

## 懸浮微粒輻射效應對亞洲夏季季風影響 —NASA GMAO AGCM模擬

楊川德

### 一、前言

懸浮微粒透過吸收和反射太陽輻射（直接輻射效應）以及改變其他輻射因子（雲、臭氧）的數量大小與生命期（間接輻射效應）影響地球與大氣系統的能量收支。根據IPCC(2001)年的報告指出人為懸浮微粒所造成的冷卻效應幾乎相等於因溫室氣體造成的溫暖效應（ $2.43 \text{ W/m}^2$ ）。然而，因為我們對於懸浮微粒的物理與化學性質、與雲之間的交互作用仍然沒有足夠的瞭解，因此對於懸浮微粒輻射效應的推估有著很大的不確定性。這些不確定性將使得我們對於受到懸浮微粒影響的地表大氣交互作用、大氣邊界層(Yu et al.,2002;Chung et al.,2002)、全球地表溫度、水循環（Charlson et al., 1992;Penner et al., 1992; Kiehl and Briegleb,1993; Hansen et al.,1997;Ramanathan et al., 2001a; Menon et al.,2002）、生態系統（Chameides et al. ,1999）等的估計變複雜。本文從衛星觀測資料與模式著手，希望能對於懸浮微粒直接效應對於氣候上的可能影響有更進一步的認識。

### 二、研究資料與使用模式

本文使用了MODIS（Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer）的懸浮微粒月觀測資料。MODIS的懸浮微粒資料主要是AOD(Aerosol Optical Depth)與ASY(Asymmetry Factor)，

為全球 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 網格資料，時間為2000年3月~2003年6月。在沙漠上由於受限於觀測技術的限制無實際資料，因此由補差點的方式將資料填入。SSA (Single Scattering Albedo) 則是給定從0.95~1。模式使用NASA GMAO (Global Modeling and Assimilation Office) AGCM (Atmospheric General Circulation Model)。此Model的水平解析度為 $2.5^{\circ}\times 2.0^{\circ}$ ，垂直解析度為34層。實驗方法是將AGCM分別積分兩次，第一次為純粹氣候值的控制組 (control\_run)。第二次將MODIS衛星上的懸浮微粒觀測資料放入AGCM中為實驗組。兩次都同樣積分37年，探討並比較在模式中有無懸浮微粒時對於氣候的改變。本文中研究的季節以夏季為主，為全年中6、7、8月的平均。

### 三、懸浮微粒輻射作用力 (ARF)

將懸浮微粒資料放入模式中計算出在大氣層頂與地表的ARF (Aerosol Radiative Forcing 如圖一與圖二)。在大氣層頂，因ARF作用減少了 $3.65\text{W}/\text{m}^2$ ，在地表則是減少了 $5.84\text{W}/\text{m}^2$ 。與Ramanathan et al(2000)結論相比 (大氣層頂= $-0.5\sim -0.2\text{W}/\text{m}^2$ 、地表= $-2\sim -4\text{W}/\text{m}^2$ ) 是略微冷卻的狀態。ARF的訊號出現在亞洲東部、印度西部 (阿拉伯海)、非洲中部與亞馬遜森林附近。

### 四、模擬結果

#### (1) ARF對全球地表溫度場影響

(圖3) 為全球地表溫度場差異 (實驗組減去控制組，通過95%信心度檢定)，從地表溫度反應得知冷卻的效應主要出現在沙漠地

區（蒙古，撒哈拉沙漠，北美洲西部，澳洲沙漠），溫度最大可下降至2 K（蒙古）。這些地區溫度下降的主要因為此地區都為較乾燥，雲較少的地區，當懸浮微粒出現時阻隔了太陽短波的進入，地表溫度必須要下降以調節地表的能量收支。

### (2) ARF 對全球雨量影響

若我們將 $120^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{W}$  雨量作緯向平均並比較差異（圖4），可以看到在控制組雨量最大的緯度出現在 $10^{\circ}\text{N}$ ，而從陰影（實驗組減去控制組）可以看到雨量在 $10^{\circ}\text{N}$ 的北方增多，南方減少。但是在ITCZ上幾乎沒有ARF的影響，因此推論可能為大尺度環流場調節ARF的作用而導致的結果。此結果與Wang（2004）發現到Black carbon的輻射效應會影響ITCZ北移相符。

### (3) ARF對亞洲夏季季風可能影響

跟以往研究不一樣的地方在於之前研究所使用的模式網格點都較粗，對於亞洲夏季季風很難有完整的模擬。而在本研究中採用NASA GMAOAGCM為 $2.5^{\circ}\times 2.0^{\circ}$ 網格點，因此能提供較高的解析度。若我們將NASAGMAO AGCM對亞洲夏季季風的模擬與ECMWF風場&CMAP雨量相比較（圖5），可以看到對於亞洲夏季季風的重要特徵：西南風、雨量配置與副高都有相當類似且完整的模擬。亞洲夏季的氣壓場配置在大陸上為熱力低壓，而海洋上為副熱帶高氣壓。懸浮微粒如何去影響熱力低壓呢？首先陸地上的熱力低壓主要是因為夏季大陸增熱比海洋劇烈，海洋上形成高壓，大陸形成低壓。因此當懸浮微粒主要分佈在陸地上，其反射短波性質會造成陸地上加熱減少，因此會使得熱力低壓減弱（如圖6）。此

外也可以發現在海洋上氣壓為降低的現象，透過Rodwell(2000)的實驗可以得知當陸地上的加熱減少時，透過東西方向Rossby wave 與Kevlin wave作用導致氣壓場受到影響，使得海上的氣壓降低。

因此可以看到亞洲地區在大陸上的氣壓上升（熱力低壓變弱）（如圖7），海洋上的氣壓下降（副高變弱），在大陸上形成一相對高壓，導致整個大陸上有著反氣旋的環流。因此原本的西南風將會被削弱。雨量場則是出現內陸雨量減少，往沿海雨量增多現象（除了印度西北邊）。基本上而言，印度季風區的雨量在西邊增加，其餘地方減少。西北太平洋季風區雨量變化不大。而東亞季風區雨量是明顯減少。

## 五、結論

本文探討全球懸浮微粒的直接輻射效應對於氣候上的影響。從圖8中可瞭解，在模式中ARF的影響造成夏季到達地面的短波通量減少了4%，而地表溫度因短波通量的減少下降了 $0.36^{\circ}\text{K}$ ，向上潛熱通量與可感熱通量反映短波通量的減少也下降了4%與10%。

ARF的local effect也造成中國南部與非洲中部的雨量減少，並且在ARF微弱的ITCZ也出現了雨量北移的現象。在亞洲大陸上因ARF的冷卻作用造成熱力低壓的減弱，副高也間接受到ARF影響而減弱，西南季風也有減弱的現象。

## 致謝

感謝周明達教授、柯文雄教授、許晃雄教授指導，以及周教授助理 Michael Yan 協助處理模式資料。

## 六、參考文獻

- Hansen, J., M. Sato, and R. Ruedy 1997: Radiative forcing and climate response, *J. Geophys. Res.*, **102**, 6831–6864.
- Haywood, JM, and O. Boucher, 2000: Estimate of the direct and indirect aerosol radiative forcing due to tropospheric aerosols: A review. *Rev. Geophys.*, **38**, 513-543.
- Kaufman, Y. J. et al. 1998: The Smoke, Clouds and Radiation experiment in Brazil (SCAR-B). *J. Geophys. Res.* **103**, 31783–31808
- Kaufman, Y.J., D. Tanre, O. Boucher , 2002:.A satellite view of aerosols in the climate system. *Nature* .,**419**, 215–223.
- Liao, H., and J. H. Seinfeld ,1998: Effect of clouds on direct aerosol radiative forcing of climate, *J. Geophys. Res.*, **103**, 3781–3788.
- Liepert B. G., J. Feichter, U. Lohmann, E. Roeckner ,2004: Can aerosols spin down the water cycle in a warmer and moister world?, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L06207
- Miller, R. L., and I. Tegen, 1998: Climate response to soil dust aerosols. *J. Climate*, **11**, 3247– 3267
- Ramanathan, V., P. J. Crutzen, J.T. Kiehl, and D. Rosenfeld, 2001: Aerosols, climate, and the hydrological cycle. *Science*, **294**, 2119-2124
- Surabi Menon, James Hansen, Larissa Nazarenko, and Yunfeng Luo, 2002: Climate Effects of Black Carbon Aerosols in China and India. *Science*, **297**, 2250-2253
- Yu, H., R. E. Dickinson, M. Chin, Y. J. Kaufman, M. Zhou, L. Zhou, Y. Tian, O. Dubovik, and B. N. Holben , 2004: Direct radiative effect of aerosols as determined from a combination of MODIS retrievals and GOCART simulations, *J. Geophys. Res.*, **109**.

---

作者為 2007 年航空氣象新進人員，現為高雄航空氣象臺觀測員

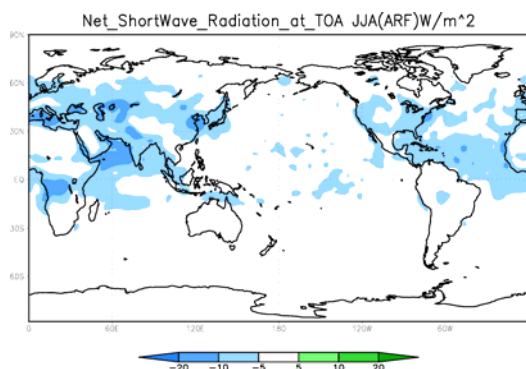


圖 1. 在大氣層頂的 ARF (懸浮微粒輻射效應)

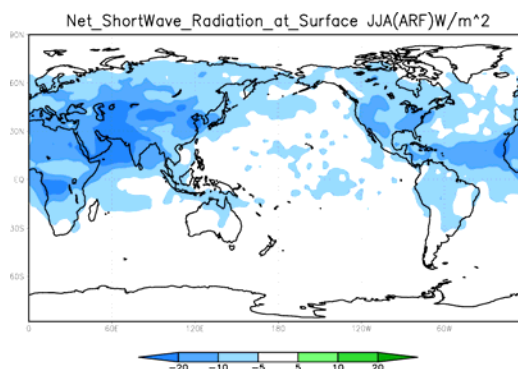


圖 2. 在地表的 ARF (懸浮微粒輻射效應)

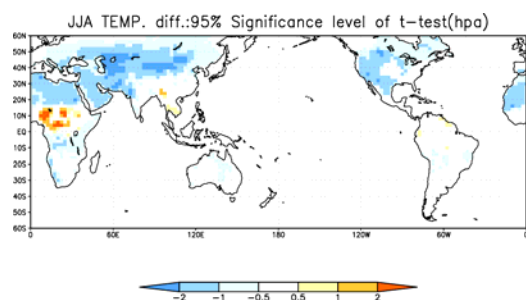


圖 3. 地表溫度場差異通過 95% 信心度檢定

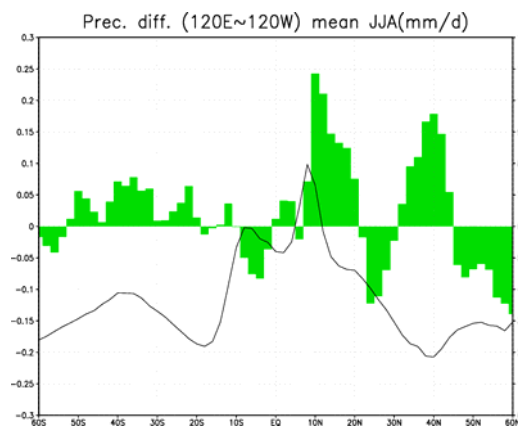
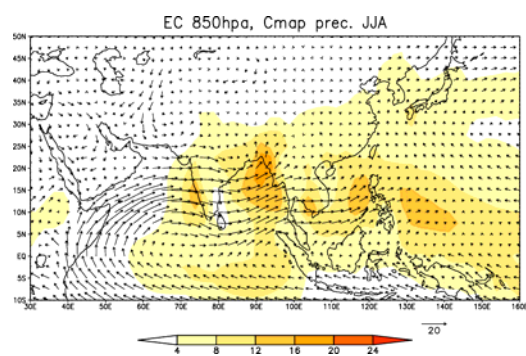
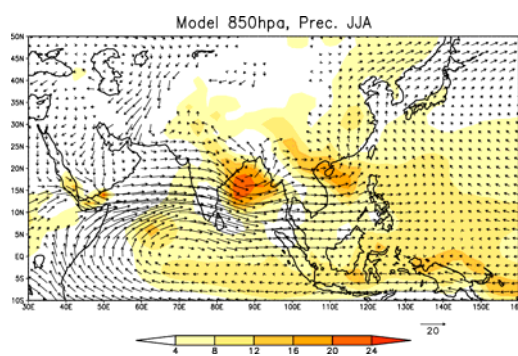


圖 4. 曲線的部分為控制組將 120°E~120°W 做緯向平均得到的雨量，陰影為實驗組減去控制組差異。



(a)



(b)

圖 5 夏季亞洲季風區 (30°E~160°E, 10°S~50°N) 在 850hpa 的模擬狀況。(a) 為觀測資料，(b) 為模式模擬。線條部分為風速場，陰影部分為雨量場，單位為 mm/day。

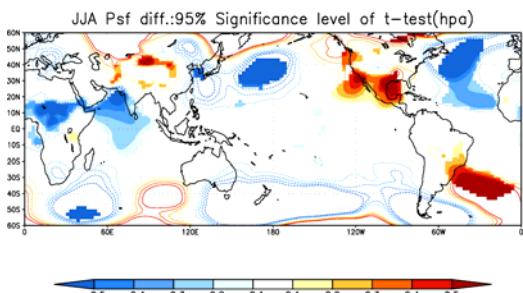


圖 6 實驗組減去控制組之夏季氣壓場改變量，(陰影部分為通過 95% 信心度檢定)，單位為 hPa。

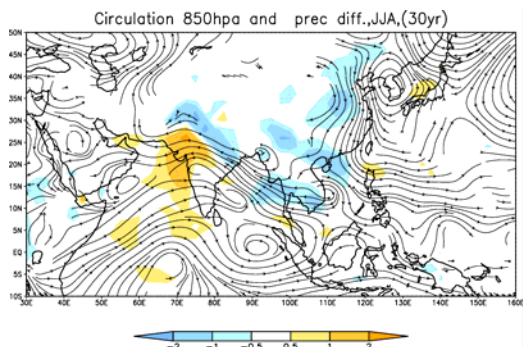


圖 7 為亞洲地區 (30°E~160°E, 10°S~50°N) 850hPa 實驗組與控制組的環流場與雨量場改變量。線條部分為環流場改變量，陰影部分為雨量場改變量 (單位為 mm/day)。

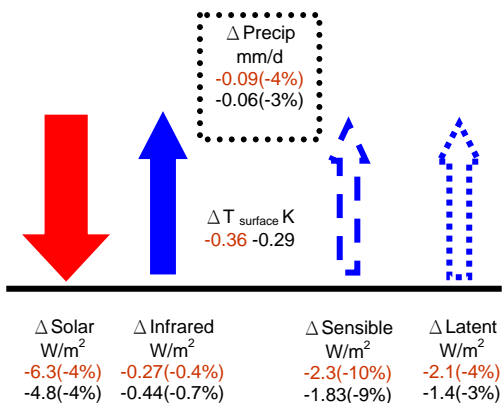


圖 8 模式中各通量的改變狀態。其中紅色為夏季，黑色為全年。