

台灣反應性軌跡模式之應用與發展及南高屏臭氧污染成因分析

執行單位：國立台灣大學環境工學研究所

計畫主持人：張能復

計畫編號：90-2621-z-002-014-

計畫名稱：台灣反應性軌跡模式之應用與發展及跨空品區現象分析

研究人員：梁佳修、林鶴年

聯絡方式：台北市舟山路 71 號 台灣大學環境工學研究所

E-Mail: lfwchang@ms.cc.ntu.edu.tw

中文摘要：

本文以 10 月 06~10 日與 11 月 22~26 日兩個高臭氧污染，利用化學性、物理性與排放性三個方向作南高屏地區高臭氧事件的成因解析。在化學性作用方面，無論以溫度(日平均溫度大於 295K)、光照時數(日照時數大於 3.4 小時)與雲覆蓋量(9-16 時平均雲覆蓋量小於 0.3)來評估，南高屏地區提供良好光化學反應的環境，化學性作用為一充分條件；物理性作用為影響南高屏地區最重要的影響因子，在綜觀尺度的影響下，兩個高臭氧污染事件中南高屏地區的測站風速都很低，最嚴重的 11 月 26 日日間最高測站風速低至 3m/s，而從測站風速、混合層高度、通風指數等因子來評估南高屏地區的擴散條件，可以看出 11 月高臭氧污染逐日遞增的趨勢。

由軌跡線的變化顯示，在秋季台灣雖受東北季風的影響，但南高屏地區因受到中央山脈地形的屏障，會有一流場的陰影區，此時受到中尺度的氣象條件(海陸風與地形繞流等)的影響，會影響臭氧之分佈。而排放性作用方面，兩個污染事件主要為南高屏地區本地污染源的影響，NO_x 主要以線源及高雄縣市的重大點源為主，NMHC 主要來自面源與高雄縣市的重大點源。綜合而言，季風風速微弱與海陸風效應是南高屏地區秋季高臭氧事件累積分布的主控因子。

關鍵字：臭氧，軌跡分析，氣象條件，光化學反應

英文摘要：

In this research, the cause of the ozone episodes in southern Taiwan by analyzing the chemical、physical and emissive effects were studied. In chemical effects, high temperature(the daily mean temperature greater than 295K)、low cloudiness(the mean cloudiness from 9A.M. to 4 P.M smaller than 0.3) and the great amount of daylight of southern Taiwan provide the favorable environment for the photochemical production of ozone. In the aspect of physical effect, including diffusion and convection, the decreasing trend of diffusion of the ozone episode responds to the increasing trend of concentration of ozone in November. But the ability of diffusion is not the main cause of the ozone episodes in southern Taiwan.

By the analysis of backward trajectory and wind field, we could find that the prevailing wind is not significant because of the eastern terrain barrier and the sea-land breeze dominates in southern Taiwan. Because of light wind and sea-land breeze, there is a great chance for precursors mostly from local pollution sources to accumulate in the atmospheric boundary layer. In emissive effects, emissions of NO_x are contributed by transportation and

point sources (such as the power plants and petroleum refinery etc.); the emissions of NMHC (Non-Methane Hydrocarbons) are contributed by the point sources and the metropolitan pollution. In the conclusion, the weak wind (convection) plays the most important

Key words: Ozone, backward trajectory, meteorological parameter, photochemical reaction

一、前言

目前台灣七大空氣品質區（北部、桃竹苗、中部、雲嘉南、高屏、花東及宜蘭），高屏地區為台灣地區空氣品質惡化問題最為嚴重的地區，高屏空品區 PSI>100 的機率，於 85、86、87 年分別高達 15.5、12.6 及 11.6%（逢，2001），是台灣地區改善空氣品質問題的首要地區。

由環保署空氣品質監測資料顯示，造成南高屏地區空氣品質不良（PSI>100）的主要指標污染物種為懸浮微粒 PM10 與臭氧。在 PSI>100 的空氣品質不良日中，指標污染物為懸浮微粒的機率最高，臭氧其次；可是 PSI>100 的不良日中，懸浮微粒為指標污染物的日數有逐年遞減的趨勢，而臭氧所造成之日數卻有逐年增加的趨勢，在民國 86 年，PSI>100 的日數中，臭氧所佔的比例更首次超越懸浮微粒。就未來環保署欲達成台灣地區空氣品質之改善，南高屏地區臭氧問題的改善將是重要的關鍵。

南高屏地區由於臭氧所導致之空氣品質不良現象多發生於秋季（10~12 月），與國外發生高臭氧污染事件於夏季發生的現象不同，高臭氧污染大都發生於附近無重大污染源的測站，如美濃、屏東與潮州等，且對於臭氧前驅物種（VOC 及 NO_x）造成臭氧生成的光化學反應、大氣與地形作用對高臭氧事件的影響等，使得南高屏地區高臭氧問題複雜化，造成管制上的困難，因此對高臭氧事件成因作深入的解析，以期對未來管制策略的訂定，有決策依據的功能。

造成高臭氧事件的成因可以由三方面來解析，化學性、物理性與排放性作用。化學性作用就是光化學反應；物理性作用即為氣象因素的影響，包括擴散、傳輸與沈降等機制；排放性作用主要針對臭氧前驅物 NO_x 與 VOC 之排放量的影響。

對流層內包含了整個大氣 10% 的臭氧（Fishman et al.,1990），其中有一部份的臭氧來自於平流層臭氧往對流層頂的輸送，即所謂對流層頂的摺曲現象（tropopause folding events），另一種係因臭氧污染前驅物（氮氧化物與揮發性有機物）利用陽光，進行光化學反應所產生的。Liu et al (1980)曾針對全美地區對流層的臭氧作質量收支平衡的分析，估計利用光化反應所產生的臭氧量，約為臭氧量來自平流層往下輸送的 20 倍。因此光化學反應是構成對流層臭氧濃度最主要的來源。

光化學反應生成臭氧主要是由二氧化氮(NO₂)在陽光照射下光解成氧原子(O)及一氧化氮(NO)，氧原子再與空氣中的氧反應而生成臭氧(O₃)，這也是對流層臭氧生成的唯一途徑；而一氧化氮(NO)會再與臭氧(O₃)反應而生成 NO₂。此三反應均相當迅速，在沒有其他揮發性有機物存在的情況下，O₃ 的濃度會與 NO₂ 的濃度成正比；但若有任一會與一氧化氮反應的物質，則會與臭氧競爭 NO 而造成臭氧的累積。

過氧自由基與氫氧自由基便是能與臭氧競爭 NO 的強氧化物。而過氧自由基與氫氧自由基在原始大氣中可由甲醛、氧原子與水分子反應產生，但若大氣中含有揮發性有機物，則可藉由一連串的連鎖反應產生大量的過氧自由基與氫氧自由基，進而破壞光穩定狀態，造成臭氧的累積。

由上述說明可知，氮氧化物是產生臭氧的重要物種，但是若沒有自由基的‘催化’，並不會累積形成高臭氧，因此可將氮氧化物視為一種原料，自由基為一種推進器，兩種相互配合才會造成臭氧的累積，而反應性有機物的參與反應下，自由基才能大量產生。所以考慮光化學反應，必須同時考慮氮氧化物的濃度與非甲烷碳氫化合物的濃度與成分

Leighton (1961)曾將光解速率與太陽天頂角 (Solar zenith angle) 之間的函數關係繪製成圖，McRae (1981) 則將化學物種之光解速率與太陽天頂角之餘弦函數關係作圖。翁 (1989)整理不同光化反應式的光解速率常數，並將光解速率常數為天頂角餘弦函數的關係式，利用雲量及雨量加以修正。而雲量除了會影響光化輻射的強度外，更會影響整個對流層的垂直傳輸作用，也就是通風作用(venting process) (Seinfeld and Pandis, 1998)。

溫度也是光化學反應速率常數的影響因子之一。有許多的研究試圖找出臭氧形成與大氣溫度之間的關係，如 Kuntasal and Chang(1987)研究 the South Coast Air basin 等，但因為溫度主要影響反應速率常數，而光化學反應的化學反應物種有數千種，反應式也有數百種之多，溫度對每個物種的影響正負快慢不一，因此臭氧濃度與溫度關係是非線性(Seinfeld, 1991)

在物理性作用，亦即氣象條件的影響方面，典型臭氧污染事件常伴隨著緩慢移動的高氣壓系統。在高氣壓系統影響下，高壓附近大部分的對流層皆盛行下沉氣流，因此在日間會有高度較低且強的逆溫層，使得地表污染氣體不能與逆溫層上的空氣相互混合稀釋。加上高氣壓系統下，地表風速微弱，容易造成污染物的累積；而雲量稀薄，強烈日照提供了光化學反應進行良好的環境(seinfeld and Pandis, 1998)。討論氣象條件的影響可分為擴散稀釋、傳輸作用與沉降作用三個方面來探討。

擴散作用方面，探討擴散作用對臭氧生成累積的影響，也就是大氣對臭氧混合稀釋的能力，最主要的影響因子便是對流層中混合層高度、穩定度與摩擦風速等。胡(1996)曾針對大桃園地區高臭氧事件作成因解析，發現當日最大臭氧濃度與近地風速、混合層高度、通風指數與當日溫度及前一日最大臭氧濃度呈高度相關；林 (1980) 亦指出，由於綜觀尺度的影響下 (高壓迴流的天氣型態)，逐漸遞減的日平均混合層高度、日平均風速與日平均通風指數會造成更大的空氣污染潛勢。其中近地風速、混合層高度與通風指數等指標，便是探討大氣擴散稀釋的能力。Miller(1967)指出混合層高度與混合層內平均風速與空氣污染潛勢有拋物線迴歸的關係，因此定義混合層高度與混合層內平均風速的乘積為當時之通風指數，可作為評估大氣擴散能力的尺度。

傳輸作用，係指風速與風向的影響，污染物從污染源產生，最主要係利用風的傳輸將污染物帶至下游的受體，進而發生高污染事件。根據台灣地區氣象資料，南高屏地區在冬季由於受到中央山脈的阻擋，東北季風無法進入南高屏地區，而盛行局部環流 (海陸風) (環保署網站)。研究亦顯示局部地區因日夜變化與地表地形之變化，所造成的海陸風、山谷風等局部環流會主導區域性的風場，進而造成污染事件 (柳, 1997; 呂, 2000)。李 (1995) 針對台灣南部臭氧污染事件作分析，顯示台灣南高屏地區秋季高臭氧事件的主要成因為風速，其中污染事件日的風速為 2-3m/s，非污染事件日的風速為 7-8m/s。

本研究為深入探討南高屏地區高臭氧污染的主要成因，以民國 85 年 10 月 6~10 日及 11 月 22~26 日兩個污染事件為對象，針對南高屏地區秋季高臭氧污染現象、區域性傳輸現象與污染源等問題作解析。

依據上述內容，本研究擬定下列幾項研究目的：

1. 探討化學性作用，也就是光化學反應對兩個污染事件的影響。
2. 藉由風場與逆軌跡的分析，探討傳輸作用南高屏地區臭氧污染分布的影響。
3. 找出形成南高屏地區高臭氧污染事件的主要氣象特徵因子，
4. 分析南高屏地區於 10、11 月的高污染事件日中，臭氧前驅污染物（NO_x 與 VOC）主要的來源。

二、 研究方法

針對 85 年 10、11 月高臭氧污染事件之成因解析，本研究擬定相關研究方法，研究流程如圖 2-1 所示，以下根據研究流程各部分作說明：

1. 化學性作用：

主要針對光化學反應來解析，而光化學反應的主要影響因子為光化學輻射。本研究係將南高屏地區監測站之雲覆蓋量監測值作八小時平均，並取出日間八小時（9~16 時）之資料，配合測站日照時數與溫度監測值，作兩個污染事件光化學反應變化的分析。日照時數的資料來自於氣象局測站每日 6~18 時測站當地直接受日光照射時間的統計，主要受雲覆蓋量的影響，本研究利用氣象局高雄及台南測站的監測值，作為南高屏地區日照時數的依據。

2. 擴散作用：

大氣的擴散作用可視為，當污染物被排放進入大氣，有多少乾淨的空氣可稀釋混合這團髒空氣。大氣的混合能力必須視當時大氣的穩定度與紊流強度而定，因此，解析南高屏地區 85 年 10、11 月這兩個污染事件時，可從混合層高度、測站風速(Surface wind speed)與通風指數等氣象因子來分析。但首先本研究將南高屏地區監測站之一氧化碳(CO)監測值作八小時平均，藉由日間八小時（9~16 時）資料之分析，作初步的判斷。

混合層高度的計算，是利用東港測站探空資料，繪成位溫-高程垂直剖面之曲線，再配合各個環保署監測站地面溫度轉換成位溫，循著乾絕熱溫度遞減率，與位溫-高程垂直剖面曲線的交點，為該時之混合層高度(Holzworth,1967)，由於探空測站資料一天兩筆（8 時與 20 時），必須在時間上作線性內插。通風指數是利用混合層高度與測站風速相互乘積而得。

3. 傳輸作用：

本研究係利用反軌跡線分析，作南高屏地區污染物傳輸的分析，以期瞭解臭氧污染分布現象之原因，並找出南高屏地區可能之污染物來源。其中反軌跡線之推動風場的求法，主要係利用客觀分析法將氣象局、民航局、環保署與空軍探空資料作網格化分析，再利用變分分析法作連續方程約束條件的限制，作出固定高度之層平均風場。

鄭(2000)曾分析不同高度層平均風場對光化學軌跡模式的影響，發現 200 公尺層平均風場可得到良好之光化學模式模擬結果，因此本研究採用 200 公尺層平均風場作軌跡推動風場。

4. 排放性作用：

本研究探討排放性作用，假設南高屏地區每日排放情形並無差異，因此利用中鼎公司所建立之 85 年『台灣地區空氣汙染物排放資料庫分析』(Taiwan Emission Data System, TEDS)，配合反軌跡線分析，分析兩個汙染事件發生高臭氧(>120ppb)之站時數，其點、線、面及生物源之臭氧前驅物排放量，歸納出主要的汙染排放源。

5. 整合分析：

本研究整合上述各種條件，以一測站作綜合性的評估比較，以期能找出南高屏地區高臭氧汙染事件的主要成因。根據文獻，當南高屏地區發生高臭氧時，屏東測站可作為高臭氧指標測站(張，1998)；而 11 月份南高屏地區高臭氧汙染以潮州測站最嚴重(超過法規標準 120ppb 之時間，五天共累積 12 小時)，加上潮州附近並無重大的汙染源。因此本研究以屏東測站與潮州測站，配合上述化學性、物理性與排放性作用影響因子，10、11 月份汙染事件成因整合性之解析。

三、 結果與討論

1. 汙染事件基本資料說明

本研究針對民國 85 年 10 月 6~10 日與 11 月 22~26 日兩個汙染事件，南高屏高臭氧事件的成因解析。首先就這兩個事件的空氣品質監測資料進行說明與分析。

10 月臭氧汙染事件，由表 3-1 得知，除了 10 月 7 日超過法規標準(120ppb)之站時數只有 3 個外，其餘四天超過法規標準的站時數皆超過 10 次，整個事件共有 53 個時測站數超過法規標準，以下針對此汙染事件的時間與地理上的特徵作說明。

在時間分佈方面，可將發生高臭氧(超過法規 120ppb)的事件日分成兩類。第一類高臭氧事件發生於 10 月 6、7、10 日三天，主要分佈於屏東、大寮、鳳山與潮州等主要是內陸偏南的測站。尖峰濃度主要發生於 13~15 時。而這三天的高臭氧汙染有一特徵，高臭氧汙染在 12 時左右由高雄市南部開始發生，接著主要是往屏東方向移動，而非往高雄內陸移動，所以在這三天裡，美濃測站的臭氧尖峰濃度皆未達到 100ppb 以上，在 10 月 6 日美濃的尖峰濃度只有 76 ppb。第二類高臭氧事件日發生於 10 月 8、9 日，主要分佈於左營、橋頭、美濃、仁武與楠梓等較偏高雄市區北部的測站，臭氧尖峰時間主要發生於 14~16 時。10 月 8、9 日高臭氧事件日有一特徵，即是高臭氧先在高雄市中北部地區發生，再往高雄縣內陸遷移，接著再往屏東移動，因此美濃測站在這兩天皆發生超過法規標準之高臭氧汙染，而潮州測站則至 16、17 時才會發生臭氧尖峰濃度，卻沒超過法規標準。

在地理分佈方面，在 10 月份汙染事件，高臭氧汙染主要集中於高雄市沿海與屏東市區，包括三民（五天皆超過法規標準，共累積 9 小時）、小港（10 月 6、8、9 日三天超過法規標準，共累積 7 小時）與屏東（三天，累積 6 小時）。

11 月份臭氧汙染事件由表 3-1 得知，雖然 11 月 22~24 日這三天發生高臭氧之站數只有大寮、潮州兩個測站，超過法規標準的站時數也沒超過 10 小時，可是在這五天的汙染事件中，超過法規標準的站時數卻有逐漸增加的趨勢，其中 11 月 26 日整個南高屏地區有臭氧監測之測站（恆春除外），只剩下後甲、仁武與左營沒有超過法規標準，但後甲與左營兩個測站當天的臭氧尖峰濃度也高達 110ppb 以上。南高屏地區超出法規標準的站時數高達 43 小時，是兩個汙染事件中臭氧汙染最嚴重的一天。以下為此汙染事件時間與地理上的特徵。

時間分佈特徵：

- ✓ 南高屏地區的臭氧濃度有隨時間增加的趨勢，且越往北方趨勢越明顯。顯示 11 月份汙染事件的高臭氧汙染有越來越嚴重的趨勢，到了 11 月 26 日則達到高臭氧汙染的顛峰，整個南高屏地區皆產生高臭氧汙染，只剩下後甲、仁武與左營的臭氧尖峰濃度未超過法規標準。
- ✓ 11 月份的汙染事件日中，每日臭氧尖峰濃度時間有隨時間往後發生的現象。莊氏(1999)表示南高屏地區在秋季汙染事件日中，除了美濃與屏東於 15 時達到臭氧尖峰濃度，其餘測站則在 13、14 時產生尖峰濃度。
- ✓ 11 月份汙染事件中，高臭氧汙染延時的時間較 10 月份汙染事件長，其中林園(11 月 25、26 日)與潮州(11 月 26 日)之高臭氧延時皆達到 5 小時，延時達 4 小時也有大寮(11 月 23、26 日)、屏東(11 月 26 日)、三民(11 月 26 日)與左營(11 月 26 日)等四個測站。而林園在 11 月 26 日之高臭氧時間更持續至 18 時

地理分佈特徵：

11 月份汙染事件，11 月 22~24 日主要於高屏溪附近發生高臭氧，到了 11 月 25 日時，發生高臭氧的地區由高屏溪附近，逐漸地往北延伸至高雄市區，至 11 月 26 日，整個南高屏地區皆籠罩在高臭氧的環境下。所以，11 月份汙染事件高臭氧汙染有隨著時間逐漸由南往北延伸的趨勢。而高屏溪附近的測站，包括潮州（五天超過法規標準，共累積 12 小時）、大寮（3 天，共 11 小時）與林園（兩天，共 10 小時）等測站，是此汙染事件中，高臭氧汙染發生頻率最高的地區。

2. 光化學反應速率—光照與溫度

充分且足夠的日照條件，是驅使光化學反應重要的因素。此處化學性的作用主要考慮光化學反應的速率；本研究利用雲覆蓋量、日照時數與溫度來評估光化學反應的光化輻射強度與反應速度。

a. 光化輻射強度

光化學反應的光化輻射強度受到太陽輻射量的影響，其中主要影響因子包括雲覆蓋量、天頂角與日照時數。由圖 3-1 南高屏地區日間八小時(9-16 時)平均雲覆蓋量之變化可以看出：

10 月份的污染事件中，南高屏地區日間八小時(9-16 小時)的平均雲覆蓋量皆在 0.3 以下，與日間八小時臭氧平均濃度比較，彼此相關性並不高；顯示在此事件中，環境中提供了適當的光化輻射強度，有利於光化學反應的進行。

11 月份的污染中，南高屏地區日間八小時的平均雲覆蓋量除了 11 月 22 日外，皆低 0.2 以下。11 月 22 日日間八小時的平均雲覆蓋量高達 1.0，表示在 22 日白天整個南高屏地區之天空都被雲所覆蓋住，不利於太陽輻射的照射；由圖 3-1 可知，11 月 22 日日間八小時臭氧平均濃度只有 38.8ppb。11 月 23-26 日的雲覆蓋量皆在 0.2 以下，顯示環境提供了適當的光化輻射強度，有利於光化學反應的進行。

b. 化學反應速率

在此節中，本研究利用兩污染事件南高屏地區最高溫度分布與當日最高臭氧濃度分布，來探討光化反應速率在臭氧事件的變化。

在 10 月份之污染事件中，日最高溫度皆可達 30°C 以上，而整個南高屏地區溫度的分布，並沒有明顯的差異或極值分布，顯示整個南高屏各地區對太陽輻射的吸納能力相差不多。而將南高屏地區當日最高溫度分布與當日臭氧最高濃度分布作比較，發現溫度與臭氧濃度之分布相關性並不大。探究其原因，主要是因為南高屏地區在秋季平均溫度仍高達 25°C 以上，每日最高溫度可高達 30°C 以上，相較於其他地區，高臭氧生成之溫度 $\geq 20^\circ\text{C}$ (白氏,1997) 的條件高出很多，所以南高屏地區高溫為一充分條件，有助於光化學反應的進行，並非主要造成高臭氧事件的主要因素。

在 11 月份之污染事件中，11 月份南高屏地區最高溫度的分布雖沒有顯著的差異，但仍可看出高溫有越往南及內陸有越高的趨勢，而且 11 月份事件有當日最高溫度隨時間逐漸升高的現象，在 26 日當日最高溫度可達 30°C 以上。相較於 11 月份當日最高臭氧濃度分布，可以發現彼此的相關性較 10 月份高，例如最高溫度有逐日升高的趨勢與越往南方溫度越高等特性，與最高臭氧濃度逐日升高及在整個系列中南方測站(如潮州、大寮等)是高臭氧污染最嚴重之區域等現象相呼應。顯示溫度對 11 月份的高臭氧污染事件的影響較 10 月份污染事件來得大。

綜合以上的分析，顯示無論在光解輻射、日照強度與溫度等條件，南高屏地區都能提供良好光化學反應的環境，有助於臭氧之累積生成，屬於一充分的條件。可是若化學性條件無法達成，則會成為一個限制臭氧生成的重要主控因子，如 11 月 22 日，南高屏地區無論從雲覆蓋量、日照時數與溫度等條件來評估，皆不適於光化學反應的進行，所以就算其餘條件的配合，亦不會造成重大的高臭氧污染。

3. 物理作用—擴散與傳輸作用

本研究利用南高屏地區惰性污染物一氧化碳日間八小時(9-16時)平均濃度作初步擴散能力的分析，接著利用測站風速、混合層高度與通風指數的分析，以瞭解整個南高屏地區在兩個污染事件中，擴散能力的差別。以下即針對各種因素作分析。

a. 南高屏地區 CO 八小時(9-16時)平均濃度之特徵

由圖 3-2 南高屏地區 CO 八小時(9-16時)平均濃度變化可知，在 10 月份污染事件中，CO 八小時(9-16時)平均濃度介於 0.49~0.65ppm 之間，6 日的 CO 八小時平均濃度最低(0.49ppm)，其餘四天 CO 八小時平均濃度皆差不多。從 CO 的濃度判斷，整體而言 10 月 6~10 日的擴散混合能力相差不多。與環保署 85 年 10 月臺灣地區一般測站 CO 月平均濃度 0.77ppm 比較，10 月 CO 的日平均濃度皆低於月平均濃度，顯示 10 月份污染事件大氣擴散稀釋能力較當月平均稀釋能力為佳，稀釋作用非 10 月份高臭氧污染事件的主控因子。

11 月份污染事件中，CO 八小時平均濃度介於 0.75~1.05ppm，22 日 CO 日間八小時平均濃度最高(1.05ppm)，但 22 日的臭氧平均濃度卻是兩個污染事件中最低的，顯示 22 日大氣的擴散稀釋能力非當日高臭氧污染之主要成因。除了 11 月 22 日，CO 日間八小時平均濃度以 26 日最高，由此推斷，11 月份污染事件中，26 日大氣的擴散稀釋能力最差，與 26 日高臭氧污染最嚴重相呼應。與台灣地區一般測站 11 月月平均濃度(0.75ppm)的比較可知，11 月的 CO 日平均濃度皆高月平均濃度，顯示此污染事件大氣的稀釋擴散能力較當月平均大氣稀釋能力為差，有利於臭氧的累積生成。

由這兩個污染事件的比較，得知 11 月份污染事件的 CO 八小時平均濃度較 10 月份高 0.15ppm 以上，平均約高 0.3ppm，初步判斷 11 月份的大氣擴散能力要比 10 月份差，除了 11 月 22 日，11 月 26 日日間八小時的大氣擴散能力為這 10 天裡最差，提供臭氧累積污染較佳的條件，而 11 月 26 日也是這 10 天裡南高屏地區臭氧污染最嚴重的一天，初步判斷大氣擴散稀釋能力的不佳，是構成 11 月份高臭氧事件的主要成因之一，但詳細的大氣狀況必須再利用其他氣象因素來驗證。

b. 混合層高度與測站風速之變化特徵

探討南高屏地區高臭氧事件大氣的擴散能力，大氣混合層高度與測站風速是重要的決定因素。混合層高度與近地風速分別代表污染物在垂直與水平方向的擴散尺度(莊，1999)。

在 10 月份污染事件中，由測站日平均混合層高度的變化顯示，高雄市北部與高雄市區之測站日平均混合層高度在 10 月份污染事件中，大都低於 400 公尺，也較南邊屏東、林園等測站的日平均混合層高度低。時間序列方面，所有測站之日平均混合層高度以 10 月 7、8 日在整個污染事件中最高，林園、屏東等偏南的內陸測站，日平均混合層高度可達 500 公尺以上，到了 10 月 9、10 日整個南高屏地區日平均混合層高度明顯地下降。在光化學反應最激烈的時間方面，以屏東測站為例(圖 3-3)，日間最高混合層高度在此污染事件中，整個南高屏地區，除了高雄北部、美濃、潮州與小港等測站

有低於 1000 公尺以下的情形，大部分測站在這五天皆如同屏東測站類似，日間最大混合層高度皆大於 1000 公尺以上。

由測站日平均測站風速的變化可以看出，除了沿海測站（如橋頭、林園與安南等）之日平均測站風速高於 1m/s，其餘測站之日平均測站風速皆在 1.5m/s，甚至 1.0m/s 以下；高雄市北部與市區之監測站，以 10 月 8 日之日平均測站風速最高，9、10 日則有逐漸下降的趨勢，至於內陸測站在 10 月份污染事件中，日平均測站風速皆低於 1m/s，每日的變化並不明顯。在光化學反應最激烈的時間方面，10 月份污染事件尖峰測站風速（12 時~16 時）除了幾個沿海測站較高，大部分皆在 3m/s 左右，整個南高屏地區尖峰測站風速則在 3-5m/s。

利用通風指數來綜合評估混合層高度與測站風速所造成之擴散稀釋能力，由測站之日平均通風指數變化，在地理分布方面，除了幾個沿海測站(如林園、橋頭等)之日平均通風指數高達 1000m²/s，其他區域(如高雄市區與高屏內陸地區)之日平均通風指數則皆在 800m²/s 以下；在時間序列方面，整個南高屏地區在 10 月 8 日後有遞減下降的趨勢，與日平均混合層高度及日平均測站風速之變化趨勢一致。若考慮光化學反應最激烈的時間，南高屏地區大部分地區最高通風係數可達 2500-4000m²/s 以上，擴散稀釋能力良好，與利用 CO 八小時平均濃度作評估，10 月份污染事件混合擴散能力良好的結果一致，但若與臭氧濃度之變化相比較，10 月份污染事件(如圖 3-4)，除了 10 月 9、10 日的臭氧平均濃度與通風指數有較明顯的反比趨勢外，即通風指數增加，臭氧濃度下降，其餘三天的臭氧平均濃度與通風指數並無直接的相關性。針對擴散作用而言，10 月份整個南高屏地區的擴散稀釋能力佳，雖然 10 月 8、9、10 日的通風指數有下降的情形，但擴散作用並非影響高臭氧生成的主控因子。

在 11 月份的污染事件中，由測站日平均混合層高度之變化來看，整個南高屏地區的日平均混合層高度大部分在 300m 以下，內陸的美濃與屏東測站日平均混合層高度則在 400m 以下，但測站彼此差異不大；從時間序列上來看，無論沿海或內陸測站，在 11 月 26 日的日平均混合層高度是除了 22 日的日平均混合層高度外，最低的一天，而且大部分的測站皆有逐日遞減的現象；若考慮光化學反應最激烈的時間，可以看出白天最高混合層高度變化方面，除了少數幾個測站（包括大寮、美濃、新營與鳳山等），日間最高混合層高度在 11 月份污染事件中一小部份測站可達 1000 公尺以上外，整個南高屏地區的白天最高混合層高度幾乎都在 800 公尺以下，如圖 3-5，22 日的日間最高混合層高度為此污染中最低的（500 公尺以下）其次為 26 日（600 公尺以下），而且大部分的測站皆有逐日遞減的趨勢，越往北方，趨勢越明顯。

由測站日平均測站風速之變化，除了台南地區與沿海測站（如橋頭、林園與安南等）之日平均測站風速在 1.0~3.0m/s 外，其餘地區測站之日平均測站風速皆在 1.0m/s 以下；考慮光化學反應最激烈的時間，南高屏地區之日間測站風速變化方面，大致可分為兩類，其一為內陸測站，包括大寮、美濃、屏東、楠梓、鳳山與潮州等臭氧污染較嚴重的測站，在這五天的白天（12 時~16 時）與日平均測站風速大都低於 2m/s；另外一種為沿海與偏北的測站，如小港、林園、前金、與台南等地的測站，這些測站日間測站風速雖然可達到 4~5m/s，但有逐日遞減的趨勢，到 26 日大都降至 3m/s 以下。

由測站之日平均通風指數變化，在地理位置方面，整個南高屏地區的日平均通風指數皆小於 800m²/s，幾個臭氧污染較嚴重的測站（如潮州、屏東與三民等測站），其通風指數更低於 400m²/s 以下；在時間序列方面，整個南高屏地區日平均通風係數最低的日子為 11 月 22 日，其次為 11 月 26 日，且大部分測站皆有隨時間遞減的趨勢；至於日間光化學反應最激烈時間的變化方面，11 月份南高屏地區日間八小時(9-16 時)平均通風指數低於 1000 m²/s 以下，且有逐日遞減的趨勢，如圖 3-6 所示。通風係數低代表當時大氣擴散能力的微弱，提供污染物累積良好的條件，與臭氧監測資料作比對，除了 22 日（臭氧污染最輕微）外，其餘日子的趨勢與臭氧的變化趨勢都滿一致，與前一節南高屏地區日間 CO 八小時平均濃度的結果相呼應。顯示大氣擴散能力的微弱應是 11 月份污染事件高臭氧濃度與長延時的重要影響因素之一。

比較兩個污染事件，11 月份無論測站風速、混合層高度與通風係數等三方面，皆小於 10 月份污染事件，顯示 11 月份大氣的混合擴散能力較 10 月份微弱，這與南高屏地區 11 月份的 CO 八小時平均濃度高出 10 月份 0.15ppm 以上的現象相符合，其中 11 月份大部分測站臭氧濃度與混合層高度、測站風速遞減與通風係數遞減趨勢相呼應，顯然擴散能力為重要影響因素之一，不過仍須考慮傳輸與排放性作用的影響。

c. 傳輸作用

大氣傳輸作用，就是風的影響。南高屏地區高臭氧污染事件的成因，主要是受到傳輸作用與季節性的差異(李，1995；陳，1996)。本研究利用網格化的風場作反軌跡分析，來探討污染物的傳輸作用及受體(監測站)與來源(污染源)的相互關連，其中風場是以離地 200 公尺的層平均風場作為軌跡推動風場。本研究先針對臭氧濃度超過法規標準 120ppb 的時測站作反軌跡的分析，10、11 月份污染事件總共有 124 個反軌跡案例，如表 3-1 高臭氧事件軌跡模擬案例所示。

張氏(1996)和鄭氏(2000)曾針對南高屏地區高臭氧逆軌跡之變化，將之分成三類：

1. 季風弱、海風強之海洋型：此種軌跡類型主要特徵是受到海陸風的影響，軌跡會經過海面。典型的海洋型軌跡如圖 3-7(a) 10 月 9 日 14 時三民測站之反軌跡，通常氣柱會在事件日前一天的深夜或事件日當天早上帶著充足的臭氧前驅物，經由微弱陸風推動下，離開南高屏地區，在海上經過適當的光化學反應，中午時候經由海風作用回到南高屏地區，並產生高臭氧污染。由表 3-2 10、11 月高臭氧污染事件軌跡統計表得知，海風型是兩個污染事件最主要的軌跡型態，佔全部 124 條軌跡的 51%（64 條）。這一類主要發生在沿海測站，如林園、三民、橋頭、小港等地，發生高臭氧時間為 13、14 時。但若內陸測站如屏東、潮州等高臭氧污染延時較長，在 15、16 時亦會發生此種類型的軌跡。

分析其經過的區域，主要來自於台南市與高雄縣工業區（如永安、仁大工業區）。細部分析臭氧前驅物（NO_x 與 NMHC）的來源，NO_x 的貢獻量以線源為主，污染源來自於台南高雄的高速公路與省道；NMHC 的貢獻量以面源為主，污染源來自於台南市區。

2.季風型：此種軌跡線係以盛行季風為主導，軌跡移動的速度為三種類型中最快的，氣柱12小時可運行100公里以上。典型的季風型如圖3-7(c)10月10日12時三民測站之軌跡所示，氣柱受東北季風作用下，由北往南行進，當進入南高屏地區後氣柱移動速度減慢，吸納足夠之臭氧前驅物後，便產生高臭氧。此種軌跡類型佔兩個污染事件的19%（23條）。通常這種類型的軌跡都在陸地運行不會跑到海上，也是一些內陸測站主要的運行軌跡。

分析其經過之區域，主要來自於嘉義市或高雄縣北部工業區（如永安、仁大工業區），細部分析臭氧前驅物（NO_x與NMHC）的來源，NO_x以線源為主，污染源來自於台南高雄的高速公路與省道；NMHC的貢獻量以面源為主，污染源來自於高雄市與台南縣。

3.緩慢季風型：這種類型與季風型類似，只是氣柱移動的速度較慢，氣柱平均移動速度約在1m/s左右，12小時可運行50公里以下，即歸屬緩慢季風型，典型緩慢季風型如圖3-7(b)10月10日11時大寮測站之軌跡，而此種軌跡類型佔兩個污染事件的30%（37條）。

分析其經過的區域，主要有台南市、高雄市區與高雄縣的工業區。細部分析其臭氧前驅物（NO_x與NMHC）的來源，NO_x的貢獻量以點源與面源為主，污染源來自於高雄縣市之工業區與高雄市都會區；NMHC的貢獻量以生物源為主，污染源來自於南高屏內陸地區（接近中央山脈）。

分析南高屏地區污染型態，發現當天吸納污染量進而發生高臭氧的事件（D1），佔兩個污染事件的67%（表3-2），當時吸納污染量主要來自於南高屏境內，顯示南高屏地區臭氧前驅物的主要污染源係來自於南高屏地區境內，與逢（2001）的研究結果一致。

4. 綜合說明

經由化學性、物理性與排放性作用的解析後，本研究利用屏東與潮州測站作10、11月份污染事件的綜合評估，期能找出臭氧污染事件中造成高臭氧污染的成因。

在10月份污染事件中，由圖3-8 10月6~10日屏東測站14時之軌跡變化與表3-3 10月6~10日屏東測站14時各種資料統計，可以看出，10月6日為屏東在這五天14時中，臭氧污染最嚴重的一天(156.3ppb)。在化學性作用，從溫度、日照時數與雲覆蓋量三方面來看，6日屏東測站提供良好光化學反應的環境；而由軌跡線之分析得知，氣柱來自於南高屏內陸地區，在前一天吸納了足量生物源之非甲烷碳氫化合物(NMHC)，輕微的陸風影響下，當天11時抵達高雄市區，並吸納了市區線源適量之NO_x，在較強的海風吹襲下，與適當之反應時間下，返回屏東測站並產生高臭氧。

10月7日時，與10月6日相比較，當時大氣亦提供良好光化學反應之環境，來自於嘉義縣沿海的氣柱，在當天凌晨吸納了永安工業區NO_x排放量，12時吸納了高雄市NMHC污染物，在海風影響下，往西移動至屏東測站，因為NMHC吸納量不足，加

上垂直混合層高度有 1619 公尺，提供良好之垂直擴散尺度，因此並未產生高臭氧(>120ppb)的污染。

10 月 8 日屏東 14 時的臭氧濃度為這五天中最低，探討其原因，發現其日照時數最低，大氣光化學反應之環境較差，當天屏東測站的擴散稀釋作用良好（通風指數 > 3000m²/s），最主要係因為來自海上的氣柱，在當天 7 時在仁大工業區吸納大量的 NO_x，卻沒有吸收足量的 NMHC(VOC/NO_x=0.78)，造成在屏東臭氧濃度的輕微。

10 月 9 日 14 時屏東測站的臭氧濃度為 86.3ppb，探討其原因，主要是 10 月 9 日在屏東地區提供良好的擴散稀釋能力(通風指數為 5 天中最高的)，而當天 3 時在仁大工業區吸納了足夠 NO_x 與 NMHC 臭氧前驅物，經過光化學軌跡模式的處理，會產生高臭氧的污染，但高臭氧污染的尖峰時間係在當天 12、13 時，也就是軌跡由海上進入高雄市區的時間，驗證高雄市區三民測站的臭氧監測值，發現在 12、13 時的確有高臭氧污染發生。當氣柱往東移至屏東測站時，由於大氣較佳之擴散稀釋能力，加上光化學反應減緩，因此臭氧濃度便降低。

10 月 10 日為屏東在 10 月份污染事件中，另一個高臭氧污染的日子。發現當天擴散能力的降低，(混合層高度只有 558 公尺，通風指數亦低至 1400m²/s)，加上氣柱在進入高屏地區後，移動速度減緩，當天早上 10 時在高雄市區吸納了適量的 NO_x 與 NMHC 後，經過適當時間的反應，在擴散稀釋能力不佳的屏東測站，產生高臭氧。

在 11 月份污染事件中，由圖 3-9 11 月 22~26 日潮州測站 13 時之軌跡變化與表 3-4 11 月 22~26 日潮州測站 13 時各種資料統計，可以看出，11 月 22 日為潮州在這五天中，臭氧污染最輕微的一天，在化學作用無論從溫度、日照時數(0 小時)與雲覆蓋量(1.0)三方面來看，22 日並未提供良好光化學反應的環境，加上 22 日為行走速度最快的季風型軌跡，吸納的污染量少，因此並未造成高臭氧的污染。

11 月 23 日起潮州 13 時的臭氧濃度皆高達 100ppb 以上。在化學性作用方面，從雲覆蓋量、溫度與日照時數三方面來看，這四天大氣皆提供良好光化學反應之環境；在擴散作用方面，從混合層高度、測站風速與通風指數三方面來看，大氣稀釋污染物能力不佳(通風指數 < 500m²/s)，適合污染物的累積生成，加上 23 日 5 時在高雄縣內陸地區吸納了足夠的污染量，經過適當時間的光化學反應後，氣柱 12 時在大寮地區便產生高臭氧污染(O₃=128.5ppb)。當氣柱運行至潮州測站，因 NMHC 排放量不足(VOC/NO_x=3.19)，臭氧濃度便降至法規標準之下(118.9ppb)。

11 月 24 日與 11 月 23 日污染事件日比較，24 日臭氧濃度為 100.5ppb，較 23 日低。分析其原因，在化學作用與擴散作用，兩天皆提供良好的光化學反應與臭氧累積生成的環境，由軌跡分析，發現 24 日是於前一天的 14 時吸納了重大點源 NO_x 的污染量，但未吸納足夠的 NMHC 污染量(VOC/NO_x=1.2)，為 NMHC-limited 的限制，所以未造成超過法規標準的高臭氧污染。

11 月 25 日潮州 13 時的臭氧濃度為 114.5ppb，並未超過法規標準。從化學作用來看，25 日同樣提供良好的光化學反應；在擴散性作用，當天大氣提供較好的混和稀釋

能力(混合層高度、測站風速與通風指數皆為五天最高的)，加上吸納的污染量為五天中最低的，因此當氣柱 13 時移至潮州測站，並未造成高臭氧的污染。

11 月 26 日為潮州在這五天 13 時中，臭氧污染最嚴重的一天(147.1ppb)。在化學作用，當天大氣亦提供良好光化學作用的環境；在擴散作用，除了 22 日外，26 日的混和稀釋能力在其餘四天中最差的，加上 26 日為氣柱移動速度最慢的緩慢季風型軌跡，在當天 7 時吸納了足夠的臭氧前驅物，VOC/NO_x 比例適當 (VOC/NO_x=5.2)。氣柱 13 時到了潮州測站，在擴散條件不佳、臭氧前驅污染物充足，良好光化學反應的環境與適當的反應時間下，便生成超過法規標準的高臭氧污染。

綜合以上分析，南高屏地區秋季臭氧污染事件的主控因子，為傳輸作用，也就是風的影響。由於季風風場陰影區的效應，造成南高屏地區的季風風速微弱，南高屏地區的臭氧前驅物容易累積，使南高屏地區易生成高臭氧污染，而區域性環流(海陸海)，會影響高臭氧分布的情況。至於南高屏地區秋季之高臭氧污染事件中，化學性作用與排放性作用，因南高屏地區日照與溫度充足、污染排放量高，為一充分條件；擴散性作用對 11 月份污染事件的臭氧生成有助益，但整體而言並非南高屏地區臭氧生成的主控因子。

四、 結論與建議

1. 結論

研究結果可得到以下的結論：

(1). 以化學性作用來分析，10、11 月份兩個污染案例，除了 11 月 22 日外，南高屏地區在日間八小時(9-16 時)平均雲覆蓋量小於 0.3、日照時數大於 3.4 小時與溫度條件充足(日平均溫度大於 295K)等條件下，南高屏地區皆提供光化學反應良好的環境。顯示南高屏地區秋季的大氣環境，足以驅動光化學反應的進行。然而 11 月 22 日擴散能力，雖然為這兩個案例事件日中最差的一天，但 22 日的日照時數小於 1.0 小時、雲覆蓋量等於 1.0(陰天)，不適於光化學反應的進行，所以 22 日臭氧污染輕微的主因。

(2). 以擴散作用來分析，11 月份無論從混和層高度、測站風速與通風指數，均對臭氧累積生成有幫助，尤其 11 月 26 日南高屏地區嚴重高臭氧事件，擴散稀釋能力的下降，為高臭氧生成的主控因子之一。而 10 月份的擴散作用並非臭氧污染的主控因子。

(3). 由軌跡線分析，三種類型的軌跡到了南高屏地區後會有明顯東西向的偏移，與東北盛行季風方向不同。顯示中央山脈地形的屏障，造成東北季風無法深入南高屏地區，而位於背風區的南高屏地區會產生季風風場的陰影區，造成盛行季風微弱，受區域性的海陸風效應影響大，進而造成臭氧的累積與往內陸的移動。而盛行季風微弱(日平均風速低於 3m/s 以下)與海陸風效應，是造成兩個高臭氧事件的主控因子。

(4). 在汙染來源分析顯示，南高屏地區的高臭氧事件之臭氧前驅物主要來自南高屏境內，其中 NO_x 汙染來源主要以線源及高雄縣市的重大點源為主，NMHC 汙染來源主要來自面源與高雄縣市的重大點源。

(5). 南高屏地區秋季臭氧汙染事件的主控因子，為傳輸作用(風的影響)。由於季風風場陰影區的效應，南高屏地區的季風風速微弱與區域性環流(海陸海)盛行，造成南高屏地區臭氧前驅物容易累積，進而生成高臭氧，海陸風效應亦會影響高臭氧的分布。至於化學性作用與排放性作用，因南高屏地區日照與溫度充足、汙染排放量高，為一充分條件；擴散性並非南高屏地區臭氧生成的主控因子。

2. 建議

(1). 由軌跡線分析可知，海陸風效應對臭氧生成分布有重要的影響，因此南高屏地區沿海的風場資料就非常的重要。但因為台灣地區外海氣象資料的不足，並無法提供適當的訊息，對軌跡的分析就容易造成誤差，建議以後可加強台灣外海，尤其是南高屏地區外海氣象資料的補充。

(2). 在排放作用的評估中，本研究假設其每日並無重大變化，因此採用中鼎顧問公司建立的民國 85 年「台灣地區空氣汙染物排放資料庫系統」。但由於地表生物種類的變化（如栽種、收割等作用所造成地表植被的改變），使得生物源 VOC 的排放量有所差異，對臭氧生成的影響也有所不同，未來可對生物源 VOC 汙染量作進一步的研究與調查。

(3). 本研究室採用 200 公尺層平均風場作逆軌跡分析，主要著重於混合層高度以下汙染物的傳輸作用，而混合層上方風場亦對汙染物的輸送有重大的影響，尤其是汙染物跨區輸送的作用。南高屏地區海陸風盛行，但區域性海陸風效應是否仍會影響到混合層上方的風場，可以更深入的探討。

五、 參考文獻

- 白 玲 1997，中部地區臭氧濃度特徵與天氣型態相關探討，私立東海大學環境科學研究所碩士論文。
- 呂相乙、林沛練、林建隆、林忠賢、林宏乾、蔡徵霖，2000，軌跡模式加入地形參數之影響研究，第十七屆空氣汙染控制研討會論文集，483-486。
- 李俊毅，1995，台灣南部地區臭氧汙染分析，國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文。
- 林清和，1980，台灣北部地區嚴重空氣汙染事件日之分析，國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文。
- 張能復等，1997，都會區臭氧汙染趨勢分析及防制之研究，EPA-86-FA42-09-02，行政院環保署。
- 張育銜，1999，南高屏地區高臭氧事件日之研究，國立中興大學環境工程研究所碩士論文。
- 陳怡伶，1996，多層式光化學軌跡模式之研究，國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文。

- 莊振義，1999，反應性軌跡模式於南高屏地區臭氧污染事件之應用與解析，國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文。
- 柳中明、蘇維中(1997) 區域性氣象環境與高臭氧之相關分析，*大氣化學*，vol.25, no.1，22-49。
- 鄭佳芳，1999，南高屏地區伴隨臭氧污染事件之環流場特徵分析，中央大學大氣物理研究所碩士論文。
- 鄭焜益，2000，反應性軌跡模式之應用與改進-以民國八十五年南高屏臭氧污染事件劇本為例，台灣大學環境工程研究所碩士論文。
- 翁財發，1989，大台北地區光化學軌跡煙柱模式之研究，國立台灣大學環境工程學研究所碩士論文。
- 行政院環保署網站：<http://www.epa.gov.tw>
- Barnes, S.L. 1973 "Mesoscale objective map analysis using weightend time-series observations", NOAA tech. Memo., ERL NSSL-62, National severe storms laboratory, Norman Oklahoma, North America, 60.
- Chang, L.-F. W., R. R. Hwang and S.-C. Lin (1983) "A variational-kinematical model for flow over complex terrain", *Ann. Rept. Inst. Phys., Acad. Sin.*, 13, 89-102.
- Fishman, J., C. E. Watson, J. C. Logan and J. A. Logan. (1990) "Distribution of troposphere ozone determined from satellite data", *J. Geophys. Res.*, 95, 3599-3617.
- Holzworth, G.G. (1967) "Mixing depth, wind speed and air pollution potential for selected locations in the United States", *J. Appl. Met.*, 6, 1039-1044.
- Seinfeld, John H. and Pandis, Spyros N., (1998) "Atmospheric chemistry and physics from air pollution to climate change", *Wiley interscience*.
- Kuntasal, G., and T. Y. Chang. (1987) "Trends and relationships of O₃, NO_x and HC in the south coast air basin of California", *J. Air Pollut. Control Assoc.* 37, 1158-1163.
- Leighton, P.A. (1961) "Photochemistry of Air Pollution", *Academic Press.*, N.Y.
- Liu, S.C., D. Kely, M. McFarland, J. D. Mahlman and H. Levy II (1980) "On the origin of tropospheric ozone." *J. Geophys. Res.*, 85, 7546-75523.
- McRae, G. J. (1981) "Mathematical modeling of photochemical air pollution", Ph D. Thesis, Cal. Inst. Of Tech. Pasadena, Cal.
- Miller, M. E., (1967) "Forecast afternoon mixing depths and transport wind speed", *Mon. Wea. Rev.*, Vol.45, 35-44.
- Seinfeld, J. H.(chairman), (1991) "Rethinking the ozone problem in urban and regional air pollution", *National academy press*, Washington D.C.

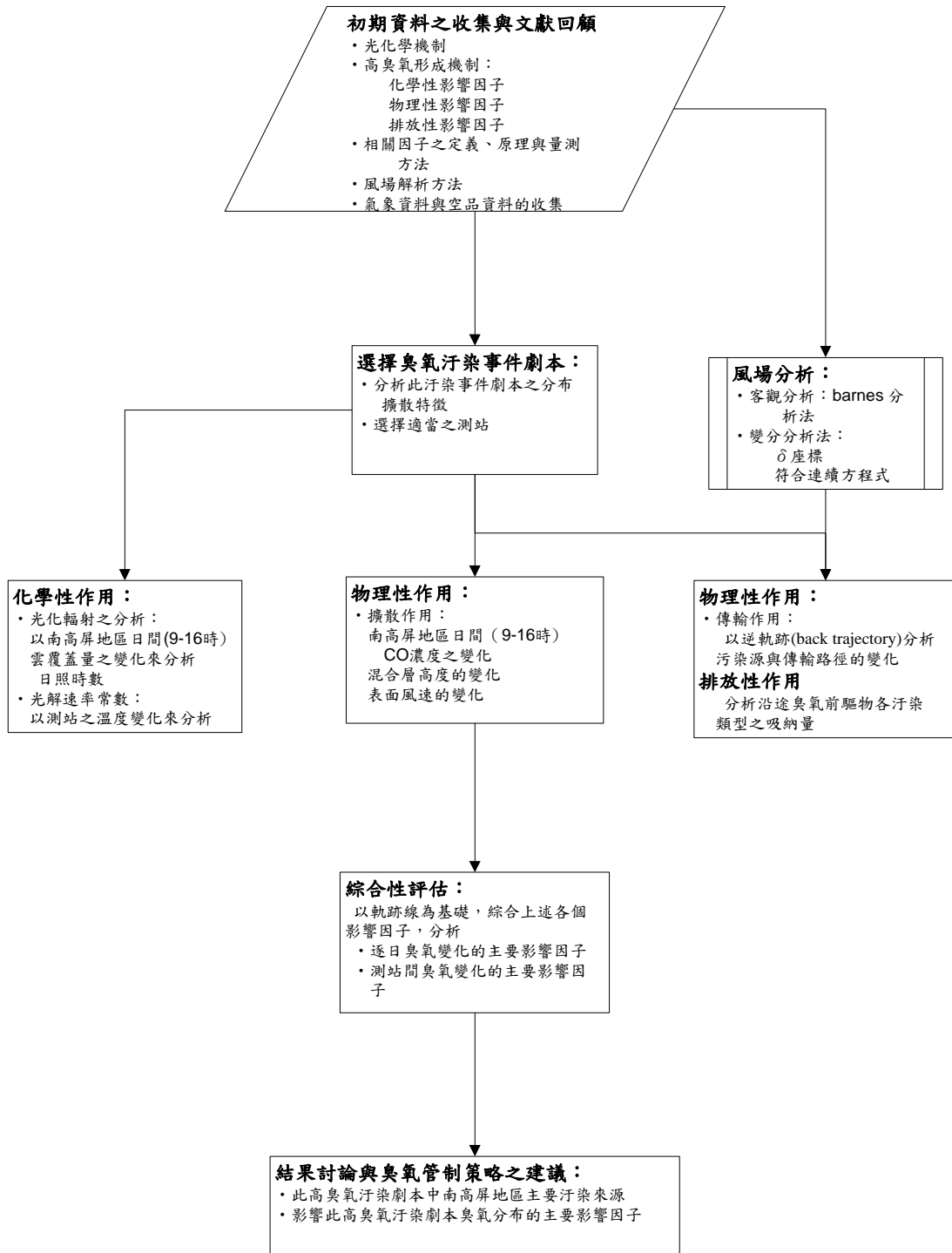


圖 2-1 研究方法流程圖

表 3-1 南高屏地區 10、11 月份臭氧污染事件統計表

測站	超過法規標準次時數 (小時)					10 月	超過法規標準次時數 (小時)					11 月
	1006	1007	1008	1009	1010	Total	1122	1123	1124	1125	1126	Total
新營											2(13-14)	2
善化											2(13-14)	2
安南											2(13-14)	2
後甲												
美濃			2(14-15)	1(15)		3				1(15)	2(16-17)	3
橋頭			3(12-14)	2(13-14)		5					3(13-15)	3
仁武				1(14)		1						
鳳山	2(13-14)	1(14)			2(13-14)	5					2(13-14)	2
大寮	1(13)				2(11-12)	3		4(12-16)	3(13-15)		4(13-16)	11
林園	1(13)		1(16)		3(11-13)	4				5(12-16)	5(14-18)	10
楠梓			3(12-14)	2(13-14)		5				1(14)	4(13-16)	5
左營				2(13-14)		2						
三民	2(13-14)		1(15)	3(12-14)	3(12-14)	9				3(13-15)	4(13-16)	7
前金										2(13-14)	4(13-16)	6
小港	3(12-14)		1(15)	3(13-15)		7					2(15-16)	2
屏東	2(14-15)	1(13)			3(13-15)	6				1(16)	2(13,15)	3
潮州		1(12)			1(13)	2	1(15)	3(14-16)	2(14-15)	2(14,16)	5(12-16)	13
站時數	11	3	11	14	14	53	1	7	5	15	43	71

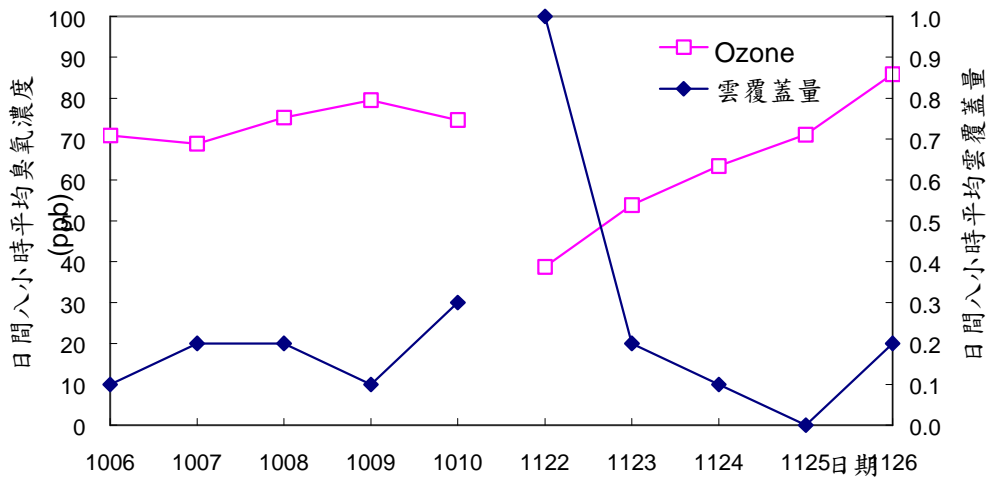


圖 3-1 南高屏地區日間八小時 (9-16 時) 平均雲覆蓋量與臭氧平均濃度之比較

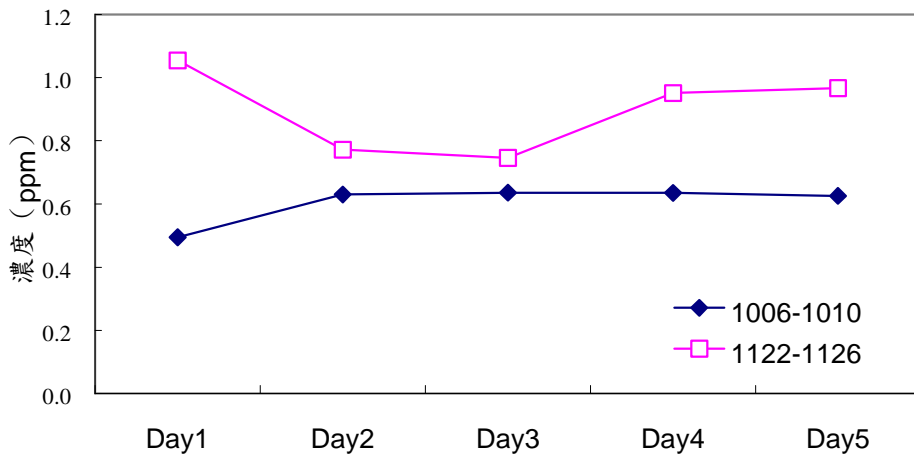


圖 3-2 南高屏地區 CO 八小時 (9-16 時) 平均濃度變化

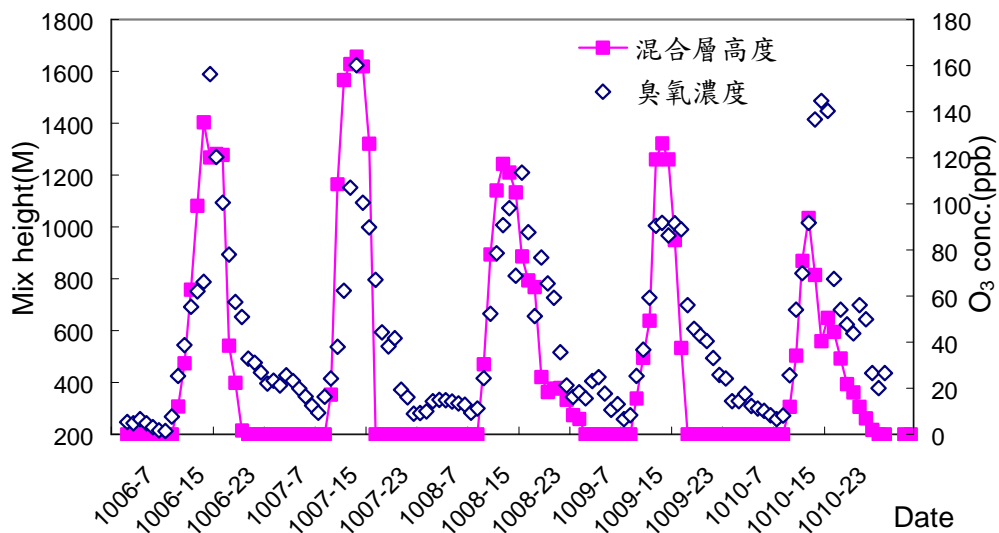


圖 3-3 屏東測站 10 月份混合層高度與臭氧濃度之變化

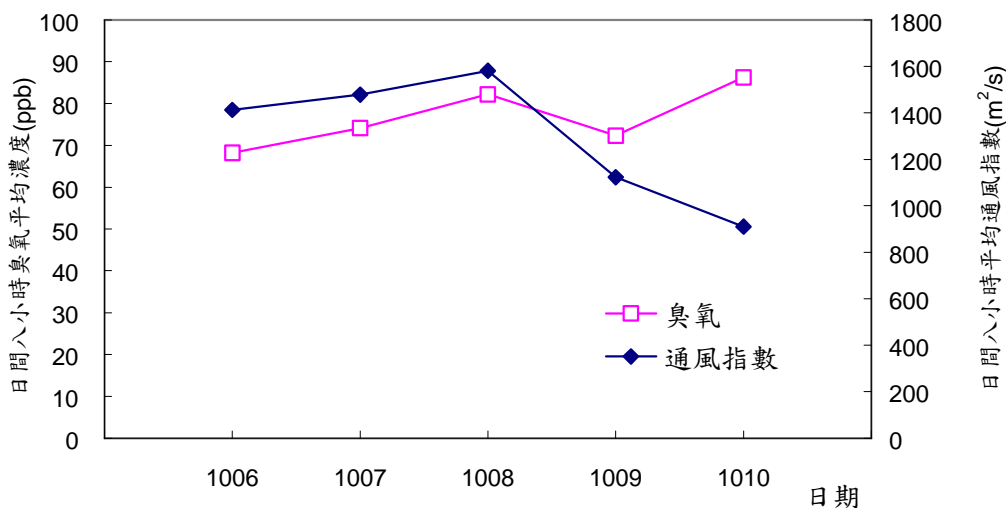


圖 3-4 10 月份日間八小時(9-16)平均通風指數與臭氧濃度變化

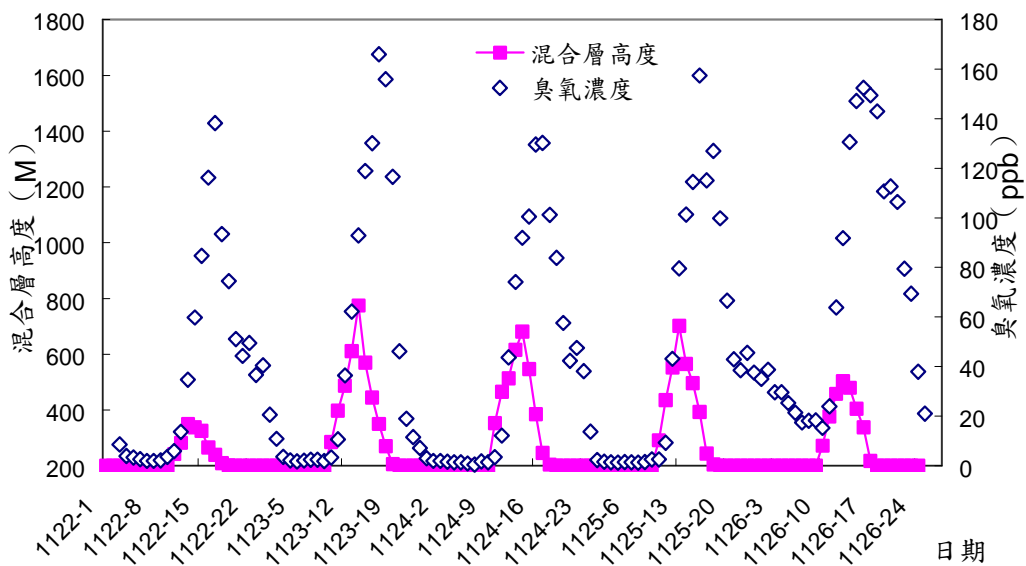


圖 3-5 潮州測站 11 月份混合層高度與臭氧濃度之變化

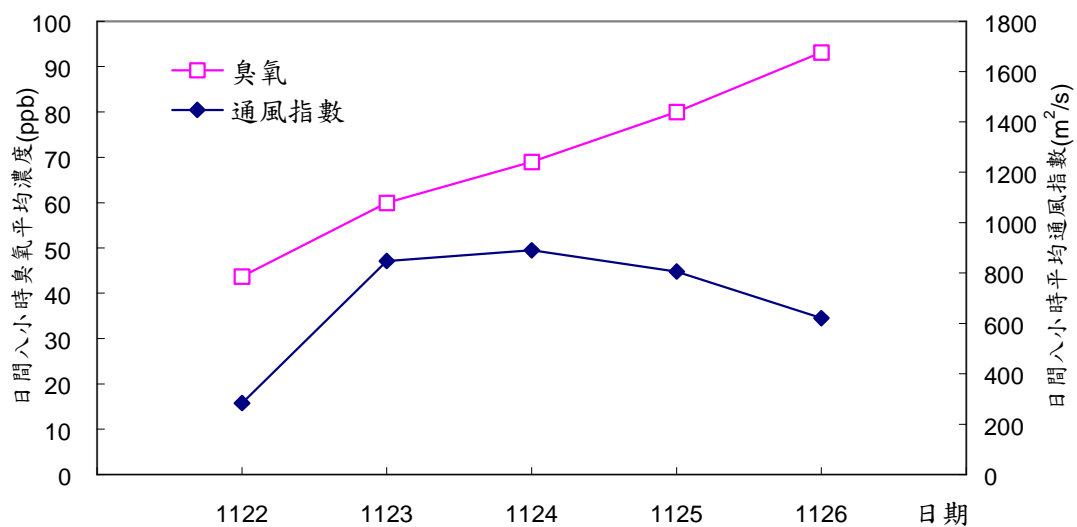
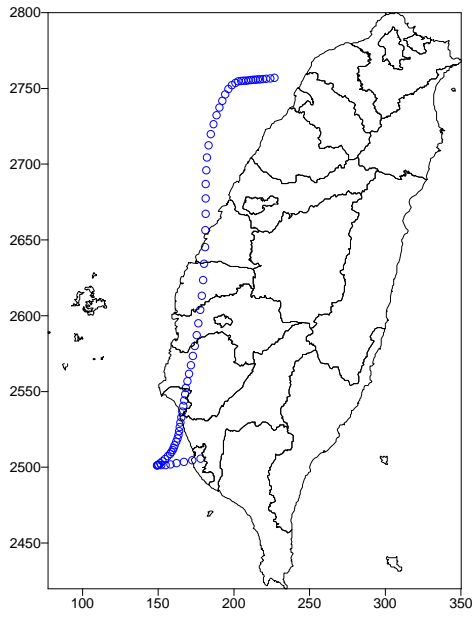


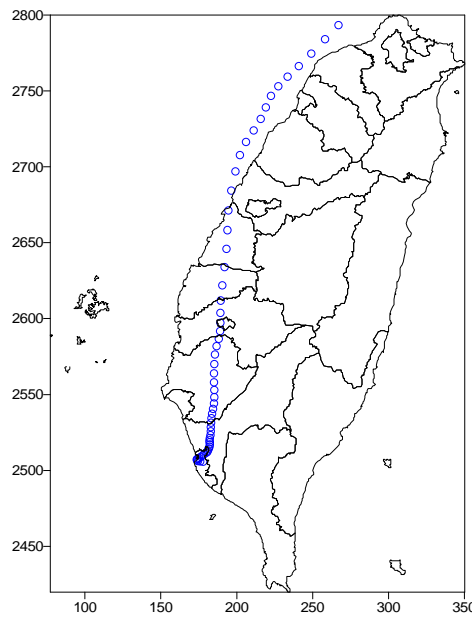
圖 3-6 11 月份日間八小時(9-16)平均通風指數與臭氧濃度變化

表 3-2 10、11 月高臭氧污染事件軌跡統計表

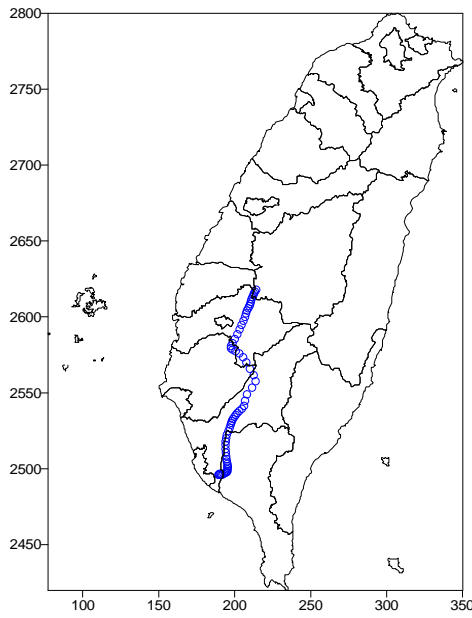
軌跡類型 臭氧類型	海風型		季風型		緩慢季風型		Total	
	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
1006	6				5		11	
1007		1			2		2	1
1008	4	3			4		8	3
1009	8	5	1				9	5
1010	3		5		1	5	9	5
1122			1				1	
1123			7				7	
1124	1		4				5	
1125	5	5	4	1			9	6
1126	10	13			12	8	22	21
Total	37	27	22	1	24	13	83	41
	64		23		37		124	



(a) 海洋型軌跡線，10月9日14時三民測站



(b) 緩慢季風型，10月10日11時大寮測站



(c) 季風型，10月10日12時三民測站

圖 3-7 三種典型軌跡線，(a) 海洋型，(b) 緩慢季風型，(c) 季風型

59T14d1006-1010

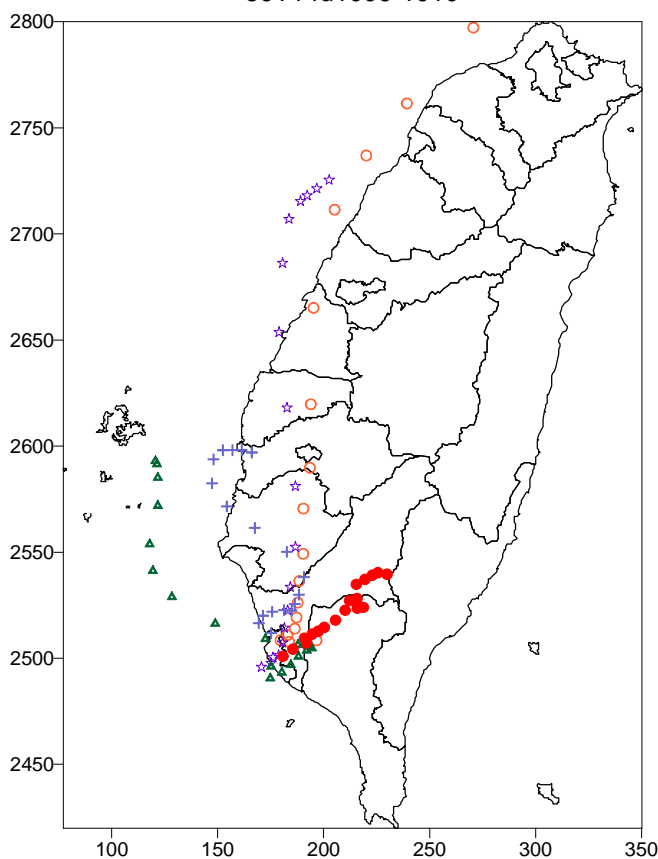


圖 3-8 10 月 6~10 日屏東測站 14 時之軌跡變化

表 3-3 10 月 6~10 日屏東測站 14 時各種資料統計

日期		1006	1007	1008	1009	1010	
符號		●	+	△	☆	○	
臭氧(ppb)		156.3	100.5	68.7	86.3	144.6	
化學作用	溫度(°C)	31.4	32.6	31.3	31.9	30.3	
	日照時數(hr)	1(9.2)	1(8.3)	0.7(4.3)	1(7.9)	1(5.4)	
	雲覆蓋量	0(0.1)	0.1(0.2)	0.2(0.2)	0(0.1)	0.4(0.3)	
	相對濕度(%)	65	65	65	74	67	
擴散作用	混合層高度(m)	1267.9	1619.4	1133.4	1259.8	558.4	
	測站風速(m/s)	2.8	1.6	3.1	3	2.5	
	通風指數(m ² /s)	3550.12	2591.04	3513.54	3779.4	1396	
	穩定度	2	1	2	2	2	
排放作用	NO _x (kg)	點源	11.5	28.3	339.3	231.8	19.3
		線源	50.7	31	62.5	62.7	73.3
		面源	3.1	1.8	4.9	5.8	3.1
		總和	65.3	61.1	406.7	300.3	95.7
	NMHC(kg)	點源	7.1	13.2	17.4	360.9	1.4
		線源	15.2	11.3	35.3	31.7	24.5
		面源	20.6	35.9	37.1	74.7	75.6
		生物源	82.3	15.8	5.3	6.8	10.8
		總和	125.2	76.2	95.1	474.1	112.3
	吸納重大汙染量的時間		11	12	7	3	10
VOC/NO _x		6.39	4.14	0.78	5.23	3.89	
軌跡類型		緩慢季風型	海風型	海風型	海風型	季風型(5)	

* 註一：14 時之日照時數與相對濕度係以氣象局高雄測站的監測資料，日照時數()括號內的數字為當天總日照時數。

** 註二：雲覆蓋量為 14 時屏東測站的監測值，()括號內的數字為南高屏地區(新營至潮州)日間八小時(9-16 時)之平均資料。

60T13d1122-1126

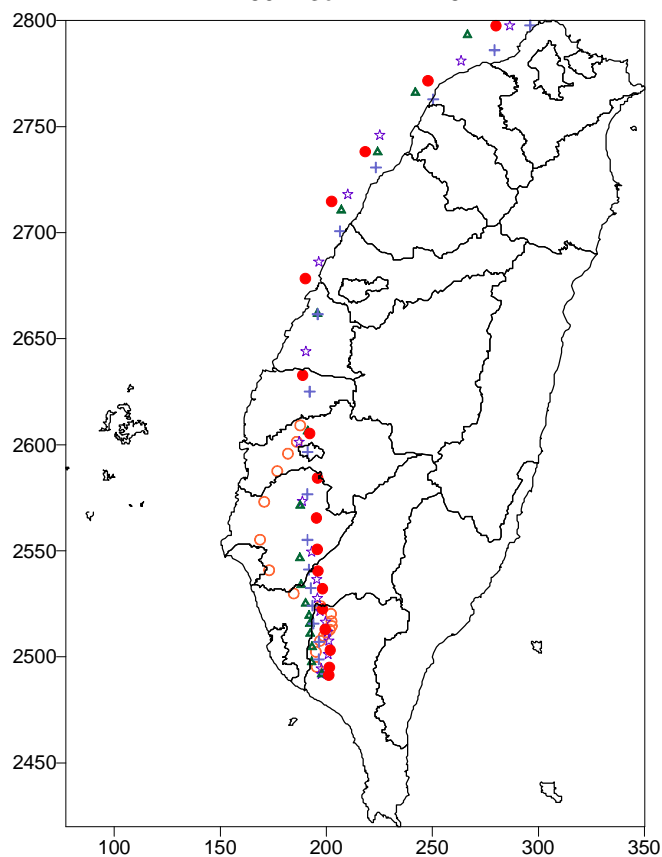


圖 3-9 11 月 22~26 日潮州測站 13 時之軌跡變化

表 3-4 11 月 22~26 日潮州測站 13 時各種資料統計

日期		1122	1123	1124	1125	1126	
符號		●	+	△	☆	○	
臭氧(ppb)		84.7	118.9	100.5	114.5	147.1	
化學作用	溫度(°C)	25.9	28.1	27.8	28.3	28.4	
	日照時數(hr)	0(0)	1(4.6)	1(6.5)	1(6.9)	0.6(3.4)	
	雲覆蓋量	1.0(1.0)	0.2(0.2)	0(0.1)	0(0.0)	0.1(0.2)	
	相對濕度(%)	72	64	67	70	70	
擴散作用	混和層高度(m)	349.4	611.6	615.2	702.2	503.3	
	測站風速(m/s)	1.1	0.8	0.7	1.2	0.8	
	通風指數(m ² /s)	384.34	489.28	430.64	842.64	402.64	
	穩定度	2	1	1	1	1	
排放作用	NO _x (kg)	點源	2.7	58.8	115.4	3.1	14.4
		線源	38	45.6	23.5	17.4	49
		面源	1.8	1.9	1.2	1.1	2.5
		總和	42.5	106.3	140.1	21.6	65.9
	NMHC(kg)	點源	0.2	35.6	1.6	1.4	23.1
		線源	17.2	19.1	8.6	8.7	22.3
		面源	28.2	31.2	19.7	21.9	46.1
		生物源	8	16.3	20.9	14.7	12
		總和	53.6	102.2	50.8	46.7	103.5
	碰到重大污染量的時間		8	5	14(23)	7	7
VOC/NO _x		4.19	3.19	1.2	7.17	5.21	
軌跡類型		季風型	季風型	季風型	季風型	緩慢季風型	

* 註一：13 時之日照時數與相對濕度係以氣象局高雄測站的監測資料，日照時數()括號內的數字為當天總日照時數。

** 註二：雲覆蓋量為 13 時潮州測站的監測值，()括號內的數字為南高屏地區(新營至潮州)日間八小時(9-16 時)之平均資料。