

# 氣象環流對背景大氣成份傳送影響： 第一部份：軌跡方法之建立及個案分析結果

王作臺<sup>1</sup> 胡志文<sup>1</sup> 林松錦<sup>1</sup> 柳中明<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立中央大學大氣科學系

<sup>2</sup> 國立台灣大學大氣科學系

(中華民國八十二年十一月四日收稿；中華民國八十三年一月十五日定稿)

## 摘 要

本研究是臺灣背景大氣研究之一部份，此部份研究的主要目的，是要瞭解氣象環流對背景大氣成份傳送的影響，探討本地區空氣污染物受局部環流影響混入背景大氣中的可能狀況。同時，藉由對臺灣地區氣候、天氣資料之分析，來探討影響臺灣最頻繁又最大的環流型態，並建立一系列之分析方法，來了解其它地區空氣污染物輸入本地區之狀況及其隨季節環流變化之情形。

此部份主要是敘述軌跡分析方法之建立，以1991年在墾丁對臭氧所做的觀測之個案資料，來探討臭氧值受氣象條件及軌跡影響之情形。在Pem-West期間(1991年9月-10月)的個案分析結果，該期間內的臭氧變化情形可被區分為三種特性，一為在背景值區域即10-20 ppb，在此期間，其24小時前軌跡線主要來自東南或東邊，且伴隨較高濕度及上升運動，第二種特性為臭氧值在40-50 ppb，主宰的氣流為下沉的，而且相對濕度較低(~80%)，軌跡來向大致由東北方向而來，第三種特性則臭氧值在100 ppb左右，此時的軌跡大都來自西邊或西北邊且仍伴隨著下沉氣流，明顯的與臺灣西岸的高濃度產生量有關。

本文也初步討論了軌跡的季節特性。

關鍵詞：背景大氣、軌跡、氣象環流

## 一、前 言

1982-1983年間，中太平洋熱帶海洋面上的海水溫度異常的增暖，而在這持續的時間內，澳洲發生了本世紀最大的乾旱，印度、印尼、菲律賓及中南美洲也是異常的乾旱，太平洋的風暴次數增加，美國東、西岸及古巴，則是受到了水災的巨大影響，這個因大氣—海洋交互作用產生的異常現象，是相當著名的。而發生在1982-83年間的，則是近百年來有紀錄的狀況下，最大的大範圍海水增溫(此稱為El-Niño事件)，在此後的幾年中，陸續也有此種氣候異常發生之報導。其對全球各地區之影響是相當深遠的。

吾人知道，氣候系統一般來說，可被認為是包含了大氣、海洋、海冰、岩石相及生態等分量之作用或交互作用所產生的結果。上述的El-Niño即是大氣-海洋（氣候系統內二個主要分量）的交互作用下最有名的例子。

輻射是使氣候系統內各分量個別作用及交互作用的最主要能量之一，這些年來，由於許多地區人口快速的成長，及工業急速的發展，人類各種工業化的行為，產生的二氧化碳，甲烷，氟氯化物及氧化氮等，使得大氣成份產生了很大的改變，而這些能產生溫室效應氣體之增加，使得地球-大氣系統變的愈來愈暖。但這些大氣中不同的分子在產生溫室效應的結果上，其速率是不同的。同時海洋在這些具有溫室效應氣體總量的改變中，也伴演了源和匯(Source和Sink)的角色，由於海洋分量內的各種作用，使得目前關於氣候變遷的一些假設，存在著不少的不確定性(IPCC, 1990)。

另一方面，世界各地仍有許多地方，沒有對這些具有溫室效應氣體的含量做長時間有系統的度量，也未對各該地區各種氣體（具溫室效應或空氣污染物），受上游氣流長程傳送，或屬於地區所特有的所謂背景大氣成份，有所測量及分析。所以爲了了解在各地區的背景大氣的化學成份及其在時間、空間上之變化，並對此種化學成份在大氣及海洋中的變化，和其與氣候變遷的相關，是近年來在國際地圈及生物圈計劃(IGBP)下的一個主要研究主題之一(IPCC, 1990)。

本研究之整體目的是爲了了解在臺灣地區的背景大氣化學成份之時空分佈，及此分佈的變化和上游環流型態，季節變化的關係。在作法上，吾人將以長期的資料，來分析到達本區（臺灣）的氣流方向及其在不同季節下之特性，同時配合由臺灣背景大氣研究計劃下，在各測點測得的各種背景大氣化學成份之分佈，探討此分佈和大尺度環流及上游來源長距離傳送之關係。國內的研究方面，國內對環流的研究，偏向於了解環流型態在梅雨期時不同尺度特徵（陳，1988；陳與周，1988）及梅雨期乾濕梅雨年大尺度環流之特徵（陳，1987；劉，1987；許與王，1990.等），或是在探討梅雨季內之豪雨發生之機制（蔡與鄭，1987；陳，1990），而對環流型態影響長距離污染物傳送之研究較少觸及。

在此系列的文章中，第一部份著重在分析方法之建立，軌跡個案之計算及一些軌跡季節變化之初步結果。第二部份則將以多年資料歸納分析軌跡之氣候統計上特性並討論其與季節變化之關係，第三部份則將著重於描述大氣化學變數之分佈和氣象環流之關係。

## 二、氣流軌跡（Trajectory）之計算方法及資料

### （一）軌跡之計算方法

對某個地區而言，由何方向及何高度的氣流最容易到達該地區，可幫助吾人來了解該地區之背景大氣化學成份受上游長距離傳送的影響。而軌跡的計算則是最常用的方法，來代表因不同氣象條件的存在而對該地區產生不同的源和匯。一般來說，軌跡的計算大致可分爲在等壓面及等熵面上之計算方式。等壓面的計算方式比較容易，但因此方法不能考慮到大氣中的垂直運動對氣團的影響，在對較長時間的傳送上，產生的誤差較大，而等熵面上之計算，較符合氣塊運動的絕熱保守性，也能實際的考慮空氣塊的三度空間運動之特性。

目前軌跡的計算，在等壓面上的有Danielsen (1961)、Pack等(1978)、Miller和Harris (1985)等。對等熵面上的則有Danielsen (1961)、Crum和Stevens (1988)、Petersen和Uccellini (1979)等

。Danielsen (1961) 同時解能量及位移方程以求取跡線，由於其解不唯一且所用的時間積分間距過大（12小時），因而此方法無法考慮沿跡線上的加速度變化。Petersen 和 Uccellini (1979) 年利用非黏滯 (inviscid) 方程直接計算跡線，他們所用的數值方法在作第一次時間積分時需要特殊假設。Crum 和 Stevens (1988) 針對此利用四階 Runge-Kutta 方法計算軌跡，以克服第一個時間積分時所需的特殊假設。在本研究中，要同時計算等壓及等熵面上之軌跡，因此擬採用 Crum 和 Stevens (1988) 的方法來推算，此法之優點是採用由流體中之動量方程式，在  $p$  座標及  $\theta$  座標之特性，直接以數值方法推算軌跡，同時，在等熵及等壓之計算上，用同樣的方法，只是和其有關的變數改變而已。

Crum 及 Stevens (1988) 的方法基本上是沿襲 Petersen 和 Uccellini (1979) 及 Tremback (1980) 的跡線計算模式加以修改。等熵面上的運動方程式，可由下列的式子中看出，

$$\frac{du}{dt} = -\frac{\partial M}{a \cos \varphi \partial \lambda} + fv + \frac{uv \tan \varphi}{a} \quad (1)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{\partial M}{a \partial \varphi} - fu - \frac{u^2 \tan \varphi}{a} \quad (2)$$

式中  $(\varphi, \lambda)$  為緯度及經度， $a$  為地球半徑， $(u, v)$  為東西及南北向之風速， $M = c_p T + gZ$  為蒙哥馬利函數， $T$  及  $Z$  分別為溫度場及高度場， $f$  則為科氏參數。 $(u, v)$  與  $(\varphi, \lambda)$  之關係，以下二式表示

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{u}{a \cos \varphi} \quad (3)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{v}{a} \quad (4)$$

在做等熵軌跡之推算時，吾人須要將由 NMC 在等壓面上之資料（溫度場，風場，高度場）插入等熵面上，各  $\theta$  面上的壓力是以  $p^{R/c_p}$  與  $T$  為線性的假設條件下取得。基本上可得下列之式子

$$p_\theta^\kappa = \frac{p_0^\kappa p_1^\kappa (T_2 - T_1) - T_1 p_0^\kappa (p_2^\kappa - p_1^\kappa)}{p_0^\kappa (T_2 - T_1) - \theta (p_2^\kappa - p_1^\kappa)} \quad (5)$$

其中  $\kappa = \frac{R}{c_p}$ ， $R$  是 universal gas constant。 $c_p$  是定壓比熱。以 (5) 式求出  $\theta$  面上之壓力  $p$  後，則可以 Poisson 方程  $\theta = T \left(\frac{p_0}{p}\right)^\kappa$  來求得  $\theta$  面上之  $T$  場。 $\theta$  面上之高度場可由靜力平衡之條件下取得，而  $\theta$  面上的風場則以風場與高度場為線性內插可求得。

由以上的過程，吾人已定出了  $\theta$  面上的  $Z$ ， $T$ ， $u$  及  $v$ ，因此可由方程組 (1)-(4) 來求得等熵面軌跡，其步驟如下：

- (1) 由原始資料中先計算  $M = (c_p T + gZ)$ ，並選擇要決定軌跡線到達的起始點或結束點（即選擇為 Forward 或 Backward 之軌跡計算）
- (2) 利用 4 階 Runge-Kutta 方式積分時，須要用到  $\Delta t$  及  $1/2\Delta t$  時的風場及  $M$  的水平梯度。吾人假設各場在時間間隔內的演變是線性的，以線性時間插分得在  $\Delta t$  及  $1/2\Delta t$  時之  $u$ ， $v$  及  $M$ ，而得  $M$  之水平梯度。此法與真正的 4 stages 4 階 Runge-Kutta 法略有不同。
- (3) 同時解方程組 (1-4) 得到下一時間  $t + \Delta t$  時之變量及軌跡位置
- (4) 繼續 1-3 步驟之計算，直到積分至所要之時間時停止。

在本研究中， $\Delta t$  採用 1 小時，吾人大都做 2 天或 3 天的 Backward 軌跡推算，來推算到達某一地區之前幾天之 air source 來之方向。

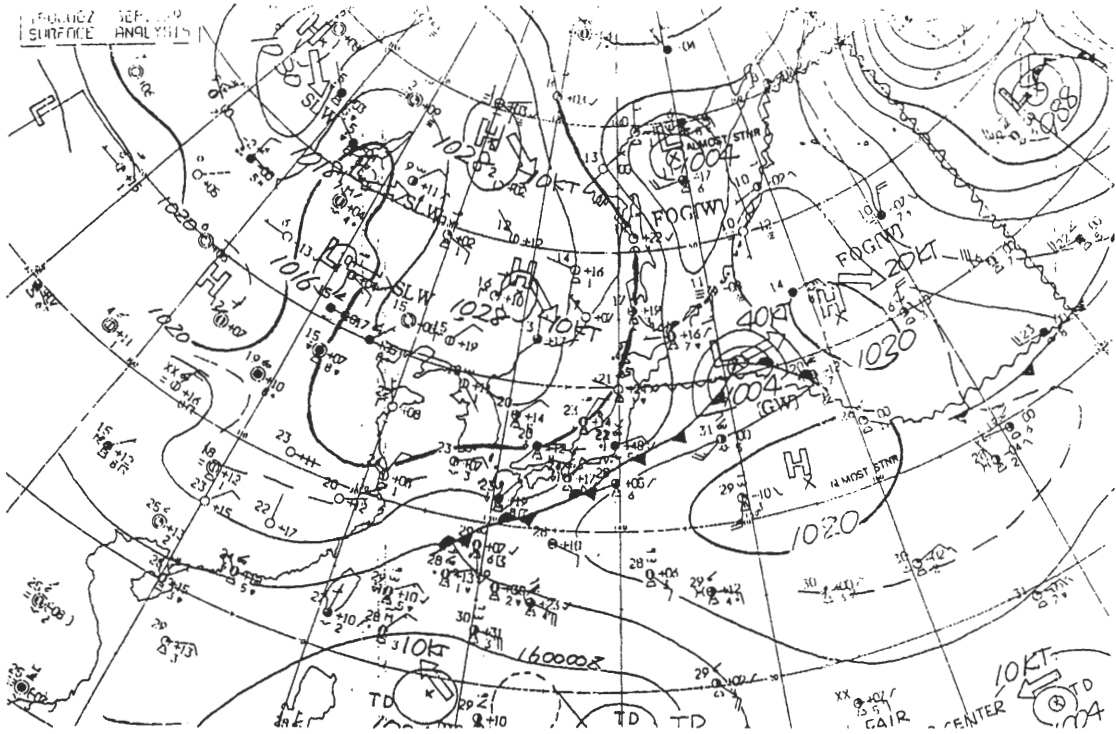


圖1 1991年9月15日0000 UTC地面分析圖（本圖為日本氣象廳發佈之傳真圖）。

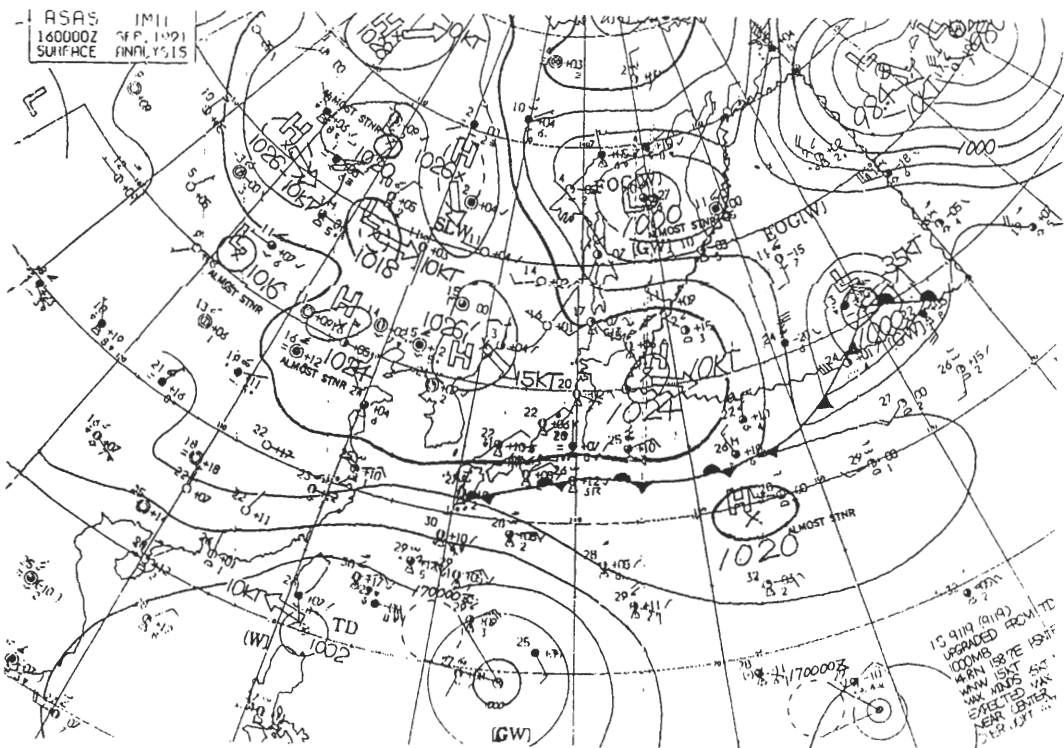


圖2 同圖1，時間為1991年9月16日0000 UTC。

在等壓面上之計算，方法和等熵面之作法相同，但其控制方程組為

$$\frac{du}{dt} = -\frac{\partial\Phi}{a\cos\varphi\partial\lambda} + fv + \frac{uv\tan\varphi}{a} \quad (6)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{\partial\Phi}{a\partial\varphi} - fu - \frac{u^2\tan\varphi}{a} \quad (7)$$

$\Phi$  為重力位 ( $\equiv gZ$ )，此方程組為原始方程式在球面座標上經傳統假設下得到。

## (二) 資料來源

本研究所用的資料為美國氣象中心(NMC)及大氣環流實驗(FGGE)的氣象資料來分析，資料的時間間隔是每12小時，選取的垂直層包括了十層標準層之資料，所用到的變數為高度場，溫度場，及風場資料，將原始資料以16點內插至 $1^\circ \times 1^\circ$ 的經緯網格點上，吾人分析的範圍，由 $75^\circ E$ 到 $135^\circ E$ ， $5^\circ N$ 到 $45^\circ N$ ，此部份的資料是用來計算到達本地區的氣流來源及其在不同季節下之特性。

同時，為了解大氣背景成份變化與氣象變數之關係，吾人藉由臺灣背景大氣研究(Taiwan Background Air Research, TAIBAR)計劃下，在1991年9月及10月之間，配合國際Pem-West觀測實驗，於墾丁測量到的大氣化學成份之時空變化，這資料也將被用來探討大氣背景成份變化受氣象條件影響的關係，及其軌跡之來向。

## 三、結果及討論

為了解在Pem-West期間墾丁地區臭氧濃度受氣象條件影響之情形，並初步的探討不同季節下其經常來向的軌跡是由何方向到達臺灣地區，在此部份先顯示個案的分析結果，擬以相對濕度、垂直速度及軌跡三種因子來探討這些氣象要素和所測量到的臭氧濃度變化的關係。在季節部份，則將初步的說明在不同季節下何方向之軌跡最易影響臺灣。

在討論個案及季節之結果前，吾人先說明一下墾丁地區在Pem-West期間之天氣狀況。

### (一) 1991年9月-10月恆春及臺灣地區天氣概述

9月10日至12日，臺灣受位於湖南省的移動性高壓作用，恆春地區為晴朗至多雲的天氣，風向多為偏北風。9月12日至15日(圖1)，中度颱風KINNA在臺北東南方海面上向西北進行，臺灣分別受東北季風和KINNA外圍環流作用，恆春地區為多雲到晴的天氣，風向多為東北風。

9月16日(圖2)至18日，輕度颱風LUKE在臺北東南方海面上向北進行，另一輕度颱風NAT在恆春半島東南方向西移動，臺灣地區受NAT外圍環流作用，恆春地區為陣雨的天氣，風向由北風轉為東風。

9月19日至20日，颱風NAT位於恆春西南方向東北移動，臺灣仍受NAT外圍環流影響，恆春地區仍為陣雨的天氣，風向由東北風轉為偏北風。9月21日臺灣受大陸高壓作用，恆春地區為晴朗至多雲的天氣，風向為東北風。

9月22日至24日，輕度颱風NAT增強為中度颱風並於23日登陸臺灣，恆春地區為陣雨的天氣，風向由偏北風轉為東北風。強烈颱風MIREILLE之外圍環流於9月25日至26日影響臺灣，恆春地區為多雲短暫陣雨的天氣，風向多為西風。

9月28日臺灣地區受東北季風影響，恆春地區為多雲時晴的天氣，風向為東北風。9月29日至10月2日臺灣地區再受東北季風和颱風NAT雙重影響，恆春地區為陣雨的天氣，風向為東北風。颱風NAT於10月2日減弱成TD並移動至湖南省而於4日消失。

10月5日至11日輕度颱風ORCHID位於硫磺島西南方自(19.1° N, 136.5° E)向西北移動至(29.6° N, 136.8° E)即日本南方海面上。10月6日至14日輕度颱風PAT自關島東北東方1250公里海面上向西北轉北進行，而於14日減弱成低壓。10月5日至14日臺灣地區則受東北季風影響，恆春地區為多雲時晴的天氣。

10月16日至17日臺灣受鋒面通過影響；北部，東北部有短暫雨，恆春地區仍為多雲時晴的天氣。10月18日至23日臺灣則受東北季風影響，恆春地區仍為多雲時晴的天氣。10月22日起輕度颱風RUTH位於關島西南方約410公里的海面上向西運動並且增強，24日已增強為強烈颱風，位於恆春東南方約1760公里海面上向西進行。自25日起，臺灣因受颱風RUTH接近影響；北部，東北部轉為陰有雨的天氣。24日至26日恆春地區仍為多雲到晴的天氣。

10月26日至30日臺灣地區受東北季風和颱風RUTH雙重影響。27日起RUTH向西移動至巴士海峽轉西南登陸於呂宋島東北方，28日以後向偏北方進行，於30日減弱成TD而繼續向東北移動，10月27日至30日恆春為多雲有陣雨的天氣。10月31日起臺灣地區則受東北季風影響，恆春地區為多雲時晴的天氣。

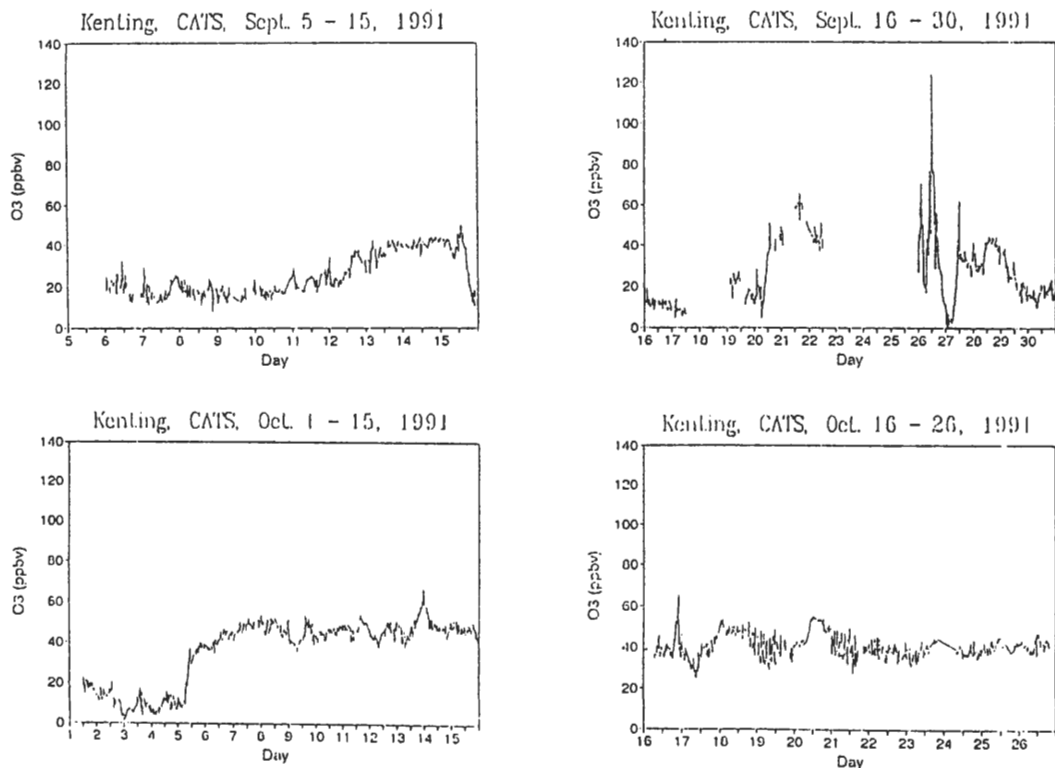


圖3 1991年9月及10月墾丁之臭氧濃度(ppbv)隨時間變化圖(Buhr et al., 1993)

## (二) 9 - 10月墾丁個案之觀測結果與分析

TAIBAR計劃於1991年9月至10月配合Pem-West國際觀測計劃在墾丁做了2個月的觀測，圖3為9月份及10月份觀測到之臭氧濃度隨時間變化圖(Buhr et al., 1993)，由圖3中可看出，臭氧濃度於9月10日起隨時間增加，於9月15日達到第一個相對高值（在40 ppb左右），而後隨時間遞減，9月18日後又有上升趨勢到9月21日左右又至另一高值，9月23 - 25日儀器受NAT颱風影響未能測量。9月26日臭氧值約在120 ppb，同時間的PAN也是最大值，達7.5 ppb左右，這些值俱屬於城市污染性空氣之特性，這樣的臭氧/PAN濃度變化的情況，是當地光化產生的？或是因氣象條件影響，而由其他地區傳送來而產生的？值得進一步探討。因此吾人現就由氣象環流及其軌跡線來了解臭氧變化的情形。

由上節之天氣概述中得知於地面天氣中，9月10日至9月15日（圖1），臺灣受位於大陸上的移動性高壓，及KINNA颱風外圍環流影響，9月16日（圖2）後臺灣地區開始受到NAT颱風的影響。

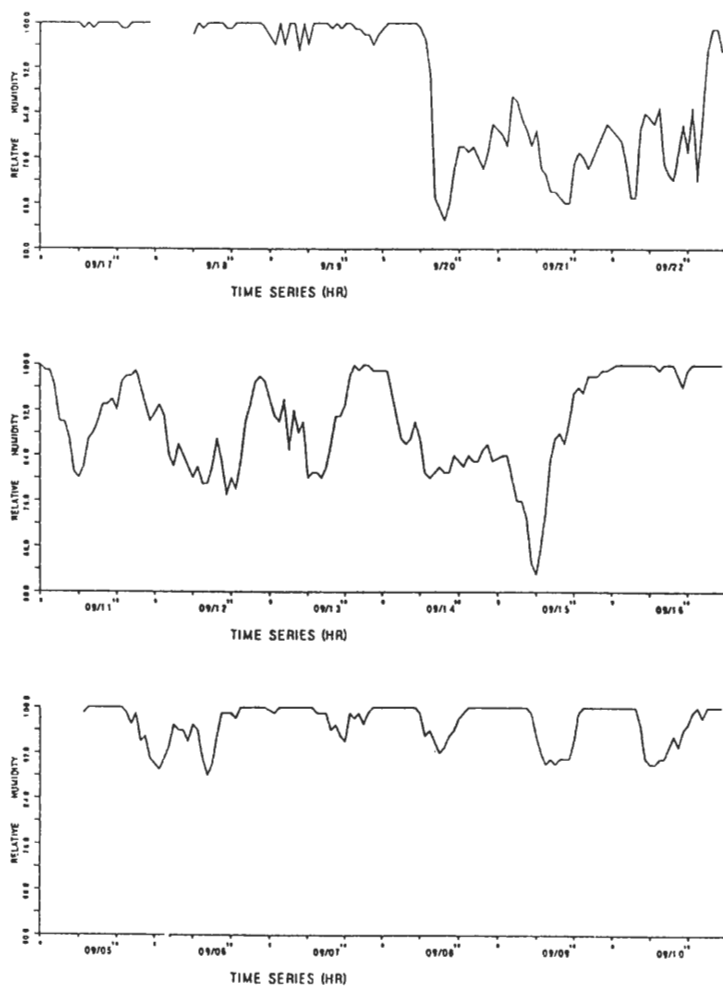


圖4 1991年9月及10月墾丁之相對濕度隨時間變化圖。

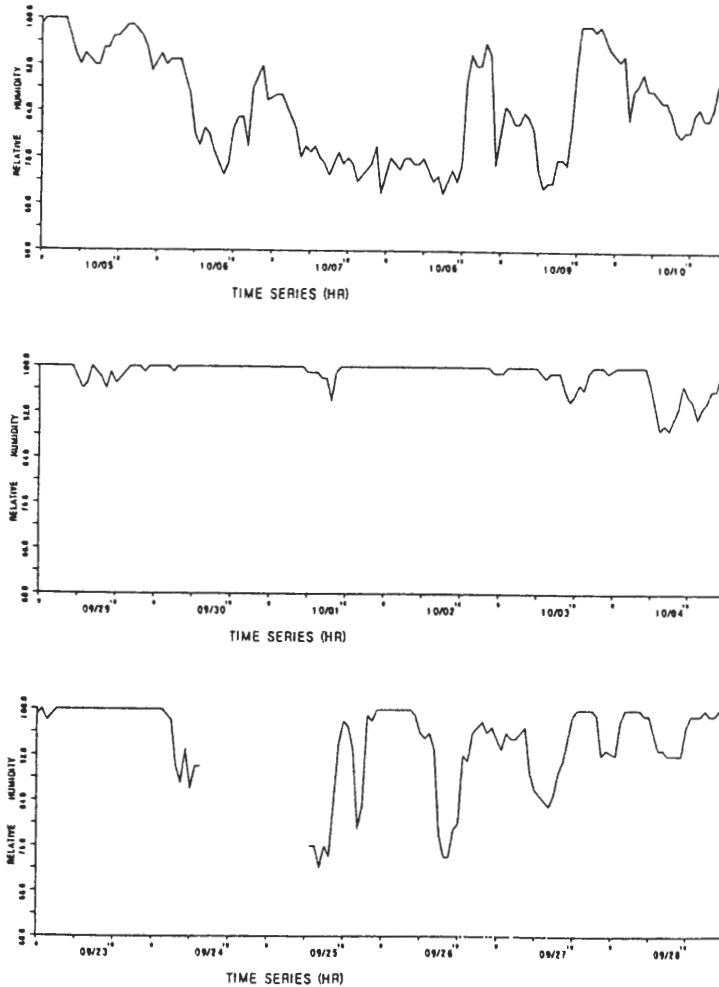


圖4 (續)。

圖4為9月份觀測之相對濕度隨時間變化圖，由此相對濕度圖可看出，在9月13 - 15日之間，相對濕度約在80%左右，但在9月16 - 19日之間，則達100%左右，在9月20 - 22日相對濕度又降回80%左右，9月27 - 28日之間，則在90%左右，在9月29日到10月3日之間，相對濕度又達到了100%，然後在10月5日 - 10日則在80%之間。這些結果和臭氧濃度之變化相比較則說明了臭氧濃度增加時相對濕度減少，而在100%相對濕度時，其臭氧濃度都在15 - 20 ppb之背景值左右。

圖5為日本氣象廳發佈之850hPa風場（風標）、溫度場（粗實線）及700hPa垂直速度場（細實線），時間為1991年9月13日0000 UTC，垂直速度場中陰影區為上升運動區，由圖中可看出臺灣地區大都處於下降區中。圖6為1991年9月12日2332 UTC之GMS IR衛星雲圖，圖中顯示臺灣地區無明顯之雲系覆蓋。此種臺灣地區處於下降氣流區及無雲覆蓋之情形持續到9月15日。9月16日，NAT颱風由臺灣東南方向西移動，臺灣地區受此颱風影響逐漸由下沉運動轉為上升運動（圖7），且此時臺灣地區已完全為NAT颱風之雲系所覆蓋。

圖8及9為在9月13至9月18日及9月25至30日間，以等壓面上之軌跡方法推算而來於24小



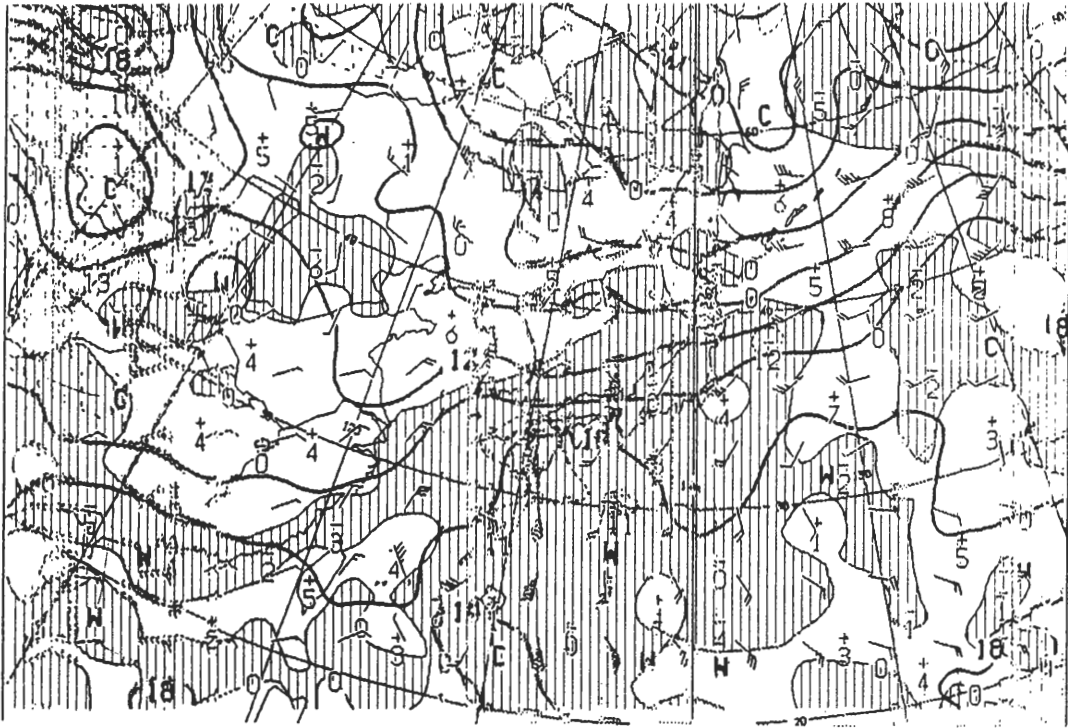


圖5 1991年9月13日0000 UTC之850hPa風場（風標）、溫度場（粗實線，單位攝氏），及700hPa垂直速度（細實線，陰影區為上升運動區，單位hPa/hour）（本圖為日本氣象廳發佈之傳真圖）。

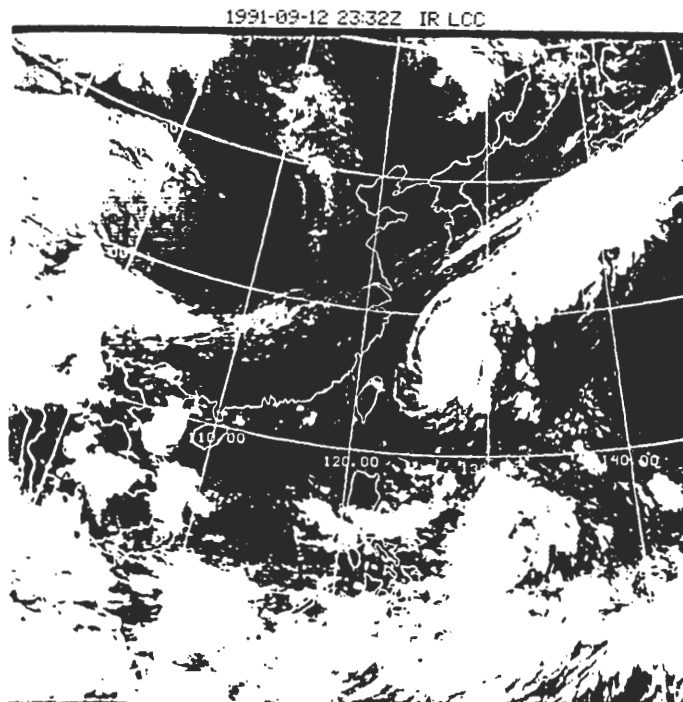


圖6 1991年9月12日2332 UTC之GMS IR衛星雲圖。

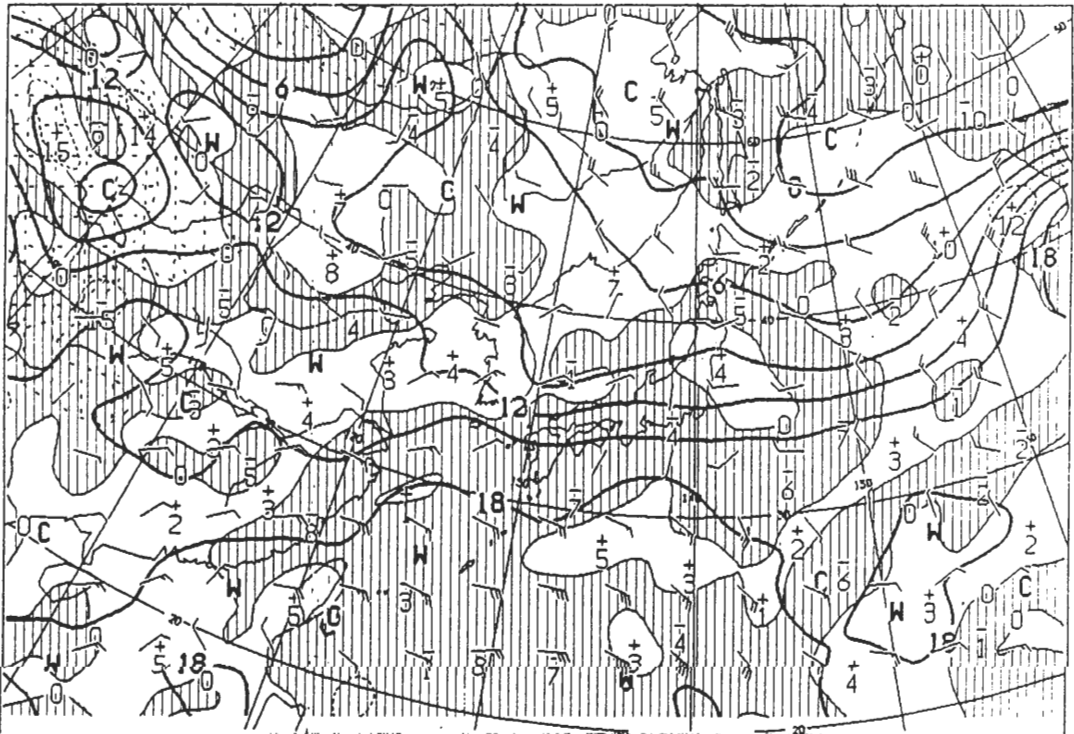


圖7 同圖5，時間為1991年9月16日0000 UTC。

時內到達墾丁地區的軌跡，實線表示是850 hPa面，虛線表示是由地面到達的，由軌跡線可看出大部份的空氣塊到達墾丁俱是由東北方向傳來的，同時，當地天氣狀況因高壓移入臺灣海峽而在臺灣南部造成東北風，因此，由圖8及在該時期內因下沉氣流之存在，使得墾丁地區的臭氧值增加，同時再加上持續東北風向將長程背景大氣的源傳送至墾丁地區，造成了遠大於該地背景值的量出現，此時期的臭氧值最高為40ppb左右，9月16日之後，上升氣流漸漸在墾丁及附近地區建立，使臭氧值減少。但在9月26日的情況，則和上述時期（9月12日-9月20日）有明顯的不同，尤其是受NAT及MIREILLE颱風之影響，在9月26日及27日，到達墾丁地區的空氣塊，是由西邊或是西北邊來的（圖9），同時，地區性的上升氣流（存在於9月22日-9月25日之間），在此時期也轉變成了下沉氣流，因此，9月26日120 ppb的臭氧及7.5 ppb的PAN，圖9的結果說明了此異常高的臭氧值的存在，大致上是受到臺灣西岸的城市污染性空氣隨著環流型態被傳送來墾丁地區，同時並因下沉氣流的存在使此大污染濃度能持續一、二天，9月28日之後，上升氣流的存在及軌跡傳送方向又轉回到東北方向，使臭氧值又回復到了在東北風下的背景值。

由圖3中也可看出，臭氧值在9月29-10月4日之間，接近一背景的低值，10月5日後又回到了約40 ppb的範圍，參考圖10及11吾人同樣也可理解，在9月28到10月4日之間，在墾丁及其附近是上升氣流區，24小時前的軌跡則來自東或東南，造成了在墾丁地區的低臭氧值，但由10月5日起至10月12日左右，下沉氣流及東北風又在墾丁及附近地區建立，臭氧的值又慢慢的回到在東北風，下沉氣流下的特徵範圍值，即在40 ppb左右。

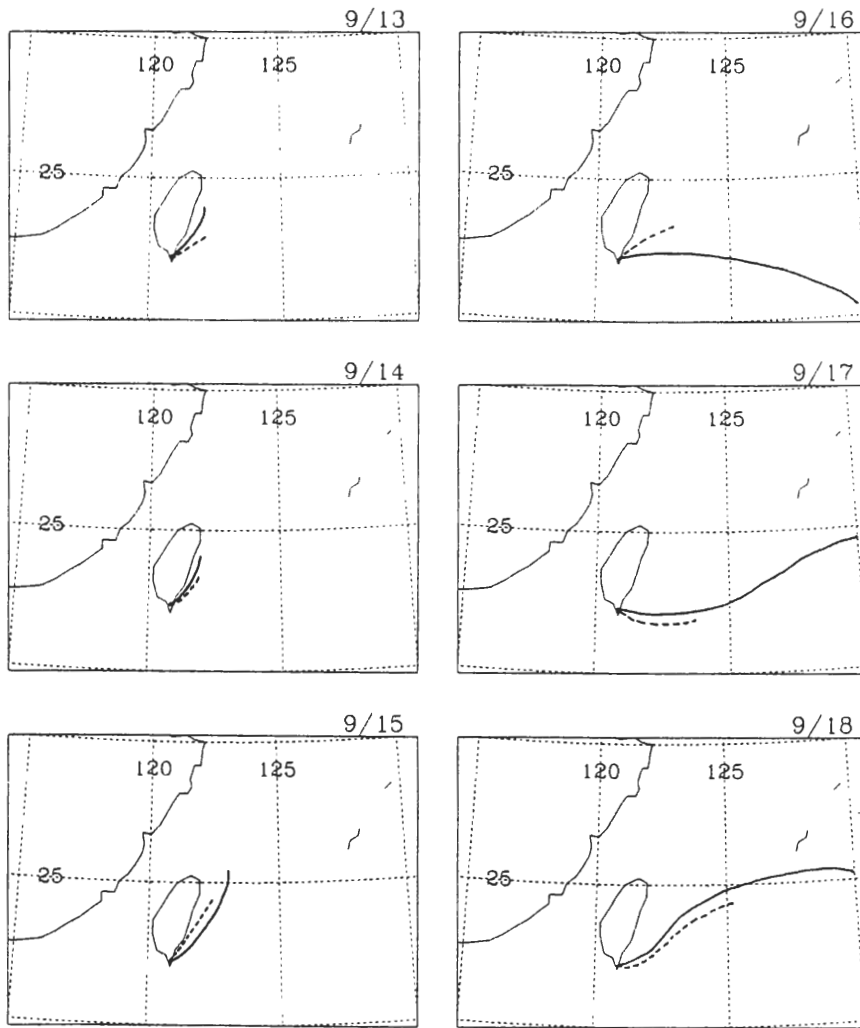


圖8 由墾丁地區回推24小時前到達該地區的等壓面上之軌跡，實線代表850 hPa等壓面（虛線代表為地面）的軌跡線。時間由9月13日至9月18日。

由上述之討論，吾人可以清楚的了解氣象條件之變化顯然對地區性臭氧之變化有極大之影響。圖12是表示在不同時間墾丁地區的垂直速度（+號代表下沉氣流，-號代表上升氣流，x代表垂直速度很小，m代表該時資料有缺失）。及其到達該地區24小時前之軌跡（實，虛線分別表示850 hPa及地面層），由此圖和圖3比較，可清楚的了解墾丁地區臭氧成份的改變和地區性垂直速度及軌跡的相互關係。了解這兩個月月個案的特性，使吾人更有信心的以軌跡的計算去探討不同季節下最容易到達臺灣地區的氣流軌跡。

### (三) 各月份軌跡之特性及討論

爲了了解到達本地區的氣流來源及其在不同季節下之特性，我們分析了3年之資料，以上節敘述的等熵及等壓面之方法來計算，往後推算的時間都是在48小時，選擇的月份包括了元月

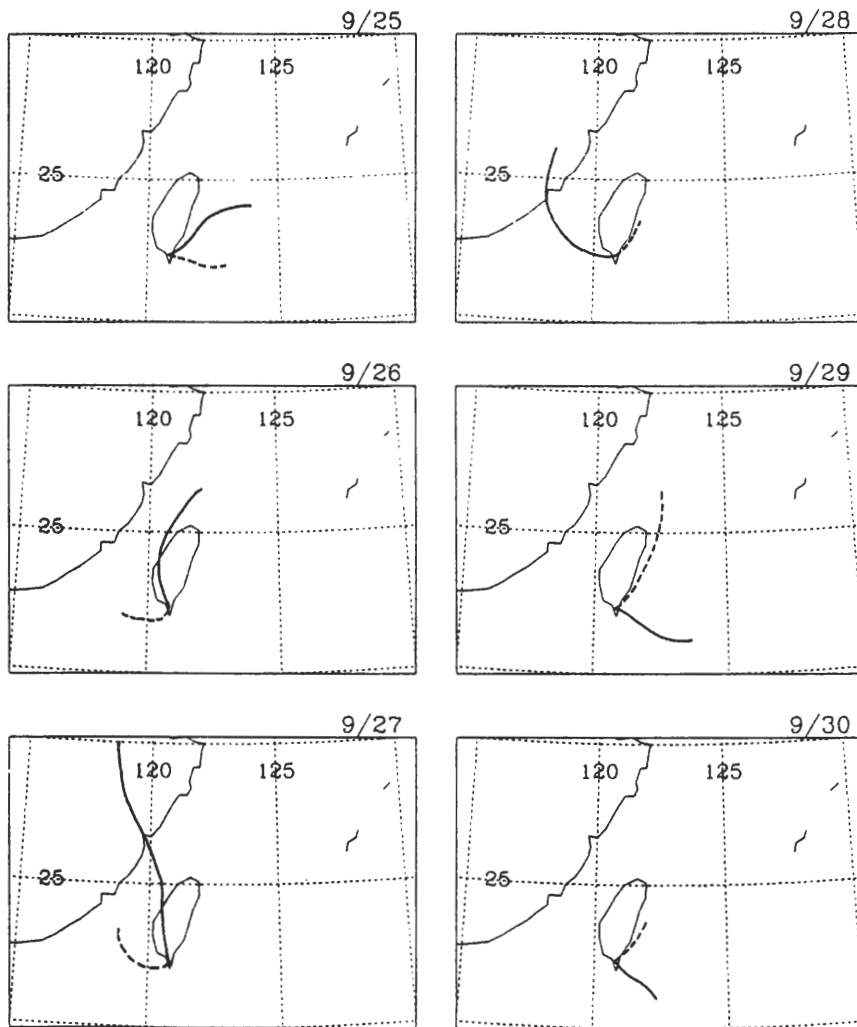


圖9 同圖8，但為9月25日至30日

，8月，每個月都有約60條之軌跡線，吾人可由此氣候場之軌跡線來了解在各個不同季節及環流特性之引導下，到達臺灣氣流之48小時前時之來源，而由其來源，可知道此來源對臺灣背景大氣成份之可能影響。元月份大氣的主環流系統影響臺灣最大的，為地面之蒙古高壓及太平洋上阿留申低壓，臺灣低層的風向受東北季風影響很大。

圖13是850hPa面到達台灣地區48小時前的軌跡圖，以此等壓面軌跡來看，1978年元月份主要來的氣流有二個主要方向，一為東北向，另一為西南向。1979年元月及1980年元月的，則除了上述的兩個主要方向外，其他的方向也能到達台灣（一些西北向及東邊來的），東北向的來向是和大環境的風場有關，而西南向的，則可能是和分裂高壓移至海上造成回流風場造成的。

圖14和圖13相同，但為500hPa及315°K等熵面上之軌跡。500hPa面上的軌跡則顯示高層西風帶的影響，在各三年的資料中都相類似，由315°K等熵面上的軌跡來看，其和等壓面上的

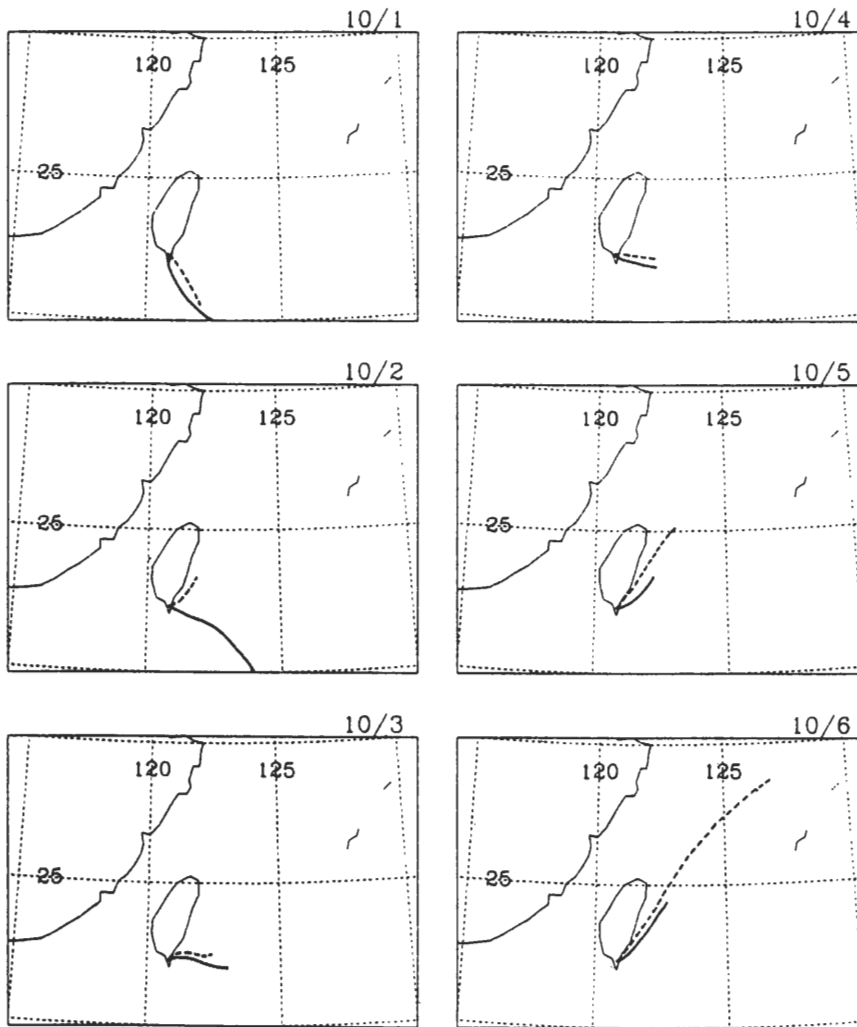


圖10 同圖8，但為10月1日至6日

軌跡走向很接近，由於 $315^{\circ}K$ 面上的氣壓和 $500hPa$ 大致相當，才使得此二結果接近。較接近地面的等熵分析，因常遇到和地面交叉的結果，做氣候的統計計算上較困難，因此在本研究中較低等熵面的計算只做幾個單獨的時間，而在較後面會有所討論。

圖15則是八月份的軌跡圖，此時東邊海面上的太平洋高壓是在較北之位置，到達台灣的跡線，大部份來自西南，但也有部份來自東北及東南，而此來向和圖16中的 $315^{\circ}K$ 等熵及 $500hPa$ 等壓之跡線是相類似的。1980年八月的缺了許多( $315^{\circ}K$ 面)。由 $500hPa$ 之軌跡線了解到其氣流受颱風之影響，因此沒有特定單一的主要來向，而元月份軌跡之主要來向為由西邊而來，和此月份有明顯不同。

對 $315^{\circ}K$ 面來說，元月份的跡線是最長的，且大部份來自西方。八月的跡線來向較混亂，這可能和此時期的颱風出現有關係。對 $500hPa$ 面上來看，目前的分析是和 $315^{\circ}K$ 面上的跡線相類似。這種類似的狀況可能和現在所用的計算方法有關，詳細的結果，正在進一步的測試中。

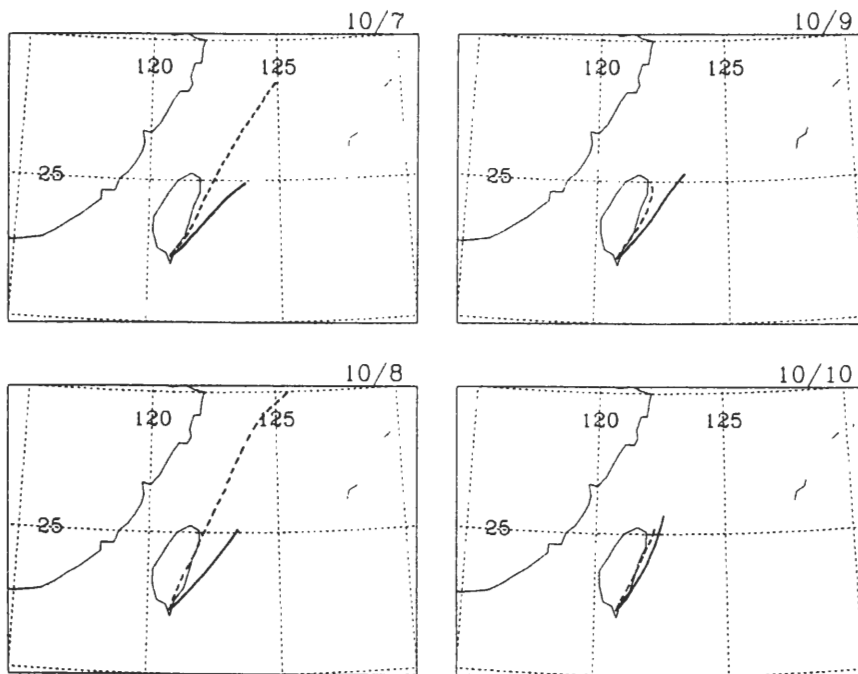


圖 11 同圖 8，但為 10 月 7 日至 10 日。

850hPa 的跡線在八月都和高層的有類似之處，但在元月則和高層的有明顯的不同。圖 17 是在各個不同季節的個案等熵面分析，與同時段 850hPa 的跡線。各個案的等熵面分別為  $295^{\circ}K$  或  $305^{\circ}K$ （線上有叉號），圖中顯示的是 5 天的跡線，及其相對的氣壓值。圖 17(a) 是 1978 年元月 6 日的前 5 天  $295^{\circ}K$  等熵面跡線，由此等熵面可知到達臺灣低層的跡線是由西邊過來的，此和以等壓面 (850hPa) 上之氣候分析特性不同，與個案中顯示的亦不同。圖 17(b) 是 1978 年 5 月 6 日的前 5 天  $305^{\circ}K$  等熵面之跡線，顯示來到臺灣的氣流是由東南轉南向上來的，此抽樣和氣候值的情況接近。圖 17(c) 及 17(d) 則分別是由 8 月 6 日  $305^{\circ}K$  及 11 月 7 日  $300^{\circ}K$  前 5 日之跡線及其壓力，此兩個個案中其在低等熵面及 850hPa 等壓面之跡線相類似。

#### 四、結論與展望

本研究是臺灣背景大氣研究之一部份，此部份研究的主要目的，是要瞭解氣象環流對背景大氣成份傳送的影響，探討本地區空氣污染物受局部環流影響混入背景大氣中的可能狀況。同時，藉由對臺灣地區氣候、天氣資料之分析，來探討影響臺灣最頻繁又最大的環流型態，並建立一系列之分析方法，來了解其它地區空氣污染物輸入本地區之狀況及其隨季節環流變化之情形。

此部份主要是敘述軌跡分析方法之建立，並以 1991 年在墾丁對臭氧所做的觀測之個案資料來探討臭氧值受氣象條件影響之情形，同時並以不同季節來區分，來初步統計計算到達台灣地區氣流中，在 48 小時前的各氣流之軌跡。

由 TAIBAR 計劃於 1991 年 9 月至 10 月配合 Pem-West 國際觀測計劃在墾丁做了 2 個月的觀測

9月13日	9月14日	9月15日	9月16日	9月17日	9月18日	9月19日
+	+	+	x	-	x	-
9月20日	9月21日	9月22日	9月23日	9月24日	9月25日	9月26日
+	+	-	-	-	-	+
9月27日	9月28日	9月29日	9月30日	10月1日	10月2日	10月3日
+	m	x	-	-	-	+
10月4日	10月5日	10月6日	10月7日	10月8日	10月9日	10月10日
-	+	+	+	+	+	+
10月11日	10月12日	10月13日	10月14日	10月15日	10月16日	10月17日
-	+	+	-	+	-	x

圖12 9月12日至10月17日之間，墾丁及附近地區的垂直速度及回推24小時前到達該地區的等壓面上軌跡，實線虛線分別是代表850hPa及地面。+號代表下沉氣流，-號代表上升氣流，x代表垂直速度很小，m代表該時資料有缺失。10月10日後的軌跡則沒有計算，僅列出垂直速度。

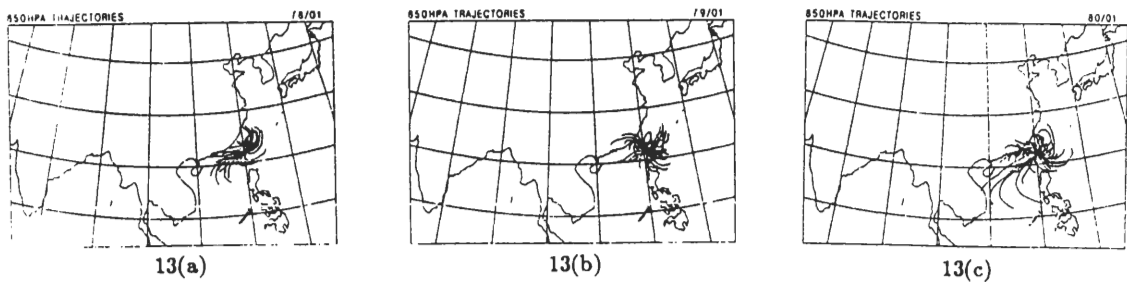


圖13 元月份850hPa等壓面軌跡線，(a) 1978年；(b) 1979年；(c) 1980年。

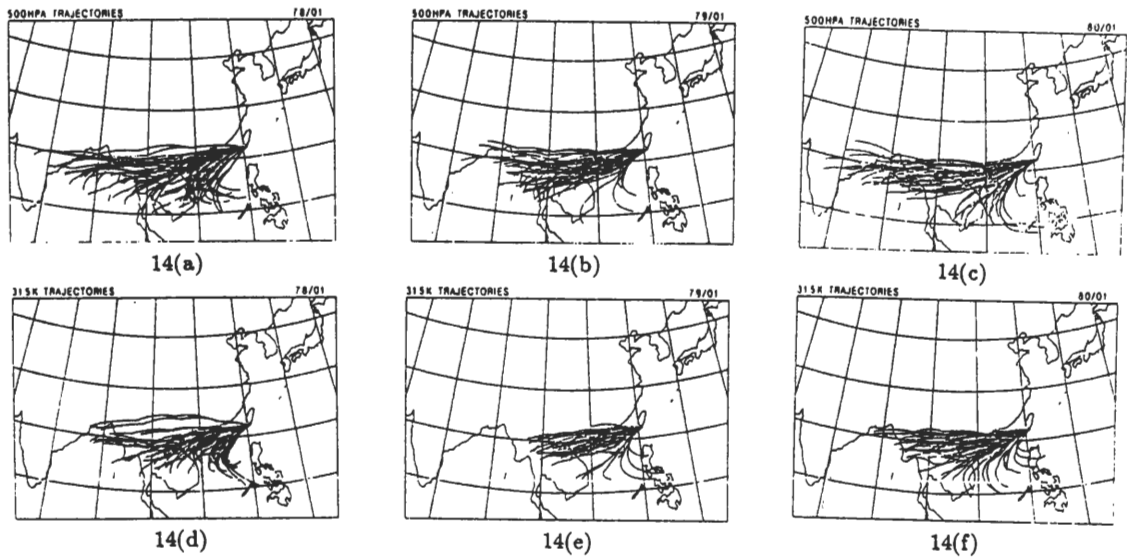


圖 14 元月份 500hPa 及 315°K 面軌跡線，(a) 1978 年 500hPa；(b) 1979 年 500hPa；(c) 1980 年 500hPa；(d) 1978 年 315°K；(e) 1979 年 315°K；(f) 1980 年 315°K。

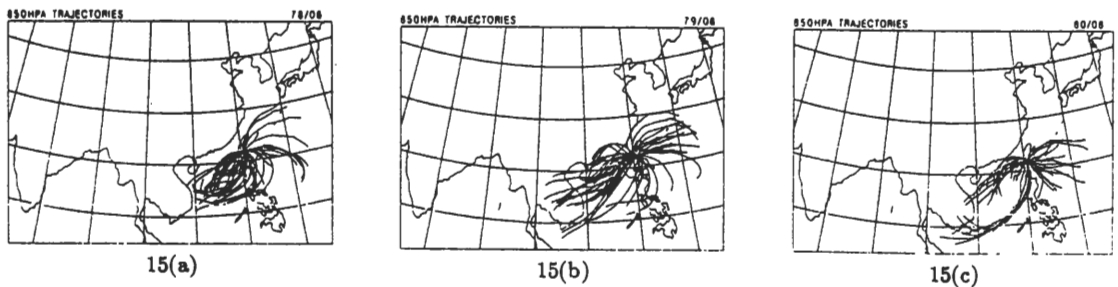


圖 15 8 月份 850hPa 等壓面軌跡線，(a) 1978 年；(b) 1979 年；(c) 1980 年。

到之臭氧濃度隨時間變化圖，臭氧濃度於 9 月 10 日起隨時間增加，於 9 月 15 日達到一個相對高值，此時臭氧濃度增加至 40 ppb，同時，9 月 15 日墾丁地區的風速減弱，相對濕度降低，且處於下沉氣流區。而軌跡分析之結果顯示在 24 小時前到達墾丁地區的空氣來源是來自東北方向，而此 40 ppb 大致上是在下沉氣流區，東北風作用下的背景值。地區性之臭氧在風速低及穩定氣流情況下，臭氧濃度增加之現象，其累積可能由中層傳送來的臭氧往下傳送與長距離傳送兩個作用造成。

10 月 5 日到 10 月 10 日之間，也是有同樣的情況，即在該段時間，在墾丁及鄰近地區，大氣是處於下沉氣流區，且其軌跡也是來自東北方向。圖 12 同時也顯現出於 9 月 29 日到 10 月 3 日之間，大氣是處於上升氣流區，且軌跡來向是東及東南，此時期墾丁的臭氧值（圖 3）在 10 ppb 左右，此值接近於該區的自然背景值。9 月 26 日及 27 日左右發現異常大的臭氧值（超過 100 ppb），顯然的不但和下沉氣流有關，由西邊及西北邊來的空氣來源，包含了臺灣西半邊城市污染



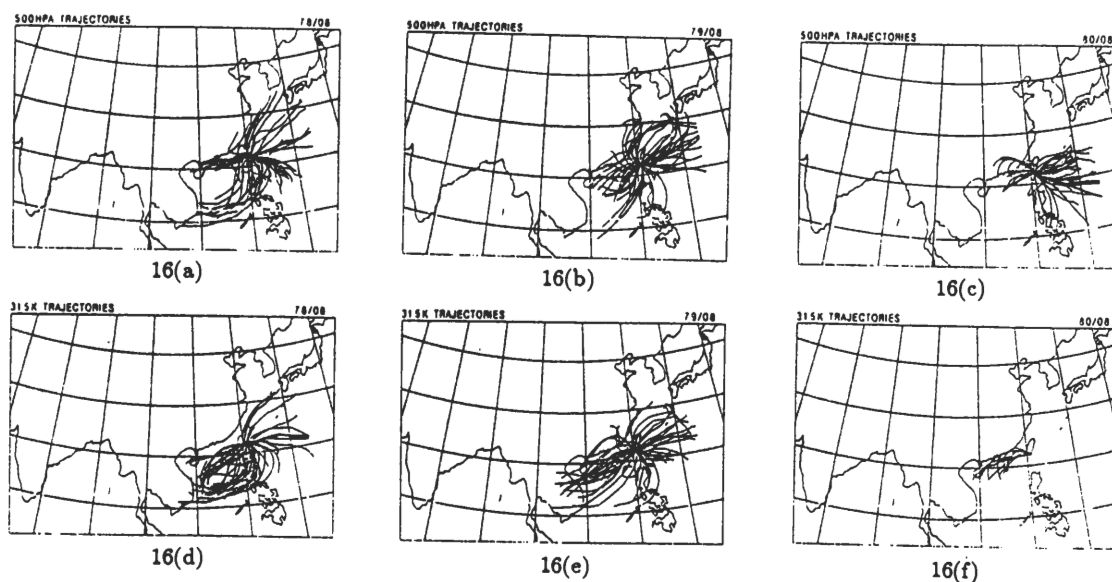


圖16 8月份500hPa及315°K面軌跡線，(a) 1978年500hPa；(b) 1979年500hPa；(c) 1980年500hPa；(d) 1978年315°K；(e) 1979年315°K；(f) 1980年315°K。

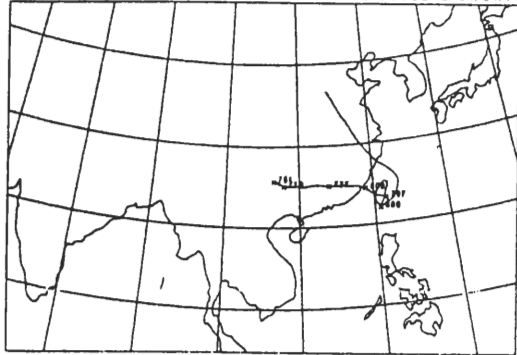
空氣的特性值，是造成墾丁地區在短時間內有異常大臭氧值的原因。歸納來說在 Pem-West 期間(1991年9月-10月)的個案分析結果，該期間內的臭氧變化情形可被區分為三種特性，一為在背景值區域即10-20 ppb，在此期間，其24小時前軌跡線主要來自東南或東邊，且伴隨較高濕度及上升運動，第二種特性為臭氧值在40-50 ppb，主宰的氣流為下沉的，而且相對濕度較低(~80%)，軌跡來向大致由東北方向而來，第三種特性則臭氧值在100 ppb左右，此時的軌跡大都來自西邊或西北邊且仍伴隨著下沉氣流，明顯的與臺灣西岸的高濃度產生量有關。

同時吾人也以三年的資料，來分析到達本地區的氣流方向及其在不同季節之特性，參考Crum和Stevens(1988)發展的等熵/等壓軌跡分析來計算，歸納了各氣流在不同高度及季節下之特性及其和大環境之大氣環流系統之關係。元月份主要來的氣流有二個主要方向，一為東北向，另一為西南向。八月份的軌跡圖，此時東邊海面上的太平洋高壓是在較北之位置，到達台灣的跡線，大部份來自西南，但也有部份來自東北及東南。

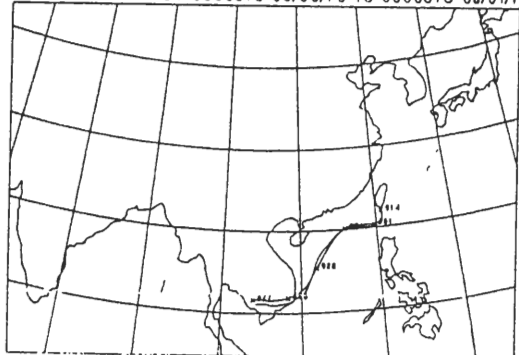
本研究的個案結果顯示了氣流軌跡對地區性臭氧濃度之變化有明顯的影響，同時初步的季節分析結果也初步的說明了軌跡之重要性。在此後的分析中，第二部份則將以多年資料歸納分析軌跡之氣候統計上特性並討論其與季節變化之關係，第三部份則將著重於描述大氣化學變數之分佈和氣象環流之關係，進一步的針對台灣背景大氣研究在1991年九月及十月在墾丁測量的化學分析結果，同時探討在該期間沖繩島臭氧濃度變化和墾丁濃度變化之空間特性與關係。

## 誌謝

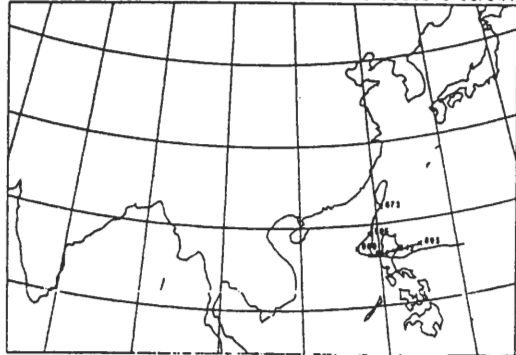
感謝中央大學大氣物理研究所邱瑞媛在畫圖上之協助。本研究承國科會計劃NSC81-0202-M008-19及NSC82-0202-M008-33之資助，才得以順利推展。

295K AND 850HPA TRAJECTORIES  
FROM 0000UTC 01/06/78 TO 0000UTC 01/01/78

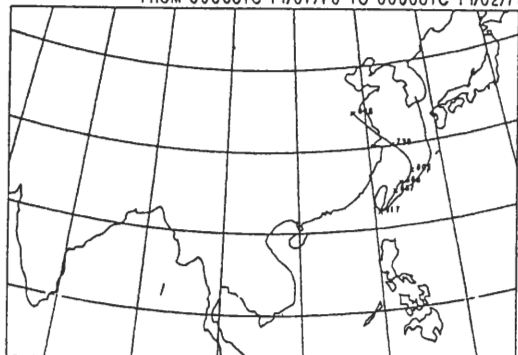
17(a)

305K AND 850HPA TRAJECTORIES  
FROM 0000UTC 08/06/78 TO 0000UTC 08/01/78

17(c)

305K AND 850HPA TRAJECTORIES  
FROM 0000UTC 05/06/78 TO 0000UTC 05/01/78

17(b)

300K AND 850HPA TRAJECTORIES  
FROM 0000UTC 11/07/78 TO 0000UTC 11/02/78

17(d)

圖 17 同時段等熵面及等壓面之跡線，線上有叉號的是等熵面之跡線，叉號右上角之數值為此點的壓力值。(a) 1978年元月6日前5日 $295^{\circ}K$ 等熵面及 $850hPa$ 等壓面之跡線；(b) 1978年5月6日前5日 $305^{\circ}K$ 等熵面及 $850hPa$ 等壓面之跡線；(c) 1978年8月6日前5日 $305^{\circ}K$ 等熵面及 $850hPa$ 等壓面之跡線；(d) 1978年11月7日前5日 $300^{\circ}K$ 等熵面及 $850hPa$ 等壓面之跡線。

### 參考文獻：

- 蔡清彥與鄭寶鳳，1987：臺灣地區梅雨期低層噴流的結構分析及其與豪雨之關係。大氣科學，15，1，1-16。
- 陳泰然，1987：臺灣乾濕梅雨期之平均環流特徵。大氣科學，15，17-30。
- 陳泰然，1988：臺灣梅雨研究之回顧。科學發展月刊，16，239-266。
- 陳泰然與周仲島，1988：不同性質梅雨鋒面系統之大尺度環流特徵。大氣科學，16，309-322。
- 陳泰然，1990：臺灣梅雨季中尺度低壓之氣候特徵。大氣科學，18，1，73-84。
- 許子乾與王作臺，1990：臺灣地區春夏季乾濕年受長週期擾動影響之研究。大氣科學，18，85-110。

- 劉復誠，1987：臺灣春季多（少）雨 500 mb 及 SST 特徵之初步分析。大氣科學，15，233-246。
- Buhr, M. P., K. J. Hsu, C. M. Liu, R. Liu, W. Liu, Y. L. Liu, and Y. S. Kuo, 1993: Measurements of  $O_3$ ,  $NO_x$  and PAN in urban and rural Taiwan. *Proceeding of "Internataional conference on regional environment and climate changes in East Asia"*, 104- 108, Taipei, Taiwan ROC.
- Crum, F. X. and D. E. Stevens, 1988: A case study of atmospheric blocking using isentropic analysis. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 223-241.
- Danielsen, E. F., 1961: Trajectories: Isobaric, isentropic and actual. *J. of Meteo.*, 18, 479-486.
- IPCC, 1990: Climate change, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Scientific assessment, *Cambridge University Press*, 364pp.
- Miller, J. M. and J. M. Harris, 1985: The flow climatology to Bermuda and its implications for long-range transport. *Atmos. Environment*, 19, 409-414.
- Pack, D. H., G. J. Ferber, J. L. Heffter, K. Telegadas, J. K. Angell, W. H. Hoecker, and L. Machta, 1978: Meteorology of long-range transport. *Atmos. Environment*, 12, 425-444.
- Petersen, R. A. and L. W. Uccellini, 1979: The computation of isentropic atmospheric trajectories using a "discrete model" formulation. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 566-574.
- Tremback, C., 1980: A moist adiabatic trajectory computation technique based on a modified "discrete model" formulation. M. S. thesis, Northern Illinois University. [Available upon request from the author at the Dept. of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523.]

## Effect of Circulation on the Background Air Transport: Establishment of Methodology and Preliminary Result

Jough-Tai Wang<sup>1</sup>, Jyh-Wen Hwu<sup>1</sup>, Song-Chin Lin<sup>1</sup>, and Chung-Ming Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Atmospheric Sciences  
National Central University

<sup>2</sup>Department of Atmospheric Sciences  
National Taiwan University

### ABSTRACT

The objective of this study is to understand the time–space characteristics of the traces gases in the background atmosphere, and also the influence of the atmospheric circulation on the local concentration variation.

During the PEM-WEST experiment period, research team from the Taiwan Background Air Research (TAIBAR) program also measured the concentration of  $O_3$ ,  $SO_2$ , PAN,  $NO_x$  along with the surface meteorological variables. This paper present the methodology for trajectory calculation and use the PEM-WEST data to perform preliminary analysis. It is found that, during the time dominated by prevailing northeasterly and the sinking motion, the ozone concentration in Kenting is around 40 ppb. While in the rising motion period and the trajectory come from the East or Southeast, the ozone concentration is on the order of 10–20 ppb. The extreme high concentration of ozone, on the order of 100 ppb, can be related to the sinking motion and when the trajectories come from the West or Northwest.

This study also used three years data to analyze, in different seasons, the characteristics of the air trajectory that reach Taiwan area. Favorable directions of the possible long range transport, in the climatological sense are established.

**Key Words:** background atmosphere, trajectory, circulation