

邊界層效應對懸浮微粒傳輸影響性之研究

宋偉國¹、石琦堅²

¹ 空軍航空技術學院

² 空軍氣象聯隊氣象中心

摘要

本文運用高斯擴散模式與網格空氣汙染模式，模擬高雄地區懸浮微粒擴散情形，高斯擴散模式，透過汙染源排放條件、邊界層高度、穩定度類別，以及風速、風向值輸入，求出地面濃度隨時間擴散情形。模式所使用邊界層高度係由中尺度準靜力模式模擬結果，顯示不同時間，邊界層高度有顯著變化。另外，同一時間邊界層高度亦因受地形影響而有不同。擴散模式分別設定風為東北風與西南風，模擬煙團擴散情形，並在不同邊界層高度情況下，模擬煙團濃度差異，結果顯示不同邊界層高度對煙團有重要影響。透過2018年10月22日實際個案分析，高雄都會區濃度主要仍與移動汙染源之汽機車有關，自尖峰時間出現高濃度值，之後隨時間濃度下降。本個案對懸浮微粒之模擬，透過WRF與CAMx模式模擬，顯示模擬風場與實際觀測接近，PM10濃度則模擬隨時間增加，此與觀測結果不同，模式引進三維同化後，結果改善許多，顯示提供更精確氣象條件，對於PM10濃度的掌握很重要。如何正確觀測邊界層高度，受限於高空資料缺乏，未來透過無人觀測載具、氣象聯隊發展之剖風儀，修正模式邊界層高度的推估，預期對高雄地區汙染物濃度預報有顯著貢獻。

關鍵字：懸浮微粒，WRF模式、CAMx模式、邊界層

壹、前言

大氣邊界層是指紊流影響高度的範圍，邊界層受地形摩擦力影響，引發的風切紊流，以及地面熱力效應產生的熱力紊流，使邊界層熱量、水汽量以及動量有效地上下傳送，這種邊界層影響範圍可達

1000多公尺，甚至可以影響自由大氣環流結構，也對於對流系統的發生以及空氣汙染有顯著影響。邊界層特性與地表特徵、地形高度有密切關係，台灣地區四面環海，又有中央山脈佔全島三分之二面積，

海陸風效應以及地形效應下，邊界層特性值得進一步探討。

貳、資料收集與處理

本文收集環保署空氣品質站風場、溫度、濕度、懸浮微粒資料，分析個案懸浮微粒分布情形。氣象模式採用中尺度準靜力模式及WRF模式，中尺度準靜力模式介紹如宋等 [7]所示，該模式優點是計算快，模式內部物理過程容易診斷。中尺度模式採用理想模擬方式，初始風場為東北風或西南風，溫度場則海溫設為常數300K，陸地地面溫度則隨日出/日落而升高/降低，以正弦函數表達地面溫度日夜變化。模擬範圍為全省，水平網格點數為35*55，解析度9公里，座標起始點為UTM座標(72000，2330000)，模式範圍如圖1。WRF模式則是實際個案模擬，選取2018年10月22日，並採用三維變分同化方式加入觀測資料模擬。空氣污染模式方面採用二種模式，第一種為高斯擴散模式，模擬單點污染源之懸浮微粒隨時間演變情況，模擬水平解析度分別1km, 5km情況。第二類為網格點空氣污染模式CAMx6.5，該模式前置處理包含污染源排放資料、氣象條件，氣象條件為WRF模擬的輸出值，WRF模擬之水平解析度為45km，CAMx6.5水平解析度則為9km，不同模式所用之解析度各有不同，擴散模式最小可達1km，中尺度模式、CAMx模式為9km，

WRF則45km，主因是電腦資源受限，故針對不同科學議題有不同的水平解析度之設定。

參、邊界層模擬及與空氣污染擴散分析

本文先以理想狀況下模擬擴散情形，煙流排放高度設定為10公尺高度，排放源在座標中心，以106mg固定量排放，排放高度86公尺，風場東北風。六小時後地面煙流濃度分布如圖2所示，顯示污染源隨風場往下游移動。由於污染源受大氣水平風與垂直紊流效應影響顯著，本文假設水平風場均為西南風情況下，透過不同邊界層高度對污染源模擬，圖3a, 3b顯示邊界層高度為900公尺之污染物濃度減去邊界層為500公尺、100公尺時之污染物濃度差值，結果顯示邊界層越高，污染物地面濃度越低，且邊界層差值已與污染物擴散濃度接近，顯示邊界層高度對污染物濃度分布有重要影響。

本文模擬邊界層變化情形，模式取圖1顯示之Y-Z剖面，其地形分布如圖4所示，分析該剖面邊界層高度於東西向分布情形。圖4a橫軸1800處為山脈中央處，圖4a顯示清晨三點近地層位溫隨高度遞減，顯示此時大氣處於不穩定狀態。中午1200邊界層呈現中性大氣(圖4b)，對流發展之邊界層高度以山脈為中心，往東西二側邊界層高度逐漸降低，山區邊界層500公尺，往

東、西下降最低為300公尺。下午四點山區附近邊界層已成長至1200-1300公尺，山脈二側邊界層高度逐漸下降，最低值約200-300公尺。

透過理想情況之模擬，顯示邊界層高度有日夜變化與地形變化。本模擬水平解析度5公里，透過風場、溫度與地形交互作用，顯示邊界層有不同結構，實際邊界層演變情況，透過機動探空觀測系統，例如無人飛行載具、剖風儀的觀測，可以對模式做校驗，了解台灣南部地形影響下，邊界層演變情形。

肆、實際個案模擬

本研究選取2018年10月22日為研究案例，其綜觀天氣為微弱東北季風天氣型態，高屏地區天氣晴朗，以仁武為例，地面溫度隨日出增溫(圖7a)，上午十一點達最高溫28.8C。風向清晨為東北東風(圖7b)，風速在2m/s以下(圖7c)；白天為東南風，風速約在2-3m/s間，傍晚轉為西北風，風速可達4m/s左右。

仁武PM10濃度分布顯示(圖7a)，有出現二個高蜂值，分別是早上九時及下午五時，當天為星期一上班日，顯示此為上下班汽機車所造成的污染源。高雄地區左營地面站PM濃度隨時間升高(圖7b)，早上六點達最大值73 ug/m³，顯然此高蜂值亦為交通因素造成。美濃懸浮微粒濃度PM10八

點以後逐漸升高(圖7c)，隨時間變化不大，晚上八點達最大值，濃度67 ug/m³。美濃並非都會區或工業區，然而美濃東北側之仁武、鳳山等地之風向為東南風，故美濃濃度升高並非與外來污染源擴散有關。

本研究採用WRF模式與CAMx模擬PM10濃度，顯示2018年10月22日上午十一時高屏地區處於東南風型態(圖8)，與觀測結果一致。CAMx6.5模擬之PM10濃度約50 ug/m³，與左營、仁武觀測結果接近。

模式模擬2018年10月22日下午一時PM10濃度(圖9)，此時PM10值已到70 ug/m³左右，顯係PM10濃度隨時間增加中，此與觀測結果不符，左營與仁武均顯示PM10濃度已下降至40-50 ug/m³。美濃PM10濃度雖仍上升，但僅約60 ug/m³，顯係CAMx模擬PM10有高估情形。

本文採用3D同化處理，模式於2018年10月22日0000UTC模擬三小時後，加入氣象觀測資料做同化處理，本文稱為同化組，模式未同化之控制組所得PM10濃度減去同化組模擬之PM10濃度分布如圖10，顯示同化組PM10濃度於高屏地區比控制組低10-20 ug/m³，同化組之PM10濃度接近觀測結果。顯示氣象資料進入模式，有較精確之初始場後，PM10濃度的預報改進很多。

伍、結論

本文運用高斯擴散模式與網格空氣污染模式，模擬高雄地區懸浮微粒擴散情形，高斯擴散模式，透過污染源排放條件、邊界層高度、穩定度類別，以及風速、風向值輸入，求出地面濃度隨時間擴散情形。模式所使用邊界層高度係由中尺度準靜力模式模擬結果，顯示不同時間，邊界層高度有顯著變化。而在同一時間，邊界層高度亦因受地形影響而有不同。擴散模式分別設定風為東北風與西南風，模擬煙團擴散情形，並在不同邊界層高度情況下，模擬煙團濃度差異，結果顯示不同邊界層高度對煙團有重要影響。透過2018年10月22日實際個案分析，高雄都會區濃度主要仍與移動污染源之汽機車有關，自尖峰時間出現高濃度值，之後隨時間逐次下降。本個案對懸浮微粒之模擬，透過WRF與CAMx模式模擬，顯示模擬風場與實際觀測接近，PM10濃度則模擬隨時間增加，此與觀測結果不同，模式引進三維同化後，結果改善許多，顯示精確氣象預報，對於PM10濃度得掌握很重要。如何正確觀測邊界層高度，受限於高空資料缺乏，未來透過無人觀測載具、氣象聯隊發展之剖風儀，修正模式邊界層高度的推估，預期對高雄地區污染物濃度預報有顯著貢獻。

陸、參考文獻

- [1]江智偉，倪簡白，2007:光達遙測中壠地區夜間邊界層變化和低層噴流之討論，大氣科學，35，1-12。
- [2]呂佳穎，林博雄，李育棋，游志淇，2016：雷射雲幕儀應用於台灣各種地貌之混合層高度量測，大氣科學，44，149-172。
- [3]吳清吉，吳志宏，1998: 大氣邊界層污染物擴散之日夜變化，大氣科學，26，181-204。
- [4]洪逸文，1994：台北混合層高度之氣候研究。國立台灣師範大學碩士論文，pp91。
- [5]洪崇軒、袁中新、楊宏宇、宋偉國、張凱軍：“氣象條件對高雄地區空氣品質之預測與分析計劃”，高雄市環保局研究報告，2001。
- [6]Soong, Wei-Kuo, C-H Hung, C-S Yuan, H-Y Yang, 2005: Effects of Local Atmospheric Circulation on the Formation of High Ozone Concentration in Confined Area- A Case Study in Southern Taiwan, journal of the Chinese Institute of Environmental Engineering, Vol. 15, No.3 163-172.
- [7]宋偉國、馬屏龍、羅國誠、周文信、顏富山、郭政泰、馮信璋，2005：南部區域天候模擬分析，空軍航空技術學院學報，第四卷，第一期，157-165。

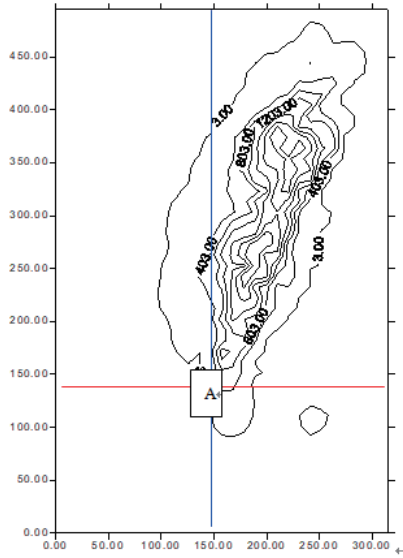


圖 1(a) 模式模擬範圍(UTM 座標)與地形分布

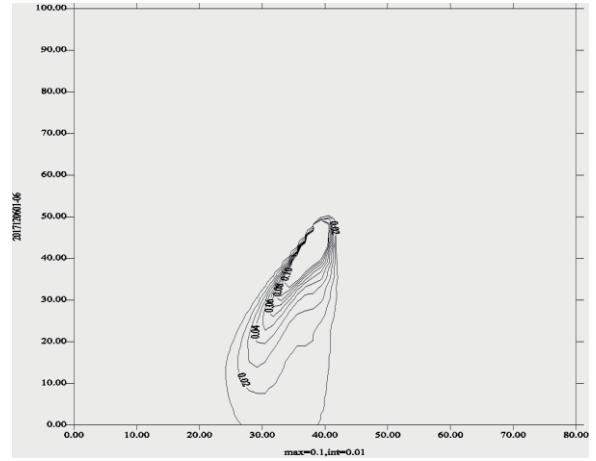


圖 2 地面六小時劑量模擬

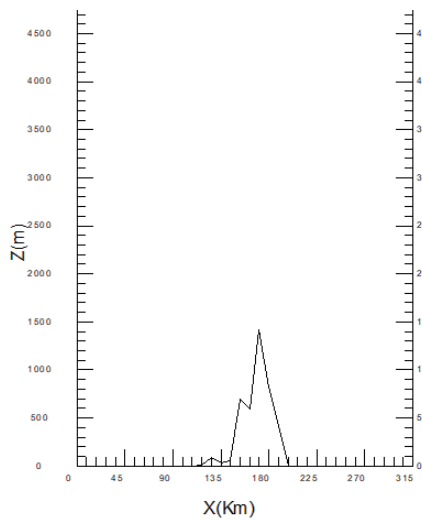


圖 1(b) X-Z 地形剖面分布(Y 值取圖 1(a)紅線剖面)

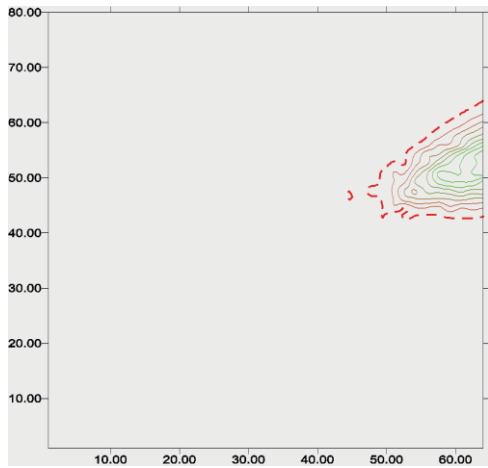


圖 3(a) 西南風邊界層 900m 之煙團模擬減去邊界層 500m 之地面 4 小時濃度差值(虛線為 -5×10^{-6})

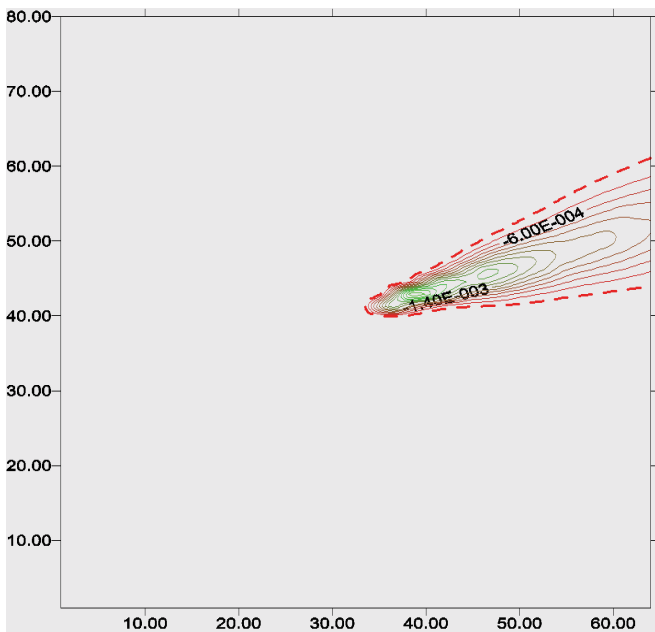


圖 3(b) 西南風邊界層 900m 之煙團模擬減去邊界層 500m 之地面 4 小時濃度差值 (虛線為 -2×10^{-4})

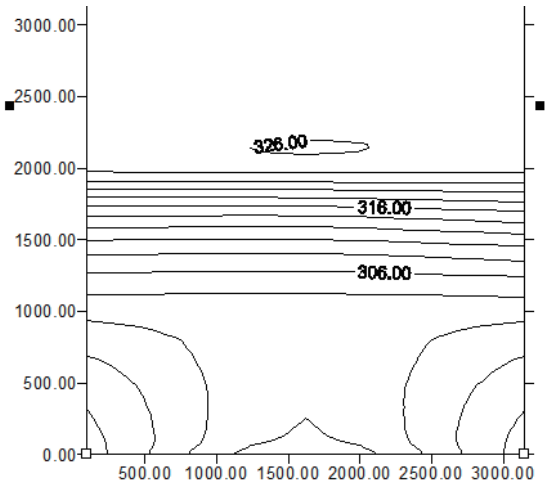


圖 4(a) 模式模擬至 0300L 的 Y-Z 位溫

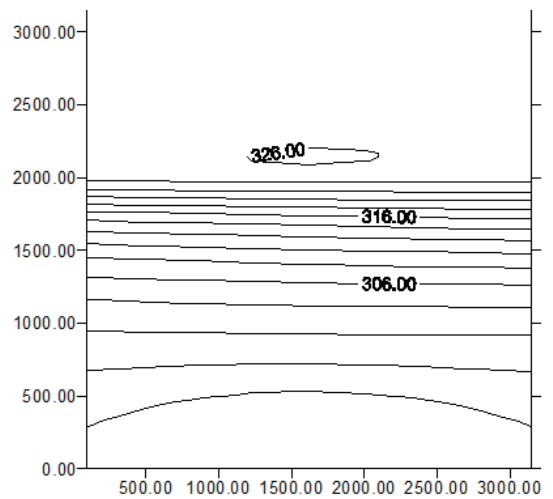


圖 4(b) 模式模擬至 1200L 的 Y-Z 位溫

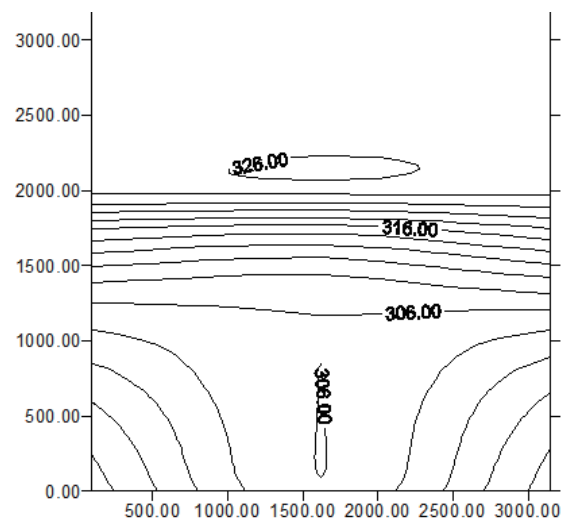


圖 4(c) 模式模擬至 1600L 的 Y-Z 位溫

日期/Date: 22.10.2018 香港時間/HK Time: 08:00 香港天文台 Hong Kong Observatory

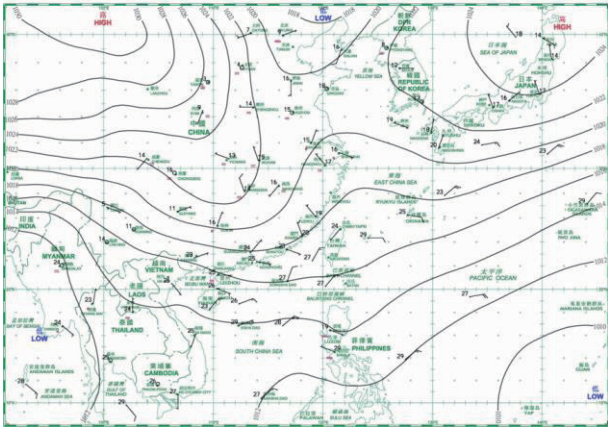


圖 5(a) 2018 年 10 月 22 日 0000UTC 地面天氣

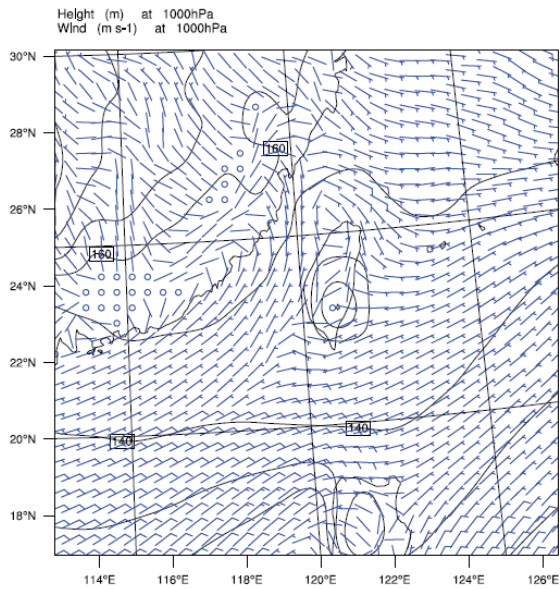


圖 5(b) 2018 年 10 月 22 日 0000UTC 1000hPa 天氣圖

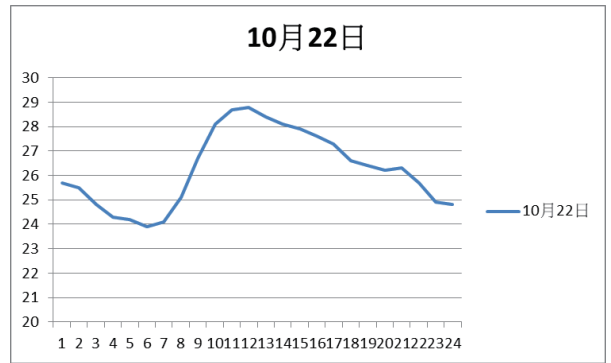


圖 6(a) 2018 年 10 月 22 日仁武地面溫度

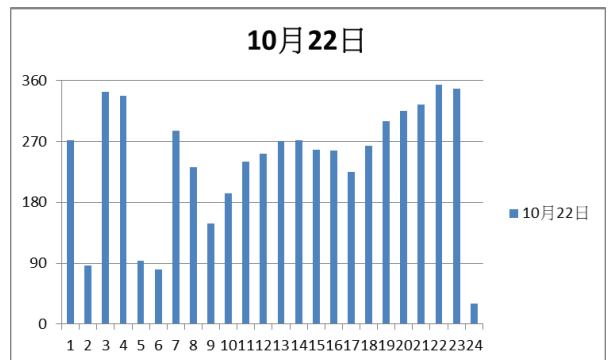


圖 6(b) 2018 年 10 月 22 日仁武地面風向

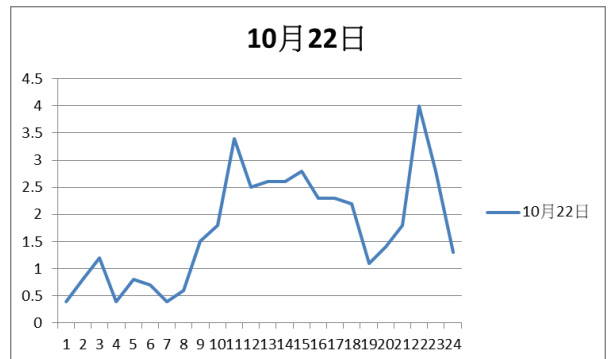


圖 6(c) 2018 年 10 月 22 日仁武地面風速

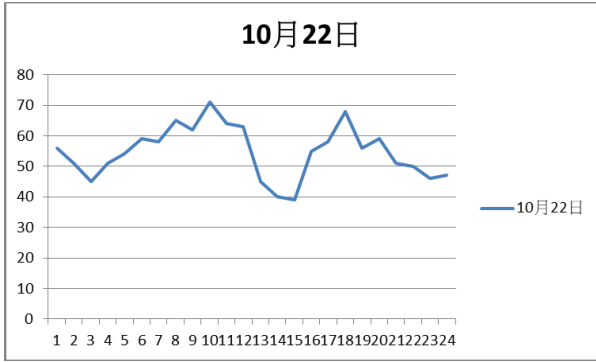


圖 7(a) 2018 年 10 月 22 日仁武 pm10 分布

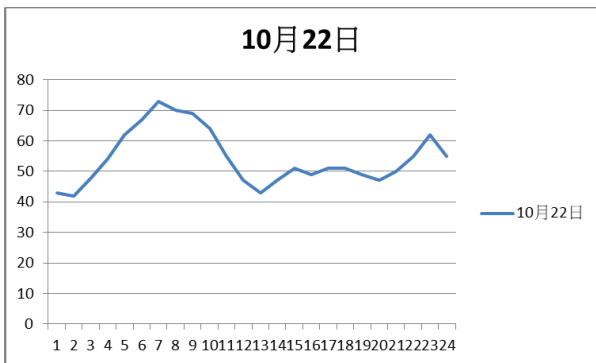


圖 7(b) 2018 年 10 月 22 日左營 pm10 分布

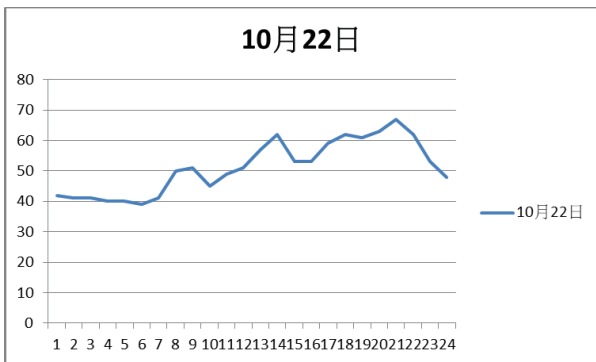


圖 7(c) 2018 年 10 月 22 日美濃 pm10 分布

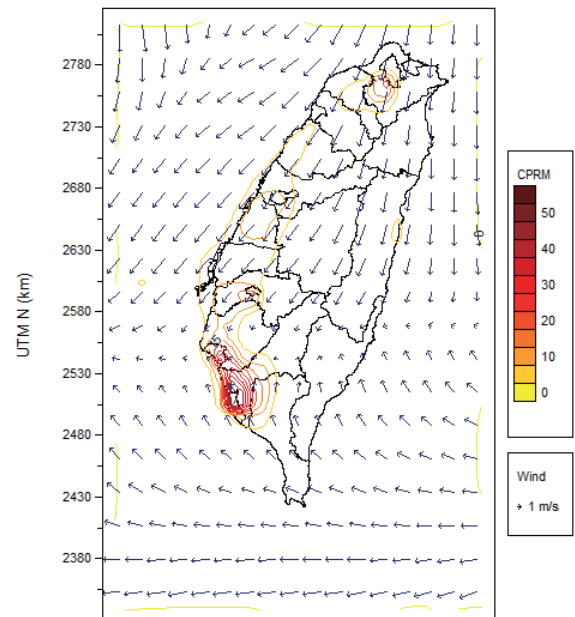


圖 8 2018 年 10 月 22 日 1100 時風場與 PM10 濃度模擬

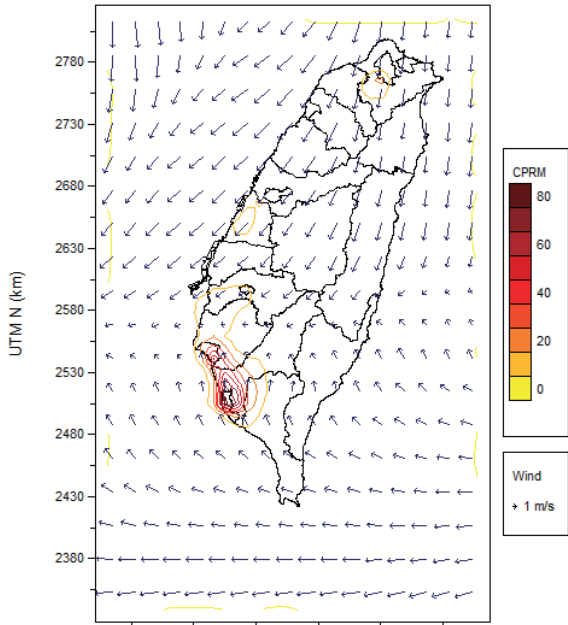


圖 9(a) 2018 年 10 月 22 日 1300 時風場與 PM10 濃度模擬

濃度

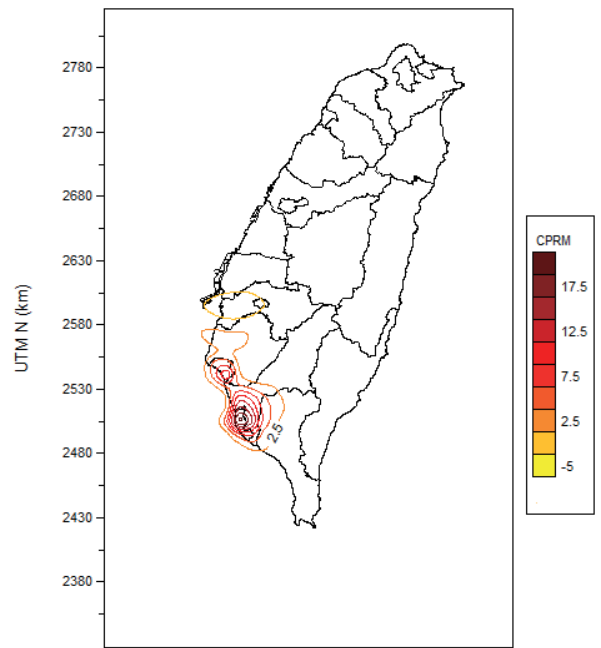


圖 10 2018 年 10 月 22 日 1300 時模擬控制組減去同化組之 PM10 濃度差值

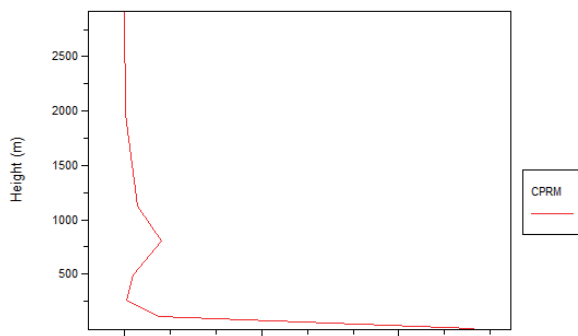


圖 9(b) 模式 2018 年 10 月 22 日 1300 時模擬高屏地區 PM10 隨高度變化之

The Study of Boundary Layer Effect on Air Pollution Transport

¹Wei-Kuo Soong、²Chi-Chien Shih

¹Airforce Institute of Technology

²Weather Center, Weather Wing, R.O.C. A.F.

Abstract

In this paper, Gaussian diffusion model and grid air pollution model are used to simulate the diffusion of suspended particles in Kaohsiung area. We run Gaussian diffusion mode to determine the ground concentration with time and model is need meteorological data through the boundary layer height, stability category, and wind speed and wind direction. The boundary layer height used in the model is simulated by the mesoscale quasi-static model, showing that the boundary layer height changes significantly at different times. At the same time, the height of the boundary layer is also affected by the terrain. The diffusion mode sets the wind as the northeast wind and the southwest wind respectively, simulates the diffusion of the air pollution, and simulates the difference of the concentration under different boundary layer heights. The results show that the height of different boundary layers has an important influence on the air pollution. Through the real case on October 22, 2018, the Kaohsiung metropolitan area concentration is still mainly related to the mobile pollution sources. High concentration values appear from the peak time, and then decrease with time. In this case, the simulation of aerosols, through WRF and CAMx mode simulation, shows that the simulated wind field is close to the actual observation. However, the PM10 concentration is different from the observation. After the model introduces three-dimensional assimilation, the results are improved a lot and the display is accurate. How to correctly observe the height of the boundary layer is limited by the lack of high-altitude data. In the future, through the unmanned observation vehicle and the wind instrument supported by the Weather Wing C.A.F, the estimation of the boundary height of the model boundary is expected to contribute significantly to the prediction of pollutant concentration in Kaohsiung.

Keywords: Aerosol, WRF model, CAMx model, Planet Boundary Layer