擇中部地區三個代表測站之臭氧前驅物污染源污染潛勢分析中, 發現 NO<sub>x</sub> 來源主要皆由點源與線源所貢獻, 平均分別佔 40.7%與 55.7%, 其中大里站無論在未限定天氣類型、高壓迴流或熱帶低壓天氣類型下, NO<sub>x</sub> 污染源貢獻比例皆以線源為主, 點源為輔; 而南投站在高壓迴流天氣型下, NO<sub>x</sub> 污染源排放比例以線源為主, 但在熱帶低壓天氣型下則是以點源為主; 竹山站也跟南投站有相同之情形, 但結果剛好相反, 在高壓迴流天氣型下, NO<sub>x</sub> 污染源排放比例以點源為主, 而在熱帶低壓天氣型下則是以線源為主 (Table 12、14、16)。

在 NO<sub>x</sub> 之排放來源發現, 大里站主要以台中市為氣團來源區, 但在發生率上, 有指向苗栗通霄發電廠之潛勢; 南投站主要以中山高速公路、台中港區與南投市為重大排放來源; 竹山站主要以中山高速公路、台中港區與竹山鎮為重大污染來源區。在 NO<sub>x</sub> 污染源排放比例中, 針對點源和線源之主要排放公司行號與車種類別作探討, 前三大點源來源為台灣電力股份有限公司台中發電廠、台灣玻璃工業股份有限公司與台灣化學纖維股份有限公司, 前二大線源來源車種則為自用汽油小客車及柴油大貨車。

NMHC 來源主要由面源所提供，平均佔 60.7 %。在 NMHC 之污染潛勢比例中，大里站主要仍以台中市為主；南投站分布則較分散，主要為南投市、彰化市與台中市西屯區；竹山站之分布點則沿著彰化縣道 141 號公路，包括有竹山鎮、員林鎮、彰化市等。由於 TEDs 4.2 資料庫並無針對面排放源類別做統計，因此無法統計出行業類別的污染程度。

#### (5) 探空案例分析結果

在兩次實驗期間，中部地區皆有低壓存在，進而促進海風之形成，此海風能將沿海之污染物平流輸送至內陸，故造成內陸之南投、草屯地區較濱海地區之龍井、大甲和沙鹿等，有較高之臭氧濃度產生，而且內陸產生高臭氧值時間常較濱海地區延遲約 1 ~ 3 小時。而在高壓迴流天氣型影響下，由於高壓強度較弱，致使大環境盛行風不強，區域環流（海陸風）主導中部地區風場，在此微弱風場下，使得在此兩次案例中部地區皆發生高臭氧事件日。

兩次實驗濱海（龍井、大甲）與內陸（草屯）之混合層高度不管是濱海或內陸地區，春季混合層高度一般皆大於秋季，此應為秋季有較高污染物濃度的原因之一。而濱海地區日間之混合層高皆小於內陸地區，原因可能為濱海地區在日間受平流逆溫（advective inversion）影響，而有較低之混合層高度。在實驗期間，夜間的混合層高度皆介於 30 ~ 50 m，並無顯著之差異。

O<sub>3</sub> 濃度在垂直剖面分布上，在春、秋季日間濃度分布整層皆很均勻，但在近地表處，部分因受 NO 消耗而有較低之 O<sub>3</sub> 濃度值。夜間 O<sub>3</sub> 濃度則有隨高度而遞增之趨勢。NO 與 NO<sub>2</sub> 之濃度為一雙高峰值，與交通排放趨勢一致，春季較秋季來的明顯。凌晨之高峰（約 8 ~ 9 點），NO 與 NO<sub>2</sub> 扮演 O<sub>3</sub> 前驅物之角色，造就 O<sub>3</sub> 濃度逐漸升高；另一高峰則在夜間，NO 與 NO<sub>2</sub> 濃度逐漸增高，此時之 NO 與 NO<sub>2</sub> 扮演滴定效應之角色，消耗近



地表之  $O_3$ ，並有隨高度略增之趨勢。NMHC 垂直分布上則較無一致性，但其與  $NO_x$  因屬光化反應生成之臭氧前驅物，故在日間有較低濃度值。而在利用地面測站監測之  $O_3$ 、NO 和  $NO_2$  污染物濃度之分析結果中發現， $O_3$ - $NO_x$  之光化反應系統為主導近地面臭氧濃度之重要因子之一。

基於以上這些統計數據與污染來源潛勢區之推估，在總量管制上，冀望能提供執政者決策上之參考。