

東北亞地區之季節性空氣品質變化研究

黃世任 周世弘

國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系

摘要

本研究以 MODIS(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)/TERRA 的氣膠光學深度(Aerosol Optical Depth, AOD), 及全球氣膠觀測網(Aerosol Robotic Network, AERONET)資料, 探討 2000 年到 2005 年間, 東北亞地區的季節性空氣品質變化。從四季氣膠光學厚度平均值的變化發現, 東北亞地區受懸浮微粒影響最嚴重的是夏季, 其次是春季。而臺灣測站的平均氣膠光學厚度最高值為春季。顯示地理位置位於較南邊且四面環海的臺灣, 受懸浮微粒顯影響的時間與其他測站略有差異。另外, 最接近沙源的 Beijing 測站地區 2003 年空氣中懸浮微粒的平均氣膠光學厚度(1.11) 最高, 比其他年份的氣膠光學厚度值約高出一倍, 是影響東北亞地區最為嚴重的一年。研究結果亦顯示, 氣膠光學厚度的單次事件最大值出現在春季。從衛星觀測的氣膠光學深度分布與氣流軌跡回溯圖顯示, 其原因應為來自中國大陸沙塵污染源隨著高壓環流傳送的影響。而夏季高懸浮微粒的現象主要是受到中國大陸人為污染源的影響。

關鍵字：氣膠光學深度、氣膠光學厚度、AERONET、懸浮微粒

一、前言

大氣對衛星資料所造成的影響稱之大氣效應(Atmospheric effect), 這效應主要是氣膠和空氣分子的削弱作用(Extinction effect)。其中氣膠是指懸浮大氣中的微粒, 其粒徑約等於或大於太陽光譜, 其所產生的散射效應稱之米氏散射(Mie scattering); 而粒徑較小的空氣分子所產生的散射效應稱之雷氏散射(Rayleigh scattering)。因此, 太陽光輻射傳送過程會受大氣中氣膠的影響, 而氣膠的光之性質是以氣膠光學深度(Aerosol Optical Depth, AOD)代表, 其值越大, 所代表著太陽光的輻射傳送受大氣中氣膠的影響越大(Liou, 2002), 所以, 氣膠光學深度是可以做為大氣中懸浮微粒濃度的指標。

King et al.(1999)認為, 在 1997 年以前, 使用可見光波段觀測懸浮微粒的儀器主要為 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer), 使用其中的可見光波段及紅外線波段, 可反演出 AOD 值。但是, 受限儀器的精準度及紅外線波段易受干擾的影響, 後來又陸續發展出各種不同的反演方法, 以期望對懸浮微粒的反演誤差減到最低。在 1999 年 12 月, 美國國家航空及太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)成功發射第一顆“地球觀測系統(Earth Observation System, EOS)”衛星, 稱之為 Terra 衛星。在 Terra 衛星上, 運載著五種感測儀器, 其中的一項儀器“中解析度成像光譜儀(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS)”, MODIS 於 2000 年 3

月正式啟動運轉, 專門用來研究全球人為及自然所造成的地球環境變遷情形。

沙塵暴在東亞地區大都發生在冬季末至春季, 是屬於季節性的天氣現象, 其中三月到五月發生的頻率最高, 且每年發生的次數不一。沙塵暴發生後較大的沙塵顆粒會在沙源地的附近沈降到地面, 影響所及僅鄰近地區, 但顆粒較小的沙塵微粒則隨氣流可揚升到 6000 公尺的高空, 在強烈的西風向東移動傳送下, 沙塵可影響到韓國及日本(Iwasaka et al., 1988; Zhou et al., 1996), 甚至更遠可到太平洋地區(Kotamarthi and Carmichael, 1993)。當強烈的大陸冷高壓系統向東南移動傳送下, 沙塵便會影響台灣地區。台灣在 1995 年 3 月 12 日下午出現了一場罕見的「泥雨」現象, 經研究發現, 中國大陸戈壁及黃河河套地區在 3 月 10 日發生大範圍的沙塵暴, 沙塵經過長程輸送到達台灣地區上空所造成。(林及余, 2005)。

在許多病學的研究中可發現, 微粒與致死率有很大的關係(Dockery et al., 1993)。另外, 經研究發現當對流層的氣膠濃度增加 0.1 時, 會產生 0.2~0.3Wm⁻² 的地球氣候強迫(climate forcing), 如果地表上有約美國陸地大小的人為氣膠雲, 則對表面的平均溫度會減少約 0.3°C(Hansen and Lacis, 1990), 這對人類居住的環境所造成影響有一定的深度, 可見研究氣膠的重要性。

二、資料來源

本研究收集了 2000 年 4 月 6 日到 2005 年 5 月 30 日期間的衛星為 Terra 衛星, 產品 ID 為 MOD04_L2, 產品全名為 MODIS/TERRA Aerosol 5-Min L2 Swath

10km v004。此產品已做大氣訂正，訂正的項目包含氣膠散射、水氣、二氧化碳、臭氧吸收、卷雲影響、地表各向異性之影響及雷氏散射 (Vermote et al., 1997; Vermote and Vermeulen, 1999)，本研究針對大氣訂正所得之氣膠光學深度資料進行研究，而資料的範圍為東經 110~135 度、北緯 20~45 度。而 MOD04 在 550nm 波段的 AOD 的地面解析度為 10x10km²。

並收集同一期間，全球 AERONET 的地面測站實測氣膠光學厚度資料，本研究採用的資料是經過濾雲處理的 Level 1.5 AOT440nm 氣膠光學厚度的地面實測資料。在本研究範圍中的地面測站有 Anmyon 測站 (126.330°E, 36.539°N)、Beijing 測站 (116.381°E, 39.977°N)、Gosan_SNU 測站 (126.167°E, 33.283°N)、Gwangju_K_JIST 測站 (126.500°E, 35.130°N)、Seoul-SNU 測站 (126.951°E, 37.458°N)、Taiwan 測站 (121.100°E, 24.900°N)、Xiang_He 測站 (116.962°E, 39.754°N) 等七個。

為了進一步探討各測站氣膠光學厚度的變化、大氣傳輸的關連及污染物的來源，本研究運用美國國家海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 研究之 HYSPLIT 模式，分別以高度 10 公尺、500 公尺及 1000 公尺回溯推算氣流軌跡以探討氣膠光學厚度的來源。

表 1：衛星遙測 (AOD) 與各地面測站實測試 (AOT) 之平均值、標準差及資料天數的分析

		Anmyon	Beijing	Gosan_SNU	Gwangju_K-JIST	Seoul_SNU	Taiwan	Xiang_He	
2000年	AOD	平均值 0.47				0.11			
		標準差 0.19				0.11			
		資料天數 15				1			
AOT	平均值 0.40					0.19	0.20		
	標準差 0.30					0.19	0.21		
	資料天數 15					1	3		
2001年	AOD	平均值 0.53	0.79	0.60		0.97		0.53	
		標準差 0.23	0.29	0.21		0.37		0.27	
		資料天數 65	13	24		2		9	
AOT	平均值 0.38	0.53	0.51		0.78	0.54	0.44		
	標準差 0.28	0.35	0.27		0.20	0.27	0.35		
	資料天數 65	13	24		2	9	9		
2002年	AOD	平均值 0.40	0.77	0.45		0.39	0.49		
		標準差 0.18	0.44	0.20		0.22	0.11		
		資料天數 16	85	11		33	12		
AOT	平均值 0.25	0.67	0.39		0.45	0.58			
	標準差 0.17	0.66	0.22		0.52	0.37			
	資料天數 16	85	11		33	43			
2003年	AOD	平均值 0.71	0.87	0.57		0.35	0.43		
		標準差 0.29	0.48	0.22		0.16	0.31		
		資料天數 30	74	38		4	24		
AOT	平均值 0.68	0.82	0.52		0.31	0.69			
	標準差 0.35	0.74	0.31		0.13	0.36			
	資料天數 30	74	38		4	33			
2004年	AOD	平均值 0.60	0.69	0.43		0.37	0.42	0.44	
		標準差 0.30	0.29	0.21		0.25	0.26	0.44	
		資料天數 47	79	45		58	20	21	
AOT	平均值 0.58	0.49	0.35		0.41	0.40	0.51		
	標準差 0.49	0.42	0.20		0.39	0.20	0.50		
	資料天數 47	79	45		58	12	21		
2005年	AOD	平均值 0.60	0.86	0.52		0.50	0.67	0.63	
		標準差 0.27	0.55	0.23		0.30	0.46	0.61	
		資料天數 26	31	31		52	21	48	
AOT	平均值 0.45	0.71	0.40		0.55	0.60	0.59		
	標準差 0.33	0.71	0.29		0.39	0.35	0.58		
	資料天數 26	31	31		52	13	48		
總合	AOD	平均值 0.57	0.79	0.51		0.43	0.39	0.50	0.57
		標準差 0.25	0.42	0.22		0.29	0.23	0.34	0.54
		資料天數 199	262	149		108	40	77	78
AOT	平均值 0.47	0.65	0.43		0.48	0.49	0.54	0.55	
	標準差 0.37	0.63	0.27		0.40	0.49	0.35	0.56	
	資料天數 199	262	149		108	40	113	78	

三、資料特性分析

衛星遙測氣膠光學深度對照各測站之氣膠光學厚度平均值、標準差及資料天數的分析中，可發現從 2000 年 4 月 6 日到 2005 年 5 月 30 日止，衛星遙測氣膠光學深度全部的平均值最為 Beijing 的 0.79，其大小依序排列為 Beijing、Xiang_He、Anmyon、Taiwan、Gosan_SNU、Gwangju_K-JIST 及 Seoul_SNU。由於 Beijing 和 Xiang_He 測站最接近起沙的沙源地，所以，衛星觀測氣膠光學深度平均值比其他的測站都還要來的高。在這七個測站的最大的標準差還是出現在 Beijing 和 Xiang_He，也是最接近沙源的地方，揚沙現象會造成光學厚度值明顯升高，而使得標準差較大 (如表 1)。

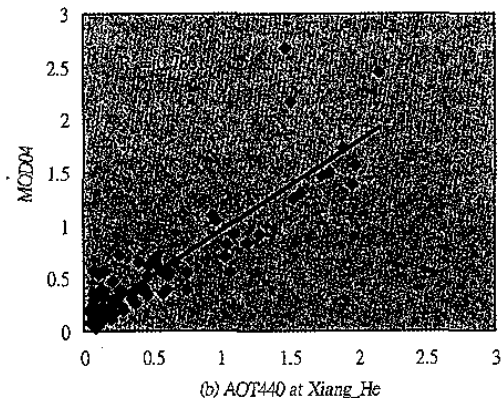
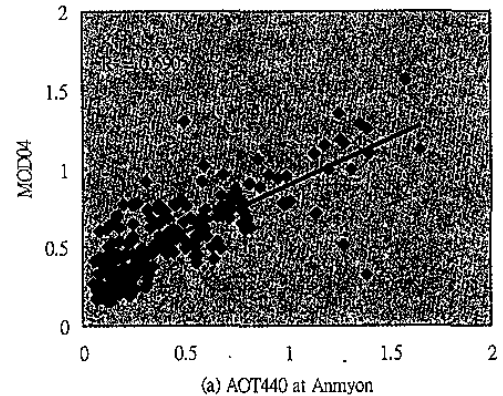


圖 1：衛星遙測氣膠光學深度與地面測站氣膠光學厚度的相關圖。

為了瞭解利用衛星遙測氣膠光學深度探討空氣中懸浮微粒分布的可行性，本研究利用相關決定係數 (coefficient of determination) 探討衛星遙測氣膠光學深度與地面測站氣膠光學厚度的關係。而資料篩選方式，在衛星資料 MOD04 AOD500nm 是選取地面測站經、緯度 ±0.1 度的範圍且最接近測站位置的每日衛星資料，再依衛星資料時間的 ±1 小時範圍內選取地面觀測的數據。

圖 1a 為位於 Anmyon 的衛星遙測氣膠光學深度與地面測站氣膠光學厚度的相關圖，其決定數為 $R^2 = 0.45$ 。而位於 Xiang_He 的衛星遙測氣膠光學深度與地面測站氣膠光學厚度的相關決定係數 R^2 為 0.79 (圖 1b)。其他各測站的相關決定係數 R^2 值均大於 0.5，顯示

衛星遙測氣膠光學深度與七個地面測站氣膠光學厚度的關係圖顯示均具有良好的相關性。

由以上衛星遙測氣膠光學深度和各測站位置之氣膠光學厚度平均值、標準差及相關係數的交叉分析，其所得到的結果均有令人滿意的吻合性和相關性。所以，使用 MODIS 資料所反演大氣氣膠光學深度探討大氣中懸浮微粒的分布是可行的。

表 2：2000 年～2005 年測站實測四季氣膠光學厚度平均值統計表

	Anmyon	Beijing	Gosan_SNU	Gwangju_K-JIST	Seoul_SNU	Taiwan	Xiang_He
2000年	春季					0.72	
	夏季					0.21	
	秋季	0.27					
	冬季	0.3					
2001年	春季	0.46	0.85			0.62	
	夏季	0.44				0.35	
	秋季	0.28					
	冬季	0.3					0.47
2002年	春季	1.27	0.51	0.48		0.52	0.73
	夏季		0.94			0.61	0.61
	秋季		0.67			0.44	0.44
	冬季		0.47			0.32	0.61
2003年	春季	0.66	1.11	0.56			0.6
	夏季	0.66	1.07	0.5	0.71		0.46
	秋季	0.27	0.48				0.39
	冬季	1.25	0.36	0.29	0.35		0.41
2004年	春季		0.61	0.35	0.46		
	夏季	0.53	0.68	0.34			
	秋季		0.58	0.21	0.34		0.44
	冬季	0.26	0.41		0.29		0.25
2005年	春季	0.56	0.67	0.39	0.59	0.54	0.59
	夏季						
	秋季						
	冬季						

註：___表示不為有效資料，僅為參考數據。

表 3：地面各測站實測氣膠光學厚度四季平均值、標準差及資料數

	Anmyon	Beijing	Gosan_SNU	Gwangju_K-JIST	Seoul_SNU	Taiwan	Xiang_He
春季	平均值	0.55	0.76	0.45	0.55	0.52	0.64
	標準差	0.47	0.69	0.33	0.34	0.37	0.38
	資料數	4454	7843	4214	1788	386	1117
夏季	平均值	0.55	0.9	0.46	0.71	0.67	0.43
	標準差	0.41	0.9	0.32	0.58	0.5	0.37
	資料數	2120	3824	1354	730	1088	1661
秋季	平均值	0.28	0.58	0.23	0.34	0.39	0.47
	標準差	0.23	0.67	0.13	0.24	0.25	0.38
	資料數	3442	5052	550	1265	1296	1378
冬季	平均值	0.31	0.41	0.32	0.29	0.3	0.43
	標準差	0.3	0.47	0.23	0.23	0.2	0.24
	資料數	3672	5841	580	927	388	854

爲了要更進一步了解東北亞地區懸浮微粒的隨四季變化的情形，本研究將衛星遙測及測站實測氣膠光學厚度觀測資料，分別以每年的 3~5 月爲春季、6~8 月爲夏季、9~11 月爲秋季、12 月~隔年 2 月爲冬季，用以監測空氣中懸浮微粒的情形。

在本研究中，爲了避免衛星遙測及測站實測氣膠光學厚度所觀測到資料筆數的不同而造成可信度降低或誤判，因而框列每季內必須有 10 天以上之資料且資料分佈於每個月內，在符合此條件下之資料才認定爲有效資料。

從各測站春季氣膠光學厚度統計表(表 2)中發

現，Anmyon 測站在 2002 年氣膠光學厚度高達 1.27，與其他各年比較，2002 年的氣膠光學厚度的數值太過於反常，故將各測站 2002 年未達框列標準的數值仍列入參考，並於數據下方用底線表示。另用 Beijing 測站 2002 年春季僅有的四、五月份氣膠光學厚度資料來比對 Anmyon 測站氣膠光學厚度的情形，可發現 Beijing 測站四、五月氣膠光學厚度平均值爲 0.51，Anmyon 測站四、五月氣膠光學厚度平均值爲 2.69，依懸浮微粒來源型式推論(Dubovik et al., 2002)，Anmyon 測站在 2002 年春季的氣膠光學厚度應該不僅受中國大陸污染源的影響，應該也受到城市區域活動的因素所造成之影響。2003 年最接近沙源的 Beijing 測站氣膠光學厚度高達 1.11，比 2002 年的 0.51 高出一倍，也比 2002 和 2004 年同季的值高出很多。但依行政院環保署資料顯示，台灣在 2003 年受沙塵發生影響的次數是最少的，且級數也是歷年來最低，所以，Taiwan 測站 2003 年氣膠光學厚度 0.60，比 2002 年的氣膠光學厚度 0.73 還要低 0.13 是相吻合的。在本季中，2003 年沙塵暴產生的氣膠光學厚度是研究時間範圍中，影響中國大陸和韓國最嚴重的一年，但是，台灣卻是歷年來最低的，由此得知 2003 年沙塵暴的路徑大部份是走向韓國方向，也因此造成 Anmyon、Gosan_SNU 二測站氣膠光學厚度比歷年增加的原因。

從表 2 中各測站夏季氣膠光學厚度資料顯示，只有 Anmyon 測站、Beijing 測站、Gosan_SNU 測站及 Taiwan 測站等四個測站實測資料時間是有二年(含)以上的連貫。這些測站均呈現 2003 年的氣膠光學厚度均比其他相鄰年份夏季的光學厚度值高。而 Taiwan 測站夏季的氣膠光學厚度從 2000 年的 0.21 開始有增加趨勢，在 2002 年達到了最大值 0.61，Taiwan 地區受懸浮微粒的影響日益嚴重，其原因可能是來自當地的污染源，也有可能是來自中國大陸所產生的污染源被天氣系統飄送到台灣地區。

從各測站秋季氣膠光學厚度統計表(表 2)中發現，在 2003 年 Beijing 測站春季和夏季的氣膠光學厚度分別爲 1.11 和 1.07，到了秋季氣膠光學厚度爲 0.48，有明顯下降，而且，2002 年秋季和 2004 年秋季的氣膠光學厚度分別爲 0.67 和 0.58，都比 2003 年秋季的氣膠光學厚度 0.48 來的高，可見 2003 年沙塵暴發生較爲嚴重的時間集中在 2003 年春季和夏季。本季各測站每年的氣膠光學厚度實測值都不高，且各測站的氣膠光學厚度平均值差距也不大，可見本季空氣中懸浮微粒影響並不嚴重，且氣膠光學厚度變化量不大。

從各測站冬季氣膠光學厚度統計表(表 2)中發現，Anmyon 測站在 2003 年氣膠光學厚度平均爲 1.25，比最接近沙源的 Beijing 測站 0.36 要來的高，也較其他測站值高。由於 2003 年的氣膠光學厚度的數值太過於反常，故將各測站 2003 年的數值仍列入參考，但於數據加底線區分。可見 2003 年此一現象應該爲城市活動所造成的結果，另最接近沙源的 Beijing 測站可發現，冬季氣膠光學厚度 2002 年最大值 0.47 和 2003 年最小值 0.36 的差值 0.11。而 Taiwan 測站氣膠光學厚度 0.61 比接近沙源的 Beijing 測站高出

0.14，這可能是來自當地的污染源的影響。

從表 3 資料可以了解到東北亞地區受懸浮微粒影響最嚴重的是夏季，其次是春季。由於沙塵暴事件好發季節為春或冬季，這結果顯示東北亞地區春季期間主要是受沙塵事件影響，而夏季期間主要是受人為或工業所產生的懸浮微粒所影響。韓國地區來自中國大陸污染源傳輸的影響比台灣地區還要嚴重，但是在秋季和冬季的影響就明顯變小。在台灣地區受中國大陸沙源地傳輸的影響在春季是比較明顯，其它三季的影響較小。

四、 個案分析

在監測東北亞地區懸浮微粒氣膠光學厚度的研究中發現，各地面測站觀測反演的氣膠光學厚度並非全部是因為沙塵暴所產生的污染，為了進一步探討在本研究期間內，各地面測站發生高氣膠光學厚度的原因，本研究分別以各測站出現光學厚度最高值的時間，進行個案討論。本文以 Anmyon 測站所觀測到氣膠光學厚度最高數值(4.68)的時間 2003 年 5 月 20 日，及 Xiang_He 測站所觀測到氣膠光學厚度最高數值(3.97)的時間 2004 年 9 月 28 日的 3.97 為例說明。

(一) Anmyon 測站氣膠光學厚度個案檢討分析

Anmyon 測站在本研究期間出現氣膠光學厚度最高值時間為 2003 年 5 月 20 日，其值為 4.68，主要的天氣型態，在 5 月 19 日在中國大陸中部及西北部高氣壓，該天氣系統的外圍環流已涵蓋華南、華中、察哈爾和綏遠等地區，這些天氣系統範圍內有沙漠及地面植被較少的地區在高壓系統外圍可能捲起大量沙塵。在 5 月 20 日這高氣壓系統向東南移動，持續將漂浮於大氣中的沙塵順著高氣壓外圍氣流向東南移動，而外圍環流向東仍涵蓋東北、渤海及韓國地區。而此波的沙塵一直到 5 月 24 日高氣壓外圍環流全部離開韓國後才結束。為了解 Anmyon 測站之氣流來源，由 5 月 20 日往前回溯 72 小時之 1000 公尺、500 公尺及 10 公尺的氣流軌跡(圖 2)，發現在 1000 公尺的高空氣流的來源是在北緯 45 度，東經 120 度的 3000 公尺高空，也就是熱河和遼北的交接地區，一路往東南方向下滑前進，到了北緯 38 度，東經 125 度的高空，才下降到 1000 公尺的高空。而 500 公尺高空氣流的來源是在北緯 44 度，東經 120 度的 2500 公尺的高空，也就是熱河地區，一路往東南方向下滑到北緯 38 度，東經 125 度的高空，才下降到 500 公尺。另 10 公尺高空氣流的來源是在北緯 40.5 度，東經 122 度的 500 公尺高空，也就是遼寧和渤海交接的地區，一路往東南方向下滑前進，到了北緯 38 度，東經 124 度，才下降到 10 公尺的高空。為確實了解懸浮微粒分佈的情形，由衛星遙測的 MODIS AOD500nm 於 2003 年 5 月 19 日的空間分佈中可發現(圖 3a)，在松江、吉林、安東、北韓、黃海海面及俄羅斯等地區都出現氣膠光學深度超過 1.4 以上。在 5 月 20 日的空間分佈中發現(圖 3b)，在安徽、江蘇、山東、河北、熱河、察哈爾、遼寧、吉林、北韓及日本海地區出現氣膠光學深度超過 1.4，

但渤海、黃海和東海等海面並無氣膠光學厚度數值，檢視當日可見光衛星圖顯示，該區域受雲層覆蓋之影響，故造成渤海、黃海和東海等海面並無氣膠光學厚度數值的情形，所幸對 Anmyon 測站之觀測影響不大。由以上的資訊顯示 Anmyon 測站地區在 2003 年 5 月 20 日所受到的沙塵影響，是來自中國大陸污染源隨著高壓環流傳送的因素，進而嚴重影響到 Anmyon 測站地區。

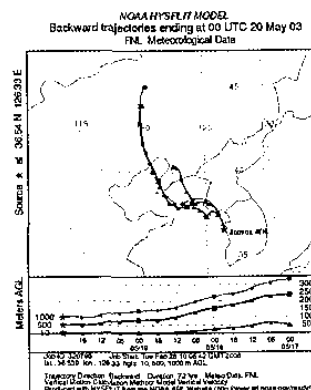


圖 2: Anmyon 測站 2003 年 5 月 20 日回溯 72 小時氣流軌跡圖

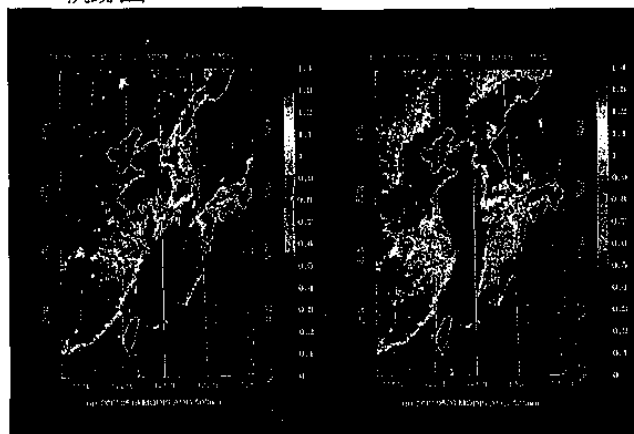


圖 3: MODIS AOD500nm 氣膠光學厚度空間分佈圖，(a) 為 2003/5/19，(b) 為 2003/5/20

(二) Xiang_He 測站氣膠光學厚度個案檢討分析

Xiang_He 測站研究期間出現氣膠光學厚度最高值時間為 2004 年 9 月 28 日，其值為 3.97，主要的天氣型態，在 9 月 26 日起在俄羅斯和蒙古交接地區有一個高氣壓，逐漸向東移動。到 9 月 28 日高氣壓已移到吉林和松江地區，繼續向東移動，其外圍天氣系統的東邊已涵蓋韓國。經 9 月 28 日向前回溯 72 小時的氣流軌跡(圖 4a)，發現在 1000 公尺的高空氣流的來源是在北緯 34.5 度，東經 113.5 度的 1500 公尺高空，也就是在河南地區，一路往東北方向到達河北的 Xiang_He 測站地區。而 500 公尺高空氣流的來源是在北緯 35.5 度、東經 117 度的 700 公尺高空，也就是在山東地區，一路往北方向到了渤海灣在轉向到 Xiang_He 測站地區的 500 公尺高空。10 公尺氣流的來源是在北緯 37 度、東經 116.5 度的 10 公尺高空，也就是在山東和河北交接的地方，一路往北方向到 Xiang_He 測站地區的 10 公尺高空。為確實了解 Xiang_He 測站地區大氣中高層的氣流狀況，經回溯

10000 公尺、5000 公尺及 2000 公尺的氣流軌跡(圖 4b)，發現在 10000 公尺的高空氣流的來源是在北緯 45 度，東經 20 度的 10000 公尺高空，一路往東方滑向 Xiang_He 測站地區的 10000 公尺高空。而 5000 公尺高空氣流的來源是在北緯 55 度，東經 62 度的 5500 公尺高空，一路往東南方滑向 Xiang_He 測站地區的 5000 公尺高空。另 2000 公尺高空氣流的來源是在北緯 40 度，東經 105 度的 2000 公尺高空，也就是在寧夏地區，一路往東方滑向 Xiang_He 測站地區 2000 公尺高空。為了確實了解懸浮微粒分佈的情形，由衛星遙測的 MODIS AOD500nm 於 2004 年 9 月 26 日的中可以發現(圖 5a)，在熱河及遼寧地區出現零星氣膠光學深度超過 1.4。在 2004 年 9 月 27 日的空間分佈中可發現(圖 5b)，在湖北、山東及河北等地區出現氣膠光學深度超過 1.4。在 2004 年 9 月 28 日的空間分佈中可以發現(圖 5c)，在河北及安徽地區出現氣膠光學深度超過 1.4。因 9 月份並非中國大陸沙塵暴發生的主要發生季節，所以，以地形及天氣系統來推估，Xiang_He 測站地區空氣中懸浮微粒，雖然有受到中國大陸沙源地的沙塵影響，但主要是因中國大陸開發所造成的污染。

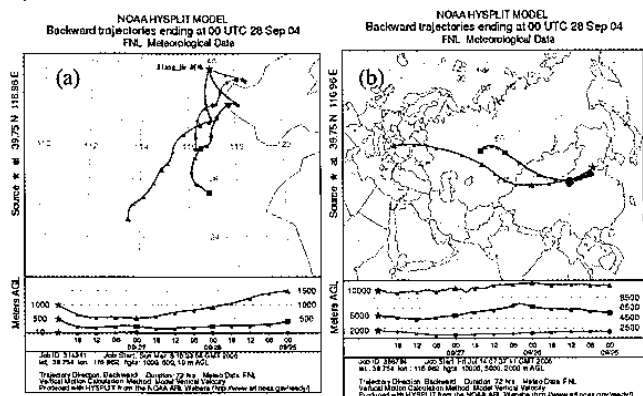


圖 4: Xiang_He 測站 2004 年 9 月 28 日回溯 72 小時氣流軌跡圖，(a)為 1000 公尺以下，(b)為 2000 公尺上

五、 結論

從衛星遙測氣膠光學厚度對照各測站位置之氣膠光學厚度平均值及標準差，可發現平均值大小依序排列為 Beijing、Xiang_He、Anmyon、Taiwan、Gosan_SNU、Gwangju_K-JIST 及 Seoul_SNU。由於 Beijing 和 Xiang_He 測站最接近起沙的沙源地，所以，衛星觀測氣膠光學厚度平均值比其他的測站都還要來的高。

而衛星遙測氣膠光學厚度與地面測站氣膠光學厚度的相關性，其相關決定係數 R^2 最好的是 Xiang_He 測站地區的 0.79，最差的是 Anmyon 測站地區的 0.45。顯示本研究區域的 MODIS 氣膠光學厚資料的準確度尚有進一步的改進空間，但與地面實測資料間仍具有高度的一致性。

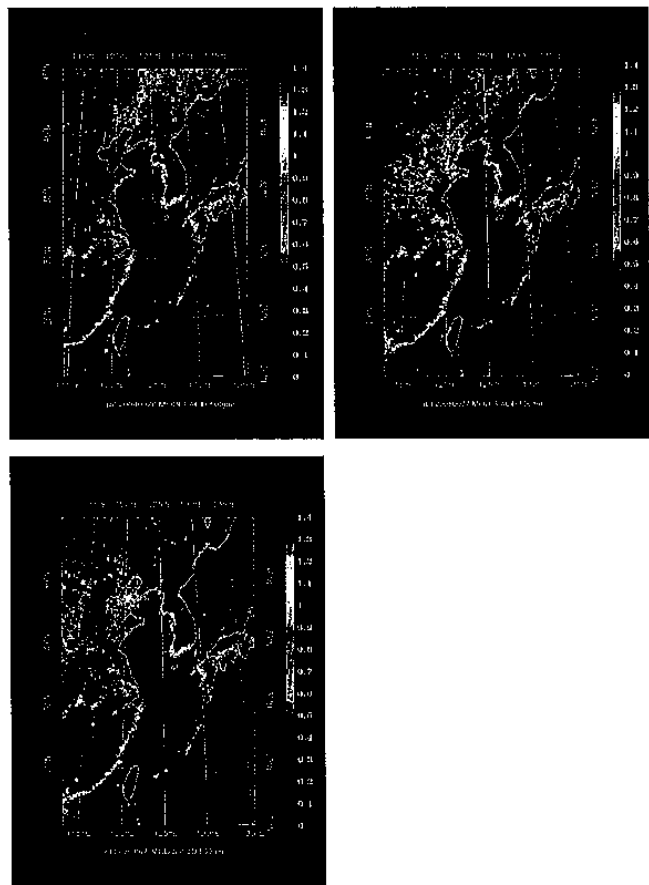


圖 5: MODIS AOD500nm 氣膠光學厚度空間分佈圖，(a)為 2004/9/26，(b)為 2004/9/27，(c)為 2004/9/28

本研究的結果顯示，最接近沙源的 Beijing 測站地區 2003 年春季空氣中懸浮微粒的氣膠光學厚度最高，甚至比 2002 年及 2004 年的氣膠光學厚度高出約一倍，是影響東北亞地區最為嚴重的一年。但是，在台灣地區在這年的氣膠光學厚度值並不高，從行政院環境保護署九十二年度工作專案計畫中影響台灣地區歷年沙塵暴統計中，也發現 2003 年卻是受影響及次數最少的一年。所以，大部份傳輸路徑都是向韓國方向，也因此造成了 Anmyon、Gosan_SNU 測站地區氣膠光學厚度比歷年增加的原因。從夏季的平均氣膠光學厚度資料中顯示，Taiwan 測站從 2000 年的 0.21 開始有增加的趨勢，在 2002 年達到了最高值 0.61，Taiwan 地區受懸浮微粒的影響日益嚴重，其原因可能是來自當地的污染源，也有可能是來自中國大陸所產生的污染源被天氣系統飄送到 Taiwan 地區。

從平均氣膠光學厚度值的四季變化中發現，夏季的值最高，其次是春季。由於冬季和春季是沙塵暴事件主要發生季節，這結果顯示東北亞地區春季期間是以受沙塵事件影響為主，而夏季期間主要是受人為或工業所產生的懸浮微粒所影響。韓國地區受中國大陸污染源傳輸的影響比台灣地區還要嚴重，但是在秋季和冬季的影響就明顯變小。而台灣地區來自中國大陸沙源地傳輸的影響在春季是比較明顯，在其它三季的影響則較小。

從地面測站氣膠光學厚度資料，發現在研究範圍時間的各測站氣膠光學厚度最大值，主要出現在春

季，其次為夏季及秋季。本研究從出現光學厚度最大值的個案中，經分析其主要的天氣型態、回溯 72 小時之氣流軌跡及衛星氣膠光學厚度分布資料，顯示春季高氣膠光學厚度值主要是受到中國大陸沙塵暴事件，被大氣環流的傳送而影響到其他地區。而夏季的高懸浮微粒濃度現象主要是受到中國大陸人為污染源的影響，這現象在東北亞尤其明顯。

誌謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會專題研究計畫 (NSC94-2611-M019-14 及 NSC 95-2611-M-019 -011) 支持得以順利完成。另外，大氣懸浮微粒濃度資料由行政院環境保護署提供，中央氣象局提供的氣象資料，及美國國家航空暨太空總署所提供的 MODIS 資料，及美國國家海洋暨大氣總署所提供之 HYSPLIT 模式，在此一併誌謝。

參考文獻

- 林宗嵩及余嘉裕，2005：1995 年 3 月 12 日台灣北部黃雨個案分析，2005 年海峽兩岸沙塵暴與環境治理學術研討會，475-494。
- Chung, Y.S., 1992: On the Observations of Yellow Sand (Dust Storms) in Korea. *Atmospheric Environment* 26A, 2743-2749.
- Chung, Y. S. and M. B. Yoon, 1996: On the Occurrence of Yellow Sand and Atmospheric Loadings. *Atmospheric Environment* 30, 2387-2397.
- Dockery, D. W., C. A. Pope, X. Xu, and I. D. Spengler, 1993: An Association Between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. *New England Journal of Medicine* 329, 1573-1579.
- Dubovik, O., B. N. Holben, T. F. Eck, A. Smirnov, Y. J. Kaufman, M. D. King, D. Tanre, and I. Slutsker, 2002: Variability of Absorption and Optical Properties of Key Aerosol Types Observed in Worldwide Locations, *J. Atm. Sci.*, 59, 590-608.
- Hansen J. E. and A. A. Lacis, 1990: Sun and Dust Versus Greenhouse Gases: an Assessment of Their Relative Roles in Global Climate Change. *Nature*, 246, 713-719.
- Iwasaka, Y., M. Yamato, R. Iamasu, and A. One, 1988: Transport of Asian Dust (Kosa) Particles: Importance of Weak kosa Events on the Geochemical Cycle of Soil Particles. *Tellus* 40B, 494-503.
- King, M. D., W. P. Menzel, Y. J. Kaufman, D. Tanre, B. C. Gao, S. Plantnick, S. A. Ackerman, L.

- A. Remer, R. Pincus, and P. A. Hubanks, 2003: Cloud and Aerosol Properties, Precipitable Water, and Profiles of Temperature and Water Vapor from MODIS, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 41(2), 442-458.
- King, M., Y. J. Kaufman, D. Tanre, and T. Nakajima, 1999: Remote Sensing of Tropospheric Aerosols from Space: Past, Present and Future, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 2229-2259.
- Kotamarthi, V. R. and G. R. Carmichael, 1993: A Modeling Study of the Long Range Transport of Kosa Using Particle Trajectory Analysis. *Tellus* 45B, 426-441.
- Liou, K. N., 2002: An Introduction to Atmospheric Radiation, Academic Press, New York, 583p.
- Vermote, E. F., C. O. Saleous, Y. J. Justice, J. L. Privette, L. Remer, J. C. Roger, and D. Tanre, 1997: Atmospheric Correction of Visible To middle-Infrared EOS-MODIS Data Over Land Surfaces: Background, Operational, Algorithm and Validation, *J. Geophys. Res.*, 102(14), 17131-17141.
- Vermote, E. F. and A. Vermeulen, 1999: MODIS Atmospheric Correction Algorithm: Spectral Reflectance (MOD09). Algorithm Technical Background Document, Version 4.0.
- Zhou, M., k. Okada, F. Qian, P. M. Wu, L. Su, B. E. Casareto, and T. Shimohara, 1996: Characteristics of Dust-Storm Particles and Their Long-Range Transport from China to Japan-Case Studies in April 1993. *Atmospheric Research* No. 40, 19-31.