

全球黯化與亮化

根據美國大氣及海洋總署的資料，今(2010)年的三到五月是一百三十年以來最溫暖的一個春季，比上一個世紀的全球平均春季氣溫高出攝氏 0.73 度。一至六月的上半年全球平均氣溫也是一八八〇年以來的最高記錄。無庸置疑，「暖化」正在發生，全球居民都在看。其實，除了暖化以外，氣候上還有「黯化」和「亮化」現象值得我們注意。

太陽～能量之源

進入「黯化」與「亮化」的主題之前，先談談大家非常熟悉的「陽光」。太陽是大氣與海洋動能的源頭，也是生物生長所需能量的來源；如果沒有太陽，地球將是一片死寂。太陽能乃是以電磁波的方式向地球傳遞，這種能量傳遞方式稱為「輻射」。輻射可以在真空中進行，不需要任何介質的幫助。如果能量源溫度越高，輻射出來的高頻率或短波長的電磁波所占比例就越大；如果溫度越低，低頻率或長波長的電磁波就占越大的比例。太陽是一個巨大的能源，表面溫度約有攝氏 6000 度，電磁波輻射頻率分布很廣，囊括頻率較高的紫外線和

較低的紅外線，然而主要的能量是集中在頻率介於紫外線和紅外線之間的可見光。在陽光下能夠看見五彩繽紛的大地，日落之後一切美麗色彩頓然失色，就是因為色彩實際上只是視神經接受電磁波刺激後在腦中產生的效果。人的眼睛不能直視太陽，因為直射的陽光電磁波能量太高，不是肉眼可以承受的，肉眼只能接受物質反射的陽光。不同的物質有不同的反射特性，綠葉主要反射出陽光的綠色波段，紅花主要反射紅色波段，沒有反射出來的電磁波(例如：黃色波段、藍色波段)是被物質吸收了。白雪的白來自於雪晶體對陽光有很強的反射作用；而深海的顏色那麼深，是因為液態水對陽光有很強的吸收作用。

太陽送給地球的輻射能無法完全被地表吸收，部分能量在空中就會被吸收或反射，還有一部分雖到達地面但沒有被吸收而是被反射回天空，不論是在空中或地面發生反射，這些沒有被地球的陸地、海洋及大氣吸收的輻射量在太陽送給地球總輻射能中所占的比例稱為「反照率」。地球的平均反照率約為 30%，其中有 20% 是雲的貢獻，可見水在氣候變化中居於非常重要的地位。

黯化、亮化

第二次世界大戰以前氣象觀測並不發達，太陽輻射量的觀測有如鳳毛麟角。一九五七年七月一日到一九五八年十二月三十一日是氣象史上非常重要的國際地球物理年，也是氣象觀測全球化的重要里程碑，觀測太陽輻射量的據點從那一年開始增多。以往觀測資料比較缺乏，科學家把全年全球平均的太陽入射輻射量當作固定的常數。直到有了數十年的觀測資料以後，才發現地面測量到的太陽入射總輻射量不如假想中那麼穩定，在一九六〇至一九九〇年期間太陽入射總輻射量有持續下降的趨勢，降幅約 5%。歐、亞、美洲都觀測到輻射量減少的現象，只是程度上有區域性差異，美國測量到的最高降幅達 10%，香港量到的降幅則高達 37%。科學界為一九六〇至一九九〇年太陽入射輻射量持續下降取名為「全球黯化」。九〇年代之後「黯化」減緩，數年後「亮化」趨勢漸漸明顯，也就是太陽入射輻射量逐漸增加，這個趨勢在全球多數地方仍在進行，唯印度的「黯化」尚未出現回轉。臺灣因為在八〇年代之後才逐漸建立標準化的太陽輻射量觀測儀器校驗程序，早年的資料誤差無法確定，輻射資料不適合用以分析長期氣候變化。

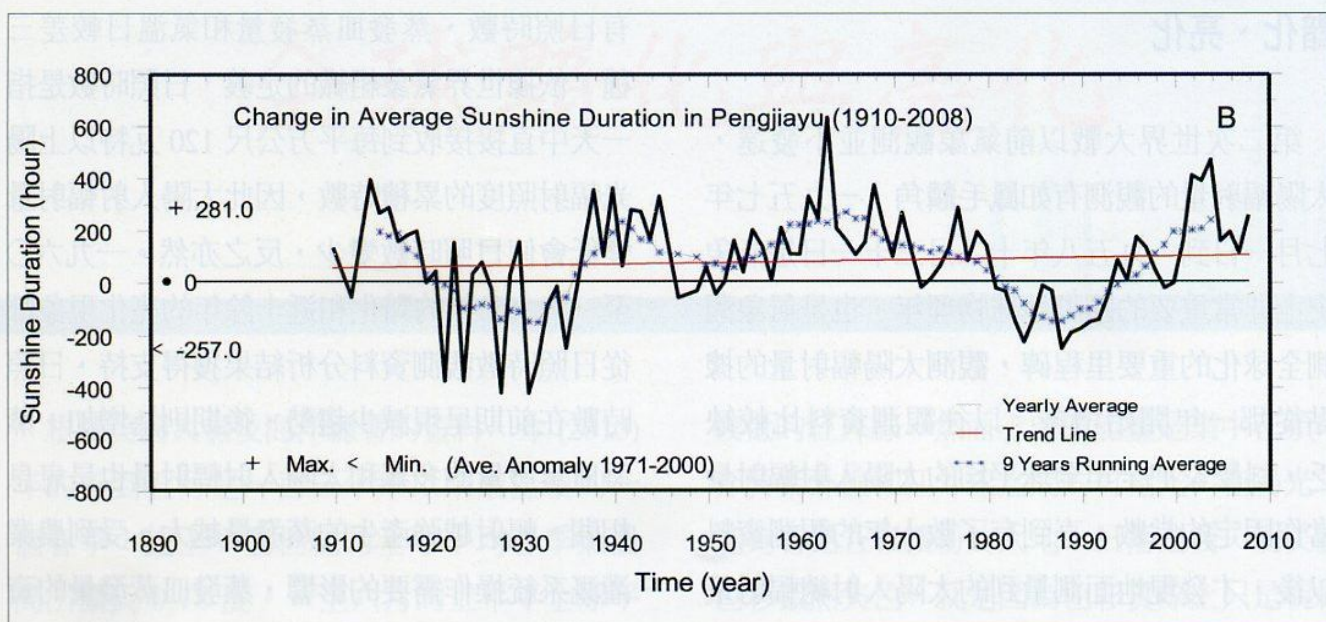
日照、蒸發、氣溫日較差

太陽輻射量記錄正確性可藉由和其他觀測資料的比較分析加以辨識，最重要的佐證資料

有日照時數、蒸發皿蒸發量和氣溫日較差三種。依據世界氣象組織的定義，日照時數是指一天中直接接收到每平方公尺 120 瓦特以上陽光輻射照度的累積時數，因此太陽入射輻射量變低會使日照時數變少，反之亦然。一九六〇至一九九〇年的黯化和近十餘年的亮化現象都從日照時數觀測資料分析結果獲得支持，日照時數在前期呈現減少趨勢，後期則為增加。蒸發皿蒸發量的多寡和太陽入射輻射量也是息息相關，輻射越強產生的蒸發量越大。受到農業灌溉系統操作需要的影響，蒸發皿蒸發量的資料長度和數量遠多於太陽輻射量。一九六〇至一九九〇年世界多處蒸發量出現下降的趨勢，九〇年代以後轉為上升，與黯化和亮化的特徵一致。氣溫日較差是指一天當中觀測到的最高溫和最低溫的差值，由於太陽入射輻射量下降會使白天最高氣溫降低，氣溫日較差隨之變小，因此可以作為驗證輻射量資料的佐證。結果顯示，氣溫日較差變化和黯化與亮化的變化特徵是一致的。

黯與亮的可能原因

「黯化」與「亮化」的發生原因可能與人類造成的空氣污染有關。人類的經濟活動製造了大量的懸浮微粒排放到空氣中，對地面有「冷化」的作用。懸浮微粒是指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。空氣中的懸浮微粒有自然與人造



↑ 彭佳嶼測站在 1910-2008 年期間之年日照時數變化圖。曲線顯示的是每年日照時數相對於 1971-2000 年氣候平均值的偏差，正偏差表示日照時數多於氣候平均值，負偏差表示日照時數少於氣候平均值。藍色點線為經過9年平滑的結果，紅色線為 1910-2008 年資料線性迴歸的結果。本圖顯示日照時數沒有明顯的百年線性變化趨勢，但是有以數十年為一期的高低變動現象，1920-1935 年和 1980-1995 年日照時數偏少，1920 年以前、1940 年左右、1960-1970 年和 2000 年以後這些時期的日照時數都偏多。

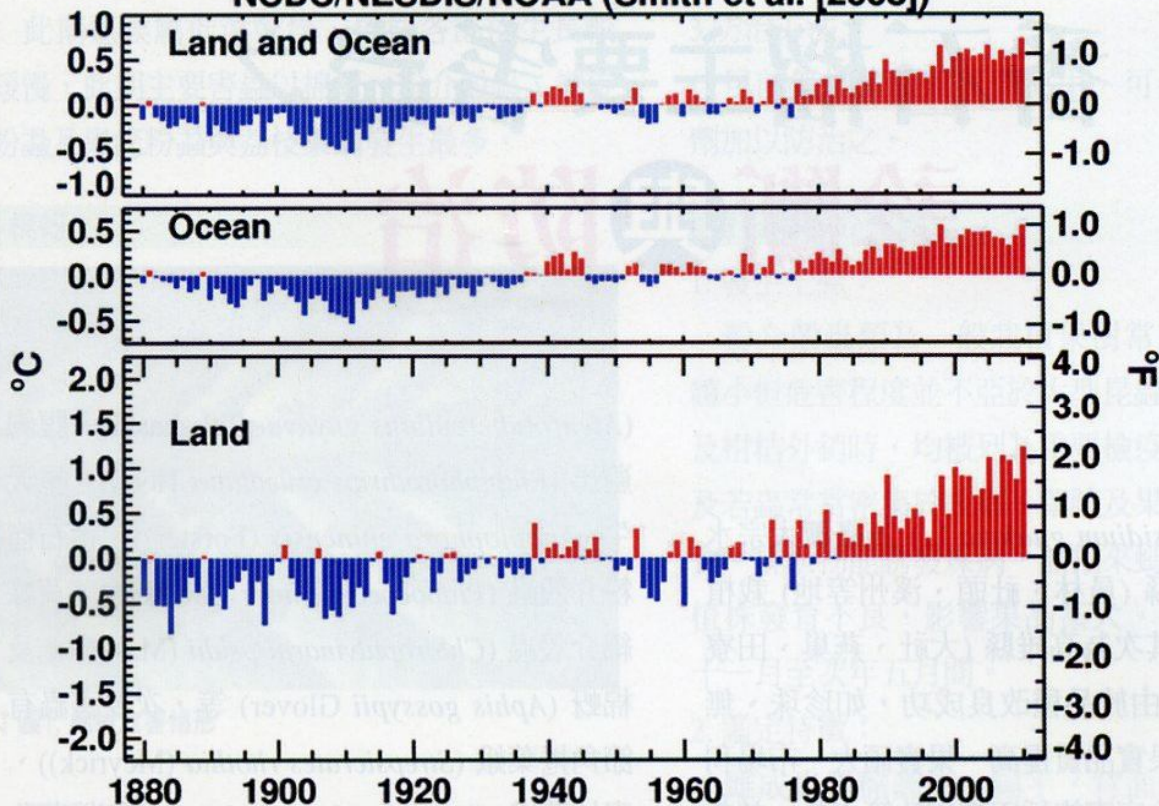
資料來源：1897~2008 臺灣氣候變化統計報告 (交通部中央氣局出版)

之分，火山灰、塵灰、海鹽等都屬於自然產生的，而工業灰塵、煤煙、硫酸鹽、硝酸鹽等都是人造的。越小的懸浮微粒在空氣中停留的時間可以越長，對氣候的影響也越大。空氣中的懸浮微粒會反射太陽輻射，使到達地面的輻射量減少，對地面有「冷化」的作用。然而懸浮微粒可吸收太陽輻射能，對於懸浮微粒所處的高層大氣卻有增溫的作用。還有，懸浮微粒是很好的凝結核，能增加小雲滴的形成。小雲滴對陽光有很好的反射效果，可減少到達地面的太陽輻射量。

人造懸浮微粒對氣候的影響，從一件非常特別的案例可看出端倪。二〇〇一年美國遭受

了 911 恐怖攻擊，事發後美國領空有三天的淨空時間。之後科學家分析那段時間的資料，竟發現沒有飛行器的三天的地面氣溫比前後時間高出約攝氏 1 度，氣溫日較差比氣候平均值多了 1.8 度，證明經飛機排放廢氣形成的凝結雲對太陽輻射和地面溫度的影響是不容忽視的。911 事件也提供了一條線索，支持一九六〇至一九九〇年期間發生的黯化、日照時數減少、氣溫日較差變小都有可能是因為空氣變髒，懸浮微粒增加的緣故所造成的。九〇年代以後環保意識普遍提升，各國紛紛製定法規，限制污染物的排放，有效地降低了空氣中的懸浮微粒濃度，很可能是轉黯化為亮化的原因。

Mar-May Global Surface Mean Temp Anomalies NCDC/NESDIS/NOAA (Smith et al. [2008])



↑北半球春季(三至五月)全球平均溫度在1880-2010年期間逐年變化圖。上圖為陸上與海上的平均氣溫，中圖為海上平均氣溫而下圖為陸上平均氣溫，圖中顯示的溫度為與20世紀(1900-1999)平均氣溫的差值。20世紀的春季陸上與海上平均氣溫為 13.7°C ，單計海上平均氣溫為 16.1°C ，陸上則為 11.3°C 。2010年春季全球平均氣溫比二十世紀平均值高 0.73°C ，是1880年以來的最高值。陸地上也是1880年以來的最高值，比20世紀平均值高 1.22°C ；海上則是1880年以來的次高值，比二十世紀平均值高 0.55°C ，僅比1998年最高值低 0.01°C 。

資料來源：<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/?report=global> <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/?report=global>

臺灣的日照時數、蒸發皿蒸發量和氣溫日較差都有百年以上的資料，在一九六〇至一九九〇年期間日照時數出現減少趨勢，蒸發量與氣溫日較差也都是減少，和全球黯化的趨勢一致。一九九〇至二〇〇九年的趨勢則是相反，也和全球亮化的趨勢相符。但是從百年資料來看，在臺灣以及臨近區域的經濟活動起飛以前，日照時數和蒸發量都曾經出現明顯的變化，一九一〇至一九三〇年為下降趨勢，一九三〇至一九四五年為上升趨勢，顯示空氣

污染可能不是影響太陽入射輻射量的唯一原因。

進入二十一世紀以來，科技先進國家投入大量資源重新整理與開發新氣象衛星資料，用更精準的儀器和方法估算地球的輻射能量平衡。目前科學上對於懸浮微粒和雲的瞭解還非常的粗淺，欲解開以數十年為一期的「黯化」與「亮化」交替出現的謎團，或許還需要一個世紀的努力。

