

氣候異變對飛航安全的影響

林得恩

摘要

全球氣候異變的訊號不斷地向外擴散，世界各地極端天氣不停地漫延，所引發的問題不再單侷限於科學的議題，它可能導致全球性經濟、軍事、國防、國家安全及人類生存的危機；從其所發生的強度、頻率以及時空分佈來看，對飛航安全而言，不但造成在現象預報能力上的限制，並直接挑戰飛航安全係數的臨界點。現階段對於氣候異變的因應作為，最重要的是防範未然，降低其發生的可能性或提升氣候模式預報能力；除對傳統觀測技術精進、彙整氣候統計背景、結合不同尺度特徵、釐清區域結構特性、延展觀測報作業能量外，亦應持續致力於氣候模式的改進，以提高氣候模式預報的準確度，如此將有助於預警氣候異變發生的時間、地點及強度，預警時間拉的愈長，對各地區的傷害也將降至最低並可有效精進飛航安全。

關鍵字：氣候異變、極端天氣、飛航安全

一、前言：

近年來隨著全球人口快速增加及科技的進展，氣候變化的問題更受到不同層面的關注；2004年10月，一份由美國國防部委託美國全球商業網路諮詢公司(Global Business Network，簡稱GBN)所做的報告『氣候突變的情景及其對美國國家安全的意義』突顯了氣候突變的嚴重性，並駭人的指出未來20年內全球氣候將發生重大的變化，一場全球性的災難將衝擊全球各國，屆時氣候突變對人類構成的威脅將勝過恐怖主義。這份報告是基於全球暖化觀點所做的評估，乃是由於全球溫度逐年攀升後，將導致全球冰川融解，南北兩極冰區涵蓋區域減小，使得海平面升高，部份低窪低區將可能被升高的海平面所淹沒。除此之外，冰川融解後將促使更多的淡水注

入海洋，降低海表層的鹽份濃度，減緩或停止海洋溫鹽環流的進行，若北大西洋洋流循環系統因全球暖化而失靈，將對全球食物供應帶來災難性衝擊，食物鏈中扮演重要角色的浮游生物，將因而減少五分之一，北大西洋本身的浮游生物更將減少超過一半。如此將影響洋流與大氣間熱量傳輸的作用，導致全球氣溫驟降現象發生，並進入另一個冰期。屆時，因氣候突變，人類賴以生存的土地和資源將銳減，原先分布的氣候穩態將被強迫改變並造成對民生經濟及國家安全相當程度上的衝擊。

本世紀末的亞洲氣候，在降雨方式、熱浪和熱帶風暴的嚴重性都面臨潛在的巨變；根據英國氣象局「哈德利氣候預報研究中心」（Hadley Centre for Climate Prediction and Research）主任戴維 格瑞格斯（David Griggs）在亞洲商業理事會（Asian Business Council, ABC）於新加坡舉行的不公開會議上亦指稱，亞洲地區未來將變得更加炎熱，內陸區域更易發生夏季乾旱，而颱風所帶來的風險將更大。根據統計，2004 年的颱風和致命颱風的數量也高過以往平均氣候值，風災帶來的洪水在菲律賓和海地造成數以千計人員死亡；聯合國表示，2005 年前十個月颶風等極端天氣，導致全球損失逾 900 億美元，顯示全球暖化造成氣候異變所付出的經濟代價十分慘重。美國麻薩諸塞州及新罕布夏州在 2006 年 5 月遭遇近十年來最嚴重的豪雨事件，迫使數以百計民眾撤離家園，州長並宣佈進入緊急狀況，召請國民兵協助；南美洲哥倫比亞亦發生近 20 年來最嚴重的水災，兩個月以來暴雨不斷，已造成至少 120 人喪生；歐洲的倫敦在 2006 年 5 月發生異常的高溫，平均溫度達攝氏 23 度，較以往平

均溫度高出 6 度，而亞洲印度的熱浪更為嚴重，最高可達 46 度，至少已有上百人因此死亡。

氣候異變的腳步同樣也擴散並影響到我們台灣地區，中研院環境變遷研究中心主任劉紹臣指出，台灣地區從 1900 年到 2000 年的百年統計，平均氣溫增加約 0.6 度；相同這段時間，台灣的平均溫度較百年前增加了 1.1 度，增幅是世界平均增溫的兩倍。若分析台灣百年來一月份的月均溫變化，也發現這廿年來暖冬現象明顯，每年一月份的平均溫度都大於平均值；夏季月均溫變化雖然不大，但廿世紀前半期都在平均值以下，後半期則都在平均值以上，顯示台灣氣候正逐漸暖化。中研院科學研究所研究員汪中和也呼應，台灣年均溫近廿年來上升的速率最快，將近 1 度；而一萬年前到五千年前，自然增溫率是每千年才上升 1 度，兩相比較，台灣氣溫上升的速率實在嚇人。專家分析台灣百年來氣候變遷，台灣增溫程度不但是全球的兩倍，南北降雨差異也將極端化分布、非旱即澇的情況更加明顯；而從過去歷史颱風統計資料顯示(圖一 a、b)，近年來(90 年至 94 年)颱風季(6-10 月)西北太平洋及南海地區生成的颱風個數較百年統計值偏多(其中又以 8 月份為最高)，侵台颱風個數亦較百年氣候值偏高許多，其中 94 年的侵台數又高於 90-94 年之平均值，顯示近年來颱風對台灣地區的威脅亦有增多之趨勢。然而，未來西北太平洋地區颱風生成與侵台個數是否持續受全球氣候變化影響，而出現變異仍有待進一步觀察與研究。另一方面，劇烈變遷的極端天氣，近年來似乎也有明顯增多之現象，由表一統計近五年台灣地區特殊天氣事件可以發現，災變天氣在近幾年出現頻繁，不論

是豪雨、寒流、乾旱或是颱風，都打破過去數十年的氣候記錄，從發生的強度、頻率以及時空分佈均對當時民生經濟、生活作息，甚至對飛航安全維護均帶來相當大的衝擊與影響。

舉例來說，2000年10月30日發生在桃園國際機場的飛安事件，頗受飛安好評的新加坡航空公司之波音七四七客機誤闖跑道事故，在175位乘客中共有80餘人喪生，多人輕重傷，據我民航局公佈資料顯示：空難發生當晚，正值象神颱風來襲，刮著強風，下著大雨，在視線不佳的夜晚，由於駕駛員的疏忽闖入正在維修施工的跑道上，以致飛機在高速起飛中碰擊停在跑道上的施工機械，而造成如此嚴重的墜機事件。2003年7月19日午後，台灣中部以北地區刮起一陣強風，響起轟隆隆雷聲，沒多久，雷陣雨就傾盆而下，一名當時正在華中橋下打棒球的民眾更當場被雷擊中，送往西園醫院急救。中央氣象局也表示，這是夏季午後劇烈空氣對流造成的「下衝風」，由於午後空氣對流愈來愈旺盛，強勁的下沈氣流往地面吹拂，山區的雲系也受到吹拂往平地移動，並在平地也降下雷陣雨，伴隨雷雨等劇烈天氣的「下衝風」也會影響飛航安全，許多飛機失事的原因都是因為起飛時遇到「下衝風」所導致，而該次事件也使得松山機場班機調度大亂，機場數度關閉。另一個案，2003年7月18日中午，載有250人的一架港龍航空公司客機，從馬來西亞沙巴前往香港途中，疑似在菲律賓上空遇到亂流，航機從四萬一千呎高空急墜三千呎，機上乘客和空姐紛紛被拋起，香港民航處先後把十五名傷者送醫救治，其中四名空姐必需住院。據香港天文台資料顯示，出事航機行經菲律賓西面上空，距離香港東南方約五百海

裡的四萬一千呎高空，正巧碰到熱帶風暴「天鵝」在這個地區形成，航機位於風暴外圍雲帶附近，使得對流活動產生亂流，造成十五人受傷。從極端天氣所發生的強度、頻率以及時空分佈來看，對氣候異變下的飛航安全維護而言，不但造成在天氣現象預報能力上的限制，並直接挑戰飛航安全係數的臨界點，影響甚巨。

二、氣候異變的演繹過程及潛在危機：

從南極洲科學站的冰蕊資料(圖二)顯示，自工業革命(約西元 1850 年)以來，近一百多年的時間內，大氣中二氧化碳的含量隨時間急劇增加(紅色曲線)，在這段時間內全球平均氣溫(藍色曲線)也呈現快速升高的現象，至今全球平均氣溫約已上升 0.6~0.7 幅度，而大氣中二氧化碳含量約上升 25~30%，數值更高達 360ppm 以上。現階段科學家都已承認，近百年來全球溫度升高是溫室效應所造成的結果；其背後可能的肇因與人類工業革命的發跡有著密切的關聯。根據氣候學家們分析，由於溫室氣體(除二氧化碳外，尚包含甲烷及氟氯碳化物等)的作用，到 21 世紀，地表氣溫可能升高 1.5-4.5 ，海平面亦將因此加速上升。地球增暖的結果，將使海洋平均溫度變暖，南極大陸和格陵蘭冰蓋融化，除造成海平面上升外，因大氣增暖引起冰川融解，這些融冰將注入海洋，進而減緩或阻止海洋溫鹽環流的過程。

事實上 GBN 報告是透過比對的方法去判定未來發生氣候突變的可能性，由於目前全球溫度仍逐年持續升高，且趨勢上與過去幾次氣候突變類似，彼此間存在著發生的可能性與相關性；然而科學家根據歷史上幾次氣候突變前後氣溫及海水鹽度變化的數據分

析，在氣溫方面，以每 10 年溫度升高的資料顯示新仙女木事件及小冰期發生前，溫度升高約 1~2 ；嚴冬事件發生前約 3~5 ，而現今溫度約升高 0.6~0.7 （圖二）；另外在海水鹽度方面，從圖三可以看出，自 1970 年以來，北大西洋海水鹽度約下降 0.06 左右，其它地區變動值也都在這個級數上下；相較於過去幾次事件發生的情況，目前海水鹽度降低的程度是相對偏小的情形。由以上的數據資料顯示，現階段地球上大氣增溫和海洋鹽度均較過去發生氣候突變時狀況來的緩和，因此有些學者認為，未來 10~20 年間要發生重大的變化機會相當的低。今日我們姑且不論這個歷史事件是否會在未來 10~20 年內再度出現，但氣候異變的事實卻是在歷史上不斷的重覆進行，沒有人可以準確地去預報氣候的變化，因為它是長時間(十年、百年或千年以上)且帶有不確定性的運動變化過程。但是全球氣候異變的訊號不斷地向外擴散，世界各地極端天氣不停地上演蔓延是不爭的事實，今後氣候突變所引起的問題應不再侷限於科學的議題，因為氣候的變遷將是無可避免的，未來終究還是得面對，而且它將是一個極具挑戰且嚴峻的全球性問題。

三、氣候異變之因應作為：

自然氣候條件提供了人類生存與活動的最基本要素，氣候的改變將迫使人類生活方式的改變；當人類仍在無止境的浪費地球資源及破壞環境系統的同時，自然氣候可能正醞釀著下一次反撲的能量。全球暖化過程可能導致大氣環流形態改變，而大氣環流主要在於維持大氣存在一平衡穩定的狀態，一旦環流形式改變，全球氣候特徵亦將隨之改變。受限於地理環境的差異，氣候改變將造成各地

出現不同程度的劇變天氣，某一地區可能因降水量減少而進入長期乾旱，導致湖泊乾涸，反之部份地區亦將因降雨量增多以致洪水氾濫。氣候變化所導致「極端天氣」或「天氣突變」的形成，演繹過程中頻率的加快、範圍的擴大以及強度的增強，不但造成在現象預報能力上的限制，並直接挑戰飛航安全係數的臨界點。美國國家運輸安全部 NTSB 統計資料顯示，在 1994-2003 年間所發生 19,562 件的飛安事件中，有 4,159 件與氣象因素有關，平均約佔 21.3% 的比例(附表二)；其中除 1994 及 1999 年和氣象的相關性較低外(約在 20% 以下)，其餘年份均有相當高的對應關係，此與發生頻率俱增的全球氣候異變現象，存有正相關的變化趨勢，相關性的對應又以 1996 年的最高，高達 24.3%。

而根據我行政院飛航安全委員會就統計自 1999 年至 2006 年(共 8 年)期間，肇生飛安事故的飛行機種之統計特性，其中以固定翼/渦輪扇葉發動機的失事率最高，且多集中在起飛重量大於 15000KG 的機種，旋轉航空器次之，超輕型航空器最低；但超輕型航空器失事的次數隨時間逐年正在遞增，旋翼航空器的失事率則相對遞減(如表二)；單就氣象肇因的事故來看，顯見氣候異變下的極端天氣尺度影響的模式、分佈與程度亦同時在做調整，對我飛航任務向來賴以維持的安全係數臨界值亦將面臨空前的挑戰！2005 年 2 月華航 C1150D 班機，自中正機場飛往日本名古屋機場，在飛行高度 33,000 呎處遭遇亂流，導致 3 名乘客及 5 名客艙組員受傷，其中 2 名乘客遭致腓骨及胸骨骨折；無獨有偶地，同年 3 月長榮 BR2196 班機，目的地為日本東京成田機場，飛行過程中，由巡航高度 37,000

呎下降至 34,500 呎時，亦遭遇亂流，共計旅客 46 名，空服員 10 名受傷，客艙天花板亦明顯受損，其中 1 員旅客頸椎受傷，情況較為嚴重；2003 年 8 月遠航 EF055 班機，預計由台北飛往金門的定期載客任務，因降落機場天候不佳(當時天氣狀況為小雨，能見度 3,200 公尺，風速 19KT，最大陣風 22KT)，導致該機降落時偏出跑道，所幸人員無傷亡，航機輕度損壞；2002 年 12 月的復興航空 GE791 貨機在馬公西南 27 公里處墜海失事，目前調查的原因就是在飛行過程中遭遇到嚴重積冰(事故區域 18,000 呎高度之溫度為 -9)所肇致；2000 年 10 月的華信 AE838 由緬甸仰光飛往中正機場的班機，因受象神颱風外圍環流及東北季風雙重影響下，中正機場為大風、大雨的天氣情況，該機經由儀器降落系統進場，鼻輪著陸後，主輪偏離跑道並進入草地，所幸無人傷亡；同年 4 月，遠航一架自松山飛往嘉義機場的 EF1201 班機，因天候不佳，能見度惡劣，降落時嚴重偏離跑道，乘客飽受驚嚇、航機輕度損壞。

然而現階段對於氣候突變的因應作為，最重要的是防範未然，降低其發生的可能性或提升氣候模式預報能力；事實上要去預測氣候的變化還存在許多困難需要被克服，也因此未來仍有很大的精進空間。除對傳統觀測技術精進、彙整氣候統計背景、結合不同尺度特徵、釐清區域結構特性、延展觀測報作業能量外，亦應持續致力於氣候模式的改進，以提高氣候模式預報的準確度，如此將有助於預警氣候異變可能發生的時間、地點及強度，預警時間拉的愈長，對各地區的傷害也將降至最低並可有效精進飛航安全。

四、結論與建議：

一份 2004 年 10 月美國國防部委託 GBN 的報告顯示，未來 10 至 20 年間全球將因氣候異變而進另一個冰期，這份報告立刻引起全球的關注與討論；就未來 10~20 年而言，多數學者均認為發生氣候異變的可能性不高。但根據長期歷史氣候的角度回顧，過去出現多次氣候異變卻是不爭的事實，面對全球氣候異變的訊號不斷地向外擴散，世界各地極端天氣不停地漫延，所引發的問題不再單侷限於科學的議題，它可能導致全球性經濟、軍事、國防、國家安全及人類生存的危機；從其所發生的強度、頻率以及時空分佈來看，對飛航安全而言，不但造成在現象預報能力上的限制，並直接挑戰飛航安全係數的臨界點。

美國國家運輸安全部 NTSB 統計資料顯示在 1994-2003 年間所發生的飛安事件中，與氣象因素有關佔有相當高的比例關係；現階段對於氣候突變的因應作為，最重要的是防範未然，降低其發生的可能性或提升氣候模式預報能力。事實上要去預測氣候的變化還存在許多困難需要被克服，也因此未來仍有很大的精進空間，除對傳統觀測技術精進、彙整氣候統計背景、結合不同尺度特徵、釐清區域結構特性、延展觀測報作業能量外，亦應持續致力於氣候模式的改進，以提高氣候模式預報的準確度，如此將有助於預警氣候異變可能發生的時間、地點及強度，預警時間拉的愈長，對各地區的傷害也將降至最低並可有效精進飛航安全。

參考文獻：

尼科·斯特爾(Nico Stehr)與漢斯·馮·斯多赫(Hans von Storch)，氣候、天氣與人類：天氣和我們的生活，晨星出版社。

魏國彥與許晃雄，1999：全球環境變遷導論，時英出版社。

NTSB Accident Database. <http://www.nts.gov/ntsb/query.asp>

Schwartz, P., and Randall, D., 2003:An abrupt climate change scenario and its implications for United States national security. *GBN Report*.

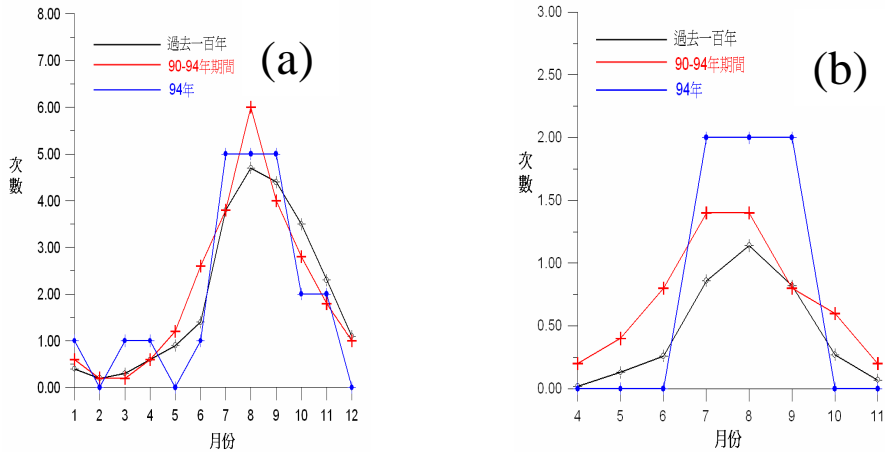
Thomas J. Crowley : Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years, *Science* 14 July 2000; 289: 270-277.

表一、90 年至 94 年台灣地區災變天氣事件記錄表

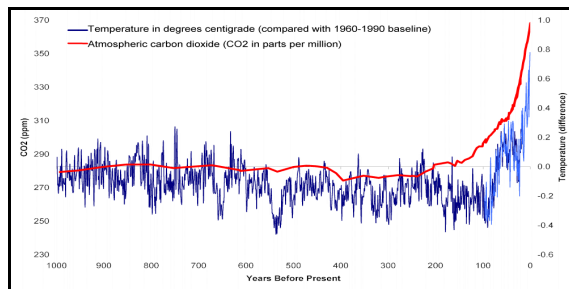
時間	事件內容	天氣類型	備考
94.08.16	合歡山下冰雹；強陣風	午後熱射對流	打破 20 年記錄
94.08.09	全國漂流木數量達 1 萬 6 千噸	颱風過後	打破 4 年前桃芝及納莉的總合
94.08.05	屏東魚塢遭雷擊 3000 尾烏魚暴斃	雷暴系統	近 50 年來未見
94.06.12	屏東東港淹水，4 萬多戶停電，2 人死亡	梅雨鋒面	破 30 年記錄
94.03.06	淡水 3.9°C，宜蘭、苗栗、雲林、嘉義降雪	東北季風	創三月份歷史第 2 低溫紀錄；三月份降雪紀錄
93.12.03	南瑪都颱風來襲，花蓮雨量單日達 907 毫米	颱風	百年來首個登台冬颱；花蓮布洛灣 12 月單日最高累積降雨量
91.05 月	翡翠水庫、石門水庫水位降至歷史新低，北台灣地區大缺水	乾旱	創 10 年乾旱缺水的紀錄
90.09.17	納莉風災帶來全省豪雨現象	颱風	創 400 年降雨量新高紀錄；颱風在北方海面生成並從東北部登陸紀錄
90.07.30	桃芝颱風造成重大土石流災情，103 人死亡，111 名失蹤，189 人受傷	颱風	史上最嚴重的土石流災情

表二、1994 至 2003 年飛安事件統計表（資料來自 NTSB，2004 年）

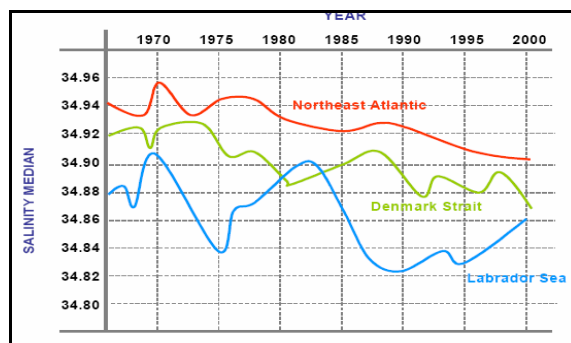
WEATHER V.S. NON-WEATHER RELATED ACCIDENTS				
YEAR	TOTAL ACCIDENTS	WEATHER RELATED	NON-WEATHER RELATED	PERCENTAGE OF WEATHER RELATED TO NON-WEATHER RELATED ACCIDENTS
1994	2109	387	1722	18.3%
1995	2148	464	1684	21.6%
1996	2032	494	1538	24.3%
1997	1970	445	1525	22.6%
1998	2020	415	1605	20.5%
1999	2027	396	1631	19.5%
2000	1966	431	1535	21.9%
2001	1817	378	1439	20.8%
2002	1771	375	1396	21.2%
2003	1702	374	1328	22.0%
TOTAL	19562	4159	15403	21.3%



圖一、過去一百年、90-94 年及 90 年各月(a)發生於西北太平洋及中國南海颱風個數及(b)侵台颱風個數。



圖二、過去 1000 年大氣中的二氧化碳(紅色曲線)及溫度(藍色曲線)變化情形。資料來源為南極洲科學站冰蕊記錄資料



圖三、過去 40 年北大西洋(紅色曲線)、丹麥海峽(綠色曲線)及拉布拉多海(藍色曲線)海水鹽度的變化情形(摘自 Schwartz et al. 2003)。