

績優研究團隊專訪

亞洲污染物 台灣無法擋

別以為隔海隔洋的空氣污染與我們無關，
其實只需大風一吹，氣流一轉，
轉眼間就會傳到台灣上空。

雲帶壘罩山頭煞是好看，但若雲層裡夾雜著硫氧化物、氮氧化物，最後形成酸雨落下來，就會污染和危害環境。

■張志玲

美國五大湖附近重工業區排放出來的硫氧化物、氮氧化物和其他「酸性污染物」，會隨大氣傳到東岸阿帕拉契山區，並進入1,500公尺以上雲帶，壘罩整個山區。硫氧化物、氮氧化物常與雲滴結合形成酸雲（平均酸鹼值約3.5），降水時就形成酸雨（酸鹼值小於5.0的雨水）。阿帕拉契山脈西側迎風面上的樹木原本蒼翠茂盛，後來從尖端開始枯萎乃至大面積死亡，不禁令人懷疑與長期遭受酸雨侵蝕及沉浸在酸雲中有關。

台灣也有酸雨問題，根據環保署監測資料，除墾丁、阿里山等地較輕微外，其他地區都有酸雨。最嚴重的是北台灣，雨水酸鹼值年平均4.5，發生酸雨機率達80%以上。近10年來由於環保署的努力，台灣本地的硫氧化物及氮氧化物濃度已大幅降低，

可是酸雨問題並未明顯改善，主要因為我們位在「亞洲大氣污染物長程傳送路徑下風處」，上游各國排放的污染物，包括形成酸雨的酸性污染物和沙塵、生質燃燒生成物、大氣汞等有害物質，都可隨大氣傳到台灣來。

大氣污染物除對環境造成直接衝擊外，也對區域性氣候平衡造成干擾，進而影響降水分布與溫度變化。例如酸雨會一點一滴地吞噬環境；沙塵使得能見度不良，也影響患有氣喘病或呼吸道疾病的人；生質燃燒形成褐雲，損害健康，干擾大氣輻射；大氣汞沉降導致生物累積，倘若進入體內，容易傷害肝臟、腎臟，甚至影響胎兒與神經系統發育。

又因為沙塵和生質燃燒所產生的碳粒夾雜的污染物都是粒狀物，這些粒狀物會吸收、散射、反射陽光，一



台灣地理位置很特別，冬季吹的東北季風會把韓國、日本與大陸污染物帶來，夏季來的西南氣流會把中南半島的污染物帶來。

且太陽輻射被遮擋或被吸收後會影響溫度，進而影響區域性氣候平衡。台灣地理與氣候上的特殊性，使得我們很難防治從其他國家傳來的大氣污染物，只有努力研究證實確有其事，把問題的嚴重性凸顯出來，才能引起國際重視，進而尋求解決方法。

酸雨、沙塵定期報到

台灣秋冬季吹的是東北季風，每年12月到翌年1月是高峰期，這時，日本、韓國、大陸東岸等地工業區排放的污染物，會隨東北季風傳到台灣，遇到下雨時容易形成酸雨。每年春季到梅雨季，中國南方甚至華中一帶及

中南半島所排放的污染物，隨鋒面系統傳到台灣，也會形成酸雨。而北半球中緯度高度3公里以上盛行的西風，會把跨區域，甚至跨洲際的污染物傳到台灣上空。

近幾年來，台灣空氣品質好幾次急遽惡化，究其原因，應與亞洲沙塵南移，傳到台灣附近有關。沙塵暴是乾旱和荒漠地區特有的災害性天氣，除造成

人畜傷亡和經濟損失外，也會影響呼吸器官。

近10年來亞洲沙塵暴一年平均17次，每年二、三月，中國西北及內蒙古戈壁高壓系統形成時，富含鹼性離子的沙塵被狂風捲起，帶到3公里以上高空，其中約有80%傳到日本、韓國，更遠的到達美國。沙塵中大量的鹼性離子改變了雨水的化學組成，

使得日本、韓國出現泥雨。其餘約20%沙塵被帶往東南方，可能部分經由華南傳到台灣。1995年3月12日北台灣出現罕見的泥雨，就是同年3月10日發生在中國西北河套地區的大範圍沙塵暴，經由長程輸送傳到台灣上空的結果。

大氣褐雲損害人類健康

2002年陽明山竹子山區的大氣污染監測站，採集到土黃色與黑色混雜的雲水。同年，聯合國發布警語指出：東南亞上空有一層厚達3公里的「大氣褐雲」(Atmospheric Brown Cloud)，很可能就是造成東南亞每年50萬人健康受損，有些地方洪澇肆虐，有些地方乾旱炙熱，乃至人命損失的主要原因。

每年三、四月到五月初，中南半島居民為取得耕地而大量燃燒林地、草原、植被，或為方便耕種而燃燒農作物，這種以生物源為燃料的燃燒稱為「生質燃燒」。生質燃燒產生的濃煙加上中南半島嚴重的空氣污染，形成一種由灰塵、煤煙、酸性污染物，及其他有害懸浮微粒混合而成的微粒，它們會影響呼吸道並危害健康。這些微粒飄浮在大氣中與雲交互作用後形成所謂的「亞洲褐雲」。

生質燃燒對太陽輻射也有潛在的

近年來由於環保署的努力，台灣本地的硫氧化物及氮氧化物濃度已大幅降低，可是酸雨問題並未明顯改善，主要因為我們位在「亞洲大氣污染物長程傳送路徑下風處」。上游各國排放的污染物，包括形成酸雨的酸性污染物和沙塵、大氣汞等，都可隨大氣傳到台灣來。



沙塵暴來襲時整個地區灰濛濛的

影響，其所排放出來的污染物含有一氧化碳、二氧化碳、甲烷、非甲烷碳氫化合物、氮氧化物、氯甲烷、溴甲烷、生質燃燒氣膠等有害物質。其中的生質燃燒氣膠能減少陽光到達地面的輻射量，但也會吸收地面的輻射，導致大氣溫度增加，氯甲烷和溴甲烷則對平流層臭氧的影響很大。

大氣汞危害不可小覷

侵襲台灣的外來污染物除了酸雨、沙塵、生質燃燒產物外，還有大氣汞。汞是全球性污染物，也是有毒重金屬。根據 2001 年的數值模擬顯示，台灣位在高汞沉降區，大氣汞會經由乾、濕路徑傳來台灣。大氣汞主要來自燃燒煤的火力發電廠（火力發

電廠會產生酸雨前驅物）和垃圾焚化爐，這些設備與都市化發展有關。中國大陸是全球汞排放量最大區域，其原因應與大陸 70% 的能源取自燃燒煤有關。而科學上也已經證實，生質燃燒是產生大氣汞的另一項顯著來源。

人體吸入以氣態方式存在的無機汞後，會造成急性或慢性中毒，長期吸入會危害肝臟、腎臟。一旦無機汞進入水中，會因為微生物作用而轉化成有機汞。有機汞的毒性更強，除危害人體神經系統、影響胎兒外，也可能損害小朋友的神經發育。

被誤會一魚多吃

既然有這麼多的外來污染物，我們究竟能做些什麼呢？中央大學大氣

物理所林能暉教授曾經參與美國環保署的「山區雲化學實驗計畫」，並曾探討阿帕拉契山森林的死亡原因。他說：「台灣要防治外來污染物相當困難，但若不研究，就永遠沒有證據，在國際上就沒有發言權。」他認為，要得到國際上的關注與重視，必須善用自己的資料，參加研討會、區域工作會，甚至參與國際實驗，並在一些場合上發表文章，讓大家知道台灣長期遭受外來污染物危害的嚴重性。這些道理看似理所當然，若要落實卻相當困難。

主要原因在於做大氣化學與大環境研究的實驗室是大自然，能量來源是太陽，人力無法控制這些元素，只能被動地觀察大自然現象，從中找出變化規律，再設法防治。別的不說，光是觀察與了解大自然現象就需耗費很多時間與精力，更何況為研究結果下一個結論。

若要達到林教授預期的目標，就必須做基礎研究、應用研究、政策研究等不同階段的研究。從 10 多年前開始，林教授經常提著公事包東奔西走，為的是向可能的支持者或可能的合作對象爭取資源。在那段筭路藍縷的日子裡，有人鼓勵他、支持他，也有人誤會他「一魚多吃」。

所幸他終於得到長期支持，得以邀請多位優秀科學家組成「亞洲大氣污染物之長程輸送與衝擊研究計畫團隊」，透過野地採樣、化學分析、統計應用、問題解析、模式預測等運作模式，為實證或預估結果下結論，這些結論能提供決策者做參考，或做更深層的科研探討。

近幾年來，台灣空氣品質好幾次急遽惡化，究其原因，應與亞洲沙塵南移，傳到台灣附近有關。沙塵暴是乾旱和荒漠地區特有的災害性天氣，除造成人畜傷亡和經濟損失外，也會影響呼吸器官。



圖文來源：黃銘輝

從事大氣化學與大環境研究時，大自然是實驗室，能量來源是太陽，人力無法控制這些元素，只能被動地觀察大自然現象，再從中找出變化規律，然後設法防治。

仙山採雲去

這項大規模計畫總共得到4個單位支持。因為要了解台灣上空的大氣成分，才能了解到底傳來什麼污染物，所以計畫中的第一階段就是成立環境監測站，進行採樣、分析工作。由於監測站的建築物主體與空氣品質自動化監測設備，與環保署的業務範圍有直接關係，因此得到環保署支

持。不過這樣的支持對研究工作來說仍然不夠，必須再加上國科會卓越計畫的先進儀器與先進技術方面的支援，才能展開這一階段的研究。

第二階段的研究是利用電腦模式模擬個案，再透過實驗結果支持這個模式的驗證或預估，所得結論可以提供決策者參考，或做更深入研究，由於研究內容屬於基礎研究，所以研究



落後地區居民燃燒稻草烹煮食物，凡以植物或動物燃燒的就稱為生質燃燒。

經費來自國科會自然處。而另一個大力支持者是中央大學，該校除了在管理上給予場地、人力支援外，還挖角請來一位副研究員做為經常性人力支援，才使得整個計畫能順利推展。這整套計畫可概括分為觀測、資料分析與模式3部分，而在觀測中又分監測與採樣兩部分。

冬天的監測任務主要是雲化學。東北季風把上游污染區排放至大氣中的污染物往南帶到台灣，因此分析雲的成分就能知道帶來多少污染物。

研究團隊有兩個監測站，一是高度1,100公尺的竹子山監測點，主要監測區域性大氣，現已累積10多年的資料。另一個是2006年啟用，高度2,862公尺，可同時監測區域性與跨洲際大氣的鹿林山大氣背景站，那裡



圖片來源：黃銘傳

美麗的白雲是否夾帶著污染物？了解大氣成分後就知道。

有國際級的儀器及設施，可進行長期大氣化學與物理監測，也可以了解區域大氣背景值，以及上游污染物對我國的輸入情形。

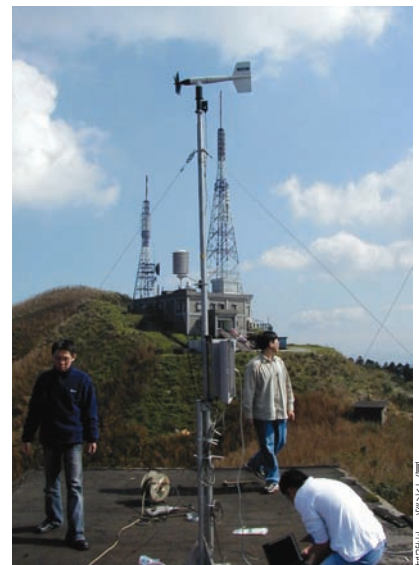
人類活動高度大多在1公里以下，2,862公尺高的大氣比較不受地形與建築物干擾，在傳送時很直接，風速很大，中間沒有阻礙，就算幾千公里外的上游氣流也能傳過來。一旦氣流長驅直入，就能跨洲際繞過半個地球傳過來，這是鹿林山站可以同時觀測區域性與跨洲際大氣的原因。

至於採集雲樣本的工作大都由助理與學生擔綱。這些人相當灑脫，每次在黑板上留下「仙山採雲去」幾個

大字後就消失一陣子，等再出現時，已有足夠的雲樣本供研究團隊使用。值得記上一筆的是，在他們的採雲紀錄中曾出現雲水酸鹼值低至2.6的樣本！

9位學者的基礎研究

第二階段的資料分析與模式預測由9位科學家負責，其中有6位是中央大學的老師。例如探討酸性污染物與輻射的「雲化學與區域大氣污染物長期監測與資料應用研究」由林能暉教授主持；具有領先國際量測技術的化學所王家麟教授主持「微量氣體CO及CFCs之長期監測研究」；探討



圖片來源：林能暉

原來逍遙自在的「仙山採雲去」，是在高山上操作高科技儀器。

粒狀物的「長程傳輸污染對高層大氣氣膠特性的影響研究」，由環境工程

研究所李崇德教授主持。

對台灣空氣品質模式 (Taiwan air quality model, TAMQ) 相當熟悉的助理研究員劉遵賢博士, 主持「東亞生質燃燒污染物與大氣汞污染物之分布特性模擬研究」; 太空遙測中心林唐煌教授主持「應用衛星資料在區域環境之數位監測研究」; 大氣物理所許桂榮教授主持「長程輸送大氣汞之乾濕沉降監測」。這些子計畫都是各領域中很重要的研究。

中央大學太空及遙測研究中心則以衛星觀測上空污染物傳送的整個過程。至於探討微粒變化細節的「區域大氣化學與氣膠模式及氣候模擬」, 由

台灣大學大氣科學系陳正平教授主持。從不同坡度 (由山腳下一直到山上) 觀看整個輻射分配情形的「城市與高地氣膠和低雲的輻射驅動力之比較研究」, 由台大大氣系林博雄教授主持。做氣候分析, 查看整個區域氣候過去 10 年、20 年的變化情形的「氣膠—輻射—降水交互作用研究」, 由文化大學大氣系系主任余嘉裕教授主持。

以有限生命發現大自然訊息

研究團隊所要努力的目標, 就是把鹿林山大氣背景站推上世界舞台, 以便成為全球大氣監測網的一環。為符合聯合國規範, 整個研究計畫的操



圖片來源: 林能謙

鹿林山測站是一座可對亞洲大陸等大區域範圍, 乃至全球空氣品質進行測量和分析的國際性監測站。

作程序、量測策略、資料解讀、品保、品管等程序上的要求都很嚴格。

台灣不是聯合國會員, 因為政治因素而無法參加聯合國相關會議, 這使得台灣長期遭受外來污染物危害的問題缺乏發聲管道。如果我們擁有實力, 能提出很好的數據, 論文發表的品質也不錯, 就可以在這個領域中具有代表性, 別的國家才會願意和我們合作, 才有機會把資料提供給聯合國系統或受邀參加聯合國相關會議, 進而有機會改善外來大氣的污染問題。

截至目前為止, 研究團隊已交出許多漂亮成績單。例如, 因為兩個監測站的運作, 研究團隊得以參與許多

區域性國際合作實驗, 並與美國夏威夷背景站、日本富士山及琉球邊戶岬背景站、韓國濟州島背景站合作, 透過彼此的資料交換、技術交流, 確認我國大氣監測的資料品質與品管能力, 也提升了我國大氣化學研究的能力與視野。

又因為研究團隊的努力, 促成了 2006 年 4 月 13 日我國環保署與美國太空總署、環保署、海洋大氣總署, 以及日本、韓國、泰國、香港等地官員及學者, 在鹿林山共同舉行背景站啟用儀式, 成為全球 5 大卓越高山監測站之一。之後更進一步在中央大學的協助下, 基於台美

環保雙邊合約, 透過美國在台協會與北美辦事處的法定程序, 促成我國環保署與美國太空總署簽訂科技合作協定, 就區域大氣污染相關議題進行技術交流、資料交換、人員互訪, 共同推展區域國際合作。

有感於人類的有限生命與大自然的變化相較起來微不足道, 如何在有限生命中發現有意義的大自然訊息, 進而改善生活環境, 是研究團隊全體成員的心聲。 □

張志玲

本刊特約文字編輯