

蘭嶼背景大氣監測初析

柳中明¹ 張修武² 劉紹臣³

¹台灣大學大氣科學系

²中央氣象局

³美國喬治亞理工學院地球與大氣科學系

(中華民國八十七年十一月二十四日收稿；中華民國八十八年元月十八日定稿)

摘 要

本文收集蘭嶼背景大氣測站 1995 年 3 月~1998 年 7 月期間資料，進行背景站氣候特性探討，主要在確定監測品質、監測代表性與監測指標。大致上：運用空氣胞路徑追蹤分析，與整理地面氣象資料，均指出蘭嶼站能有效監測冬季亞洲乾冷大陸氣團與夏季西北太平洋暖濕氣團之季節性交替現象。同時，台灣東岸污染源少，而測站位於蘭嶼島山頂，海風強盛(平均風速 8ms⁻¹)，小區域熱力環流微弱，蘭嶼島本地污染源亦無法影響；再加上監測儀器之採樣口離地 4 公尺，足以避開測站本身的各種可能污染源；而各項氣體監測設備，除定期維護外，尚執行每日標準校正與每月多點校正。此外，分析各項氣體監測資料，顯示氣體濃度之日變化情形，乃反應大尺度空氣均勻混合狀況，而非易受近距離污染源干擾。這些均指出：監測資料應能充份反應大尺度氣流變動下之背景大氣成份，而本站水準應已相當於「聯合國氣象組織」所長期在推動支持之日常作業性背景監測站。未來尚可加強改進者為：提升部份監測儀器敏感度至少一個尺度以上，這可能需國內外專業人士之協助。

大致上，NO 平均濃度為 0.12±0.10ppbv，NO₂ 為 0.60±0.19ppbv，NO_x 為 0.72±0.25ppbv，O₃ 為 32±11ppbv，SO₂ 為 0.24±0.08ppbv，CO 為 0.17±0.05ppmv，CO₂ 為 361±5.4ppmv。蘭嶼測站之平均臭氧濃度略低於日本最南端 Cape Hedo 島資料(年平均 40~52ppbv)，應是本地受夏季南方清潔海洋空氣影響大之故。大致上，O₃ 之月平均濃度約在 13 ~ 48ppbv 間變動，並且出現非常明顯的季節變化現象，高濃度在 10 ~ 3 月東北季風期間出現(元月平均 41ppbv)，低濃度在 6 ~ 8 月夏季西南季風期間出現，7 月的低濃度非常明確(月平均 15ppbv)。其他大氣化學物質中僅 CO 呈現類似變化(元月平均 0.22ppmv、7 月平均 0.12ppmv)。

在所有監測氣體中，臭氧是最佳之辨認季節性氣團變動的大氣化學物資。使用月平均資料計算臭氧與氣壓之相關係數可達 0.83，與氣溫則呈負相關，相關係數為-0.88，另外也與相對濕度及風向呈負相關，相關係數分別為-0.5 與-0.7。這些明確說明其受氣團特性影響，所以在大陸乾冷氣團主控期間，即反應亞洲中高緯度大陸地區高臭氧濃度現象，而在海洋暖溼氣團主控期間，即反應西北太平洋低緯度海洋地區低臭氧濃度現象。日本學者長期分析該國各背景站資料，已注意到亞洲大陸地區的長期污染趨勢，使得該國各背景站呈現近地面臭氧濃度持續增加的現象。而我國蘭嶼站之長期監測資料，除可探討相似趨勢外，尚可研究海洋清潔空氣的性質是否出現改變。

這點是為蘭嶼背景監測最獨特之處。當然，先決條件是本站要能永續運轉下去。

關鍵詞：背景大氣、長程傳送

一、前 言

東亞地區大氣化學研究長期均以黃土高原和大陸西北沙漠的沙暴、塵暴之長程傳送為重點，主因此塵粒的輸送對北太平洋之礦物質提供，扮演重要角色(Duce et al., 1980)。國際學者長期就在南韓濟州島、日本群島、太平洋關島、夏威夷群島等地，安置懸浮微粒的採樣設備，以密集監測亞洲大陸物質傳輸至太平洋洋面的情形，並分析物資轉換與收支狀況 (Iwasaka et al., 1983; Uematsu et al., 1983; Arimoto et al., 1989)。當然，也有學者深入大陸地區，採集當地沙塵，以了解輸出源地區物質特性 (Huebert et al., 1988; Savoie and Prospero, 1989)。

近十年來，東亞地區工商成長快速，大範圍的空氣污染與化學物質傳送對綜觀尺度的大氣化學場影響極大。Kato and Akimoto(1992)估算本區在近年內，約每年增加 4%的 SO_2 與 NO_x 排放量，其所伴隨之長程酸雨物質傳送 (Carmichael et al., 1993)與長程臭氧及光化物質傳送(Akimoto et al., 1996)等問題，均使得相關研究漸由對自然物質輸送現象的探討，轉變為大範圍地區人為污染影響的深思(Gao et al., 1992)。特別是中國大陸長期高經濟成長率，與 75%以上的能源來自燃煤，使得生態保護者密切關注酸雨問題惡化對生態系的長遠影響；同時大氣輻射與氣候研究者則提出硫酸根粒子增多對區域氣候影響的重要性，以及近地面光化

物質增多對區域性與全球性溫室氣體濃度變化與溫室效應的影響等(IPCC, 1995)。換言之，區域大氣化學研究對區域及全球氣候變遷的探討，在人為污染愈為嚴重的現代社會，扮演舉足輕重的角色。

1991 年與 1994 年先後二次的西太平洋探測研究計畫(PEM-west Phase A, B) (Hoell et al., 1996, 1997)，就是在上述的背景思考下，由美國國家太空總署(NASA)提供經費與監測飛機，先後進行秋季與春季的西北太平洋地區上空大氣化學場實測，以研究亞洲大陸物質輸送對海洋地區物質變化的影響(Talbot et al., 1996, 1997; Gregory et al., 1997)，並探討平流層與對流層間物質輸送變化情形，更進而研究對流層內臭氣生成效率(Davis et al., 1996; Crawford et al., 1997)、颱風對水平與垂直物質傳輸的影響(Newell et al., 1996)等。在推動這個計畫的過程中，對東亞學術界比較具體的影響，主要是協助各國建立起各自的背景大氣監測站(Wang et al., 1997; Chen et al., 1997; Liu et al., 1997; Kajii et al., 1997)，並進行儀器比對(Ridley et al., 1993)和資料交換等工作，這對長期穩定的監測東亞大範圍地區的物資變化，可謂奠定堅實基礎。日本環境廳之環境研究所更起而引導該國飛航監測的研究工作，並在 PEM-west A/B 期間同時進行 PEACAMPOT A/B 飛航監測，對日本近海地區大氣化學場進行深入研究(Akimoto et al., 1994; Kajii et al., 1997)。下一階段在 2001 年春

天，NASA 將再度在東亞地區推動類似計畫，這不僅將加強探究區域性大氣化學場在近十年內的變化情形，更對持續本區的背景大氣監測提供合作研究的機會。

我國正位於東亞大陸與西北太平洋的交界，又位於副熱帶地區，在氣候上，秋、冬、春季受東北季風影響，因此可測量到中緯度日本、南韓、中國大陸所輸送來之高濃度臭氧（約 50ppbv），其特徵是幾無日變化特性（Liu et al., 1995a, 1997），同時在春季尚可觀測到黃土塵暴輸送至台灣地區的現象（楊等，1996；林，1996）。在夏季，則受西南季風與颱風的影響，若空氣團源自中太平洋清潔地區，則大氣化學場監測會觀測到低濃度臭氧（低於 10ppbv），此資料與 Browell et al. (1996)所提出之低緯度西太平洋海洋清潔背景大氣特徵一致；若空氣團源自南海與東南亞地區，則會觀測到略高的臭氧濃度（高於 10ppbv）（Liu et al., 1995a），或低濃度之懸浮微粒（林，1996）。

大致上，PEM-west A/B期間研究發現重點如下（柳等，1994；Buhr et al., 1996；Liu et al., 1995a, 1997）：

(1) 1991年6、7月在台灣西北海岸，鄉村區小時平均SO₂濃度約為1.4 ppbv，最高濃度約為12 ~ 20 ppbv；而在都市區小時平均SO₂濃度約為10 ~ 100 ppbv；二者相差極大。

(2) 西南季風盛行時，北台灣海峽之背景小時平均SO₂濃度約為0.1~1ppbv，而CO濃度約為220~260ppbv。

(3) 1991年9、10月在台灣南端墾丁，所觀測到之SO₂濃度隨空氣來源而異。源自墾丁北方者，小時平均SO₂濃度約為0.03 ~ 8 ppbv，日平

均SO₂濃度約為0.5 ~ 2.2 ppbv；源自墾丁南方者，小時平均SO₂濃度約為0.1 ~ 1.7 ppbv，日平均SO₂濃度約為0.3 ~ 0.8 ppbv，顯然較為清潔。類似現象亦在CO資料中可觀察到，空氣源自北方者CO平均濃度為200 ~ 310ppbv，而源自南方者為75 ~ 175 ppbv。

(4) 在墾丁所測之近地面臭氧濃度與大尺度之氣團運動有關。1991年9月當颱風移近時，臭氧與PAN均與近地面氣壓同步下降；在觀測中曾出現7 ppbv低濃度臭氧與 7 pptv之PAN。類似現象亦曾在日本Okī島被觀測到，當地平均臭氧濃度約為50ppbv，但當Mireille颱風侵襲時卻下降至5 ppbv濃度。

(5) 當大陸高壓主宰綜觀天氣系統時，台灣地區盛行東北季風，墾丁地區日平均臭氧濃度大致維持在38 ~ 50 ppbv的高濃度，並且每日均無明顯之日變化現象。長程傳送分析顯示臭氧分子源自大陸華北、韓國、日本與東海地區。

(6) 採用空氣胞路徑追蹤可對氣團的物質傳送現象有所認知，Akimoto et al. (1996)與Kajii et al.(1997)先後均提出相似方法分析背景大氣站監測資料。大致上，在1991年9-10月有六類空氣胞路徑將物質輸送至南台灣。源自中太平洋者，臭氧濃度約為7 ~ 12 ppbv；源自墾丁南方者，臭氧濃度約為12 ~ 25 ppbv；氣團經高緯度地區抵達墾丁者，雖然初始源自太平洋，臭氧濃度仍約為12 ~ 30 ppbv；至於源自高緯度與較高氣層者，臭氧小時平均濃度約為27 ~ 66 ppbv。1991年10月空氣胞路徑多屬最後一類，雖然每日路徑特徵會略改變。

(7) 雖然墾丁地區為清潔無重大污染源之國家公園，高臭氧濃度94.4 ppbv與明顯之單尖峰

都市污染特徵，仍在1991年9月內被觀測到。其主要因為空氣經台灣西海岸污染地區，再經充分之光化反應後輸送抵墾丁。

(8) 在1994年2-3月東北季風盛行期間， O_3 、CO與 SO_2 的小時平均濃度約分別為35~75、110~390與0.05~4 ppbv，平均約為43.9、208與0.32 ppbv。

(9) 東北季風期，墾丁地區經常有冷峰通過，其特徵為：臭氧濃度由5~15 ppbv上升為40~55 ppbv，而CO與 SO_2 濃度則分別由80~220、0.05~0.3 ppbv上升至500、12 ppbv，高CO與 SO_2 濃度可持續約36小時。此現象應與冷鋒通過前後空氣源不同有關。

以上資料分析重點，乃是「氣候與空氣品質台灣站」(CATS; Climate and Air quality Taiwan Station)研究群，在1991年與1994年分別於桃園新屋與屏東墾丁進行密集監測所獲得的研究成果。但是，這類研究僅屬短期性，並非長期正常監測，所以並無法提供台灣地區長期背景大氣變化特徵資訊，當然也就無法協助了解區域性與全球性大氣化學場與氣候變化之相關。因此，中央氣象局決定設立長期背景站於蘭嶼(柳與林，1994)。此背景站已順利於1994年10月開始運轉，並持續進行近地面 O_3 、CO、 SO_2 、NO、 NO_2 、 CO_2 等氣體濃度監測(柳，1995)，比較完整的資料整理則是自1995年3月以後。

本文乃與中央氣象局合作，整理分析1995年5月~1998年7月期間蘭嶼背景大氣監測資料，以期了解三年多來台灣地區背景大氣化學場之變化。其主要目的在了解監測站之適當性與各項測量因子之氣候代表特性。在第二節內乃介紹測站環境與儀器，第三節則進行空氣源

路徑追蹤分析，第四節進行測站地面氣象特性探討，第五節為大氣化學場分析，第六節為結論。其中第五節尚區分長期平均、與氣象因子之相關、日變化與逐時變化、大氣化學物質相關變化探討、與國際資料相比較等小節，進行細部分析。

二、蘭嶼背景大氣監測站

國科會氣候與空氣品質台灣站(CATS)研究群，在1989年11月召開中美研討會，討論我國科學界未來在參與全球變遷有關大氣背景觀測方面所應進行之工作(柳，1992)。基本上，背景大氣監測的主要目的在長期監測大氣成份的改變，但是空氣的流動性大，且化學物質的各項反應不斷在進行，因此需全球共同合作，一起進行某些特定化學物質的監測。此些物質可區分為長生命期與短生命期，前者如 CH_4 、 N_2O 、CFC、 CO_2 等，國際間已有許多測站，同時由於其化學反應緩慢，所以無論在時間上或空間上的變化均不大，因此在測量項目的優先排列次序上，可暫忽略之。初期，吾人將進行 CO_2 測量，未來再逐步增加其他項目。另外，短生命期化學物質如 O_3 、NO、 NO_2 、 NO_x 、PAN、CO、 SO_2 、HC等，其濃度多寡，代表大範圍地區氣體化學反應進行的旺盛與否，並能說明碳、硫、氮等物質在大氣中之循環情形，因此在測量項目的優先排列次序上，極為重要。這些短生命期化學物質的測量與環保署的監測工作大不相同，因為環保署所測之污染地區濃度如 SO_2 約在10~100ppbv或更高，而背景地區濃度最高介於1~10ppbv間，多數則介於0.01~1ppbv間。

1993年1月中央氣象局與CATS研究群共同規劃，決定選擇蘭嶼站為背景測點，逐步建

立 O₃、CO、SO₂、NO、NO₂ 與 CO₂ 的自動監測。至於在採集空氣樣本，以分析空氣中 CH₄ 與 HC 的成份，以及採集懸浮微粒，分析其中硫酸根與硝酸根的含量等，初期亦曾邀請學界參與進行(柳，1995)，但是受限於經費與路途遙遠，最終均只好放棄。目前，基本上以氣體自動監測為主。

蘭嶼氣象站的經緯度為 22°02'，121°33'，高度為 324 公尺，位於蘭嶼島的中部。蘭嶼島位於台東東南方 49 海浬之太平洋上，西距鵝鑾鼻 41 海浬，北隔綠島 40 海浬，南臨菲律賓之巴丹島約 40 餘海浬。島嶼的外形像一隻握緊的拳頭，頭朝西北，腕向東南，是台灣第二大的附屬島嶼，全島面積約 45.79 平方公里，周長 38.45 公里，僅次於澎湖群島。蘭嶼島是一個多

山之島，最高的紅頭山，海拔 540 公尺，與東南部的大壽山，海拔 480 公尺，遙相對峙，其間山巒綿亙，只有海岸邊有狹小的平地。本地主要設施為台電公司核廢料儲存場、火力發電廠與觀光環島道路。由於本站設於山頂，同時風速強盛，並不會受當地污染影響。

測站內大氣背景監測系統包括：一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO₂)、臭氧(O₃)、一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO₂)、氮氧化物(NO_x)與二氧化碳(CO₂)等氣體之自動監測儀器、氣體稀釋校正與採樣系統(Calibration & Sampling System)、資料蒐集器(Data Acquisition System)與資料處理電腦設備。有關各氣體監測儀器之資料詳述於表一，包括廠牌、監測原理、最低檢測(Minimum Detectable Limit)濃度、精密度(Precision)等。

表一 蘭嶼背景站所監測之氣體與所使用之儀器。

項目	儀器	監測原理	最低檢測濃度	精密度
一氧化碳(CO)	Thermo Environmental Instruments Inc. (TEI) Model 48S 儀器	氣體交替濾波法 (Gas Filter Correlation Principle)	0.05 ppmv	±0.01 ppmv
二氧化硫(SO ₂)	TEI Model 43S 儀器	螢光脈衝法 (Pulsed Fluorescence Technique)	0.06ppbv	±0.01ppbv
臭氧(O ₃)	TEI Model 49S 儀器	UV 紫外光吸收原理 (UV Absorption Principle)	2 ppbv	± 2 ppbv
一氧化氮(NO)、二氧化氮(NO ₂)、氮氧化物(NO _x)	TEI Model 42S 儀器	螢光原理 (Chemiluminescence Principle)	0.05 ppbv	±0.01 ppbv
二氧化碳(CO ₂)	Siemens Inc. ULTRAMAT 5 儀器	非消散紅外線氣體分析儀 (NonDispersive InfraRed Gas Analyzer, NDIR)	0.01 ppmv	±0.01 ppmv

氣體稀釋校正與採樣系統之管路，一率採用鐵氟龍管。採樣口裝設於屋頂，離地面約 4 公尺，進氣口配有防風雨的設備。各分析儀以幫浦將採樣氣體導入反應室分析，所得測值以類比訊號輸出至資料蒐集器(DASIBI Model 8001)。資料處理系統以遠端數位傳輸方式送回中央氣象局。各元件均經防腐蝕處理。

校正系統為 SABIO 廠牌，包括稀釋校正器 Model 2000SA、零氣體產生器 Model 1001、觸媒氧化去除器 Model 1000。儀器校正均由高濃度校正氣體與零氣體混合稀釋，以質子流量控制器控制流量，提供穩定正確的校正氣體濃度。校正方式分為自動校正與手動多點校正。

在自動校正方面，每日凌晨起逐時逐項執行 NO/NO_x、SO₂、O₃、CO、CO₂ 自動檢查，以零氣體執行 20 分鐘之零點校正，再以全幅 80% 的標準氣體執行 20 分鐘之全幅校正。將當日及次日自動校正得到的數據加以計算，所得之偏移值作為當日測值修正的依據。校正程序由資料蒐集器定時搖控稀釋校正器執行預設好之程序模式，並同時控制分析儀之校正電磁閥以進行該自動校正程序。此外，每月定期維護進行多點校正，執行全幅之 80%、60%、40%、20% 與零點等 5 點校正，並繪置曲線及計算回歸係數以確定該項分析儀具線性正常性。

在 CO₂ 測量方面，1997 年以前所使用之 SABIO 牌稀釋校正器有問題，會在稀釋標準氣體進行校正時，使產生之校正濃度比設定的濃度低約 10%，而致使實測值偏高。該校正器在 1997 年 1 月已進行修正，並於 1997 年 10 月進行檢定，確定問題已完全消失。所以 1995~1996 年間 CO₂ 資料被迫放棄，真正有效資料應是自

1997 年 1 月以後。

基本上，背景大氣監測絕非在短期內能立刻看到成果，也需持續與國際相關單位積極合作交流，才能有效監測我國附近地區大氣化學場之長期變遷，並提供相關研究之資料所需。由於我國非聯合國會員，此項「聯合國氣象組織」(WMO)長期就在鼓勵進行的日常作業，一直因為我國氣象工作人員無法參與 WMO 相關之訓練與儀器比對等，在我國卻難以推動。以大氣總臭氧監測為例，我國長期在台北測站已進行約 40 年監測，但直至 1992 年同時在台北與台東成功進行監測，才能以同時比對的方式，確定監測品質(Liu et al., 1995b)。而背景大氣監測乃是微量氣體濃度測量，更比在污染地區進行監測困難，絕非簡單購買商業性監測儀器，就可提供可信度高的監測成果。未來，如何在國內增加專業監測人才，與定期參與國際性儀器比對，對於本站監測品質之提升，至為重要。

三、空氣源路徑追蹤分析

王等 (1994)利用四階 Rung-kutta 方法積分，計算空氣胞在等熵面與等壓面的運動軌跡(Crum and Stevens, 1988)，以分析 1991 年 9~10 月間墾丁臭氧濃度變化與長程空氣胞軌跡的相關，結果發現：臭氧背景值在 10~20 ppbv 時，24 小時前軌跡線主要來自東南或東方，且伴隨較高濕度及上升運動；臭氧背景值在 40~50 ppbv 時，主宰的氣流為下沉性，且相對濕度較低(~80%)，軌跡來向大致為東北方；若臭氧濃度達 100 ppbv 上下，此時軌跡大都來自西方或西方，且伴隨著下沉氣流，明顯地與台灣西岸的污染排放有關。

延續王等(1994)研究，使用歐洲氣象中心(EC)資料，空間解析為 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ，垂直解析為 10 個標準層，時間解析為 12 小時，分析時段為 1993 年 1 月與 4 月、1992 年 7 月與 10 月，分別代表冬季、春季、夏季與秋季。吾人乃同時

進行等壓面與等熵面的軌跡計算，統計分析每 12 小時空氣胞自蘭嶼後推 72 小時的軌跡，以探討蘭嶼上游空氣源在不同季節下的分佈狀態(柳，1995)。

元月份在 850 mb 等壓面上(圖 1a,b)，空氣

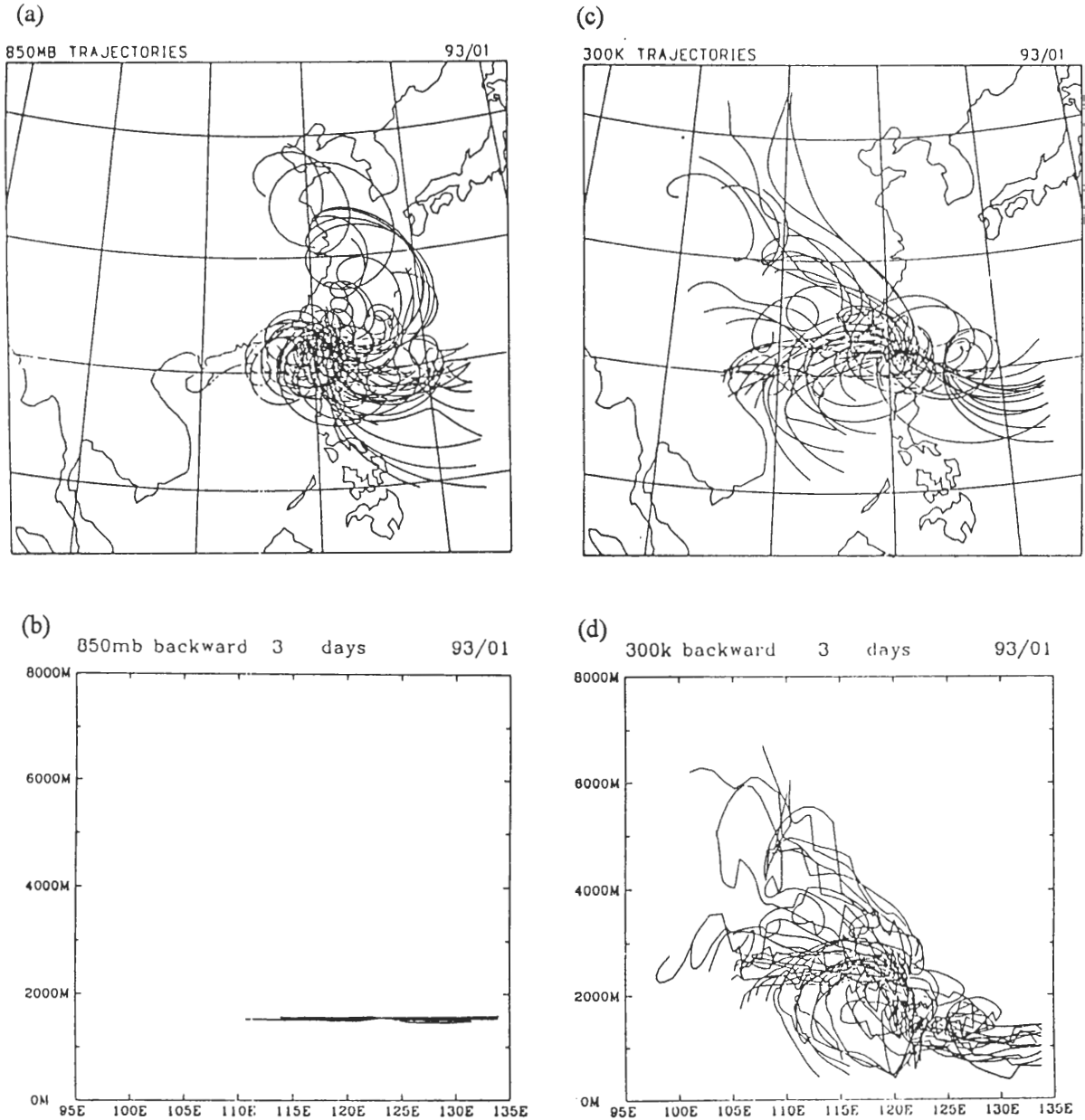


圖 1 沿著 850mb 等壓面上，1993 年元月份自蘭嶼上空倒退 3 日之空氣胞路徑軌跡，(a)經度-緯度面與(b)高度-緯度面；另外在 300°K 等熵面上，(c)經度-緯度面與(d)高度-緯度面。

胞部份源自大陸，經東海、太平洋，以順時鐘的方式，由東北方向到達蘭嶼。此路徑，應與大陸冷高壓自蒙古往東南出海，所造成大尺度氣流運動有關。此外，部份軌跡源自台灣東方甚至東南方洋面，也以順時鐘方向前進，此路徑應與高壓出海後，迴流空氣胞的移動有關。空氣胞在等壓面上，都維持在約 1.5~1.6 km 的高度。但是在 300K 等熵面上(圖 1c,d)，因為空氣胞需維持絕熱保守性，所以其路徑變化較大，尤其是在高度方向。大略上，部份空氣胞源自 30~40°N、100~110°E、2~6 km 高度間，走向東南，略具順時鐘特性到達蘭嶼上空。顯然這也是與大陸性冷氣團發展有關，只是空氣胞在等熵面上較在等壓面上能反應出垂直方向的移動。另外，部份空氣胞源自台灣東南方洋面與西南方洋面，再沿順時鐘方向移動，顯示大陸氣團移入海洋，原始性質改變後，可能對我國空氣的影響。分析高度變化，源自洋面的空氣約在 1 公里高度，緩緩上升；而源自大陸地區的空氣約在 2~6 公里高度，再緩緩下降。

若將 95°E~135°E 與 5°~45°N 區域劃分為 64 個 5°×5° 的小區域，再計算 36 小時之前與 72 小時以前空氣胞源自不同小區域的分佈百分比。譬如在 1993 年 1 月之 300K 等熵面上，36 小時前，空氣胞主要源自 64 個區域中的 16 個區域，各自的出現機率約介於 2~15% 間，最大機率出現在大陸南方 (9~15%)、次為東方洋面 (2~11%)，其它為台灣附近地區與少部份來自大陸北方 (35~45°N, 105~115°E)。72 小時前，空氣胞主要源自 64 個區域中的 13 個區域，出現機率約介於 6~18% 間，最大機率出現在台灣附近，另外來自大陸西方 (6~12%)、與華中 (6~12%) 等。在高度面上，吾人將 95°E~135°E 與

500m~4500m 區域劃分為 64 個 5°×0.5km 的小區域，空氣胞呈現由西向東與由高向低的傾斜角度，也即源自台灣西北方向的空氣胞均來自較高的高度，而源自台灣東南方的空氣則來自較低高度；72 小時前此傾斜面亦是很明顯，高度最高在 4~4.5 公里(出現機率 18%)，最低在 1~1.5 公里高度(出現機率 6%)。

為節省篇幅，本文未將定量分析的圖表列出，僅文述重點。由於在經度-緯度面與經度-高度面上各區分出 64 個小區域，而在各個案中至少都有 10 個小區域會有空氣胞源出，因此各小區域內空氣胞出現機率可能低到 2%，而最高不會超過 40%，甚至才 15%。但在文述過程中，無法一一指陳各小區域位置與出現機率，因此僅能挑選幾個主要重點區域說明之。此說明方式的最大缺點是：幾個重點區域的累加出現機率可能並不高，而或有誤導之憾。謹在此提出註解說明。

4 月份在 850 mb 等壓面上(圖 2a,b)，空氣胞多源自菲律賓西向中南半島間，路徑為順時鐘，經華南、台灣海峽才達蘭嶼上空。高度約維持在 1.5 公里。此路徑顯示春季北方氣團的影響漸微，東南方溫暖空氣的影響漸盛。尤其是在 1993 年內，太平洋副熱帶高壓提早西伸，在 4 月份就顯現其對我國近海空氣胞移動的影響。305K 等熵面上(圖 2c,d)，也顯示出類似的空氣胞軌跡；在高度面上，等熵面具由南往北逐漸升高的特性，所以源自南方的空氣經南海、華南、甚至華中，再經台灣海峽與台灣西岸到達蘭嶼上空時，其高度顯現出逐步上升再下降的特性。若在 305°K 等熵面上進行定量分析，36 小時前空氣胞以源自華南地區為主(出現機率

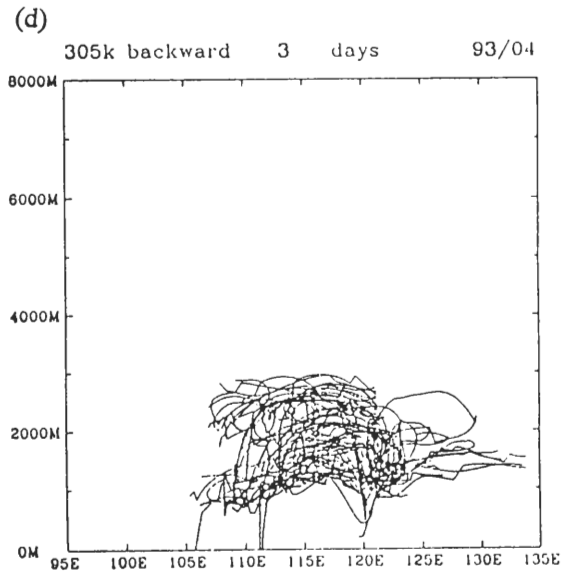
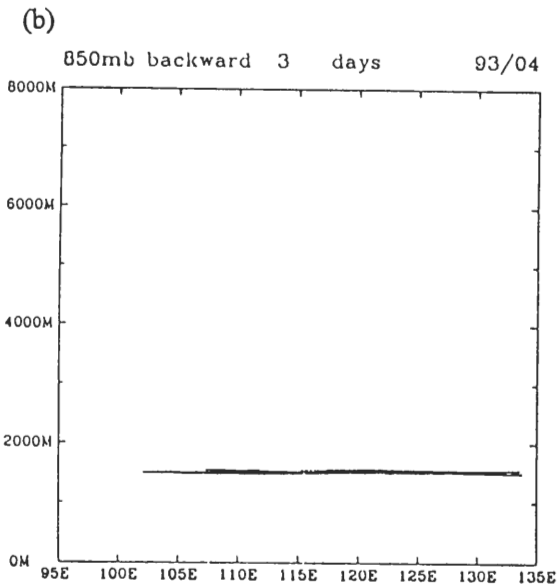
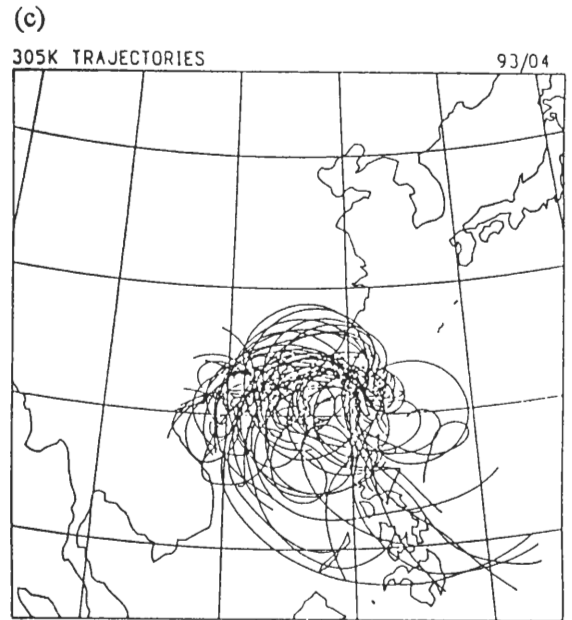
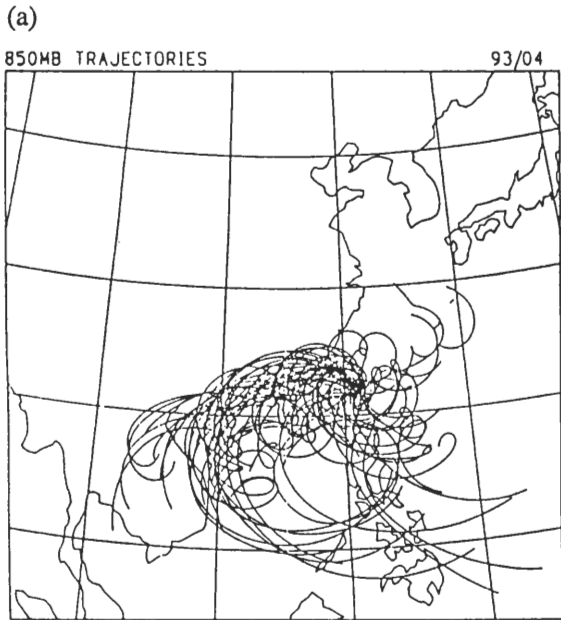


圖 2 沿著 850mb 等壓面上，1993 年 4 月份自蘭嶼上空倒退 3 日之空氣胞路徑軌跡，(a)經度-緯度面與(b)高度-緯度面；另外在 305k 等燭面上，(c)經度-緯度面與(d)高度-緯度面。

16~24%)，次為南海地區(6~16%)、菲律賓(2~8%)等地，空氣胞約源自 0.5~3 公里高度間，且以源自 (1~1.5 公里，110~115°E) 區間為主(出現機率 19%)。而在 72 小時前，空氣胞較集中於

南海與菲律賓間，高度約在 1~2 公里間(9~16%)。

7 月份在 850 mb 等壓面上(圖 3a,b)，空氣胞主要源自蘭嶼東北與西南的洋面上，且多以

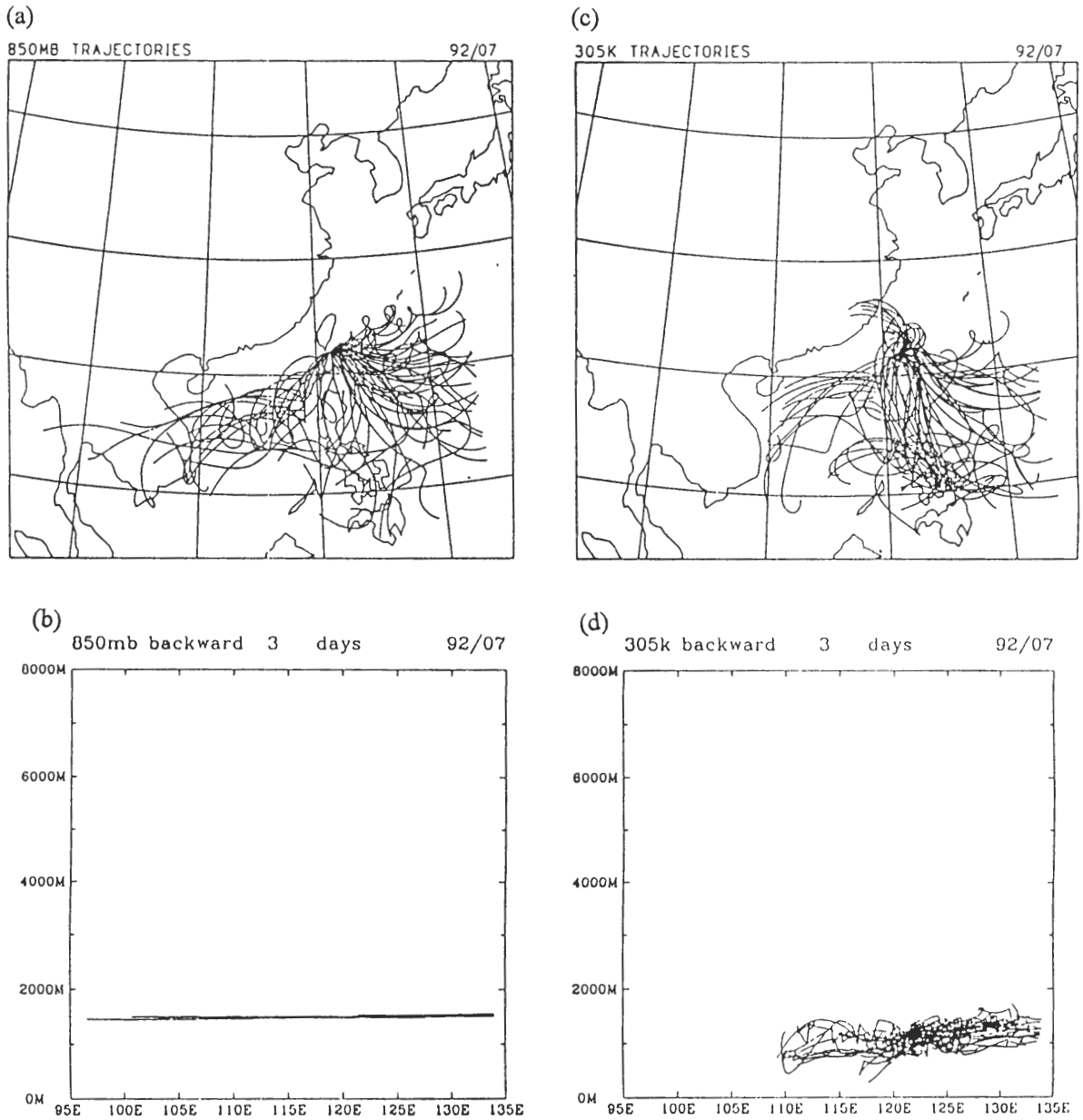


圖 3 沿著 850mb 等壓面上，1992 年七月份自蘭嶼上空倒退 3 日之空氣胞路徑軌跡，(a)經度-緯度面與(b)高度-緯度面；另外在 305°K 等熵面上，(c)經度-緯度面與(d)高度-緯度面。

圖 5：(續) 1995 年 3 月~1998 年 7 月蘭嶼站(d)風向、(e)風速等之月平均(mean)與標準偏差(S.D.)逐月變化情形。

直線運動方式直接向目標前進，並約維持在 1.5 公里高度。此空氣胞路徑顯示太平洋高壓強盛，台灣籠罩在此氣團的影響下，應該是下沉氣流

明顯，天乾物燥的情況。在 305K 等熵面上(圖 3c,d)，空氣胞路徑與等壓面上路徑略為不同，主要源自蘭嶼正南方，次為南海與東南方洋面，

且有部份空氣源自華南地區，在高度變化上，源自低緯度地區的空氣胞是逐漸由高（約 1~1.7 公里高度）緩緩下降到蘭嶼上空；而源自華南地區的空氣胞，其高度竟然最低（約 0.5 公里高度）。若在 305K 等熵面上進行定量分析，在 36 小時前空氣胞多源自台灣東南方洋面（出現機率 4~22%）與南海地區（2~9%），高度約源自 1~1.5 公里地區（出現機率 2~27%），甚至 0.5~1 公里地區（2~9%）。而在 72 小時前，空氣胞主要源自菲律賓南方群島上空 1~1.5 公里高度（37%），相當地集中。

10 月份在 850 mb 等壓面上（圖 4a,b），空氣胞多源自蘭嶼東南~東北洋面上，且循順時鐘軌跡緩緩前進，高度維持在 1.5 km 上下；此軌跡顯示東北季風特徵，大陸性冷高壓迅速控制秋季西北太平洋區大氣運動。在 305K 等熵面上（圖 4c,d），其特徵非常類似，但已有少部份空氣源自大陸西北上空 4 公里。大略上，等熵面已回升為北高南低的特性，所以源自華中的空氣約自 3 公里高度下降至台灣附近，而源自東南方洋面的空氣則自 1 公里高度緩緩上升至約 1.5 公里蘭嶼上空。若在 305°K 等熵面上進行定量分析，在 36 小時前空氣胞之源區分佈廣，且較靠近台灣，大略以台灣東方洋面（出現機率 11~24%）、北方洋面（13%）、台灣東北（11%）等地為主。高度來源出現由西向東、由北向南、由高向低的傾斜面，約源自 1~3 公里高度（出現機率 4~24%）。而在 72 小時前，空氣胞多源自台灣北方與東北方洋面（3~27%），部份空氣胞甚至源自大陸西北。高度分佈上，則以 2.5~3 公里高度為主（30%），在北方約來自 3.5~4 公里高度，南方約來自 1~1.5 公里高度。

總結而言，以等熵面軌跡來判斷，元月份

空氣胞多數受大陸冷氣團的影響，所以主要源自大陸上空，走向東南，以順時鐘行進方式，下降到蘭嶼上空。此外，因為大陸冷高壓出海後，迴流空氣的影響亦相當明顯，所以部份空氣胞源自華南至台灣東南方洋面間，亦採順時鐘前進方式，到達蘭嶼上空。4 月份南方暖濕空氣影響漸盛，空氣胞多源自菲律賓~中南半島間，走向華南，以順時鐘方式，由低層緩緩上升再下降到蘭嶼上空，高度變化約在 0.5~2.5 公里間。七月份則太平洋高壓明顯籠罩，所以南方低緯度空氣是由 1~1.5 公里高度緩緩下降到蘭嶼上方 1 公里左右。10 月份則大陸冷高壓迅速回升，空氣胞源自台灣北方~東方洋面，走向東南，採順時鐘前進方式，緩緩下降。以上討論，顯示季節性氣團變化，應可在蘭嶼地區清楚辨認。

大致上，蘭嶼背景站應可視之為「東亞區域背景站」，其空氣胞源自東亞各地，當然也經過台灣西部污染地區，但是空氣胞在經過相當充裕的時間後，才抵達蘭嶼，因此所測得的空氣性質並非是初排放之污染物，而是已經相當光化反應後之物質，同時蘭嶼本地污染源影響有限，這些均使得蘭嶼所測空氣胞代表著大範圍地區的均勻背景特性。但是，蘭嶼站不是「全球背景站」，而位居中太平洋的關島、夏威夷等地，因遠離區域性污染源，就可作為全球背景站。

四、地面氣象特性分析

有關台灣地區的綜觀氣象變化，一般多已了解，但有關單站地面氣象的變化則因地因時而異。對於長期背景大氣監測而言，地面氣象

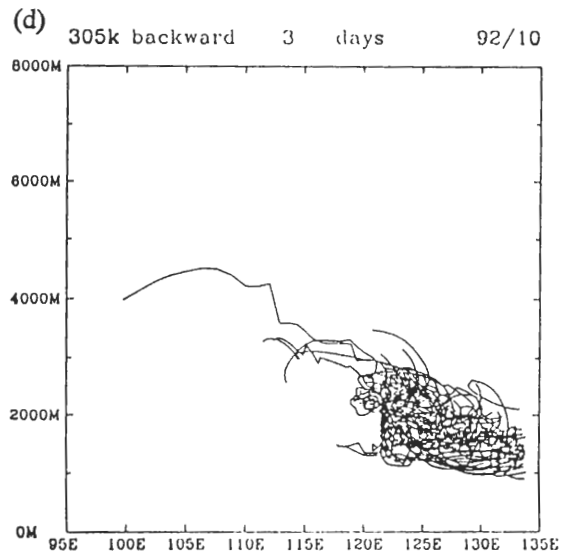
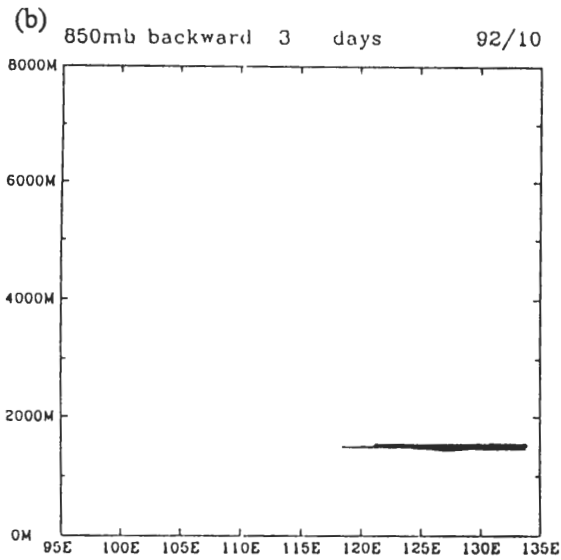
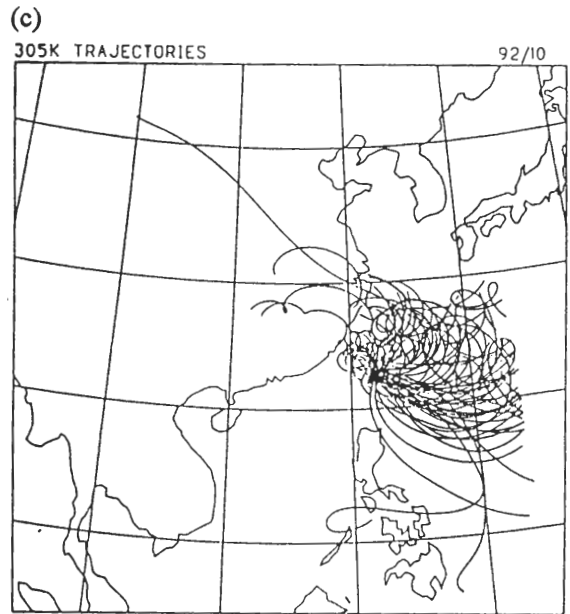
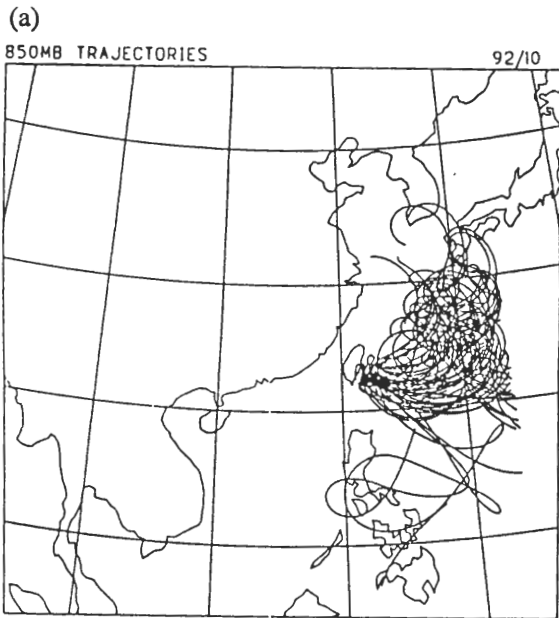


圖 4 沿著 850mb 等壓面上，1992 年十月份自蘭嶼上空倒退 3 日之空氣胞路徑軌跡，(a)經度-緯度面與(b)高度-緯度面；另外在 305K 等熵面上，(c)經度-緯度面與(d)高度-緯度面。

變化需與綜觀氣象環境緊密切合，以充份反應空氣團移動的情形；同時測站應少受附近地形影響，以避免測量到附近污染源的貢獻。當然，台灣東海岸污染源貢獻量遠較西海岸為少，而

蘭嶼又遠離本島，本地也少有污染源，因此只要氣體採樣口遠離地面(目前為 4 公尺)，則測站本身的任何污染貢獻亦被排除。不過，國際經驗指出(Mauna Loa 火山測站)：應注意當地

是否有明顯之海陸風或山谷風，以免出現海岸地區污染物被輸送到山頂的情況。

在以上的背景思考下，本節整理 1995 年 3 月~1998 年 7 月期間之蘭嶼氣象站氣象資料，主要為測站氣壓、氣溫、相對濕度、風向與風速，以分析月平均變化探討測站是否掌握縱觀氣流運動，以及分析月小時平均變化探討區域環流性質。

大致上，圖 5 顯示：月平均地面氣壓在冬季最高，夏季最低，上下差距約 15hPa；月平均氣溫則正好相反，上下差距約 10°C；同時，月平均相對濕度則是在冬季 12 月出現明顯低值。顯然蘭嶼站清楚掌握冬季乾冷氣團移入，與夏季濕暖空氣影響的狀況。此外，夏季颱風多經過蘭嶼附近，明顯壓低月平均氣壓值，所以氣壓的月標準偏差值(S.D.; standard deviation)在夏

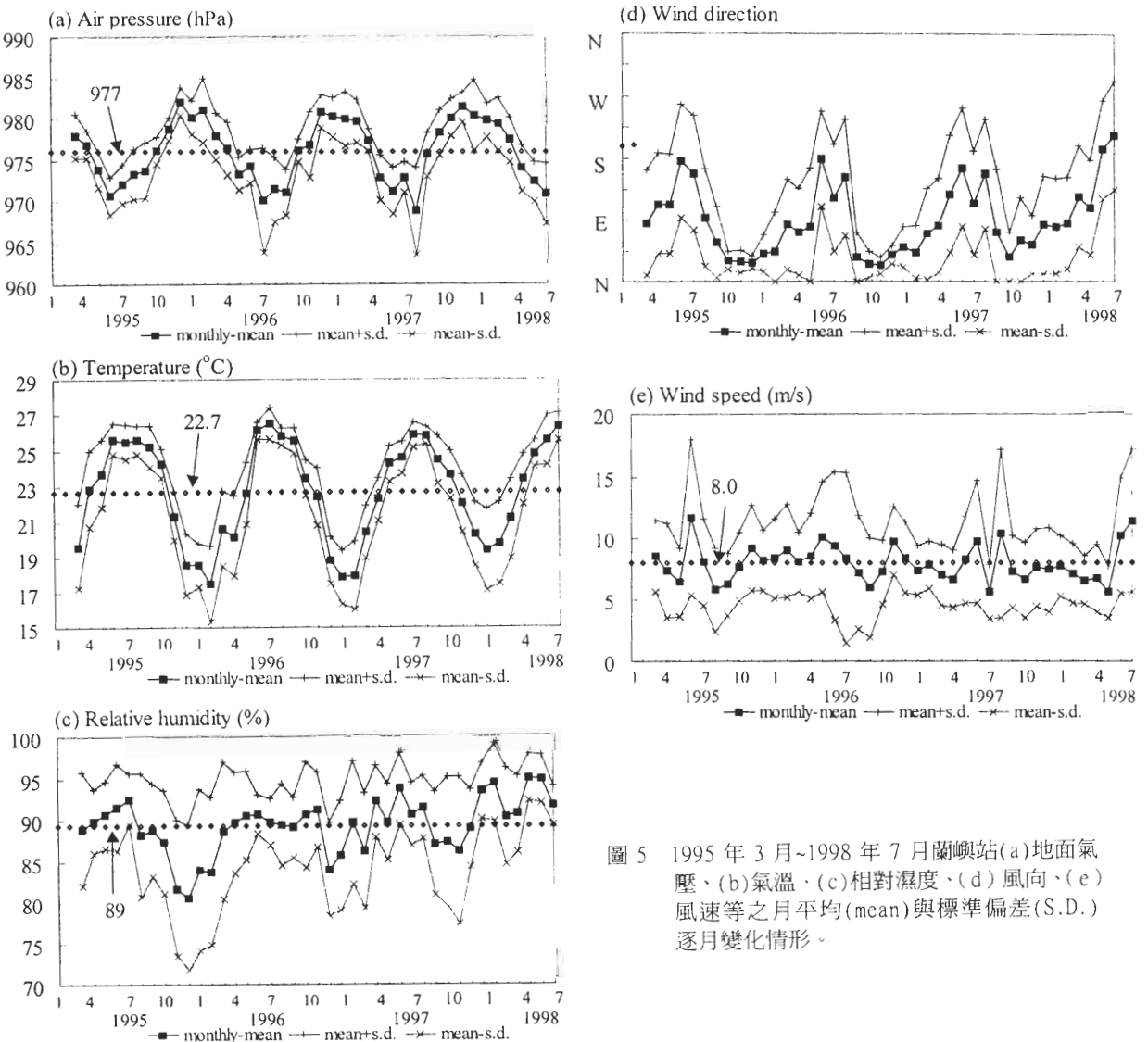


圖 5 1995 年 3 月~1998 年 7 月蘭嶼站(a)地面氣壓、(b)氣溫、(c)相對濕度、(d)風向、(e)風速等之月平均(mean)與標準偏差(S.D.)逐月變化情形。

季遠大於冬季。至於 1997 年為聖嬰年，暖冬的現象在 1998 年初明顯可辨，1998 年 2 月氣溫約較 1996 年 2 月高 2.1°C 。特別值得指出：相對濕度在這 3 年半間出現明確上升的趨勢。

在月平均風向變化方面，圖 5d 顯示：東北風~北風主要出現在 9 月~2 月間，夏季則為南風，這與季節性氣團移動變化一致。月平均風速則無明顯之季節性變化，長期平均約為 8ms^{-1} ；比較明顯的季節性變化，乃是月標準偏差值在夏季大於冬季。由於蘭嶼站位於山頂，因此高風速與穩定風向為主要特徵，並能清楚呈現綜觀氣流運動。至於夏季風速變動大，乃主要因為逐日之氣象環流變化大，如颱風通過等。值得注意的是：1997 年末~1998 年初之冬季東北季風氣流，其持續時間遠較其他兩年冬季為短，配合高相對濕度，顯示暖冬現象與南方暖濕氣團提早影響台灣地區有直接關聯。

另外分析各氣象因子在每年 1 月、4 月、7 月與 10 月之月小時平均值變化情形(柳與張，1998)，氣壓在每日均是在上午 9 時與晚上 9 時出現高值，此屬正常的日變化特徵；各年間差異以在 7 月最顯著，1996 年與 1998 年 7 月各小時氣壓約小於其他二年 10hPa 。氣溫在每月均是午時~14 時間出現高值，各年間差異以在 7 月最顯著，1996 年與 1998 年 7 月各小時氣溫約大於其他二年 0.8°C 。相對濕度是在午時出現低值，各小時之平均相對濕度都在 80%以上，甚至達 95%，顯示海島高濕性質。

月小時平均風速約略出現午時稍低的現象，但不是很明顯，原則上各月各小時平均風速都至少大於 6ms^{-1} ，甚至達 12ms^{-1} (1998 年 7 月)。至於月小時平均風向在各月均無明顯日變化，此可能與區域熱力環流在該站不明顯有關，

因此沿海岸污染源應不會影響到監測結果。

本節分析顯示：蘭嶼站在監測大範圍綜觀氣流變化，與不受區域性熱力系統影響方面，均符合背景大氣監測的條件。此外，本文內強調秋冬季乾冷大陸氣團盛行東北季風，與夏季暖濕海洋氣團盛行西南氣流，以泛指大範圍氣流場與氣團特性，但並非指該期間內每日蘭嶼風向將不變。如夏季副熱帶高壓位居台灣東方，則蘭嶼與台灣南端許多測站，均將是西南風盛行，但若是副熱帶高壓位居台灣上空或偏西，則蘭嶼將為北風或東北風。

五、大氣化學場分析

本節使用蘭嶼站在 1995 年 3 月~1998 年 7 月所測 NO 、 NO_2 、 NO_x 、 O_3 、 SO_2 、 CO 與 CO_2 資料，進行月平均變化與月小時平均特性分析，主要目的為探討大範圍地區大氣化學場特徵與長期變化狀況。在資料處理方面：每日要求至少 20 小時資料，以進行日平均計算；每月則至少 17 日資料，以進行月平均計算；而每月小時平均計算，也需至少 17 日資料。大致上，除 1995 年 3 月僅有 17 日資料外，其他各月多有 28 日以上的觀測資料。

(一) 長期平均

表二詳列逐年之平均資料，其中 1995 年與 1998 年並無整整 12 個月資料，所以較難看出長期逐年變化趨勢。整體資料顯示： NO 濃度為 $0.12\pm 0.10\text{ppbv}$ ， NO_2 濃度為 $0.60\pm 0.19\text{ppbv}$ ， NO_x 濃度為 $0.72\pm 0.25\text{ppbv}$ ， O_3 濃度為 $32\pm 11\text{ppbv}$ ， SO_2 濃度為 $0.24\pm 0.08\text{ppbv}$ ， CO 濃度為 $0.17\pm 0.05\text{ppmv}$ ， CO_2 濃度為 $361\pm 5.4\text{ppmv}$ 。相較於台灣地區環保署各空氣

表二 蘭嶼背景站所測各項大氣化學物質之年平均值。

	NO (ppbv)	NO ₂ (ppbv)	NO _x (ppbv)	O ₃ (ppbv)	SO ₂ (ppbv)	CO(ppmv)	CO ₂ (ppmv)
1995 (3~12)	0.15±0.08	0.58±0.31	0.72±0.38	28±16	0.29±0.15	0.19±0.10	—
1996 (1~12)	0.10±0.06	0.61±0.24	0.70±0.28	33±12	0.24±0.10	0.18±0.05	—
1997 (1~12)	0.10±0.09	0.58±0.15	0.68±0.20	34±9	0.22±0.05	0.15±0.05	358±3.6
1998 (1~7)	0.17±0.19	0.66±0.18	0.82±0.30	30±9	0.20±0.04	0.16±0.06	368±2.4
Long-term mean	0.12±0.10	0.60±0.19	0.72±0.25	32±11	0.24±0.08	0.17±0.05	361±5.4

品質監測站之 NO、NO₂、NO_x、SO₂ 與 CO 的年平均濃度，約小 1~3 個尺度，O₃ 則較都市測站的年平均濃度為高約 20ppbv，CO₂ 則較台灣各地為低約 100ppmv。

為何背景站的平均臭氧濃度反會大於污染地區的平均濃度？事實上，污染區如台北、高雄，午時臭氣濃度可大幅超越 120ppbv，但是入夜後或在陰雨天，卻因進行化學反應與受近地層物質吸收等因素，臭氧濃度減少到 5ppbv 以下；因此在進行長期平均計算時，反會因低濃度出現次數遠大於高濃度之出現次數，所以年平均濃度多在 20ppbv 上下。因此，在進行污染區臭氣研究時，多只觀察白日狀況。反之，背景站大氣濃度乃反應大範圍地區狀況，且測站附近多無污染源，所以臭氣濃度幾無明顯日夜變化，而致長期平均濃度反高於污染區。但是，若是觀察背景站的午時最高臭氣濃度，則幾無超過 65ppbv 的情形，當然也就比污染地區的午時最高濃度為低。

圖 6 詳繪各化學物質的逐月濃度變化情形。NO 之月平均濃度約在 0.01~0.8ppb 間變動，最高濃度出現在 1998 年 7 月，低濃度則出現在 1998 年與 1997 年冬季。每年 7 月出現高濃度的情形，在最後三年非常明顯。NO₂ 之月平均濃度約在 0.4~1ppb 間變動，並無明顯之季節性變化現象。NO_x 之月平均濃度約在 0.5~1.1ppb 間變動，其為 NO 與 NO₂ 之和，但與後者相關性高，所以也無明顯之季節性變化現象。

O₃ 之月平均濃度約在 10 ~ 47ppbv 間變動，並且出現非常明顯的季節變化現象，高濃度在 10~3 月東北季風期間出現，低濃度在 6~8 月夏季西南季風期間出現，7 月的低濃度非常明確。SO₂ 之月平均濃度約在 0.1~0.5ppb 間變動，並無明顯之季節性變化現象，最低濃度出現在 1996 年 11 月。CO 之月平均濃度約在 0.05~0.28ppm 間變動，6、7 月濃度較低，最低濃度出現在 1998 年 7 月。CO₂ 之月平均濃度約在 350~370ppb 間變動，似乎有夏秋季濃度低、

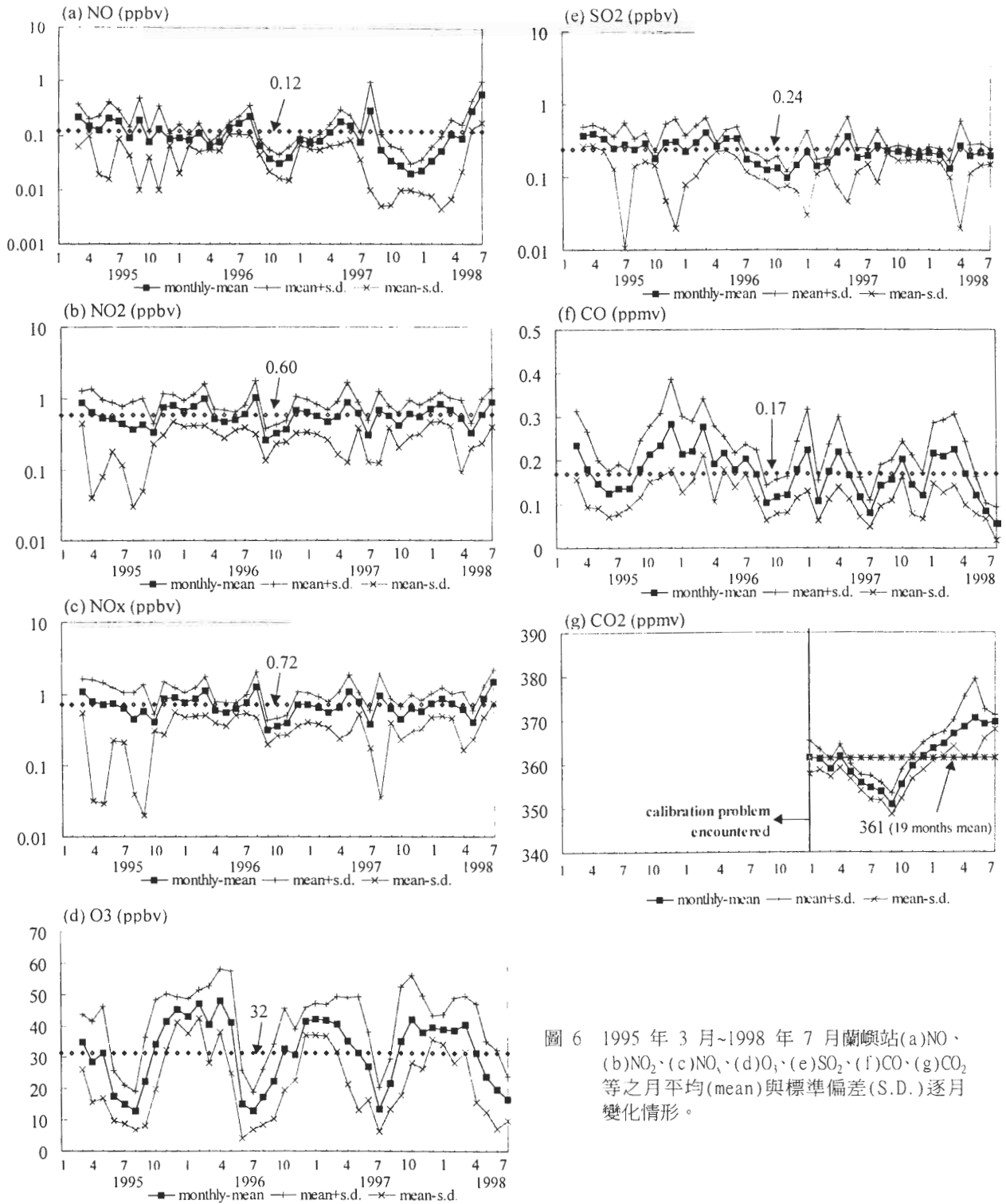


圖 6 1995 年 3 月~1998 年 7 月蘭嶼站(a)NO、(b)NO₂、(c)NO_x、(d)O₃、(e)SO₂、(f)CO、(g)CO₂ 等之月平均(mean)與標準偏差(S.D.)逐月變化情形。

冬春季則較高的現象，最低濃度出現在 1997 年 9 月，最高濃度出現在 1998 年 5 月。

表三詳列蘭嶼站各大氣化學物質之逐月平均濃度，若除以長期平均濃度(表二)後，所得正常化之逐月變化情形，則將以 NO 的逐月變化性最大，7 月濃度為長期平均之 2.08 倍(約 0.25ppbv)，而 12 月濃度為長期平均之 0.42 倍(約 0.05ppbv)。如此大的變化應是與太陽輻射的季節變化有關，而非完全是因為氣團改變，因為 NO₂、NO_x 並未出現類似的季節變化情形。其次變化明顯者為 O₃，7 月濃度為長期平均之 0.45 倍(約 15ppbv)，而 12 月濃度為長期平均之 1.31 倍(約 42ppbv)，此變化則與氣團變動有直接關聯；因為臭氧乃光化反應生成，若前趨污染物質充裕，則在經長程傳送後，臭氧濃度就會大幅提升，反之則屬清潔氣團。

CO 的月變化亦很明顯，7 月濃度為長期平均之 0.70 倍(約 0.12ppmv)，而 12 月濃度為

長期平均之 1.14 倍(約 0.19ppmv)，此變化除季節性因素外，亦應與氣團變動有直接關聯；不過仔細比較臭氧與 CO 之逐月變化情形(圖 6d 與圖 6f)，仍以臭氧濃度變化與季節性氣團變化之相關最高。至於 SO₂，其月際變化則明顯與季節性氣團變化無關。

CO₂ 濃度約略呈現 9 月低、4 月高的情形，但因只有 1 年半有效資料，明確之季節性變化，仍待更多資料後才能確定。依據 Erickson et al. (1996)，國際間各主要背景站之 CO₂ 濃度均呈現春高秋低的現象，蘭嶼在 1997 年亦呈現類似型態；但 1998 年內是否因聖嬰現象在 5 月結束，而反聖嬰現象逐漸顯現，而造成 1998 年 7 月臭氧、NO_x 與 CO₂ 均較過去 7 月濃度為高，而至使 CO₂ 的季節性變化形態有所改變，此點則需更多年的監測資料方能確定。

NO_x、SO₂ 與 CO 均屬原生性污染物，為何三者的季節性變化不同？由於這些物資的排放

表三 蘭嶼背景站所測各項大氣化學物質之月平均值。

Month	NO (ppbv)	NO ₂ (ppbv)	NO _x (ppbv)	O ₃ (ppbv)	SO ₂ (ppbv)	CO (ppmv)	CO ₂ (ppmv)
1	0.07±0.04	0.63±0.04	0.75±0.02	41±2.2	0.22±0.00	0.22±0.00	363±1.4
2	0.06±0.03	0.74±0.14	0.80±0.13	42±4.3	0.22±0.08	0.18±0.06	363±2.5
3	0.11±0.07	0.77±0.23	0.89±0.28	39±2.8	0.27±0.14	0.23±0.04	363±5.6
4	0.11±0.03	0.56±0.06	0.67±0.09	36±8.5	0.29±0.08	0.19±0.02	365±4.8
5	0.12±0.05	0.56±0.24	0.70±0.29	32±7.1	0.31±0.07	0.16±0.04	364±8.6
6	0.20±0.07	0.57±0.06	0.77±0.10	20±5.2	0.25±0.06	0.13±0.04	362±9.4
7	0.25±0.22	0.56±0.25	0.82±0.46	15±1.7	0.21±0.05	0.12±0.07	362±11
8	0.20±0.10	0.70±0.34	0.89±0.41	17±4.3	0.22±0.06	0.15±0.02	354±0
9	0.10±0.07	0.42±0.16	0.51±0.17	27±7.4	0.22±0.08	0.15±0.04	351±0
10	0.05±0.02	0.36±0.05	0.41±0.04	36±5.2	0.18±0.05	0.18±0.05	355±0
11	0.06±0.06	0.58±0.20	0.64±0.24	37±5.3	0.20±0.10	0.17±0.06	359±0
12	0.05±0.03	0.69±0.12	0.74±0.15	42±2.8	0.22±0.08	0.19±0.08	362±0

源應多遠離蘭嶼測站，因此其彼此間之差異乃受化學反應的影響。如 CO 為清潔地區重要之臭氧生成源，與 OH 的反應是使其具明顯季節變化的主因之一(Novelli et al., 1992, 1994)；當然，氣團輸送源的影響也不可忽略。SO₂ 則在長程傳送過程中易轉換為硫酸根粒子，雖然蘭嶼站未進行懸浮微粒監測，但硫酸根粒子呈現春、冬季多，而夏季少的情形，應是非常明顯(林，1996)。至於 NO、NO₂ 與 NO_x，以及 PAN、HNO₃ 等氮化合物，以及硝酸根粒子等彼此轉換過程複雜，除 NO 在高太陽輻射時期生成較多外，各項含氮物質的季節變化性質較難掌握。

(二) 與氣象因子之相關

地面氣象因子(圖 5)與大氣化學物質(圖 6)在月際變化方面，是否有一定的相關性呢？表四詳列以 1995 年 3 月~1998 年 7 月間各項因子

之月平均資料，所計算得之彼此間相關係數。原則上以絕對值大於 0.5 代表相關變化顯著。大致上，NO 與 NO_x、風向間呈現正相關，其中與風向的正相關最明顯，依圖 5d 應是在七月份偏南風時 NO 濃度高，而冬季偏北風時 NO 濃度低，不過這僅是表示相關性高而非強調南風輸送高 NO，原則上仍應與太陽輻射強弱有關。另外，NO 與 O₃、氣壓間呈現負相關，此應與季節變化之不同有關(參考表三)。此外，NO₂ 僅與 NO_x 呈現高度相關，此與儀器測量有關。NO_x 則僅與 NO、NO₂ 之變化相關。

此外，O₃ 主要與氣壓及 CO 呈正相關，但與 NO、氣溫、相對濕度、風向呈負相關，大致主要說明冬季乾冷氣團輸送高濃度臭氧，夏季暖濕南方氣團則輸送清潔之低濃度臭氧。而 SO₂ 與 CO₂ 則均與各因子無明顯相關，此代表與季節性氣團變化之相關低。CO 則與臭氧、氣壓呈

表四 1995 年 3 月~1998 年 7 月蘭嶼站各氣象因子與各大氣化學物質間之月平均資料之相關係數。

	NO	NO ₂	NO _x	O ₃	SO ₂	CO ₂	CO	P	T	RH	WD	WS
NO	1.00	0.36	0.68	-0.54	0.19	0.27	-0.33	-0.60	0.48	0.26	0.74	0.54
NO ₂	0.36	1.00	0.92	0.25	0.35	0.15	0.42	0.20	-0.35	-0.18	0.21	0.33
NO _x	0.68	0.92	1.00	-0.02	0.36	0.25	0.19	-0.09	-0.08	-0.04	0.47	0.47
O ₃	-0.54	0.25	-0.02	1.00	0.07	-0.11	0.59	0.83	-0.88	-0.50	-0.70	-0.06
SO ₂	0.19	0.35	0.36	0.07	1.00	-0.21	0.42	-0.02	-0.04	-0.13	0.20	0.15
CO ₂	0.27	0.15	0.25	-0.11	-0.21	1.00	-0.07	0.12	-0.10	0.49	0.29	0.05
CO	-0.33	0.42	0.19	0.59	0.42	-0.07	1.00	0.53	-0.56	-0.50	-0.43	-0.09
P	-0.60	0.20	-0.09	0.83	-0.02	0.12	0.53	1.00	-0.89	-0.52	-0.69	-0.25
T	0.48	-0.35	-0.08	-0.88	-0.04	-0.10	-0.56	-0.89	1.00	0.48	0.63	0.05
RH	0.26	-0.18	-0.04	-0.50	-0.13	0.49	-0.50	-0.52	0.48	1.00	0.61	0.05
WD	0.74	0.21	0.47	-0.70	0.20	0.29	-0.43	-0.69	0.63	0.61	1.00	0.41
WS	0.54	0.33	0.47	-0.06	0.15	0.05	-0.09	-0.25	0.05	0.05	0.41	1.00

現正相關，與氣溫、相對濕度呈現負相關，大致與季節及氣團變化有關。比較 SO_2 及 NO_x 分別與 CO 之相關係數為 0.42 及 0.32，二相關均不高，但似顯示前者與 CO 之相關較顯著。

至於其他氣象因子間，出現氣壓與氣溫、相對濕度、風向呈現負相關，氣溫、相對濕度與風向呈現正相關等，大致均與季節性氣團變化有關。而蘭嶼海風強盛，氣團性質改變並不明顯影響當地風速變化，所以風速與各氣象因子之相關弱。

(三) 日變化與逐時變化

以上討論乃探討各大氣化學物質之總體氣候特性，主要重點在季節變化。另一值得觀察者是日變化特徵，若是不明顯者乃是大尺度氣流傳送所至，而若是日變化顯著者則可能是受近距離污染源影響，也可能是光化反應所致。分析每年元月、4 月、7 月與 10 月的月小時平均濃度變化(為簡省篇幅，相關繪圖請查柳與張(1998))， NO 、 NO_2 、 NO_x 之日變化是非常不明顯，似乎在一日內各小時濃度均非常接近。至於臭氧，除在七月份午時出現高峰外，其他月份內均呈現無日變化現象。換言之，光化反應影響臭氧生成在七月份最明顯，而其他月份則主要受大尺度氣流傳輸影響。但是，很值得注意的是七月份的臭氧濃度卻是一年內最低的。依據 Liu et al. (1995a) 的研究經驗，顯然夏季受海洋清潔空氣影響顯著，所以雖然光化反應很重要，但午時臭氧濃度卻無法提升到台灣西海岸污染地區所測到之 120ppbv 以上，平均最高濃度不過才約 25ppbv。

圖 7 繪出 1995、1996、1997、1998 年元月、4 月、7 月與 10 月之月小時 O_3 濃度平均圖。

圖中，每日清晨 2 點，由於進行自動校正，所以無觀測資料。大致上，元月份小時臭氧濃度介於 38~45ppbv，逐時變化小，此乃亞洲大陸氣團影響顯著的情況。4 月份氣團交替，逐時臭氧濃度在 1995 年為低於 30ppbv，在 1998 年則達到 50ppbv 上下，逐時變化小。計算各小時臭氧濃度出現機率，則發現在 45ppbv 附近具較高之出現機率，同時也在 15ppbv 附近出現機率高，顯示大陸氣團高臭氧與海洋氣團低臭氧交互影響情況。7 月份清潔海洋氣團影響顯著，小時臭氧濃度顯著下降，午時至多約 25ppbv。計算各小時臭氧濃度出現機率，以 5ppbv 出現機率較高，顯然受海洋氣團影響。逐時變化方面，7 月份較其他月份出現比較明顯之光化反應，所以出現午時單尖峰的現象。10 月份小時臭氧濃度介於 30~45ppbv，逐時變化小。計算各小時臭氧濃度機率，類似元月份以 45ppbv 上下之出現機率最高，但尚出現低至 20ppbv 的濃度，表示 10 月份海洋氣團勢微而大陸氣團則漸佔主流。比較 10 月份與 4 月份情形，可了解大陸高壓系統在秋季乃迅速發展南下，但在春季則是緩步北退。

SO_2 的日變化在各月份均是不明顯，但偶會出現一個高值，大致說明其主要源自長程傳送，較不受化學反應影響，但若偶有較大濃度之空氣團移入，可能會造成突然高值，這均屬偶發狀態，較難追蹤來源。 CO 的日變化在各月份均是不明顯，但不會出現偶發性高值；而與 NO 、 NO_2 、 NO_x 類似者，是在七月份內出現年際變化大的現象(參考表五與圖 6)。由於在清潔乾淨地區， CO 參與光化反應非常重要，因此七月份之年際變化大，可能是受上游源、氣流與太陽輻射等變化之綜合影響所至。

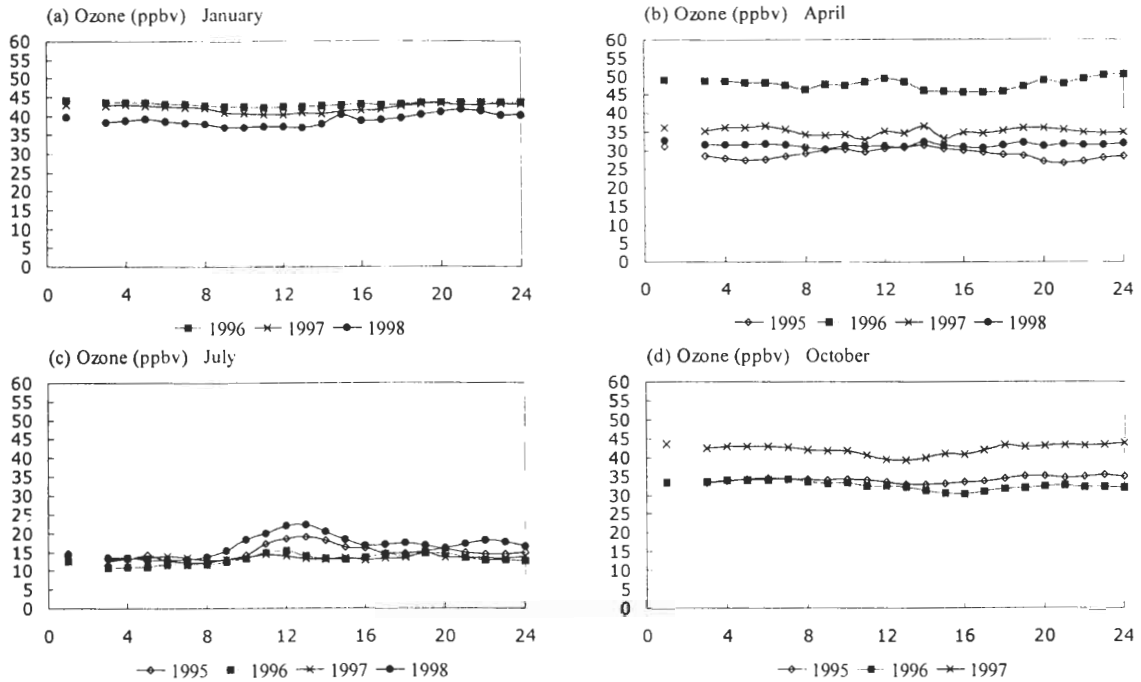


圖 7 蘭嶼站 O₃ 在(a)元月、(b)四月、(c)七月、(d)十月等月份內之月小時平均變化情形。
(圖中，每日清晨 2 點，由於進行自動校正，所以無觀測資料。)

表五 氣溫、風向與各大氣化學物質在每年元月與七月之月平均值比較。

	T (°C)	WD (deg)	NO (ppbv)	NO ₂ (ppbv)	NO _x (ppbv)	O ₃ (ppbv)	SO ₂ (ppbv)	CO (ppmv)	CO ₂ (ppmv)
1995, 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996, 1	18.6 ±1.3	41 ±27	0.09 ±0.07	0.68 ±0.27	0.77 ±0.29	43.1 ±5.4	0.22 ±0.14	0.21 ±0.09	-
1997, 1	17.9 ±1.5	50 ±29	0.08 ±0.02	0.65 ±0.32	0.73 ±0.32	42.1 ±5.0	0.22 ±0.22	0.22 ±0.09	362 ±3.8
1998, 1	19.4 ±2.3	83 ±72	0.02 ±0.01	0.72 ±0.26	0.75 ±0.26	39.0 ±4.7	0.21 ±0.05	0.22 ±0.07	364 ±2.8
1995, 7	25.5 ±1.0	159 ±84	0.18 ±0.10	0.45 ±0.34	0.64 ±0.42	15.0 ±6.2	0.28 ±0.27	0.14 ±0.06	-
1996, 7	26.5 ±0.9	123 ±78	0.17 ±0.06	0.61 ±0.21	0.77 ±0.22	12.9 ±5.9	0.17 ±0.06	0.20 ±0.03	-
1997, 7	25.9 ±0.7	114 ±76	0.08 ±0.04	0.31 ±0.18	0.39 ±0.21	13.5 ±7.1	0.20 ±0.05	0.08 ±0.03	355 ±2.6
1998, 7	26.3 ±0.8	214 ±79	0.58 ±0.41	0.89 ±0.50	1.47 ±0.72	16.7 ±7.0	0.20 ±0.05	0.06 ±0.04	370 ±1.7

蘭嶼站所測之 CO₂ 逐時變化，顯現午時為低值的現象，這與植物光合作用在白日吸收二氧化碳放出氧氣有直接關聯。由於這個現象在各年與各月均一致出現，因此顯示儀器觀測相當穩定與正常。圖 8 特別選 1997 年元月、4 月、7 月與 10 月之小時二氧化碳統計直方圖，以了解在各季節內，逐時出現機率最高之 CO₂ 濃度。

由於該儀器是在清晨 3 點進行自動校正，所以該時刻無資料。若忽略夏季濃度最低的情況，可發現 CO₂ 日變化最明顯在夏季 7 月，而最微弱在冬季 1 月，但仍在午時出現低濃度。1 月份午時與清晨濃度上下差 10ppmv，而 7 月約為 15ppmv。

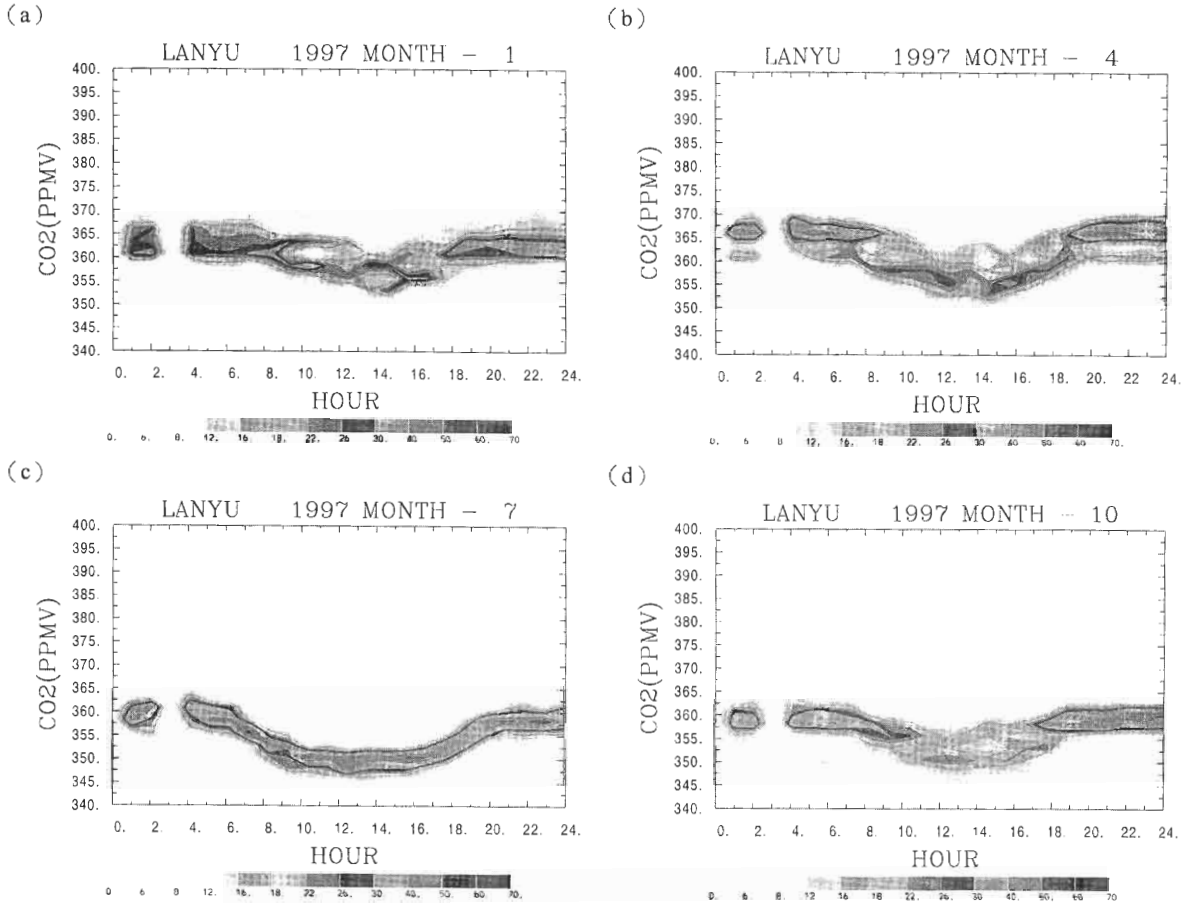


圖 8 1997 年(a)元月、(b)4 月、(c)7 月與(d)10 月之小時二氧化碳統計直方圖。(單位為出現機率, %) 圖中, 由於清晨三時進行自動校驗, 所以無資料。

本節分析大致指出 CO₂ 逐時變化最明顯, 其他均多呈現無日變化現象。此外, 在七月份內, 臭氧受光化生成影響大, 午時出現高值, 但因源自清潔乾淨之海洋空氣, 所以午時濃度平均才至多 25ppbv。再者, 各物質之年際變化以在七月份最明顯(參考表五與圖 6), 除上游源變動因素外, 最主要原因可能是氣象環境變動, 造成太陽輻射強度變化所致(氣溫亦在七月份出現明顯之年際變化)。

(四) 大氣化學物質相關變化探討

運用逐時資料, 可以計算逐年逐月各不同大氣化學物質彼此間之相關係數(為節省篇幅, 請查柳與張(1998)), 本節即期望了解各物質在不同季節之變化相關。

在所有相關係數中, 唯一在這 3 年多內能維持明顯且穩定之月際變化者為小時臭氧與風向之相關(圖 9), 其現象為 7、8 月呈現正相關(最高為 0.38), 其他月份呈現負相關, 以 1996 年 5 月(春季)之-0.77 為最低。取 1997 年元月、4 月、7 月與 10 月為例, 小時臭氧與風向間之統計直

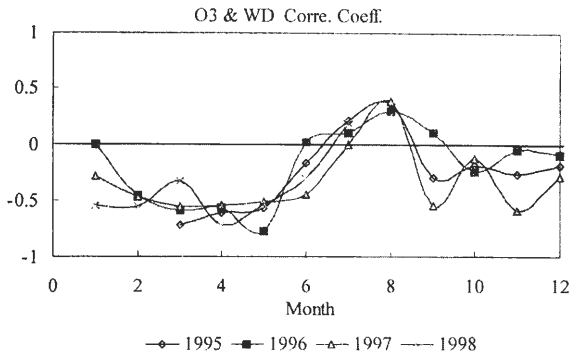


圖 9 小時臭氧與風向之逐年逐月相關係數變化圖。

方圖(圖 10) 顯示：元月份穩定之東北風輸送小時臭氧濃度約在 30~60ppbv 間，微幅的風向改變對臭氧濃度的影響很小，小時臭氧與風向間之相關係數才約 -0.29；4 月份則明顯出現北風系輸送 40~60ppbv 小時臭氧，而南風系則輸送 10~20ppbv 的小時臭氧，二者間負相關提升到-0.51；7 月份則風向改變對小時臭氧濃度影響甚小，其濃度約在 1~25ppbv 間變動，以 5ppbv 出現機率最高，次為 20ppbv，小時臭氧與風向間之相關係數才約 -0.01；10 月份東北季風明顯，

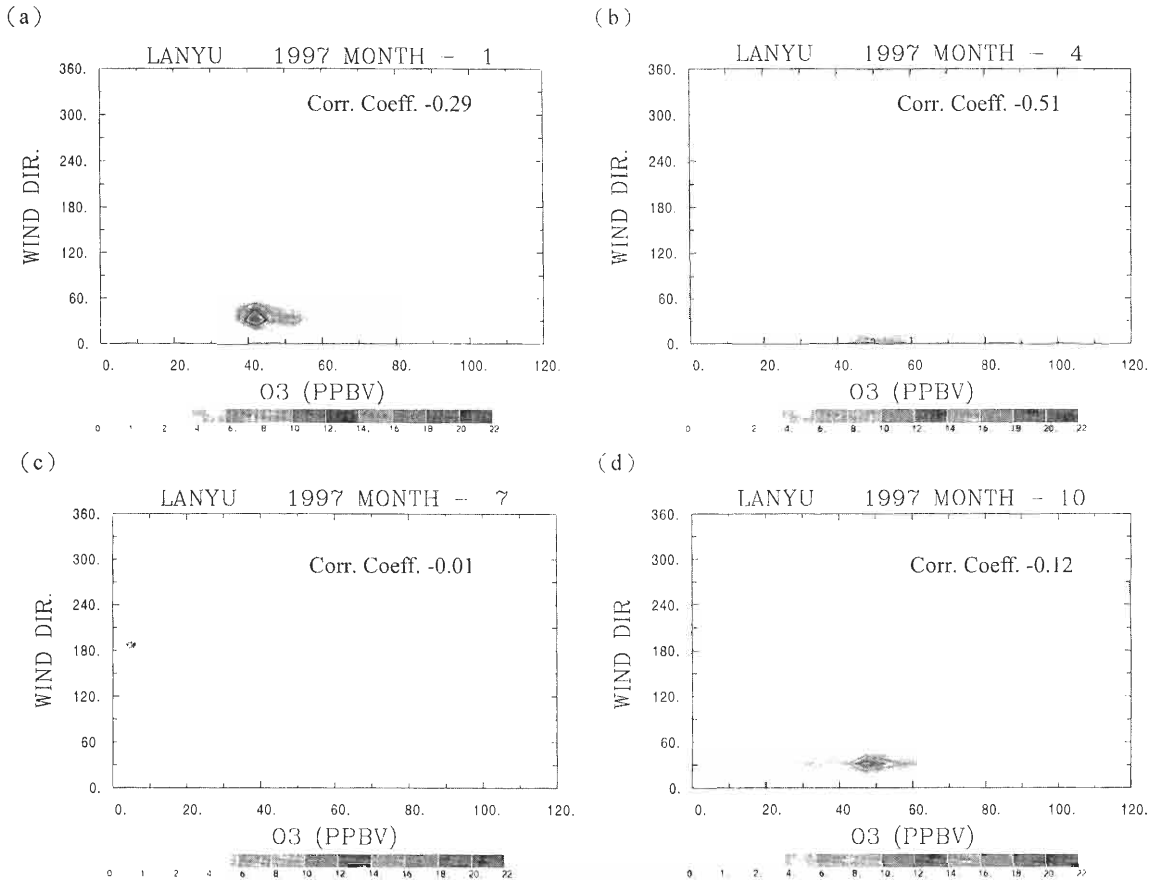


圖 10 1997 年(a)元月、(b)4 月、(c)7 月、(d)10 月之小時臭氧與風向統計直方圖。(單位為出現機率，%) (各圖中亦註明二者之相關係數)

但氣團特性乃是由清潔海洋空氣漸轉亞洲大陸空氣，所以小時臭氧能由 20ppbv，提升到 65ppbv，以 43ppbv 出現機率最高，小時臭氧與風向間之相關係數才約 -0.12。圖 10 明顯說明一年內，季節性氣團改變對蘭嶼站小時臭氧與風向的影響。至於小時臭氧與風速之相關，其月相關係數不高且無穩定之季節變化，最高相關係數 0.45 出現在 1995 年 10 月。

臭氧與其他化學物質間在各月之相關變化，呈現上上下下，有相關性高的月份(相關係數之絕對值大於 0.5)，但也有相關差的月份(相關係數之絕對值小於 0.5)，但是卻均未出現如小時臭氧與風向間相關係數之逐月變化在每一一年內均非常相似的情況。這點再次顯示：臭氧監測最能反應大尺度氣團之長程空氣傳送的變化，而其他大氣化學物質的濃度變化，則可能尚受其他因素影響。大致上，小時臭氧與 NO 之月相關係數介於-0.53 ~ 0 間，以負相關性為主；而小時臭氧與 NO₂ 之月相關係數介於-0.19 ~ 0.7 間，顯然以正相關性為主，最大相關出現在 1995 年 12 月。另外，小時臭氧與 NO₂/NO 之月相關係數介於 0.02 ~ 0.76 間，顯然以正相關性為主，且許多月份都在 0.5 上下，最大相關出現在 1997 年 9 月。原則上，O₃、NO 與 NO₂ 間之變化符合光化理論，但相關係數不如在污染地區為高。

此外，小時臭氧與 SO₂ 之月相關係數介於-0.47 ~ 0.64 間，正相關係數出現較多，最大相關出現在 1995 年 12 月。而小時臭氧與 CO 之月相關係數介於-0.02 ~ 0.84 間，顯然以正相關性為主，最大相關係數 0.84 出現在 1998 年 4 月，此也是臭氧與所有物質間之各月相關係數中最高者。

本文特別繪出 1995 年 10 月小時臭氧與 CO 之統計直方圖(圖 11a)，以觀察秋季南方海洋氣團與北方大陸氣團交替之際，臭氧與 CO 之正相關變化情形。當小時臭氧為 5~25ppbv 時，CO 約為 0.09~0.15ppmv；而當小時臭氧為 25~60ppbv 時，CO 約為 0.2~0.5ppmv。出現機率最高者為 O₃ 約 45ppbv、CO 約 0.3ppmv。不同氣團之特性，清楚可辨。另外，本文繪出 1995 年 12 月小時臭氧與 SO₂ 之統計直方圖(圖 11b)，二者

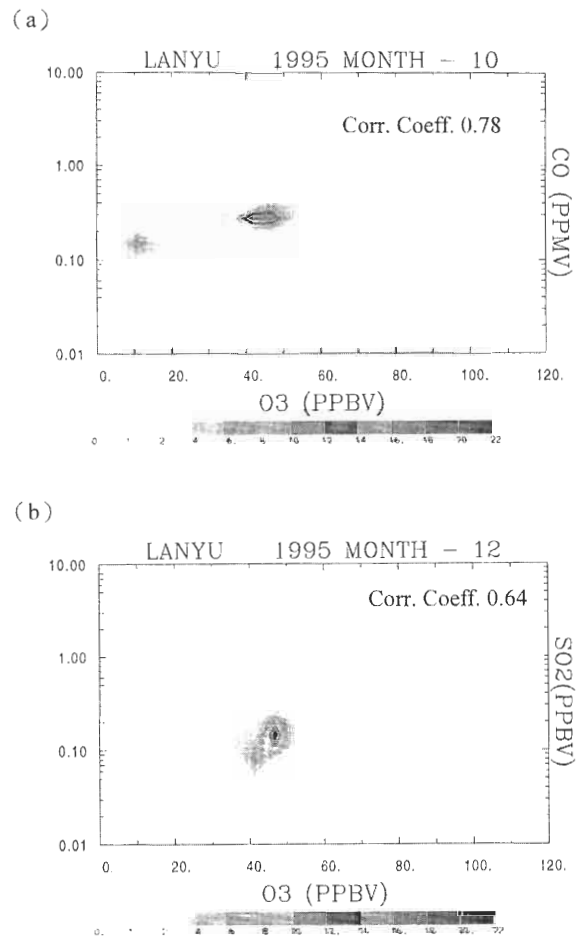


圖 11 (a)1995 年 10 月小時臭氧與 CO 之統計直方圖，及(b) 1995 年 12 月小時臭氧與 SO₂ 之統計直方圖。(單位為出現機率，%) (各圖中亦註明二者之相關係數)

正相關達 0.64，但這時是冬季大陸氣團壟罩，小時臭氧濃度至少 30ppbv，且可達 60ppbv。出現最高機率為 O₃ 約 48ppbv、SO₂ 約 0.15ppbv。但是當 SO₂ 增加時，臭氧濃度也明顯增加，最高可達 O₃ 約 60ppbv、SO₂ 約 1.1ppbv。不過，這樣的關係並非每年冬季固定出現，因此乃屬偶發性高污染空氣胞影響，需進行個案追蹤探討，方能了解源頭何在。

另外，小時 SO₂ 與 NO 或 NO₂ 間之月相關係數呈現鋸齒狀變動，相關係數分別介於-0.24 ~ 0.59 與-0.08 ~ 0.84 間，且均以正相關性為主，最大相關分別出現在 1995 年 9 月與 12 月。小時 SO₂ 與 CO 之月相關變化亦很類似，相關係數介於-0.36 ~ 0.69，以正相關性為主，最大相關出現在 1995 年 9 月。原則上，正相關乃強調彼此間來源之共通性，但其無固定之季節變化規律，則說明不是單純因為大尺度氣團改變，而是許多因素共同造成，如上游火山源可能影響 SO₂，或上游船艦污染源可能同時影響 SO₂、CO 與 NO₂ 等。而 SO₂ 與 NO₂ 之高正相關次數相當多，非常支持上游船艦污染之影響。基本上，每一個月份的監測資料，會出現彼此間相關係數並無法事前預料的情形(也即乏規律性)，未來若能同時掌握大範圍地區的污染源變化，或增加其他如懸浮微粒、碳氫化合物、PAN 等測量，才有可能對這幾項物質之變化相關，獲致更清楚的了解。

至於小時 CO 與 NO 之月相關係數介於-0.38 ~ 0.36 之間，多數出現者乃在±0.15 間，顯示變化相關性差。另外，小時 CO 與 NO₂ 之月相關係數，約介於-0.41~0.81 間，且似有冬季正相關性高、夏季為低相關或負相關之變化(雖然仍不是很規律)，最大相關出現在 1996 年 12 月。

最後，小時 CO 與 CO₂ 之相關，則出現冬季正相關性高、夏秋季為低相關或負相關之變化，月相關係數介於-0.26 ~ 0.69，最大相關出現在 1998 年 1 月。雖然 CO₂ 之有效資料僅有 1 年半，但吾人相信這樣的相關變化應會在每年穩定出現。

(五) 與國際資料相比較

在測量氮氧化物方面，目前使用之 Thermo Environmental Instruments Inc. Model 42S 儀器，使用螢光原理 (Chemiluminescence Principle) 來測量，此與 Wang et al. (1997) 所描述在香港背景站使用之儀器相似，但其將測量結果稱之為 NO_x，也即為 NO、NO₂、HNO₃、HONO、N₂O₅ 與有機氮化合物(organic nitrate)等之和。不過，Wang et al. (1997) 對該儀器進行不少修改。目前在蘭嶼的 NO_x 儀器廣為環保單位使用，但在測量 NO₂ 時，並非能將 HNO₃、HONO、N₂O₅ 與有機氮化合物等完全排除，不過在污染區 NO₂ 濃度相當高，所以問題不大，但在清潔區則因各項物質的濃度均非常低，乃使得精確測量 NO₂ 變得非常困難，這所以香港背景站乃將該儀器修改成測量 NO_x。未來，這套儀器應優先予以修改，或是加強敏感度，或是參考 Wang et al. (1997) 在香港所作，改為測量全部之 NO_x。目前以現有商業儀器進行監測，雖有其缺點，但亦有其能保證獲得穩定監測資料的優點。這些是在進行資料分析時，必須有所了解。目前 NO_x 濃度平均 0.72±0.25ppbv，較 Wang et al. (1997) 在 1994 年 2~3 月所得平均 NO_x 濃度 9.33±7.84 ppbv 為低，即使是 2~3 月平均 NO_x 濃度亦才 0.89±0.28ppbv(表三)，此差異顯示蘭嶼站較香港站遠離各類污染源影響。

取 2~3 月平均資料與香港 1994 年 2~3 月

平均資料相比較，蘭嶼 O_3 濃度為 $39 \pm 2.8 \sim 42 \pm 4.3$ ppbv、 SO_2 為 $0.22 \pm 0.08 \sim 0.27 \pm 0.14$ ppbv、CO 為 $0.18 \pm 0.06 \sim 0.23 \pm 0.04$ ppmv，而 Wang et al. (1997) 觀測 O_3 為 34 ± 14 ppbv、 SO_2 為 1.31 ± 1.46 ppbv、CO 為 0.458 ± 0.130 ppmv。其中，臭氧觀測資料接近，原則上乃大陸氣團空氣影響所致，此點 Wang et al. (1997) 與 Kajii et al. (1997) 均已多所討論；而香港 SO_2 與 CO 均高於蘭嶼，應是其鄰近海港且大陸南方污染源多之故。此外， SO_2 濃度小於 NO_x (或 NO_y) 濃度的情形，在兩地是一致的，顯示如火力發電廠等燃煤的污染源貢獻，較其他燃油或天然氣的污染源貢獻為弱。但是，此現象與 Talbot et al. (1997) 分析 PEM-west B 資料，所得離地兩公里以內，離源地僅二日之亞洲大陸氣團平均特性不同。Talbot et al. (1997) 所得結果顯示 1994 年春季該氣團 NO_y 為 1084 ppbv、 SO_2 為 1222 ppbv，無 NO_x 資料。另外，Talbot et al. (1996) 分析 1991 年秋季源自亞洲大陸氣團，其結果顯示 NO_x 為 121 ppbv、 NO_y 為 897 ppbv、而 SO_2 為 366 ppbv，則與目前 SO_2 濃度小於 NO_x 濃度的情形相似。Wang et al. (1997) 認為香港附近輪船貢獻，及大陸南方沿海許多工業區污染貢獻等均不可忽略，而蘭嶼上游地區，大型輪艦通過的污染貢獻可能不能忽略，這些均多使用柴油為燃料，其含硫量較煤為低，所以 SO_2 濃度可能會小於 NO_x 濃度。至於 Talbot et al. (1997) 所得 SO_2 濃度大於 NO_y 濃度的情形，應與大陸北方燃料使用情形有關。

此外，Lee et al. (1998) 分析 1989~1997 年間日本琉球沖繩島 (Okinawa) 之低層臭氧監測資料，認為約逐年增加 3.9%。同時，日本最南端 Cape Hedo 島的臭氣監測，顯示年平均臭氧濃度在 1992 年 ~ 1997 年間，約介於 40~52 ppbv，

並也略具緩緩上升的趨勢。Lee et al. (1998) 與 Akimoto et al. (1996) 均指出：大陸地區物質輸送為造成日本南方近地面高臭氧之主因。蘭嶼測站之平均臭氧濃度略低於 Cape Hedo 島資料，則應是本地受夏季南方清潔海洋空氣影響大之故。

另外，Arimoto et al. (1997) 分析 PEM-west B 邊界層內飛航監測資料，指出 CO 與臭氧濃度間呈現 3 ~ 9 的比例，其中在台灣下風處此比值約為 4.6 ~ 6.1。這些比值的單位均為 ppbv/ppbv。同時，Arimoto et al. (1997) 指出：香港背景站資料在 PEM-west B 期間，當附近海洋空氣影響時， O_3 為 15 ppbv、CO 為 0.130 ppmv，CO/ O_3 比值約為 8.7；但當大陸污染空氣影響時， O_3 因為與 NO 反應而至濃度小於 15 ppbv、CO 則為大於 0.5 ppmv，CO/ O_3 比值接近 33；並指出 CO/ O_3 比值在 1994 年 2~3 月約介於 5~33 間。當然，光化反應不足的污染空氣會使 CO/ O_3 比值上升，而若是光化反應充裕者則可能使 CO/ O_3 比值下降，如在台灣下游所測。Arimoto et al. (1997) 認為香港 CO/ O_3 比值平均約為 22.4，相對於日本 Oki 島在 PEM-west B 期間， O_3 為 39.8 ± 4.62 ppbv、CO 為 0.218 ± 0.045 ppmv，CO/ O_3 比值為約 5.51 ± 1.08，顯然香港站受污染影響大，而日本 Oki 島則受清潔海洋空氣影響，降低 CO 濃度。

在蘭嶼地區，取月平均資料分析 (表三)， O_3 介於 15 ~ 42 ppbv、CO 為 0.12 ~ 0.23 ppmv，CO/ O_3 比值為約 4~9 間，以 7、8 月比值高，11~2 月比值低。由於 O_3 與 CO 為正相關 (表四，相關係數 0.59)，因此顯示冬季亞洲大陸氣團之 CO/ O_3 比值較夏季海洋氣團之比值為低，其關鍵因素為夏季臭氧減少幅度較 CO 為顯著之故。

在 Arimoto et al. (1997)的飛航資料分析中，比值 6 為清潔海洋空氣特徵，即 O_3 約為 10ppbv、CO 約為 0.060ppmv，或前者 20ppbv、後者 0.120ppmv，以此看蘭嶼 7、8 月資料，可能臭氧與 CO 均仍稍受附近污染源影響。另外，1994 年春亞洲大陸氣團特徵為 O_3 約為 40ppbv、CO 約為 0.2ppmv，所以 CO/ O_3 比值約為 5，此與蘭嶼觀測資料接近。以上有關 O_3 、CO 分析，使吾人對監測資料與代表性，均獲致非常正面的確認。

六、結 論

本文首先延續王等(1994)研究，使用歐洲氣象中心(EC)資料，統計分析空氣胞自蘭嶼後推 72 小時的軌跡，以定量探討蘭嶼上游空氣源在不同季節下的分佈狀態。分析時段為 1993 年 1 月與 4 月、1992 年 7 月與 10 月，分別代表冬季、春季、夏季與秋季。以等熵面軌跡來判斷，元月份空氣胞多數受大陸冷氣團的影響，所以主要源自大陸上空，走向東南，以順時鐘行進方式，下降到蘭嶼上空；高壓出海後，迴流影響亦很重要。4 月份則南方暖濕空氣影響漸盛，大陸氣團緩退，空氣胞多源自菲律賓~中南半島間，走向華南，以順時鐘方式，由低層緩緩上升再下降到蘭嶼上空，高度變化約在 0.5~2.5 公里間。七月份則太平洋高壓明顯籠罩，所以南方低緯度空氣是由 1~1.5 公里高度緩緩下降到蘭嶼上方 1 公里左右。10 月份則大陸冷高壓迅速南下，空氣胞源自台灣北方~東方洋面，走向東南，採順時鐘前進方式，緩緩下降。以上探討，顯示蘭嶼站能掌握季節性氣團變化，而本站應歸屬東亞區域背景站，非屬全球背景站。

此外，分析月平均地面氣象資料，除證實

蘭嶼站清楚監測綜觀大範圍氣團變化外，尚發現該測站並不受區域性熱力系統影響，符合背景大氣監測的條件。月平均風速無明顯之季節性變化，長期平均約為 8ms^{-1} ，並約略出現午時稍低的現象，乃屬典型海島風場。月平均風向則明顯呈現 9~2 月為東北風~北風，夏季則為南風的氣團交替情形。

1995 年 3 月~1998 年 7 月期間，整體資料顯示： NO 平均濃度為 $0.12\pm 0.10\text{ppbv}$ ， NO_2 為 $0.60\pm 0.19\text{ppbv}$ ， NO_x 為 $0.72\pm 0.25\text{ppbv}$ ， O_3 為 $32\pm 11\text{ppbv}$ ， SO_2 約為 $0.24\pm 0.08\text{ppbv}$ ，CO 約為 $0.17\pm 0.05\text{ppmv}$ ， CO_2 約為 $361\pm 5.4\text{ppmv}$ 。大致上，這個背景濃度應是較海洋清潔空氣的濃度為高，但較亞洲大陸地區的背景濃度為低，當然更遠低於污染地區的平均濃度(除臭氧外)。

O_3 之月平均濃度約在 13 ~ 48ppbv 間變動，並且出現非常明顯的季節變化現象，高濃度在 10~3 月東北季風期間出現，低濃度在 6~8 月夏季西南季風期間出現，7 月的低濃度非常明確。分析各氣象因子與大氣化學物質間之相關(表四)，可更進一步確認臭氧是最佳之辨認季節性氣團變動的大氣化學因子。冬季乾冷大陸氣團影響顯著，臭氧濃度高(元月平均濃度為 41ppbv)；夏季暖濕海洋氣團影響顯著時，臭氧濃度低(7 月平均濃度為 15ppbv)。所以，臭氧與氣壓呈現正相關，而與氣溫、風向與相對濕度呈現負相關。其他大氣化學物質中僅 CO 呈現類似變化(元月 0.22ppmv、7 月 0.12ppmv)，但與各氣象因子之相關較臭氧為微弱。

NO 、 NO_2 、 NO_x 之月平均濃度約各自在 0.01~0.8、0.4~1、0.5~1.1ppb 間變動，其中僅 NO 出現夏季高、冬季低的變化，其他二者之季節性變化不明顯。 SO_2 、CO 之月平均濃度約各自

在 0.1~0.5ppbv、0.05~0.28ppmv 間變動，前者季節性變化並不明顯，但後者則有類似臭氧之夏季低、冬季高的情形。由於 CO 與 OH 反應，為背景大氣中 CO 消滅與 CO₂ 生成之主要反應，而夏季 OH 量大、冬季 OH 量小，乃是使夏季 CO 量小、冬季量大之主因，所以國際背景站亦均呈現類似的季節變化情形(Novelli et al, 1992, 1994)；當然，氣團性質不同的差異亦不可忽略。CO₂ 之月平均濃度約在 350~370ppmv 間變動，似乎有秋季濃度低、春季則較高的現象，最低濃度出現在 1997 年 9 月，最高濃度出現在 1998 年 5 月。其月際變化大致與國際觀測一致(Erickson et al., 1996)，乃是陸地植物光合作用影響之故。整體而言，比較各大氣化學物質彼此間之月變化狀況，乃以 NO 的變化最大，但應不是受氣團改變影響，而是受季節性太陽輻射的變化影響所致。

在日變化方面，NO_x、SO₂、CO 等之日變化均是不明顯，顯示主要源自長程傳送，其中 SO₂ 偶會出現一個高值，乃因偶有較大濃度之空氣團移入，造成突然高值，此類偶發狀態，較難追蹤來源。但以其與 NO_x 及 CO 間，均多呈正相關觀察之，蘭嶼上游船艦污染排放之影響，不可忽略。另外，NO、NO₂、NO_x、CO 等，在七月份內出現年際變化大的現象(表五)。由於在清潔乾淨地區，這類物質參與光化反應非常重要，因此七月份之年際變化大，可能是受上游源、氣流與太陽輻射等變化之綜合影響所至，特別是年際變化之綜觀氣象場改變，如聖嬰現象發生等。此外，在各大氣化學物資中，以 CO₂ 的逐時變化最為顯著(圖 8)，且是在各年與各月均一致出現。其午時低值，乃與植物光合作用在白日吸收二氧化碳放出氧氣有直接關聯。

表五中特別列出每年元月與 7 月的月平均資料，希望未來能長期持續增加監測資料，就可明確知道亞洲大陸冬季乾冷氣團與西北太平洋海洋夏季暖濕氣團特性的長期變化趨勢。目前資料則尚不足以判斷趨勢，但可約略看出各物質濃度的年際變化與氣溫變化的相關性大。如 1998 年元月為暖冬，平均風向偏東、O₃ 濃度略降；而 1997 年 7 月氣溫略降，平均風向偏東南、NO、NO₂、NO_x 與 CO 濃度明顯下降、O₃ 濃度略升。詳細情形牽涉到污染源、氣象環流系統與太陽輻射強弱等因素，但顯然值得未來持續追蹤探討。

本文將蘭嶼資料，與 1994 年春季 PEM-west B 期間香港背景站資料相比較，

結果顯示二地春季高臭氧濃度相近，此乃與大陸氣團傳輸有關；但是香港附近污染源多，其 NO_x、SO₂、CO 等濃度均較蘭嶼站所測濃度為高，分別約為蘭嶼 2~3 月 NO_x、SO₂、CO 平均濃度之 11、6、2 倍。同時，二地區均呈現 NO_x(或 NO_y)濃度較 SO₂ 濃度為高的情形，此與 Talbot et al. (1997)分析 PEM-west B 期間，2 公里以下之亞洲大陸氣團性質相反。原因可能與二地區上游污染源，多屬非燃煤之工業源或船艦污染源等，而春季亞洲大陸氣團可能主要源自中國北方燃煤之工業區，硫在各不同燃料中成份不同，對 SO₂ 濃度之影響就會明顯不同。

此外，本文計算各月 CO/O₃ 比值約為 4~9(ppbv/ppbv)，在春、冬季時比值約為 4~6，與日本 Oki 島比值 5.51 及 PEM-west B 飛航所測之亞洲大陸氣團比值 6 相近；而 7~8 月夏季比值為 9，與 PEM-west B 飛航所測之海洋清潔氣團比值 3 相差頗大，乃因蘭嶼較日本 Oki 島受區域污染源影響大之故。

總結觀之：蘭嶼背景站確實是非常適當之背景測站，而臭氧監測資料最能反映季節性大陸與海洋氣團的交替。其他如 NO、NO₂、NO_x、SO₂、CO 等短生命期物質的監測，則提供大範圍區均勻混合空氣之背景濃度資訊。而在長生命期物質 CO₂ 的監測經驗，則使得我們相信未來應投資訓練更多本土專業人士，方能顯著提昇監測品質，短期內則仍需借助國際學者或研究單位之協助。目前各項大氣化學物質的監測，可提供各類中尺度大氣化學模式最佳之背景大氣條件。而若進行個案空氣源探討，或類似天氣系統之整合分析，則可對各不同氣體之變化相關獲致更深入的了解。

致 謝

作者群特別感謝中央氣象局自 1993 年以來持續投資進行蘭嶼站背景大氣監測，並感謝陳瑋蘭技士與蘭嶼氣象站同仁們的盡心執行相關工作。也同時感謝賴雅安、胡志文與王作台協助完成空氣胞路徑追蹤計算。本研究乃在國科會計畫 NSC 87-2621-9-002-001 與 NSC88-2111-M-002-011 支持下完成。

參考文獻

- 王作台、胡志文、林松錦、柳中明，1994：氣象環流對背景氣成份傳送影響：第一部份：軌跡方法之建立及個案分析結果。**大氣科學**，**22**，57-76。
- 林斐然，1996：臺灣地區大氣環境變遷之研究——臺灣海域大氣懸浮微粒之成分及來源探討。NSC 85-2621-P-002A-001。
- 柳中明，1992：台灣背景大氣研究：(1)中美合作「氣候與空氣品質台灣站(CATS)研究發展與西太平洋地區觀測(PEM-west)研究計劃及背景大氣中甲烷(CH₄)測量分析」。NSC810421M0023224z。
- 柳中明，1995：蘭嶼背景站自動監測資料分析。中央氣象局。CWB-84-2M-09。104頁。
- 柳中明、林清洲，1994：中央氣象局蘭嶼大氣自動背景站建置之配合性計畫。CWB-82-2M-13-2。118頁。
- 柳中明、張修武，1998：台灣及鄰近地區區域大氣化學場之監測、分析與模擬 - 中美合作台灣地區大氣化學場監測整合分析。NSC87-2621-9-002-001。81頁。
- 柳中明、羅俊光、左台利、王作台、徐光蓉，1994：台灣西北海岸夏初背景SO₂與CO測量與分析。**大氣科學**，**22**，111-128。
- 楊之遠、李侃翰、柳中明，1996：長程傳送黃沙與區域性污染之空氣品質監測資料比較分析。**中華民國環境保護學會會誌**，**20**，1-38。
- Akimoto, H., D. D. Davis, S. C. Liu, and PEM-WEST(A) Science Team, 1994: Atmospheric chemistry of the east Asian northwest Pacific region. in *Global Atmospheric-Biospheric Chemistry*, Ed. R.G. Prinn, p.71-82, Plenum, New York.
- Akimoto, H., H. Mukai, M. Nishikawa, K. Murano, S. Hatakeyama, C.-M. Liu, M. Buhr, K. J. Hsu, D. A. Jaffe, L. Zhang, R. Honrath, J. T. Merrill, and R. E. Newell, 1996: Long-range transport of ozone in the East Asian Pacific rim region. *J. Geophys. Res.*, **101**, 1999-2010.
- Arimoto, R., R. A. Duce, and B. J. Ray, 1989: Concentrations, sources and air-sea exchange of trace elements in the atmosphere over the Pacific Ocean. *Chem. Oceanogr.*, **10**, 107-149.
- Arimoto, R., R. A. Duce, J. M. Prospero, D. L. Savoie, R. W. Talbot, J. E. Dibb, B. G. Heikes, B. J. Ray, N. F. Lewis, and U. Tomza, 1997: Comparison of trace constituents from ground stations and the DC-8 aircraft during PEM-west B. *J. Geophys. Res.*, **102**, 28,539-28,550.

- Browell, E. V., M. A. Fenn, C. F. Butler, W. B. Grant, J. T. Merrill, R. E. Newell, J. D. Bradshaw, S. T. Sandholm, B. E. Anderson, A. R. Bandy, A. S. Bachmeier, D. R. Blake, D. D. Davis, G. L. Gregory, B. G. Heike, Y. Kondo, S. C. Liu, F. S. Rowland, G. W. Sachse, H. B. Singh, R. W. Talbot, and D. C. Thornton, 1996: Large-scale air mass characteristics observed over western Pacific during summertime. *J. Geophys. Res.*, **101**, 1691-1712.
- Buhr, M. P., K.-J. Hsu, C. M. Liu, R. Liu, L. Wei, Y.-C. Liu, and Y.-S. Kuo, 1996: Trace gas measurements and air mass classification from a ground station in Taiwan during the PEM-west A experiment (1991). *J. Geophys. Res.*, **101**, 2025-2035.
- Carmichael, G. R., et. al., 1993: Acid rain and emissions reduction in Asia: An international collaborative project on acid rain in Asia. *International Conference on Environmental and Climate Change in East Asia*, Taipei, Taiwan, November 30 - December 3.
- Chen, L.-L., G. R. Carmichael, M.-S. Hong, H. Ueda, S. Shim, C. H. Song, Y. P. Kim, R. Arimoto, J. Prospero, D. Savoie, K. Murano, J. K. Park, H.-G. Lee, and C. Kang, 1997: Influence of continental outflow events on the aerosol composition at Cheju Island, South Korea. *J. Geophys. Res.*, **102**, 28,551 - 28,574.
- Crawford, J., D. Davis, G. Chen, J. Bradshaw, S. Sandholm, Y. Kondo, S. Liu, E. Browell, G. Gregory, B. Anderson, G. Sachse, J. Collins, J. Barrick, D. Blake, R. Talbot, and H. Singh, 1997: An assessment of ozone photochemistry in the extratropical western North Pacific Impact of continental outflow during the late winter/early spring. *J. Geophys. Res.*, **102**, 28,469-28,488.
- Crum, F. X. and D. E. Stevens, 1988: A case study of atmospheric blocking using isentropic analysis. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 223-241.
- Davis, D. D., J. Crawford, G. Chen, W. Chameides, S. Liu, J. Bradshaw, S. Sandholm, G. Sachse, G. Gregory, B. Anderson, J. Barrick, A. Bachmeier, J. Collins, E. Browell, D. Blake, S. Rowland, Y. Kondo, H. Singh, R. Talbot, B. Heikes, J. Merrill, J. Rodriguez, and R. E. Newell, 1996: Assessment of ozone photochemistry in the western North Pacific as inferred from PEM-West A observations during the fall 1991. *J. Geophys. Res.*, **101**, 2111-2134.
- Duce, R. A., C. K. Unni, B. J. Ray, J. M. Prospero, and J. T. Merrill, 1980: Long-range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific: Temporal variability. *Science*, **209**, 1522-1524.
- Erickson III, D. J., P. J. Rasch, P. P. Tans, P. Friedlingstein, P. Ciais, E. Maier-Reimer, K. Six, C. A. Fischer, and S. Walters, 1996: The seasonal cycle of atmospheric CO₂: A study based on the NCAR Community Climate Model. *J. Geophys. Res.*, **101**, 15,079 - 15,098.
- Gao, Y., R. Arimoto, R. A. Duce, D. S. Lee, and M. Y. Zhou, 1992: Input of atmospheric trace elements and mineral matter to the Yellow Sea during the spring of a low dust year. *J. Geophys. Res.*, **97**, 3767-3777.
- Gregory, G. L., J. T. Merrill, M. C. Shipham, D. R. Blake, G. W. Sachse, and H. B. Singh, 1997: Chemical characteristics of tropospheric air over the Pacific Ocean as measured during PEM-west B: Relationship to Asian outflow and trajectory history. *J. Geophys. Res.*, **102**, 28,275-28286.
- Hoell, J. M., D. D. Davis, S. C. Liu, R. E. Newell, M. Shipham, H. Akimoto, R. J. McNeal, R. J. Bendura, and J. W. Drewry, 1996: The Pacific Exploratory Mission-West Phase A: September - October 1991. *J. Geophys. Res.*, **101**, 1641-1653.
- Hoell, J. M., D. D. Davis, S. C. Liu, R. E. Newell, H. Akimoto, R. J. McNeal and R. J. Bendura, 1997: The Pacific Exploratory Mission-West Phase B: February-March, 1994. *J. Geophys. Res.*, **102**, 28,223-28,239.
- Huebert, B. J., M. X. Wang, and W. X. Lu, 1988: Atmospheric nitrate, sulfate, ammonium and calcium concentrations in China. *Tellus*, **40(B)**, 260-269.

- IPCC, 1995: *Climate Change 1995*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 572pp.
- Iwasaka, Y., M. Minoura, and K. Nagaya, 1983: The transport and spatial scale of Asian dust-storm clouds: A case study of the dust storm event of April 1979. *Tellus*, **35**(B), 189-196.
- Kajii, Y., H. Akimoto, Y. Komazaki, S. Tanaka, H. Mukai, K. Murano, and J. T. Merrill, 1997: Long-range transport of ozone, carbon monoxide, and acidic trace gases at Oki Island, Japan, during PEM-West B/PEACAMPOT B campaign. *J. Geophys. Res.*, **102**, 28,637-28,651.
- Kato, N., and H. Akimoto, 1992: Anthropogenic emissions of SO₂ and NO_x in Asia: Emission inventories. *Atmos Environ.*, **26A**, 2997-3017.
- Lee, S., H. Akimoto, H. Nakane, S. Kurnosenko, and Y. Kinjo, 1998: Lower tropospheric ozone trend observed in 1989 - 1997 at Okinawa, Japan. *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 1637-1640.
- Liu, C. M., M. P. Buhr, J.-G. Lo, T.-L. Tso, K. J. Hsu, J.-T. Wang, J. T. Merrill, and S. C. Liu, 1995a: A study of Taiwan background atmosphere. *TAO*, **6**, 419-442.
- Liu, C.M., C.-J. Lin, H.-W. Chang and S.-M. Chou, 1995b: Ozone monitoring in Taiwan. *Atmospheric Ozone as a Climate Gas - General Circulation Model Simulation*, Eds. W.-C. Wang and I.S.A. Isaksen, NATO ASI Series, Subseries I *Global Environmental Change*, vol. 32, p.289-303.
- Liu, C. M., M. Buhr and J. T. Merrill, 1997: Ground-based observation of ozone, carbon monoxide and sulfur dioxide at Kenting, Taiwan during PEM WEST (B) campaign. *J. Geophys. Res.*, **102**, 28,613-28,626.
- Newell, R. E., W. Hu, Z.-X. Wu, Y. Zhu, H. Akimoto, S. Bachmeier, A.R. Bandy, D. C. Thornton, D. R. Blake, F. S. Rowland, J. D. Bradshaw, D. D. Davis, S. Sandholm, W. Brockett, L. DeGreef, D. Lewis, D. McCormick, E. Monitz, E. V. Browell, G. L. Gregory, J. M. Hoell, Jr., G. W. Sachse, M. Shipham, B. Heikes, J. Merrill, K. Kelly, S. C. Liu, Y. Kondo, C.-M. Liu, F. Sakamaki, H. Singh, and R. W. Talbot, 1996: Atmospheric sampling of supertyphoon Mireille with the NASA DC-8 aircraft on 27 September 1991 during PEM-west A. *J. Geophys. Res.*, **101**, 1853-1872.
- Novelli, P. C., L. P. Steele, and P. P. Tans, 1992: Mixing ratios of carbon monoxide in the troposphere. *J. Geophys. Res.*, **97**, 20,731-20,750.
- Novelli, P.C., J. E. Collins, Jr., R. C. Myers, G. W. Sachse, and H. E. Scheel, 1994: Reevaluation of the NOAA/CMDL carbon monoxide reference scale and comparison with CO reference gases at NASA-Langley and the Fraunhofer Institut. *J. Geophys. Res.*, **99**, 12,833-12,839.
- Ridley, B., A. Fried, J. Walega, and B. Henry, 1993: *Normalization of NO, CO and O3 standards for IGAC-APARE ground station instruments*. Climate and Global Change Program: Atmospheric Chemistry, internal report, NOAA, Silver Spring, Md.
- Savoie, D. L., and J. M. Prospero, 1989: Comparison of oceanic and continental sources of non-seasalt sulphate over the Pacific Ocean. *Nature*, **339**, 685-687.
- Talbot, R. W., J. E. Dibb, K. I. Klemm, J. D. Bradshaw, S. T. Sandholm, D. R. Blake, G. W. Sachse, J. Collins, B. G. Heikes, G. L. Gregory, B. E. Anderson, H. B. Singh, D. C. Thornton, and J. T. Merrill, 1996: Chemical characteristics of continental outflow from Asia to the troposphere over the western Pacific Ocean during September-October 1991: Results from PEM-West A. *J. Geophys. Res.*, **101**, 1713-1726.
- Talbot, R. W., J. E. Dibb, B. L. Lefer, J. D. Bradshaw, S. T. Sandholm, D. R. Blake, N. J. Blake, G. W. Sachse, J. E. Collins, Jr., B. G. Heikes, J. T. Merrill, G. L. Gregory, B. E. Anderson, H. B. Singh, D. C. Thornton, A. R. Bandy, and R. F. Pueschel, 1997: Chemical characteristics of continental outflow from Asia to the troposphere over the western

Pacific Ocean during February - March, 1994: Results from PEM-West B. *J. Geophys. Res.*, **102**, 28,255 - 28,274.

Uematsu, M. R., A. Duce, J. M. Prospero, L. Chen, J. T. Merrill, and R. L. McDonald, 1983: Transport of mineral aerosols from Asia over

the North Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.*, **88**, 5343-5352.

Wang, T., K. S. Lam, L. Y. Chan, A. S. Y. Lee, and M. A. Carroll, 1997: Trace gas measurements in coastal Hong Kong during the PEM-west B., *J. Geophys. Res.*, **102**, 28,575-28,588.

An Analysis of Lanyu Baseline Measurement Data

Chung-Ming Liu¹ Hsiu-Wu Chang² Shaw C. Liu³

¹Dept. of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

²Central Weather Bureau

³School of Earth and Atmospheric Sciences, Georgia Institute of Technology

(Manuscript received 24 November 1998 , in final form 18 January 1999)

ABSTRACT

This paper analyzes data collected at Lanyu Baseline Station. In general, the data quality is as good as those measured at WMO supported international baseline stations. The analyses of meteorological parameters measured at surface suggest that Lanyu measurements capture clearly the seasonal change of large-scale airmass, i.e. from wintertime cold and dry airmass to summertime wet and humid airmass. Since there is little pollution sources along the eastern coast of Taiwan and with strong wind speed at the mountaintop, this site almost experiences zero influence from any near-by pollution sources. Hence, this site is most suitable for studying the change of chemical characteristics of large-scale airmass.

During March 1995 ~ July 1998, the mean NO level is 0.11 ± 0.09 ppbv, NO₂ 0.6 ± 0.19 ppbv, NO_x 0.65 ± 0.21 ppbv, O₃ 32 ± 11 ppbv, SO₂ 0.24 ± 0.08 ppbv, CO 0.17 ± 0.05 ppmv, CO₂ 361 ± 5.4 ppmv. Our study suggests that ozone is the best indicator to monitor the change of airmass. In January, monthly-mean ozone level is about 41 ppbv, while in July it is about 15 ppbv. CO also shows similar variation pattern, i.e. 0.22 ppmv in January and 0.12 ppmv in July. In all, if this site can be operated continuously, the data in January will reveal the long-term change of Asia continental airmass, while the data in July will reveal the change of Pacific maritime air.

Key words: Baseline, Long-term measurement, Long-range transport.