

沙塵暴

張培臣

空軍氣象中心

摘要

近年來，由於大陸地區沙塵暴發生的頻率快速增加，連帶地台灣地區受影響的次數亦隨之明顯成長。因此，不但大陸學者加強對沙塵暴發生背景、成因、條件、地理環境、及對人類生活影響，等課題積極展開調查與分析，並嘗試尋求解決之道或改善方式；台灣亦在環保署與國科會等單位相關經費支援下，展開一連串研究。本文即針對近年相關研究作一簡略綜整，就沙塵暴的相關議題，予以簡略介紹。

關鍵字：沙塵暴

(2002 年 05 月 06 日收稿；2002 年 05 月 14 日完稿)

一、前言

沙塵暴在美國稱之為「黑風暴」，俄羅斯稱之為「白風暴」，中國古代名為「霾」。其他在加拿大、澳洲、非洲、歐洲也有發生的個案。沙塵暴是東亞沙漠區地區春季相當活躍天氣現象之一(Zhou et al., 1996; Duce, 1980);但其中真正能嚴重影響台灣地區空氣品質的個案，其實並不多。因此各界過去對沙塵暴及其相關的影響，都相當陌生。較為國人熟知的案例，如 1995 年 3 月 12 日基隆、宜蘭、汐止、瑞芳的『黑雨』、『紅泥雨』，輿論均懷疑是工業污染所造成；但最後都證實是大陸沙塵暴影響所致。自環保署 1999 年設置馬祖測站起，全島各地已逐步增設空氣監測站。今(2002)年更開始嘗試以數值預報，掌握沙塵影響台灣地區的時間與規模，以期將相關災害減至最低。

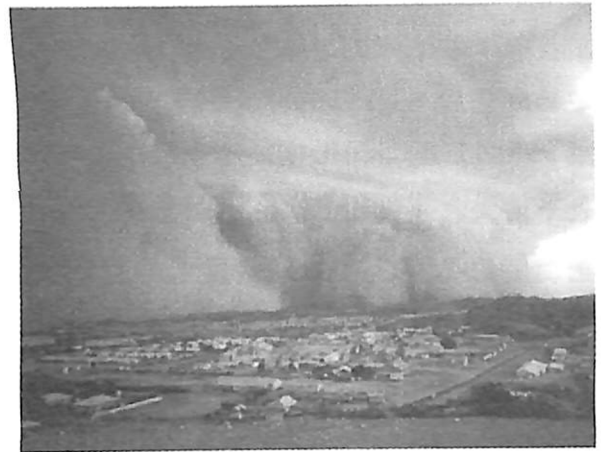


圖 1 一次襲擊澳洲艾麗斯泉(Alice Springs)的沙塵暴。(William, et al., 1996)



圖 2. 世界主要沙塵暴發生地與傳遞路徑。(William J. Burroughs, et al., 1996)

由於冬半年台灣地區位處大陸冷高壓影響下游，因此隨著東北季風及大陸北方沙漠區適當天氣形勢等條件配合下，台灣偶而會成為沙塵暴下游影響區。此時主要的大氣現象變化，是空氣懸浮微粒突然增加、空氣品質惡化；對人體健康的影響，則是老人、幼童及過敏、氣喘等呼吸道病患相對增多。根據學者統計，歷年沙塵暴影響台灣空氣品質頻率每年大約2~3次；但2001年則突增為7次。

二、地球才有沙塵暴？

沙塵暴，不但不是僅見於亞、美、非、澳各地；即使在地球數千萬公里以外，也有沙塵暴的足跡。在火星，數十億年隕石、小行星撞擊，在表面形成數公尺厚、含三氧化二鐵的紅色腐岩(*regolith*)沙礫層。火星大氣組成95%以上是二氧化碳，水氣只有0.03%，地表平均大氣壓6-8hPa，平均氣溫為日間-13°C至夜間的-75°C。與地球相較，火星公轉軌道略顯狹長，遠日點比近日點要長4,400萬公里。位於遠日點的火星南半球，冬季較長且冷，使大量二氧化碳在南極地表結成乾冰；冰帽最北延伸至南緯50-45度左右，大氣壓下降約25%。當南半球由冬半年轉暖至春、夏季時，大量二氧化碳由冰帽中被釋放至大氣中，數個月內大氣壓增加12%，產生劇烈的氣壓梯度變化，造成時速50~100公里的強風；被吹起的地表沙塵，最厚可達10公里。最強沙塵暴發生時，沙塵會瀰漫整個火星長達數月之久；沙塵形成的溫室效

應，更會讓火星大氣增溫20-30°C。

所以，在火星上發生沙塵暴的基本條件是：具有充足而乾燥的沙源、強勁而持久的大風、與不穩定的底層大氣。(雖然火星大氣、地表含水量極少，但如果有人類真的上火星，將會發現大清早時空氣是濕的；這是因為氣溫太低，即使水分不多，還是能輕易達到飽和。)

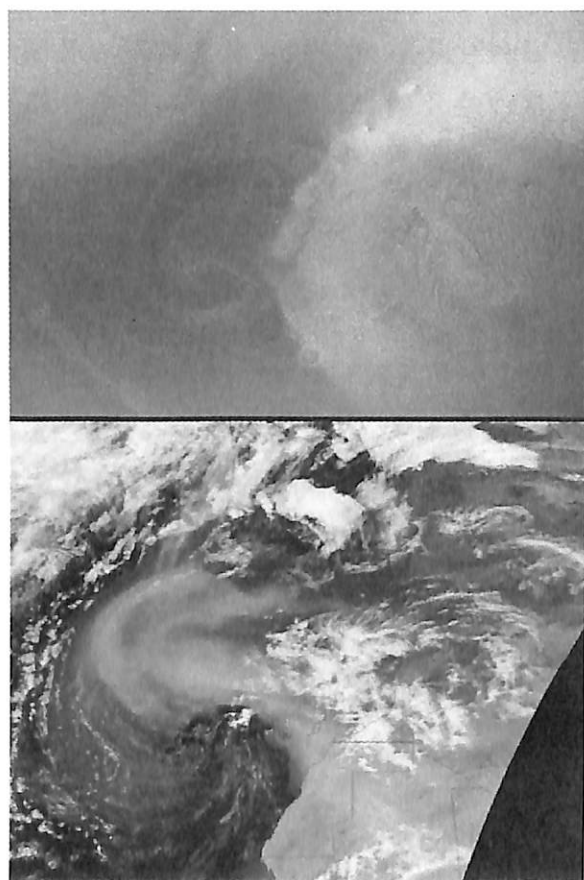


圖3 火星沙塵暴(上)與撒哈拉沙漠沙塵暴(下)的比較。(摘自NASA "VISIBLE EARTH"網站 <http://visibleearth.nasa.gov>)

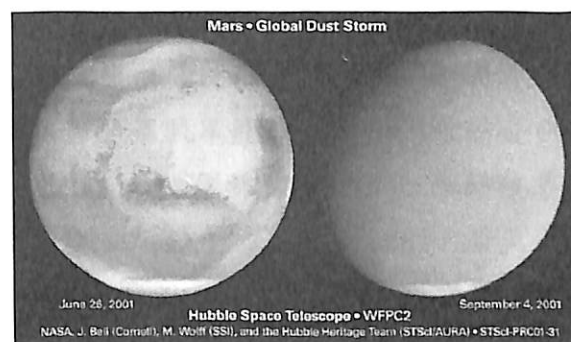


圖4 美國哈伯(Hubble)望遠鏡所拍攝到的火星沙塵暴。圖左為2001年6月26日沙塵暴剛開始(起於圖中之右下角)時的影像；圖右為2001年9月4日沙塵瀰漫全火星的影像。(摘自NASA網站)

三、何謂沙塵暴

一般而言，強風總會將地表沙、塵吹起，並隨風將沙塵四散各處。但有時候，在適當的時、空環境條件配合下，也會產生隨天氣系統移動的巨大沙(塵)牆，攜帶上千噸沙塵到別處。這種現象，通常會發生在經歷長期乾旱、地表充滿沙礫(如沙漠)的廣大區域。這時候，如果有一道強冷鋒通過該地，冷鋒前緣的上升氣流就會將表層沙層吹起，形成一道沿鋒面前緣分布的沙牆。而隨著鋒面系統的持續發展，將有更多的沙礫被捲入。沙塵通常可以被舉昇至10,000呎高度、被移動數千哩、以及滯留空中數天之久。這些捲起沙塵的雲系如果造成能見度下降至1公里以下，便稱之為沙塵暴(dust storm)；如果能見度低於0.5公里，則為嚴重沙塵暴(William et al., 1996)。

依據本軍「地面氣象觀測手冊」之定義：凡由「非含水滴或冰粒之吸水性質點，懸浮於空氣中，或自地面被風吹起，造成視障現象之大氣現象」，均類歸於「塵象」。其中，「塵

霾」係指「明顯由強風或渦流」造成之「吹塵或吹沙，使塵埃或細砂，自地面揚起，而懸浮於空中者」。若地面之塵、沙被風吹揚之高度小於2公尺，且不足以蔽障視線高度之能見度者，稱之為「低吹塵或低吹沙」；若沙、塵揚起高度超過2公尺而造成視障，導致水平能見度不足10公里時，則稱之「高吹塵或高吹沙」。

所謂「侵襲台灣的沙塵暴」，與沙漠地區的沙塵暴、沙暴(sandstorm)，或非洲蘇丹、美國西南沙漠區因雷暴舉昇沙塵後，在前緣下衝冷流形成的 *haboob* (源自阿拉伯文 *hebbe*)，並不相同。嚴格地說，台灣地區的「沙塵暴」，是肇因於大陸沙塵暴發生後，在適當綜觀大氣環境配合下，長程輸送至台灣地區所造成「大氣中鹼性懸浮微粒濃度增加」與「空氣品質惡化」的現象。國內沙塵暴研究由於正在起步階段，因此目前並無一致標準。依據余(1997)分析1984至1995年冬半年共78次沙塵暴案例所定義之台灣地區沙塵暴，有以下三標準：

(一)、連續24小時以上，同時有3個(含)以上相鄰測站觀測到塵象者。

(二)、連續36小時以上，同時有2個測站觀測到塵象者。

(三)、連續48小時以上，但僅有1個測站觀測到塵象者。

2000年大陸共計發生了12次沙塵暴；影響所及，除大陸北方14省、市、自治區等約大陸近四分之一面積受影響外，也波及到福建、台灣、韓國、日本。2000年春季，北京經歷12次強沙塵暴；當年3月2日至4月25日，內蒙就也出現13次強沙塵暴；12月31日至2001年1月2日的沙塵暴，更是大陸地區近十幾年來發生最早沙塵暴案例。

2001年河西走廊也連續發生三次沙塵暴。根據紀錄統計，大陸近年沙塵暴的發生，有頻率加快、間隔變短、強度增加的趨勢(柳等，2001)。



圖5 每到春季，大量黃沙吞沒公路，使河北省豐寧縣小霸子鄉交通中斷，近萬人被困。(摘自大地雜誌2001年4月號)

四、沙塵暴的影響

(一)、社會經濟上的影響

美國1860-1890年過度開發大西部，大規模缺乏良好規劃、管制的農墾、放牧，結果逐漸破壞了植被。1934年5月暴發的一次沙塵暴，範圍東西長2,400公里、南北長寬144公里，幾乎橫掃2/3美國大陸。最後有4,500萬公頃農地被毀，16萬農民無家可歸；100億噸小麥或被強風摧毀，或被沙塵堆掩埋。1950年代，前蘇聯在哈薩克、烏拉爾和西伯利亞等地，毀林開荒6,000萬公頃土地。到1963年，沙塵暴便席捲整個墾荒區；僅哈薩克受災面積就達2,000萬公頃。1969年1月，又有82萬公頃冬小麥毀於沙塵暴(柳等，2001)。

由於大陸北方沙漠地區為台灣沙塵暴的源地，因此大陸地區相關沙塵暴災情，近年逐漸受到國內學者的注意。如1979年4至6

月間，塔里木盆地連續發生三次沙塵暴；其中一次僅犁縣3天內，每平方公里就降塵25,600公噸。1983年，新疆石河子墾區遭受沙塵暴襲擊，25萬畝農作物受災，損失300多萬人民幣。1986年5月，十級風沙塵暴襲擊和闌，農作物受災20萬畝，損失5,000多萬人民幣。1993年5月，大陸西北一場強沙塵暴造成幾萬頭牲畜死亡與走失，505萬畝農作物受災，380人死亡，損失5.4億人民幣。1993年5月5日，西北地區一次強沙塵暴侵襲新疆東部、甘肅河西、寧夏、內蒙西部，造成重大損失。1995年5月15日，甘肅一場強沙塵暴降塵量高達1,243.1萬噸，相當於該省最大水泥廠15年的產量。1998年4月，大陸西北又遭受沙塵暴侵襲，共156萬人受災，影響波及北京、濟南、南京、杭州等地(柳等，2001)。

(二)、對空氣品質的影響

Joseph等人(1973)研究發現，中東的「喀新風暴」(“Khamsin” storms)每年可以將 $3.2 \pm 1.6 \times 10^6$ 噸的沙礫吹到空中。如果將分析對象擴散到全世界各地發生類似現象的地區，則每年全球約有 $128 \pm 64 \times 10^6$ 噸沙礫被吹到大氣中。1960年代中期至1970年代中期，赤道西太平洋難溶性無機懸浮微粒濃度增加三倍，可能與沙哈拉沙漠附近地區大範圍長期乾旱有關(Prospero and Mees, 1977)。

大陸沙塵暴源地多在35°N以北、125°E以西，細顆粒沙塵被舉升至1,000~3,000公尺高度的西風氣流中後，會被向東輸送至日本、韓國等地，甚至遠達美、加。在特殊天氣形態下，大陸沙塵會隨著伴隨冷高壓南下的東北季風影響台灣。

沙塵暴影響台灣時，由於傳送距離長達四、五千公里，一般粒徑多在10微米以下，

濃度更遠低於沙塵暴發生附近區域。所以沙塵到達台灣時，不至於產生明顯的黃色霧狀現象。一般民眾除白天感覺光線變暗，能見度稍差外，不易由肉眼判斷。但在沙塵影響次日，室外汽車表面則會蒙上一層淺黃色灰塵。

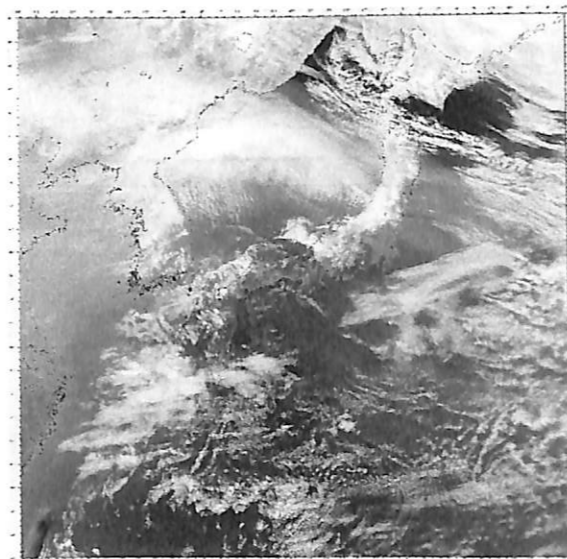


圖6 2001年3月6日，來自大陸的沙塵暴不僅影響日本、韓國，也來到台灣地區(圖左下角)的上空。(摘自NASA“VISIBLE EARTH”網站)



圖7 大陸地區最常發生沙塵暴之沙塵源區(Xuan, 1999)

雖然從目視判斷，一般人很難分辨是否

受到沙塵暴影響；但除了環保署的空氣監測站分析資料，仍有其他判別的方式。林等人(2001)於1995-2001年1-3月至陽明山竹子山區雲霧水採樣結果，大陸沙塵暴影響期間(2001年2月16-17日)濾紙呈現深黑色；無沙塵暴個案(2001年2月12-13日)則明顯乾淨。

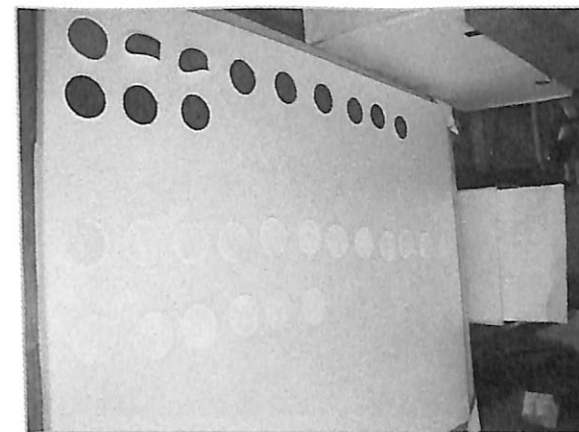


圖8 陽明山2001年2月16-17日(上)受沙塵暴影響時，及2月12-13日(下)未受沙塵暴影響時之雲水濾紙。(林等，2001)

(三)、對健康的影響

據環保署分析沙塵暴影響時的空氣懸浮微粒成分，發現懸浮微粒中鋁、鈣、鐵及鎂等屬於地殼元素成分明顯增加，與大陸內蒙黃沙成分吻合，證明空氣中懸浮微粒確實來自大陸沙塵暴。根據林等人(1999)之研究，台灣北部地區之酸雨雲水平均pH值為 4.2 ± 0.6 ；而沙塵中的鹼性離子(如鉀、鈣、鋁、鎂離子)對雨中之酸性離子具有中和之作用，最高可達7.72；故對酸雨之抑制反有正面之貢獻(林與彭，1999)。

大陸沙塵暴影響期間，懸浮微粒(PM₁₀)與細懸浮微粒(PM_{2.5})濃度同時增加。影響期間細懸浮微粒(PM_{2.5})濃度，依個案差異約較平常背景濃度高出2-3倍。細懸浮微粒較能

深入人體肺部，影響人體健康程度較懸浮微粒(PM₁₀)更甚，尤其可能對老人、嬰幼兒、過敏體質、呼吸道疾病患者造成傷害。日本大阪大學宮地等教授也發現，當沙塵暴侵襲日本時，大氣中的黴菌數量較平日增加2至3倍(林等，2001)。

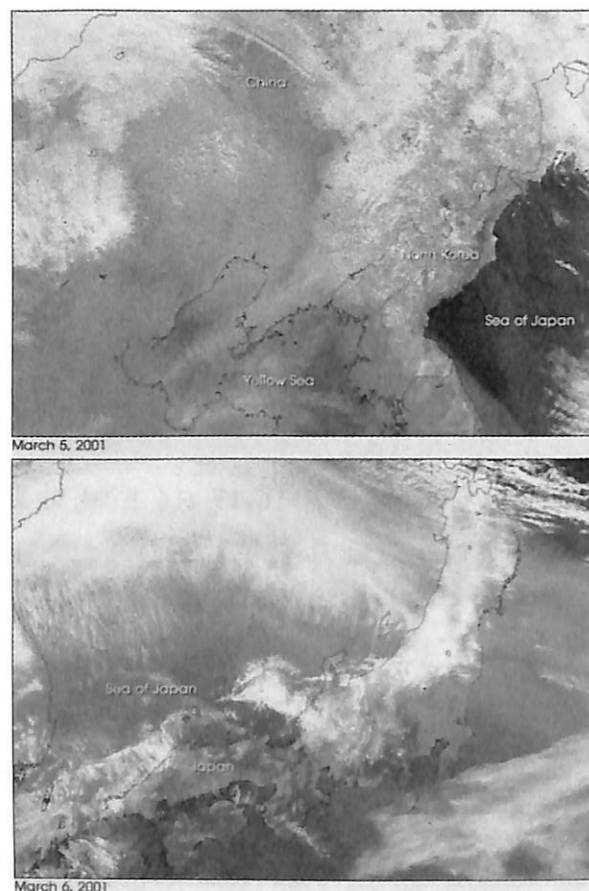


圖9 2001年3月5-6日，東亞地區沙塵暴的衛星影像。(摘自 NASA “VISIBLE EARTH”網站
<http://visibleearth.nasa.gov>)

五、沙塵暴的成因

一般而言，在空間上沙塵暴不但與地理環境有關，更與當地氣候有關；尤其與天氣系統的移動路徑關聯性更大，特別在強冷鋒過境後，沙塵暴較容易發生。研究指出，發生沙塵暴有三個必要條件：強風、乾燥疏鬆

的沙源、不穩定的邊界層大氣。同時滿足上述三條件，即是沙塵暴的多發區域。舉例而言，大陸西北地區乾旱且多沙漠，就氣象條件而言也處在冷空氣進入大陸西北及西方路徑上。當春季來臨時，鋒面活動仍活躍，加上土壤已解凍，表層裸露疏鬆。午後地表急劇增溫後，最容易同時滿足上述三條件，所以西北地區也是大陸沙塵暴的易發區(柳等，2001)。

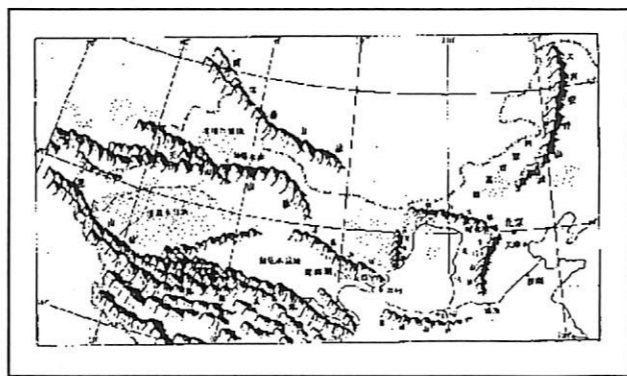


圖10 大陸西北地區沙塵暴源地之地形分布。(林等，2001)

沙塵暴在1950及1960年代平均兩年一次，1980年代共發生14次。但在2000年的一年中，就發生了12次。導致沙塵暴增加的可能自然原因，為大陸北方氣候的乾暖化。近30年，大陸北方逐漸呈現湖泊水位下降或乾涸、河川徑流量減少、冰川後退、雨量減少且集中在夏季而年變率大、地下水水位下降等現象。乾暖化使土壤日漸乾燥，尤其湖泊與河流乾涸之後，泥沙更容易被風暴吹起(張，2001)。

六、人類活動對沙塵暴的影響

大自然本身就存在著各種侵蝕、傳遞、堆積作用的動力地貌過程。但是人口過度累

積後，原有居住地四周的生產區，已無法負荷過度膨脹的人口需求，特別是鄰近都市地區；於是人類活動便逐步向郊區、森林、草原等原本的自然地延伸過去。過去農業區偶有的小規模火耕，確實可以讓土地肥力復甦，森林新生；但近代過速與大面積開墾的結果，自然的回覆力已趕不上人類的破壞速度。對地表植物相的改變，也會改變當地植物相的蒸散特性；未適度維護管理的農田灌溉，則會產生土壤的鹽鹼化，讓荒廢、沙漠化的土地面積進一步擴大。因此，人為因素對近年來，特別是工業革命以來，的沙漠化及沙塵暴，有很大影響。



圖11 大陸北京一次沙塵暴侵襲，天空呈橘黃色。(摘自大地雜誌2001年4月號)

一些具有疏鬆沙質地表、乾旱、大風季節等條件的地區，均為沙漠化的潛在危險區。在這樣的脆弱環境條件下，因人為過度經營活動，如過度的農墾、放牧、砍伐，水資源的過度利用，工礦、交通開發過程中忽視了對環境的保護等因素，都會造成沙漠化。生態平衡破壞後，地表呈現出類似沙漠的景觀，如風蝕地表、粗化地表、吹揚的灌叢沙堆、片狀流沙，最後造成地表呈現密集流動的沙丘景觀。沙漠化導致地表被風蝕

地、粗化地、片狀流沙及流動沙丘等侵占，土地生產力急劇下降。沙漠化實質上就是土地退化；其他還包括水土流失造成的石漠化，和不適當的農灌溉造成的鹽鹼化等等。在大陸，北京地區降沙、降塵的主要沙源，並非來自天然沙漠，而是內蒙中部和河北北部約25萬平方公里的退化草場、棄荒地、旱作耕地。因此，人類活動已經成為土地沙漠化與沙塵暴頻率增加的幫兇。

據統計，1949~1978年大陸北方半乾旱地區人口平均年增率超過30‰，人口密度由10-15人/平方公里增加到40-60人/平方公里；但同時期此一地區仍以低技術的傳統農業生產為主，技術落後，仍維持廣種薄收、只種不養的掠奪式經營方式。結果，隨著人口及需求的急劇成長，對土地資源的壓力迅速擴大，造成土地利用與脆弱生態環境、貧乏資源間矛盾的激化，成為土地沙漠化的重要觸發因子(董，1993)。大陸過度利用土地資源、造成沙塵暴頻率增加的人為因素有以下幾項(林等，2001；張，2001；董，1993)：

(一)、過度農墾。由於人口激增，對糧食的需求跟著遽增，因此就必須以更大規模的農墾來應付。於是耕地面積日益擴大，加上未做好水土保持與生態維護，原生植被遭到嚴重破壞，甚至破壞了護沙植被。例如在1887年時，大陸東北、西北分別擁有耕地30.1與26.1百萬畝；不到百年(1978)則分別擁有283.7、155.8百萬畝。不但灌溉農田休耕後，風蝕破壞將加重；春耕時翻動土壤，也會讓土壤風蝕力增加百倍。大陸寧夏等地民眾，每挖掘一公斤甘草，需破壞草地8至10畝；僅1994年因此被破壞的草地便超過100萬畝。內蒙地區生產的髮菜，每兩甚至需要翻動一個球場面積的土地。

(二)、過度放牧。由於牲口數量跟著人口猛增，對天然草場產生巨大壓力；草場嚴重超載，終於導致草場退化。例如在大陸寧夏省的草原，每年可供放牧的羊隻數為 288.5 百萬頭；但在 1987 年時卻有 738 百萬頭羊，超載率達 155.8%，退化草場因而達到可利用草場的 97%。由於草原地下水乾涸，生產力降低，牛、羊頭數反而增加，因此普遍營養不良。1960 年代內蒙地區的羊、牛每隻均重分別為 12、125 公斤；到了 1970 年代分別只剩 9、75 公斤。

(三)、過度樵採。大陸鄉村地區人民主要的能源為生質，平均每人每年約需耗用 500 公斤木材。目前荒漠化地區每年需薪材 4,189 萬噸，而區內 370 萬畝薪炭林卻只能供應 580 萬噸；加諸無其他替代能源，只能大量砍伐林木，連防風、固沙的防護林也無法倖免。1957 年新疆有檉柳、楊樹 188 萬畝，1980 年代只剩 74 萬畝。過去農村有樹，貓頭鷹棲息樹上並捕食鼠類；樹木砍伐殆盡後，貓頭鷹因無棲息之所而無法生存，其他鼠類天敵如蒼鷹、鷂，也因棲息地喪失與盜獵而幾近絕跡。但鼯鼠卻因而猖獗；鼯鼠以草根為食，每天約食用 40 至 50 棵，表土即會因而鬆軟。

(四)、開採煤礦，翻動表土。山西與蒙古西部為主要產煤區；2000 年 1 至 6 月山西、黑龍江、遼寧、內蒙的煤產量分別為 9928.3、2496.8、2143.4、1851.1 萬公噸；其中一大部份為露天開採。

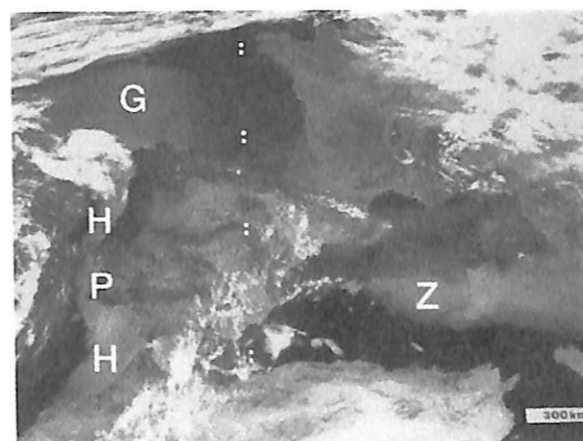
(五)、濫用水資源。由於大陸地區仍以大水漫灌方式灌溉，嚴重浪費水資源。而西北、華北乾旱少雨，水資源又無法有效分配與管理，河川上游常常過度耗用，造成下游嚴重缺水，大範圍植被枯死、土地沙化。例如新疆塔里木河流域上游的超量用水，造成下游

270 公里河道斷流、530 萬畝胡楊林枯死、100 萬畝草場退化；而這種情況現在已經開始向中游蔓延。

七、沙塵暴的發生時間

根據柳等人(2001)之分析，以季節而言，沙塵暴最易發生在前期長期乾旱少雨的春季，尤其地表植被差、沙化極為嚴重、地表疏鬆的地區。以氣象條件言，春季鋒面活動仍頻繁，可提供強風及有利舉升機制。就地表條件而言，冬季寒冷會造成地土壤凍裂；來年春天回暖後，地面浮沙因而疏鬆。此時一旦有強冷鋒過境，近地面的大風非常容易吹起沙塵。因此，春天便成為沙塵暴最容易發生的季節。

柳亦指出，以日變化言，午後最易導致沙塵暴的發展和維持；傍晚或夜間後，沙塵天氣則較易消失。因此，沙塵暴天氣的發展、維持、消失，與日變化有密切關聯。這主要因為鋒前後地面接受太陽輻射差異而造成的。白天，特別是午後，鋒前天空晴朗，地面輻射增溫十分劇烈；而鋒後濃密的雲系與沙塵，卻會使地表可吸收的太陽輻射迅速減少。加上鋒前後的溫度梯度，隨鋒前暖空氣的日射增溫逐漸加大，使沙塵暴天氣強度亦隨之增加。所以，白天對沙塵暴本身具有正貢獻。在相同強度冷空氣條件下，使沙塵暴得以發展及維持。傍晚及夜間，雖然鋒前暖區的輻射降溫十分劇烈，但鋒後塵霾和雲在日間吸收輻射，夜間則抑制地面過度輻射降溫，使近地面大氣降溫不顯著，因此促使鋒前、後溫度梯度銳減，沙塵暴強度明顯減弱；亦即此一負貢獻，促成沙塵暴系統自身強度的減弱。



大陸地區沙塵暴的年際變化與東亞大氣環流的年際變化、生態環境的變化有關；如 500hPa 東亞主槽強度在 80~90 年代較 60~70 年代為弱，乃使 60~70 年代之冬季季風強、冷空氣活動強，所以春季多沙塵暴；80~90 年代則反之，少沙塵暴活動。2000 年 3~5 月，500hPa 東亞主槽平均位置正常，強度偏強，烏拉東山脊也偏強，結果中、高緯度環流經向度加大，冷空氣頻頻南下，從 3 月中旬~5 月上旬的 50 餘天中共有 14 次冷空氣活動，並在內蒙古中、西部及河西等產生 5 次強沙塵暴(柳等, 2001)。

八、沙塵暴的觀測

Shaw(1980)曾於夏威夷 Mauna Lao 藉由直接量測大氣中太陽輻射衰減量，估計大陸戈壁沙漠沙塵暴的長程輸送影響。近年衛星遙測影響則已普遍用以觀測沙塵暴的動態。在氣象衛星遙測影像中，由於塵霾粒子在短波(可見光偏藍光端)波段的散射非常有效，所以塵霾的遙測影像在此一波段區會比偏紅

光波段(如 IR 頻道)明顯。但可見光影像的缺點，是只有在晝間可供參考。

只有非常深厚的塵雲，才可能在氣象衛星的 IR 頻道觀測到。原因有二：

(一)、被觀測的懸浮塵粒粒徑必須夠大(超過 $15 \mu m$)，才足以遮掩來自地面的輻射，至少要部分遮掩。同時，除非塵霾雲夠深厚，否則達到這種尺度的懸浮粒子，很容易就會掉下來。

(二)、塵霾要夠厚的另一個原因，是可能具有足夠低的雲頂溫度，否則我們很難將它與地表區別出來。(Bader, et al., 1995)

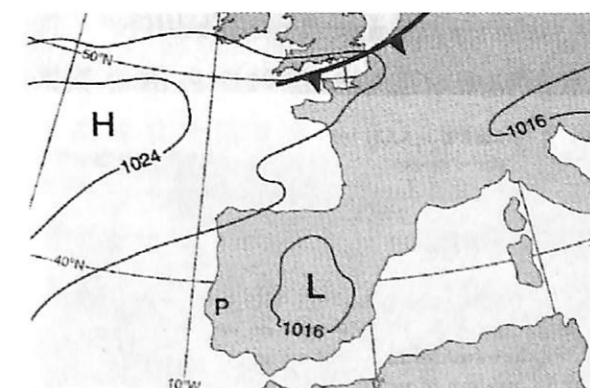


圖 12 1982 年 7 月 6 日 1400UTC Bay of Biscay 的沙塵暴衛星可見光(頻道一)影像(上)以及 1200UTC 海平面氣壓場(下)。沙塵暴塵霾雲帶跨越薩丁尼亞(Sardinia, 圖中 Z 附近)；圖中之西班牙東北部也可以發現塵霾。葡萄牙 P 點附近也可以看到類似的特徵，不過這並非沙塵，而是日閃(sun glint)；由於這種光象不會遮蔽海岸線，因此很容易與沙塵影像區別出來。(Bader, et al., 1995)

近年高解析度的繞極資源衛星影像，更能輕易觀測到沙塵暴的傳輸動態。台灣地區使用的日本 GMS-05 同步衛星，可見光頻道解析度約 1 公里；資源衛星感應器的解析度較高，約 500 公尺至 1 公里，部分衛星還擁有 250 公尺或更高解析度的感應器(如美國 Terra 衛星的 MODIS)。目前國內並無此類衛星之氣象作業用接收站，除了中國文化大學的「數位地球研究中心」與中央大學的「太空遙測中心」可提供付費影像輸出服務外，一般使用者可透過網際網路至各相關網站查詢非即時性公開資訊(如 NASA 的 SeaWiFS Project Image Archive，網址 <http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS/IMAGES/IMAGES.html>)。

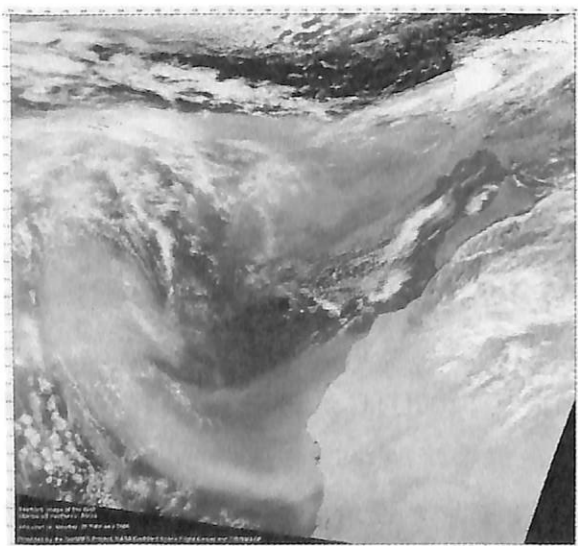


圖 13. 2000 年 2 月 28 日撒哈拉沙漠沙塵暴。(摘自 NASA 網站“VISIBLE EARTH”網站 <http://visibleearth.nasa.gov>)

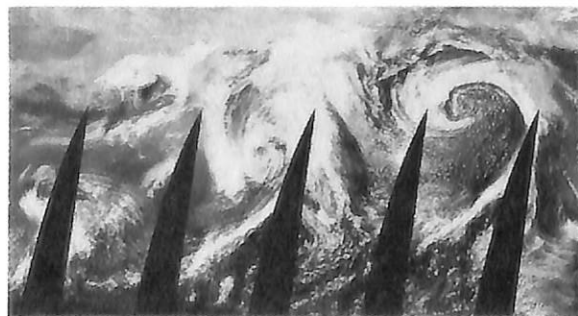


圖 14. 1998 年 1 月 11~15 日(由上而下)源自大陸並影響美國加拿大的沙塵暴事件。(摘自 NASA 網站“VISIBLE EARTH”網站 <http://visibleearth.nasa.gov>)

九、氣候變遷惹的禍？

部份學者認為，氣候的異變(例如沙塵暴的暴發頻率增加)，與溫室效應的失控(人類活動排放過多溫室氣體)、聖嬰與反聖嬰相關；也有學者以為，這不過是地球氣候週周期性變化的一環罷了。

大陸科學院葉篤正院士指出：2000 年春季沙塵暴之所以屢屢侵襲大陸華北地區，主要是拉尼娜現象(La Nina)高峰引起氣候異常所致；而北方地表覆被(植被、水體)狀況惡化也是另一重要原因。拉尼娜現象所伴隨大範圍海洋大氣過程的變化速度和強度超過歷年，造成大陸北方 1999 年冬天強寒潮大風天氣頻繁出現；加上 2000 年春季華北地區和西北地區東部氣溫顯著增高，同時降水稀少，植被還未形成。而每次大風到來以前，均沒有可以抑制揚沙的明顯降水過程，致使解凍後大面積表層土壤乾燥、疏鬆，因此引起多次強沙塵天氣。在全球變暖和北方地表覆被狀況沒有根本好轉的情況下，未來如果再逢拉尼娜現象等引起的強冬季風年，預期可能出現更嚴重的沙塵暴天氣。(柳等人，2001)

1992 年古迪斯(Goodess)等人根據各種氣候代用指標(包括海洋沈積物與化石群)提供的證據，可以重建出整個地球氣候史(45 億年)中的溫度及降水量特徵曲線。估計所得自然氣候變化的主要機制及其運作之時間尺度： $10^8 \sim 5 \times 10^9$ 年為銀河塵埃和螺旋臂變化所引起的； $10^7 \sim 5 \times 10^9$ 年與太陽演化有關； $5 \times 10^6 \sim 10^9$ 年為大陸漂移和極點游動造成的； $10^4 \sim 10^9$ 年是造山運動和地殼均衡所影響； $10^4 \sim 5 \times 10^8$ 年和地球軌道參數有關； $10^0 \sim 5 \times 10^8$ 年與海洋環流變化相關聯； $10^1 \sim 5 \times 10^9$ 年與大氣演化有關； $10^0 \sim 10^7$ 年和火山活動有

關； $10^0 \sim 5 \times 10^4$ 年的氣變化是“大氣—海洋冰—陸地”間的反饋作用所造成； $10^{-1} \sim 5 \times 10^7$ 年受“大氣—海洋”間的反饋作用所干涉； $10^{-1} \sim 5 \times 10^1$ 年是大氣自身變化的結果。(章，1995)。

受到月球及其他行星的萬有引力影響，地球軌道有 41.3、10.0、4.1、1.9、及 2.3 萬年的變動週期；這會影響太陽輻射在不同緯度及季節的分佈。若忽略太陽輻射的變化，則影響地表太陽輻射分佈的因子有三：公轉軌道變動、自轉軸與黃道面的交角、近日點距離的變動。目前地球自轉軸與公轉軌道面法線的夾角為 23.4° ；變動範圍則在 $22^\circ \sim 24.5^\circ$ 之間，平均變化週期為 4.1 萬年。這種變動決定了極圈與回歸線的位置。當傾角增大時，高緯度地區夏季接受太陽輻射量將增加，相對地在冬季則減少；因此高緯度地區的季節變化幅度會更大。米蘭柯維茲預測，傾角變化將調節季節變化循環的強度，並改變經向溫度梯度之強度。又由於太陽及月球對地球赤道之鼓起部分的萬有引力，會讓地軸發生“晃動”；加上地球公轉軌道是橢圓曲線，此一晃動便影響了二至點與二分點相對日地極值距離的時間；此一現象稱為二分點的「歲差」(precession；或「進動」)，將會影響到季節的強度。米蘭柯維茲估計出這種歲差效應有 2.2 萬年的平均週期，且其影響在低緯度較大(William J., 1994)。

McGill 大學的 Andrew Weaver 與 Washington 大學的 E.S.Sarachik 調查並用模式分析了北大西洋底部深海洋流。洋流受到溫鹽環流所控制；暖洋流在上層向北極輸送，冷洋流則在深海向熱帶移動；控制海水升降的因子為海水溫度與鹽分。鹽分掌握了向極區移動洋流的沈降作用；而鹽分則受降

水與蒸發作用平衡關係的影響。模式提供長期(10年)與現在氣候類似的大氣降水與蒸發條件,最後得第一年的環境影響,會在第二年回饋回來。也有的模式指出,幾乎所有大氣週期特性,都是大氣本身所產生的;數年到數十年的短期氣候週期,可能是更長時間尺度氣候週期交互作用的結果。一個不確定因子,是當一些不確定因素混入氣候自變系統中,該如何釐清事件的真正原因;例如人為污染究竟有沒有影響大氣,或仍是自變的結果。而不論大氣觀測或電腦模式,其實都不能清楚分離出其中自變與外在影響的量(William J., 1994)。

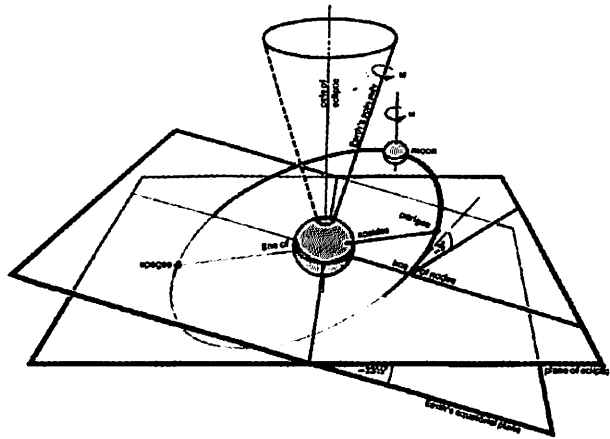


圖 15 地球軌道參數的變化。(William J., 1994)

從過去的史料,也可以發現台灣地區氣候變化的痕跡(徐, 1983):

一、(清康熙廿二年; 1683)高修《臺灣府志》(卷9, 頁218)〈外志·災祥〉一月,始雨冰,冰堅厚寸餘。」

二、(1788)《淡水廳志》:「乾隆(原文載雍正,有誤)五十有三年春二月,大雨雪,饑。斗米千錢。」

三、(1815)《台中廳志》:「嘉慶廿年十

一月,奇寒,淡水結冰寸許。」

四、(清嘉慶廿一年; 1817)《彰化縣志》(卷11, 頁385)〈雜識志〉:「冬十二月,有冰。」

五、(1843)《淡水廳志》:「道光廿有三年秋九月滬尾港水甘,月餘復鹹。」

六、(清光緒十八年; 1892)《苗栗縣志》(卷8, 頁131)〈祥異考〉:「冬十一月,大雪。」

地球長期氣候的變化,以人類單一生命體的壽命期限內,其實很難察覺,甚至下斷論。即使以整個人類文明史(紀錄),來度量地球誕生以來的氣象史,也屬無稽。雖然學者都可以提出合理解釋,但我們仍然無法證明,何人所言為「真理」。對地球而言,我們其實只是個「擾動」。唯一可以確認的是,「擾動」可以毀掉「擾動」本身,而「擾動」不會毀掉地球。對地球環境的破壞,只有讓人類自己的生活更加艱困,「蓋亞」卻還是一樣的「蓋亞」。也許下一次冰河期來到,或地球又遭逢6,500萬年前一樣的毀滅性外星體撞擊,也許地表的生物生命又會重新洗牌一次。是否到那時候再來考慮,不要破壞自然環境,應該與我們生活的土地和諧共生、恢復自然應有的綠?... 不論沙塵暴是否與全球暖化、其他氣候異變、或聖嬰現象相關,人類活動是否改變氣候;至少已經確定,工業化與都市化的環境污染與破壞、資源浪費與過度耗用,對人類的生存並沒有正面的貢獻。(與環境)共生化與(產業、生活)數位化的「綠色砂島」,將是台灣的唯一解答。

參考文獻

林能暉、余嘉裕、黃景祥、彭啟明、賴信志, 2001: 沙塵暴事件之長程輸送對台灣空氣品質之影響研究。行政院環保署研究

報告EPA-90-FA17-03-90 B023, 252頁。
林能暉、彭啟明、吳承翰, 2001: 大陸沙塵暴之長程輸送: 模式模擬與個案探討。大陸沙塵暴對台灣地區空氣影響與預測研討會。台北, 2001年3月21日。頁35-66。

林能暉、彭啟明、陳進煌、陳靖沅, 1999: 台灣酸雨之研究: 源與受體關係。第六屆全國大氣科學學術研討會論文彙編。頁741-746。

牟重行, 1996: 中國五千年氣候變遷的再考證。氣象出版社。120頁。

余嘉裕、劉廣英、俞家忠, 1996: 台灣地區空氣污染物分布與大陸沙塵暴長程輸送關係之初步研究。行政院環保署研究報告EPA-85-1301-09-12, 158頁。

洪夢白, 1997: 春季東亞長輪型沙塵暴現象大氣環流特徵分析。中國文化大學地學研究所大氣科學組碩士學位論文, 余嘉裕教授指導。231頁。

徐泓, 1983: 清代臺灣天然災害史料彙編。行政院國家科學委員會防災科技研究報告72-01號。

柳中明、楊之遠、彭立新、錢正安, 2001: 沙塵暴的過去、現在和未來。大陸沙塵暴對台灣地區空氣影響與預測研討會。台北, 2001年3月21日。

馬佳齡、劉廣英, 2002: 沙塵暴源區內蒙古實地訪查記要。中華民國氣象學會會刊。頁26-28。

章基嘉, 1995: 氣候變化的證據、原因及其對生態系統的影響。氣象出版社。北京。352頁。

張鏡湖, 2001: 沙塵暴會議引言。大陸沙塵暴對台灣地區空氣影響與預測研討

會。台北, 2001年3月21日。

朝倉正, 1990: 異常氣象 環境破壞。讀賣新聞社。164頁。

董玉祥, 1993: 中國沙漠化災害的分類分級和危險度評價方法研究。中國自然災害影響評價方法研究。中國科學技術出版社, 北京。頁123-145。

劉廣英、王自發, 2000: 台灣中部地區臭氧與懸浮微粒來源及分布模擬分析(期末報告)。行政院環保署研究報告EPA-89-FA11-03-179。

劉昭民, 1992: 中國歷史上氣候之變遷。台灣商務印書館。305頁。

錢正安、賀慧霞、瞿章、陳敏連, 1996: 我國西北地區沙塵暴的分級標準和個例譜及其統計特徵。中國沙塵暴研究, 頁1-10。

Babara W. Murck, Brian J. Skinner, and Stephen C. Porter, 1997: Dangerous Earth An introduction to geologic hazards. John Wiley & Sons. 298.

Bader, M. J., G. S. Forbes, J. R. Grant, R. D. Lilley, and A. J. Waters, 1995: Images in weather forecasting – a practical guide for interpreting satellite and radar imagery. Cambridge.

Ho Ping-Ti, 1967: Studies on the population of China, 1368-1953. Harvard University Press., 341.

Joseph, J. H., A. Manes, and D. Ashbel, 1973: Desert aerosols transported by Khamsinic depressions and their climatic effects. *J. Appl. Meteorol.* 12. 792-797.

Prospero, J. M., and R. T. Mees, 1977: Dust concentration in the atmosphere of the

Equatorial North Atlantic: Possible relationship to the Sahelian drought. *Science*. 196. 1196-1198.

Rosenberg, Norman J, Blaine L. Blad, and Shashi B. Verma, 1983: Microclimate—The Biological Environment. John Wiley & Sons.

Shaw, G. E., 1980: Transport of Asian desert aerosol to the Hawaiian Islands. *J. Appl. Meteorol.* 19. 1254-1259.

William J. Burroughs, Bob Crowder, Ted Robertson, Eleanor Vallier-Talbot, and Richard Whitaker, 1996 : Weather, The ultimate guide to the elements. Harper Collins Publishers.

William J. Burroughs, 1994 : Weather Cycles Real or Imaginary. Cambridge University Press. 207.

Xuan, J. : Dust emission factors for environment of Northern China. *Atmospheric Environment*. 33. 1767-1776. 1999.

Dust Storms

Chang Pel-Chen
Weather Center Air Force R.O.C.

Abstract

Dust-storm events impacted on Taiwan more and more frequently these years. While dust haze effecting on Taiwan area, the concentrations of aerosols (PM10 and PM2.5) and other pollutants raises rapidly. All the changes in air quality are unvisible to the naked eye. Some other regions (especially in Mainland China), dust storms carried dreadful loss in human wealth and national economy, even disease and death. Many studying projects for this topic had become the chief national programs in Mainland China.

This paper reviews and summarizes some late researches in this field roughly, and mentions some other different views about how the weather cycle and long-term climate effecting upon our weather (and dust storms).