

知識天地

影響臺灣春季空氣品質的重要因子：境外長程輸送

林傳堯副研究員（環境變遷研究中心）

近年來由於東亞地區國家的工業及經濟快速發展，所衍生跨國區域性的環境問題也日益嚴重，由於臺灣所在地理位置的關係，在東北季風期間，受長程輸送的亞洲沙塵及空氣污染物的影響也格外顯著，同時在春季，也是東南亞生質燃燒盛行的季節，其瞬間可排放出大量的氣態污染物及懸浮微粒，對於區域環境及區域氣候也有著深遠的影響，特別是臺灣也位於東南亞主要生質燃燒區的下風處，處於此特殊的地理環境，同時接受多重的境外污染源，因此值得我們投注更多心力，探討境外長程傳輸對臺灣空氣品質及區域氣候之影響。

亞洲沙塵及空氣污染物之長程輸送

在每年的東北季風期間，源自於亞洲大陸的大陸冷氣團，不僅使得氣溫降低，並且在適當的天氣條件下，可帶來沙塵及長程傳輸的空氣污染物並影響臺灣的空氣品質。沙塵暴是東亞地區冬末及春季經常發生的現象，沙塵主要發生的地點是位於強風且乾燥少雨的沙漠地區，當有強的冷高壓伴隨著鋒面通過上述地區便很容易有沙塵暴發生，並且隨著反氣旋冷高壓之移動路徑，往東及往南傳送，因為氣團的傳輸路徑同時也會經過了大陸沿岸都市及工業區，無可避免的也會攜帶空氣污染物往大陸以外的地區輸送，事實上，由於東北季風的存在，即使是沒有沙塵暴的發生，空氣污染的長程輸送也是可以持續的發生，端賴氣象條件的適合與否。

近年來由於大陸的高速工業化，也使得空氣污染物的排放明顯增多。舉例而言，中國大陸的氮氧化物排放由1990年的每年8.8百萬公噸增加到2000年的每年14.2百萬公噸，增加幅度超過60%，同期間SO₂的排放也有顯著的增加，由每年之20百萬公噸增加到約27.5百萬公噸，臺灣地區的SO₂及氮氧化物排放量分別為中國大陸排放量之1.5%及3.5%，即使僅有1%的中國大陸空氣污染物傳輸至臺灣，其影響也是很嚴重的，因此中國大陸的空氣污染物排放對臺灣空氣品質造成顯著的衝擊的可能性很高，尤其是在東北季風盛行的冬季及春季，此論點也可藉由衛星所觀測到的懸浮微粒柱密度在冬、春兩季於整個西太平洋上空有大量的增加，得到證實（以圖1為例）。

為了瞭解長程傳輸的沙塵或污染物對臺灣空氣品質的影響，中央研究院環境變遷研究中心與環保署合作，探討在東北季風期間，亞洲沙塵及空氣污染物對臺灣空氣品質的影響。研究結果顯示，在東北季風期間，臺灣北部約有50%~75%的PM₁₀質量濃度是長程輸送所帶來。其次，若以影響程度而言，亞洲沙塵及污染物對臺灣北部及東部的影響最顯著，但因受地形的影響，對臺灣西部的衝擊相對較小。以污染物而言，大氣生命期較長的污染物，譬如一氧化碳(CO)、懸浮微粒(PM₁₀)及總氧化物(O₃+NO₂)，其對臺灣北部影響可高達50~80%，南部約15~50%；而大氣生命期較短的污染物，譬如氮氧化物(NO_x)及二氧化硫(SO₂)的影響，相對就較不明顯。

東南亞生質燃燒

春季東南亞(Indochina)生質燃燒，是影響臺灣乃至於東亞地區另一重要的污染來源。在每年的春季，是東南亞生質、農廢燃燒盛行的季節，這現象也可輕易的由衛星資料加以證實（如圖2a，以2005年4月8-9日為例）。經由高解析度(1KM)衛星資料Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)研究顯示，每年

春季總計可超過 20,000 火點在這區域 (10-25° N, 90~110° E) 被衛星所偵測，資料統計也顯示主要發生於春季。為什麼在春季常有大面積的農廢燃燒呢？中南半島的生質燃燒大部分發生在每年的二到四月，在季節交替時候需要土地的再利用或是拓展農地規模時，常常大規模地燃燒農地或森林以清除農作廢物，也就是通稱的”火耕法”。這些開放式的燃燒不僅會產生大量的氣態污染物及懸浮微粒，造成嚴重的空氣污染，同時燃燒產物如氮氧化物、一氧化碳及碳氫化合物，更是臭氧的前驅物，當大氣條件適合，便可以在火源的下風處經由光化反應形成臭氧，這也是為甚麼我們 2004 及 2005 春季，經由密集施放的臭氧探空資料，常可以發現在低對流層 (2-4 km) 有臭氧濃度的峰值 (60-80 ppb) 出現，在我們 2005 年 4 月 12 日所施放的探空甚至量測到 4 公里高的臭氧濃度達 120 ppb 的高值 (圖 2b)。

然而，這些燃燒出來的產物，是經由甚麼樣的大氣過程而影響臺灣？首先就必須從大氣條件說起，資料分析顯示在低對流層約 3 公里 (700 hpa) 左右，在青藏高原以南，20 N 以北，存在一明顯強風帶，此強西風帶一直往東延伸至臺灣上空及以東地區，因此若大氣條件足以將生質燃燒的產物帶至 3 公里以上的高空，那麼這些空氣污染物，就可以很容易影響到下風處的臺灣甚至於整個東亞地區。經由數值模擬的結果我們證實了在天氣條件適合下，地形背風面所形成的背風槽 (lee side trough) 所導致的上升運動，扮演著相當重要的動力過程，配合著密集臭氧探空的觀測結果也支持我們的看法，一旦有顯著的背風槽發生，便容易在下風處的低對流層有高臭氧發生。

生質燃燒所產生的細懸浮微粒是另一個影響空氣品質甚至區域氣候的重要因子，事實上，不只是生質燃燒所產生的懸浮微粒，沙塵暴或是長程輸送的人為空氣污染物，也都有懸浮微粒的存在。大氣中的細懸浮微粒透過複雜的物理過程及化學過程可以影響地表的輻射收支，除此之外，細懸浮微粒能影響雲凝結核 (cloud condensation nuclei, CCN) 的濃度，使得雲液滴變小，增加雲量及在空中停留時間，因此也可能會改變水循環和雲的反照率，並間接影響大氣的輻射作用，從而影響區域氣候。可惜的是目前為止，學界對於懸浮微粒的直接效應及間接效應的影響評估不確定性仍高，聯合國「政府間氣候變遷小組」(Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC, 2001, 2007) 所提出的報告就很明白地指出，懸浮微粒的直接與間接效應是研究全球暖化問題的最大不確定因子，因此有關這方面的研究仍待我們進一步努力。

結語

臺灣由於所在特殊的地理位置，不僅有著明顯的季風變化，空氣污染問題也因大氣條件的改變，污染形態也不盡相同，如本文所述，在臺灣乃至於東亞地區，春季包括有沙塵、空氣污染物及生質燃燒等多重污染源的影響所造成的空氣污染問題，一旦有顯著的境外長程輸送的事件發生，更非單靠國內環保單位藉由污染物排放的管制可以改善空氣品質，特別是空氣污染物藉由大氣物理及大氣化學的連鎖反應所影響的不僅僅是空氣品質而已，長期以來，不僅對環境及人體健康的影響，更可以影響區域氣候。雖然近年來，衛星觀測技術及數值模式皆有長足的進步，但欲降低懸浮微粒對區域氣候的不確定性評估，未來仍需藉由參與大規模的實驗計畫，同時觀測這些物質的三度空間與時間分佈，並藉以改進數值模式，才能提供足夠的資訊來瞭解以上所提到的複雜物理、化學過程，及評估其對環境的衝擊。

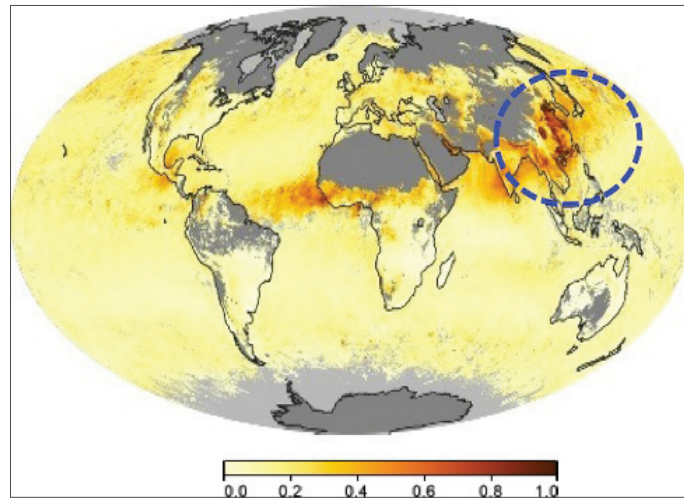


圖 1. MODIS 衛星觀測 2009 年 4 月懸浮微粒氣柱平均光學厚度圖 (資料取自 NASA MODIS 衛星資料網頁)

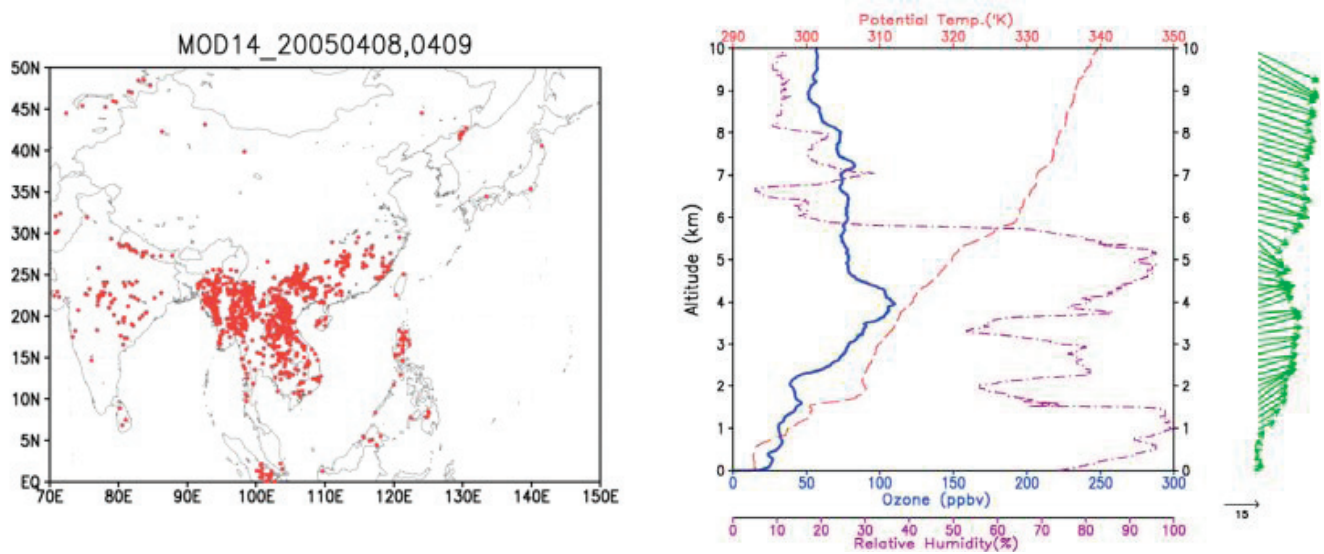


圖 2. a. MODIS 衛星偵測 2005 年 4 月 8~9 日火點的位置 (紅色表示) b. 2005 年 4 月 12 日臺北上空臭氧探空資料，藍色實線為臭氧濃度，紅色虛線為位溫，紫色虛線為相對溼度，綠色箭頭表示風向，長度大小為風速。