

南部地區地形與邊界層結構對局部環流結構之模擬

¹宋偉國、²巫美儀、¹李精進、¹陳益盛、¹陳建達

¹空軍航空技術學院軍事氣象系、²空軍航空技術學院戰航管氣象組

摘要

台灣南部高雄地區背山面海，境內工業林立，冬季期間持續存在空氣品質高污染現象，局部環流可能對於高屏地區空氣品質傳送過程可能扮演重要角色。由於高屏地區面積僅約幾十公里，傳統氣象資料無論空間解析度或時間解析度均無法分析局部環流演變過程，且高雄地區局部環流與地形、邊界層特性等等的相關性，亦非氣象傳統觀測資料所能解析，運用氣象數值模式為一可選擇的方式。本研究選取 1998 年 2 月 11 日南高屏空氣污染個案模擬，以 MM5 與空氣污染模式 CAMx 結合，探討地形、局部環流與空氣污染特徵相關性。本個案為高壓迴流天氣型態，南部 2 月 11 日清晨為東北風，早上仍為東北風，下午各地海風效應顯著，風向轉為西北風，夜間則轉為北風或東北風。高雄地區風速均很小，相對於 PM10 濃度而言，11 日清晨有較高濃度，早上濃度略降，中午恢復高濃度，下午以後則濃度持續

減少。本個案綜觀環境微弱下，清晨至早上均為微弱東北風，利於污染物濃度堆積。同時，早上工業與交通均較清晨活躍，污染物本身排放量亦較清晨升高，使 PM10 濃度於清晨至早上均有較高濃度。下午風場轉為西北風，污染物濃度持續下降中，此可能是下午邊界層垂直發展所致。CAMx 模擬 PM10 結果顯示，清晨濃度持續往東南移動，南高雄地區具有高污染區，此與環保署監測站一致，此時風向為東北風，顯係風場將污染物往東南傳送。11 日 1200 時以後，污染物分布轉為西北-東南走向，此時風向轉為西北風，透過風的傳送過程，使屏東、潮州、大寮一帶形成高污染物分布。

一、前言

台灣南部高雄地區背山面海，境內工業林立，冬季期間持續存在空氣品質高污染現象，局部環流可能對於高屏地區空氣品質傳送過程可能扮演重要角色。由於高屏地區面積僅約幾十公

里，傳統氣象資料無論空間解析度或時間解析度均無法分析局部環流演變過程，且高雄地區局部環流與地形、邊界層特性等等的相關性，亦非氣象傳統觀測資料所能解析，運用氣象數值模式為一可選擇的方式。美國 NCAR 發展的 MM5，其動力過程與物理項相當完整，香港、美國空軍、民航局等作業單位均採用 MM5 作為作業模式(Chien, 1997; Farrar et. al., 1999 ; Yang, 1999)，並將 MM5 結合於空氣污染模式(Grell et. al., 1999; Powers and Hess, 1999; McHenry, 1999)。林(1999)、吳與林(2001)選取南高屏空氣污染個案模擬，均顯示 MM5 可以相當合理模擬高污染個案，顯示透過 MM5，可以模擬微氣象氣流特徵，對於空氣品質的預報將有顯著幫助。本研究即在探討高雄地區局部風場對空氣污染傳送過程之影響性，採用 MM5 與 CAMx 模式結合後，模擬 1998 年 2 月 11 日空氣高污染事件日個案，分析南部局部環流對空氣污染物分布之相關性。

二、資料處理與模式選用

本研究選取 1998 年 2 月 11-12 日高壓迴流之天氣型態，

探討高雄地區環流的分布。以中央氣象局與環保署地面觀測每小時風場、溫度、露點資料，進行局部環流的分析，並以環保署空氣品質監測站的 PM10 濃度作為空氣污染指標，達到 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上的地區即定義為高污染區，分析 PM10 濃度變化。模式 MM5 包含四層巢狀網格模式，地形解析度最高達 1 公里，由 MM5 內含資料庫提供，地表特徵亦為 MM5 所內定，但解析度只有約 10 公里，經由模式內插為 1 公里。
三、綜觀天氣與局部環流特徵

1998 年 2 月 11 日 0200LST 時(圖 1)，南高屏地區 PM10 濃度多數達 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上，之後高濃度範圍逐漸減小(圖略)，0800LST 則僅剩林園站濃度達 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (圖略)。1000-1200LST 沿海附近各站濃度又升高至 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上(圖略)，1400LST 以後 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上高濃度區域範圍縮小(圖 2)，至 2000LST 以後多數測站濃度持續下降(圖略)，此顯示 PM10 濃度有顯著日夜變化，清晨濃度高，日出時略為減少，中午以後 PM10 持續維持高濃度，下午至夜間則濃度持續減

少。1998年2月11日0000UTC時，綜觀天氣系統顯示(圖略)，冷高壓中心位於45N以北，高壓伴隨的顯著氣壓梯度力範圍僅限於30N以北，分裂高壓已東移至日本附近，華南與台灣地區處於高壓迴流範圍，台灣地區風場相當微弱。2月12日0000UTC時(圖略)，台灣仍在高壓迴流範圍，台灣風場介於東南風與西南風之間，風速仍相當微弱。台灣地區地面風場顯示，2月11日0200LST台灣各站風速相當微弱(圖略)，在2m/s以下，各區溫度均在16-18°C間，除東部地區有陸風現象外，其餘各區陸風並不明顯，高雄為弱北風。2月11日0800LST時(圖略)，台灣北部與南部有顯著向岸風，南部白天溫度約在19°C附近，各地均無降雨量，高雄已轉為東北風，風速微弱。2月11日1400LST時(圖略)，台灣各地有顯著向岸風，中南部白天各地溫度約在23-25°C附近，高雄已轉為西北風，風速仍微弱。2月11日2000LST時(圖略)，台灣各地有顯著陸風，中南部白天各地溫度約在20-22°C附近，高雄地面風已轉為東北風，風速仍微弱。環保署南部地區風

場顯示，2月11日清晨0200LST部分地區為微弱西北西風，部份為弱東北風(圖3)，0800LST各站多為微弱東北風(圖略)，白天1400LST地面溫度高達28°C(圖略)，風向轉為西北風，夜間2000LST為北風或東北風(圖略)。

本個案為高壓迴流天氣型態，南部2月11日清晨為東北風，早上仍為東北風，下午各地海風效應顯著，風向轉為西北風，夜間則轉為北風或東北風。高雄地區風速均很小，相對於PM10濃度而言，11日清晨有較高濃度，早上濃度略降，中午恢復高濃度，下午以後則濃度持續減少。本個案綜觀環境微弱下，清晨至早上均為東北風，綜觀天氣則有西南風出現，可能與高雄的東北風形成輻合區，利於污染物濃度堆積，加上風速微弱，使污染物不易擴散。同時，早上工業與交通均較清晨活躍，污染物本身排放量亦較清晨升高，使PM10濃度於清晨至早上均有較高濃度。下午風場轉為西北風，污染物濃度持續下降中，此可能是下午邊界層發展所致。

四、模式模擬結果

數值模式 MM5 CNR 第二層巢狀網格，水平間距 9*9 公里的地面風場預報顯示，2 月 10 日 2000LST 初始場南部地區均為東北風(圖略)，預報六小時後(圖略)，即 11 日 0200LST 台灣中南部有顯著陸風現象，台灣兩側海面均為顯著東北風，但中南部風速仍很弱，高雄地區為西北風，此與實際觀測一致。11 日 0800-1400LST 之預報十二至十八小時(圖 4)，高雄地區風速相當弱，風向仍為西北風或北風，此與氣象局高雄站風場一致。模式預報二十四小時後(圖略)，即 2 月 11 日 2000LST 時，中南部地區仍為微弱西北風。模式模擬之邊界層高度變化顯示，模擬十二小時時(圖略)，即 2 月 11 日 0000UTC (0800LST)，南部地區邊界層在 100 公尺以下，此與東港觀測邊界層高度相符(圖略)。模擬十八小時時(圖 5)，即 2 月 11 日 0600UTC (1400LST)，南部地區邊界層高度 200-400 公尺，模擬二十四小時時(圖略)，即 2 月 11 日 1400UTC (2000LST)，南部地區邊界層下降至達 100 公尺以下，此與觀測結果一致(圖略)。模擬三十六小時時(圖略)，即 2 月

11 日 2000UTC (12 日 0200LST)，南部地區邊界層幾乎不存在。顯示南部地區邊界層高度有顯著日夜變化，早上太陽出來時，邊界層高度仍低，下午邊界層透過熱力過程垂直上下混合，邊界層發展至 400 公尺，夜間地面溫度下降，大氣溫度垂直分佈趨於穩定，邊界層幾乎不存在。

本個案於高壓迴流環境下，有顯著的海陸風分布，清晨與夜間為東北風，下午為西北風，PM10 濃度顯示，清晨風速很弱時，污染物濃度高，隨著白天西北風發生時，高污染濃度分布於大寮、潮州、屏東等區(2 月 11 日 13-17 時)，高雄沿海濃度則持續降低，夜間則風向轉為東北風情形下，高雄沿海濃度持續升高起來(2 月 11 日 21-23 時)。CAMx 模擬 PM10 結果顯示，PM10 濃度在 11 日凌晨開始發展(圖 6)，並且持續發生到清晨 6 時，濃度持續往西南移動，南高雄地區具有高污染區，此與環保署監測站一致(2 月 11 日 1-7 時)，此時風向為東北風，顯係風場將污染物往西南傳送。當早上 8 時高雄市附近懸浮微粒濃度有逐漸上升的

趨勢，此時受到上班時車輛較多及附近工業區排放量的影響，污染物排放增加，造成懸浮微粒累積，到 10 時左右(圖 7)，太陽加溫使得混合層厚度快速發展，懸浮微粒濃度開始減少，到下午 4 時(圖 8)，由於日照強度變弱有得混合層厚度逐漸減少又加上下班期間車輛漸增，懸浮微粒濃度又開始上升。另外，11 日 1200 時以後，污染物分布轉為西北-東南走向，此時風向轉為西北風，透過風的傳送過程，使屏東、潮州、大寮一帶形成高污染物分布，此亦與環保署監測站結果一致。到晚上 10 時，混合層厚度減少，不利污染物擴散，造成懸浮微粒累積，濃度擴展至整個高雄市。

從懸浮微粒濃度場的分佈現象判斷，懸浮微粒高濃度一開始在高雄市附近(小港、鳳山附近)生成，由於混合層厚度較低，在高雄市周圍懸浮微粒濃度有逐漸累積升高的現象，由圖可以了解西北風對高雄市污染物的擴散影響顯著，且混合層厚度低情形下，導致污染物濃度的累積。

五、結論

本個案為高壓迴流天氣型態，南部 2 月 11 日清晨為東北

風，早上仍為東北風，下午各地海風效應顯著，風向轉為西北風，夜間則轉為北風或東北風。高雄地區風速均很小，相對於 PM10 濃度而言，11 日清晨有較高濃度，早上濃度略降，中午恢復高濃度，下午以後則濃度持續減少。本個案綜觀環境微弱下，清晨至早上均為東北風，綜觀天氣則有西南風出現，可能與高雄的東北風形成輻合區，利於污染物濃度堆積，加上風速微弱，使污染物不易擴散。同時，早上工業與交通均較清晨活躍，污染物本身排放量亦較清晨升高，使 PM10 濃度於清晨至早上均有較高濃度。下午風場轉為西北風，污染物濃度持續下降中，此可能是下午邊界層發展所致。CAMx 模擬 PM10 結果顯示，清晨濃度持續往東南移動，南高雄地區具有高污染區，此與環保署監測站一致，此時風向為東北風，顯係風場將污染物往東南傳送。11 日 1200 時以後，污染物分布轉為西北-東南走向，此時風向轉為西北風，透過風的傳送過程，使屏東、潮州、大寮一帶形成高污染物分布，此亦與環保署監測站結果一致。

參考文獻

1. 吳俊傑、林沛練，2001：南高屏地區空氣污染總量管制規劃—空氣品質模式組 B3 子計畫氣象模式之模擬應用及觀測數據驗證期末報告，行政院環境保護署，170 頁。
2. 林沛練，1999：南高屏地區空氣污染總量管制規劃 2 子計畫 MM5 氣象模式模擬及四維同化期末報告，行政院環境保護署，137 頁。
3. Chien, F.-C., 1997: Real-time MM5 modeling for the Taiwan area. The 7th PSU/NCAR Mesoscale Model Users Workshop, 108-109.
4. Farar Major M. , 1999: Operational MM5 mesoscale modeling at Air Force Weather Agency : current status future plans, The 9th PSU/NCAR Mesoscale Model Users Workshop, 39-41.
5. Grell G.A. , S.Emeis , and W.R.Stockwel, 1999:
- Application of a coupled MM5-chemistry model : simulation of a mountain-valley wind system , The 9th PSU/NCAR Mesoscale Model Users' Workshop, 11-15.
6. McHENRY J.N. , 1999: Real-time nested mesoscale forecasts of lower tropospheric ozone using a highly optimized coupled model numerical , The 9th PSU/NCAR Mesoscale Model Users Workshop, 24-27.
7. Powers J.G. and P.G.Hess, 1999: Application of a coupled MM5-chemistry transport model system to the stereo experiment , The 9th PSU/NCAR Mesoscale Model Users Workshop, 16-23.
8. Yang M.J., 1999: Precipitation parameterization in a simulated Mei-Yu Front, The 9th PSU/NCAR Mesoscale Model Users Workshop, 46-49

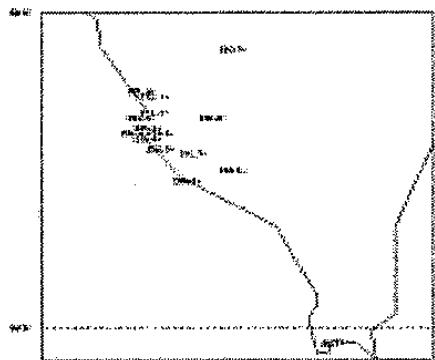


圖 1 1998 年 2 月 11 日 0200LST PM10
濃度分布

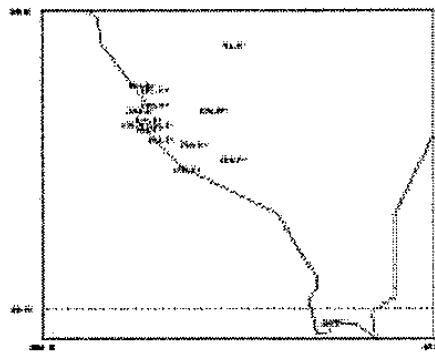


圖 2 1998 年 2 月 11 日 1400LST
PM10 濃度分布

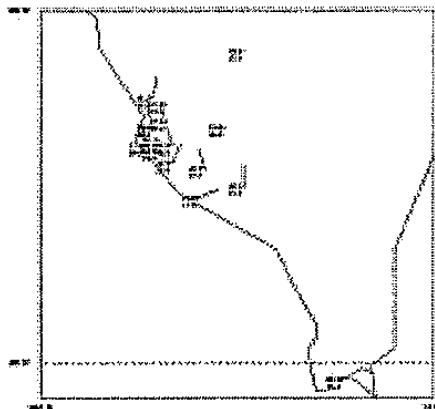


圖 3 1998 年 2 月 11 日 0200LST
南部地區風場(長桿 10m/s, 短
桿 5m/s)、溫度場(中標 °C)、露
點(下標 °C)分布

圖 4 模式模擬十八小時之 1998 年 2 月
11 日 0600UTC (11 日 1400LST)台灣地區

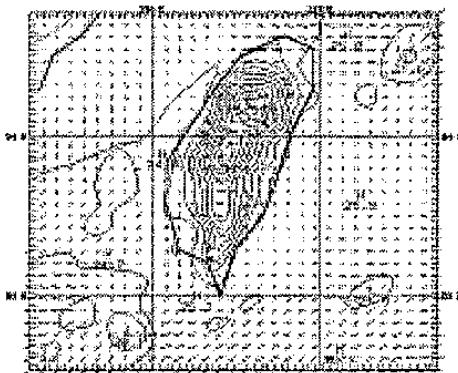


圖 4 模式模擬十八小時之 1998 年 2 月
11 日 0600UTC (11 日 1400LST)台灣地區
風場(箭頭長短表示風速大小, 比例見於
圖右下角)、溫度場(2°C)分布

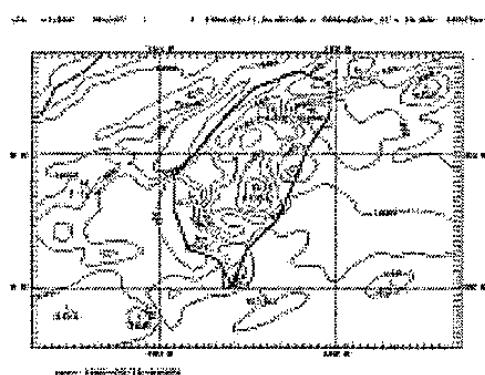


圖 5 模式 CNR 二十四小時之 1998 年 2
月 11 日 1200UTC (2000LST)台灣地區
邊界層高度(200m)

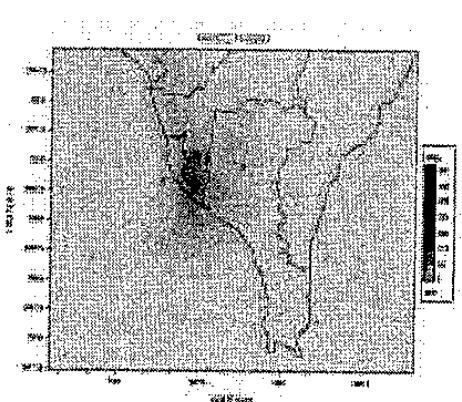


圖 6 1998 年 2 月 11 日 0200LST 懸浮
微粒濃度隨時間變化分佈圖

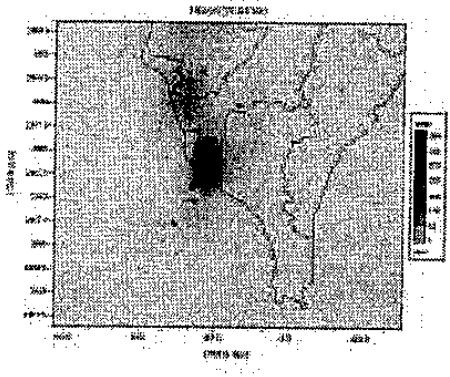


圖 7 1998 年 2 月 11 日 1000LST 懸浮
微粒濃度隨時間變化分佈圖

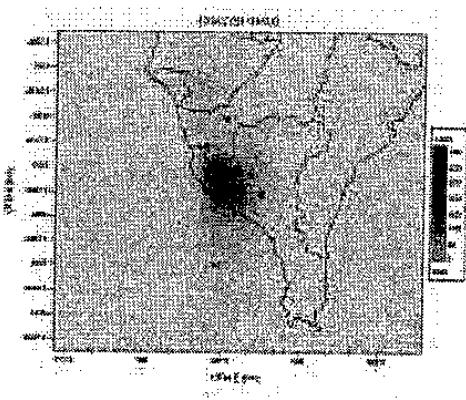


圖 8 1998 年 2 月 11 日 1600LST 懸浮
微粒濃度隨時間變化分佈圖