

臺灣地區細懸浮微粒(PM_{2.5})污染事件剖析：以冬季高壓系統影響的個案為例

羅國誠¹ 洪崇軒² 張芄聰¹ 湯韻萍¹ 吳德瑋¹

¹ 空軍航空技術學院一般學科部軍事氣象系

² 國立高雄第一科技大學環境安全與衛生工程系副教授

摘要

本研究旨在藉由空品監測站的實測結果與 WRF-Chem 模式模擬及分析，利用冬季期間(2013 年 1 月 17-19 日)台灣西半部空品區的高細懸浮微粒污染個案，探討冬令期間高壓系統的位置、路徑、風場等氣象條件，對高屏地區大氣臭氧等污染物濃度變化之影響。本研究具體的研究目的包括：模擬與解析冬季高壓系統影響下，境外傳輸污染物對東亞區域及台灣各地細懸浮微粒(PM_{2.5})污染的貢獻，以及彙整冬季高氣壓對台灣空氣品質影響的一般趨勢。

研究結果顯示：冬季高壓系統中、高層低溫乾燥下沉時，境外污染物隨高壓系統影響台灣西半部，且在其低逆溫層作用下，不利於空氣污染物的擴散，導致高懸浮微粒累積。本研究透過模式模擬解析，估算冬季期間，境外輸入的空氣污染物，對於台灣地區 PM_{2.5} 濃度貢獻約佔 26.7~47.3%，冬季期間高壓系統(大陸冷氣團)之境外輸入效應，其污染貢獻比例較高。

關鍵字：空氣污染物、WRFC-Chem、PM_{2.5}

Study of the high-concentrated PM_{2.5} case in Taiwan area under the influence of winter high pressure system

Abstract

This study aims at exploring the pollution cases featuring high and fine particulate matters in the air quality region of West Taiwan in winter (January 17-19, 2013) by referring to the measuring results obtained at the air quality monitoring stations and WRF-Chem model simulation and analysis. The study further discussed correlations between the effects of locations, tracks and wind fields of high pressure and the variation of ambient pollutant concentrations (e.g. PM) in Southern Taiwan. Major tasks were conducted in this study, which include to simulate and analyze the effects to explore the effects of long-range transport of air pollutants on fine particulate matter (PM_{2.5}) pollution in East Asia and Taiwan under high pressure in winter; and to analyze the general trends of the effects of high and low pressure systems on air quality in Taiwan.

Several important results are achieved in the study. First, being influenced by the high pressure

system in winter. The high pressure system in winter forces the low-temperature and dry middle and high layers to go down, which forms a condition allowing long-range transport of air pollutants to flow with the high pressure system and then affect West Taiwan. Finally, by applying the model simulation and analysis, long-range transport of air pollutants was also estimated. The air pollutants coming from afar contributed to 26.7-47.3% of the concentration of PM 2.5 in winter. The high pressure system (Polar Continent Air Mass) in winter formed an environment favorable to long-range transport of air pollutants and further caused pollution at an obvious level.

Keywords: Air pollution; WRF-Chem; PM2.5

一、前言

高雄都會區位於高屏空品區核心區域，為一結合商業及工業綜合發展城市，區域內交通運輸頻繁，其緊鄰都會區邊緣設置的工廠相當多。其中不乏煉油、石化、鋼鐵、火力發電廠等重工業。再加上裸露地表及營建施工等逸散性污染源，以及眾多的移動污染源(包括：汽機車、飛機、船舶等)，故此區域造就不良空氣品質的生成條件。直到 2015 年為止，高屏空品區仍有 4%的機率 PSI 大於 100，此區域仍是台灣各空品區中，不良空氣品質比例最高的區域。導致此區空氣品質不良的主要污染物，以懸浮微粒(PM)、臭氧(O₃)為主，分別佔有 25 %與 75 %(環保署統計資料庫，2015)，為本區域最需要積極改善的污染物。

如前述，目前高雄地區空氣品質不良的主要指標污染物為臭氧(O₃)與懸浮微粒(PM₁₀、PM_{2.5}) (行政院環保署，2014；袁等，2010；宋等，1999，Tsai et al., 2009)。最不良的空氣品質，多發生在秋初至春末期間，其原因除了眾多空氣污染物的排放之外，不利於空氣污染物擴散的氣象條件。尤其是，當東北季風開始影響台灣地區時，高屏地區易形成背風區，導致此區域內的空氣污染物不易消散。

本研究針對冬季典型氣象條件個案的模擬與分析，藉以解析其相關的因果關係與反應機制。冬季東北季風盛行氣象條件下，對於高屏地區空氣品質影響的研究已不少(Niu et al., 2013; 翁等，2013; 洪等 2001; 吳等，2001; 林等，1999)。冬季期間，台灣地區主要在大陸性高壓系統影響下，東北季風盛行。(Lo et al., 2014 ; Lin et al., 2012; 劉等，2008)不過，當東北季風風力不強時，易因台灣島上中央山脈的阻隔作用，於高屏地區形成背風尾流區，空氣污染物易滯留累積於其中，導致不良的空氣品質。以 PM₁₀ 為例，常常於晨間期間，其濃度即快速增加至最高濃度達 100 µg/m³ 以上。

二、文獻回顧

高雄都會區容易發生高污染事件日的季節，主要在秋末至春初時期，此時，在盛行的東

北季風氣象條件下，高雄地區形成一個氣流移動緩慢的弱風區(或常稱之為尾流區，wake area)，常使得污染物不易擴散。若統計分析高雄地區高污染事件所處的天氣型態與易發生不良空氣品質的季節氣候型態，此地出現不良空氣品質的天氣型態有：高壓出海型、高壓迴流型及微弱東北季風等三種天氣類型(洪，2001；吳等，2001；宋等，1999)。例如：吳等(2001)，曾針對 1994-1999 年期間，高雄地區空氣品質與天氣類型相關性進行分析，發現易發生高懸浮微粒污染的主要天氣型態為，高壓迴流型及高壓出海型。

台灣地區地處亞熱帶，四面環海，中央山脈縱貫其中，因地形特性因素所引起的「微氣象」，往往也扮演相當重要的角色。台灣北中南地區因地理特性不同，各地風向流場因此也不相同，中尺度環流系統，深深地影響都市的天氣形態，以及它們及鄰近地區的空氣品質狀態。高雄市目前造成空氣品質不良較嚴重的主要污染物，以粒狀物與臭氧濃度偏高最受到關切(林，1999；陳，2000)。此類空氣污染物對人體健康的危害，除了會因為濃度過高時所引起的急性身體不適症狀外；即使低濃度污染物，於長期暴露下，對人體健康的累積性毒害情形，也不可忽視(袁等，2010)。

三、研究方法

3.1 WRF-Chem 模式模擬與參數設定

WRF-Chem 模式(Peckham et al., 2012)係由美國 NOAA 預報系統實驗室(FSL)開發的，為新一代結合氣象模式(WRF)和化學模式(Chem)之區域空氣品質模式，圖 1 為其的流程框架圖。基本上，WRF-Chem 包含了一種全新的大氣化學模式理念，其基於一種氣象過程和化學過程同時發生相互耦合的大氣化學模式理念所設計的，故氣象模式和化學模式的耦合性較佳，兩個模式同時運行，WRF-Chem 模式之化學和氣象過程，使用相同的垂直坐標系，以及相同的物理參數化方案，故不存在時間上的內插需求，也能夠考慮化學對氣象過程的回饋作用。同時也考量氣象因數變化，能及時的影響化學過程，化學過程也能立刻對氣象過程進行回饋。



圖 1. WRF-Chem 模式模擬流程圖

本研究中 WRF-Chem 網格分別採用下列設定：冬季高壓影響個案(2014 年 1 月 17-19 日)，本個案設定三層多重巢狀網格，整體網格的中心點選定位於東經 120°58'、北緯 23°58'。第一層 Domain 1(D1)網格解析度設定為 81 km。第二層 Domain 2(D2)網格解析度為 27 km。第三層 Domain 3(D3)網格解析度均選定為 9 km。另外，本模式所運用的地形資料解析度達 500 公尺(經緯度 30 秒)，地形座標使用蘭伯特(Lambert)投影。最外層的網域(區域 1)覆蓋的網格，以台灣為中心點，涵蓋整個太平洋東亞和台灣全部區域，水平網格數為 45×45；區域 2 覆蓋區域，以中國大陸東南沿岸與台灣地區為主，其水平網格數為 40×40，網格間距 9 公里；區域 3 則以台灣區域與西側外島域為主，水平網格數 47×59，網格間距為 1 公里(圖 2，表 1)。

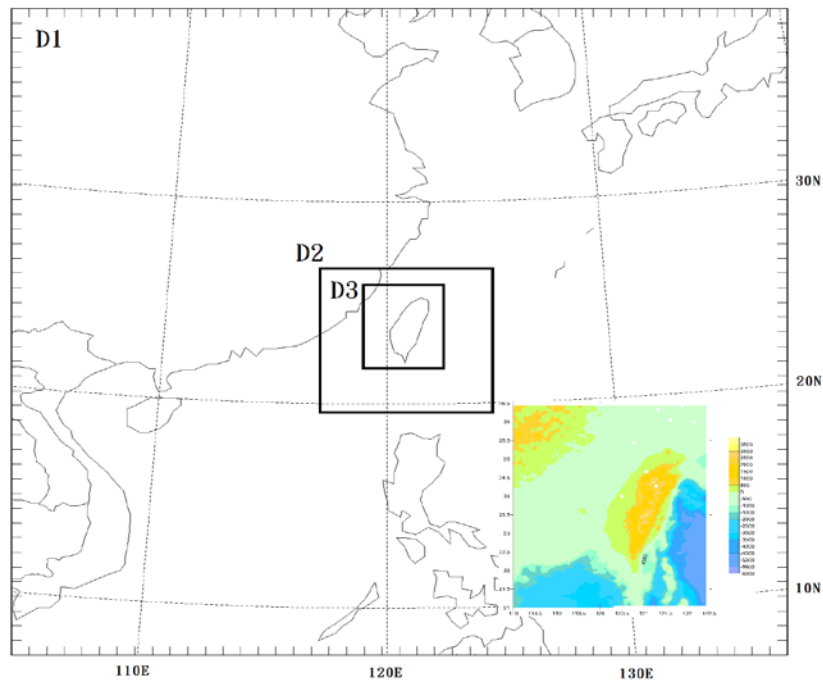


圖 2. WRF-Chem 模擬冬季高壓案例巢狀網格設定圖

表 1 WRF-Chem 模式網格與物理參數設定

Type of setting	D1	D2	D3
水平網格點 (x,y)	45,45	40,40	47,59
網格間隔(km)	81	27	9
氣象資料運算間隔(sec)	180	60	20
化學資料運算間隔(sec)	180	60	60
微物理設定	WSM3-class simple ice scheme		
積雲物理選項	Grell-Devenyi (domain D1 and D2), none for D3		
化學運算選項	RADM2 mechanism(Lo, and Hung, 2012; Forkel, et al., 2012)		
乾沉降選項	Wesley, 1989(Peckham, et al., 2012; Kumar, R., et al. 2012)		
光化選項	Madronich, 1987		
長波輻射反應過程	RRTM scheme		
短波輻射反應過程	GODDARD scheme		
網格對流傳輸過程	Turned on		
光化轉換過程	Madronich photolysis		

3.2. 排放量分析與前處理

東亞地區人為排放源資料庫:東亞地區人為源排放量 REAS(Regional Emission inventory in Asia)資料庫。東亞地區人為源排放資料以日本 JAMSTEC 組織之 Frontier Research System for Global Change 研究中心和日本國立環境研究所(National Institute for Environmental Studies), 建立之 2007 年 0.5 度 × 0.5 度東亞地區人為源排放量 REAS(Regional Emission inventory in Asia) 資料庫(Ohara et al., 2007)為基礎, 搭配 1km × 1km 人口分布進行排放量分配, 其完成的 2007 東亞排放量, 簡稱 EA2007。

另外, TEDS 台灣排放源資料庫: WRF-Chem 模式引用的排放污染源資料係引用環保署台灣地區的污染源排放數據庫 8.1 版(簡稱 TEDS 8.1)排放污染源。排放量資料庫是將各空氣污染物排放源以清單方式整理列表, 也就是所謂的排放清冊。每個排放源(每一筆的資料)的地理位置或其他地理資訊也包含在內(圖 3)。如此才能更明白表示每筆資料代表的污染源所在位置。

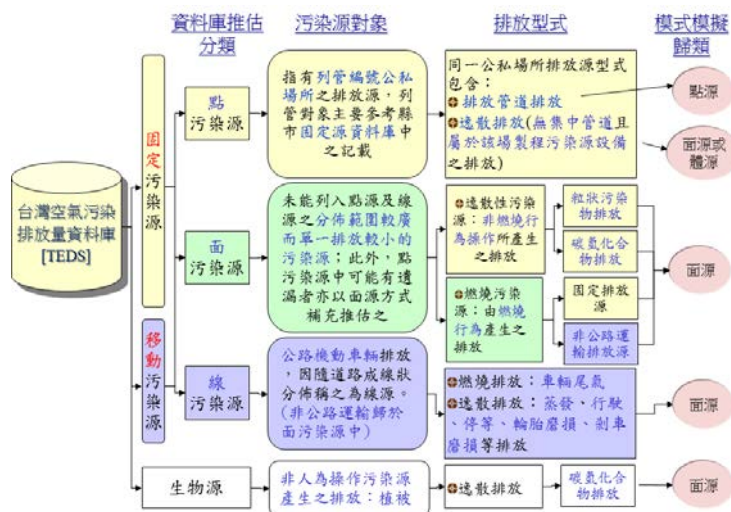


圖 3. 台灣空氣污染排放源資料庫(TEDS)資料來源示意圖

資料來源：環保署排放源資料庫網站 http://teds.epa.gov.tw/new_main2-0-1.htm

四、結果與討論

4.1 冬季高壓系統對台灣空氣品質的影響

主要針對發生於2014年1月17-19日期間(合計72小時),所發生的境外污染輸入的現象,做為模擬與分析的案例。圖4所示為中央氣象局綜觀天氣圖,可發現於此期間,因強烈大陸冷氣團南下,導致台灣地區空氣品質快速惡化。根據台灣環保署監測資料的統計,於上述期間,全台灣懸浮微粒濃度(PM_{10})快速累積增高,最高可達 $300-400\mu g/m^3$,此濃度已達空氣品質標準($125\mu g/m^3$)2倍以上。同時,細懸浮微粒($PM_{2.5}$)也在諸多空品監測測站中,發現濃度高於 $100\mu g/m^3$ 以上(此地, $PM_{2.5}$ 之24小時標準值為 $35\mu g/m^3$)。

4.2 冬季高壓系統氣象條件與污染濃度變化趨勢

圖4中顯示2014年1月18日早晨,強烈蒙古冷高壓從華北東移至山東、渤海灣時的天氣形態,既一般常稱之的寒潮暴發天氣型態。大陸性冷高壓所帶來的強冷西北風過了 $30^{\circ}N$ 以後,受地轉效應影響,沿東亞海岸轉為東北風。一般典型的高壓特性為東北季風,冷且乾燥(相對溼度55%以下)。南下到台灣、福建附近時,沿著台灣海峽或台灣東岸繼續往南吹。台灣北部和東北部因迎風面效應,可能降水量略微增加,但夜晚輻射冷卻作用明顯,可影響台灣的空氣污染品質;冷高壓系統過了台南新營($23^{\circ}18'20.28''N$, $120^{\circ}19'2.20''E$)的緯度後海峽變寬,因文圖里效應(Venturi effect)所導致的氣流輻散,海峽內強烈的東北風因而變弱,並且轉向吹西北風。此時台灣北、中部地區(含金門、馬祖及馬公區域),早已在大陸高壓引發的東北季風影響下,但台灣南部及東部地區,則仍處於高壓系統西南側與邊緣,而其風向已開始從東北風逐漸轉成微弱東向風,其不利於污染物的擴散。另外,冷高壓系統在台南以南的西南部平原地區,造成沿岸風。

其次,當東北風到了中央山脈南端,若可以越過地形較低矮的恆春半島時,在地轉作用影響下,以東北東風向進入其西南方海域。兩股氣流在

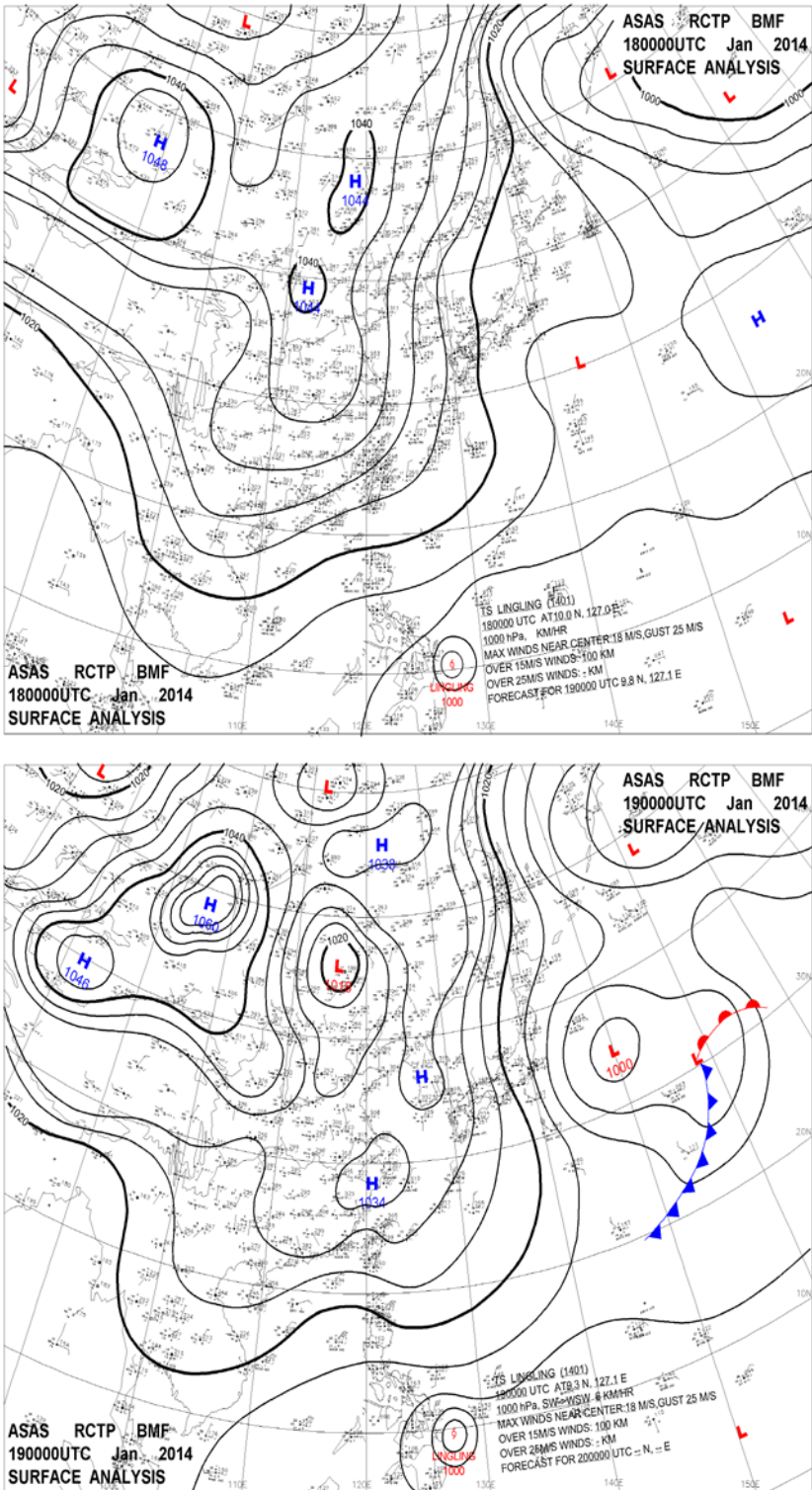


圖 4 中央氣象局地面天氣圖

註：個案期間為 2014 年 1 月 18-19 日

外海合流，而沿岸則為尾流區(Wake area)，水平風速微弱。伴隨的沈降作用以及微弱風速等氣象條件下，使得 $PM_{2.5}$ 等污染物不易擴散，濃度因而居高不下。

台灣西半部陸地在中午過後迅速增溫，台灣西半部沿岸的西北風，逐漸轉為西風、西南風。西風或西南風可將臨海地區之工業區所排放的污染物，傳輸到屏東、美濃等內陸，但因輻合而被抬升後，離開地面。午夜後，內陸和東側山區則因為迅速降溫，穩定的逆溫層於焉生成，使得地表風速微弱，且山麓改吹下坡風性質的東風。無風和沈降性質的東風，多導致污染物擴散不易。1 月 19 日後，台灣西半部中部以南，隨高壓系統逐漸移出，地表風速轉為偏弱，隨此高壓系統傳入的境外污染物，其擴散條更加不良，台灣西半部各區域空氣中懸浮微粒濃度值持續升高，呈現惡化的空氣品質。

承上述，1 天 24 小時內，高屏空品區 $PM_{2.5}$ 濃度都偏高，全部測站都超過 WHO 規範的 $35 \mu g/m^3$ 警戒值，威脅民眾的健康。上述天氣型態的發展，類似於高壓出海型。1 月 20 日，當島嶼東側和巴士海峽東風發展出南風分量時，全島迅速增溫，污染事件結束。此時因為與地形的交互作用和高層短波槽的移入，琉球東方海面和台灣附近分別發展出一分裂高壓和東風槽線。後者導致南方暖溼空氣迅速北抬，有利於結束污染事件。

4.3.2 WRF-Chem 模式之風場與 $PM_{2.5}$ 濃度模擬結果

本研究分別選取台灣外島(Kimen、Matsu)、中部(Mailao、Puzi)、南部(Qiaotou、Zouying、Linyuan)，以及東部空品區共計 16 處環保署(EPA)監測站，針對 2014 年 1 月 17-19 日期間期間，分析各監測站懸浮微粒(PM_{10})與細懸浮微粒($PM_{2.5}$)的單日最高濃度，並彙整成表 2。

自 1 月 17 日晨間起，中國上空的大陸性高氣壓擴散南下，導致大陸華東沿海的懸浮微粒等污染物濃度值逐漸升高，中國大陸內陸地區細懸浮

表 2 台灣監測站當日最高 PM₁₀ 與 PM_{2.5} 濃度

Air quality station (N-S)	Position (Lat/Lon)	Peak concentrations of PM ₁₀						Air quality station (N-S)	Position (Lat/Lon)	Peak concentrations of PM ₁₀					
		PM ₁₀ / PM _{2.5} (μg/m ³)								PM ₁₀ / PM _{2.5} (μg/m ³)					
		Jan.17 th		Jan.18 th		Jan.19 th				Jan.17 th		Jan.18 th		Jan.19 th	
		peak	peak	peak	peak	peak	peak			peak	peak	peak	peak	peak	peak
馬祖(MT) Matsu	26°9'37.6 9" (N)	62	4	21	16	19	15	豐原(FY) Fengyuan	24°15'23.7 1" (N)	72	36	180	109	135	77
	119°56'59 .55" (E)		2	4	5	7	1		120°44'30. 16" (E)		52	218	105	138	100
	24°25'55. 68" (N)		6	18	12	20	12		23°45'23.0 0" (N)		99	57	680	138	173
金門(KM) Kinmen	118°18'44 .12" (E)	6	4	6	5	2	9	竹山(ZS) Zhushan	120°40'38. 30" (E)	99	52	218	105	138	100
	23°34'08. 51" (N)		2	14	87	13	82		23°45'27.1 7" (N)		109	57	680	138	173
	119°33'58 .17" (E)		5	9	87	8	82		120°20'55. 47" (E)		9	57	680	138	173
馬公(MG) Magong	25°10'57. 8" (N)	53	2	14	87	13	82	崙背(LB) Lunbei	22°59'04.4 9" (N)	109	57	680	138	173	105
	119°33'58 .17" (E)		5	9	87	8	82		120°20'55. 47" (E)		9	57	680	138	173
	25°10'57. 8" (N)		2	14	87	13	82		22°59'04.4 9" (N)		109	57	680	138	173
陽明(YM) Yangming	121°31'46 .5" (E)	24	1	93	76	56	44	台南(TN) Tainan	120°12'09. 42" (E)	190	59	408	124	197	134
	24°51'49. 93" (N)		2	15	10	97	58		22°45'27.0 2" (N)		164	49	331	103	219
	121°12'58 .86" (E)		8	9	3	97	58		120°18'20. 48" (E)		4	49	331	103	219
龍潭(LT) Longtan	24°54'00. 51" (N)	58	2	15	10	99	73	橋頭(QT) Qiaotou	22°28'46.2 " (N)	164	90	182	95	133	100
	121°02'19 .15" (E)		7	3	4	99	73		120°24'42. 3" (E)		90	90	182	95	133
	24°22'58. 59" (N)		3	16	10	10	71		21°57'29.0 5" (N)		31	16	90	53	77
三義(SY) Sanyi	120°45'31 .80" (E)	55	5	5	1	9	71	恆春(HC) Hengchun	120°47'20. 14" (E)	31	16	90	53	77	43
	23°45'12. 62" (N)		3	16	10	10	71		22°45'19.2 9" (N)		40	16	114	59	176
	120°15'6. 57" (E)		6	58	10	14	99		121°09'1.6 2" (E)		40	16	114	59	176

註：(1)個案期間：2013 年 1 月 17-19 日(2)濃度單位：μg/m³

微粒值最高濃度可達 $300\sim400\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，使得此高氣壓的影響區域內完全處於在乾燥的霾霧中，而隨著乾燥的大陸性冷高壓所夾帶的境外空氣污染物，則隨著冷高壓的接近，外島馬祖地區 $\text{PM}_{2.5}$ 逐漸於 1 月 18 日中午過後(36 小時)急遽上升，最高達 $165\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (表 2)。另外，金門地區其高污染現象，於 18 日入夜後， $\text{PM}_{2.5}$ 上升最高濃度達 $125\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。來自北方冷乾空氣逐漸影響台灣西半部地區，伴隨而來的是隨氣流傳送的境外污染物，由北向南輸送，各地由北到南測站細懸浮微粒濃度值急遽上升，濃度高達 $100\sim150\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，同時也影響能見度。

台灣北部自 1 月 18 日上午 9 時懸浮微粒濃度就開始上升，到下午 14 時， $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度值約為 $98\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。中部地區之 $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度值為 $70\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。南部地區之 $\text{PM}_{2.5}$ 平均濃度值為 $43\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。東部地區亦有 $70\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。而且，入夜後，中部、南部地區更趨嚴重，諸多測站均超過 $120\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，嚴重影響空氣污染品質。於 18 日中午過後，冷乾空氣移至台灣海峽上空後形成鋒面，造成類似於輕度颱風強度的風速，可達 $15\ \text{m}/\text{sec}$ 。強風所揚起的沙塵，讓台灣中南部區域麥寮、崙背、台南、橋頭及林園等地區， PM_{10} 與 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度急遽上升(表 2)。根據下午 1400 時 EPA 所監測的崙背其懸浮微粒即時濃度已達 $138\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (表 2)，台灣西半部區域完全處於濃度驟升數倍的高細懸浮微粒濃度環境中。

透過 WRF-Chem 綜觀尺度(解析度 $81\ \text{km}$)，涵蓋範圍以東亞、台灣綜觀解析度為主，探討此案例期間東亞地區與台灣地區大氣 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度，在空間與時間上的趨勢變化。圖 5 左側所示，自 1 月 17 日起，隨著冬季高壓系統逐漸於 30°N 處，向東南方向移動，PM 污染物隨著天氣系統漸南下擴散，沿著中央山脈影響台灣西半部。

透過 WRF-Chem 綜觀尺度(解析度 $27\ \text{km}$)，其 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度較高處區域，依序從金門、馬祖外島處，延伸到台灣西半部與澎湖群島。東北風與中央山脈協同效應影響之下(Saide et al., 2011)，對台灣西半部空氣品質的影響，

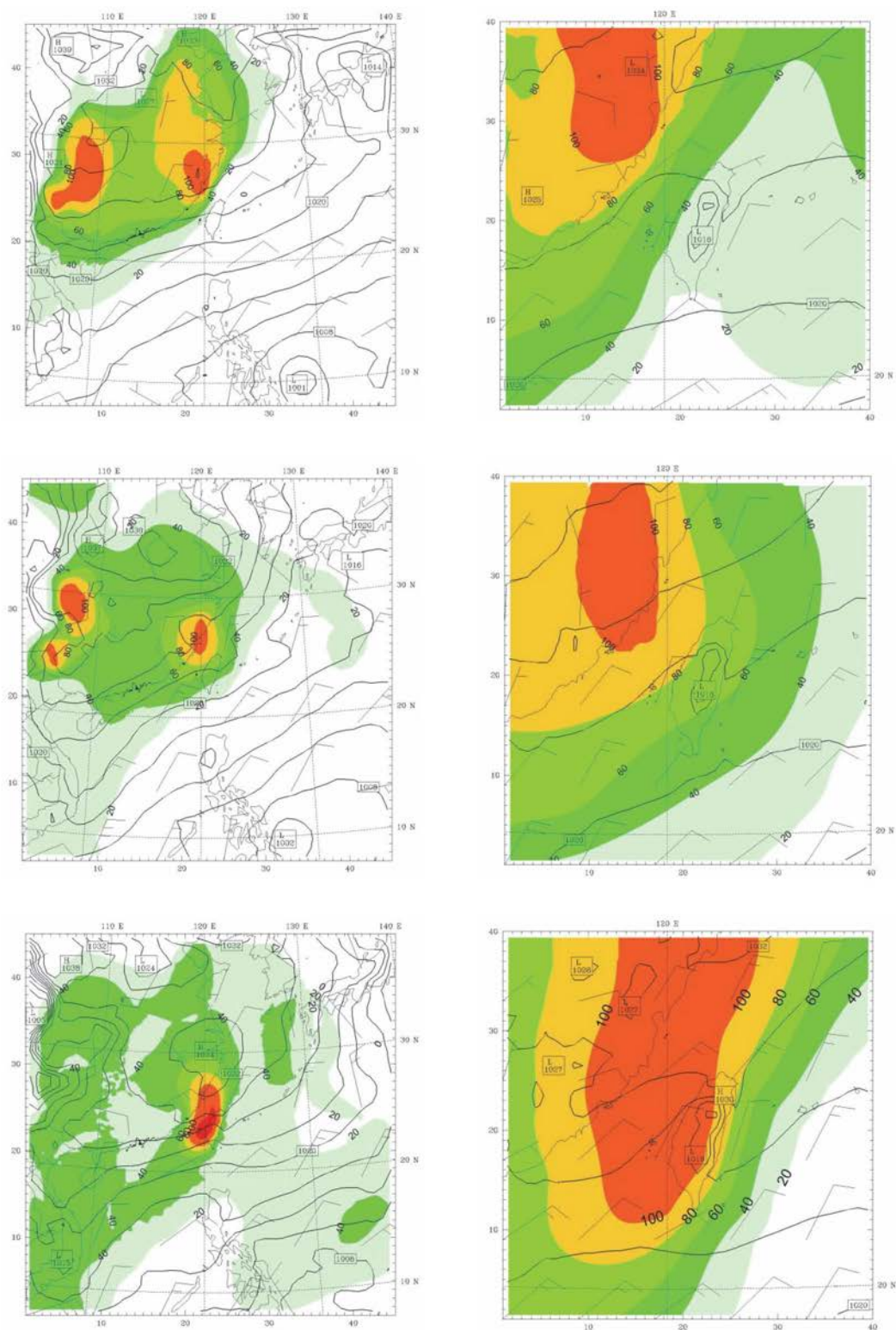


圖 5 WRF-Chem 模擬 PM_{2.5} 濃度分佈圖

註：(1)左圖解析度 D1：81 公里；右圖解析度 D2：27 公里(濃度單位:µg/m³)

(2)起始時間為 2013 年 1 月 17-19 日(每 6 小時)

大於東半部。1 月 18 日台灣西半部 $PM_{2.5}$ 濃度上升，本研究模擬結果，基本上能掌握相對污染物之時、空趨勢變化，顯見 WRF-Chem 模式對於大氣擴散與化學反應的傳輸反應趨勢的掌握良好(圖 5 (右))。

圖 6 為運用 WRF-Chem 在高解析度(9 km)，模擬個案期間(2014 年 1 月 17-19 日，共 72 小時)，台灣馬祖(外島空品區)、麥寮(雲嘉南空品區)、林園(高屏空品區)逐時 $PM_{2.5}$ 濃度趨勢變化情形。由監測資料可發現，其第 30 小時(18 日凌晨)開始，受到東亞境外擴散影響，馬祖測站 $PM_{2.5}$ 濃度迅速累積，模式也能掌握其變化趨勢， $PM_{2.5}$ 實測濃度由原本的 $45 \mu g/m^3$ ，上升至 $165 \mu g/m^3$ 。但模擬濃度只有 $110 \mu g/m^3$ ，其濃度趨勢偏低，可能低估東亞境外擴散對台灣之影響所致。其後，麥寮與林園測站的 $PM_{2.5}$ 濃度，均於 18 日入夜後，逐漸上升，模擬與實測濃度相關係數均達中度相關以上，得知於此天氣型態東亞排放密集地區，對台灣佔有較高的貢獻與影響。

五、結論

冬季期間高壓系統影響期間，台灣各空氣品質監測站中，濃度超過有 80% 以上的監測站，其 $PM_{2.5}$ 濃度大於 $100 \mu g/m^3$ ，此濃度已高於季節性平均濃度的 3~4 倍。本研究透過 HYSPLIT 逆軌跡模式分析發現，冬季高 $PM_{2.5}$ 污染現象多半發生在東亞高壓系統於 $30^{\circ}N$ 移出，隨著高壓系統強度與台灣複雜地形產生的背風效應，懸浮微粒濃度隨著天氣系統(大陸冷高壓)與中央山脈地形協同效應引導逐漸南下，這說明了冬季境外擴散導致台灣西半部形成高濃度 $PM_{2.5}$ 現象發生(圖 6)。

透過 WRF-Chem 模擬，台灣西半部大氣多半為下沉乾燥，且具低逆溫層，懸浮微粒濃度累積時間較其他測站長，惟因林園測站瀕臨出海口，海陸風效應強，擴散效果好。高污染濃度持續時間較其他測站短，透過模式模擬測站濃度趨勢發現高相關值多半為此天氣類型上下風處亦或地形分布與協同效應機制相似(模式模擬發現台灣西半部背風處其冷乾下降氣流

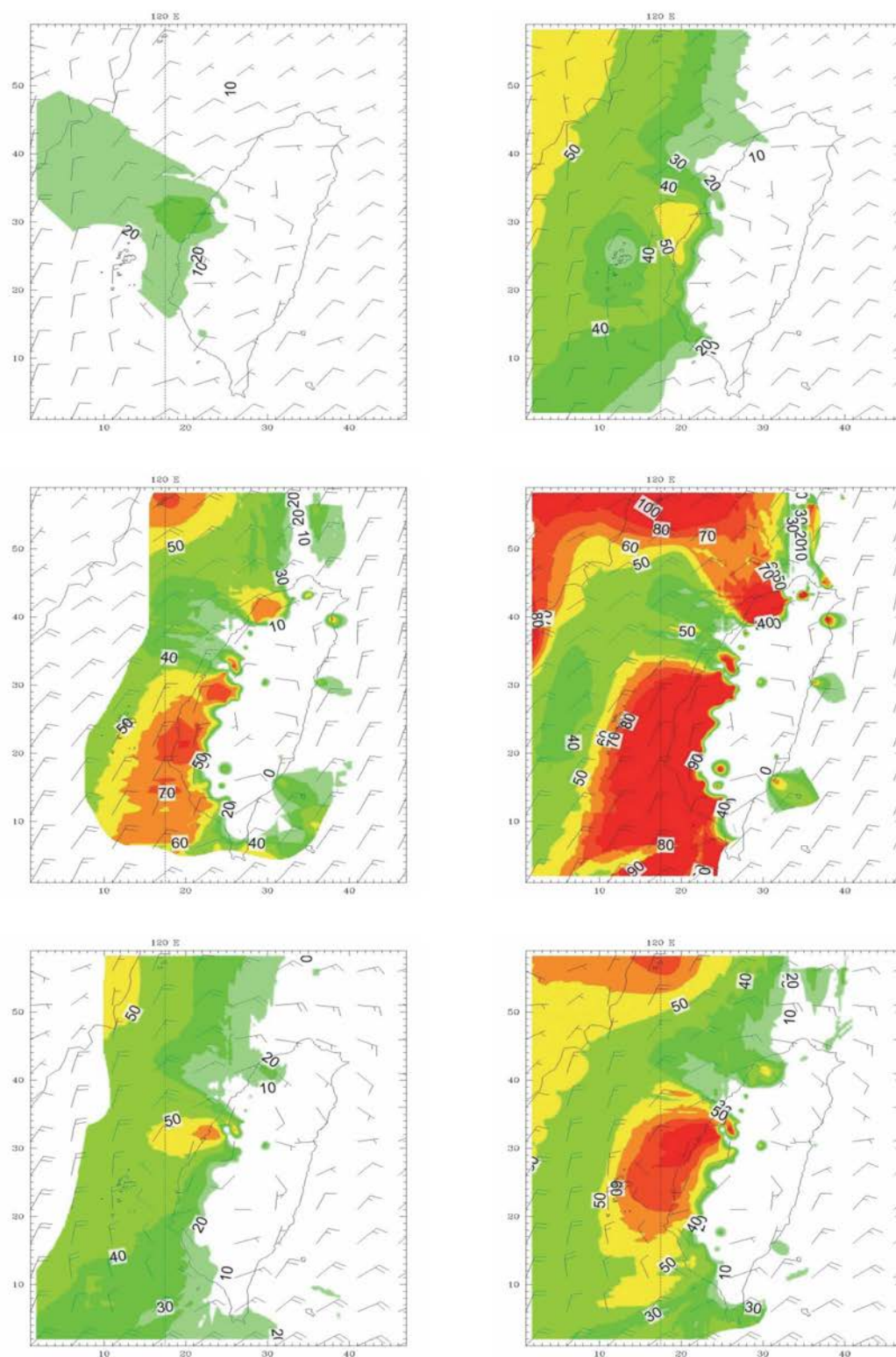


圖 6 WRF-Chem 模擬 PM_{2.5} 濃度分佈圖(解析度 9 公里)

註：(1)左圖為無排放源資料、右圖為具東亞排放源資料(濃度單位:μg/m³)

(2)起始時間為 2013 年 1 月 17-19 日(分析逐日變化)

逐漸南下，導致污染物由北向南擴散，產生很高的地面懸浮微粒濃度，形成地形性下洗(terrain downwash)效應。並將東亞排放源資料庫 REAS 為模擬解析初始資料，發現境外擴散對於冬季台灣地區 $PM_{2.5}$ 濃度貢獻 26.7-47.3%，也說明冬季期間大陸冷氣團其境外擴散的影響不容小覷。

整體而言，冬季/夏季高壓系統影響下，大氣環境均屬下沉氣流，但其中差異為該系統之物理秉性冬季高壓系統為中、高層低溫乾燥下沉，有利於境外傳輸，隨其影響台灣西半部後，天氣系統與台灣複雜地形肇生尾流效應，其低逆溫層導致高屏空品區不利於水平擴散，遂造成高懸浮微粒累積。夏季高壓系統因屬高溫乾燥下沉，其相對濕度低，導致影響範圍內，雲量稀少，強化了光化學反應。再加上，低層係屬下沉逆溫，導致區域性水平擴散不易，遂造成高臭氧濃度的累積。而且，若此系統與鄰近台灣西南側之低壓(颱風)系統協同效應共同作用下，將更增加污染物濃度。

六、參考文獻

- 吳俊傑，林沛練，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，行政院環保署，台灣，2001。
- 宋偉國，楊宏宇，張乃斌，徐新益，數值模式模擬之邊界層特性與高屏地區污染物相關性分析，第六屆海峽兩岸環境保護研討會，高雄，台灣，1999 年 12 月。
- 林彬龍、李崇德，台北地區 PM_{10} 濃度與氣象因子之多變量統計分析，第七屆空氣污染控制技術研討會論文專輯，455-481，1990。
- 林鉅富，高雄地區大氣中懸浮微粒 $PM_{2.5}$ 特性及來源之探討，國立中山大學，碩士論文，1999。
- 洪崇軒，羅國誠，李家偉，袁中新，林啟燦，甯蜀光，吳文聖，謝富傑、林永偉，石化產業密集設置區鄰近區域於氣壓下沉季節大氣含硫異味物質之流佈特性分析，2011 年(第 25 屆)環境分析化學研討會，中壢，台灣，2011 年 5 月 13-14 日。
- 洪崇軒，羅國誠，李家偉，袁中新，林啟燦，甯蜀光，吳文聖，謝富傑、林永偉，石化產業密集設置區鄰近區域於氣壓下沉季節大氣含硫異味物質之流佈特性分析，2011 年(第 25 屆)環境分析化學研討會，中壢，台灣，2011 年 5 月 13-14 日。
- 翁叔平，郭乃文，呂珮雯，高高屏地區細懸浮微粒($PM_{2.5}$)污染事件的綜觀環境分析，大氣科學，第 41 期，第 1 號，台北，台灣，2013。
- 袁中新，洪崇軒，李家偉，甯蜀光，高污染石化工業區有害空氣污染物(HAPs)排放指紋特徵分析、擴散流佈調查、健康風險評估及改善策略研析計畫，環保署/國科會空污防制科技研究合作計畫，2010。
- 陳穩至，大氣中懸浮微粒之特性與來源，國立成功大學環境工程學研究所碩士論文，2000。
- 劉乙琦，澎湖地區之亞洲沙塵物化特性分析及沙塵來源解析，國立中山大學，碩士論文，2008。
- Kumar, R., Naja, M., Pfister, G. G., Barth, M. C., Wiedinmyer, C., Brasseur, G. P., "Simulations over South Asia using the weather research and forecasting model with chemistry

- (WRF-Chem): chemistry evaluation and initial results. ” *Geosci. Model Dev. Discuss.*, 1-66(2012).
- Lin, C.-Y.; Chou, C.C.K.; Wang, Z.; Lung, S.-C.; Lee, C.-T.; Yuan, C.-S.; Chen, W.-N.; Chang, S.-Y.; Hsu, S.-C.; Chen, W.-C.; Liu, S. C., “Impact of different transport mechanisms of Asian dust and anthropogenic pollutants to Taiwan”, *Atmospheric Environment*, 60, 403-418 (2012).
- Lo K.-C.; Hung C.-H., “The development and application of weather research forecast chemistry model”, *International Journal of Advancements in Computing Technology* (ISSN: 2005-8039), 4(22), pp. 138-145 (2012).
- Lo, K.-C.; Hung, C.-H., “Deteriorating ambient air quality resulted from invasion of foreign air pollutants”, *ICEBESE 2014: International Conference on Environmental, Biological and Ecological Sciences and Engineering*, Kyoto, Japan, May 29-30 (2014).
- Niu, Z.; Zhang, F.; Chen, J.; Yin, L.; Wang, S.; Xu, L., “Carbonaceous species in PM_{2.5} in the coastal urban agglomeration in the western Taiwan Strait region, China”, *Atmospheric Research*, 122, 102-110 (2013).
- Ohara, T.; Akimoto, H.; Kurokawa, J.; Horii, N.; Yamaji, K.; Yan, X.; Hayasaka, T., “An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980-2020”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 4419-4444 (2007).
- Peckham, S.E.; Grell, G.A.; McKeen, S.A.; Barth, M., *WRF-Chem Version 3.4 User’s Guide*, NOAA Earth System Research Laboratory, National Center for Atmosphere Research, Boulder Colorado, USA (2012).
- Tsai, H.-H.; Ti, T.-H.; Yuan, C.-S.; Hung, C.-H.; Lin, C.-T., “Ionic species correlation analysis of particulate matter at inland and offshore sites in south Taiwan– Effect of sea-land breeze and northeastern Monsoon”, *The Chinese Journal of Process Engineering*, 9, 243-247 (2009)