

# 減緩全球暖化要加速抑制 大氣中的黑碳與臭氧

## 前言

六月六至十七日聯合國在於德國波昂舉行了今年第二輪氣候變遷談判會議，為年底在南非召開的聯合國氣候變遷綱要公約 (UNFCCC) 第 17 次締約國大會 (COP-17) 做準備。值得注意的是，就在會議還在進行的期間聯合國環境規劃署 (UNEP) 和世界氣象組織 (WMO) 六月十四日在波昂發表《黑碳和對流層臭氧綜合評估報告》，指出為達到 COP-15 通過的哥本哈根協議目標最有效的近程做法為積極控制大氣中的黑碳 (black carbon)、近地面臭氧 (ground level ozone)、甲烷 (methane) 含量，也就是要減少煤煙 (soot) 排放並提高空氣污染防制標準。哥本哈根協議定出的目標是：保持全球平均溫度和前工業化時代相比的升幅不超過攝氏 2 度甚至要小於攝氏 1.5 度。

一九九五年以來國際間氣候變遷談判一直圍繞在二〇〇五年生效的《京都議定書》進行，可惜至今國際間距離《京都議定書》減少溫室氣體排放總量第一期 (2005~2012年) 目標仍然遙遠，使得第二期 (2013~2020年) 目標遲遲無法設定，談判之路艱難坎坷。溫室氣

體有長與短生命期的分別，二氧化碳的生命期有數十年甚至百年那麼長，雖然人為多年排放所累積的效果已經大大影響全球氣候，但是減少排放產生的降溫效果卻無法在二、三十年內表現出來。因此 UNEP 和 WMO 呼籲，減緩地球增溫必須加速減少空氣中的短生命期溫室氣體，也就是只能在空氣中停留數天或數周的溫室氣體，如此才能看到近程效果，減緩全球暖化速度，增加達成哥本哈根協議目標的機會。

## 臭氧與甲烷

臭氧 ( $O_3$ ) 與甲烷 ( $CH_4$ ) 都是溫室氣體，能夠直接吸收從地表往天空輻射的能量。空氣中的主要溫室氣體還有水氣 ( $H_2O$ )、二氧化碳 ( $CO_2$ )、氧化亞氮 ( $N_2O$ ) 和氟氯碳化物 (CFCs) 等等，它們的共同特徵就是不吸收波長較短的可見光輻射但能吸收波長較長的紅外線輻射。太陽輻射的能量高，波長短，以可見光為主，能穿透大氣到達地面。地面層吸收了太陽輻射能之後便以紅外線輻射方式把熱能向外釋放，溫室氣體吸收了這些能量使近地面大氣層



溫暖，是為大氣的溫室效應。如果沒有溫室氣體，地球表面的平均溫度大約在攝氏零下 18 度左右，有了溫室效應地球表面的溫度才可以維持在現在的攝氏 15 度左右。

雖然甲烷能夠在大氣中停留的時間 (10 年左右) 遠遠不如二氧化碳，但是它的暖化能力卻大約是二氧化碳的 20 倍。除了吸收紅外線，甲烷還可藉由光化學反應產生臭氧，擴大對環境與人類健康的危害。

空氣中的臭氧有「好」與「壞」之分。好臭氧主要分布在離地面 20 到 30 公里的高空平流層，是自然產生的，能吸收陽光中的紫外線，降低生物受太陽輻射傷害的危險。壞臭氧主要分布在近地面 10 公里內的對流層，混合著各種氮的氧化物 (NO<sub>x</sub>)、一氧化碳 (CO) 和揮發性有機化合物 (VOC) 的空氣受日光照射發生光化學反應容易產生臭氧，氮氧化物和揮發性有機化合物因而稱為臭氧前體 (ozone precursor)。工業和石化燃料排放的化學物質以及汽車尾氣都是主要的人為臭氧前體來源，這些空氣污染物多半在人口或工業密集區產生，但可隨風散播到千百里以外人煙稀少之地，經日光照射產生臭氧。甲烷是一種揮發性有機化合物，也是對流層的主要臭氧前體。石油的鑽探、有機廢物分解、化石燃料燃燒、動物消化過程、生物物質缺氧加熱或燃燒等都會產生甲烷，人類從事農耕和養殖畜牧以來大氣中的甲烷含量一直在增加，工業革命之後的增加更是明顯。



Photo courtesy of Greenpeace

↑圖1. 露天生質物不完全燃燒可產生大量黑碳。(圖片來源：<http://www.bellona.org/fires-and-the-arctic>)

## 黑碳

大氣中二氧化碳的增加與影響已經是眾所周知的常識，人為排放的「黑碳」或「黑色碳」雖然並非新事但是過去受到重視的程度不如二氧化碳。「黑碳」是物質在不完全燃燒過程中產生的懸浮微粒，主要來源是煤煙(soot)。黑碳和硫酸鹽懸浮微粒對於太陽輻射有完全不同的反應，硫酸鹽可以散布到大氣高層，對於輻射的直接反應是反射陽光，有冷化地球表面溫度的作用；黑碳主要分布在接近地面的部分，可以完全吸收陽光，對於地球表面有強烈的暖化作用。

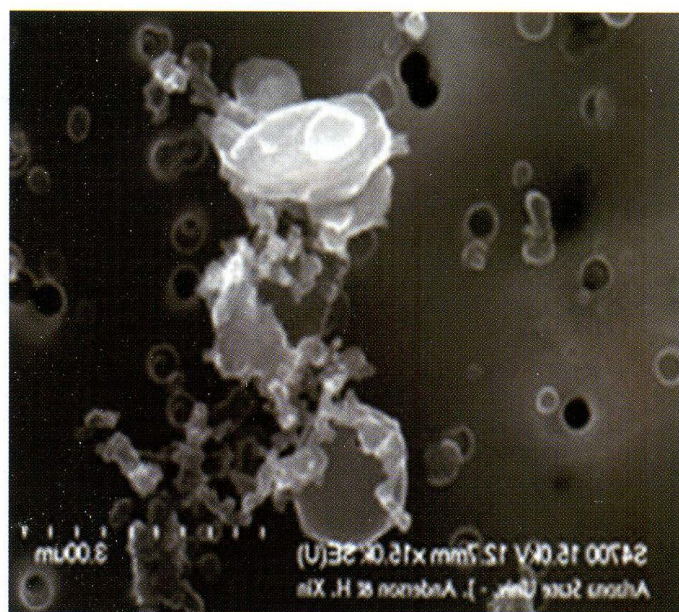
UNEP 和 WMO 指出，過去幾次跨政府氣候變遷小組 (IPCC) 評估報告可能低估了黑碳對地球氣候系統的影響。愈來愈多研究結果顯示，喜瑪拉雅山脈的冰河快速退縮以及北極冰山的快速融





↑圖2. 黑碳之主要排放途徑與區域示意圖 (圖片來源：  
<http://maps.grida.no/go/graphic/black-carbon-emissions>)

化都與黑碳有關。柴油汽車和卡車所排放的廢氣、露天燃燒農作殘餘物、家用火爐、森林大火以及燃煤工業等等都是黑碳來源。以中國為首的亞洲地區因為燃煤以及缺乏對於露天燃燒的控管，黑碳排放量相當驚人。在沙塵暴活躍的季節，譬如中國西北方冬春季與印度河恆河四、五月都是沙塵活躍的時候，黑碳會隨著沙塵遠播到數千里以外的高山上。有些研究發現黑碳的「吸熱」已影響到南亞夏季季風和水循環，增加了乾旱和洪水的威脅。



Credit: James Anderson, Arizona State University

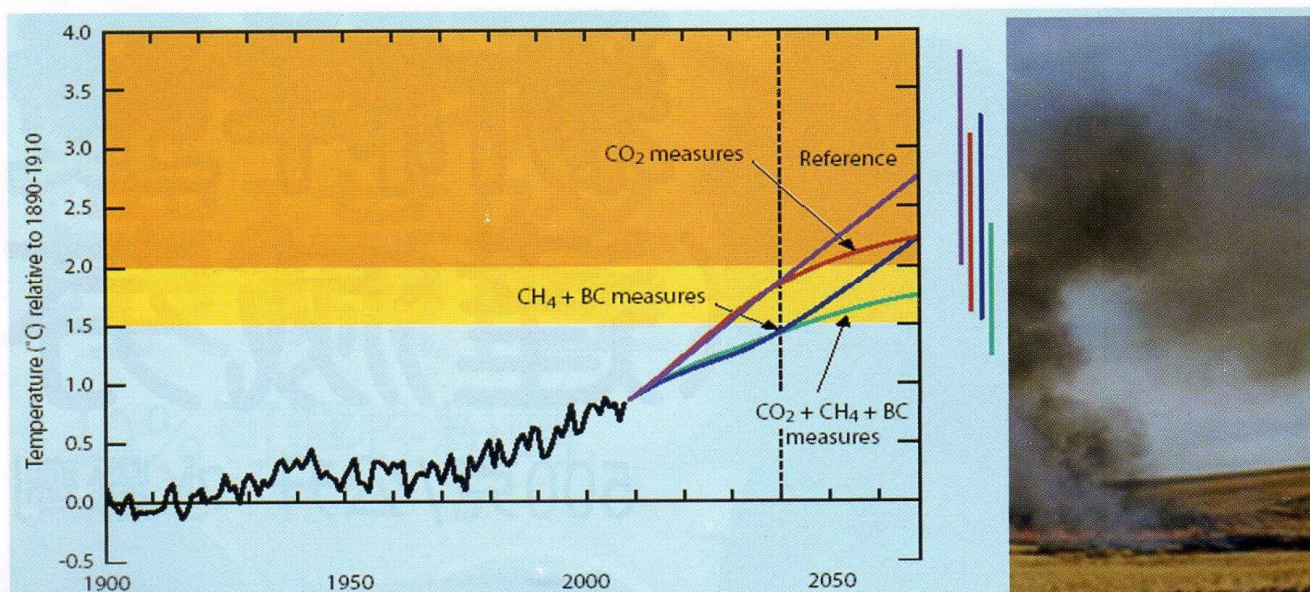
↑圖3. 附著在其它懸浮微粒上的黑碳，照片中白色部分是來自印度河恆河塔爾沙漠的沙塵礦物成分，黑色是黑碳 (圖片來源：<http://www.nasa.gov/topics/earth/features/carbon-pole-briefing.html>)

## 減緩暖化的當務之急

黑碳是僅次於二氧化碳造成全球變暖的第二大根源。因為黑碳在空氣中的停留時間只有十天左右，減少黑碳排放量可能是在短期內使全球暖化減緩奏效的最快方法，有助於延遲因為暖化幅度過大而發生的巨大不可逆轉之災難性氣候變化的來臨，為決策者爭取到更多時間達成中期或遠期的二氧化碳減量協議。

減少黑碳遠比減少二氧化碳容易執行。從上個世紀五〇年代開始，很多國家為了國民健康因素已有效減少黑碳尤其是來自化石燃料的排放，因此已有非常成熟的技術可用來減少黑碳排放量。減少黑碳排放就要減少煤煙，這樣





↑圖4. 摘自The Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone ([http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/Black\\_Carbon.pdf](http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/Black_Carbon.pdf)) 圖3。黑色實線是全球平均氣溫觀測值相對於 1890~1910 年平均值的差距。標示“reference”的紫色曲線為氣候模式根據維持現在的溫室氣體排放情境計算的未來推估結果，標示“CO<sub>2</sub> measures”為根據控制二氧化碳含量情境的計算結果，標示“CH<sub>4</sub> + BC measures”的深藍色曲線為根據控制甲烷與黑碳含量情境的計算結果，標示“CO<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub> + BC measures”的紫紅色曲線為根據控制二氧化碳、甲烷與黑碳情境的計算結果。虛線標示 2040 年。模式模擬的推估結果顯示控制甲烷與黑碳含量可使全球平均溫度在 2040 年不比 1890~1910 年的平均值高 1.5°C；若僅控制二氧化碳則不足以達到 2°C 的目標

可同時減少甲烷的產生。科學家認為如果世界各國都能提高空氣污染控制標準，大幅減少空氣中的黑碳和甲烷，就能夠降低對流層臭氧含量，減少呼吸道病變和就醫與住院的人數，提升勞動力與改善經濟。如此，不但在未來二十年內可避免使數百萬人淪為嚴重空氣污染受害者因而減少壽命，對流層臭氧含量減少還能降低農作損失，全球玉米、稻米、黃豆、小麥的生產量可提升一至

四個百分點，饑餓問題得以改善。加速抑制大氣中的黑碳與甲烷含量，減少對流層臭氧，不但燃起了達到哥本哈根協議目標的希望，也有機會使抗暖化成為邁向健康和平之路。

