

# 中尺度模式 MM5 與大氣擴散模式 之整合應用：核廠污染擴散研究

黃清勇 莊博清

國立中央大學大氣科學系

(中華民國九十一年四月八日收稿；中華民國九十一年九月五日定稿)

## 摘 要

本文使用中尺度氣象模式(MM5)，先進行真實天氣系統之模擬，再將 MM5 模擬結果與空氣動力擴散模式進行整合應用，研究大型有限體積污染源之擴散過程。就氣象研究部分，本文探討冬季北台灣地區與大台北地區大氣邊界層及其環流特徵。依此局部環流變異之需求，設計兩個緊急擴散模擬區（大台北擴散區與台北核安區），模式水平解析度分別達 1000 公尺與 333 公尺。此高解析度模擬結果顯示，在東北季風下，北台灣邊界層明顯受環境風場及地形效應影響，在山勢較高處，晚上邊界層之高度較低，且其分布與地形高度變化頗為一致。但當上游風向轉為較具東風分量時，邊界層分佈明顯受地形環流擾動的影響，在台北盆地及大屯山下風處常伴有低值。在此真實天氣系統下假設一核能污染排放源，本文高解析度的擴散模擬顯示，大屯山區的污染物擴散現象呈現非常細微的局部地形環流效應。在冬季東北風的個案(96/12/01)，核一廠、核二廠的瞬間污染物大約在 2 小時後，即進入台北盆地到達西側，此時濃度大約是初始濃度的百分之一。若為連續排放源，核一廠在排放 30 分鐘後，濃度前緣已進入台北市，隨後並經南港、中山區一帶，但主要濃度仍偏於盆地西北側。在北風的個案(98/11/09)中，核二廠污染物經 45 分鐘可達東區（南港、松山區），而 1 小時後，由於大屯山背風渦旋回捲效應，到達西南區（古亭、永和）一帶。在東風個案中(98/11/13、99/01/26)，污染物的傳送現象幾乎都是繞流過大屯山區，大部分被盛行繞流帶往桃園、中壢外海一帶。由於在盆地之背風渦旋與雪山山脈之下沉東風形成合流，產生阻卻作用，使偏東盛行風下繞行之污染物濃度不易侵入台北盆地。本文研究顯示中尺度 MM5 模式與空氣動力擴散模式結合使用，可對局部地區進行高解析度模擬，有助於複雜地形及複雜氣流下核能或一般空氣污染物擴散之評估與了解，並可供為即時作業預報需求用。

關鍵詞：中尺度氣象模式 MM5，空氣動力擴散模式，大氣邊界層

## 一、前言

大氣邊界層為大氣最接近地表的一層，由於地表摩擦混合作用，此層氣流流動具有強烈的亂流特性。台灣地理位置環境特殊，四面環海，島內複雜的地形與不均勻的地表植被分布，在與大尺度天氣系統的相互作用下，對風場、亂流乃至與邊界層的發展都有相當程度的影響。甚至在沒有大尺度天氣系統的作用下，單是不均勻的地表及地形高度就能夠產生複雜的局部環流，例如淡水河谷的海陸風與大屯山區之山谷風即是典型的例子。由於空氣污染物的移動與濃度分布為平流與擴散作用所主控，因此局部地形所引發的中尺度環流與大氣邊界層亂流對於空氣污染物的傳送與擴散，扮演著非常重要的角色。根據張(1994)的空氣品質模式模擬結果顯示，大氣邊界層的特性為影響空氣品質的重要因素之一。因此針對台灣地區的環境流場與局部環流，如能提供較高解析度的大氣邊界層資訊，相信有助於對此區污染物傳送與擴散之模擬與了解。

為了對空氣污染物的擴散過程能進一步掌握，吾人希望能藉由高解析度的氣象模式模擬提供台灣地區所需的邊界層高解析度資訊。目前一般商業化的空氣擴散模式對大氣邊界層均是假設短時間內屬於常定 (steady state)，因此對於大煙流擴散的短期評估，基本上可以有較好的信心指數。但是當時間及空間尺度較長，比如氣象場已反映出日夜變化、海陸風、山谷風或其他天氣系統之變化，則必須使用空氣動力擴散模式。因此本文便希望藉由使用高解析度的氣象模式提供邊界層氣象場，以驅動空氣動力擴散模式，進行對台灣地區空氣污染擴散問題的探討。

早期的學者在研究區域尺度污染物的傳送過程時，關於風場資料大多由綜觀氣象測站的探空資料而求得。但是由於此種方式，空間及時間解析度均不足以滿足中尺度系統所需的解析度，因此近年來風場資料逐漸改由中尺度氣象數值模式來輸出(例如 Segal et al. ,1982 ; Huang , 1993)。中尺度氣象數值模式的好處是不受簡單氣流的限制，解析度也足以描述區域性的天氣系統乃至局部地形尾流，提供了污染物擴散的所需的完整資訊。易言之，利用中尺度數值氣象模式結合大氣擴散模式，提供高解析度的邊界層資料與風場，來模擬台灣地區污染物輸送與擴散過程，在學理上與實用上都已為一有利的研究方式。

過去氣象界已有利用理想化氣象模式及複雜的預報模式對北台灣地區的地形環流進行探討(黃與莊，1993)，但一直未有真實個案下高解析度大氣邊界層的模擬與分析，因此對此區特定季節下大氣邊界層的空間分布、日夜變化並無細節的了解。蔡(1987)曾對台灣北部地區局部環流進行觀測與分析，發現東北季風由於大屯山脈的阻擋作用及渠道作用，氣流沿著基隆河谷(大屯山脈與觀音山巒之間)進入台北盆地，或向西南往桃園、新竹等地前進，或者是直接翻越大屯山脈，在台北盆地南側與其他氣流會合，在中央山脈北側山麓附近流出台北盆地而轉往西南方。他同時發現在大屯山脈的背風面有顯著的渦旋，而且台北盆地內的風場大致上都吹東風，山脈效應所引起的繞流現象非常明顯。這些大台北地區的地形作用對於此區空氣擴散如何影響，實為值得研究的題目。

本文使用目前被國內廣泛應用的中尺度氣象模式(MM5)，進行高解析度模擬，大氣邊界層內垂直解析至少可以提供十層解析(解析度可

達 50 公尺)，以了解北台灣地區大氣邊界層的環流特徵。高解析度 MM5 中尺度氣象模式過去曾使用於南高屏地區空氣污染總量管制研究計畫，如黃（1998），吳與林（2000）等。黃（2000）利用高解析度 MM5 模擬應用於北台灣地區之空氣擴散研究。王（1996）使用 Yamada 發展的高階大氣亂流模式探討核二廠附近污染的傳送與擴散情形，此模式並為我國核能研究所採用模式之一。台電公司以往使用高斯擴散模式，為近廠擴散及較長程擴散之評估模式，目前據說亦採用空氣動力擴散模式，但無正式文獻得知其研究成果。本文研究主要目的之一，除探討北台灣地區之環流及邊界層特徵，亦希望透過 MM5 模式與中央大學動力擴散模式（CUMM）之整合應用，在真實天氣系統下，模擬北台灣地區假設性污染源的長程擴散與傳送過程。由此高解析度的大氣擴散模組應用，對台灣複雜地形地區的污染擴散現象做更深入的研究。考量本模組發展之利基及研究重要性，本文特別針對核能廠空氣污染物之緊急擴散進行探討，了解真實個案下的長程擴散情形。本文第二章將對 MM5 及 CUMM 做一簡單介紹，第三章討論 MM5 與 CUMM 的整合應用之模擬結果，第四章則為結論與展望。

## 二、數值模式簡介

### （一）中尺度氣象模式-MM5

本文所使用的氣象數值模式為 PSU/NCAR 所發展出的第五代中尺度數值模式，簡稱為 MM5（fifth-generation Penn. State/NCAR mesoscale model）第3.2版。MM5 模式最早是根據 Anthes 與 Warner 兩位學者在賓州州立大學所發展出的靜力模式為依據

（Anthes and Warner, 1978; Anthes et al., 1987），2版的MM5已進展至可供選用靜力或非靜力的有限區域模式（Dudhia, 1993）。有關MM5模式中文簡介及控制方程式，可見喬等（1996）。在本研究中水氣的處理為含簡單的冰相的暖雲方法，積雲參數化使用Grell的方法（Grell, 1993），大氣輻射冷卻則可處理有雲的情形，至於行星邊界層的處理則使用MRF多層參數化。另外邊界條件，除了第一層網域是使用緩和法引進全球觀測場，其他細網域則由上層網域提供。在最小網域（第6個），積分時間步距僅約1秒。

### （二）大氣擴散模式-CUMM

本文使用之大氣邊界層擴散模式為中央大學大氣物理研究所發展的大氣邊界層擴散模式（黃與莊，1993; 黃與李，1998）。此模式為氣象模式結合大氣擴散預報方程，目前可使用靜力或非靜力、非彈性、及Boussinesq流體假設。在垂直座標上，採用一追隨地勢座標，此追隨地勢座標的定義為

$$\sigma = (z - E) / (H - E) \quad (1)$$

其中 $E$ 為地形海拔高度， $H$ 為模式的上邊界高度，本文中 $H$ 設為定值。此中尺度數值模式所使用的基本方程式包含動量方程式、熱力方程式、水氣、雲水、雨水、冰、雪及軟雹的預報方程式以及污染物濃度方程式，由於本文只使用其污染物擴散部分，因此對於其他部分不多做說明。本模式濃度方程式為：

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} = & -u \frac{\partial C}{\partial x} - v \frac{\partial C}{\partial y} - \tilde{w} \frac{\partial C}{\partial \sigma} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_H \frac{\partial C}{\partial x} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_H \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{1}{H-E} \frac{\partial (-w'c')}{\partial \sigma} + S_c \end{aligned} \quad (2)$$

其中  $K_H$  代表水平渦流擴散係數， $\overline{w'c'}$  為濃度垂直擴散通量， $S_c$  為污染物濃度的來源及耗損項， $\tilde{w}$  為  $\sigma$  座標下的垂直速度。高度座標下的垂直速度  $w$  與  $\tilde{w}$  的關係為

$$w = \tilde{w}(H - E) - (\sigma - 1) \left( u \frac{\partial E}{\partial x} - v \frac{\partial E}{\partial y} \right) \quad (3)$$

為了使模式方程組成為一閉合系統，必須將方程式中次網格的亂流混合作用予與參數化。在表面層 (surface layer) 內，使用 Businger et al. (1971) 的相似理論 (similarity theory) 來計算渦流通量；在轉換層 (transition layer)，使用 MM5 預報之邊界層高度，為求一致性，原 CUMM 使用  $E-\epsilon$  亂流閉合法，改為利用數學三次多項式插分方法，來求得擴散係數垂直分布。本模式水平平流項採用半拉格朗日 (semi-Lagrangian) 七階格式插分法，垂直平流項採用三次樣條 (cubic spline) 插分格式，並加入單調條件限制以防止負值出現。本模式可以模擬有限體積如 puff 的高解析度擴散傳送過程，並可以描述定點粒子 Lagrangian 的平均軌跡及其隨機擴散蒙特卡羅 (Monte-Carlo) 情況 (見黃與李, 1998)，本文將不涉及點源之擴散模擬。若結合前面所述的 MM5 模式預報為初始場並提供邊界條件，將可以進行複雜地形下有限體積源的長程擴散模擬；相對而言，傳統高斯擴散模式須假設風場為均勻單向流場，故須不斷更新風場以進行逐時模擬，但仍不足以考慮長程擴散時之三維空間風場結構。本模式目前不具巢狀網格，只能模擬單一網格區，且目前無大氣化學機制與乾濕沉降物理機制。為求簡化，本文假設瞬間或連續排放源其濃度在地面上為全反射邊界條件，即

$$\left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z=0} = 0$$

### 三、MM5 與大氣擴散模式之應用

#### (一) 方法簡介

首先吾人將 MM5 與 CUMM 做模擬之整合應用，模擬的地區依緊急擴散評估需求，將模式最高解析度網格區初分大台北擴散區及台北核安區。為了配合此分區之高解析度，MM5 氣象模式模擬的區域須採用五層巢狀網域及六層巢狀網域。透過此方式，吾人可以在 MM5 的氣象場模擬時間內，選取有預報興趣的任何時間與地點進行空氣污染物擴散模擬。此整合應用所運用到的方法與界面，可重點說明如下：

1. 由於 MM5 模擬結果之網格定義，垂直座標定義及預報變數與大氣擴散模式並不同，需撰寫轉換程式，此程式可以選取任何預報時間。MM5 模式變數輸出則每 15 分鐘一筆，使用時間線性內插求得擴散模式所需之氣象資訊 (風場、溫度與濕度場、邊界層高度)。於此時間內，假設氣象場之變化接近線性，對海陸風環流稍嫌不合，但對固定地形其動力作用而言 (如核廠區地形環流)，則尚屬合理。
2. 由於垂直解析度在大氣擴散模式中較高，因此必須撰寫插分程式將 MM5 氣象場插分至地形座標上，本文使用線性插分 (氣壓場則使用對數線性插分)。
3. 由於 MM5 標準輸出僅提供大氣邊界層高度，並無亂流水平及垂直擴散係數，因此必須撰寫亂流參數化程式，參數化所需之基本氣象資訊由時間線性內插求得。
4. 本文使用表面層相似理論求得亂流垂直擴散

係數，再使用 O'Brien 的三次插分方法求其至邊界層頂之分布，其上再使用一階參數化方法，根據 Richardson 數及穩定度求得垂直擴散係數。

5. 本文之水平擴散係數使用非線性函數來決定，此函數考慮水平風切及渦度大小，可參見 Huang(1994)。

本研究設計的兩個模擬區域，一為 5 個網域的大台北擴散區，另一為 6 個網域的台北核安區，以下分別對此二個區域的研究結果討論，詳述個案綜觀天氣條件分析、氣象場模擬結果及擴散模式模擬結果。

## (二) 大台北擴散區

圖 1 是模式模擬所使用水平巢狀網域示意圖。網格間距從大到小分別為 81 公里、27 公里、9 公里、3 公里及 1 公里，區間網格點數（東西數 × 南北數）為  $51 \times 51$ 、 $52 \times 52$ 、 $46 \times 70$ 、 $58 \times 67$  及  $82 \times 82$ 。第五層網域即為

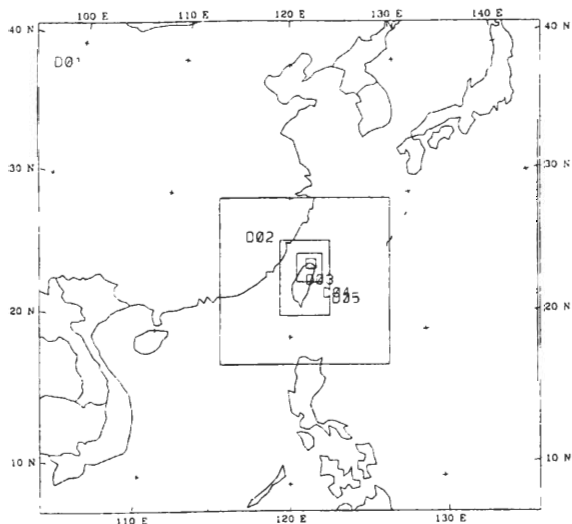


圖 1 MM5 模擬範圍的五個水平分層。

選定的大台北擴散區設置、第四層網域主要是配合北台灣擴散區設置。第三層網域為涵蓋全台，適合全台空氣品質模擬用。圖 2 是第五層網域地形，可以看出此 1 公里解析度的地形已非常接近真實情況，尤其在大屯山部分，山頂高度已達 833 公尺，接近實際高度（約 1000 公尺）。另外，在其南側之雪山山脈及西南側之林口台地，同樣可以發現地形已反映細微的高度變化。

對於大台北擴散區的模擬，吾人以 MM5 模式進行 1996 年 12 月 01 日 00Z ~ 1996 年 12 月 03 日 00Z 共 48 小時的模擬，然後隨意選取 1996 年 12 月 01 日 03Z ~ 12Z 模擬結果為氣象條件，驅動 CUMM 進行假想空氣污染源的擴散模擬。

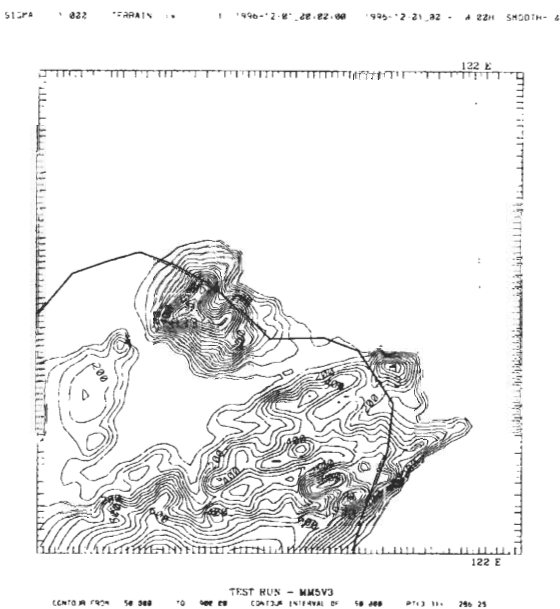


圖 2 MM5 模擬範圍第五層網域的高度分布。

### (1) 綜觀天氣條件分析

根據日本氣象廳之地面天氣圖，1996

年 12 月 1 日 00Z (圖 3a) 時, 在長江口有一個 1036 hPa 的地面高壓中心存在, 高層等高線則呈現一個冬季常有的高緯流指數狀況, 台灣的天氣受此高壓影響, 有較強勁的盛行風, 且風向偏北。到了 1 日 12Z (圖 3b) 時, 此地面高壓中心向海邊移動, 同時中心氣壓稍有減弱, 可能受到海洋的影響。2 日 12Z 時, 地面高壓中心已經出海, 且台灣附近的等高線變得比較平緩。到了 3 日 00Z, 台灣地區附近的風場則已偏向東風。

就這兩天的天氣概況, 1 日的溫度變化較大, 而風場則從偏北風開始, 到 3 日的偏東風。

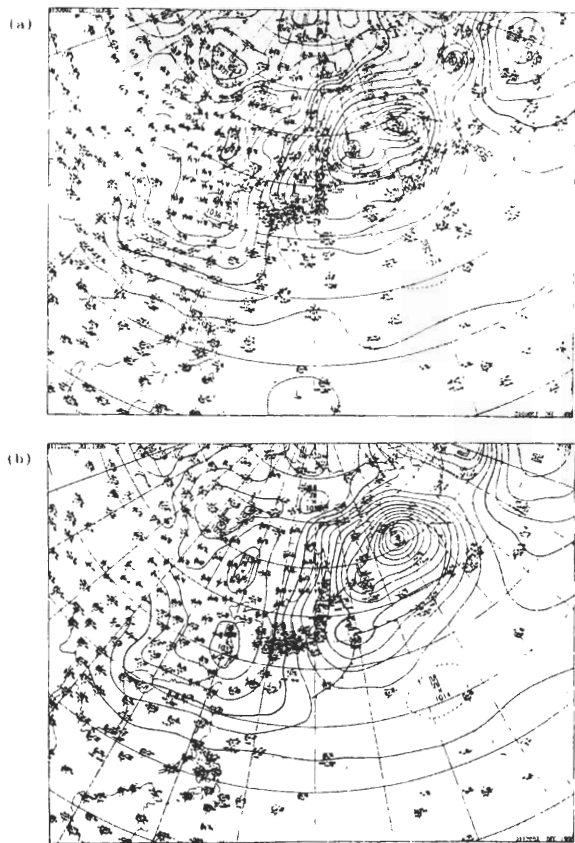


圖 3 日本氣象廳之地面天氣圖。(a)1996 年 12 月 1 日 00Z、(b)1996 年 12 月 1 日 12Z。

天氣變化以第一天較為劇烈, 隨時間增加而逐漸緩和。此 1~3 日地面天氣圖可提供後面氣象模擬結果之驗證。本文主要探討近地面空氣污染狀況, 較高層的驗證 (實際天氣與模擬結果) 不擬在本文圖示分析。

## (2) 氣象場模擬結果

本文的模擬使用 ECMWF/TOGA 資料, 原始資料解析度為  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  經緯網格, 經由五層巢狀解析, 可以了解第五層網格的詳細地形對環流模擬的影響。模式的氣象資料皆在  $\sigma$  面上, 主要模擬分析場為在  $\sigma = 0.985$  面上的風場、 $\sigma = 1$  面上的海平面氣壓場與行星邊界層 (PBL) 高度。

模擬初始場顯示 1996 年 12 月 1 日 00Z 最外層網域 (domain1), 在長江口附近有一個地面高壓中心, 且有一明顯槽線存在, 因此風場的變化也較為劇烈 (圖 4a)。台灣地區附近

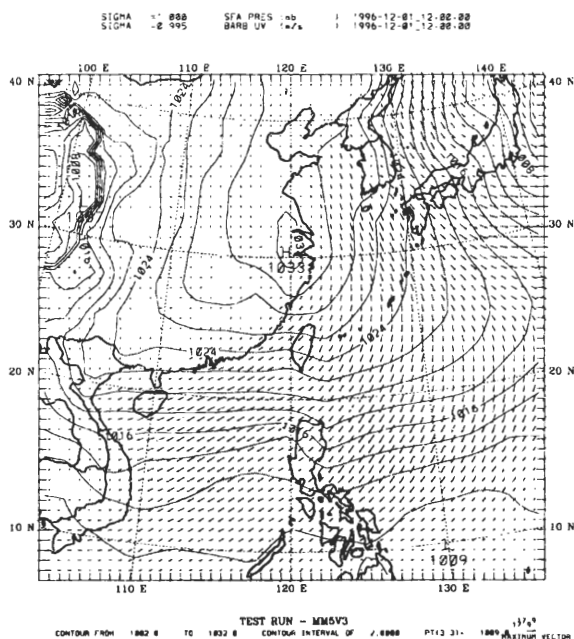


圖 4a 1996 年 12 月 1 日 12Z 之 MM5 domain1 的初始壓力場與風場。

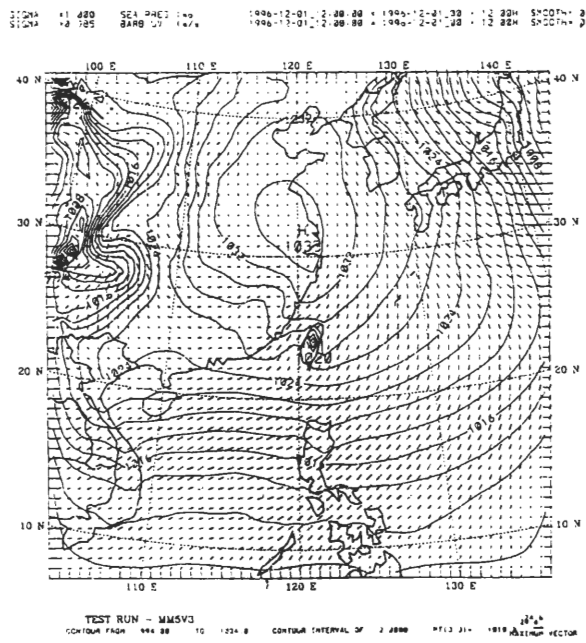


圖 4b 1996 年 12 月 1 日 12Z 之 MM5 domain I 預測的壓力場與風場(積分 12 時)。

呈現標準的冬季東北季風，且由於正值高壓出海，風向偏北。到了模擬時間 12 小時後(圖 4b)，高壓繼續出海，在台島之氣壓場明顯受到台灣地形之影響產生中尺度變化。積分 48 小時之後，隨著高壓出海，風速減小，低緯度之等壓線近乎東西向平行，近地面轉偏東風(未示圖)。將實際觀測與模擬結果(圖 3b 與圖 4b)比較，發現二者相當接近，顯示在此短期間內，MM5 模式可以良好地掌握大尺度的天氣系統移動。以下就針對更小尺度的網域模擬結果做更詳細的說明。

圖 5 為 MM5 之網域三的風場與氣壓場模擬結果，與環保署(EPA)的 71 個地面測站觀測資料(圖 6)比較顯示，在 1 日 20 時(即 12Z，圖 6a)，台灣外圍呈現很強的東北風，而在大屯山南側、台北盆地，由於地形效應，實際風向明

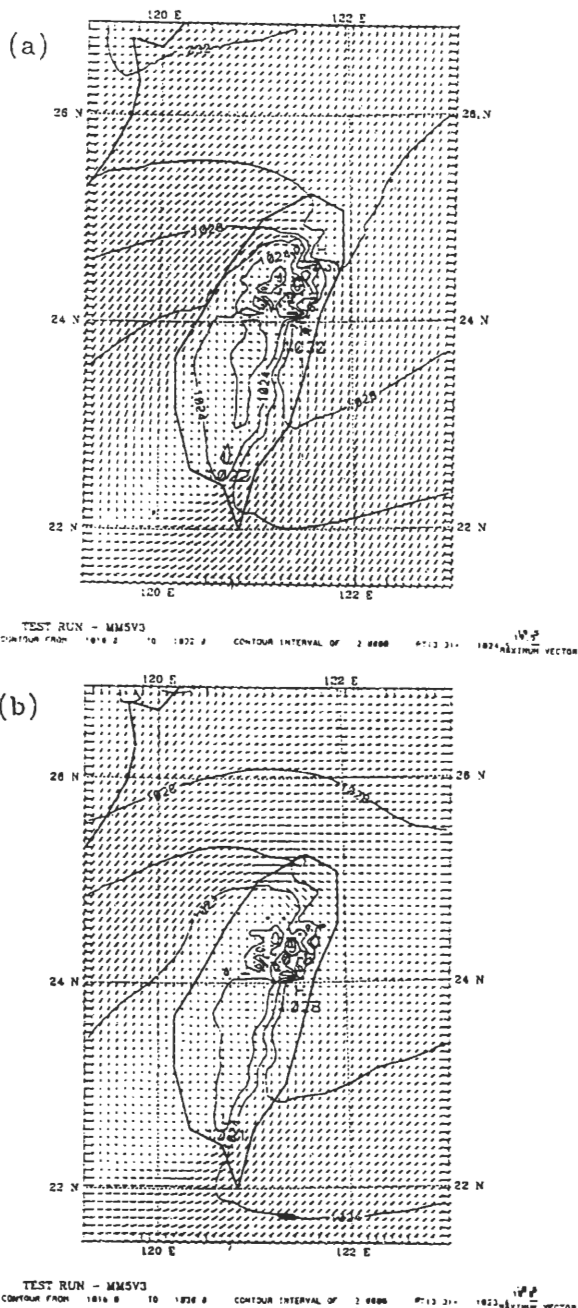


圖 5 MM5 預測之網域三的壓力場與風場。(a) 96 年 12 月 1 日 12Z(積分 12 小時)、(b) 96 年 12 月 2 日 12Z(積分 36 小時)。

顯轉成東風，與 MM5 所模擬的風場甚為接近(圖 5a)。另外前述的環境氣流經雪山山脈下沉後與

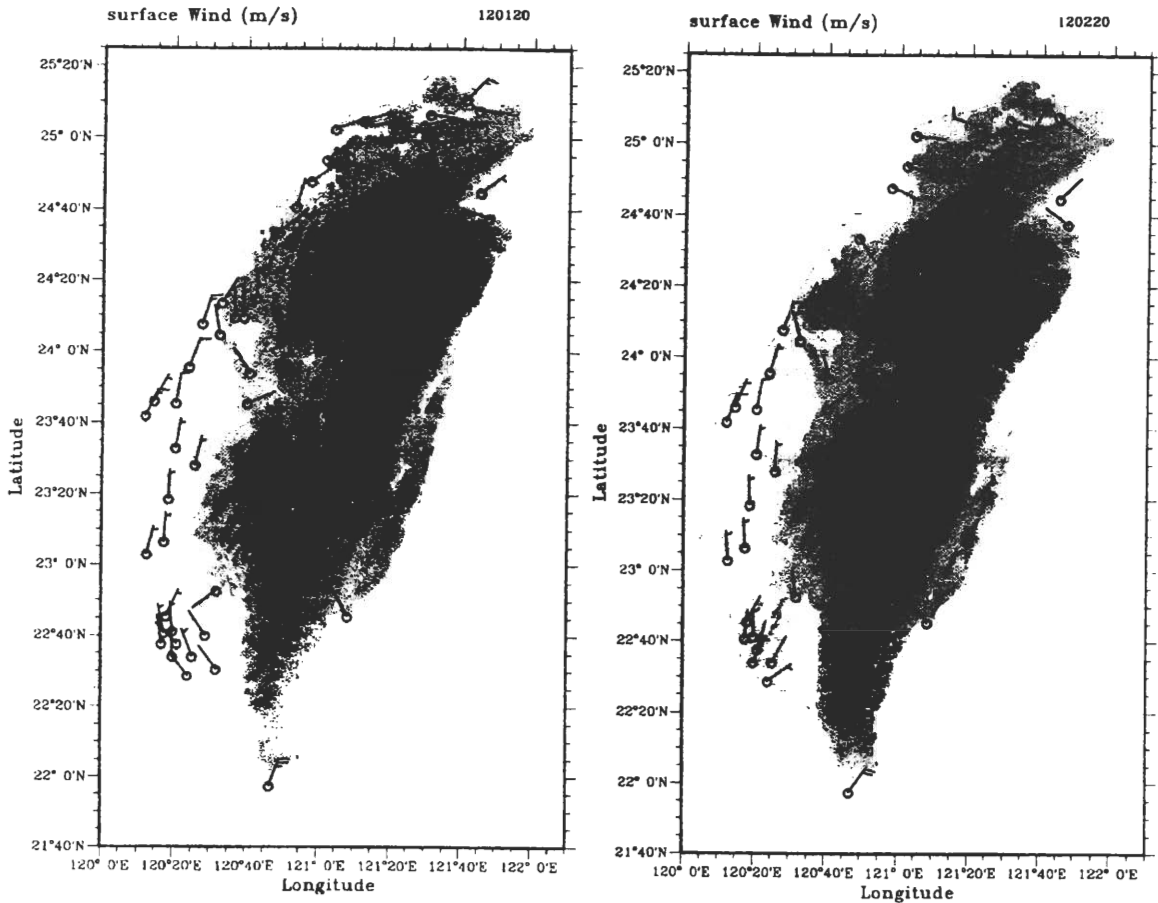


圖 6 1996 年 12 月 1 日 20 時與 12 月 2 日 20 時之環保署地面測站風場觀測圖。

大屯山背風渦旋氣流的合流，在桃園沿海呈現東南風，此與模擬結果亦十分吻合。台灣西側沿海風場顯示盛行風之繞流現象，唯稍後（2 日晚上）於北台灣西側已不明顯。南台灣尾端屏東一帶，仍受外圍強勁東北風籠罩，在實際觀測及模擬結果上均相當吻合。從 1 日下午，台灣西北部環境風場開始轉變，於 2 日 20 時已由東北風轉為東風（圖 6b），而 MM5 模擬的風向也已轉成東風（圖 5b），但西側之盛行繞流略為偏移外海，觀測仍顯示在西部沿岸有盛行繞流的現象。過去執行南高屏空氣污染物總量管制計畫，使用 MM5 模擬台灣地區及南高屏

環流特性，亦曾發現地形局部環流之模擬不容易掌握。

網域四的模擬結果（未示圖）顯示，第一天初始場為東北風，逐漸轉成東風。在中央山脈北部的風場變化，有隨著地形爬坡、繞山與下坡的情形，明顯看到地形效應對風場的影響。但值得注意的是，吾人並未清楚的看到，盛行風於大屯山前有明顯受阻而產生分流的現象，此與過去模擬及觀測結果稍有不同（黃，1998）。此層網域大屯山的解析高度為 592 公尺，由於地形插分（由 0.9 公里地形資料插分至 3 公里），模式的地形最大高度遠低於實際



高度(約 1000 公尺)。但大體上來說,雪山山脈的地形效應非常明顯,如桃竹區強勁風速、盛行風分流與環境風於桃竹沿海區合流,都是過去類似個案模擬結果所呈現的氣候特性。

積分 12 小時後,網域五(大台北擴散區)模擬結果顯示(圖 7a)盛行東北風山前受阻、分

流與繞山現象(後者仍較不明顯),且在大屯山背面產生明顯的輻合渦旋。在雪山地區,亦可看出明顯的地形效應。例如在圖 7b(積分 24 小時後),環境風場從東北風轉成東風,整個雪山山脈可以看出顯著的上坡減速、下坡加速及與大屯山背風渦旋輻合現象。於桃園沿海地區,風場轉為東南風且風勢強勁。

由於 MM5 模式初始場係基於大尺度動力平衡,且氣象場於初始時間並無邊界層高度及中小尺度之地形效應,此顯示並不適用於台灣地區之空氣品質模式模擬;但一般而言,經過 3 小時至 12 小時的模式積分,氣象場於反應地形作用後,已調整至與真實情況較為一致。

網域四之邊界層(PBL)高度模擬結果(圖未示)顯示,北台灣白天的邊界層高度較高,晚上較低,此自可合理預期;且地形坡度地區有較明顯的邊界層高度梯度,例如台灣北部、中部山區。邊界層的高度大部分在迎風面最大,隨著向內陸而減小。邊界層積分 12 小時之後,已明顯受到環境風場及地形效應的影響。在台灣西部,則因為風向平行海岸線,及地表特性(陸地、海洋)不同,因此邊界層從陸地到海上緩慢增高,其等高線並大約平行海岸線。總體來說,在大台北地形上風區,等邊界層高度線分布與地形等高線分布相當一致,但二者於中台灣則差異較大,顯示在比較下風區,大尺度動力似已較不具主控性作用。

圖 7 及圖 8 顯示網域五的邊界層高度及風場模擬結果。吾人發現,在夜間時,海洋邊界層隨東北季風沿著基隆河谷吹入,並且由於大屯山與雪山山脈的地形效應,在台北盆地形成一個最大值(高於 1000 公尺),而在大屯山背

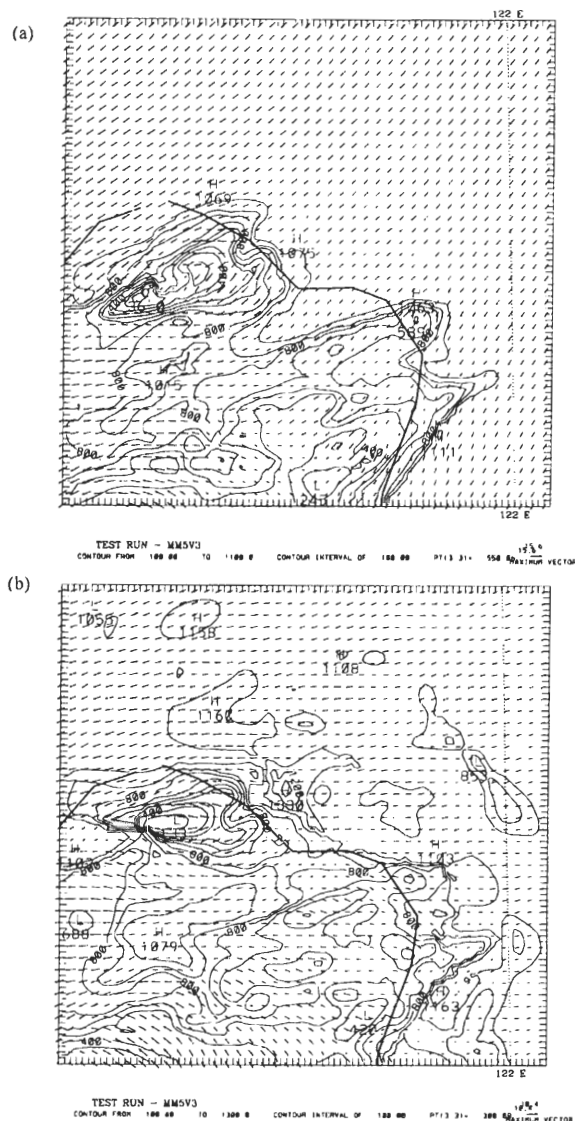


圖 7 MM5 預測之網域五的 PBL 場與風場圖。

- (a) 96 年 12 月 1 日 12Z(積分 12 小時)、  
(b) 96 年 12 月 2 日 00Z(積分 24 小時)。

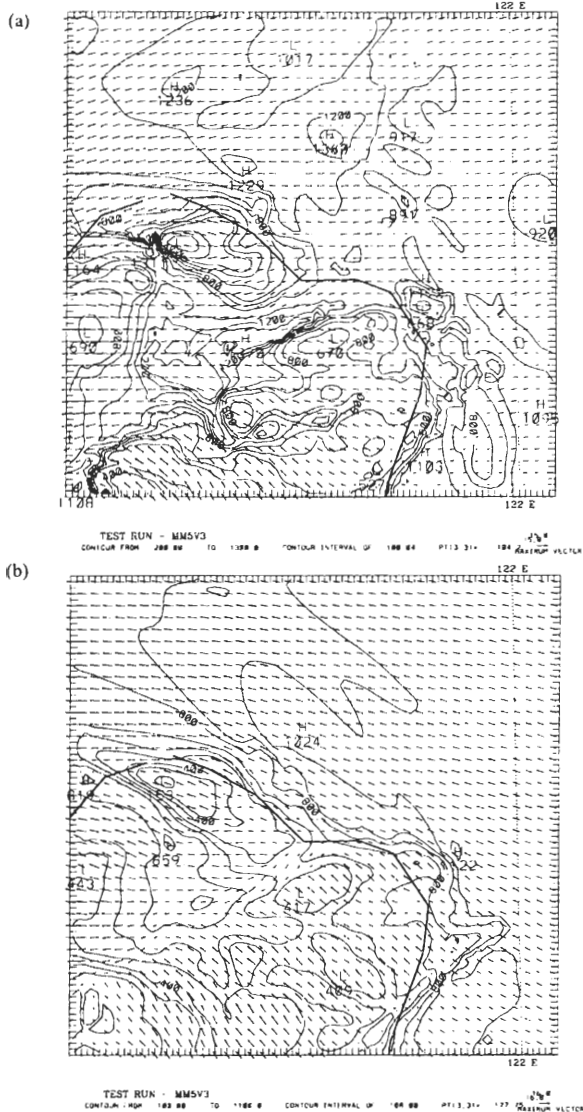


圖 8 MM5 預測之網域五的 PBL 場與風場圖。  
(a) 96 年 12 月 2 日 06Z(積分 30 小時)、(b)  
96 年 12 月 3 日 00Z(積分 48 小時)。

風氣流輻合處，則有一個低值區(圖 7a)，此現象持續整個夜間，到早上八點仍依舊。日出後，陸地邊界層已受地表加溫作用影響，此時環境風場轉為偏東風，於大屯山背風面形成較低邊界層(圖 7b)。之後，由於地面溫度持續增高，邊界層也普遍增高。另外由於東風的影響，海

洋邊界層未被吹入台北盆地，例如圖 8a (2 日下午兩點)。圖 8b 則是 3 日早上 8 點，與圖 7b 相比，由於環境風場已轉為偏東風，此時的海洋邊界層並沒有沿著基隆河谷被帶入，而是被東風帶至大屯山後，在背風處形成一最低的邊界層。整體來說，在地形坡度較大的地區，邊界層高度仍有非常明顯的高度梯度，例如在大屯山及雪山山脈靠海岸線的山區，唯當盛行風向轉偏東風時，陸上邊界層高度與下風處地形分布的關係已較不一致(除上游迎風區外)，大屯山背風區下沉氣流抑制了海上邊界層之發展形。此外，所示邊界層高度為離地高度，從海平面進入陸地山區時，由於上升氣流的絕熱冷卻效應，可以發現邊界層高度直呈現下降的趨勢(例如在大屯山區前及雪山山脈前)。另外，不論環境風場為東風或東北風，在大屯山山後(背風面)都有一個極小值，其最主要的原因，推論是山前氣流爬上大屯山後呈現下沉增溫運動，整個邊界層發展受抑於上層逆溫結構。除了林口台地南側外(合流區)，吾人發現整個模擬範圍(包括雪山山脈)的邊界層高度變化不大，大約維持在 800 公尺以下。

MM5 模式的邊界層參數化一直有一基本的問題，即是海上邊界層模擬高度皆接近 1 公里高，且逐日變化甚少。雖然盛行東北冷風有助於海氣交互作用，促使對流發展，但實際邊界層是否可達 1 公里高仍是存疑。近海地區之邊界層發展則受到陸上氣流及地表特性影響，顯示過渡區現象，則應是相當合理的結果。MM5 模式 MRF 參數化法有高估海上邊界層高度之情形，本文旨在顯示 MM5 之邊界層模擬結果，提供參考及其後擴散結果討論之輔助用。

### (3) CUMM 擴散模式模擬結果

如前所述，吾人可任意選取MM5的模擬氣象場，以進行大台北擴散區的空污模擬。就本擴散個案，選取1996年12月01日03Z~12Z這段時間，以核一、核二及核四廠址排放之空氣污染物進行擴散模擬。由於擴散模式在平流方

程式計算係使用semi-Lagrangian方法，無Courant number之積分時間步距限制，另在垂直擴散方程式計算係採半隱式 (semi-implicit)，亦無積分時間步距限制，理論上模擬可以使用數分鐘之積分時距 ( $\Delta t$ )，但 $\Delta t$ 取太大，雖不影響數值積分之穩定性，相位保守能力會因之降低，因此本研究取 $\Delta t$ 為30秒。

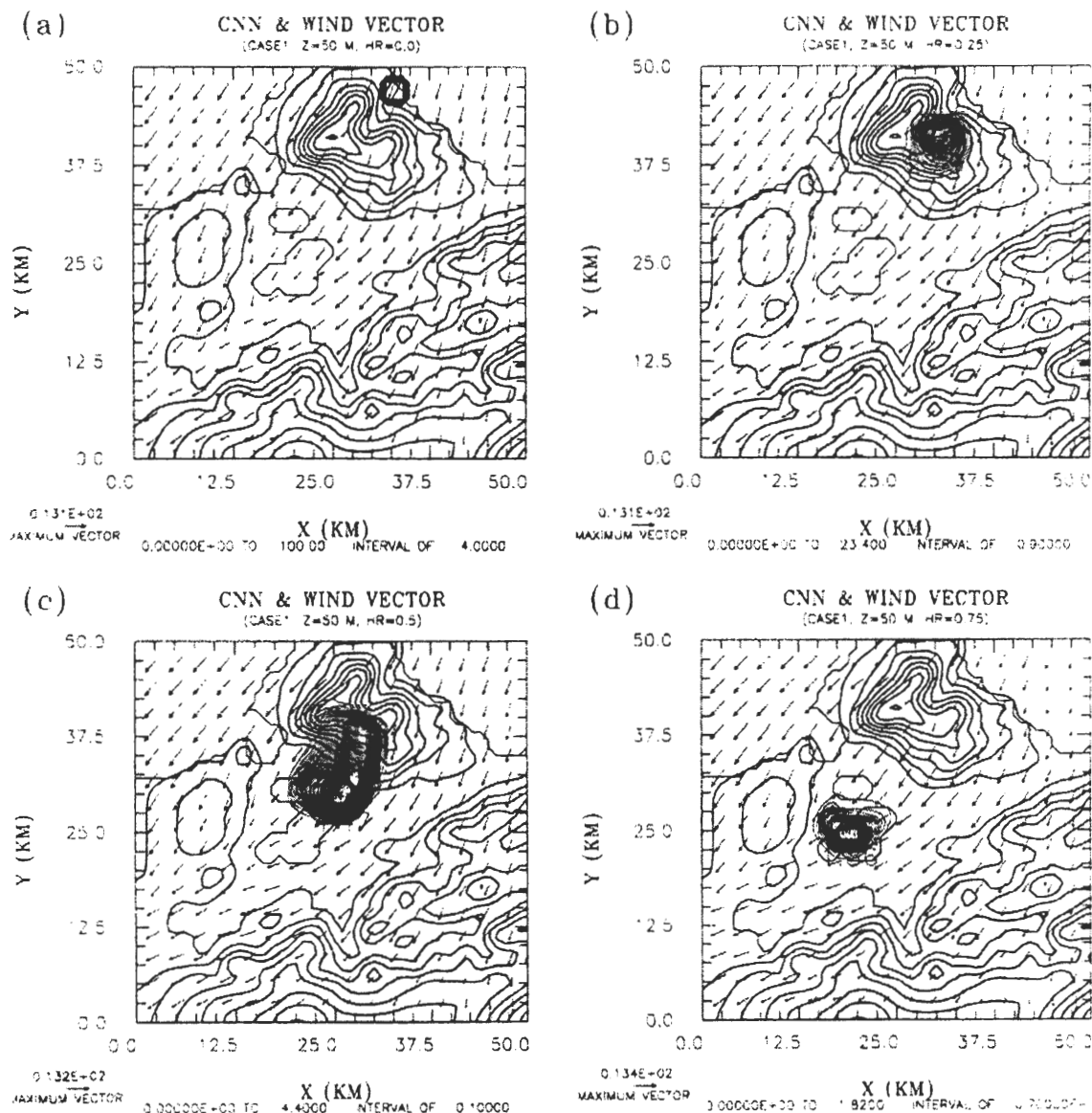


圖9 CASE 1 在高度 50 公尺處於各個模擬時間的濃度分佈圖。(a) 初始濃度圖、(b) 0.25 小時、(c) 0.5 小時、(d) 0.75 小時。

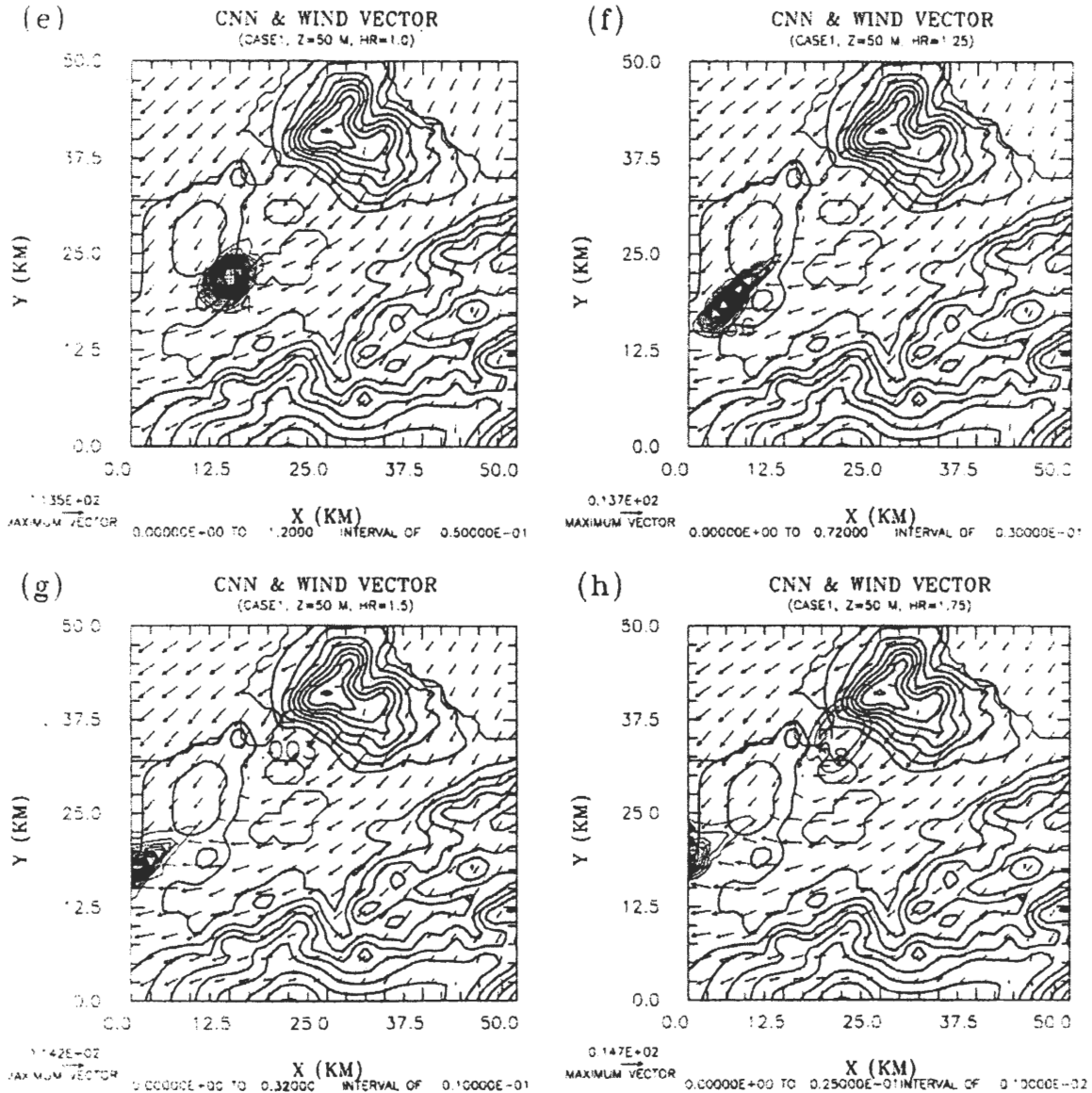


圖 9(續) CASE 1 在高度 50 公尺處於各個模擬時間的濃度分佈圖。(e) 1 小時、(f) 1.25 小時、(g) 1.5 小時、(h) 1.75 小時。

本文假設初始污染可為瞬間排放3公里×3公里×100公尺，濃度設為100 單位之等濃度體積源，或為表面層連續排放點源，濃度維持為100單位。模式氣象場由輸入的MM5逐時預報場經時間內插得到；考量大台北網域大小限

制，僅需進行2個小時模擬。本文大台北擴散區個案（共為5層模擬網域區）為：

CASE1：核一廠瞬間面源擴散，廠位於第5層之網格點(34, 48)。

CASE1H：同CASE1，但關閉水平擴散及數值平滑作用。

CASE2：核二廠瞬間面源擴散，廠位於第5層之網格點(35, 45)。

CASE3：核四廠瞬間面源擴散，廠位於第5層之網格點(69, 22)。

CASE1C：同CASE1，但為連續排放點源。

個案模擬初始時間為 96/12/03Z (LST1100)，瞬間污染源設在各核電廠，排放時間設為03Z，此時由於東北季風盛行，上游風勢極為強勁(大於10 m/s)，在台北盆地各區，則顯見有爬山及繞山之輻合氣流。

大體而言，個案一(核一廠)之模擬結果為污染體沿主氣流順風而下，越過大屯山脈，進入台北盆地再越過林口盆地至桃園一帶(圖9)。由於不均勻流場(平均氣流與亂流)，主濃度體已呈非對稱、非高斯擴散分布，但在廠區剛開始擴散時間內，等濃度線仍略成圓形，似較接近高斯分布。由於LST1100，大氣邊界層已顯對流不穩定，亂流垂直擴散強度大，至台北盆地，最大濃度值降為原值1/10，接近桃園時則再降為1/100。在2小時內，此強烈季風可以將近地面核一廠污染物帶至桃園地區，但濃度約為原最大濃度之1/100以下。在垂直傳送方面，0.5小時及1小時後，污染物已上傳至邊界層頂(約1000公尺)。

個案1H為將水平擴散及數值平滑作用去掉，污染物之擴散過程顯示其最大濃度約增加10%，但污染物濃度之分佈相似(圖未示)，顯示此擴散過程主要為垂直擴散所主宰。比較之下，在1小時後，林口盆地出現狹長帶狀分佈，可確定為局部輻合風場所造成，因此有若干微濃度仍滯留於淡水河口一帶。

個案二(核二廠)中，由於核二廠與核一廠相距僅數公里，因此核二廠的污染物擴散過程與核一廠頗為類似(圖未示)。但由於經過的流區仍稍有不同，在0.5小時，其最大濃度為核一廠之兩倍，至林口盆地(1.25小時)約為1/2倍，但污染區域仍大同小異。黃與莊(1993)使用10公里解析度模擬，發現大屯山前分流點約在核一、二廠附近，使得核一廠污染物藉由淡水河口進入台北盆地，而核二廠污染物則藉由基隆河口進入。本個案此時之山前分流現象並不明顯，主要有兩個原因：一為此時為白天不穩定邊界層，基本氣流之浮力作用增加，福祿數(Froude number  $Fr=U/NH$ ， $U$ 為上游風場速度， $N$ 為浮揚頻率亦即大氣靜力穩定度， $H$ 為地表高度)大為提高，較容易過山；另一為此時東北季風原本非常強勁。在本個案，於0.5小時及1小時，同樣可見到污染物上傳至邊界層頂之現象。

個案三之核四廠污染物擴散過程對大台北並無影響(圖未示)。主要是因為此時盛行北風利於將污染物帶離廠區。過去一些模擬及觀測結果亦顯示雪山山脈前常伴隨回流，此回流可流至宜蘭盆地，再流向外海。本個案此時回流並不明顯，但無論如何，此回流只是暫時性移動污染體，並不會形成長時間之滯留。

瞬間污染物(puff)排放之擴散過程，與其排放時間及其沿軌跡線流動之特性有密切關係。因此，若能避開不利擴散之回流區、輻合氣流區，則污染物並不易形成長時間之滯留，最後再藉由垂直擴散使污染體濃度降低。然而連續污染排放源則與每一個時間之流場均有密切關係。個案1C為針對假設性的核一廠連續

污染排放進行模擬，吾人假設廠區不斷溢出濃度為 100 單位之表面層污染物。由圖 10，可見煙流排放於山前所呈橢圓型濃度分布型式，類似高斯煙流現象。在 1.0 小時後，此時地面濃度於台北盆地北側呈現停滯，部分並有向西轉向之現象。當然，這是因為此時基本風場已漸

偏西風。台北盆地地區仍有約 1/100 的原濃度吹入，與之前的瞬間污染物結果類似，煙流亦呈向上擴散現象（圖 11）。但至 500 公尺高度以上似呈滯留現象，濃度則約降為原 1/10；至 1 小時、1.5 小時，乃至 2 小時，此較高層之濃度滯留現象仍未消失，此現象顯然與此區出現

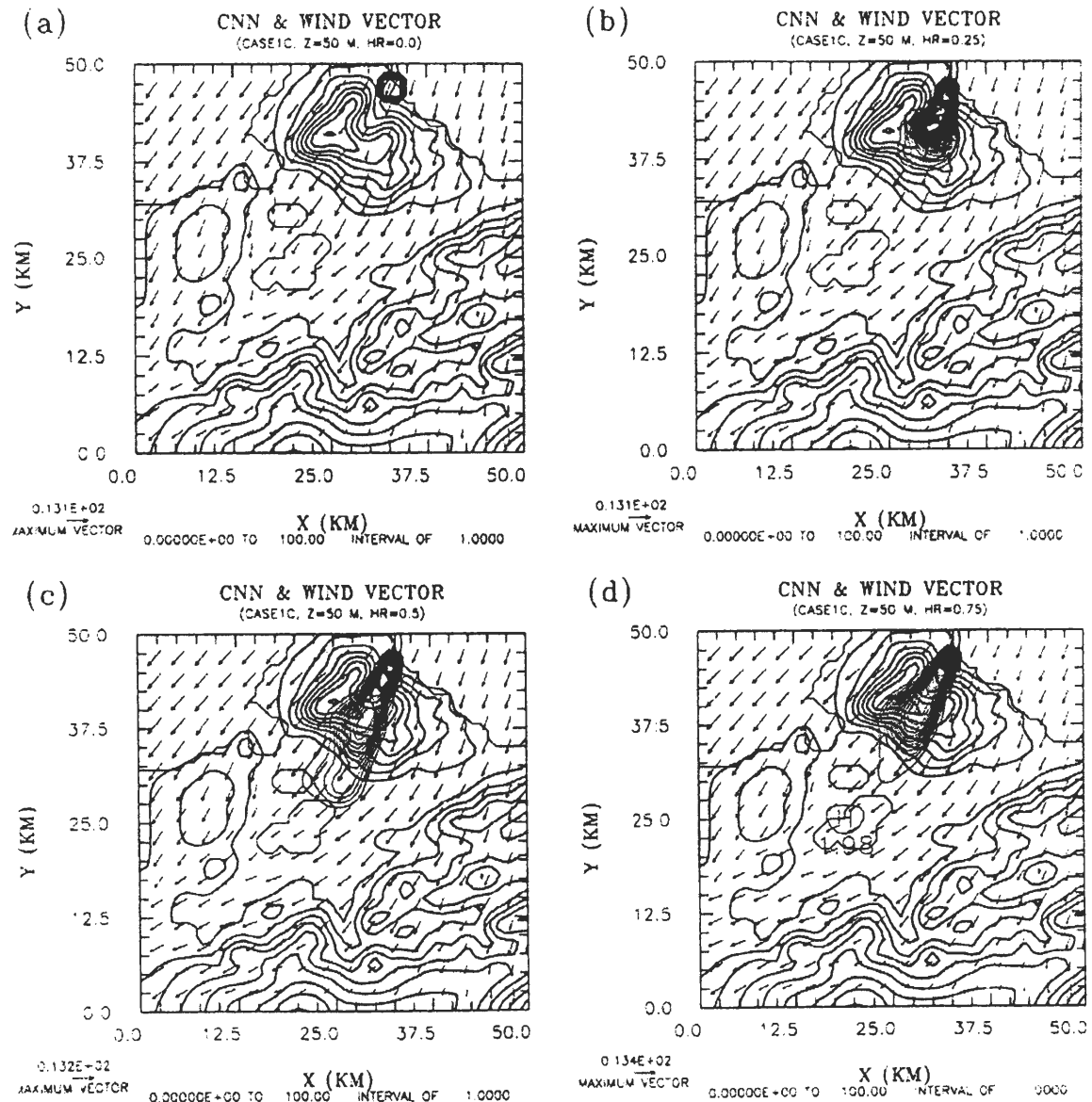


圖 10 CASE 1C 在高度 50 公尺處於各個模擬時間的濃度分佈圖。(a)初始濃度圖、(b) 0.25 小時、(c) 0.5 小時、(d) 0.75 小時。

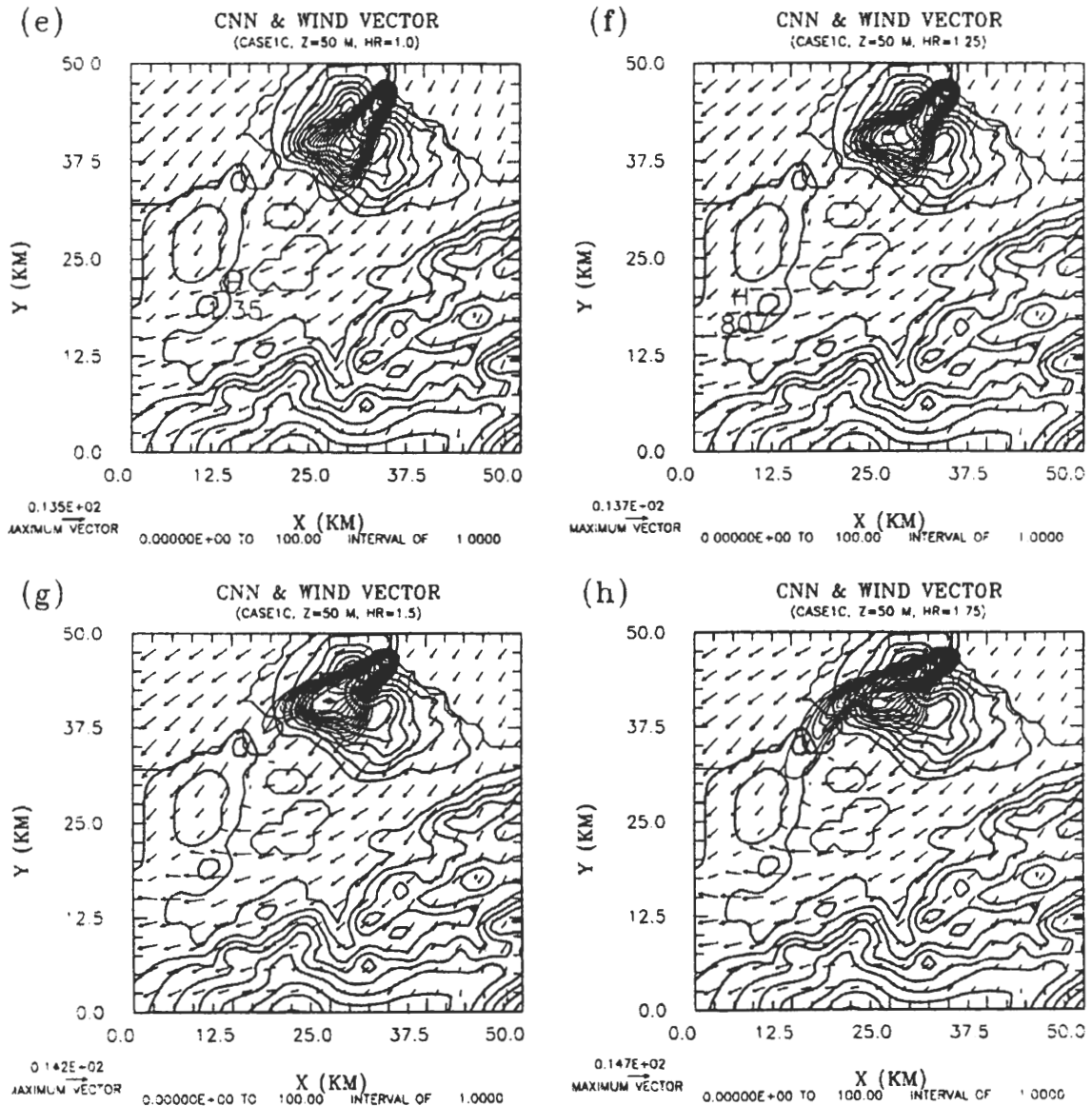


圖 10(續) CASE 1C 在高度 50m 處於各個模擬時間的濃度分佈圖。(e) 1 小時、(f) 1.25 小時、(g) 1.5 小時、(h) 1.75 小時。

山後渦旋回流有密切關係。隨煙流排放，大屯山上之濃度有漸增之趨勢，在 2 小時時，煙流則已呈向西，其前緣並已延伸至林口一帶，此區此時最大濃度約為原 1/100。由於山後渦旋回流至淡水河口，此阻卻作用使攜往的煙流不致流入台北盆地，此現象亦曾為黃與莊(1993)

所模擬過。

### (三) 台北核安區

在前面的大台北擴散區研究中，吾人以五層網域進行 48 小時的較長時間模擬，並且選了核一、核二及核四做擴散研究。若針對核一與核二廠的污染事件做更細部的分析，模擬區

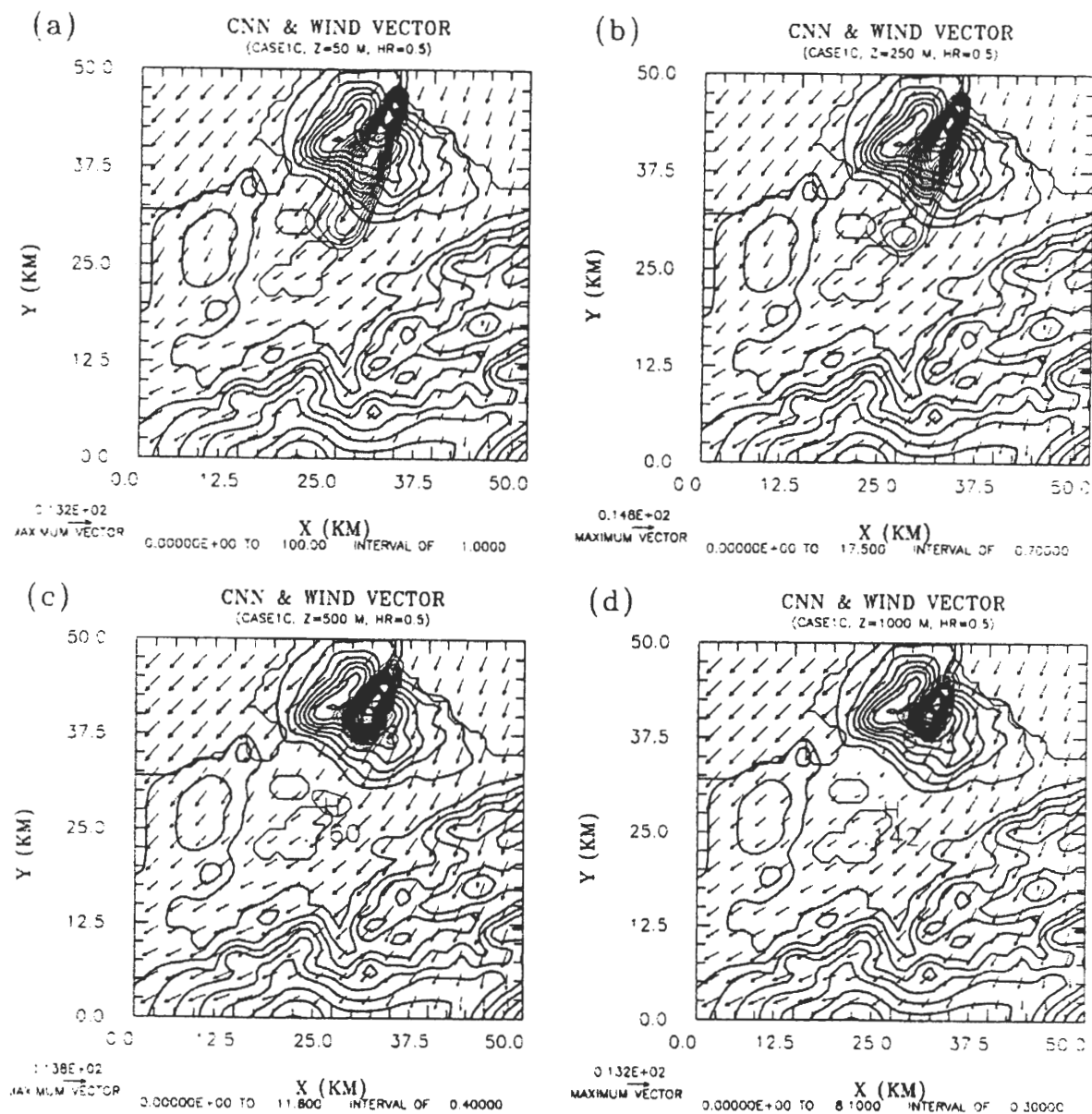


圖 11 CASE 1C 在模擬 0.5 小時後，各個高度的濃度分佈圖。(a) 50 公尺、(b) 250 公尺、(c) 500 公尺、(d) 1000 公尺。

域及解析度亦須更細，因此吾人將 MM5 再取第六層網域。吾人以核二廠污染源作為第六層網域的研究對象。另外在氣象場部分，考慮此區為很小的尺度，因此 MM5 的模擬時間改以 12 小時為主，並且選取後面 6 小時進行 CUMM 之擴散模擬。此外，由於加入第六層網域，所

以在巢狀結構的設定有稍微變動，網格間距從大到小分別為 81 公里、27 公里、9 公里、3 公里、1 公里及 333 公尺，區間網格點數（東西數 × 南北數）為 51 × 51、52 × 52、46 × 70、67 × 82、100 × 100、100 × 100。考慮第六層網域的尺度，因此吾人假設此台北核安區初



始污染為瞬間排放體積為 1 公里×1 公里×100 公尺，廠區位置為第 6 層之網格點(39, 85)，濃度設為 100 單位之等濃度體積源。這個初始污染濃度體雖仍不能代表核廠點源，但若此點源於短時間迅速擴散、混合，則本個案所模擬條件應有近似點源之合理性。

在台北核安區的研究中，挑選的 MM5 模擬個案（共 6 個模擬網域區）如下：

CASE4：1998 年 11 月 09 日 00Z~1998 年 11 月 09 日 12Z。

CASE5：1998 年 11 月 13 日 12Z~1998 年 11 月 14 日 00Z。

CASE6：1999 年 01 月 26 日 00Z~1999 年 01 月 26 日 12Z。

由於冬季時台灣北部有強烈的盛行風，加上核二廠為上游污染源，因此個案的選取以冬季為主，並且以東北風、東風、偏北風等不同的天氣型態以進行模擬比較。以下將分別對每一個案的模擬結果做說明。

#### (1) CASE4 (98/11/09)：

##### (a) 綜觀天氣條件分析

根據日本氣象廳之地面天氣圖(圖未示)，當時間為 1998 年 11 月 9 日 00Z 時，在北緯 41 度、東經 110 度左右(即蒙古地區)有一大陸性高壓，中心強度為 1028 hPa。台灣則處於此大陸性高壓的前緣，氣壓梯度微弱，台灣北部外圍的環境風場呈現弱偏北風。經過 6 小時後，此大陸性高壓向東南方移動，但速度非常緩慢，同時強度稍減弱為 1024 hPa，台灣北部同樣處於高壓前緣地帶，環境風場仍然呈現偏北

風轉北北東的狀態。再經過 6 小時後，此大陸性高壓中心稍微增強至 1028 hPa，而中心位置往南移動，環境風場呈現東北風狀態。所以由天氣圖得知，1998 年 11 月 9 日 00Z~12Z，台灣北部的環境風場大致上為偏北風轉東北風。

##### (b) 氣象場模擬結果

個案四之 MM5 成功模擬出觀測的大尺度氣象場，如前述實際狀況下的蒙古高壓及台灣外圍呈現的近地偏北風場。經過積分時間 6 小時後，此地面高壓中心往東南移動，同時中心強度為 1024 hPa，此時台灣地面風場呈現偏北北東，再經過 6 小時後，即 98/11/09/12Z，高壓中心往南移動，而中心強度稍稍增加，地面風場仍是偏北北東。模擬結果顯示 MM5 在本個案可以正確的模擬大尺度的天氣系統及其移動。在全台的模擬風場與氣壓場，積分 6 小時後(06Z)顯現台灣北部環境風場成偏北風，整個台灣地區則有很明顯的地形效應，在台灣西半部，環境風場因台灣地形阻擋效應而有明顯的繞流現象。而在東半部，環境風場繞流中央山脈，與西部的繞流在高雄地區輻合，過屏東地區後，因為地形效應消失，環境風場又轉為偏北風。對照同時間環保署(EPA)的地面觀測風場圖(98/11/09/14 時)，可以發現在基隆吹北風，而西半部地區，因為風場的繞流現象，使得風場在高雄附近變成西北風。在積分 9 小時後，此時環境風場轉為偏東北風，同樣有明顯的繞流現象產生，除此之外在高雄附近也有東半部與西半部環流的輻合帶。另外在大屯山區，亦發現環境東北風過大屯山時，在台北盆地一帶，受大屯山阻擋而產生偏轉，與實際觀測場頗為吻合。此個案盛行風為偏北風，環境氣流

受大屯山阻擋有明顯的繞流現象，並在大屯山後產生背風渦旋，與之前的學者所做的研究結果相似(Smolarkiewicz and Rotunno, 1989；黃與莊, 1993)。

以上結果顯示，MM5 模式對北台灣中尺度地形環流的模擬有相當良好的可信度，模擬結果在定性上有不錯的相似性，但仍須進一步定量了解，乃選取基隆及台北二個測站風速值做比較。圖 12 為二個測站的每小時風速大小

與模擬的風速值之比較。模式模擬值，則是把測站經緯度位置旁邊的四個網格點值做平均。由圖 12 可以看出，在上風處基隆站，MM5 模擬的風速與觀測相當一致，在台北站則稍大，但是二者仍呈現不錯的相關性。圖 13 進一步比較東西風 (U) 及南北風分量 (V)，發現模擬結果與觀測在變化趨勢上類似，但無法準確預報其值，此顯示雖然 MM5 可以成功地掌握大尺度的天氣變化，但反映至中小尺度之預測時，在定量上仍有相當程度的不準確性。就本文而言，MM5 模擬的台灣地區中小尺度氣象場仍展現一定程度的真實現況，可以提供擴散模式模擬。

### (c) CUMM 擴散模式模擬結果

如前所述，本個案選取了 1998 年 11 月 09 日 06Z ~12Z 的預報氣象場，與 CUMM 擴散模式結合，模擬核二廠附近之連續排放點源的空氣污染物擴散現象。圖 14 為 CUMM 在地面上高度 50 公尺的模擬結果，假定的排放時間為 98/11/09/06Z。本個案之擴散過程，大致上是排放後 15 分鐘，污染物被北風由核二廠直接往下帶，整個擴散帶呈一直線，排放後約 1 小時，污染物上游除往西方擴散外，越過七星山以西較低之山脈，到達台北盆地的北側。之後，部分污染濃度受此繞流傳送至台北盆地內的南港、松山一帶，局部風場已轉為東北風。此時，污染濃度已明顯分成兩種傳送途徑，一在山區向西擴散，一沿繞流而行。已進入盆地的後者濃度，受到大屯山的背風渦旋回捲至古亭、永和一帶，濃度值則已降為初始值的百分之一。

本個案一開始的濃度場是呈一南北向的直線分布，為了觀察污染物的平面傳送情形與垂

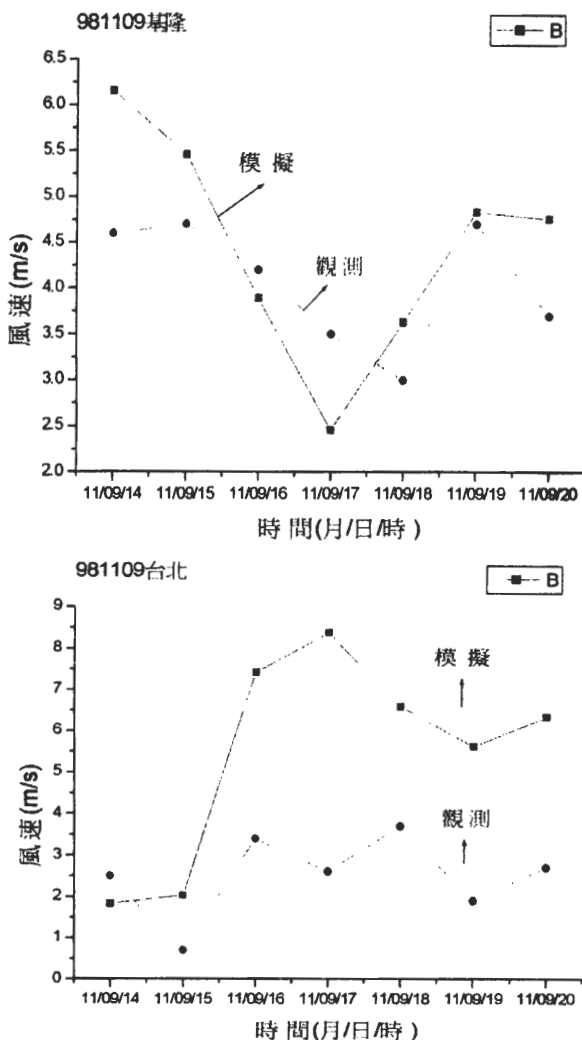


圖 12 二個測站的每小時風速大小與模式模擬的風速值之比較圖。

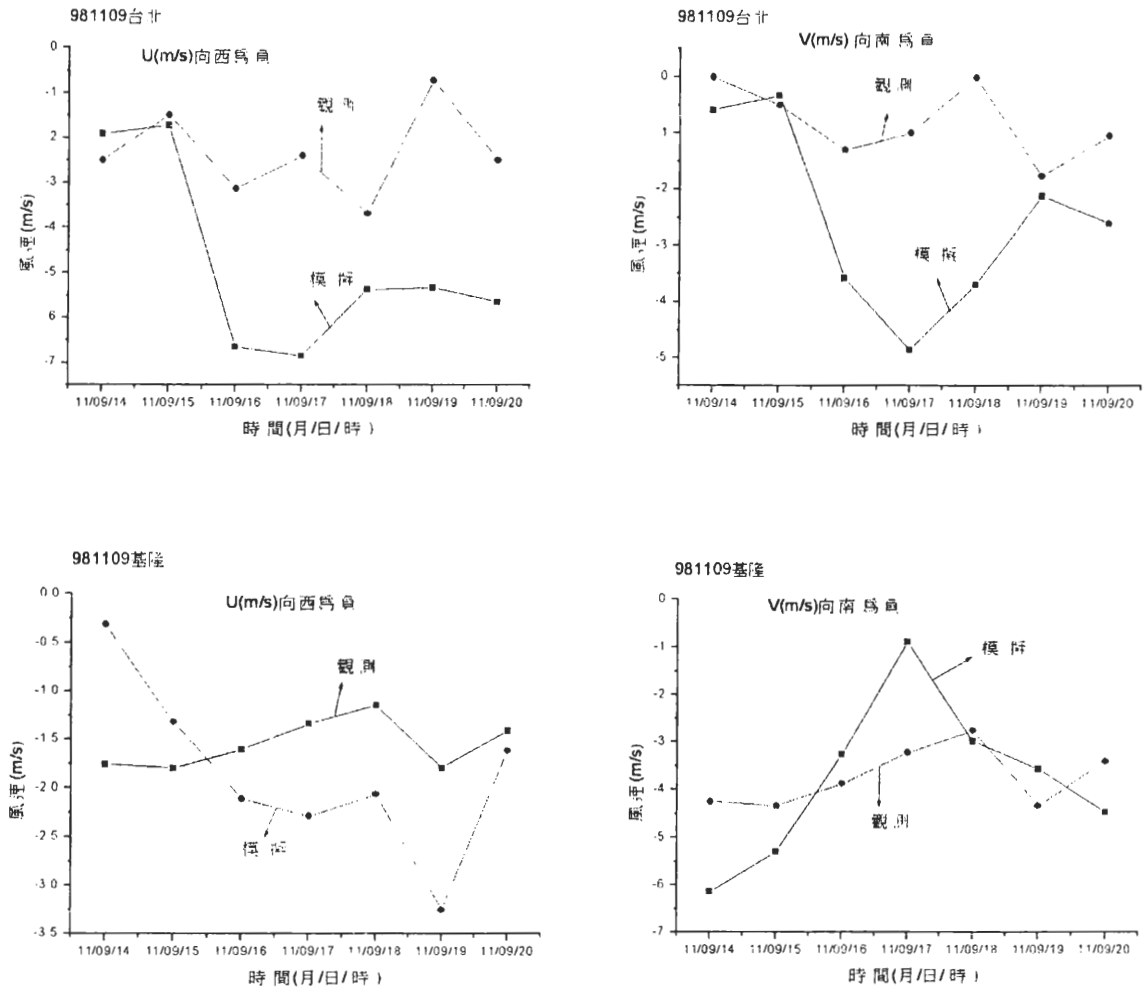


圖 13 基隆站與台北站的每小時 U 及 V 方向之風速大小與模式模擬的風速值之比較圖。

直擴散現象，因此取這條直線（即東西網格點數  $X=38$  時）的 YZ 垂直剖面（圖 15）。排放後 15 分鐘，污染物正往南方爬上七星山右邊較低的山脈，而垂直擴散高度到達 1300 公尺處，即邊界層頂的位置（圖 15b），然後污染物持續往南方帶，越過第一個山頭後，此區高層的下沖氣流強烈，將污染物帶下來（圖 15c）。之後，由於水平平流作用，污染物繼續傳送，但限於較低層（圖 15d）。在 1 小時後（圖 15e-g），吾人可以發現，排放源到第一個山頭間，高濃度

仍維持著，但經第一個山頭過後，濃度值已減少許多，原因是前面所提到，部分濃度往西傳送（即向紙），部分則由七星山前緣繞流。在排放 1.75 小時後（圖 15h），濃度值又明顯增加，與圖 14h 比較，主要是因為此時濃度團已略向東移動，使從七星山往右繞流的濃度量增加。

由圖 15，吾人可以了解污染物擴散的垂直分佈情形，但無法清楚得知其在垂直方向的傳送值，因此取（ $X=38$ ， $Y=80$ ，即第一個山頭前）進行濃度分析，發現排放過後 15 分鐘

污染物已傳送至約 1250 公尺的高度，但是其量值只剩 0.124，約降為排放源濃度（100 單位）的千分之一，顯示濃度擴散與傳送過程受邊界層發展所控制，如圖 14 所示。整體來說，污染物在離地面 200 公尺內，濃度有最大值，然後呈遞減狀態，到離地面約 1000 公尺處，濃度值降為百分之一，而從排放 75 分鐘後，濃

度值在大約 800 公尺處就降為百分之一，原因就是前述的濃度往西帶，因此污染物量值減少。

(2) CASE5 (98/11/13)：

(a) 綜觀天氣條件分析

本個案的天氣情況從天氣圖可以發現，在

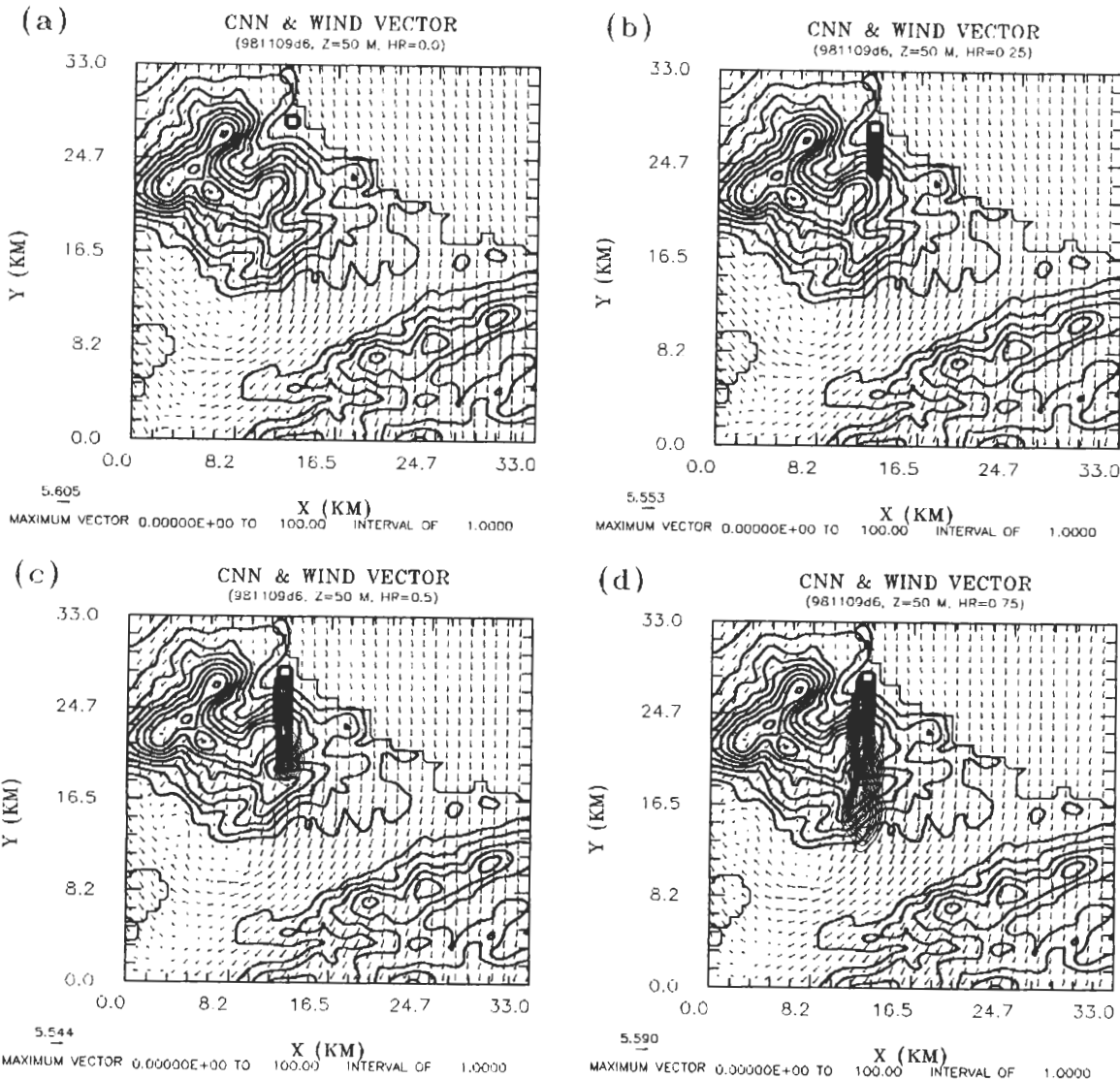


圖 14 CASE 4 在高度 50 公尺處各個時間模擬後的濃度分佈圖。(a)起始濃度圖、(b) 0.25 小時、(c) 0.5 小時、(d) 0.75 小時。

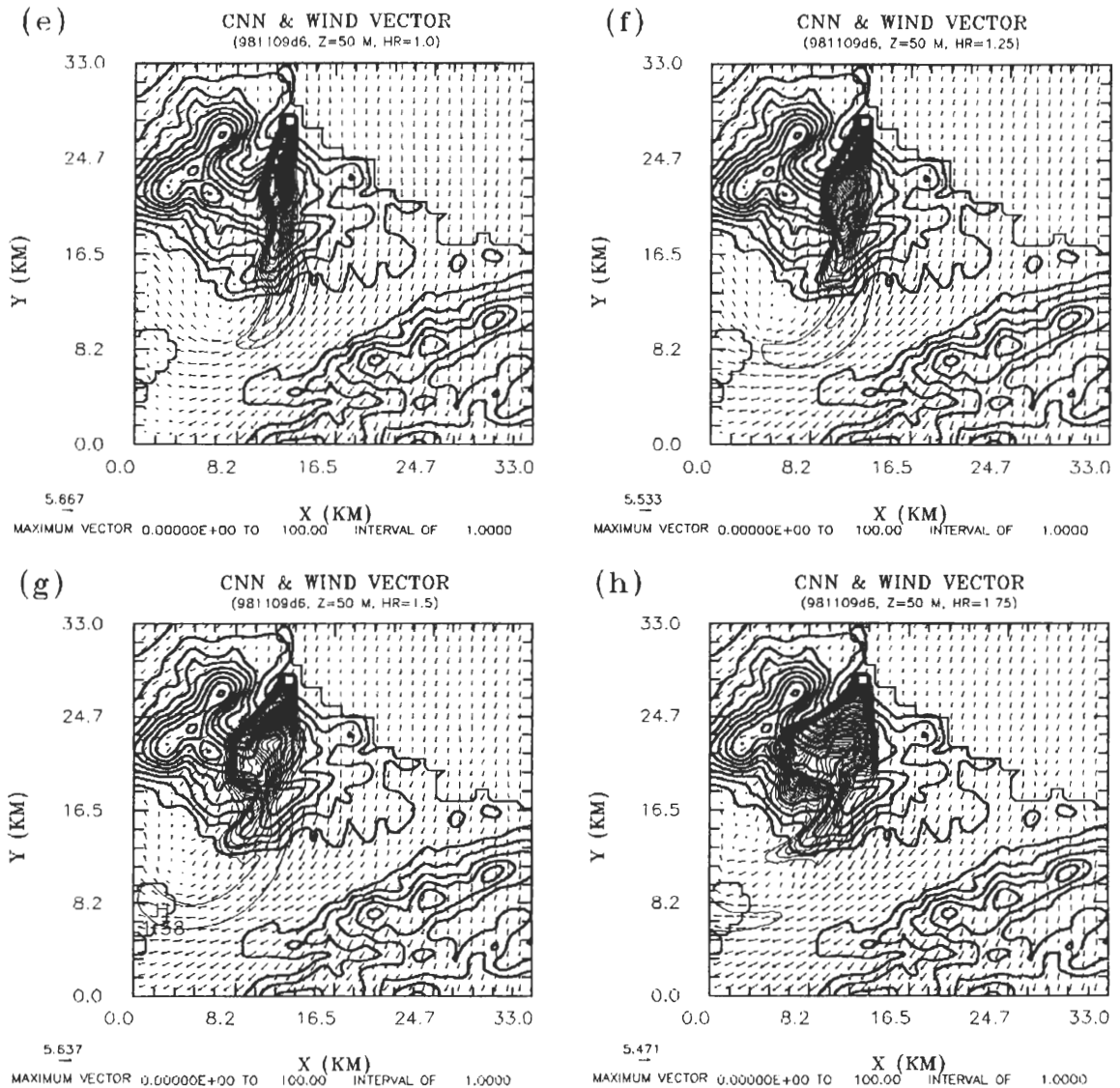


圖 14(續) CASE 4 在高度 50 公尺處各個時間模擬後的濃度分佈圖。(e) 1 小時、(f) 1.25 小時、(g) 1.5 小時、(h) 1.75 小時。

日本右方，有一個高壓已經出海，而在華南地區，有另一個高壓正緩慢出海，同時距離台灣很近。受此二個高壓的影響，台灣北部的近地風場是偏微弱東風。對本個案，MM5 在台灣地區的氣象場模擬亦有相當程度之能力，因此個案五將不再討論氣象場模擬結果。

#### (b) CUMM 擴散模式模擬結果

本個案選取了 1998 年 11 月 13 日 18Z~14 日 00Z 的預報氣象場，模擬核二廠附近之連續排放源的擴散現象。圖 16 為在離地面 50 公尺高度的模擬結果。大體上來說，此時環境風場呈現微弱的東風，無法爬過大屯山，山前滯流

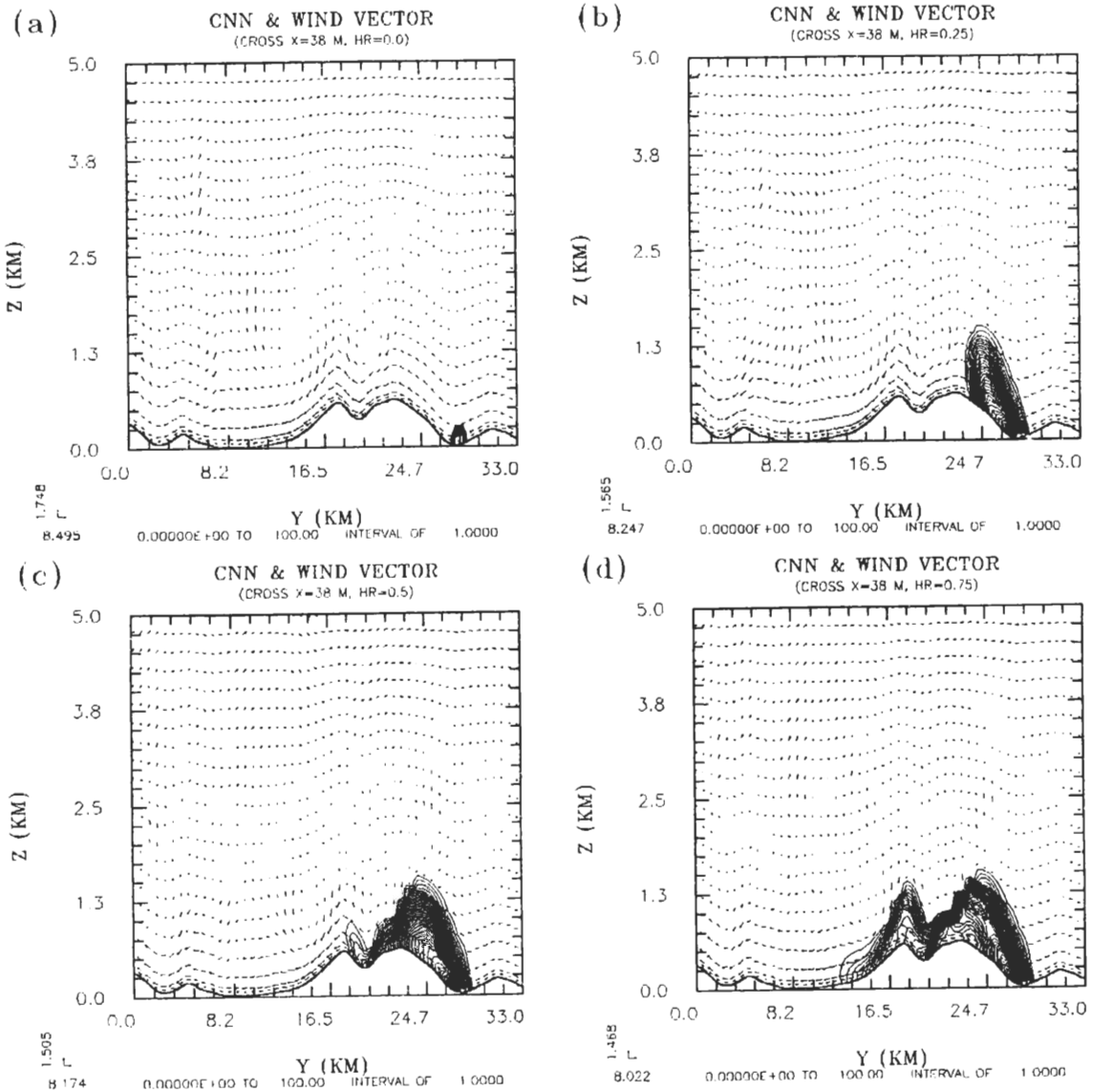


圖 15 同 CASE4，但取 X=38 時的 YZ 垂直剖面濃度分佈圖。(a)起始濃度圖、(b) 0.25 小時、(c) 0.5 小時、(d) 0.75 小時。

及繞流現象非常明顯。山前逆流使核二廠附近形成一個濃度輻合集中區，大部分短時間累積在廠區附近，再緩慢擴散至其北側繞流區，隨著繞流再向西北方傳至外海。此微弱東風環境氣流，自是不利於廠區污染濃度之擴散，但由於位處於山北側之離岸風區，對台北盆地反而

不具影響。

### (3) CASE6 (99/01/26)：

#### (a) 綜觀天氣條件分析

根據日本氣象廳之地面天氣圖可以發現，台灣上方正有一個地面高壓中心，這是一個很

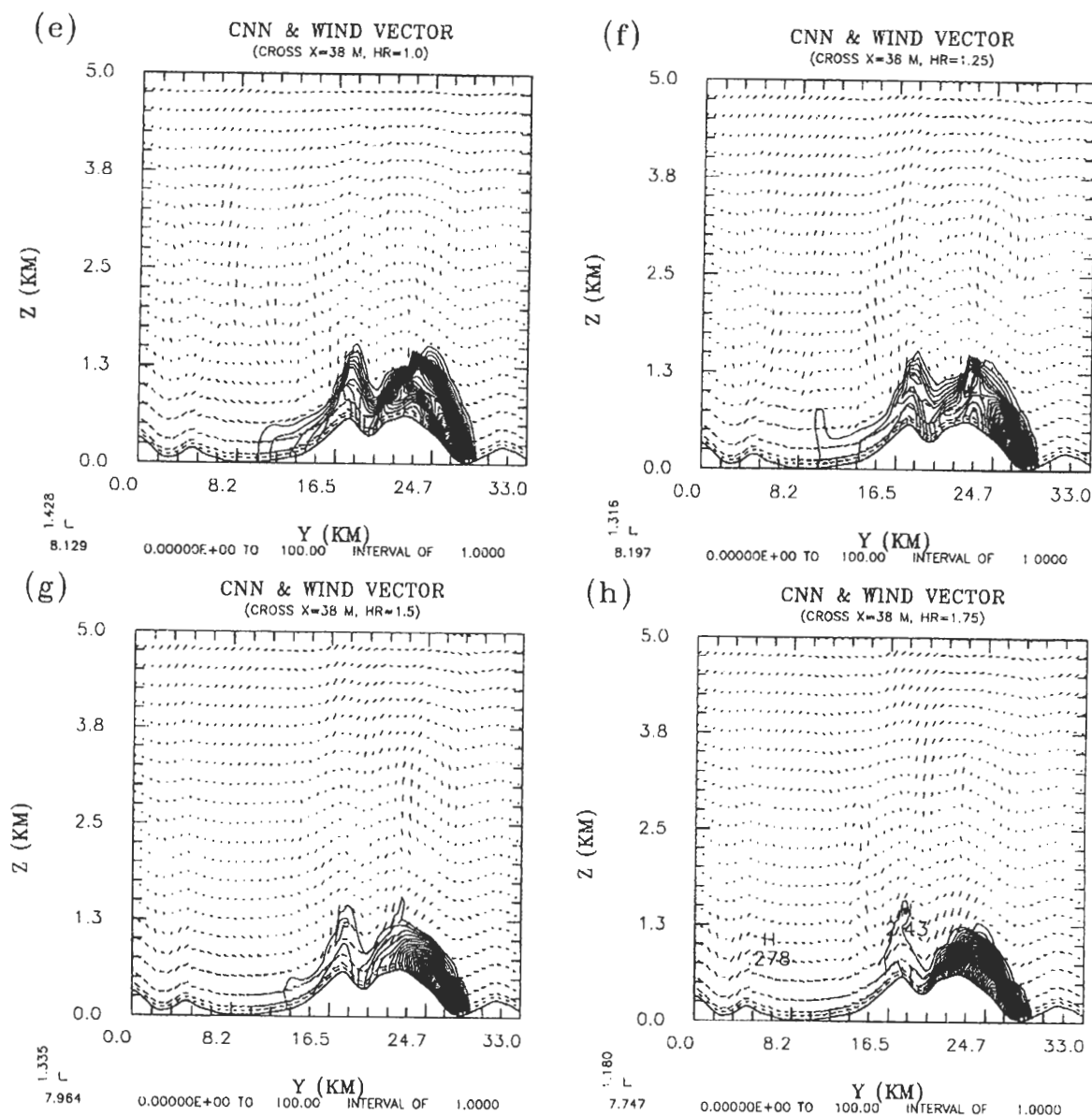


圖 15(續) 同 CASE4，但取 X=38 時的 YZ 垂直剖面濃度分佈圖。(e) 1 小時、(f) 1.25 小時、(g) 1.5 小時、(h) 1.75 小時。

典型的冬季高壓中心出海的天氣情況，地面高壓中心緩慢往外移，在 12Z 時接近日本。在這段期間，台灣的地面風場是呈現很典型的東風。

#### (b) CUMM 擴散模式模擬結果

本個案選取了 1999 年 01 月 26 日 06Z ~12Z 的氣象預報場，模擬核二廠附近之連續排放源的擴散現象。由在離地面 50 公尺高度的模擬結果，吾人發現與個案五同樣是東風型態，不過本個案的近地風速較強，因此在大屯山前並沒有產生因逆流而生成的輻合帶，同時繞流現

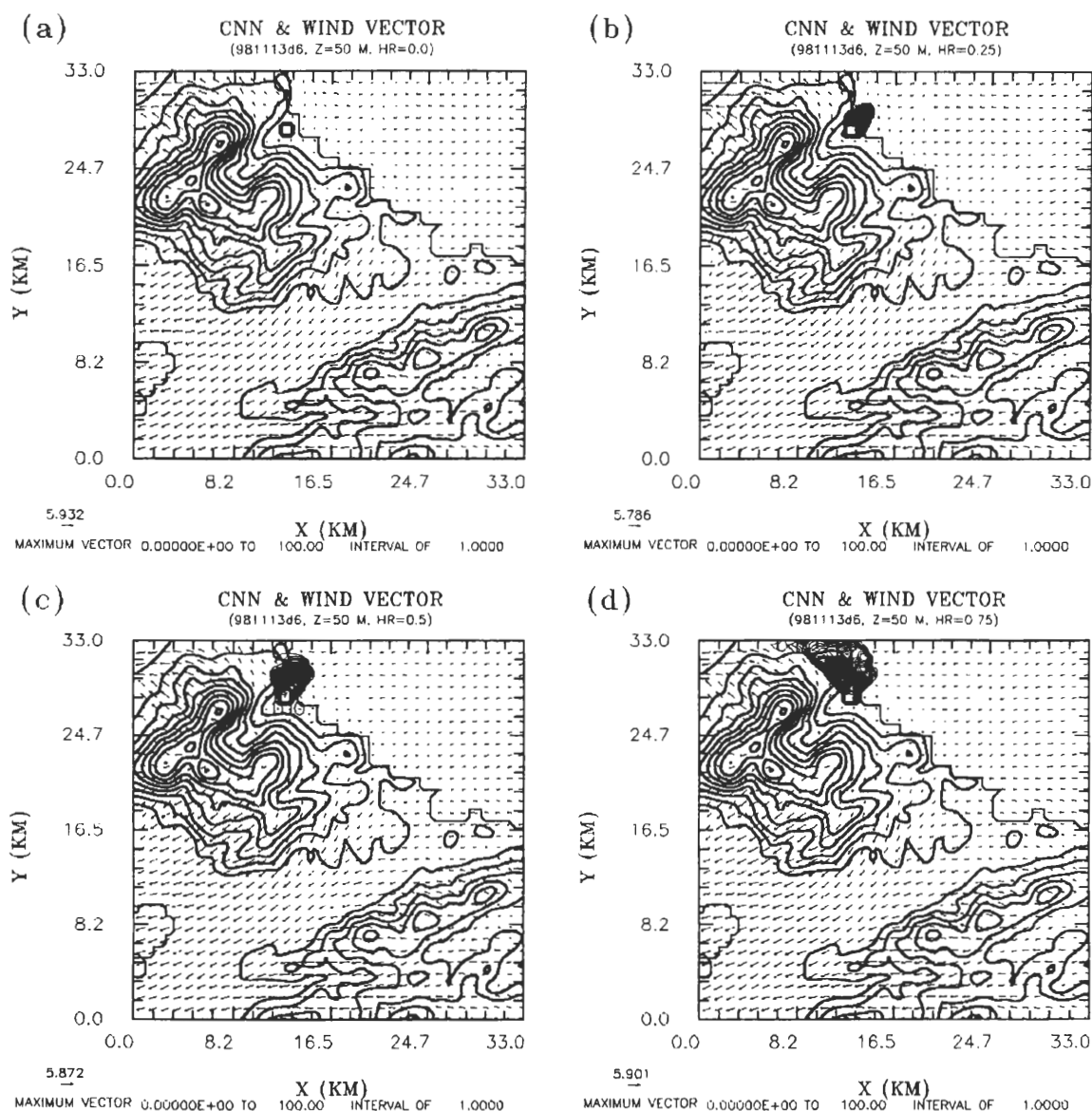


圖 16 CASE 5 在高度 50 公尺處的各個時間模擬後的濃度分佈圖。(a)起始濃度圖、(b) 0.25 小時、(c) 0.5 小時、(d) 0.75 小時。

象亦較不明顯，部分氣流可以直接越過山大屯山頂。由於廠區近地風速比較強，污染物開始排放後，即隨著東風往西傳送，且很快流出網域六（圖未示）。對此個案，吾人亦進行網域五的模擬研究，模擬結果示於圖 17。由於環境風場為較強東風，絕大部分污染物被傳送出大

屯山區後，受到大屯山背風渦旋所形成東南風主控，污染濃度沿著海岸被傳送至桃園外海（圖 17d）。大屯山東南側之基隆河谷形成渠道作用，使大部分越過雪山山脈前緣之氣流加速，在盆地西側與大屯山背風渦旋合流，形成強勁離岸東風，此阻卻作用使污染濃度無法進入大台北地區。



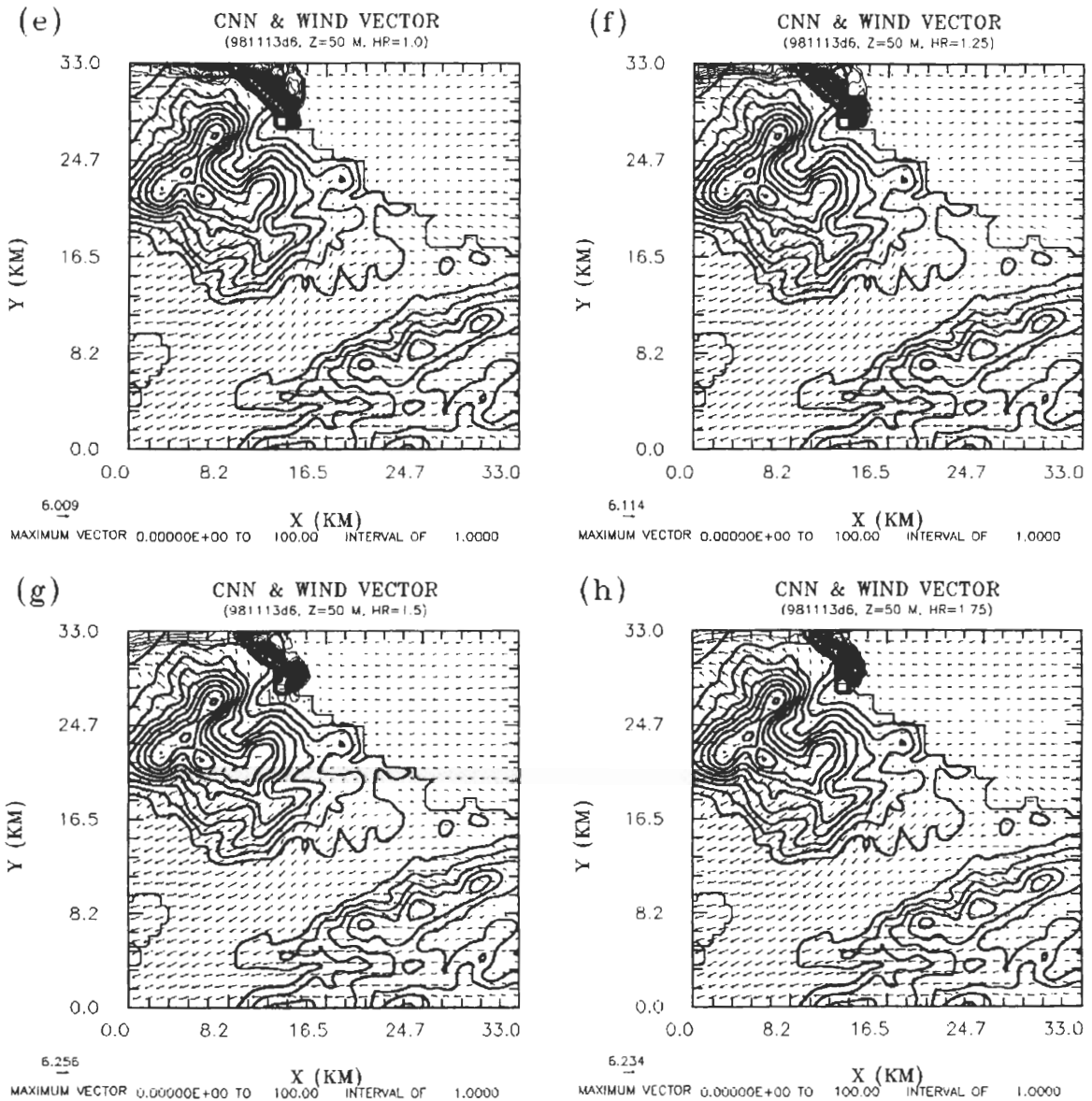


圖 16(續) CASE 5 在高度 50 公尺處各個時間模擬後的濃度分佈圖。(e) 1 小時、(f) 1.25 小時、(g) 1.5 小時、(h) 1.75 小時。

#### (四) 與高斯擴散之比較

由前面的模擬結果發現，污染源排放後，受到大台北地區的複雜氣象場影響，污染物的擴散情形，只有在短時間內呈現高斯分佈（如

圖 9），當時間較長時，濃度經過複雜氣流地區已不呈現高斯擴散分佈，因此自是不宜使用高斯擴散模式來評估。為了解與高斯擴散的差異，吾人以個案四為例，以排放點核二廠址(39，85)，以及初始時間（下午 2 點）的各項參數進

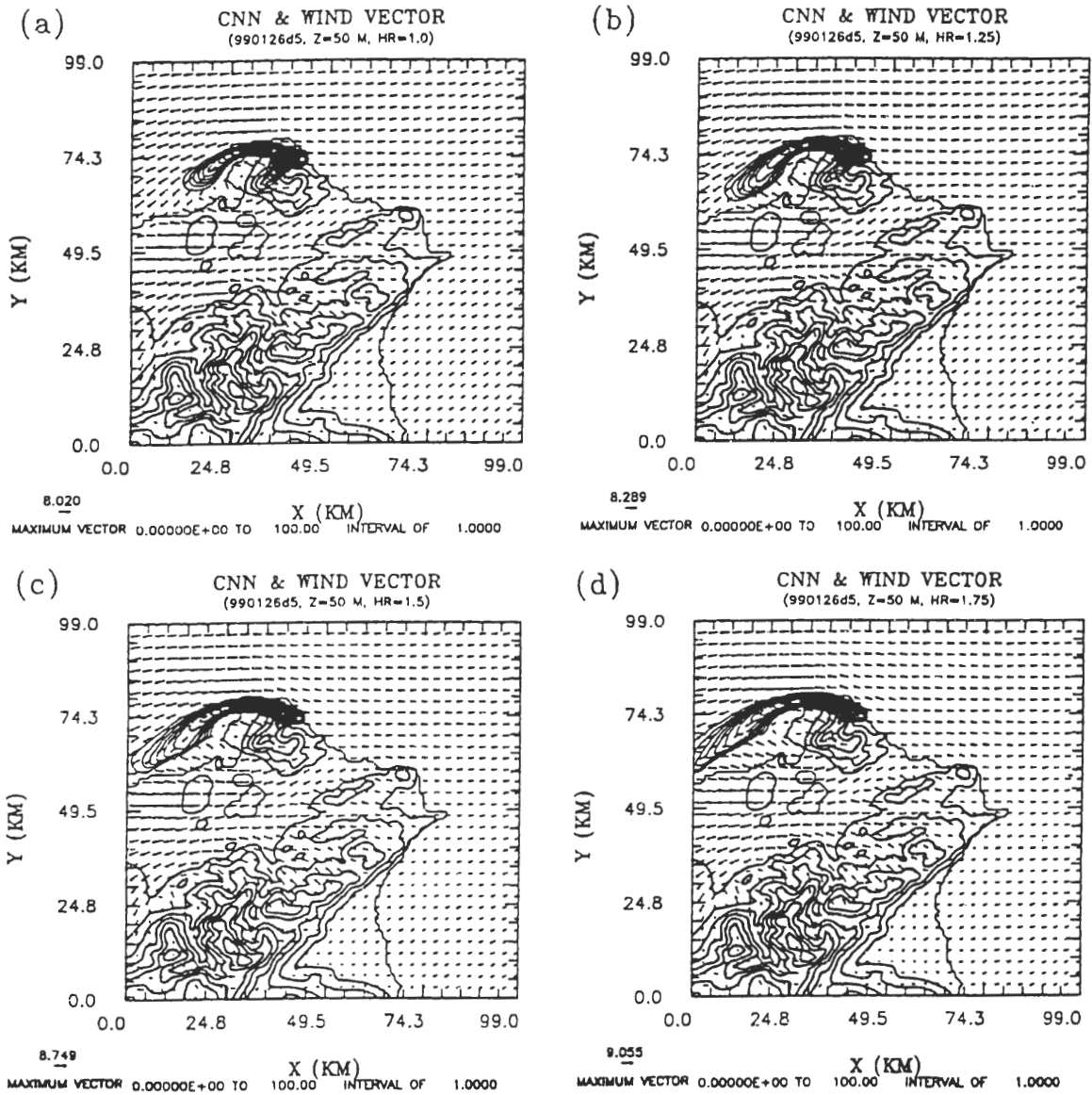


圖 17 CASE 6 在高度 50m 處各個時間模擬後的濃度分佈圖。(a) 1 小時、(b) 1.25 小時、(c) 1.5 小時、(d) 1.75 小時。

行高斯擴散分佈的計算。若考慮一個煙流(plume)型式，其穩態時的高斯分佈濃度 (USEPA, 1994) 為

$$\bar{c}(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\bar{u}\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (4)$$

$$\text{其中 } \sigma_y = \left( \frac{2K_y x}{\bar{u}} \right)^{1/2} \text{ and } \sigma_z = \left( \frac{2K_z x}{\bar{u}} \right)^{1/2}$$

$\bar{u}$  為污染源之平均風速， $x$  為與煙流點源之距離， $Q$  為煙流排放強度（單位時間內釋出之質量）， $\sigma_y$  與  $\sigma_z$  分別為水平與垂直擴散尺度參數， $K_y$  與  $K_z$  分別為水平與垂直亂流擴散係數， $H$  為有效排放高度。

由於本文之初始排放源並非點源，且濃度為假設性相對濃度單位，本文模擬結果並不容易與上述高斯分布公式作定量比較，因此只在亂流擴散尺度參數上討論。圖 18 為模式  $\sigma_y$  與  $\sigma_z$  值，所用  $x$  為與源點(核二廠)的距離，每 100 公尺取一點，計算至離源點 20 公里之  $\sigma_y$  與  $\sigma_z$  的值(即共 200 點)。由圖所示，此  $\sigma_y$  與  $\sigma_z$  值大約與使用 Briggs 半經驗法在相當不穩定的大氣條件（即 A 級）下之推估值相當。當污染物呈現高斯分佈時，中間濃度值最高，往兩邊遞減，當外圍污染物濃度降為約 10% 時，污染帶的寬度大約是  $4.3\sigma_y$ （半寬為  $2.15\sigma_y$ ）。以圖 14b 為例，當污染物排放 15 分鐘後，污染帶大約延伸了 3.075 公里，此時其  $\sigma_y$  約等於 210 公尺，因此污染帶寬約 1000 公尺左右，而由圖 14b 我們可以大略估計污染帶寬與初始排放點等寬(1 公里)。污染排放 30 分鐘後(圖 14c)，此時污染物最前緣已有些偏轉，不過整體仍呈高斯分佈型態，因此吾人以污染帶剛過七星山右方較低山脈的地方進行比較，此時污染物離源點大約 7.6875 公里， $\sigma_y$  為 315 公尺，因此污染帶寬度大約是 1500 公尺左右(即 5 個格點)，與圖 14c 的結果仍一致。至於垂直方向上，煙流在可反射地面上，其污染物擴散的垂直高度等於煙囪高度加上  $\sigma_z$ （本個案則屬

近地面源)，所以當排放 15 分鐘後(3.075 公里處)，此時  $\sigma_z$  約為 150 公尺，表示污染物可傳送至地面上 200 公尺，當煙流繼續傳送時，由圖 18 吾人可以發現  $\sigma_z$  趨近於 450 公尺，即污染物大略傳送至高度 500 公尺處。

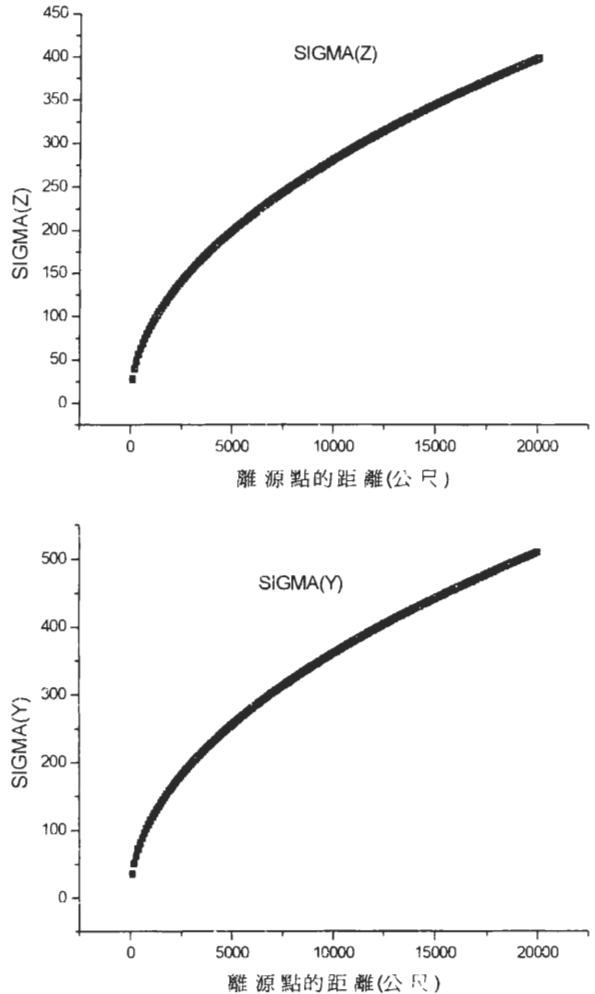


圖 18 高斯擴散中  $\sigma_y$  與  $\sigma_z$  的圖。

就短時間內之擴散而言，上述動力擴散模式模擬結果與高斯擴散分佈情況差異似乎不大。若僅考慮廠區附近短時間（如30分鐘內）及短距離（如10公里內）之擴散現象，在較強

勁環境風速下（避免回流），仍可以高斯擴散模式來作預報，畢竟這是最快速、最簡易的評估工具之一。當排放時間超過30分鐘時，由於遠離點源平均風場及亂流場已有變化，污染物傳送方向已轉向，其濃度值已不似高斯分佈，則必須使用動力擴散模式，因此不可避免地需要高解析度的氣象預報模式。

## 五、結論與展望

本文利用 MM5 氣象模式進行北台灣地區真實個案的高解析度模擬與分析，再結合大氣動力擴散模式(CUMM)，進行核廠空污事件模擬，而模擬範圍地區，以大台北擴散區及台北核安區為主要示範。黃與莊（1993）過去雖曾使用中尺度擴散模式對冬季盛行季風下北台灣核能擴散過程進行探討，但模擬個案為理想化氣象條件，且水平解析度僅 10 公里，無法提供鄉鎮級尺度資訊。為了配合高解析度之需求，MM5 氣象模式模擬的區域採用五層巢狀網域及六層巢狀網域，後者水平解析度已高達 333 公尺，雖然仍無法解決瞬間點源污染擴散，但混合體積源已相當接近於核廠源區，基本上大煙囪擴散可以由模式初始場模擬之。透過此方式，吾人可以在 MM5 的氣象場模擬時間內，選取研究及預報興趣的任何時間與地點進行空氣污染物的擴散模擬。由第五網域與第六網域模擬，吾人發現此高解析度的氣象模擬，顯示北台灣地區的非常詳細流場及邊界層發展特性。在污染物擴散現象方面，細微的流場，使不同污染源在台北盆地所造成的影響有高度的敏感性。本文高解析度的擴散模擬顯示，大屯山區的擴散現象呈現非常細微的地形效應。在

冬季東北風的個案(96/12/01)，核一廠、核二廠的污染物大約在 2 小時後就會進入到台北盆地，而濃度大約是百分之一，其中核一廠的連續排放源污染物在排放後 30 分鐘已進入台北市南港、中山區一帶，之後經由向西轉向，繞過大屯山區，2 小時後延伸至林口一帶。而在本文的個案中，由於盛行風向關係，核四廠的污染物並沒有擴散至台北盆地。

在北風的個案(98/11/09)中，吾人發現核二廠污染物排放後，經過 45 分鐘已到達南港、松山區，而 1 小時後則到達古亭、永和。而在東風個案中(98/11/13、99/01/26)，污染物的傳遞現象幾乎都是繞流過大屯山區，被流場帶往桃園、中壢外海一帶。由於盆地內雪山山脈下沉氣流及大屯山背風渦旋，產生合流並外流出海，繞行之污染濃度受此地形流阻卻，不易進入台北盆地。這些模擬結果顯示，具明顯北風分量之天氣，對於下游大台北地區之污染情況較為嚴重。MM5 之預報必須能成功模擬此區之盛行風向，這與 MM5 綜觀天氣之模擬能力息息相關。一般而言，在 48 小時內之預報模擬，MM5 已具有相當良好的掌握能力。另外，擴散模擬結果顯示，下游之繼續擴散與局部環流場之演變有密切關係，本文所比較之上游風場模擬吻合度較高，而下游風場（盆地內）模擬吻合度較低，顯示 MM5 模式即使採用高解析度網格，仍須透過資料同化過程，導入局部觀測之影響以成功模擬局部環流之演變。

本研究除了對北台灣的污染擴散提供精細的解析，未來擬將此擴散模組應用於污染事件（如核廠擴散）之即時預報。雖然 MM5 模式可以無限制地以巢狀方式模擬出解析度非常高（小於 100 公尺）的氣象流場，然而此舉必須

使用至少 7 層巢狀網域，並不利於即時作業之需求。有一折衷方法，為利用較粗網域的氣象場以數學方式直接插分至細網域，再由變分方法，求取滿足流體連續方程的平衡風場(詳見黃，2001)，以提供基本氣象資訊。但此法須求解地形座標下之二階偏微分方程式，並非本文目前之研究範圍，未來將列為發展的模組之一。

## 致 謝

本研究在國科會專案研究計畫編號 NSC 90-2111-M-008-039-AGC 及 NSC 90-2111-M-008-040-AGC 支持下完成，在此致上謝意。

## 參考文獻

- 王永壯，1996：台灣北部海岸複雜地形下局部環流與大氣擴散之研究，國立台灣大學大氣科學研究所博士論文，共 202 頁。
- 黃清勇，2001：污染事件時預測模式系統之發展：高解析度大氣邊界層擴散模式應用。行政院國家科學委員會專題研究報告，共 160 頁。
- 黃清勇，1998：南高屏地區空氣污染總量管制研究－D3 子計畫：大氣邊界層水氣分布模擬之研究，環保署研究計畫報告，EPA-87-FA42-03-F5，290 頁。
- 黃清勇、李坤城，1998：區域空氣擴散數值模式之應用研究。大氣科學，25，511-546。
- 黃清勇、莊銘棟，1993：盛行東北季風下北台灣核能電廠附近污染物擴散之數值研究。大氣科學，21，101-124。
- 喬森、黃清勇與郭英華，1996：黛特 Dot 颱風的 MM5 數值模擬。大氣科學，24，123-144。
- 張良輝，1994：雙向巢狀網格程序之發展及其在空氣品質模擬應用之研究。國立台灣大學環境工程研究所博士論文。
- 蔡清彥，1987：台灣北部地區局部環流之研究。大氣科學，15，179-197。
- 吳俊傑、林沛練，2000：南高屏地區空氣污染總量管制研究－B3 子計畫：氣象之模擬之模擬應用及觀測數據驗證，環保署研究計畫報告，EPA-89-FA11-03-101，168 頁。
- Anthes, R. A. and T. T. Warner, 1978 : Development of hydrodynamical models suitable for air pollution and other mesometeorological studies. *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1045-1078.
- \_\_\_\_\_, E. -Y. Hsie, and Y. H. Kuo, 1987 : Description of the Penn State /NCAR Mesoscale Model Version 4 (MM4). *NCAR/TN-282+STR*, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 66 pp.
- Businger, J. A., J. C. Wyngaard, Y. Izumi, and E. F. Bradley, 1971 : Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. *J. Atmos. Sci.*, **28**, 181-189.
- Dudhia, J., 1993 : A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model : Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 1493-1513.
- Grell, G. A., 1993 : Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterization. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 764-787.
- Huang, C. Y., 1993 : A study of high-order advection scheme in variable resolution. *TAO*, **4**, 421-440.
- Huang, C. Y., 1994 : Semi-Lagrangian advection scheme and Eulerian WKL algorithms. *Mon. Wea. Rev.*, **122**, 1647-1658.
- Mellor, G. L. and T. Yamada, 1982 : Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problem. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **20**, 851-875.

- Segal, M., R. A. Pielke, R. W. Arritt, M. D. Moran, C. H. Yu, and D. Henderson, 1988 : Application of a mesoscale atmospheric dispersion modeling system to the estimation of  $SO_2$  concentration from major elevated sources in southern Florida. *Atmos. Environ.*, **22**, 491-508.
- Smolarkiewicz, P.K., and R. Rotunno, 1989: Low Froude number flow past three-dimensional obstacles. Part I : Baroclinically generated lee vortices. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 1154-1164.
- USEPA, 1994 : A Revised User's Guide to MESOPUFF II (V5.1), EPA-454/B-94-025.

# **An Integrated Application of MM5 Mesoscale Model and Air Dispersion Model : A Study of Pollutant Dispersion from Nuclear Power Plants**

**C.-Y. Huang      P.-C. Chuang**

**Department of Atmospheric Sciences, National Central University**

**( manuscript received 08 April 2002 ; in final form 05 September 2002 )**

## **ABSTRACT**

This study utilizes mesoscale numerical model MM5 to simulate real weather cases and then combine atmospheric dispersion model for study for finite-volume pollutant sources. This paper investigates the characteristics of circulation and pollutant dispersion with simulation focuses on northern Taiwan and metropolitan Taipei area with model resolutions of 1000 m and 333 m respectively. The high-resolution simulation results show very detailed planetary boundary layer (PBL) characteristics in relation to terrain effects under prevailing northeasterly wind. At higher elevation of the terrain, the PBL height in this area during the nighttime is lower and its variation primarily reflects the terrain height contour as the prevailing wind is nearly northeasterly. However, as the upstream environmental wind shifts to be more easterly, the PBL height is apparently modified by local terrain circulation with an extreme low value in the Taipei Basin and downwind of the Tar-Tun Mountain. The high-resolution dispersion simulation results indicate that the air pollutants from Nuclear Power Plants 1 and 2 enter Taipei and reach the western basin after 2 h with the concentration reduced to one-hundredth in the case of prevailing northeasterly wind. The pollutants also contaminate Taipei City in the case of prevailing northerly wind but tend to have larger impact on its eastern part as well as the southwestern part later due to the recirculating flow of the mountain lee vortex. In the case of more easterly prevailing wind, pollutants are transported mainly by the turning flow around the Tar-Tun Mountain and most are carried to the offshore region of Tuo-Yuan and Chung-Li. Due to the resistance of the confluent flow from the lee vortex of the Tar-Tun Mountain and the easterly downslope wind of the Shei Mountain Range, the pollutant concentration doesn't tend to penetrate into the basin under the condition of more easterly synoptic wind. This study has demonstrated the feasibility of the combined application of MM5 model and dispersion model that may be helpful for high-resolution simulation in local regions to understand emergent dispersion processes of nuclear or general air pollutants and are sharable as a tool of real-time operation.

**Key words : Mesoscale Meteorological Model MM5 , Dynamic Air Dispersion Model , Atmospheric Planetary Boundary Layer Model.**