

火山爆發對氣候的影響

前言

上海在今年五月初遭受近十年來最嚴重的沙塵暴侵襲，更令人憂心的是空氣中不僅有濃濃的沙塵，還有高出平常數倍的砷、鉛、硒等有害人體的元素，這些元素的出產地在中國西北部燃煤工業密集地區，也是沙塵暴慣常經過的路徑。每年三至五月是沙塵暴的活躍季節，歐亞大陸北方冷空氣勢力猶存，地表冰雪已逐漸消融，土質鬆軟，若遇冷氣團發威，吹起的沙塵可達千里之外，攪擾所及之地居民的生活和健康。或許是因為沙塵畢竟屬於大地，似乎不像人為排放的有害毒素那樣引起人的不安。

十九世紀後期人們就意識到燃煤與化學工業對環境的污染是一個非常嚴肅的問題。由於人為排放是新興行為，缺乏也不能等待累積足夠的數據，科學家寄望於從研究火山對氣候和環境的影響來推論人為污染環境的可能後果。火山爆發時送進地球大氣層的有固態、液態和氣態噴發物，主要有二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫、氮、硫、氫、氫、氯等成份。對於地球氣候系統而言，火山和人類活動都屬於造成變化的外來力量。

火山影響各不同

二〇一〇年在冰島爆發的埃亞菲亞德拉冰蓋 (Eyjafjallajökull) 火山其噴發規模並不大，但因噴發點上有冰河覆蓋，許多利如刀刃的地表細小碎屑與熔岩噴發物被帶到四千至九千公尺的高空，大大影響飛行安全迫使飛機停飛，造成前所未有的全球交通和經濟的大混亂。由於火山噴發規模不大又處於緯度較高的位置，只有如冰島、英國、丹麥、挪威、瑞典、芬蘭等少數高緯度國家直接受到火山噴發物的影響，之所以造成了全球性的大混亂，可謂是正中要害，不是氣候性的因素。

以往科學家認為火山爆發對氣候的影響主要是藉由散布在空氣中的火山灰。火山灰的粒子在重力和成雲降雨作用的影響下往往只能在空中停留兩三天就沉澱至地面，噴到十公里以上在平流層的微粒可停留的時間則比較長，顆粒愈小停留的時間愈長。火山灰對太陽發出的紫外線短波輻射有反射作用，能降低太陽能的入射量，使地表空氣變冷。但是，這套想法在一九八二年墨西哥艾齊芎 (El Chichón) 火山爆發以後有了重大的修正。

艾齊芎爆發的前兩年，發生了美國華盛頓州聖海倫 (St. Helen) 火山的大爆發 (圖1)，驚人的噴發力把噴出物送到高達二萬四千公尺以上的高度，據估計噴出的火山灰累積總體積約有二點八立方公里，造成全球平均溫度下降攝氏 0.1 度。和聖海倫相比，艾齊芎噴出的火山灰總量少之又少，但是艾齊芎對全球平均溫度的影響卻是聖海倫的數倍，這個不符預期的結果難倒了全球科學家，也成就了之後的科學上一大進步。

火山影響的關鍵 硫酸鹽氣溶膠

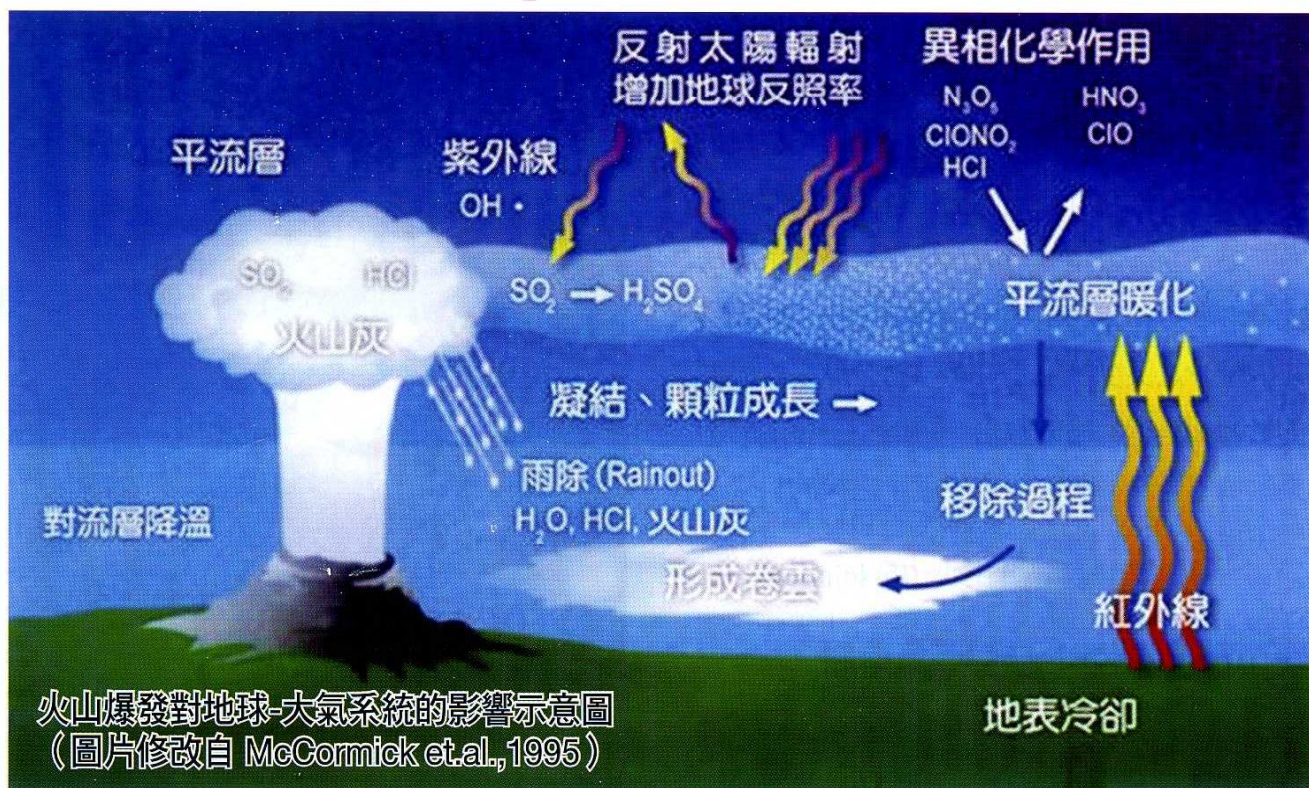
科學家發現，雖然艾齊芎噴出的固體火山灰體積遠不如聖海倫，但是噴出的含硫氣體卻是聖海倫噴出的四十倍。含硫氣體多寡才是影響全球氣候的關鍵。

含硫氣體當中以二氧化硫 (SO_2) 的影響最大。二氧化硫能吸收紫外線，經光化作用後轉變成硫酸鹽 (H_2SO_4)。硫酸鹽因為飽和蒸氣壓比較低，容易在空氣中形成小質點，稱為氣溶膠或懸浮微粒 (aerosol)。懸浮微粒是飄浮在空氣中的微小顆粒，直徑介於 0.001~10 微米大小。一微米相當於百萬分之一公尺，也就是萬分之一公分。含硫氣體飄浮在平流層的時間很長，轉換成硫酸鹽類氣溶膠 (sulfate aerosols) 的高峰期約有三十五天，轉變成硫酸鹽類氣溶膠之後又能在空氣中飄浮十二至十四個月甚至數年以上，行蹤可遍及全球。



↑圖1. 一九八〇年五月十八日大爆發的美國華盛頓州聖海倫 (St. Helen) 火山 (圖片來源：http://en.wikipedia.org/wiki/File:MSH80_eruption_mount_st_helens_05-18-80.jpg)

硫酸鹽類氣溶膠對於全球氣候的影響分為直接與間接兩種 (圖2)。直接影響是指氣溶膠對太陽輻射的影響，而間接影響是指氣溶膠經由對成雲降雨過程的影響來影響輻射能量的收支。氣溶膠能吸收與散射太陽短波輻射，增加地球反照率，減少太陽輻射的入射量，使氣溫下降。另一方面，氣溶膠提供的界面有助於水氣凝結，作為雲與冰的凝結核，降低了雲的平均粒徑，使反照率增加，是為第一種間接

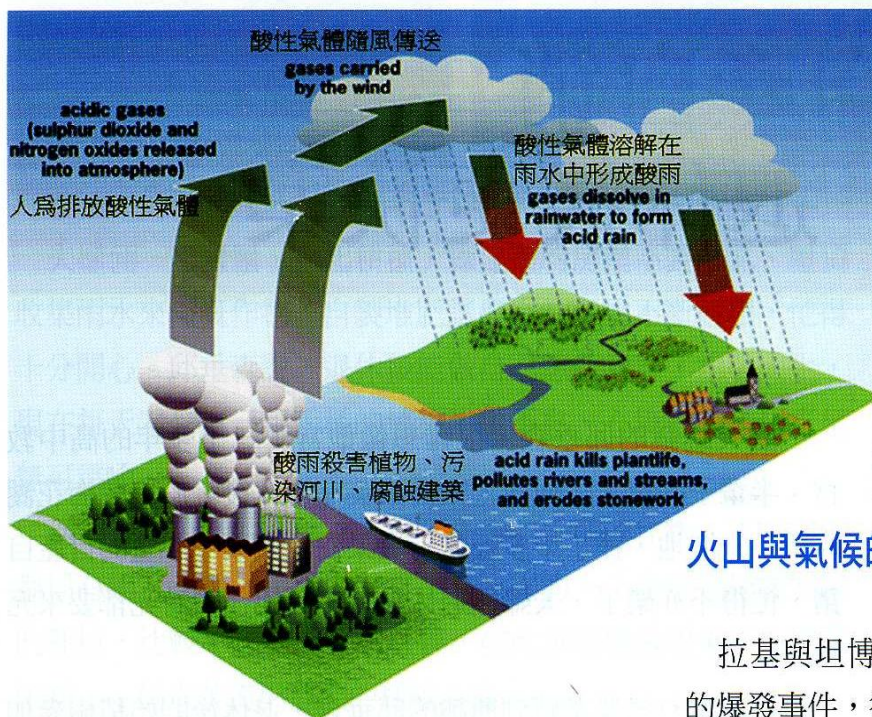


↑圖2. 火山爆發對氣候的主要影響有對流層降溫與平流層增溫，都是透過火山噴出的含硫氣體在平流層形成硫酸鹽類氣溶膠而產生。氣溶膠能減少太陽輻射向地球的入射量，也能作為雲與冰的凝結核使雲平均粒徑變小及壽命延長間接效應，減少太陽輻射的入射量，使對流層降溫。平流層雲量增多可吸收較多從地球表面向外輻射的紅外線長波輻射，導致平流層增溫 (圖片來源：國科會高瞻計畫資源平臺 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=23268>)

火山爆發極端事件

效應 (Aerosol First Indirect Effect)，或稱為雲反照效應。此外，氣溶膠愈多雲的壽命愈長，是為第二種間接效應 (Aerosol Second Indirect Effect)，或稱為雲生命期效應。兩種間接效應都會減少太陽輻射的入射量，使對流層氣溫下降。第二種間接效應使平流層雲量增加，可吸收更多從地球表面向外輻射的長波，導致平流層的增溫。整體說來，硫酸鹽類氣溶膠延長並擴大了火山爆發對全球氣候的影響，具對流層冷化和平流層暖化的作用。

歷史上有明確記載的最大熔岩噴發事件發生在一七八三至八四年冰島拉基 (Laki) 火山，岩漿從一七八三年六月開始斷斷續續地噴發了八個月，噴發量超過十二立方公里，覆蓋面積達五百六十五平方公里。拉基火山位置偏遠，附近無人居住，然這個事件卻造成約十萬人和成千上萬牲畜的死亡，農產歉收，饑荒肆虐。為何有如此慘重的災情呢？在冰島，火山灰是主要的殺手，牧場、田園都被火山灰覆蓋，哀



← 圖3. 酸雨的形成與危害示意圖 (圖片來源：http://4.bp.blogspot.com/_ak28Tg9cwVg/TKFAPw_fTUI/AAAAAAAAAKI/hJdsWOOb4oLw/s1600/acid_rain.gif)

火山與氣候的啟示

鴻遍野。在冰島以外的地方，主要的殺手正是大量的驚人的含硫氣體。火山噴發時期，歐洲大陸大部分地區上空經常煙霧瀰漫，西伯利亞和阿拉斯加經歷了五百年來最冷的夏季，空氣中的硫化物使酸雨現象極為嚴重，農作物與牲畜大量死亡。一七八四年冬季嚴寒，北半球大部分地區的溫度較往常低攝氏四至九度，加上前一年的歉收，可怕的饑荒在各地蔓延。

一八一五年四月在印尼爆發的坦博拉(Tambora)火山也是一次浩劫，這是有人類歷史以來最大規模的火山爆發，噴發量超過一百立方公里，造成全球氣候的異常。西方文獻稱一八一六年為無夏之年，歐洲出現八月雪，天氣陰濕寒冷。極酸的酸雨再次造成農作物與牲畜的大量死亡，釀成十九世紀最嚴重的饑荒。

拉基與坦博拉火山是人類歷史中非常極端的爆發事件，卻也突顯了人類對於自然環境的依賴。工業革命之後人類開始大量燃煤，煤中含有的雜質硫也在燃燒過程中隨之以酸性氣體(二氧化硫)方式排入大氣(圖3)。燃燒時的高溫也能促使助燃的空氣產生化學變化，氧與氮氣化合成為酸性的氮氧化物，經光化反應後產生硝酸。這些酸性氣體和雨水作用，成為雨水中雜質硫酸根、硝酸根、銨離子，形成高酸性的酸雨。酸雨對人類和環境的影響極為多元，較嚴重者可直接造成動物與植物的死亡，較緩慢者則包括了造成湖泊和土壤的酸化，妨礙水生與陸生動植物的生長。酸性雨也會使樹葉受損，成長受限，引發大面積的森林死亡。

值得再思的是：不論是自然的火山爆發，或是人為的酸性氣體排放，最深的受害者未必是排放源附近的居民。希望這樣的提醒，有助於我們以更大的胸懷和更理性的思維去關懷自然，保護環境，熱愛地球。

