

# 由全球暖化看臺灣水文環境之影響與衝擊

經濟部水利署水文技術組組長 | 洪銘堅

「不願面對的真相」一如預期拿下奧斯卡金像獎最佳紀錄片，將早已沸沸揚揚好一陣子的「全球暖化」議題再次炒熱到最高點。頻繁發生於全球各地以及臺灣本島的氣候異常現象事實，強烈地暗示與提醒我們，在面對這近百年來地球加溫最快速的一刻，臺灣自然無法置身事外。因此，如何及早正視全球暖化所衍生之氣候變遷對臺灣整體水文環境，甚至「水利防災」與「水資源供應」上可能造成的衝擊，並以正向、積極的態度謀求因應對策，實乃當務之急，刻不容緩。

本文就全球暖化之相關報導及研究課題作一闡述，並對其可能衍生的相關氣候變遷與異常氣候作進一步之探討；另就近年臺灣地區相關之氣候異常所帶來的旱澇災害作一回顧，且提出相關水文資料變化趨勢佐證，希冀能提供讀者在觀賞、省思「全球暖化」課題之際，亦能共同「面對真相」，正視臺灣切身問題。

## 全球暖化與氣候變遷的相伴發生

近年來，一方面由世界各地湧入的種種全球暖化徵兆與媒體的競相報導，似乎地球已經被人類蓋了一個毛毯，隨時會遭到快速融化的冰山、消失的冰川、冰棚，引發加速上升的海平面所吞噬淹沒。另一方面，亦有人試圖合理解釋所謂「全球暖化」不過是地球百萬年的尋常週期而已，目前乃屬於冰河期結束後的溫度回升階段。

姑且不論上述未定之科學爭論，我們必須承認人類的歷史、科學知識發展及紀錄長度極其有限，只有藉由累積不斷地觀察與紀錄才能獲致片面的訊息，所以人類也只有自求多福，平時多看看周遭的變化是否對地球或人類的生存不利，才能避免與恐龍一樣走上「滅絕」之途。如果以這個角度出發，或許可以較客觀地綜合評論目前的種種全球暖化現象與科學證據。

## 全球暖化的幫凶－溫室氣體

大氣中的二氧化碳濃度是決定地面溫度的因素之一。十八世紀工業革命以來，人類大量製造二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、氧化亞氮（N<sub>2</sub>O）、甲烷（CH<sub>4</sub>）、氟氯碳化物（CFCs）等溫室氣體。人類對大自然的影響

不再侷限於地表，更延伸至大氣，而且藉由大氣的運動，逐漸將影響遍及全球，大幅提高了全球暖化的可能性。

2001年4月，「政府間氣候變遷小組」（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）提出包括地球溫暖化最新預測在內的「第3次評估報告書」指出，以往52年間觀測的暖化現象，大部分是由人類活動帶來的可能性較高。報告中的若干數據顯示，在20世紀因燃燒石化燃料等大量排放之人為溫室氣體，造成大氣中人為溫室氣體的濃度大幅上升。以CO<sub>2</sub>濃度為例，1000-1750年其濃度測定為280ppm，而2000年則躍升到368ppm（增加31%左右）；而CH<sub>4</sub>濃度，1750-2000年也增加了151%左右。間接證明過去1000年的大氣成分中，溫室氣體的迅速上升主要來自1750年後的工業成長（圖1）。

同時隨著二氧化碳不斷增加，溫度也將持續上升。IPCC預測，到本世紀末還會再上升攝氏1.5到5.5度。不過許多專家擔心，暖化可能不是漸進的，目前溫度上升的趨勢有可能會愈演愈烈，最後突然一發不可收拾而釀成巨禍。因此，繼續增加溫室氣體之排放，不斷地擾亂了地球本身的「恆溫機制」，絕非明智之舉。

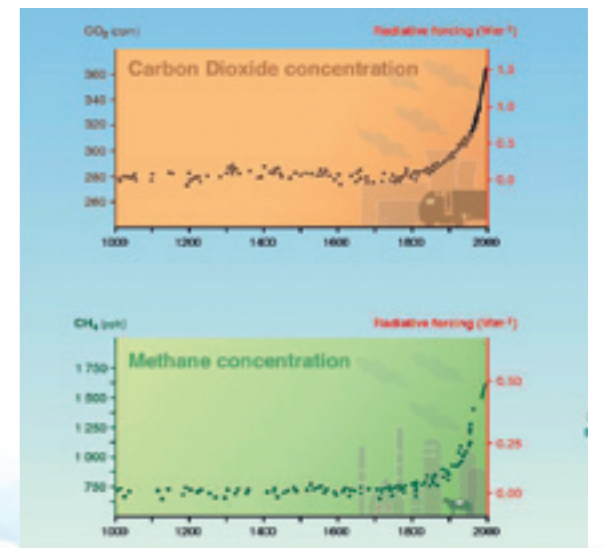
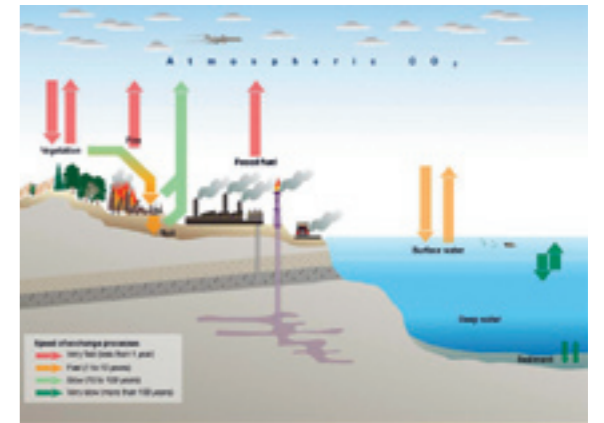


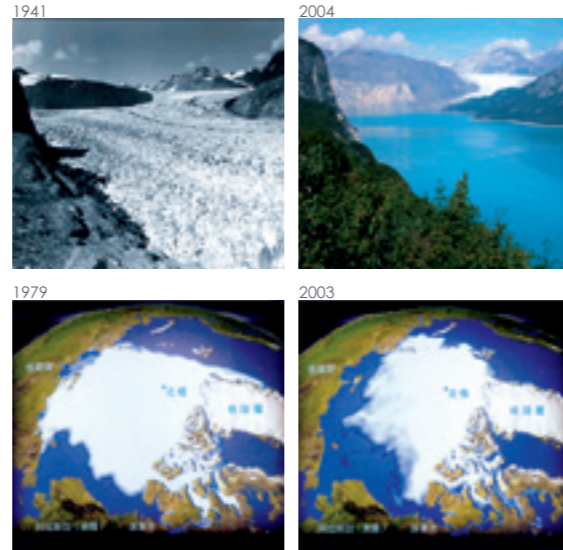
圖1. 工業時期人類對大氣影響的指標－主要溫室氣體  
（資料來源：IPCC，氣候變化2001:綜合報告）



### 全球暖化的地理徵兆

目前地球上每個地方的冰都起了變化。自1912年以來，著名的「吉力馬札羅之雪」已經融化了八成以上。印度加爾瓦喜馬拉雅山的冰川、阿拉斯加的繆爾冰川均正在快速後退（照片1）。過去半個世紀以來北極的海冰已經顯著變薄，範圍也在近30年來縮小了一成左右（照片2）。原本只會在「地質時間」中慢慢發生的改變，如今在人的一生之內就發生了。

當溫度升高、冰層融化時，就會有更多的水從冰川和冰帽流入大海，造成海水升溫、體積增加。根據IPCC指出，這種綜合效應是造成過去100年平均全球海平面升高10到20公分的主因。暖化同時也促使洋流產生變化，進而引發種種氣候異常之不確定性因素產生，致使全球氣候變遷的共伴發生。



照片1 冰川的消失 — 繆爾冰川 (Muir Glacier), 阿拉斯加 (資料來源: National Snow and Ice Data Center)  
照片2 海冰的消失 — 北極的海冰 (資料來源: 國家地理雜誌, 2004.09)

### 不尋常的氣候與可能的災害

由於氣溫增高而加速水氣的蒸發，大幅改變了全球氣候的型態，也刺激了強烈颱風的形成。於IPCC第3次評估報告中，另外亦提出有關水災增加的預測。對未來暖化帶來的氣候變化，乃依據氣候擬態模型進行預測：「多數模型顯示21世紀中，地球平均水蒸氣量與平均降雨量將會增加」，同時預測：「在多數地區增加強烈降雨現象的可能性很高」，「在某些地區，熱帶性低氣壓的平均降雨量與最大降雨量增加的可能性較高」。此等預測在在顯示下豪雨的機會將增加，規模也會變大。至於報告書中的『可能性較高』是表示實現機率達90%，『可能性很高』即表示實現性有90~99%。

研究顯示出未來將有更多的「卡崔娜」(Katrina)強烈颱風，以及諸如此類破紀錄的豪雨，或罕見的氣候現象發生，亦即所謂「不尋常或異常氣象」。以日本氣象廳的定義：「在各地取得以往30年間未觀測到的數值時，即可稱之為『異常氣象』」。

例如，發生於中央太平洋到南美洲秘魯附近赤道

海域的「聖嬰（艾尼紐）現象」(El Niño) 就是其中之一。該現象即每隔數年海面水溫比平時高出1~5°C，並持續1~1年半的現象。另外，在同一海域出現水面溫度低於半年的現象，則稱為「聖女（拉尼娜）現象」(La Niña)。IPCC在2001年的報告內容中指出：「1970年代中期以後，聖嬰現象出現的頻度、持續時間和強度都大於之前的100年」。目前雖然尚不明瞭暖化與其間的確切關聯性，但IPCC亦指出：「如果聖嬰現象與暖化帶來的異常氣象因素重疊，則洪水等天災的危險性將會增加」。

### 臺灣之氣候異常與水文變化趨勢

回顧國內近十年之氣候異常現象與天然災害，以一般平均每年約發生6次的颱風而言，包括90年、92年及93年的颱風發生卻都高達9次。其中，90年的桃芝與納莉颱風，不但造成本省中部土石流的大災難，而納莉颱風更造成大臺北捷運系統之大劫難，使捷運停擺近半年，直接與間接損失難以估算。93年7月，敏督利及其隨後引進的強勁西南氣流，又造成中南部如

高屏流域，以及臺中、南投等山區之高降雨量及強度。緊接著8月間又遭逢艾莉颱風來襲，高降雨強度所帶來的驚人沖刷力，致使石門水庫濁度飆升，導致當時桃園地區60萬戶民生及工業用水停水達兩週以上，嚴重影響民眾生活、工業生產及環境衛生的維持，情況可說是前所未有。

除了異常的大雨，在2002年國內也出現嚴重的乾旱與五十年來最熱的夏季。91年春天包括臺北及桃園竹苗地區，因為春雨的短少而發生嚴重的乾旱缺水現象。由於氣候的反常乾旱，導致91、92及93年上半年連續乾旱，尤其北部、南部及外島的澎湖、馬祖地區最為嚴重。從大旱之後緊接著大水，大水之後緊接著大旱，旱澇交替的現象似乎愈來愈明顯，週期也愈來愈短，意味著臺灣也出現若干氣候異常的徵兆，不得不有所警覺，以妥善因應。

### 水文長期趨勢分析

就臺灣地區而言，過去100年臺北氣象站的平均溫度上升1.31°C，臺中上升1.11°C，臺南上升1.39°C，比IPCC所估計全球百年來溫度上升0.6°C還高出1倍，顯現臺灣氣候暖化的情況較為嚴重。

觀察臺灣地區近50年來之平均年降雨量趨勢，也可以看出雨量豐枯更迭發生的頻率及其變異量似乎都有加大加劇的趨勢（圖2），也無怪乎近年來臺灣異常氣候事件的頻頻發生。

此外，在94年由水利署及淡水水文觀測技術團的合作研究中，曾就多面向探討臺灣地區水文變化趨勢，所得到的趨勢與結論亦指出：在「年降雨量」部分，北部地區年降雨量及豐水期降雨量呈現逐年增加之趨勢；中部及南部地區之年降雨量與豐水期降雨量則有逐年減少的趨勢（圖3）。在「降雨日數」部分，北部、南部及東部地區之年降雨日數有逐年減少的趨勢；中部地區則較不明顯（圖4）。另就「單場颱風總降雨」部分，從2000年至2005年的單場颱風

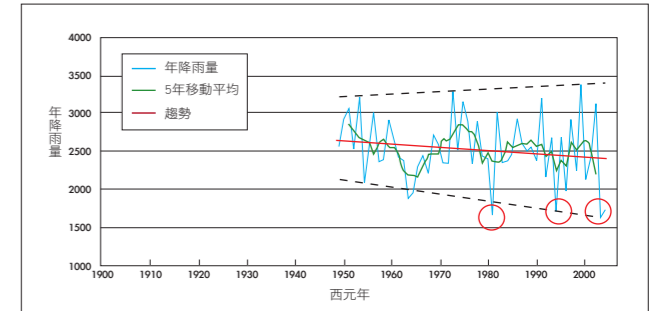


圖2.臺灣歷年平均年降雨量趨勢變化 (資料來源: 淡江大學水資源管理與政策研究中心/水文觀測技術團整理, 2006)

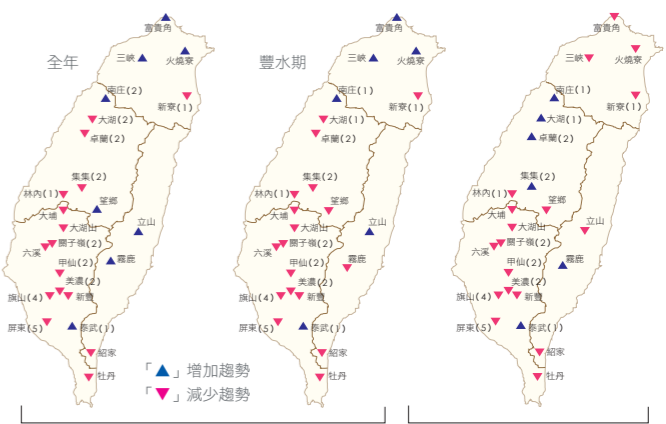


圖3.臺灣年降雨量趨勢分析 圖4.年降雨日數變化趨勢圖 (資料來源: 淡江大學水資源管理與政策研究中心/水文觀測技術團整理, 2006)

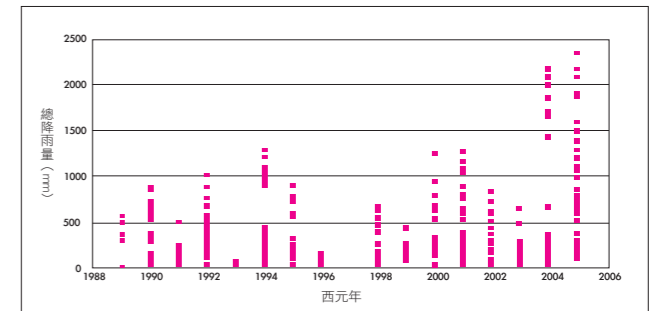


圖5.歷年單場颱風總降雨量前十大測站之總降雨量變化圖 (資料來源: 淡江大學水資源管理與政策研究中心/水文觀測技術團整理, 2006)

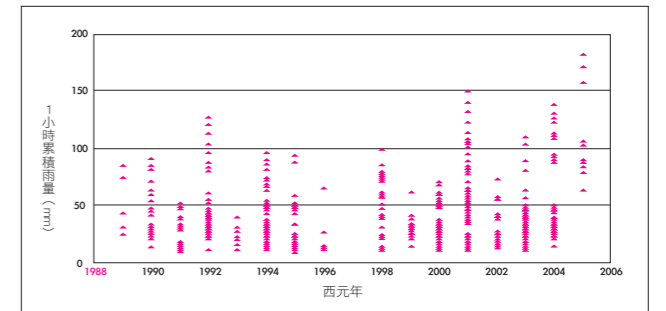


圖6.歷年單場颱風1小時累積雨量前十大測站之雨量變化圖 (資料來源: 淡江大學水資源管理與政策研究中心/水文觀測技術團整理, 2006)

事件總降雨量頻頻超出1000毫米，單場颱風總累積雨量有加大之趨勢（圖5）；而就「單場颱風1小時累積雨量」部分，自2001年起的單場颱風事件1小時累積雨量超出100毫米的事件也明顯增多，因此短延時降雨也呈現出降雨強度集中的趨勢（圖6）。

### 臺灣水文環境可能面臨的衝擊

根據IPCC在2001年之報告書中特別指出，由於暖化對於島嶼國家在水文及水資源環境方面可能造成的衝擊為：

海平面上升：隨著暖化加劇，海平面亦隨之快速上升，不僅會造成海岸線的內縮及消失，入侵的海水也將造成低窪或地層下陷區狀況的愈加惡化。

極端事件頻仍：頻仍發生的高降雨強度致更大規模的洪水破壞及災害損失；同時，乾旱區域變廣，且頻率愈加頻繁、持續性的乾旱也將加劇。

水資源供應面向：由於暖化可能使降雨時空更為不均，因此，也造成了供水風險的增加。

水質：高溫也易造成水質惡化的情況愈加嚴重。

需水量：溫度上升必將造成土地的蒸發量大增，也將導致灌溉需水量的增加。

英國氣象研究中心也表示，類似泰晤士河的防洪設計因不符合如今的天氣變化而使得功效減低的案例將接踵而至。換言之，過去二十年、五十年，甚至百年一遇的設計暴雨頻率有可能部分或全部過時，而不如預期之功效，相關工程規範也都要改變。種種隨之而來的效應，也全都變得有加乘的效果，絕非短期可解決的，應及早著手防範。

以荷蘭為例，荷蘭已警覺海平面可能隨全球暖化或溫室效應而升高，不但變更提防、建築等相關設計，同時為因應海水入侵，也將鬱金香種植往內陸移動，在沿海地區種植耐鹽植物，過去使用地下水，現在也積極尋找替代水源，種種改變都是提早預防氣候變遷帶來的災難。

此刻，「易淹水地區」的水患治理工作也正在臺灣如火如荼的展開，目前所引入的「綜合治水」概念，即是透過土地重新規劃、調整，賦予各「水文單元」間不同的排水與蓄水任務，以較廣義的設計與治水方式進行。當然，「綜合治水」不只是河川排水整治、分洪渠道、抽水站等硬體之設置，還涵蓋流域內保水、遊水機能之維持、開發增加逕流雨水流出之抑制、土地之合理使用、建築物之耐水化、洪災預警、防災演練、洪災保險、教育宣導等方面，並應將環境保護與生態保育等因素納入考慮，因地制宜，多種措施綜合運用，以分散、降低風險，提高防洪抗災能力，並維護生態環境，確保自然資源之永續利用。

### 結語

在全球正視及面對「全球暖化真相」的同時，未來臺灣亦將無可避免地面臨不同程度大小的水文環境影響。因此，一方面我們應持續、長期地監測臺灣地區的水文資料，並關注氣候變遷所帶來的衝擊。另一方面，也應積極思索如何因應及降低其所帶來的災害與衝擊。當臺灣正加速進行「水患治理」規劃工作之際，或許應省思「全球暖化」及所引發一連串的「氣候異常」，即肇始於人類的不當或過度開發所使然。因此，如何以更長遠的眼光，引入嶄新的思維，善用「非工程」的巧思與手法，或許是水利從業人員從「不願面對的真相」一片中所獲得的治水啟發吧！<sup>①</sup>

#### 參考文獻

1. 黃金山：「近年來旱澇災害的回顧、省思及對策邁向永續、平安及雅緻的未來」，中興工程科技研究發展基金會，94年5月。
2. 政府間氣候變遷小組（IPCC），「氣候變化2001：綜合報告」，2001，4月。
3. 淡江大學水資源管理與政策研究中心/水文觀測技術團，「以氣候變遷觀點探討臺灣地區水文變化現象」，94年12月。
4. 經濟部水利署水利規劃試驗所，「區域排水整治及環境營造規劃參考手冊」，95年6月。
5. 經濟部水利署，「因應氣候變遷及京都議定書水利政策調整之研究（1/2）」，95年11月。
6. 國家地理雜誌中文版，「當地球越來越暖」，2004年9月號。
7. 牛頓雜誌國際中文版，「年度大特集-地球大洪水時代」，第217期，90年6月。