

# 冬夏季長程傳送影響台灣海域 背景臭氧之模擬探討

柳中明<sup>1</sup> 葉銘德<sup>1</sup> 彭立新<sup>2</sup> 吳俊傑<sup>1</sup> 劉紹臣<sup>3</sup>

<sup>1</sup>台灣大學大氣科學系

<sup>2</sup>北京大學環境科學中心

<sup>3</sup>中央研究院環境變遷研究中心

(中華民國九十二年八月二十六日收稿；中華民國九十三年元月九日定稿)

## 摘 要

經由分析設於蘭嶼島的台灣背景大氣監測站資料，柳等(1999)指出在所有監測氣體中，臭氧是最佳之辨認季節性氣團變動的大氣化學物資，在冬季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，而在夏季海洋暖溼氣團主控期間，則反應太平洋低緯度海洋地區低臭氧濃度現象。本文選擇冬夏各一個案，採用數值模擬的方式，來確認蘭嶼島監測資料主要反應長程氣團傳送影響；並分別進行無污染排放與考慮污染排放的數值模擬，以定量探討上游自然與人為污染的貢獻。

結果顯示：夏季時台灣受到來自南方太平洋與南海海域乾淨的海洋性空氣影響，臭氧濃度維持在 18ppbv 上下，其中自然背景濃度約在 14ppbv 以下，但因途經菲律賓低污染源區，造成臭氧先趨物質增加與臭氧濃度增加約 14~28%，僅為 2~4ppbv。冬季時，源自於西伯利亞及蒙古地區的高層空氣，由西北向東南方向行進，出海後高度急遽下降，將高層高濃度臭氧帶到近地面，造成洋面上大範圍的高臭氧濃度。過程中，途經中國大陸高污染源區，氣流將臭氧前驅物傳送到洋面，促成臭氧生成增加，臭氧濃度在東亞大陸附近洋面維持在 45ppbv 上下。其中，自然背景臭氧約使蘭嶼附近海域維持 40ppbv 濃度臭氧，大陸污染貢獻則約為 5ppbv，相當於增加 12.5%。顯然，夏季紫外線輻射強且氣溫高，因此雖然菲律賓污染排放量不大，但大環境有利於臭氧生成且背景濃度低，所以人為污染促成台灣海域背景臭氧濃度增加的比例較冬季時為顯著，雖然絕對增量偏低。

關鍵詞：背景大氣監測、臭氧、長程傳送、數值模擬。

## 一、前 言

近年來，隨著經濟的成長，中國大陸機動車數量也迅速增加，由於汽車排放的  $\text{NO}_x$  和碳氫化合物經過光化學反應生成臭氧，給大陸大城市帶來了新的污染問題——以臭氧為代表的光化學污染。北京和廣州夏季每日臭氧最大濃度經常超過 100ppbv，城市的污染已由原來燃煤引起的、以  $\text{SO}_2$  為代表的煤煙型污染，轉化為由汽車尾氣排放造成的、以臭氧為代表的光化學污染。高濃度的臭氧和臭氧前驅物，通過長程傳送，影響下游地區的大氣化學過程和臭氧濃度。Liu et al. (1995a, 1997)指出在秋、冬、春三季，受東北季風影響，中緯度日本、南韓、中國大陸輸送來的高濃度臭氧影響台灣地區，其特徵是地面臭氧濃度高(約 50ppbv)且幾無日變化。

同時，在美國國家航空太空總署(NASA)的推動下，西太平洋探測研究計畫(PEM-west Phase A、B)先後於 1991 年與 1994 年進行二次大範圍地區飛航與地面監測研究(Hoell et al., 1996, 1997)，主要進行秋季與春季西北太平洋地區大氣化學場實測，並探討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)、平流層與對流層間物質輸送變化情形(Liu et al., 1996)、對流層內臭氧生成效率(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)等問題。大致上，1991 年 8~9 月，太平洋高壓位置偏北與偏東，海洋物質順南風而上，東亞大陸物質輸送被侷限於北緯 40 度以北，以及中高對流層；10 月上旬起大陸高壓西移，大陸性物質輸出明顯。而在 1994 年春季，大陸性氣團主導，東亞大陸物質快速與顯

著地輸出抵西太平洋高低緯度間。Blake et al. (1997)就指出 PEM-west B 期間，飛航所測碳氫化合物 (Hydrocarbons) 與碳氟化合物 (Halocarbons) 濃度較 PEM-west A 期間所測為高，且以低層較為明顯。類似情形亦在酸性物資的測量中被確認 (Talbot et al., 1997)。至於臭氧生成情況，則顯然因前驅物質大量輸出，而致 PEM-west B 期間，對流層內各不同高度均顯現淨臭氧生成(net ozone production)的狀態；反之，在 PEM-west A 期間，則呈現低層淨臭氧破壞(net ozone loss)與高層淨臭氧生成達到平衡的情形(Crawford et al., 1997)。簡言之，東亞大陸物質輸出受綜觀天氣系統的影響，會在西太平洋地區，不同的季節、區域與高度出現不同的感應情形。2001 年春季美國 NASA 再度推動 TRACE-P(TRANsport and Chemical Evolution over the Pacific)計畫，動用二架飛機在西太平洋進行大陸輸出物質的飛航探測，相關研究成果正陸續發表中。同期，ACE-Asia 計畫在東亞與西太平洋進行密集觀測研究，但主要以懸浮微粒的特徵與對氣候影響研究為主，相關論文已陸續發表，近期 JGR(Vol. 108, No. 23, 2003)即刊登共 33 篇論文。

台灣海域內的永久性背景大氣監測站位於蘭嶼，柳等(1999)曾收集蘭嶼背景大氣測站 1995 年 3 月至 1998 年 7 月期間資料，進行背景站氣候特性探討，指出在所有監測氣體中，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，即冬季乾冷北風攜帶高濃度臭氧，而夏季海洋暖溼南風伴隨低濃度臭氧。圖 1a 選擇 1995 年 3 月至 2003 年 2 月

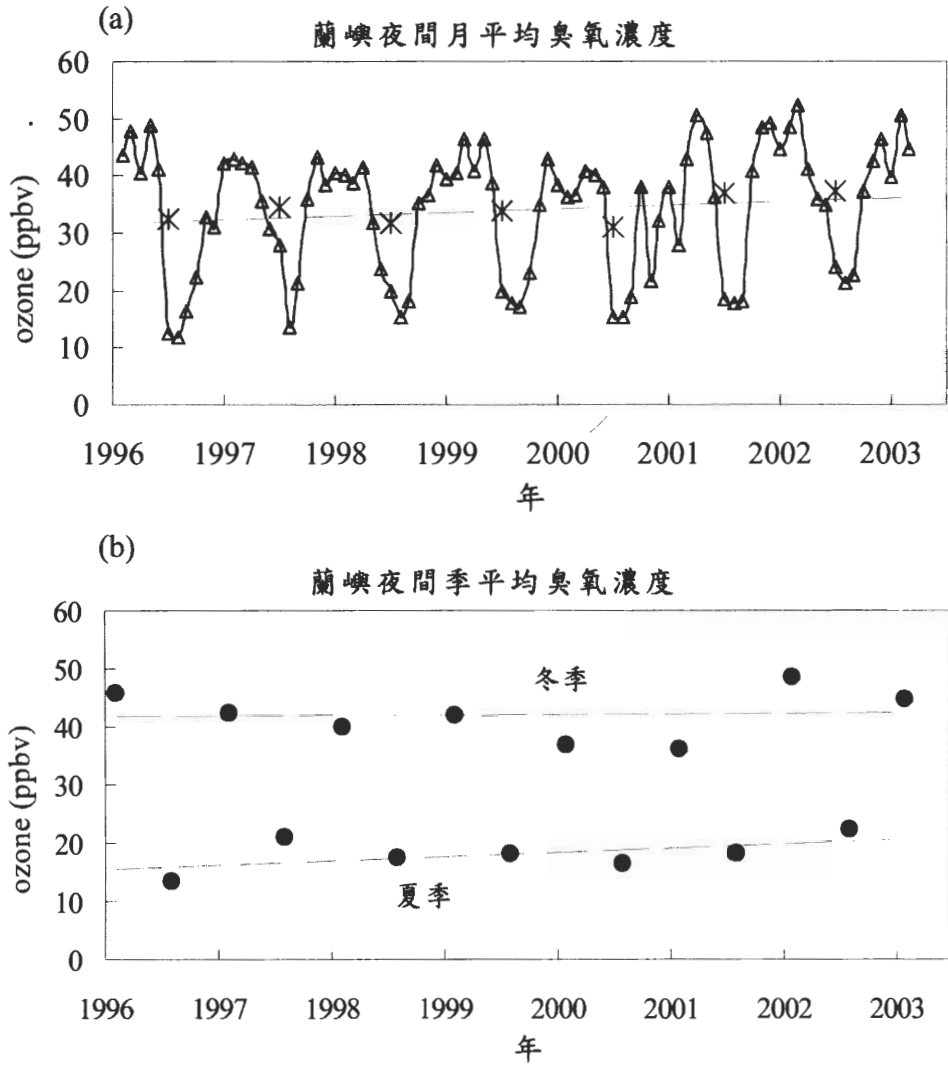


圖 1 蘭嶼站(a)月平均夜間臭氧濃度變化圖。圖中\*為逐年平均值，虛線為其線性迴歸線， $R^2=0.32$ ；(b)夜間（18時~6時之間）季節平均臭氧濃度，包括冬季( $R^2=0.004$ )與夏季( $R^2=0.29$ )變化。

間各月夜間（18時~6時之間）臭氧濃度之平均值繪出，其所顯現之冬高夏低現象，非常清楚。冬季(12、1、2月)平均濃度為 36.4~48.5ppbv，夏季(6、7、8月)平均濃度為 13.5~22.6ppbv (圖 1b)。

柳等(1999)有關背景大氣的來源分析，主要採用空氣塊路徑追蹤的定性分析方法，以確

認空氣塊來源；再與國際飛航監測資料分析比較，以確認資料可信度。如 Arimoto et al. (1997)分析 1994 年春季 PEM-west 資料中有關(CO/O<sub>3</sub>)比值，指出台灣附近約為 4.6~6.1，其與蘭嶼月平均(CO/O<sub>3</sub>)比值介於 4~9，且為冬低夏高的特徵相近。另外，柳等(1999)也與香港背景站資料

(Wang et al., 1997)相比較，以確認季節變

化特徵，以及對長程傳送影響的共識。Lam et al. (2001)則引用柳等(1999)結果，提出影響香港背景站的五個空氣塊軌跡。此外，Lee et al. (1998)、Akimoto et al. (1996)與 Pochanart et al. (2002)指出：沖繩島(Okinawa)的近地面層臭氧有因中國大陸污染逐年增加而增加的趨勢，蘭嶼的臭氧年平均資料(圖 1a)亦顯現類似趨勢。不過，由於蘭嶼位於海陸氣團交界，臭氧濃度逐年上升可能是冬季大陸性氣團或與夏季海洋性氣團的背景濃度持續上升有關。圖 1b 顯示：後者似為主因。至於冬季的濃度，若不包括 2001 年冬季資料，則是呈現持續下降的趨勢，這似與 Lee et al. (1998)與 Akimoto et al. (1996)、Pochanart et al. (2002)的觀察結果不盡相符。初步的假設為：夏季時，東南亞污染排放逐年增加，雖然增加量可能不大，但大環境有利於臭氧生成，所以逐年臭氧濃度上升。冬季時，大陸污染逐年惡化，自然背景臭氧通過污染區時遭受 NO 等化學物質破壞，其使臭氧濃度減少的量大於臭氧前驅物質增加而促使臭氧生成的量，所以逐年臭氧濃度下降。而 2001 年冬季的高臭氧，應與當季大陸性上游氣團往南輸送高臭氧背景濃度之效率提昇有關。進一步的分析正在進行中，本文尚無法深入探討以上論點，但本文研究將為驗證上述論點奠定有利的基石。

在本研究中，吾人採用數值模擬的方式來探討長程氣團傳送對台灣近海背景臭氧的影響，其主要目的除為確認柳等(1999)的相關結論外，並在於定量判斷自然源與人為污染源的貢獻比例。

## 二、研究設計、模式介紹與氣象場模擬分析

所選取的夏冬個案，分別為 1996 年夏季 7 月 16 日至 18 日太平洋副熱帶高壓影響且颱風通過西北太平洋期間，以及 1996 年冬季 12 月 18 日至 20 日大陸冷高壓出海且東北季風影響顯著期間等二個案，以進行東亞地區大氣化學場之模擬。研究所使用的模式包含兩個部份，第一部份為中尺度氣象模式 MM5，MM5 模式輸出氣象場模擬結果，再經整理後，提供第二個部份台灣空氣品質模式(TAQM)所需之三維風場、溫度場、溼度分布及氣壓擾動場等資料，及二維的大氣物理參數如地面溫度、地表壓力、邊界層高度、雲覆蓋比例等資料，以進行大氣化學場之模擬分析。

有關 MM5 模式的架構、模組、初始場的建立、物理過程如降水、地表能量收支、地表邊界層處理和大氣輻射過程等的選擇，國內已有許多資訊，其中吳等(1999)說明較為完整。模擬領域設定，乃以北緯 25 度，東經 120 度為中心，網格解析度為六十公里，網格點數為 99×99。TAQM 則取邊界內一層的網格點濃度為預設，所以模擬網格點數為 98×98。垂直方向上取  $\sigma$  座標，共分成 24 層。使用歐洲氣象中心(EC)資料為初始分析場，模式中使用的 explicit moisture schemes 為 simple ice scheme，積雲參數化為 Anthes-Kuo scheme，邊界層處理使用 Blackadar PBL scheme，輻射處理方法為 cloud-radiation scheme。在模擬過程中每小時輸出一氣象場預報結果。為協助 TAQM 初始場之建立，MM5 的運算始自模擬期的前二日。

有關 TAQM 模式的發展歷史、架構、網

巢系統、光化學反應機制、物理與化學時間解析等說明，可查閱鄭等(2000)。東亞與台灣排放源資料的設定，則是直接使用 Chang et al. (2000) 所提供者，該文已發表於國際期刊，故其區域排放量已經國際學者審定，但是大陸地區經濟成長快速，污染排放持續增加，故該污染排放資料應與近期狀態不符，這也是本研究所選取的個案期間為 1996 年，而非是近年個案的原因。

在初始大氣化學場的建立方面，首先是估計各種微量氣體在乾淨大氣條件下其垂直方向的濃度變化剖面，本研究參考 PEM-west Phase A、B 計畫期間飛機觀測資料(J.G.R., 101、102；Liu et al., 1995)，設定相關化學物質濃度值。其次，取 MM5 氣象場輸出及污染排放資料進行模擬，前兩天的運算使得模式模擬區域中各種氣體經排放、傳輸、化學反應、沉降等各個過程之綜合作用而達到近穩定的狀態，此預跑結果即作為正式模擬之初始場。而在模擬區域邊界的化學物質濃度設定方面，模式預設是使用模式初始化階段最終所得之模式邊界內一層的網格點濃度，本模擬則是直接取飛航觀測資料作為模式邊界條件，並在模擬過程中維持一定值。

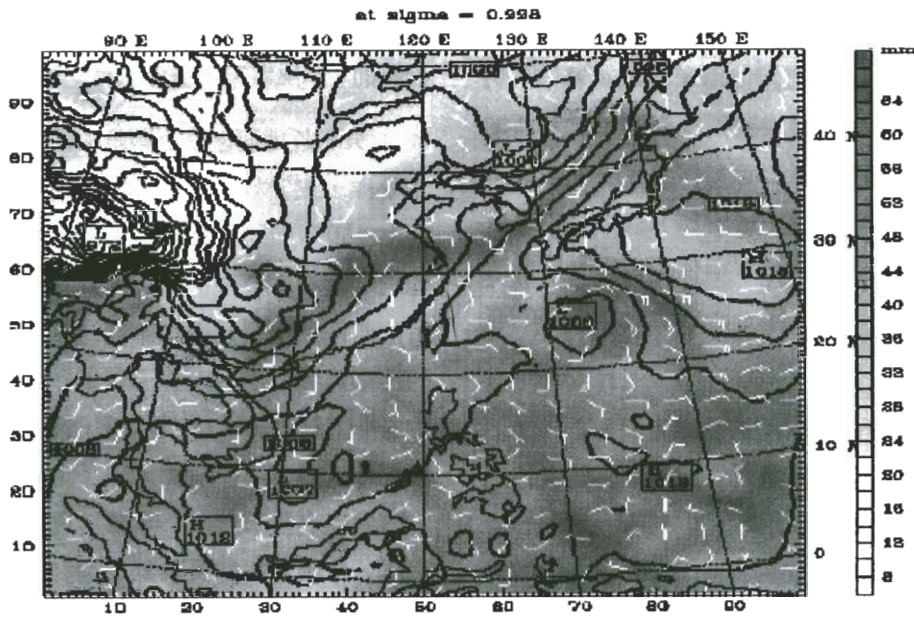
夏季個案(1996年7月16日~18日)期間內，西南季風盛行，副熱帶高壓中心位於北太平洋(30°N, 145°E)，颱風夏娃(Eve；STY 07W)中心在(27°N, 132°E)沿高壓外緣走向日本。模式模擬結果顯示對於華中及華北一直延伸到韓國及日本之低壓區有良好的模擬，太平洋高壓位置與強度與實際觀測一致。距台灣東北方約二千公里的颱風低壓，其強度受限於模式解析而略低於觀測，但模式仍能有效掌握其

持續北移過程中的環流改變。圖 2a 除顯示以上所述之天氣系統，垂直降水量的分布尚顯示沿鋒面、颱風區與赤道帶水汽充沛的模擬結果。

分析近地面之風場顯示：低緯度(<30°N)西太平洋，主要氣流是來自東邊的中太平洋；高緯度(>30°N)西太平洋，主導氣流則是從亞洲大陸吹向太平洋。中國大陸的東南沿海地區以及台灣西部，主要是由南中國海往東北方向傳送的西南氣流，而內陸風場較弱。詳細探討台灣地區中低層之風場，則是受到兩股勢力的影響：西部地區盛行南風及西南風，主要來自南海及中南半島之夏季季風；東部地區則為東南風及南風，來源為菲律賓及其東邊之西太平洋，明顯受到太平洋高壓的影響。利用 MM5 風場資料，可進行台灣兩側空氣塊路徑追蹤，結果顯示模擬期間內蘭嶼島空氣塊源自菲律賓東西側海域的邊界層大氣，低緯度海洋大氣對台灣近海背景大氣的影響相當顯著。

冬季個案(1996年12月18日~20日)之綜觀系統顯示：18日大陸冷高壓中心位置在東經93度、北緯48度，另外在其東北方之分裂高壓中心位於東經117度、北緯57度位置。冷氣團南下，其高壓勢力伸展至台灣地區，而鋒面位於日本東方海面，向東移動。19日00Z時，大陸冷高壓中心分裂成另一高壓中心，位於東經105度、北緯40度位置，大陸冷氣團持續向東移動，鋒面亦向東移動。20日00Z冷高壓前緣之分裂高壓位於東經120度、北緯30度向東移動出海，高壓出海現象明顯。MM5模擬結果顯示：模式可以掌握大陸性冷高壓向東南移動出海的趨勢，亦能掌握到日本地區溫帶氣旋所伴隨之冷鋒東移的現象。同時分析近地面( $\sigma=0.995$ )風場，顯示台灣地區中低層之風場，

(a)1996/7/16 12Z



(b)1996/12/19 12Z

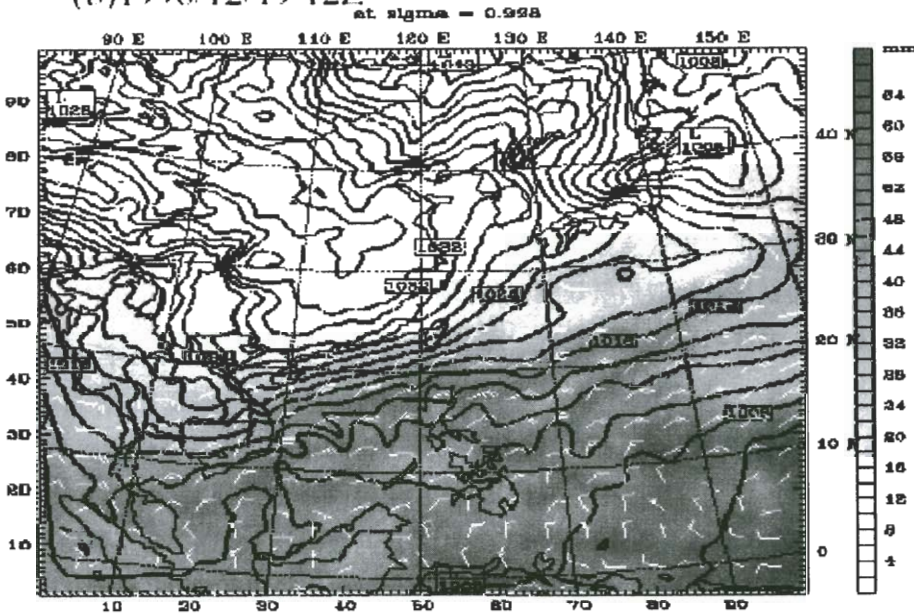


圖 2 1996 年(a)7 月 16 日 12Z 與(b)12 月 19 日 12Z，模擬得之近地面( $\sigma=0.998$ )等壓線與風標及垂直可降水量分布圖。

在模擬期間受到大陸冷高壓控制，盛行風為北風及東北風。圖 2b 除顯示上述之高壓位置、氣

團移動與盛行風場等，模式尚清楚顯示海洋面上可降水量較大，所以自大陸移出的冷氣團為乾冷空氣。

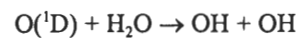
### 三、夏季長程傳送個案模擬

CO 是一次污染物，在對流層的壽命較長，約為兩個月，因此其大氣濃度既受局地源排放的影響，也受長程輸送的影響。圖 3a 為 7 月 16-18 TAQM 模擬區域內三日平均的地面 CO 濃度分布，最顯著的特徵是 CO 濃度從內陸到海洋明顯降低。北緯 35 度以南的西太平洋區域，由於主要氣流是來自中太平洋的海洋性氣團，空氣較為潔淨，CO 濃度低於 90ppbv，有些區域甚至達 60ppbv；北緯 35 度以北的西太平洋，CO 濃度約為 120ppbv，較低緯度之 CO 濃度為高，似顯示來自亞洲大陸人為污染經氣流輸送入太平洋上空。中國大陸的東南沿海地區，主導氣流為來自西南的海洋性空氣，大部分地區 CO 濃度低於 90ppbv；在內陸，海洋性氣流的影響很小，局地污染物的濃度主要受局地源排放的影響，在北方地區，由於工業污染源排放較大，CO 濃度較高，北京(40°N, 117°E)、上海(31°N, 121°E)周圍 CO 濃度較高，最高可達 300ppbv 以上，與兩地工業污染源排放較大一致。大致上，在夏季時，由 CO 在空間上分布的情形來看，雖然人為污染物會藉由大氣的傳送及擴散過程污染到下游地區，但是在邊界層，污染的程度主要還是受當地污染物質排放主導。

由於來自中太平洋氣流的影響，台灣東部的 CO 濃度較低；而西部雖然也受來自西南的海洋性氣流影響，但西部的工業源排放較大，故 CO 濃度明顯高於東部。台灣西部污染的高值集中在台北及高雄兩大會區，濃度最高可以達到 180ppbv 以上。分析 7 月 16-18 日期間，每日 02LT(當地時間, Local Time)及 14LT 之一

氧化碳濃度分布，可以發現在海洋地區 CO 濃度並沒有顯著的日夜變化，但是在北高兩都會區則可以看到明顯的日夜變化。北京及上海工業污染嚴重地區，即使夜間污染排放減少，CO 濃度仍然維持一定的高值。

臭氧是二次污染物，它不是污染源直接排放的，而是污染源排放的氮氧化物(NO<sub>x</sub>)和碳氫化合物或一氧化碳經過一系列光化反應生成的，其大氣濃度不僅取決於局地污染源排放的臭氧前驅物(NO<sub>x</sub>、碳氫化合物和一氧化碳)，臭氧及其前驅物的長程傳送，以及中尺度的氣象環境等，均是影響大氣臭氧濃度的重要因素。臭氧的生命期從陸地邊界層的數天，到高對流層中的數個月不等。夏季，低緯度(<30°N)西北太平洋大氣主要來自中太平洋的潔淨空氣，其氮氧化物、碳氫化合物和一氧化碳等濃度低，臭氧的生成速率低；同時由於太陽輻射強，溫度較高，海洋大氣中水汽濃度大，臭氧通過如下反應迅速被消耗：



因此，西北太平洋上空的大氣中，臭氧是淨消耗，大氣臭氧濃度低於 40ppbv，很多區域低於 20ppbv(圖 3b)，沒有明顯的日變化。而內陸由於污染較嚴重，臭氧前驅物濃度較高，臭氧的生成速率高，且空氣中水汽濃度降低，臭氧消耗的速率低，在陸地上空的大氣中，臭氧是淨生成；同時陸地近地面風速小，不利於污染物的擴散，有利於臭氧的累積。因此，內陸大氣臭氧濃度較高，且污染源區附近極端有利於臭氧累積的區域，逐時臭氧濃度可達 100ppbv 以上。受太陽輻射的影響，臭氧濃度日變化明顯，

通常在午後為最大值。

圖 4a 繪出在 7/17 日下午二時在 850hPa

處的水平臭氧通量分布，在氣旋區、冷鋒帶與颱風等地區的臭氧通量相當強，且呈現水平輻合現象，並配合較強的垂直上升輸送通量(為節

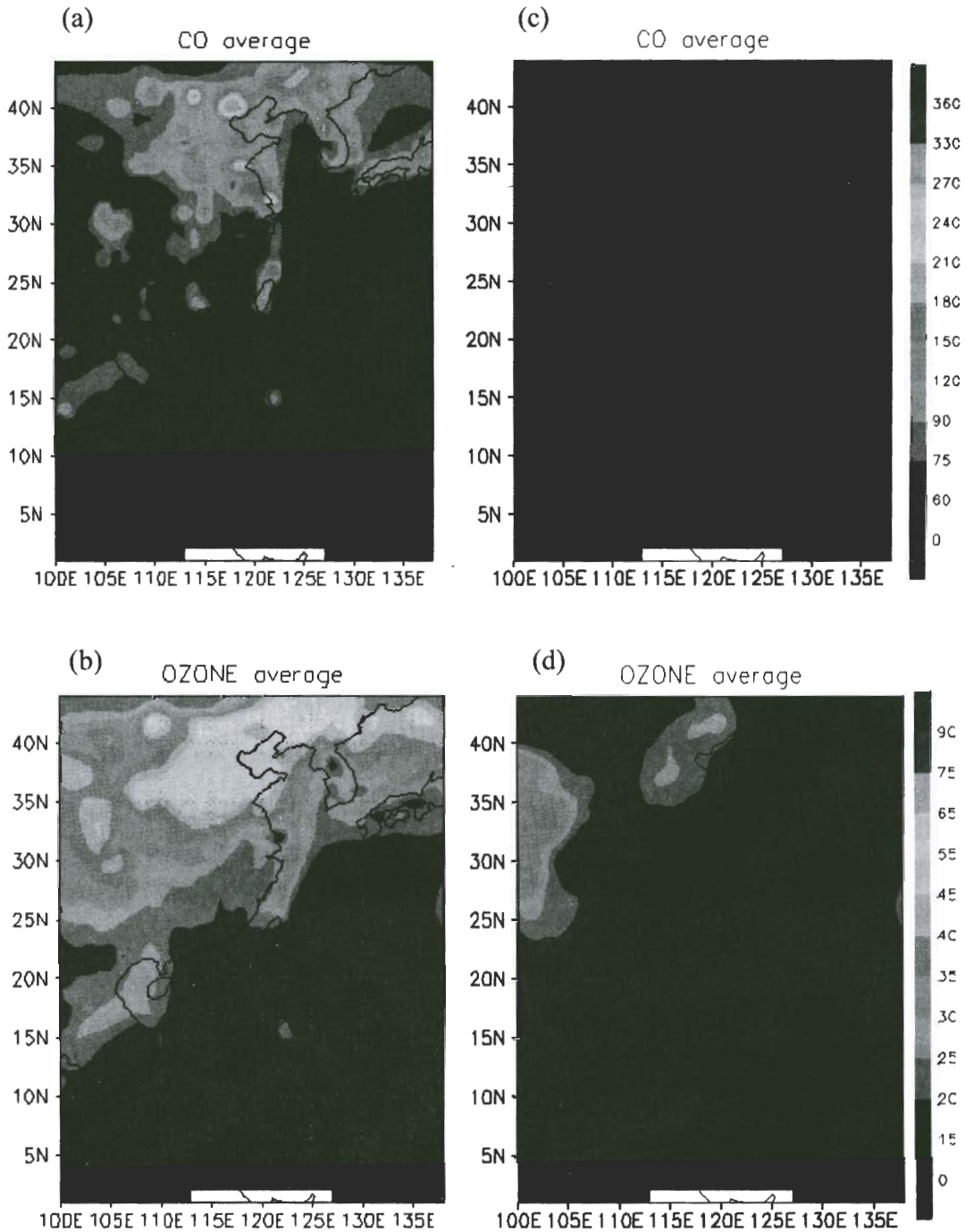
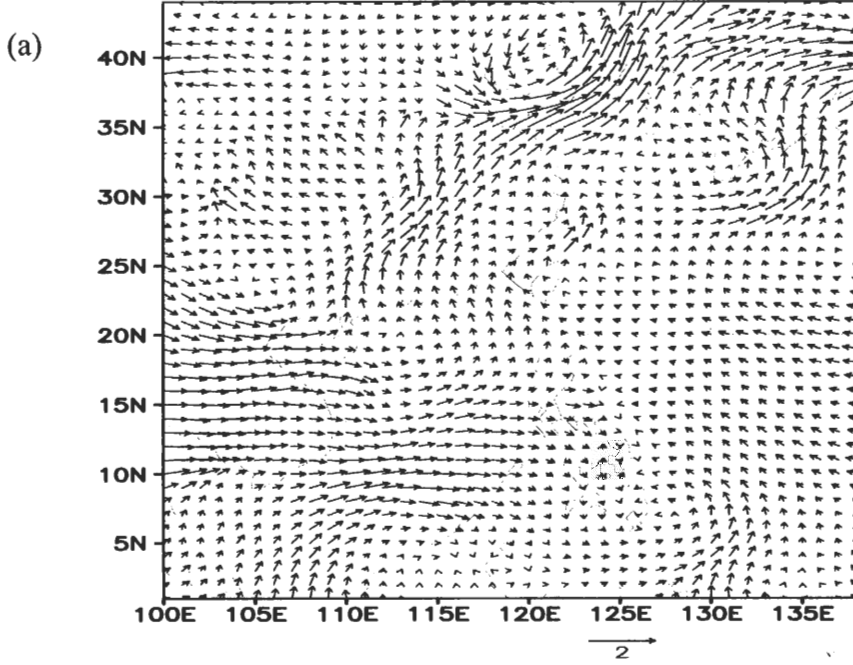


圖 3 1996 年 7 月，考慮污染排放下之模擬個案，近地面(a)CO 及(b)臭氧平均濃度(ppbv)分布圖。(c)與(d)圖類似(a)與(b)，但為不考慮污染排放。



horizontal flux(850hPa)\_o3 1996/07/17 14:00



horizontal flux(700hPa)\_o3 1996/12/20 02:00

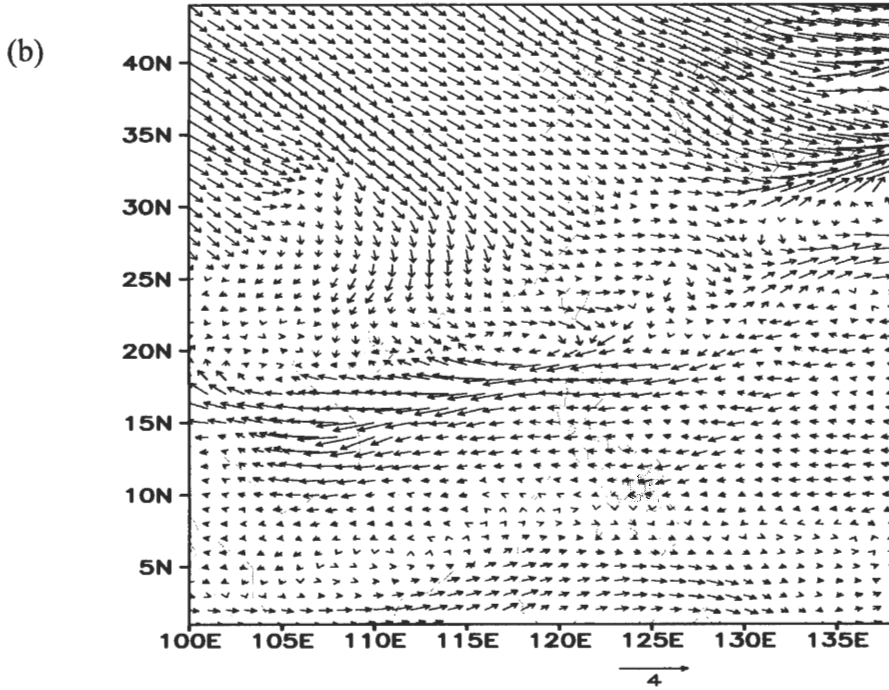


圖4 1996年(a)7月17日02Z與(b)12月20日02Z，模擬得在850hPa水平臭氧通量 ( $10^9 \text{ moles cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) 分布圖。

省篇幅，該圖未加入本文中)。本文要特別指出的是：台灣左右兩側明顯的向北與向西北輸送通量，將海洋上空較為清潔的空氣輸送進大陸。

沿著東經 135 度的垂直臭氧濃度剖面 (圖 5a)，顯示由於東亞地區的大氣環流主要是來自西太平洋及南中國海，盛行東南風及西南風，

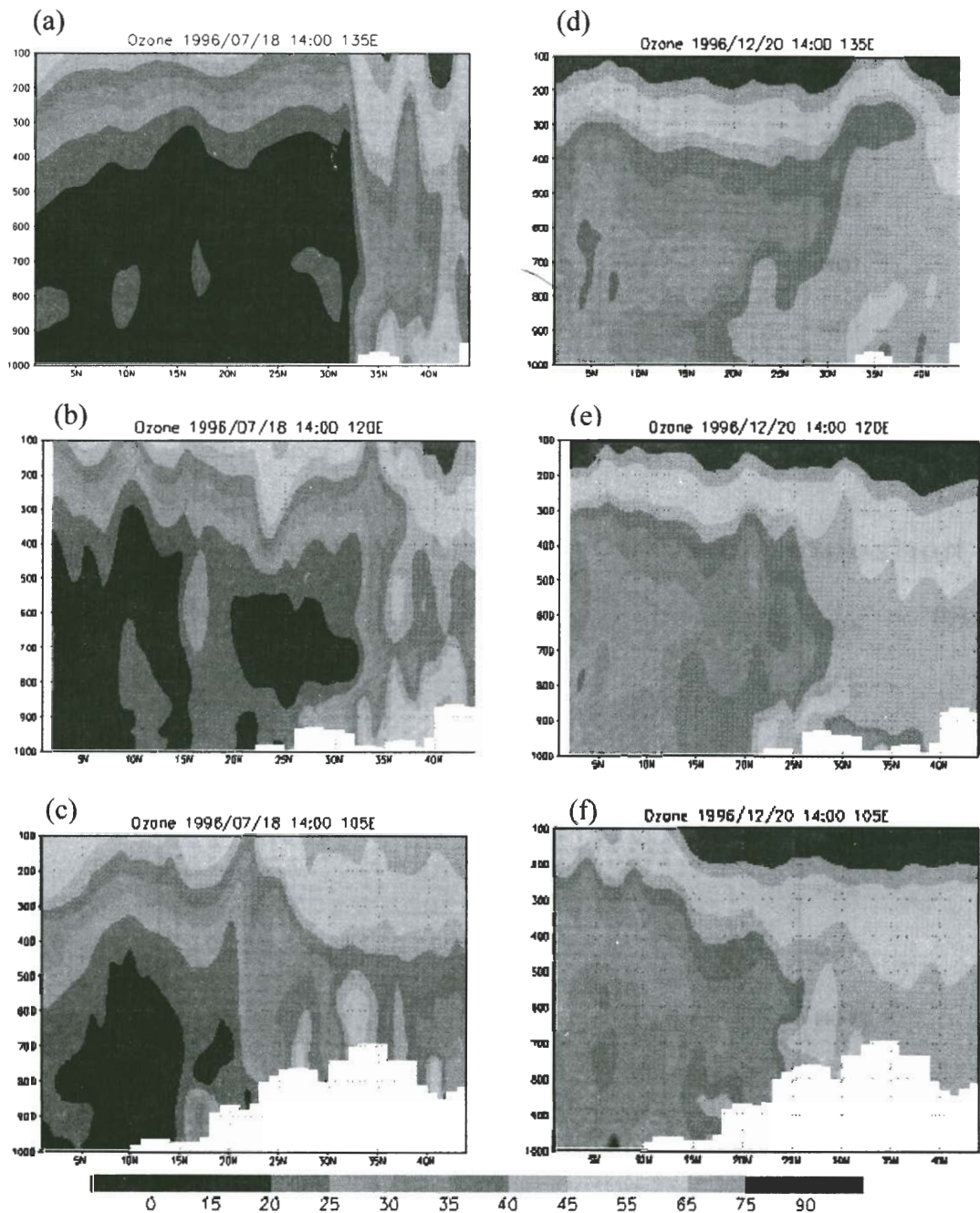


圖 5 1996 年 7 月 18 日 14LT，模擬個案之沿東經 (a) 135 度、(b) 120 度與 (c) 105 度之臭氧濃度 (ppbv) 垂直剖面。(d)、(e)、(f) 類似，但為 1996 年 12 月 20 日 14LT。(圖中地形為白色，垂直方向是以氣壓為座標。)

將來自海洋地區的乾淨空氣向北傳送，臭氧濃度在洋面及大陸沿岸地區普遍低於 30ppbv，影響範圍向北可以達到北緯 35 度，高度上可以達到將近 8 公里 (250hPa)。在北緯 35 度以北，除了近地面局地污染源的高值可以在午後使臭氧濃度達到 70ppbv，影響範圍向上延伸到約 1.5 公里的高度，平流層及中高對流層則呈現高濃度臭氧(50ppbv 濃度以上)向下延伸到四公里高度。在這三天的模擬期間，在北緯 35 度附近，從近地面一直到高對流層，低臭氧濃度的海洋性空氣與北方的高臭氧濃度空氣形成明顯的邊界。在赤道附近及北緯 20 度，平流層及高對流層的高濃度臭氧亦有向下延伸的趨勢，不過，50ppbv 濃度臭氧影響的高度侷限在七公里以上。

東經 120 度垂直臭氧剖面(圖 5b)顯示臭氧的濃度分布大致與東經 135 度剖面類似，北緯 40 度附近因位於污染區近地面臭氧濃度偏高。而東經 105 度垂直剖面(圖 5c)，則顯示在夏季時，海洋性空氣的影響範圍可以由南向北深入大陸內陸，達到北緯 25 度。臭氧濃度小於 15ppbv 的低濃度區域，侷限在北緯 7 度至 13 度的海洋及沿岸地區，高度可達 7 公里。北緯 13 至 25 度之間，雖然臭氧濃度普遍維持在 30ppbv 以下，但濃度比相近緯度之海洋地區為高，顯示在內陸地區，雖然受到海洋性空氣的影響，但由於在陸地上缺乏類似海洋面上臭氧消耗的機制，難以維持洋面上如此低的臭氧濃度。在北緯 35 度，高對流層的高濃度臭氧(50ppbv 以上)，可以向下延伸到離地近 3 公里的高度(500hPa)，但是近地面邊界層內的高濃度區域，仍然主要受到局地污染源所控制。

以上的模擬結果大致與預期相符，所觀察

到的夏季季風輸送海洋性清潔大氣至大陸地區，似為夏季的主要長程輸送型態；同時，中國與東亞各國的局地人為污染，是造成當地與附近地區邊界層內高污染的主因，並出現向東海輸送的現象。二者間之分界約在日本、台灣、海南島與中南半島的連線。但在邊界層以上，海洋性空氣北進的高度可達離地 5 公里以上。

本文研究的興趣是台灣外海之背景大氣受長程傳送影響的情形，而由於西岸外海地區受本地污染影響顯著(參考圖 3)，所以研究重點是放在遠離污染排放區的台灣東南海域，以期探討蘭嶼島在夏半季所測低臭氧濃度(參考圖 1)的來源，並取蘭嶼島附近空氣塊，進行路徑倒推的追蹤分析，以期了解沿空氣塊路徑之大氣化學特徵變化。

而為更清楚了解海洋性大氣的影響，乃另模擬無人為污染排放的情景，其結果與上述模擬結果間的差異，主要是邊界層的人為污染生成高臭氧的情景不再，所以乾淨空氣得以向大陸地區更為深入。如小於 60ppbv CO 濃度區涵蓋了華北、華中的大部份地區，以及由日本、南韓到台灣、菲律賓間的大部份海域(圖 3c)。同樣地，小於 15ppbv 臭氧濃度區涵蓋了大部份地區，近地面高臭氧濃度(35~40ppbv)出現在海拔高度高的青康藏高原區(圖 3d)。至於沿經度線的垂直剖面，除顯示上述類似的情景外，主要是更清楚呈現高緯度地區平流層臭氧向下輸送的狀況(參考圖 5)。

圖 6 整理出蘭嶼島附近模擬期間最後一日空氣塊倒推路徑，與無污染排放模擬下之沿路徑 CO、NO<sub>x</sub>、O<sub>3</sub>等濃度變化，以及污染排放模擬與無污染模擬之濃度差距變化等。大致上，模擬期間內，空氣塊源自南方菲律賓海域，並

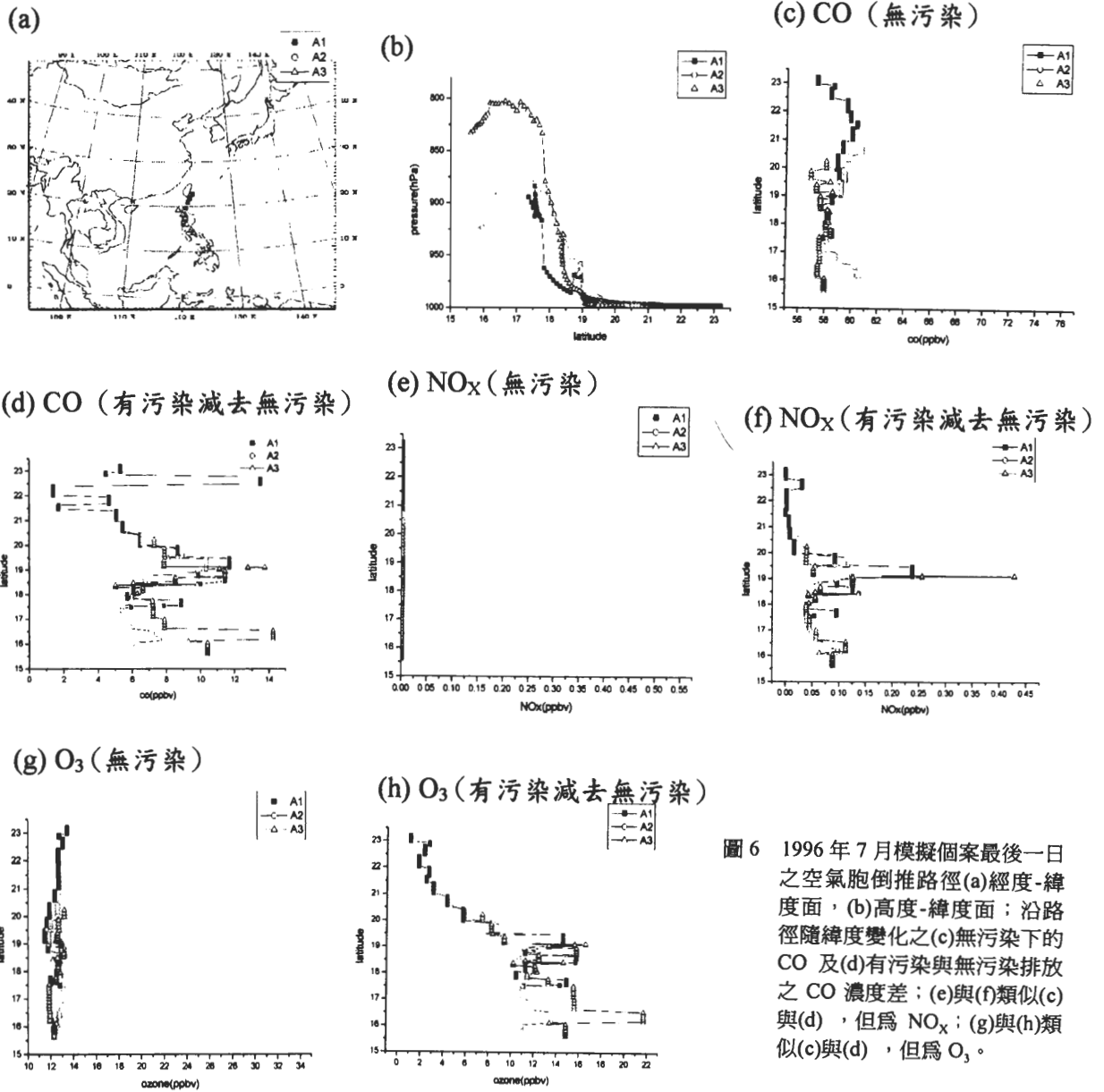


圖 6 1996 年 7 月模擬個案最後一日之空氣胞倒推路徑(a)經度-緯度面，(b)高度-緯度面；沿路徑隨緯度變化之(c)無污染下的 CO 及(d)有污染與無污染排放之 CO 濃度差；(e)與(f)類似(c)與(d)，但為 NO<sub>x</sub>；(g)與(h)類似(c)與(d)，但為 O<sub>3</sub>。

且是維持在低邊界層之內，所以在無污染排放模擬下，CO 濃度約在 57~61ppbv 間屬背景大氣特徵，而其他人為排放物資如 NO<sub>x</sub> 則幾近於 0，臭氧濃度約在 11~14ppbv 的低濃度區間變動。若在考慮人為污染情景下，則由於空氣塊

所通過地區仍為低污染或少污染的海洋區，所以沿路徑上，CO 濃度約增加 1~14ppbv，NO<sub>x</sub> 可增加約 0 ~ 400pptv，O<sub>3</sub> 約 0~22ppbv，其他如 NO<sub>y</sub> 約增加 0~1.1ppbv、PAN 約 0~400pptv 等，增加幅度相對於大陸污染區濃度並非很大，

乃主要是在經過菲律賓污染區時受到影響，但隨著空氣塊遠離污染區(向較高緯度區移動)而減少，明顯受海洋大範圍區域的稀釋之故。所以，本案例模擬期間內，台灣東南海域主要是受太平洋海洋性清潔空氣影響，菲律賓的污染排放影響最終使抵蘭嶼附近海域之  $O_3$  增加約 2~4ppbv，相當於增加約 14~28%。

由於在夏季期間內，大陸性污染空氣受太平洋副熱帶高壓阻擋無法南下，而台灣西岸污染則受夏季西南季風影響，主要走向東北，影響台灣西岸與北部地區空氣。因此，台灣東南海域的空氣主要受太平洋海洋性空氣影響，而如本模擬案例所示，蘭嶼島臭氧濃度乃能固定維持在相當低值(參考圖 1a)。

#### 四、冬季長程傳送個案模擬

冬季個案(1996年12月18日~20日)模擬，亦區分為二種情況，一是考慮近地面污染物排放的情形，另一是不考慮污染物排放。前者之污染排放資料庫與初始場的設定，乃如前節所述；後者則不使用排放資料庫，且在產生18日的初始場時，所預跑的前二日情景，亦未納入污染排放影響。

圖7繪出模擬期間之近地面東亞平均CO與 $O_3$ 濃度分佈圖。一次污染物CO的分佈清楚地說明著大陸沿海與韓國、日本等地之污染源分佈情形，台灣的污染排放對附近海域的空氣品質影響，顯然不可忽略。同時，CO呈現明顯的海陸分布，約略以琉球、菲律賓呂宋島北端、越南南端的連線為界，陸地多在90ppbv濃度以上，北緯30~40度間近高污染排放源區，多處可達150~270ppbv。當然，由於陸地地形漸向內陸爬升，與缺乏污染源，而致CO濃度

在內陸地區相對地下降達90ppbv以下。分析經度面的垂直分佈圖(圖5d,e,f)可以明顯看出上述現象。至於在無污染源排放影響的模擬情況下(圖7c)，顯然不再出現高CO濃度區，反而是低於75ppbv濃度的區域籠罩達大多數地區。

在12月，影響中國大陸的東南沿海地區的主導氣流不再是來自西南的海洋性空氣，而是來自北方的大陸性空氣，人為污染較為嚴重。因此，CO濃度顯著增加，可達200ppbv以上。受其影響，台灣地區的CO濃度也顯著增加，並且沒有明顯的東西部差異，顯示除了局地污染源這個主要因素之外，台灣地區的空氣品質受到亞洲大陸的氣流影響，此特徵與夏季時明顯不同。分析逐時變化，冬季時大陸的上海及北京，CO濃度始終維持高值，不似台北或高雄有明顯的日夜變化。

臭氧濃度的分布(圖7b)，顯示西太平洋地區多處屬低背景臭氧的狀態，但是沿菲律賓呂宋島北端與中南半島南端的連線以北，臭氧分佈恰與CO分佈相反。大陸北方污染源區由於冬季輻射量低、臭氧生成量低，但卻與NO等化學物質反應而消滅，且消滅量大於生成量，所以在污染源區附近臭氧濃度低，可以達到5ppbv以下；下游地區則因光化反應生成臭氧，而致臭氧濃度漸次升高。至於大陸內陸高地地形區，則受平流層高濃度臭氧下衝影響，臭氧濃度較高，不過內陸又受強勁的西北氣流影響，臭氧累積不易，臭氧濃度略低於西太平洋。相對地，在乏污染排放源的模擬情況下(圖7d)，低臭氧濃度區由南向北拓展；同時，高緯區受平流層高濃度臭氧下衝影響較頻繁，35ppbv以上的濃度區則向東與向東南，以順時針的形態，影響達北太平洋與台灣以南巴士海峽等地區。

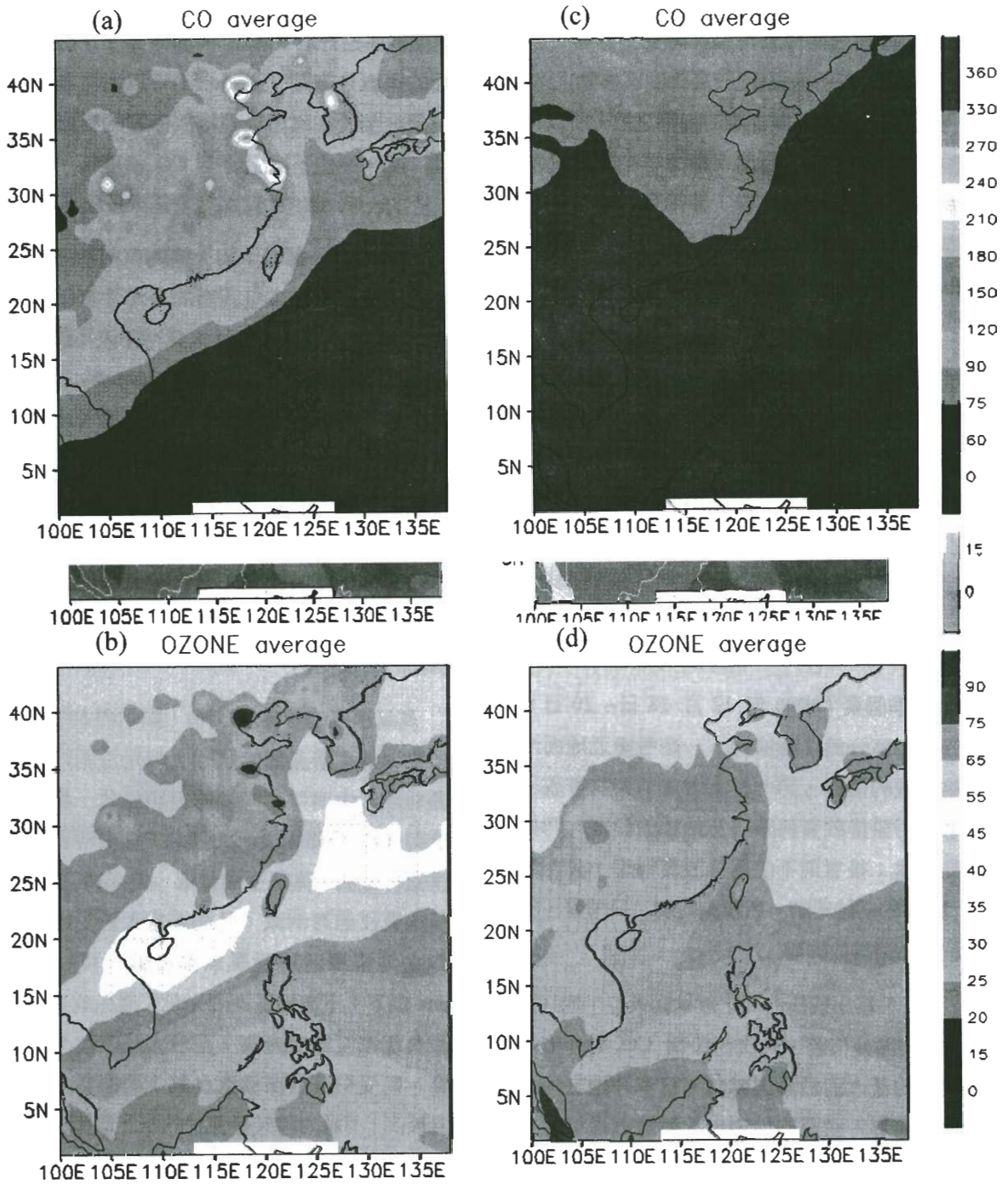


圖 7 1996 年 12 月，考慮污染排放下之模擬個案，近地面(a)CO 及(b)臭氧平均濃度(ppbv)分布圖。(c)與(d)圖類似(a)與(b)，但為不考慮污染排放。

似乎受到大陸冷氣團出海的影響，台灣近海地區的臭氧濃度分佈在考慮污染排放與否下，差

距均不大。

基本上，12 月個案期間，氣流持續自中國

大陸將大量的污染物輸送到太平洋上空，臭氧前驅物的濃度增加，臭氧的生成量增加，所以西太平洋大氣臭氧濃度乃呈現增加情勢(圖 7b)。但是，太陽輻射特別是紫外線輻射降低，且大氣溫度降低，海洋大氣中水汽濃度也降低，所以臭氧雖屬淨生成，但生成量相較於無污染排放時的背景量，增加幅度並不是很大。

若進一步地觀察每日 14 時臭氧在水平面上的分佈情形，35ppbv 的等濃度線切過菲律賓呂宋島北方到中南半島南端，會隨著大陸冷高壓出海而緩緩向南推進；同時，超過 55ppbv 的區域，出現在台灣南端向西南方向延伸，18 日在南海海域尚且出現超過 65ppbv 的區域。至於大陸地區內的分佈特徵，仍以污染源區附近臭氧濃度偏低的現象較為顯著，而介於 45~55ppbv 間的區域似有隨冷高壓出海而擴大的現象。相對的，在無污染源排放影響下，模擬結果顯示低於 35ppbv 的區域反深入大陸達近北緯 35 度，至於 35~40ppbv 的分佈顯然是受大陸冷高壓影響，而有明顯的順時針分佈特徵。逐日而言，35~40ppbv 區間在海洋面上，隨高壓出海由台灣向西南達南海上空。大致上，臭氧逐時分佈特徵與圖 7 所示之平均圖近似，但是逐時變化則受日間太陽輻射與大陸冷高壓移動影響，而會有午時濃度較高，且冷高壓氣團影響區域隨著高壓出海而致向西南發展等現象。

圖 4b 繪出在 12/20 日下午二時在 850hPa 的水平臭氧通量分布，在大陸外海為強盛的東北季風輸送通量，其強度遠較夏季時的西南季風通量(圖 4a)為強，亦清楚指出台灣近海臭氧源自上游。此外，強盛的水平輸送通量在菲律賓群島與南海海域減弱，而致出現向上傳輸的垂直通量(為節省篇幅，該圖未加入本文中)，其

與氣團前緣的冷鋒面結構一致。

圖 5d,e,f 比較沿著東經 135 度、120 度與 105 度等經度面上，臭氧在垂直面上的分佈情形。可觀察到：低於 35ppbv 的低濃度區，有由低緯向高緯以及由海平面向高層深入的現象，大約影響及北緯 25 度以南與 400 hPa 以下。同時，大於 45ppbv 的高濃度區，則有由高緯向低緯，以及由高層向海平面擴張的現象。沿東經 105 度，低濃度向北推進；而沿東經 135 度，高濃度向南推進，此乃受大陸冷高壓出海影響所致。若分析無污染排放的模擬結果，則顯示：沿經度面上，臭氧垂直分布特徵與污染個案相近，顯示污染源的影響在模擬期間內主要在近地面。而若冷氣團南移，則可能攜帶高緯度平流層下衝臭氧與大陸污染空氣，影響台灣近海空氣品質。

圖 8 整理出蘭嶼島附近於模擬期間最後一日的空氣塊倒推路徑，與無污染排放模擬下之沿路徑 CO、NO<sub>x</sub>、O<sub>3</sub> 等濃度變化，以及污染排放模擬與無污染排放模擬之濃度差距變化等。大致上，模擬期間內，空氣塊源自大陸北方離地 3 公里以上的高空，在不考慮污染排放的模擬狀態下，攜帶穩定的 CO (約 70~80ppbv) 與 O<sub>3</sub>(約 35~45ppbv)達台灣東南海域。而在加入污染排放影響後，空氣塊在通過華北污染排放區的邊界層時，明顯受到污染空氣的影響，CO 濃度可增加 100ppbv，NO<sub>x</sub> 可增加 20ppbv，但臭氧約變動-7~ +6 ppbv 間，其他如 SO<sub>2</sub> 可增加 30ppbv，NO<sub>y</sub> 增加 20ppbv，PAN 增加 1ppbv 等。在通過污染區時，O<sub>3</sub> 因與 NO 等化學物質反應而減少，但在通過後，空氣塊的各項化學物質均因攜帶上游污染物質而增加，所以臭氧在消耗反應減少而生成反應增加下，而

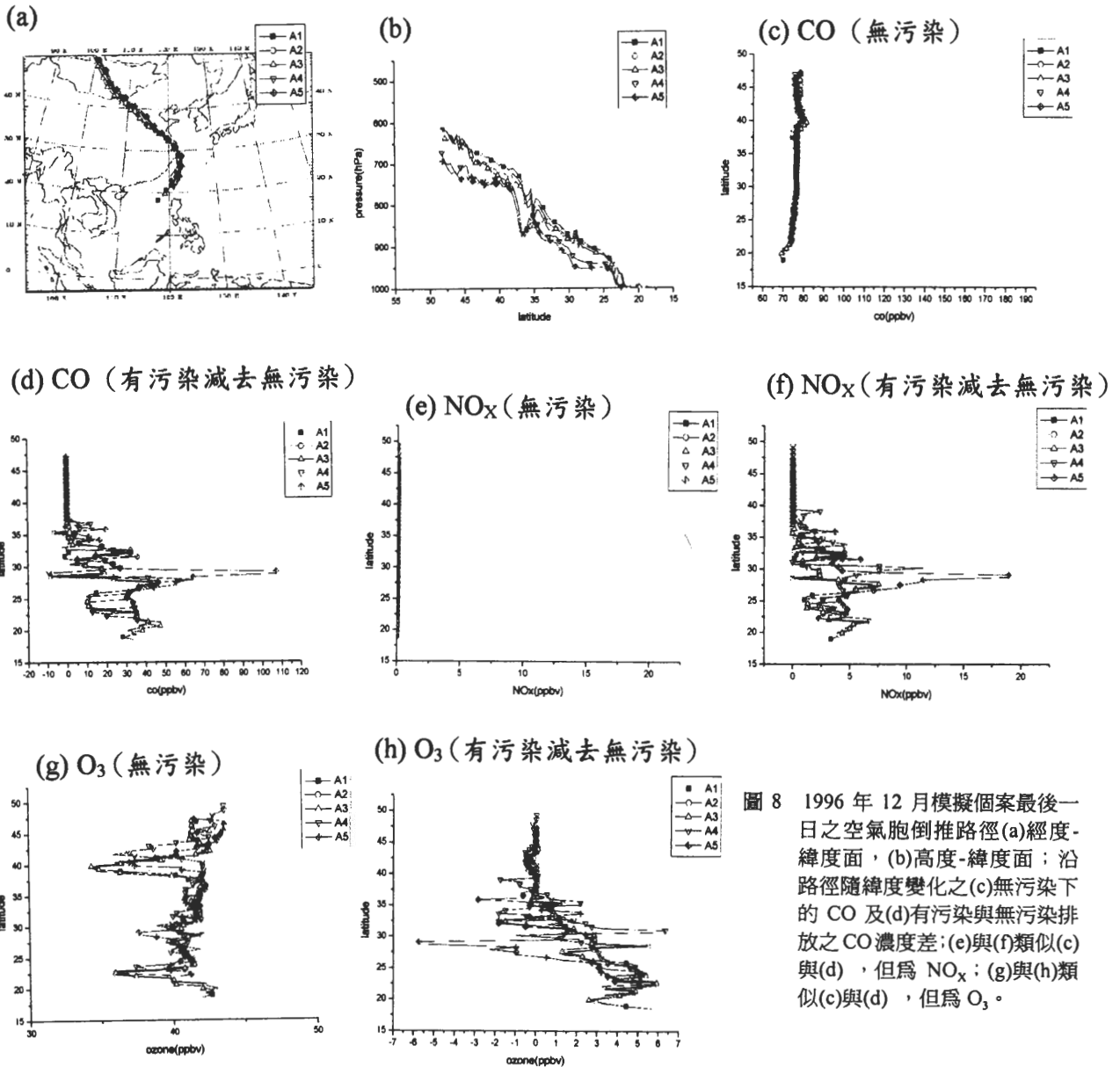


圖 8 1996 年 12 月模擬個案最後一日之空氣胞倒推路徑(a)經度-緯度面, (b)高度-緯度面; 沿路徑隨緯度變化之(c)無污染下的 CO 及(d)有污染與無污染排放之 CO 濃度差;(e)與(f)類似(c)與(d), 但為 NO<sub>x</sub>; (g)與(h)類似(c)與(d), 但為 O<sub>3</sub>。

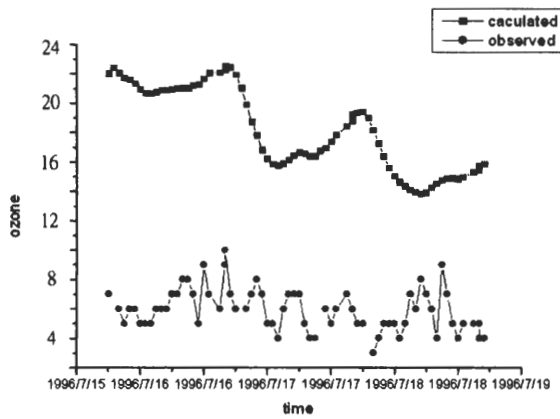
得維持較上游傳送略高 5ppbv 的濃度。顯然，上游高緯度高層高濃度臭氧的長程傳送，是影響台灣東南與南方海域如蘭嶼島，在冬季時維持穩定的高濃度臭氧(圖 1)的主因；而上游大陸地區的污染排放會提高背景大氣中各項化學物質的濃度，也會影響及當地臭氧濃度的增加，但其增加幅度約為背景濃度的 12.5%。

### 五、討論與結論

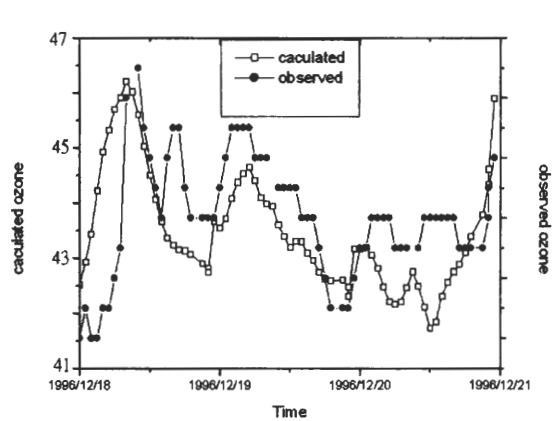
圖 9a,b 比較夏季與冬季個案期間，台灣蘭嶼背景測站所測臭氧與模式模擬結果。大致上，冬季期間二者的時間變化相似，濃度變化也接近，應屬可接受的範圍；但在夏季期間則實測濃度 (4~10ppbv) 遠低於模擬，而模式模



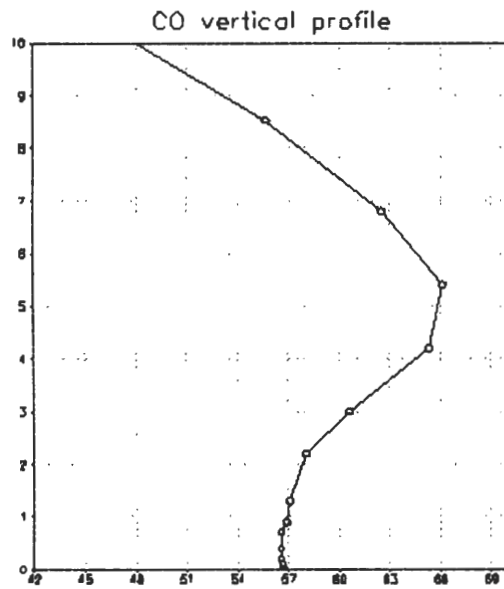
(a) 1996 年 7 月個案臭氧(ppbv)



(b) 1996 年 12 月個案臭氧(ppbv)



(c) 1996 年 7 月個案 CO 剖面(ppbv)



(d) 1996 年 12 月個案 CO 剖面(ppbv)

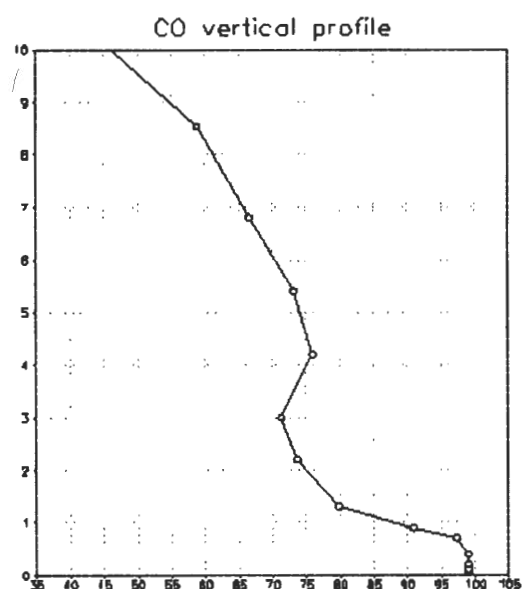


圖 9 模擬之蘭嶼近地面臭氧與實測資料比較，及模擬之蘭嶼上空 CO 垂直剖面。

擬雖出現持續下降現象，但最低也僅達 14ppbv，似乎誤差不可忽略。基本上，其原因或與模式對於颱風流場的解析無法達到接近實況有關。依 Newell et al. (1996)分析，颱風所伴隨之強烈近地面風場與上升氣流，會將近地面臭氧與先趨物質輸送到高層，所以近地面背景測站所測臭氧可降低至 5ppbv。此外，也可能與

海洋區的初始場與邊界場偏高有關。由於本模擬對於冬夏二個案均採一致的初始場與邊界場設定，且其源自 1991 年秋季與 1994 年春季的飛航觀測資料，因此可能適用於冬季個案但不適用於夏季個案。由於本研究主要在探討長程傳送與上游污染的相對貢獻比較，因此初始場與邊界場問題尚可忽略，未來若進行其他模擬

研究，則可能需使用全球化學模式的輸出為初始場與邊界場。

所模擬得之 CO 地面濃度分布，最明顯的特徵是從內陸到海洋，CO 濃度明顯降低。在夏季時，雖然人為污染物會受到大氣的傳送及擴散過程污染到下游地區，但是在邊界層，污染程度主要受到當地排放的影響。冬季時，台灣地區除了當地排放之外，尚受到來自亞洲大陸的氣流影響。夏季時台灣受到來自西北太平洋乾淨的海洋性空氣的影響，臭氧濃度維持在 18ppbv 左右。冬季時受到高層臭氧下沉及氣流將臭氧前驅物傳送到洋面，臭氧生成增加的影響，臭氧濃度在東亞大陸附近洋面維持在 45ppbv 上下。冬季個案中，源自於西伯利亞及蒙古地區的高層空氣，根據軌跡線分析，在大陸上空時高度變化不大，由西北向東南方向行進，出海後高度急遽下降，將高層高濃度臭氧帶到近地面，造成洋面上大範圍的高臭氧濃度。

此外，根據 Gregory et al.(1997)分析 PEM-west A 期間的觀測資料，CO 或者  $C_2H_2$  這類源自陸地排放的物質，與海洋性大氣在垂直剖面上的差異，為辨識空氣來源的指標。海洋性空氣在垂直剖面上，CO 濃度隨著高度的增加而增加；大陸性空氣，CO 濃度隨著高度增加而減少。在 7 公里高度以下，大陸性空氣中 CO 或  $C_2H_2$  的濃度遠大於海洋性空氣中 CO 的濃度，然而在此高度以上，兩者的差異減少，顯示陸地污染物垂直傳送過程的直接影響，侷限在低層大氣。在 9 公里的高度以上，CO 濃度分布主要受到大尺度傳送過程的影響。雖然如此，並不代表在 9 公里以上可以忽略自低層傳送的通量，而是由於高層風速大，將低層傳送上的物質作快速及均勻的混合，以致於在這

高度以上看不到大陸性或海洋性空氣 CO 濃度的差異。

圖 9c,d 為 1996 年 7 月及 12 月個案期間蘭嶼附近，模式模擬之 CO 平均濃度垂直剖面。7 月個案中，空氣塊源自於菲律賓東方西太平洋海面，在高度 5.5 公里以下，CO 濃度隨高度增加；12 月個案中，空氣塊源自高緯度蒙古地區，CO 濃度隨高度減少。兩個個案中 CO 濃度的差異隨高度增加而變小。模擬明顯呈現源自海洋性空氣與大陸性空氣在垂直剖面上的差異。但與 PEM-west 期間觀測平均值相較，模式濃度在低層比觀測值小約百分之二十，兩者之間的差異隨高度增加，到 9 公里高度時 PEM-west 觀測值可達模式的兩倍。比較觀測資料與模擬結果顯示，雖然在高層大氣中，模式的 CO 濃度在大陸性與海洋性空氣間差異減小，但可能由於模式低估了陸地污染物垂直傳送的通量以及忽略了來自模擬領域外的大尺度傳送過程，乃使得模擬濃度在高層低於觀測值。

對於化學物質在海洋性及大陸性空氣的垂直分布，綜合 Blake et al.(1992)提出的三個可能大氣條件，及 PEM-west A 期間的模擬及觀測資料，Liu et al. (1996)提出的機制如下：當空氣塊在陸地時，藉由對流或其他的垂直傳送過程逸入邊界層中排放的污染物，並且在各個不同高度都要有相當程度的逸入或逸出，而為了要使得大陸性空氣濃度分布有負的梯度，在低層逸入的作用必須大到足以克服因為低風速與高 OH 濃度所導致的較大的消耗。對海洋性空氣而言，正梯度由以下兩個機制維持：被傳送到高對流層的 CO 受到較高的水平風場及渦流快速的混合，以及低對流層較高的 OH 濃度及較低的風速，使得海洋上低對流層的空气較高對流

層空氣停留的時間久，產生較多的消耗。

本模擬研究雖仍有一些不盡理想的地方，但對於所設定的研究課題，即解釋蘭嶼島所監測到之冬季穩定而較高濃度臭氧，與夏季穩定而較低濃度臭氧等現象，均已獲致非常明確的解答。就是：冬季大陸北方高層的臭氧長程傳送，與夏季台灣南方太平洋與南海海域的低濃度臭氧傳送，分別是造成所觀測到之冬高夏低的臭氧分佈形態之主因；至於沿路徑上的人為污染排放影響貢獻，在夏季因菲律賓污染約增加 14~28%，但僅是 2~4ppbv，而在冬季因大陸地區污染約增加 12.5%，相當於 5ppbv，均非是主要促成因素。目前蘭嶼的監測資料顯示冬季減少但夏季增加，且全年平均持續增加等現象，應與亞洲地區經濟成長快速有關，此課題有待深入的模擬分析。

模式模擬過程中仍有許多的不確定性，如初始及邊界條件的設定、模擬領域邊界外的傳送、氣象場與垂直傳送及擴散過程等都會影響到模擬結果的準確性。受限於觀測資料的可靠性及空間解析度上的缺乏，仍需更多的觀測資料與研究結果相比較，以期改善模擬結果。

## 致 謝

本研究是在國科會 NSC89-2111-M002-025 與 NSC90-2111-M002-024 支持下完成。作者們感謝張良輝教授提供 TAQM 模式與東亞排放資料，中央氣象局提供蘭嶼背景監測站資料，以及林能暉與王國英教授在研究過程中所提供的批評與建議。

## 參考文獻

- 吳俊傑、俞家忠、楊明仁、宋偉國、簡芳菁、周昆炫，1999：南高屏地區空氣污染管制研究-子計畫 D1 MM5 氣象模式模擬及觀測資料驗證。行政院環境保護署。EPA-88-FA21-03-0012。149 頁
- 林能暉、彭啓明、陳進煌，1998：東亞地區硫化物之長程輸送：(第一部份)氣流軌跡線之應用，*大氣科學*，**26**，265-280。
- 柳中明、張修武、劉紹臣，1999：蘭嶼背景大氣監測初析。*大氣科學*，**27**，99-130。
- 鄭甫田、張時禹、黃賀春、張良輝、劉遵賢，2000：台灣空氣品質模式(TAQM)操作使用手冊。中華民國八十九年一月二十一日，國立台灣大學環境工程研究所。
- 劉廣英、王自發、蕭玲鳳，1999：颱風影響中東亞硫沈降與輸送研究。*大氣科學*，**27**，159-170。
- 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, J. M. Prospero, D. L. Savoie, R. W. Talbot, J. E. Dibb, B. G. Hwikes, B. J. Ray, N. F. Lewis, and U. Tomaz, 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.
- Blake, D. R., D. F. Hurst, T. W. Smith, Jr., W. J. Whipple, T. Y. Chen, N. J. Blake and F. S. Rowland, 1992: Summertime Measurements of Selected Nonmethane Hydrocarbons in the Arctic and SubArctic during the 1988 Arctic Boundary Layer Experiment (ABLE-3A)". *Journal of Geophysical Research*, **97**, 16,559-16,588.

- Blake, N. J., D., R. Blake, T.-Y. Chen, J. E. Collins, G. W. Sachse, B. E. Anderson, and F. S. Rowland, 1997: Distribution and Seasonality of Selected Hydrocarbons and Halocarbons over the Western Pacific Basin during PEM-West A and PEM-West B", *Journal of Geophysical Research*, **102**, 28,315-28,331.
- Chang, K.-H., F.-T. Jeng, Y.-L. Tsai, and P.-L. Lin, 2000: Modeling the Impact of Long-range Transport on Taiwan's Acid Deposition under Different Weather Conditions, *Atmospheric Environment*, Vol. **34**, No. 20, pp.3281-3295.
- 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.
- 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.
- 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.
- Huang M. and Z. Wang, 1995: Modeling studies on sulfur deposition and transport in East Asia. *Water, Air and Soil Pollution*, **85**, 1921-1926.
- Kotamarthi, V. R. and G. R. Carmichael, 1990: The long range transport of pollutants in the Pacific rim region. *Atmos. Environ.*, **24A**, 1521-1524.
- Lam, K. S., T. J. Wang, L. Y. Chan, T. Wang and J. Harris, 2001: Flow patterns influencing the seasonal behavior of surface ozone and carbon monoxide at a coastal site near Hong Kong. *Atmos. Environ.*, **35**, 3121-3135.
- 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. *J. Terrestrial Atmos. and Oceanic Sci. (TAO)*, **6**, 419-442.
- Liu, C.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.
- Liu, C.M., S.C. Liu, R.J. McNeal, D.D. Davis, J.M. Hoell Jr., G.L. Gregory, B.E. Anderson, K. Kelly, J.D. Bradshaw, S.T. Sandholm, H.B. Singh, R.W. Talbot, G.W. Sachse, F.S. Rowlan, D.R. Blake, A.R. Bandy, D.C. Thornton, B.G. Heikes, R.E. Newell, E.V. Browell, and J. Merrill, 1995b: Airborne measurement of chemical species near Taiwan during mid-autumn. *J. Terrestrial Atmos. and Oceanic Sci. (TAO)*, **6**, 299-335.
- Liu, S. C., S. A. McKeen, E.-Y. Hsie, X. Lin, K. K. Kelly, J. D. Bradshaw, S. T. Sandholm, E. V. Browell, G. L. Gregory, G. W. Sachse, A. R. Bandy, D. C. Thornton, D. R. Blake, F. S. Rowland, R. Newell, B. G. Heikes, H. Singh, and R. W. Talbot, 1996: Model study of tropospheric trace species distributions during PEM-west A. *J. Geophys. Res.* , **101**, 2,073-2,086.

- 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.
- Merrill, J. T., W. Viezee, R. D. Hake, Jr., and R. T. H. Collis, 1989: Meteorological analysis of long range transport of mineral aerosols over the North Pacific. *J. Geophys. Res.*, **94**, 8,584-8,595.
- Murao, N., N. Katatani, Y. Sasaki, S. Okamoto, and K. Kobayashi, 1993: A modeling study on acid deposition in East Asia. *International Conference on Environmental and Climate Change in Esat Asia*, Taipei, Taiwan, Novmeber 30 - December 3.
- Newell, R.E., W. Hu, Z.-X. Wu, Y.Y. Zhu, H. Akimoto, S. Bachmeier, A.R. Bandy, D.C. Thorton, 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. Tallbot, 1996: Atmospheric sampling of super-typhoon Mireille with the NASA DC-8 aircraft on 27 September 1991 during PEM-west A. *J. Geophys. Res.*, **101**, 1853-1872.
- P. Pochanart, H. Akimoto, Y. Kinjo and H. Tanimoto, 2002: Surface ozone at four remote island sites and the preliminary assessment of the exceedances of its critical level in Japan. *Atmos. Environ.*, **36**, 4235-4250.
- 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.
- 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.
- Xiao, H., G. R. Carmichael, J. Durchenwald, D. Thornton, and A. Bandy, 1997: Long-range transport of SO<sub>x</sub> and dust in East Asia during PEM-B experiment. *J. Geophys. Res.*, **101**, 28,589-28,612.

# Simulation Comparison of Winter Continental Air Mass and Summer Maritime Air Mass on Background Ozone near Taiwan

Chung-Ming Liu<sup>1</sup> Ming-Te Yeh<sup>1</sup> Li-Zing Peng<sup>2</sup>

Chun-Chieh Wu<sup>1</sup> Shaw C. Liu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

<sup>2</sup>Center of Environmental Sciences, Beijing University

<sup>3</sup>Center of Environmental Changes, Academic Sinica

(Manuscript received 26 August 2003 ; in final form 09 January 2004)

## ABSTRACT

Analysis of data collected at Lanyu Baseline Station suggests that the data quality was as good as those measured at WMO supported international baseline stations. Ozone can be selected as the best indicator for monitoring the seasonal change of continental and maritime air-mass at Lanyu. It reveals that night-time averaged surface ozone concentration reaches a maximum level between 36.4 ~ 48.5 ppbv in winter and a minimum level between 13.5 ~ 22.6 ppbv in summer during March 1995 ~ October 2003. Wintertime Asian cold airmass and summertime Pacific warm airmass are responsible for the observed higher and lower levels of ozone, respectively.

In this paper, a winter and a summer cases are selected to trace back the source origins of air masses reaching Lanyu and to quantify the upstream transport and anthropogenic effects on local ozone level. A 3-d regional chemical transport model is used in this study.

The results show that in summer, maritime air coming from the Pacific and South China Sea maintains the ozone level around Taiwan near 18ppbv, which includes the 14 ~ 28% increase of ozone level (about 2 ~4 ppbv) caused by ozone precursors released from Philippines, Indonesia, etc. In winter, upper level air above Siberia and Mongolia descends southeastward toward the western Pacific and maintains the ozone level around Taiwan near 45ppbv, which includes the 12.5% increase of level (about 5 ppbv) caused by ozone precursors released from mainland China. It is interesting to note that even though the absolute amount of anthropogenic emissions from Southeast Asia is not in a huge volume; their contributions to the ozone production in the maritime area can not be ignored.

**Key words:** Background Ozone level, Long-rang transport, Numerical simulation