

# 水平傳送對大台北地區光化生成臭氧的影響研究

柳中明

國立臺灣大學大氣科學系

(中華民國八十一年十一月二十五日收稿；中華民國八十二年二月十一日定稿)

## 摘 要

本文延續柳(1992)的研究，採用數值模式，以分析水平風場傳送對台北地區近地面臭氧時空變化的影響。經詳細分析後，發現南北(Y軸)方向上風場傳送，主要影響各區污染物濃度之絕對值變化；而東西(X軸)方向上風場傳送，主要影響各污染物逐時變化特徵。將X、Y軸風場傳送均考慮後，本模式順利模擬出南區午時 $O_3$ 濃度最高，次為中區，最低在北區的實測現象。同時午時高臭氧濃度在離地約0.8 KM附近，亦與板橋臭氧剖面觀測相似，且午時臭氧為一日中最高濃度。日落後50公尺以上，因輻射冷卻逆溫層的出現，而致臭氧累積的情形，亦因水平風傳送而減緩，但仍維持50公尺以上臭氧濃度較高的現象。此高層臭氧可能在日出後，因為輻射冷卻逆溫層的被破壞，而向下傳送至近地面，加速近地面臭氧生成與累積。總結而言，本文所採用之模式，較之於複雜之三維模式，為非常簡易，但已能模擬出實測的各種現象，更且可用以分析垂直熱力紊流擴散、水平傳送、化學反應，日出前高層臭氧等，對近地面臭氧累積之影響。不過，仍無法用以分析海陸風環流所造成的垂直方向傳輸情形。

關鍵詞：臭氧光化反應、數值模式

## 一、前 言

柳(1992)利用一維光化模式，研究垂直紊流對都市內光化生成物質的垂直分佈影響。一維模式內化學物質的濃度變化，乃受化學反應生成與消滅，同時尚受垂直方向上熱力性紊流場的擴散影響。由於模式假設整個台北地區為水平方向上均勻混合，所以水平風的傳送影響，無法考慮。模擬結果，應取作下風處現象。同時，和箱型模式(柳與盧，1991)一樣，僅午時 $O_3$ 資料可作為與實測 $O_3$ 資料相比較者。至於 $NO$ 、 $NO_2$ 資料則逐時變化特徵與近地面測站不同，但仍符合箱型模式(柳與盧，1991)特徵。

柳(1992)取76年6月12日為模擬對象，由清晨4時開始運算24小時，午時近地面臭氧約為180 ppb，接近景美站200 ppb與板橋站250 ppb。而垂直均勻混合的現象，又與79年春季航測資料相符合(周等，1991)，但模式濃度因乏水平傳送而較高。另外注意到 $O_3$ 與 $RO_2$  (alkylperoxy radical)均有日落後累積在離地50公尺~3 Km間的現象。設若第二日日出後，輻射冷卻逆溫層被破壞，則 $O_3$ 與 $RO_2$ 自高層下沉，應有加強近地面臭氧累積之效應(Liu et al.,1993)。

Liu et al. (1993)分析長期的台北地區臭氧與氣象資料，指出午時出現高臭氧濃度時，當日盛行風微弱，海陸風明顯。7~11時間因陸風與海風的轉換，而空氣滯留，且雲少、輻射強，因此光化反應強盛，臭氧迅速累積。午時後海風(台北測站為西北風)強盛，配合氣流輻合，臭氧濃度迅速下降。本文希望延續柳(1992)的研究，運用數值模式，分析水平傳送對臭氧濃度的逐時變化和空間分布影響，也即希望簡單修改一維模式以進行上述研究。而有關垂直輻合、輻散所導致之污染物向高層或向近地面輸送的研究，則有待完整之三維模式發展。

## 二、模式修改

首先將台北地區劃分為北、中、南等三個大區域(如圖1)，每一區域之水平特徵為Y軸長7公里，X軸長20公里，並以代號區域1, 2, 3等稱之。此外，環繞台北地區的郊區，以區域4稱之。再假設各區域內化學物質在水平方向上均勻混合，可適用一維模式模擬光化反應與紊流擴散影響。而在各區域之間，則存在水平風場傳送影響。簡而言之，以上假設乃將台北地區取為三個空氣柱與環繞之大空氣柱。環繞地區相當於乾淨背景地區，而北、中、南區為主要的污染地區，其差別在於近地面 $NO_x$ 與 $NMHC$ (non-methane hydrocarbon)排放。並取台北地區總排放量， $NO_x$ 為 $2.14 \times 10^{18} \# / m^2$ ， $NMHC$ 為 $3.23 \times 10^{19} \# / m^2$ (環保署，1989)，再假設區域1, 2, 3與4之排放分配為5%、65%、35%與0%。也即主要污染物排放在城中區，次為南區，北區則最少(環保署，1992)。此外，初始日出前 $O_3$ 的垂直剖面，區域1, 2, 3假設為4 km以上40 ppb，4 Km以下逐漸減少到近地面10 ppb；至於區域4則假設為3 Km以上為30 ppb，3 Km以下逐漸減少到近地面5 ppb(圖2a)，主要乃希望區別清潔背景區與污染區。而4或3 Km以下濃度遞減，乃配合柳(1992)所注意到清晨時近地面濃度低，高層濃度均勻分布的現象。

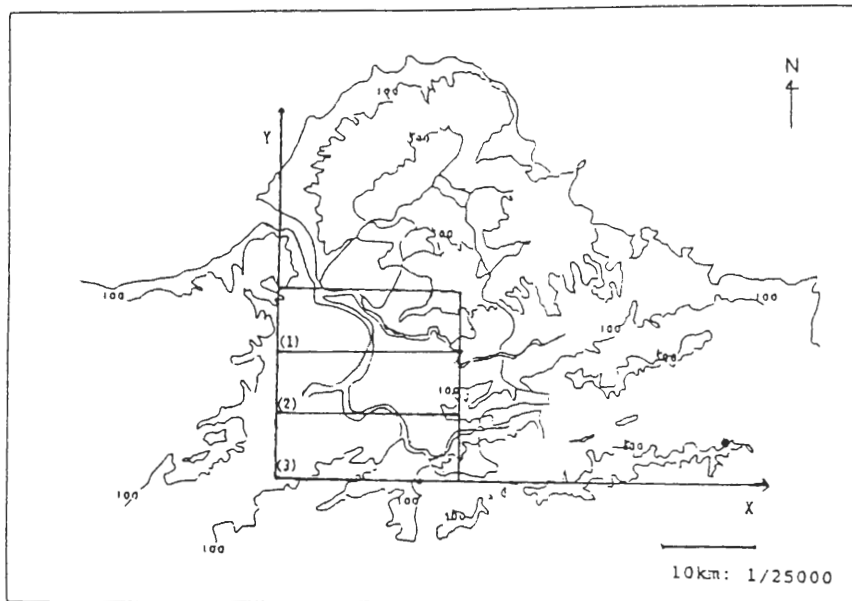


圖1 近似三維模式所劃分之大台北北、中、南區與環繞區。

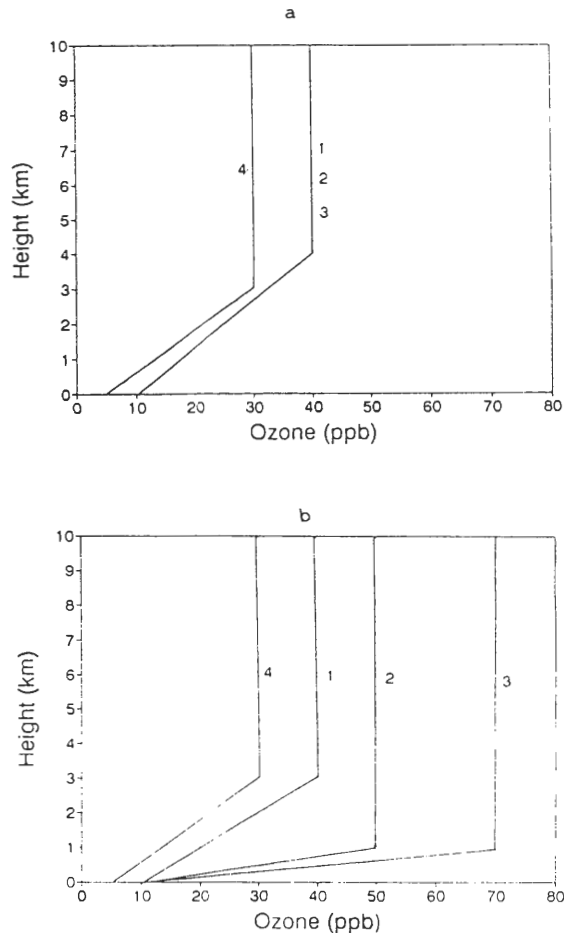


圖2 初始臭氧剖面(a)高層均勻濃度，(b)高層濃度明顯增加。圖中1，2，3，與4代表北、中、南與環繞區。

模式中關於光化反應的運算仍如柳與盧(1991)，以及柳(1992)所述。而有關PBL模式部份亦不改變。大略為使用前日晚上8時板橋站探空剖面資料為初始資料，預測近地面熱量、動量與水汽量等垂直方向上通量的日夜變化情形，再運用K值理論，估算垂直方向上溫度、風、溼度等物理量受紊流影響的逐時改變情形。垂直方向上分為71層，詳情請閱柳(1992)。

關於水平方向上的風場傳送，模式中採用上游數值法(upstream scheme)估算風場上游輸送化學物質至下游的情形。在X軸方向上，主要為環繞區域與北、中、南區間的相互傳送。在Y軸方向上，則為環繞區，北區，中區，南區與環繞區等5個區域間的相互傳送。比較困難的是，整個台北地區只有板橋一個探空剖面測站，如何能用以估算北、中、南與環繞區域的個別代表性風場。依據過去研究經驗(柳, 1989, 1990; Liu et al., 1993)，臭氧高濃度出現之日盛行風微弱，局部地區氣象環流明顯。以76年6月12日為例，台北站日出前為南風，爾後逐漸轉變為午時的西北風，日落後再緩緩轉變為南風。此為典型之晚上陸風，午時海風沿淡水河谷進入台北盆地的局部環流現象。在日出後到11時間，風速緩慢(0.5 ~ 1 m/s)，風向多變，污染物聚集地

面，且經充份日射，臭氧能持續累積到午時達一日高值。14時後則因西北風強盛而至 $O_3$ 迅速減少(圖3)。所以若將風場區分為X軸與Y軸，則沿X軸方向的風場改變應主要影響近地面臭氧的逐時變化，因為模式中X軸方向上污染物假設是在污染區與清潔區間相互傳送。而在Y軸方向上，風場的變化，主要是影響污染物在污染區間的傳送，其對臭氧的最高濃度會有所影響，但對其時間變化影響不大。

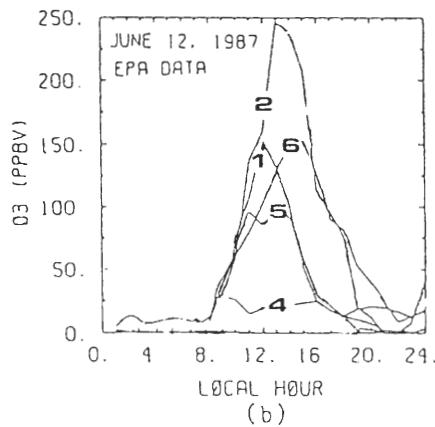
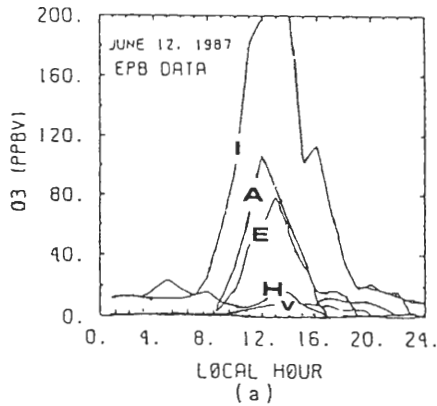


圖3 1987年6月12日台北各站臭氧觀測。[(a)圖為台北市環保局: A - 城中站, E - 南港站, H - 北投站, V - 中山北路站], [(b)圖為環保署: 1 - 南港站, 2 - 板橋站, 3 - 三重站, 4 - 松山站, 5 - 永和站, 6 - 中壢站, 7 - 基隆站]。

以上對X軸、Y軸上，風場變化與污染物的相關探討，是配合台北地區的海陸風特性而發展出來的。Liu et al. (1993)分析台北測站(位於盆地中央)資料，發現陸風一定為南風，而海風則可能來自淡水河谷的西北風或基隆河谷的東北風。也即午夜至清晨間的南風，有將污染物輸送至北方清潔區的特性，而白日後則逐漸輸向南區(向南風速增強之故)。由於過去資料(柳，

1989)顯示台北盆地內南區景美站臭氧濃度最高，且高值出現在午後12~14時間，與海風最強的時刻相一致，因此南北風向的改變，很自然地，令人猜測是與臭氧的空間分佈結果相關。而東西風向的改變，由於為由盆地輸送往東方台地或西方山區，因此為污染區與清潔區間之傳送，很明顯地，7~11時間風速微弱，臭氧累積，而11時後風速增強，在東西方向上的輸送主要造成盆地內臭氧高值迅速下降。

基於以上對水平風場傳送影響的分析，以及局部環流場的觀測資料缺乏，只有大膽假設風場分佈狀況，並期望所獲結果能反映上述水平風場傳送物質的現象。所作之假設為：各區域空氣柱內，紊流擴散係數 $K_z$ 與溫度場均勻一致，可以採用一維PBL模式所獲結果。而各區域水平風場的不同，則以風速強弱導致的傳送率 $u \partial c / \partial x$ 或 $v \partial c / \partial y$ 為主要影響，至於風向的變化則暫忽略(事實上，也無觀測依據)。所以乃將各區域依據上游數值法所得之 $u \partial c / \partial x$ 與 $v \partial c / \partial y$ ，再乘以 $\alpha_x$ 與 $\alpha_y$ 修正參數。譬如北區，假設因為建築物分佈較廣，風場流通，乃取 $\alpha_{x1} = 2$ ,  $\alpha_{y1} = 2$  (160公尺以下)。中區，由於山區影響，乃取 $\alpha_{x2} = 0.5$ ,  $\alpha_{y2} = 1$  (160公尺以下)。南區，由於山區影響，及取 $\alpha_{x3} = 0.3$ ,  $\alpha_{y3} = 0.7$  (160公尺以下)。160公尺以上各區 $\alpha_x = \alpha_y = 1$ 。至於環繞區假設為相當廣闊，且又假設為零污染源，所以在以下分析中均忽略其化學物質變化情形。此外，1, 2, 3區之 $\alpha_x$ 與 $\alpha_y$ 的數值仍可調整，本文內只是取一假設性的數值，供下二節的初步分析與討論。未來，若有實際之觀測資料，則不僅 $\alpha_x$ 、 $\alpha_y$ 值的決定能有所依據，事實上，吾人尚可將不同區域間風向、風速的變化亦加以考慮。此點未來仍具改善空間。

在此探討兩個問題，一為上游數值法的影響，一為 $\alpha_x$ 與 $\alpha_y$ 數值的影響。上游數值法主要假設污染物由上風處輸往下風處，但會產生數值擴散與質量無法守恆，因此我們必須確定研究目的非在定量的估算水平風場影響，以及定量地模擬臭氧濃度變化，而為定性地探究水平輸送現象。因此以下分析，將採無水平風場，南北向傳送，東西向傳送，南北與東西傳送等四項計算與比較。由於數值方法均為一致，因此比較時能直接辨明水平輸送的角色。其次，有關 $\alpha_x$ 、 $\alpha_y$ 數值的影響。若取所有之 $\alpha_x = \alpha_y = 1$ ，也即假設到處之水平風場一致，平流項仍將造成中區高污染排放的物質向下風處低污染排放區輸送。而若取 $\alpha_x$ 或 $\alpha_y$ 不等於1，則輸送效率的簡單修正，將能反映空間上水平風場受地形、地物的影響所造成的不均勻性。明顯地， $\alpha_x$ 、 $\alpha_y$  (大於0)的變化能改變風速大小，卻無法改變風向以及風場的時間變化。這所以，本文決定不進行 $\alpha_x$ 、 $\alpha_y$ 的敏感度測試，因為其數值的改變對吾人所欲了解的現象並無太大影響，而僅將產生許多定量變化的分析困擾。其次，對不同個案是否同一 $\alpha_x$ 、 $\alpha_y$ 數值均有效？事實上，由於本文將“精確定量模擬”不視為主要研究目標，因此即使用於不同個案，仍將能充份反映水平風場的特性，僅是模擬後的絕對數值可能與實測不相近。

以下本文仍取76年6月12日為例，下一節內主要探討水平傳送的影響效應，再下一節則主要探討日出前臭氧剖面對午時臭氧累積的影響情形。圖4說明模式運算情形。

### 三、水平傳送影響

首先測試模式，並假設無水平傳送，所有的空氣柱均各自獨立，化學物質濃度的變化乃受彼此間化學反應與紊流擴散影響。在柳(1992)中，已對此一維模式的特性作過分析，此處主要分析北、中、南區氣柱。其與柳(1992)計算的差別，乃為近地面 $NO_x$ 、NMHC的排放總量各區不同。因此模擬出之化學物質逐時變化，與隨高度變化特徵，均與柳(1992)所得相似。唯一差

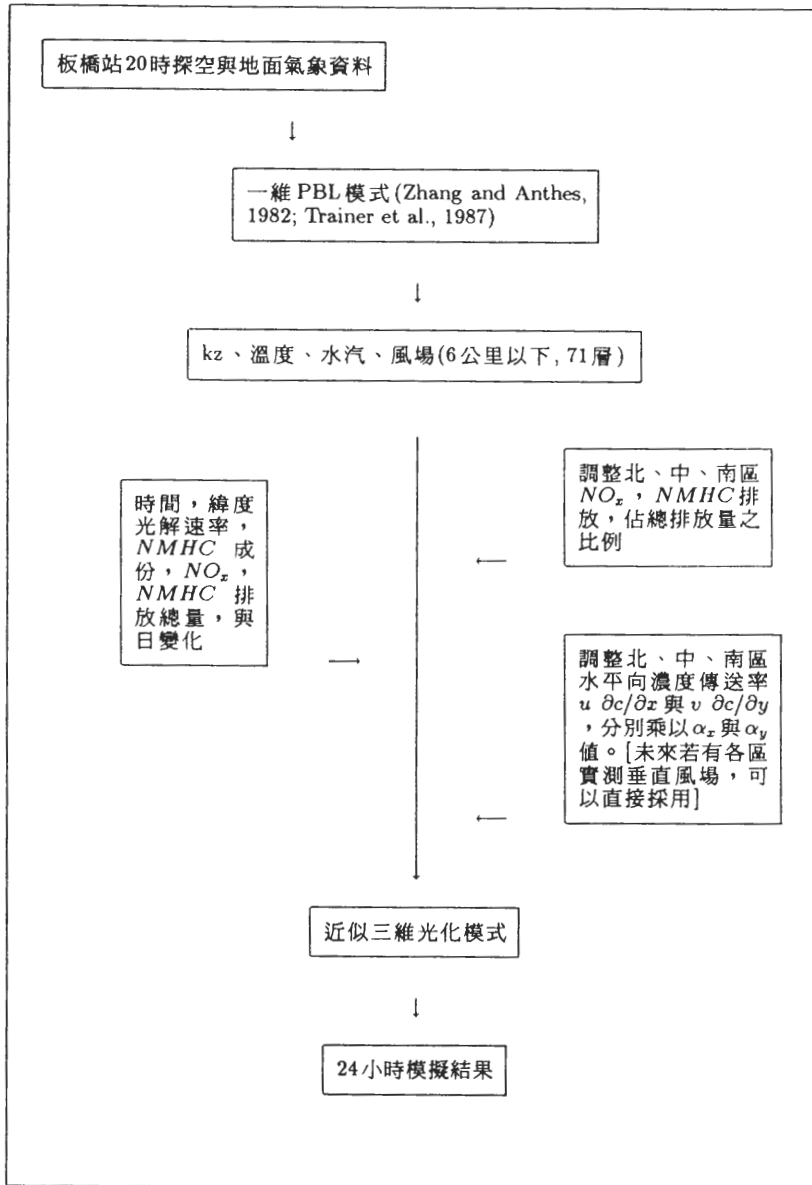


圖4 近似三維光化模式資料處理流程圖。

別乃是化學物質濃度的絕對值不同。圖5顯示在午時近地面，北區為58 ppb，中區為150 ppb，南區為108 ppb。顯然反映近地面廢氣排放多， $O_3$ 也高的現象。此外，2.5 km以下， $O_3$ 為均勻混合狀態。日落後50公尺~3 km間，臭氧停滯不減，亦顯示累積的現象。至於其他光化生成物質，由於與臭氧的變化呈正相關，為節省篇幅，本節中討論均以臭氧為比較對象。

其次假設允許Y軸上的風場傳送，並取 $\alpha_{y1} = 2$ ,  $\alpha_{y2} = 1$ ,  $\alpha_{y3} = 0.7$ ，發現午時近地面臭氧

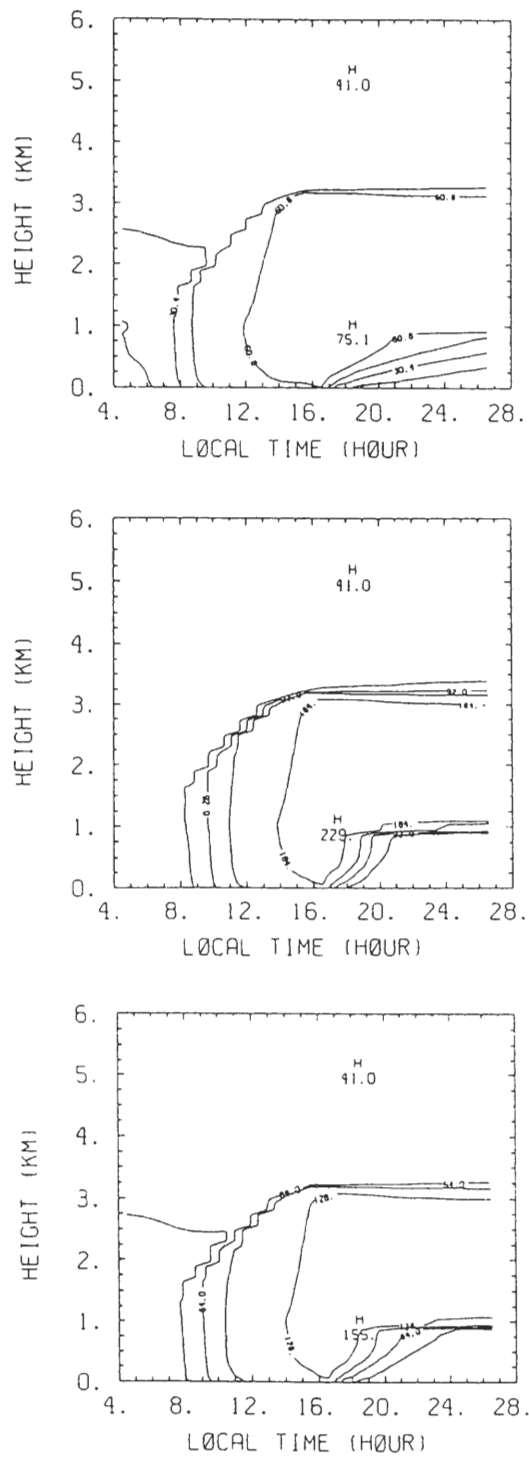


圖5 不考慮水平風場傳送下，臭氧之時間-高度剖面圖(a)北區，(b)中區，(c)南區。

(圖6)在北區為60 ppb，中區為122 ppb，南區為128 ppb，明顯地出現南區 $O_3$ 濃度升高，中區 $O_3$ 濃度下降的現象，此點顯示Y軸上的風場傳送，會影響各區臭氧累積情形。雖然本文中所採用的方法非常簡明，但已把此影響特徵，表現出來。在實測資料(圖3)中，南區濃度最高，北區最低，中區居中。另外，比較圖5與圖6，可發現3 Km以下臭氧逐時累積的現象，持續到日落之時。此現象並未因Y軸上風場傳送而改變。同時，日落後50公尺~3 Km間仍有高濃度累積的現象。

再者假設允許X軸上的風場傳送(忽略Y軸上的傳送)，取 $\alpha_{x1} = 2$ ,  $\alpha_{x2} = 0.5$ ,  $\alpha_{x3} = 0.3$ ，發現午時近地面臭氧(圖7)，北區為24 ppb，中區為82 ppb，南區為74 ppb，明顯地因為物質由污染區傳送到背景區，而背景區所能傳送回的物質較少，而呈現出污染區內 $O_3$ 劇烈減少的現象。更值得注意的是，各區高臭氧濃度均出現在午時，然後迅速減少。此點與實測(圖3)的結果非常相近。此外，垂直剖面上，中區與南區出現高值在約1 Km處，然後再往上與往下緩緩減少，同時最高值亦不偏離近地面高值太多。至於北區，顯然因為下層水平傳送效率高，出現臭氧由地面往高層增加的情形，最高值出現在午時2.5 Km，約33.8 ppb。此外日落後，在50公尺以下仍有 $O_3$ 急速減少的現象，而在50公尺以上則維持緩緩變化。大致上形成垂直均勻混合的現象，1 Km以上各區均約為30~34 ppbv。此些現象與圖5相比較，明顯指出X軸上的水平傳送作用，對減少臭氧累積方面非常重要，尤其是日落後1 Km以上濃度約在30~34 ppbv的均勻現象，也接近春季航測資料(周等，1991)。至於午時的高濃度出現在1 Km附近，再往上、下層減少，應是符合垂直擴散的效應。

最後，將X軸與Y軸上的風場傳送作用均予考慮，結果午時近地面臭氧(圖8)，北區為25 ppb，中區為61 ppb，南區為77 ppb。明顯地符合南區高，北區低，中區居中的現象，但是X軸上的風場傳送作用，將 $O_3$ 濃度劇烈減少，所以最高值遠低於實測景美的200 ppb與板橋的250 ppb。不過，逐時變化為由日出後增加，高值在中午，然後緩緩減少到日落。日落後，近地面 $O_3$ 迅速減少，而50公尺以上則維持均勻30 ppb以上的濃度。大略上，近似三維模式已將 $O_3$ 逐時與隨高度之變化，修正到接近實測的現象。但是絕對濃度值則遠低於實測值。

#### 四、PBL 高度影響與臭氧初始值影響

為何將水平風場效應置入一維模式後，午時臭氧濃度反而遠小於實測值呢？顯然是因為風場的水平傳送效果，將污染物質迅速輸往清潔區。但是，實際的大氣中，尚有那些重要因素可能在發展模式的過程中被忽略呢？在柳(1992)中PBL的高度在日落前約達2700公尺，但在台北地區依過去經驗(Liu et al., 1992)，應無法達到此高度，此處乃將其人為地減少30%，基本上即是減弱垂直擴散向上所能到達的高度。(林等，1990)此外，在一維模式的分析中，吾人注意到日落後50公尺~3 Km間會累積大量 $O_3$ 與 $RO_2$ ，若維持到第二日，則高層 $O_3$ 很可能因為輻射逆溫層會在日出後被破壞，而致由上往下傳送，同時 $RO_2$ 亦會由上往下傳送。 $RO_2$ 在近地面累積，加強轉化 $NO$ 為 $NO_2$ 的作用，進而增加 $O_3$ 濃度。此日落後高層臭氧累積，再影響第二日近地面臭氧累積的過程，在目前的模式中，完全沒有考慮。

為分析日出前高層臭氧對當日臭氧生成的效應，吾人決定修改日出前各區的臭氧剖面為如圖2b所示。主要乃將1 Km以上臭氧增加，在北區為20-40 ppb，中區為50 ppb，南區為70 ppb



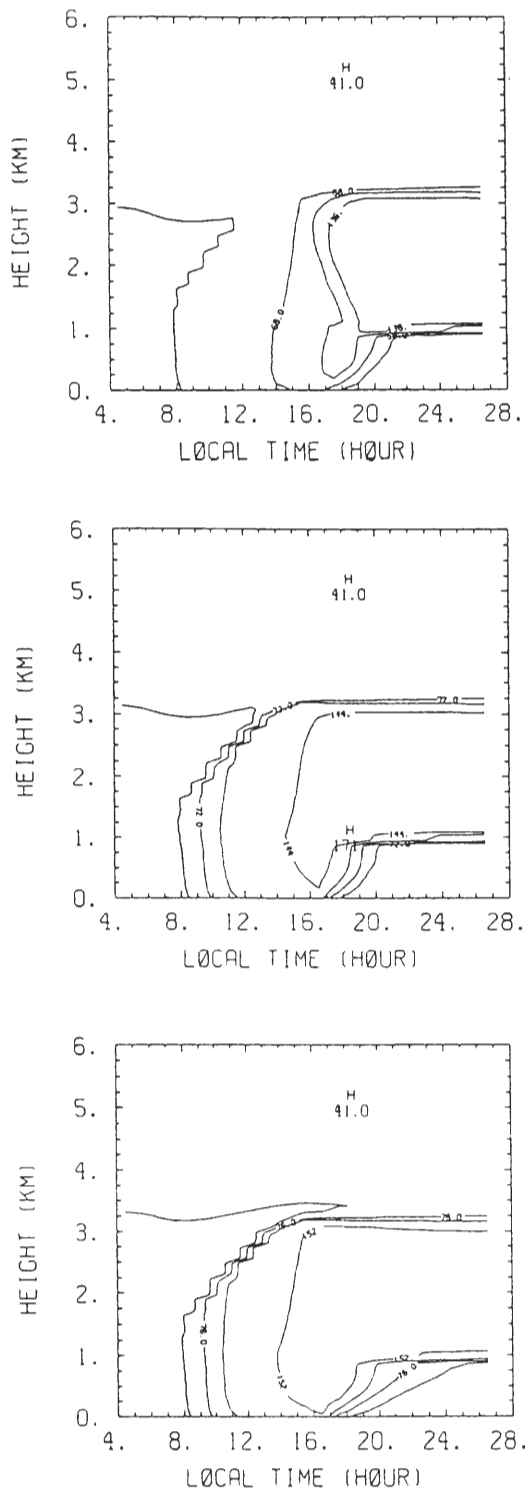


圖6 加入考慮南北向風場傳送，臭氧之時間-高度剖面圖(a)北區，(b)中區，(c)南區。

。取南區  $O_3$  濃度大於北區  $O_3$  濃度，是因為南區在下風處，且近地面觀測景美與板橋站臭氧濃度均為最大之故。

經重新運算近似三維模式，所得臭氧時間 - 高度剖面如圖 9。明顯地因為 PBL 高度下降，垂直擴散效能減弱，以及初始高層濃度增加，而至整個模式內臭氧濃度升高，尤其是在 3 Km 以下，近地面北區午時為 40 ppb，中區為 144 ppb，南區為 198 ppb，均較圖 8 所示使用較低初始臭氧濃度剖面 (圖 2a) 的模擬結果為高，且接近實測情形 (圖 3)。

此外圖 9 中顯示，初始濃度的改變並不影響臭氧隨高度與時間變化的情形 (與圖 8 相較)。中、南區仍出現午時 1 Km 處為臭氧最高濃度區，南區可達約 234 ppb。日落後，則 50 公尺 ~ 3 Km 間臭氧累積的現象非常緩和 (與圖 5,6 相比較)。但仍有 50 公尺以上濃度大於 50 公尺以下臭氧因化學反應消滅而趨近於零的現象。此外，午時在 1 Km 附近出現高濃度，再往上、下層減少的現象，近日板橋探空站的臭氧剖面觀測資料中 (圖 10) 亦可發現。此點顯示垂直方向上的熱力性紊流擴散，將近地面臭氧往上传送，其最高值出現在 1 Km 處附近，然後往上緩緩減少。

在此猜測一下不改變 PBL 高度，但減少水平風速的效果，譬如減少東西向的水平傳送，則午時濃度應會上升 (比較圖 5,6 與 7)，可是其逐時變化特性也將受到改變。而減少南北向風速，則對近地面濃度提升，並無太大幫助。顯然地，降低 PBL 高度，即能有效加強近地面臭氧累積，此乃表示海陸風的垂直環流系統的存在。因為午後 PBL 達最高值，恰為下層海風與上層陸風的結構最明顯時 (林等，1990)，其中間之交界面很可能有效地壓制熱力擴散。而此垂直環流影響確實非為目前之模式所能表現。未來待進一步之三維模式發展成功時，應能協助了解此垂直環流的影響。

由於圖 9 結果更接近實測的現象 (圖 3 與圖 10)，顯示目前的模式已可適當處理垂直向熱力紊流擴散，水平風傳送，以及日出前高層臭氧濃度等現象。以下乃分析模式中所同時計算之  $HNO_3$ ,  $PAN$  等其他化學物質的變化情形。

圖 11 為  $PAN$  的各區時間 - 高度剖面，明顯地南區  $PAN$  濃度最高，午時 1 Km 附近為 11 ppb，次為中區 4.23 ppb。北區則最高濃度在 3 Km 以下約為 0.35 ppb，6 Km 附近另有高值 0.586 ppb。由於圖 10 內臭氧亦在 6 Km 附近出現高值，此很可能與初始的高濃度臭氧有關，因此是數值誤差。由於北區濃度遠小於中南區，明顯地其濃度的高度變化亦較為紊亂，此可能與初始場的臭氧濃度在北區設定過高有關。 $PAN$  的逐時與隨高度變化現象，與  $O_3$  非常相似。不過其生命期短，化學反應迅速，日落後即迅速減少。

圖 12 為  $HNO_3$  的各區時間 - 高度剖面，高濃度出現在南區 0.8 Km 附近約為 18.8 ppb，中區為 12.6 ppb。北區為入夜後在 0.15 Km 20 時出現 4.54 ppb。比較  $HNO_3$  與  $PAN$ ，明顯地  $PAN$  為光化反應的中間產物，所以日落後濃度減少快速。 $HNO_3$  則為氮的儲存物質，也即近地面車輛排放的  $NO$ ，在經許多化學反應後，最後多以  $HNO_3$  的形式儲存，是以在日落後 (17 時) 仍會聚集，尤其在 0.15 Km 以下，因為夜晚的化學反應，所以高濃度  $HNO_3$  出現在近地面。當然，水平風場的傳送作用，亦對午後  $HNO_3$  的減少發生作用，所以 50 公尺 ~ 3 Km 間  $HNO_3$  累積的現象在日落後已不明顯。

圖 13 為  $OH$  的時間 - 高度剖面，基本上，各區均保留午時 3 Km 以下為最高濃度的現象，日落後則完全趨近於零。比較值得注意的是，北區  $OH$  濃度最高，次為中區，最後為南區。雖

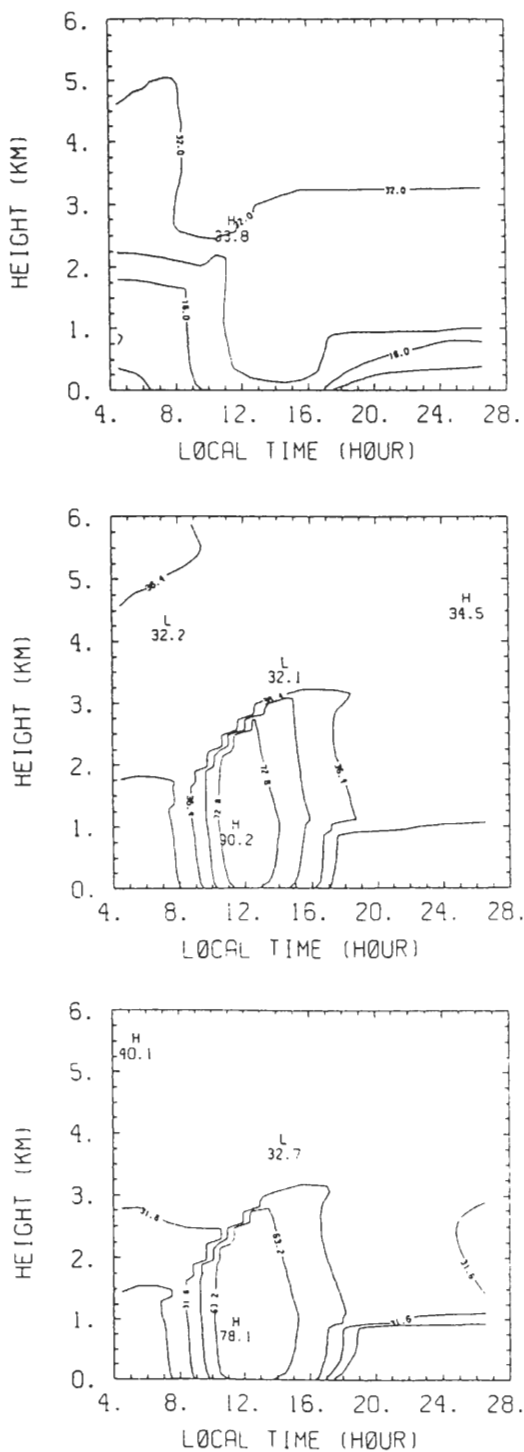


圖7 加入考慮東西向風場傳送，臭氧之時間-高度剖面圖(a)北區，(b)中區，(c)南區。

然彼此間濃度差異不大，但是各區間濃度高低的差異，恰與 $O_3$ 、 $PAN$ 、 $HNO_3$ 的濃度高低差異成反比。此點顯示 $OH$ 在自然界很可能會因為污染物多，化學反應激烈，而至損失較多。至於 $HO_2$  (圖14)與 $RO_2$  (圖15)，則並未出現與 $OH$ 相似的現象。即為南區濃度高，中區次之，北區最低。顯示 $HO_2$ 與 $RO_2$ 較之於 $OH$ 為反應較慢的游離基。 $HO_2$ 的時間-高度變化與 $OH$ 類似，午時高濃度在1-3 Km間，北區為39.6 ppt，中區為52.7 ppt，南區為79.1 ppt。與 $OH$ 的最高濃度約為0.7 ppt相比較，可以發現 $OH$ 的化學反應非常快速，所以累積濃度也較少。至於 $RO_2$ ，最高濃度出現在午時，約為南區188 ppt (3 Km)，中區96 ppt (5.5 Km)，北區22.2 ppt (5.5 Km)。中、北區5.5 Km的 $RO_2$ 濃度，顯示與初始高臭氧濃度剖面有關，很可能是不適當的，未來仍可以加以調整。3 Km以下出現的午時高 $RO_2$ 濃度則是可以合理解釋。值得注意的是：不同於 $OH$ 與 $HO_2$ ，在日落後50公尺以上 $RO_2$ 仍會維持均勻濃度(北區0.06 ppt，中區15 ppt，南區41 ppt)，當然是因為水平風傳送關係，所以濃度較之於柳(1992)一維模式所得為低，但是此 $RO_2$ 濃度維持在50公尺以上出現的現象，應是有助於第二日日出後由高層往下傳送，加速光化臭氧生成的反應。

## 五、結論

本文延續柳(1992)的研究，主要希望運用數值模式探討水平傳送對光化生成之臭氧的時間與空間變化影響。主要重點為：將台北分為北、中、南區與環繞背景區。北、中、南區視為污染區，各區之污染排放比率分配為0.05, 0.65與0.35。各區各自視為單一的空氣柱，適用柳(1992)之一維模式，模擬垂直熱力紊流擴散的影響。同時允許各區間水平傳送污染物的作用。主要即是在污染濃度變化方程式中加入 $u \partial c / \partial x$ 與 $v \partial c / \partial y$ 的部份，並採用上游數值法(upstream scheme)估算之。但是，由於台北地區僅有板橋探空剖面資料，雖經一維PBL模式處理後，可得逐時變化[參考柳(1992)]，但仍無法區別各區間之風場差異。經分析討論後，決定假設160公尺以上各區風場一致，但160公尺以下各區之 $u \partial c / \partial x$ 與 $v \partial c / \partial y$ 值乘以 $\alpha_x$ 與 $\alpha_y$ 修正參數，以修正各區因為建築或地形影響所造成之通風狀況差別。此修正方式僅對各區間風速變化影響加以考慮，但對風向變化的情形尚無法考慮，未來吾人若有各區之觀測風場資料時，應可考慮將各區不同風場現象直接置入模式中。

經詳細分析後，發現Y軸方向的水平風場傳送，可以將污染物在各區間進行平移，所以午時最高濃度出現在南區，次為中區，最低在北區，此定性現象與實測結果相同。至於X軸方向的風場傳送，可以將污染物傳送至環繞背景區，而使午時濃度為一日中最高濃度，午後則迅速下降，與實測結果完全一致。同時日落後，在50公尺~3 Km間臭氧累積的現象，亦已經風場傳送而減少，不過50公尺以上臭氧濃度大於50公尺以下臭氧的情形，仍是存在的。將X、Y軸的水平風場影響均考慮後，模擬結果已出現與實測情況相配合的情形，但是絕對最高濃度小於實測值。經進一步探討後發現模式中PBL高度太高，與台北地區經驗不符，乃減少30%，也即減弱垂直擴散所能向上擴展之高度。同時發現初始臭氧在50公尺以上的濃度高低，對模擬結果亦有影響。經採用較高濃度的臭氧剖面為初始剖面後，所得之午時近地面臭氧濃度，北區為40 ppb，中區為144 ppb，南區為198 ppb，均非常接近實測結果。此外午時0.8 Km附近出現高臭氧濃度，再往上層與往下層遞減的現象，與近日之板橋臭氧探空資料相配合，顯示本模式已可充份使用為台北地區的光化模式。

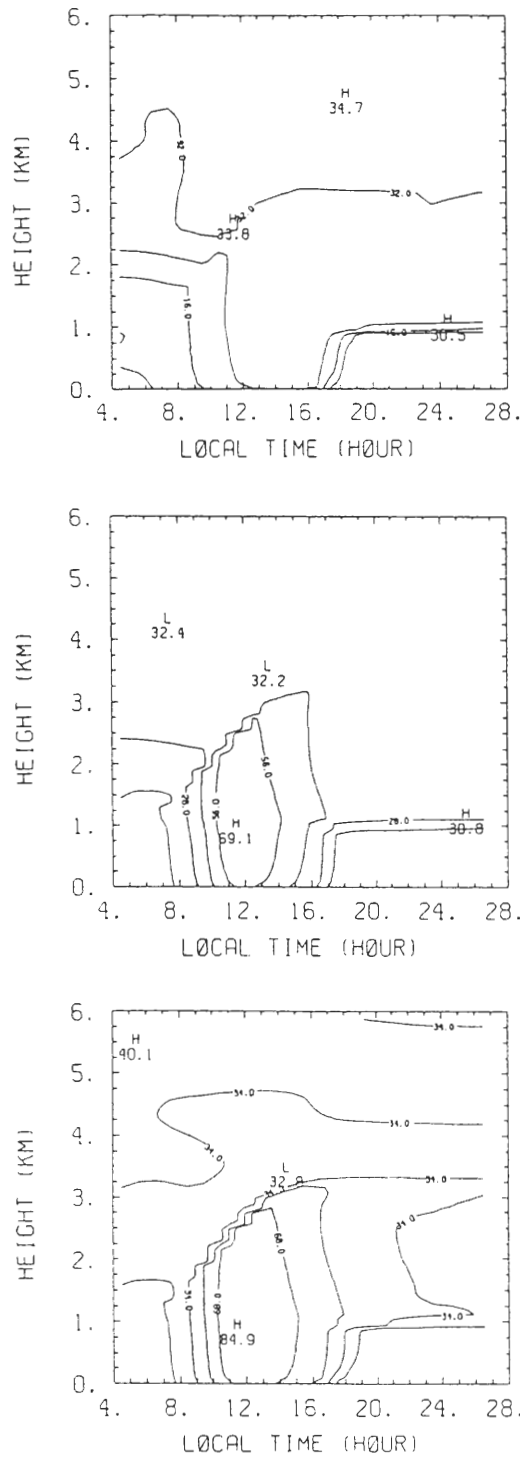


圖8 加入考慮南北向與東西向風場傳送，臭氧之時間-高度剖面圖(a)北區，(b)中區，(c)南區。

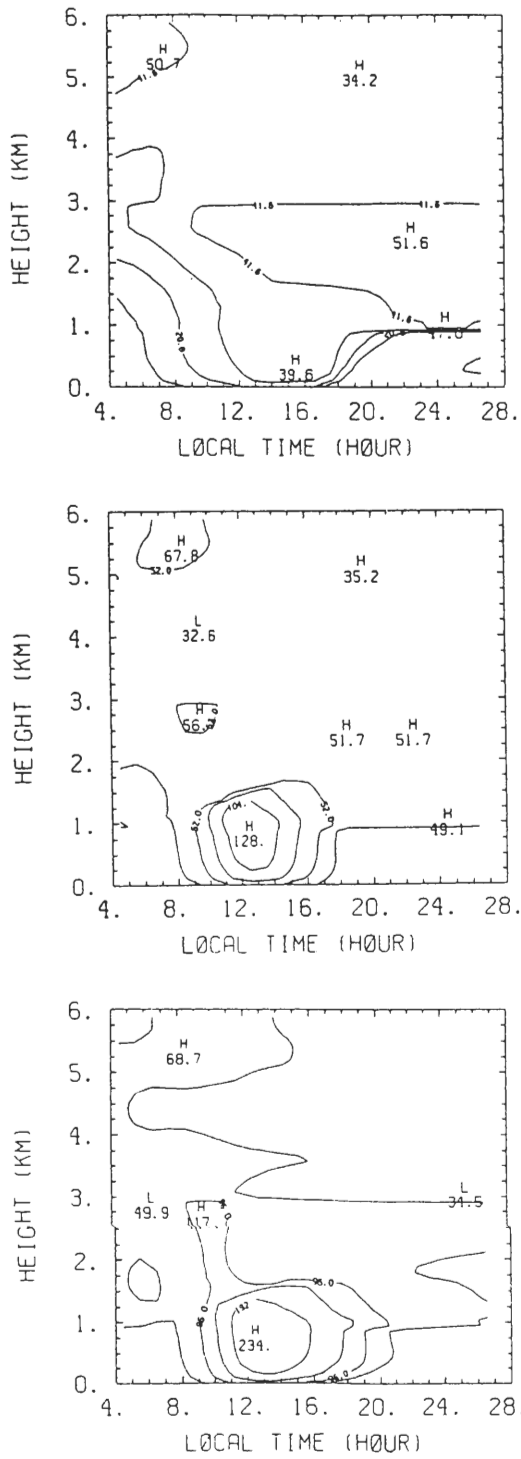


圖9 與圖八類似，但採用圖2b知初始高層高臭氧濃度剖面。

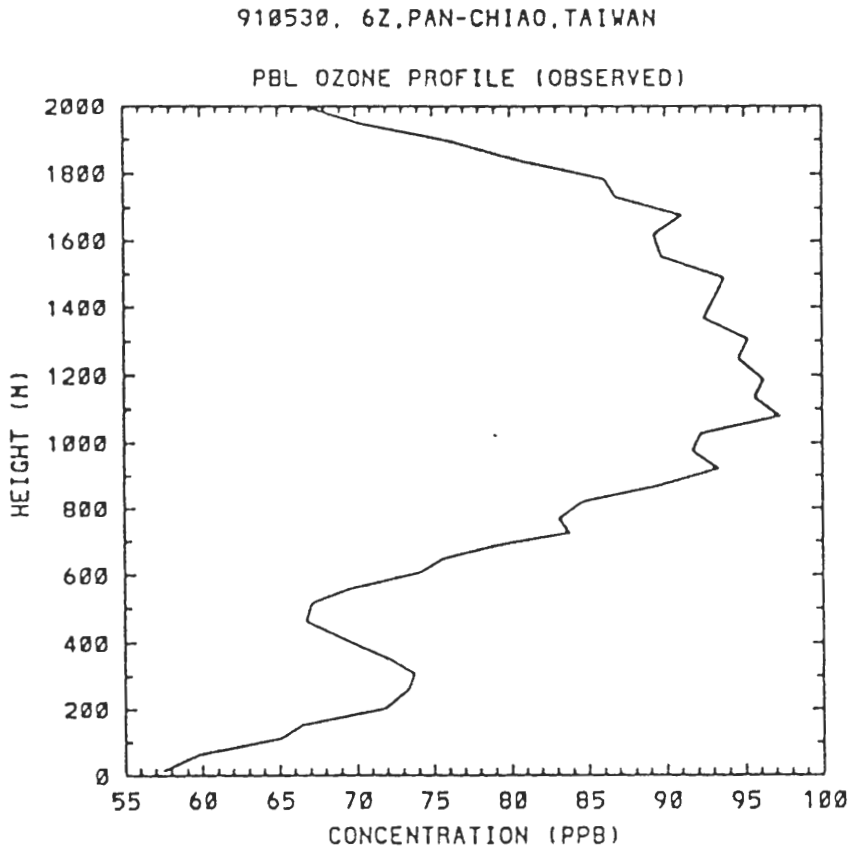


圖10 板橋站80年5月30日下午2時所測2 Km以下臭氧剖面。

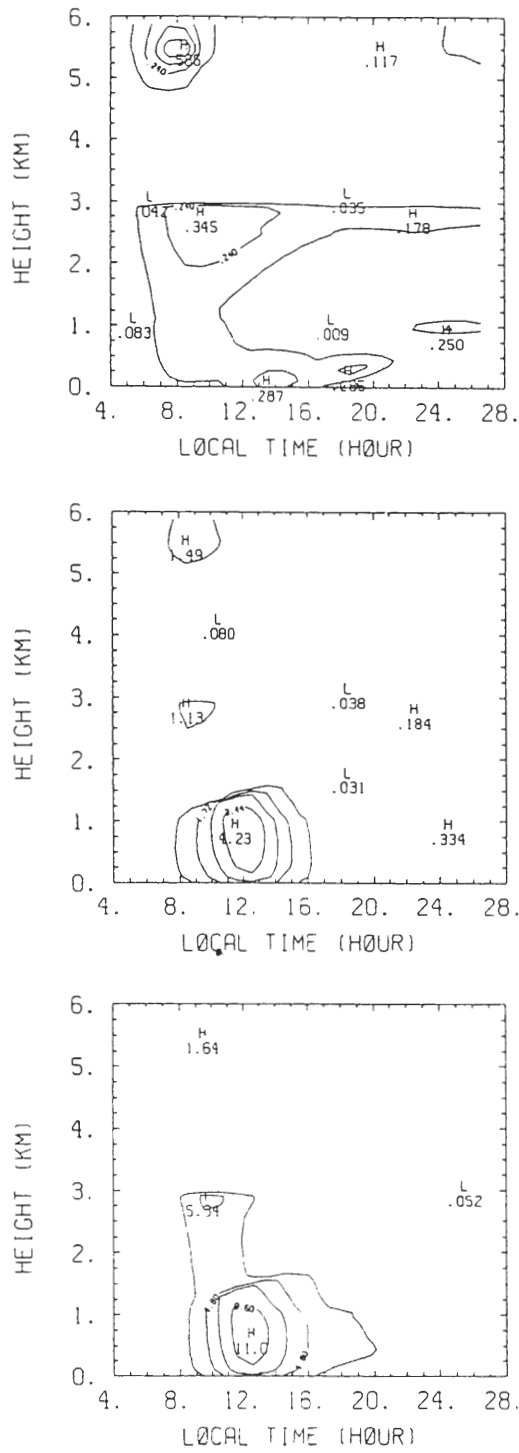


圖 11 與圖九類似，但為 PAN。



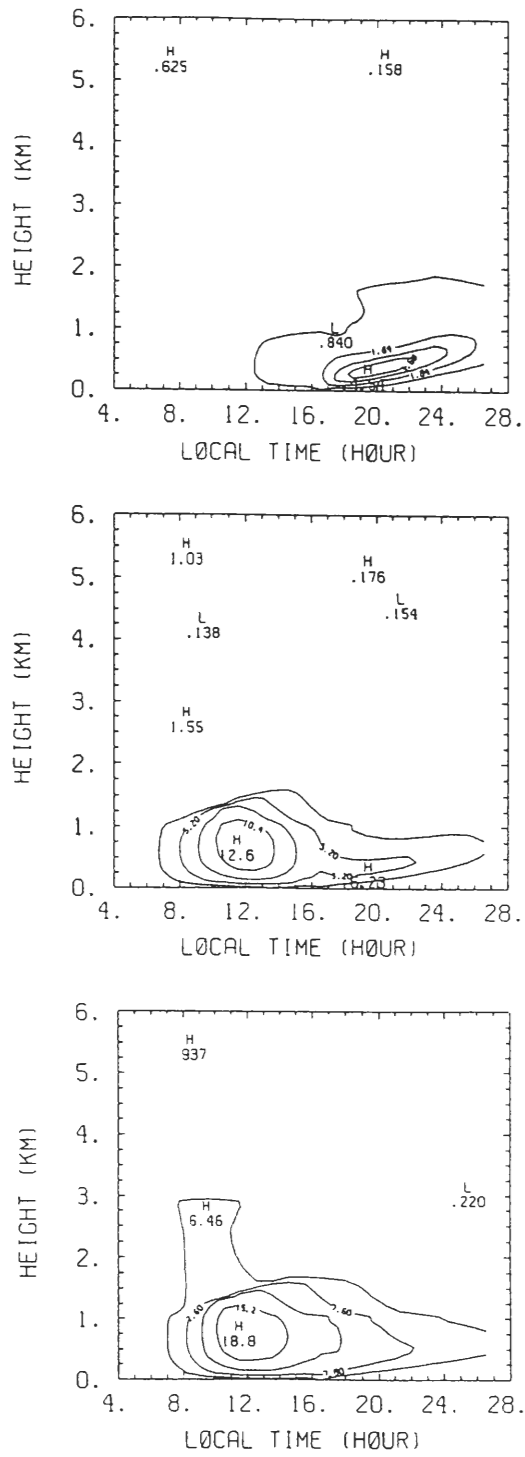


圖 12 與圖九類似，但為  $HNO_3$ 。

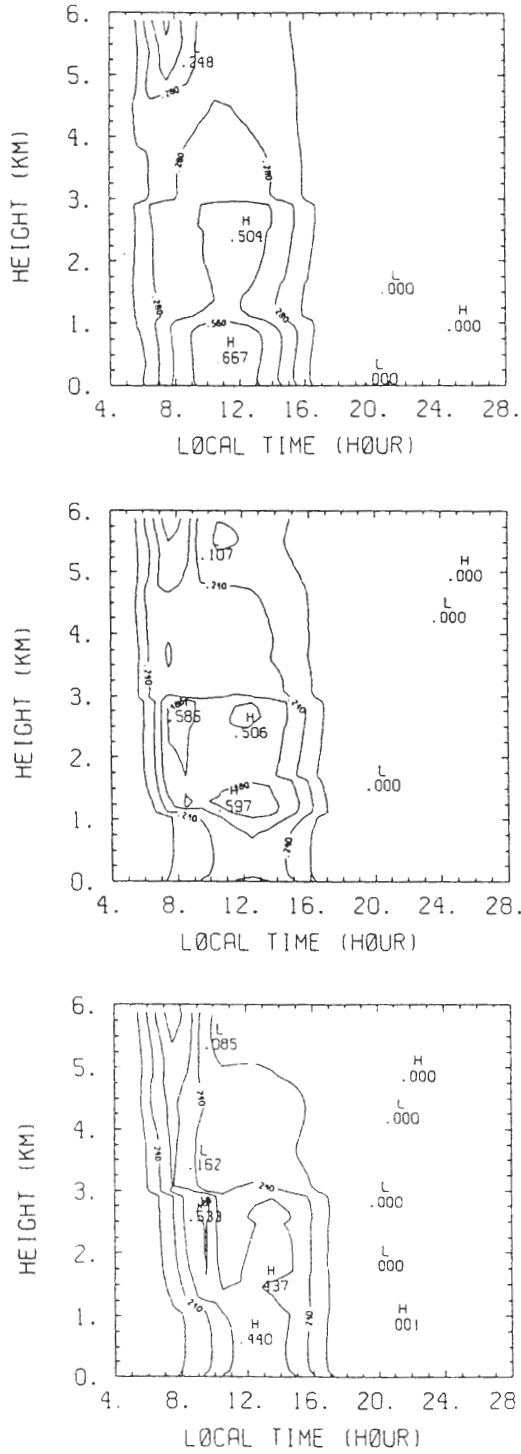


圖 13 與圖九類似，但為OH。

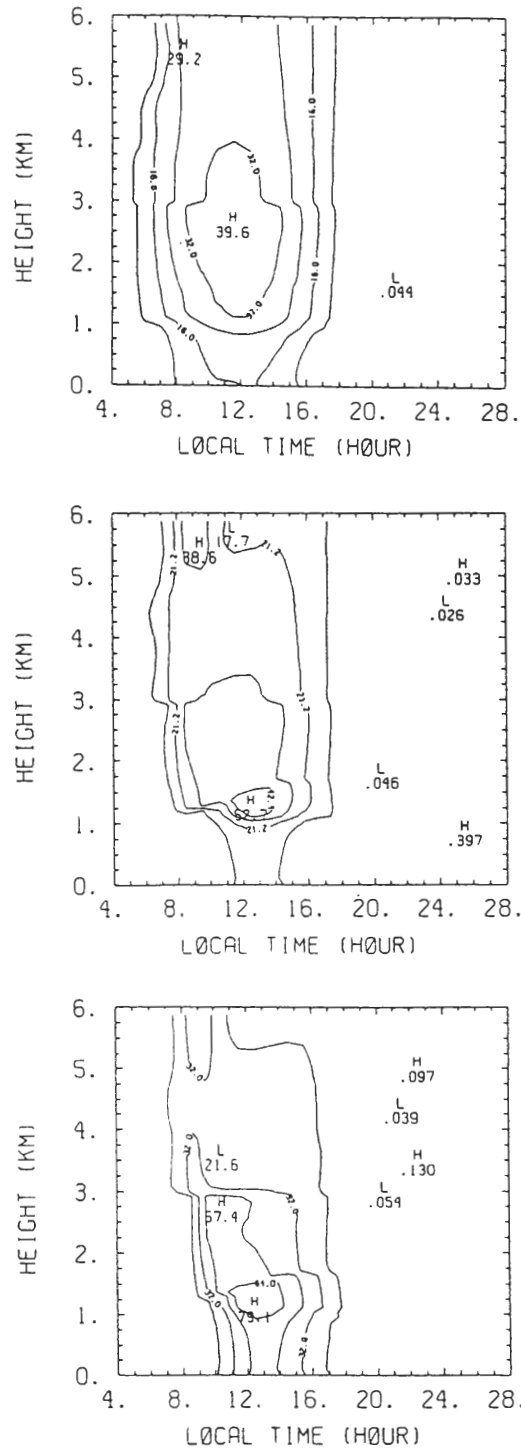


圖 14 與圖九類似，但為  $HO_2$ 。

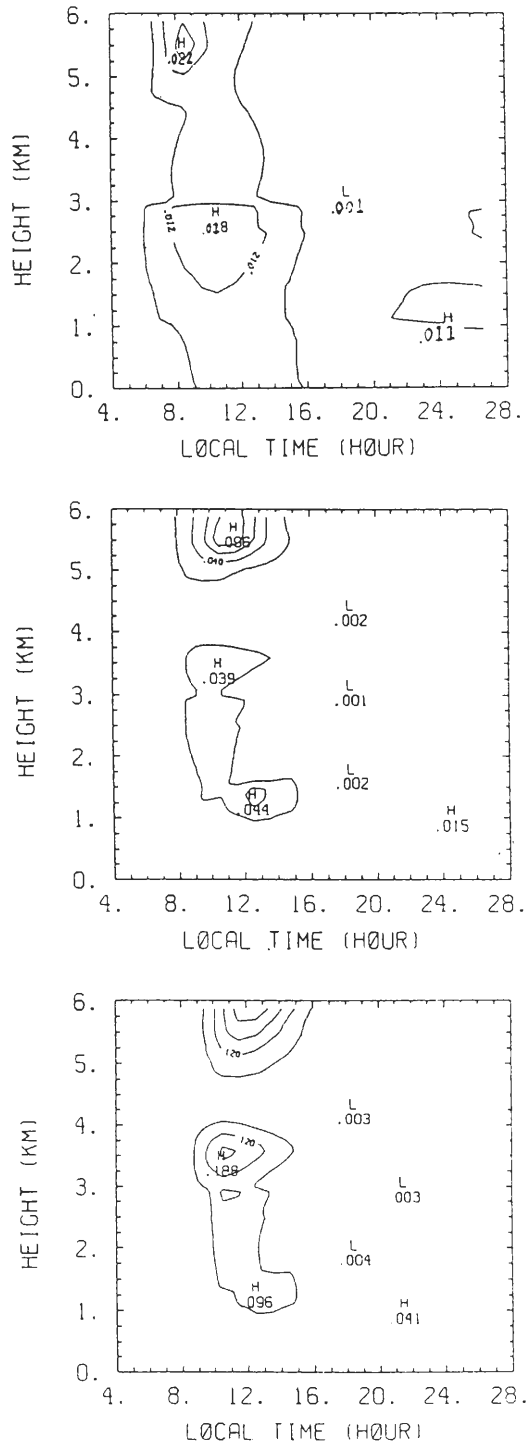


圖 15 與圖九類似，但為  $RO_2$ 。

PBL高度下降後，近地面臭氧累積加強，很可能與海陸風的垂直環流結構有關(林等，1990)，由於本文模式無法處理垂直運動，因此待未來三維模式充份發展完成時，吾人將進一步分析垂直環流的影響。此外，吾人亦分析 $HNO_3$ 、 $PAN$ 、 $OH$ 、 $HO_2$ 與 $RO_2$ 等逐時與隨高度變化情形，大致發現 $PAN$ 、 $HNO_3$ 、 $OH$ 與 $RO_2$ 均在各區午時達最高濃度。高濃度位置約在1~3 Km間。其中南區濃度最高， $PAN$ 約為11 ppb(與近日台大所測相近)， $HNO_3$ 為18.8 ppb， $HO_2$ 為79.1 ppt， $RO_2$ 為188 ppt。 $OH$ 則高值出現在北區約為0.7 ppt。由於 $OH$ 在三區差異不大，且濃度微小，顯示其在自然大氣中生命期短，反應快速的特性，也因此較不污染地區午時濃度較高。此外 $HNO_3$ 在日落後，緩緩聚集在0.15 Km附近，顯示夜晚 $NO$ 轉變為 $HNO_3$ 的特性，而 $RO_2$ 則在0.05 Km以上維持高值，此有利於第二日日出後由上層往下層傳送，加速臭氧光化反應生成(Liu et al., 1993)。

總結而言，本文主要為延續柳(1992)的研究，希望探究水平傳送、垂直熱力紊流傳送，與化學反應等因素，對都市地區臭氧生成影響的情形。所發展出之模式也大略可模擬出實測之逐時、隨高度與隨區域變化情形。不過，本模式太過簡略，適合為研究分析使用，可能尚不足以發展為應用或作業模式，因此本文並未就不同個案作更多運算與應用。

## 誌 謝

本文作者感謝NOAA/ERL Aeronomy Lab., Dr. Shaw C. Liu, Dr. E.Y. Hsieh, Dr. M. Trainer等人的指導與協助，並感謝國科會NSC-80-0202-M002-32、NSC-81-0421-M-002-24Z與NSC-82-0202-M-002-069等計劃的支持。

## 參考文獻：

- 周仲島、陳泰然、鄭福田，1991：「台灣地區空氣品質及固定污染源排放航空測定」後續研究計劃。EPA-80-F102-09-51。
- 林沛練、張隆男、陳景森，1990：海風邊界層之發展與污染物濃度的日夜變化。大氣科學，18，287-308。
- 柳中明，1989：大台北地區冬夏季臭氧特性研究。EPA-78-002-10-069。
- 柳中明，1990：台北盆地臭氧光化污染之氣象環境觀測實驗計劃。EPA-79-002-01-007。
- 柳中明、盧開新，1991：箱型光化模式之初步發展驗證與應用。大氣科學，19，33-65。
- 柳中明，1992：一維垂直光化模式之研究發展。大氣科學，20，119-134。
- 環境保護署，1989：中華民國76年台灣地區空氣污染防治總檢討。空氣品質保護及噪音管制處編印。
- 環境保護署，1992：大台北、高雄與台灣地區污染排放調查報告與管制策略，共37本報告。
- Liu, C.M., C.Y. Huang, S.L. Shieh, and C.C. Wu, 1993：Important meteorological parameters for ozone episodes experienced in Taipei basin. *Atmos. Environ.* (in press).
- Trainer, M., E.Y. Hsieh, S.A. McKeen, R. Tallamraju, D.D. Parrish, F.C. Fesenfeld, and S.C. Liu, 1987：Impact of natural hydrocarbons on hydroxyl and peroxy radicals at a remote site. *J. Geophys. Res.*, 92, 11879-11894.
- Zhang D. and R.A. Anthes, 1982：A high-resolution model of the planetary boundary-sensitivity tests and comparisons with SESAME-79 data. *J. Appl. Meteor.*, 21, 1594-1609.

## The Effect of Horizontal Transport on the Ozone Production in Taipei

Chung-Ming Liu

Department of Atmospheric Sciences  
National Taiwan University

### ABSTRACT

This paper continues the study by Liu (1992) and applies a numerical model to study the effect of horizontal transport on the temporal and spatial distribution of surface ozone in Taipei. The results show that the airflow along the north-south direction (Y-axis) have a significant effect on the noontime maximum ozone level, whereas the airflow along the east-north direction (X-axis) have a direct effect on the temporal variation of ozone. After including the transport effect into our simplified model, we can simulate the observed phenomenon of a highest noontime ozone amount at southern Taipei region and a lowest concentration at northern region. Meanwhile, the peak ozone level along the vertical direction is at about 800m above the ground, which is quite similar to what have been observed by the Central Weather Bureau at Panchiao. After sunset, there is some accumulation of ozone above 50m height, just above the inversion layer formed by the radiative cooling effect. The accumulated ozone can be transported downward to surface after sunrise when the nighttime inversion layer breaks, and then enhance the production of ozone. In short, the current model provides us an opportunity to analyze the effects of turbulence, transport, chemical reactions, and initial ozone profile on the surface ozone accumulation. However, it can not resolve the vertical structure formed by a pronounced land-sea breeze circulation.

**Key Words:** ozone production and simulation.