

從全球氣候變遷的角度，來看飛航安全的維護

林得恩

空軍氣象聯隊 氣象中心副主任

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，對我飛航安全而言，不但造成在現象預報能力上的限制，打亂原有班機安排上調度，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、減災防災，降低其肇生的可能性、擴張性及危安性；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，亦應持續致力於氣象數值模式的改進與氣候資料庫的建置運用，藉以提高氣候模式預報的準確度及敏感度，提供有效診斷研析的資訊背景，如此將有助於預警氣候異變所可能發生的時間、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維護。

關鍵字：氣候異變、極端天氣、氣候模式、飛航安全維護

一、前言：

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、居住內容的調整及生存模式的精進；當人類仍在無止境地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，讓所有曾經參與的破壞份子嚐到應有的處罰苦果。顯然本世紀全球最大的災難，就是氣候異變，極端天氣不斷在世界各地衍生，爆裂氣候的型態與規模難以控制，而所造成的影響也正加速在各地漫延擴散中。

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；2007年4月聯合國氣候問題最高機構「政府間氣候變遷問題小組」（IPCC）就公布所做氣候變遷階段評估，

報告中說全球氣溫只要再上升幾度，高達三成動植物種將面臨滅絕窘境；而氣候變遷受創最深的是一無所有的貧人，特別是一旦氣溫上升攝氏1.5度至2.5度，受災狀況將更嚴重。研究也預測溫室氣體將改變原先降雨模式，增強熱帶風暴威力、加速北極冰與山區冰河溶解，並擴大乾旱、洪水與缺水壓力的風險。同年12月氣候變遷會議在印尼峇里島召開，聯合國氣候變化綱要公約190個會員國同意展開為制定新公約的協商，以減少碳排放，並協助在氣候變遷中受害最大的窮國，氣候異變的影響已顯而易見，而且本世紀將再加劇，狀況有可能無法逆轉；這份呼籲報告，使得全世界人類的憂慮轉變為公共意識的急劇提升，各國領導人也開始正視這個即將來臨的全球災難。事實上，早在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』中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,亦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。

根據聯合國/國際減災策略(UN/ISDR)日前的研究報告顯示,2007年全世界受天災侵害之前3名國家,分別為美國、中國及印度;而死亡人數的前3名,則分別為孟加拉(因該年11月熱帶氣旋席德侵襲)的4,234人,以及同年7、8月份肇致孟加拉1,110人喪生的洪水與7至9月份在印度洪水也奪走1,103人的生命;值得注意的是,單2007年全世界氣候資料統計的結果,洪水的部份就造成8,382人死亡,比起2000至2006年年平

均的5,407人要多近3,000人次,所衍生受影響的人數也提昇高達7,000萬人。而颱風(颶風或熱帶氣旋)在孟加拉、巴基斯坦以及美國等地均造成相當嚴重的災情,單2007年的颱風(颶風或熱帶氣旋)就有103件,也造成全世界5,970人死亡,比起2000至2006年平均的3,127人要多近3,000人次,顯見全世界天然災害的發生在影響層面上有逐年擴大、在災害數目上亦有向上攀升的趨勢;以統計1975至2007年全世界天然災害所發生的數目來看(如表一),除整體數目均有逐年遞增的趨勢外,自2000年以後,每年均在300件以上,2005年甚可達450件,這對環境日趨惡化的地球村來說,無疑是愈來愈沉重的負荷!IPCC 2007年氣候變遷第四次評估報告中也提及永續發展的概念,除可藉由提昇調適能力以及增加復原力來降低(或減緩)環境對氣候變異的脆弱度;相反地,因為環境曝露於負面衝擊的時間增加,就長期的尺度而言,氣候變異所帶來的衝擊將超過自然、管理以及人類系統的調適能力,簡單來說,某些大規模的氣候事件很可能造成重大的衝擊,特別是在21世紀以後,極端天氣、溫鹽環流減緩或停止、海平面事件等都是其中發展過程之可能產生加速的關鍵因子。

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年的颶風和致命颶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,並在美國釀成高達430億美元的損失。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;而極端天氣肇生的次數也在世界各地逐年不斷攀升,2007年分別傳出孟加拉、印度、北韓、中國及巴基斯坦等地遭遇世紀以來最嚴重的洪水侵犯,熱帶氣旋也席捲孟加拉及巴基斯坦等地,導致人員傷亡、家園破滅及財物損失,甚至北極圈夏季海上浮冰已減少到有氣象紀錄以來的最低值,而這也是史上頭一次有船隻,能在太平洋和歐洲間的北極海「加拿大西北航道」上暢行無阻!

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,增加的幅度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20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20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20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两倍,南北降雨差異也極端化、非旱即澇的情況更明顯;而從過去歷史颱風統計資料顯示(表二),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),侵台颱風各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。劇烈變遷的極端天氣,近年來似乎有明顯增多之現象,由表三統計近七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、高溫或是颱風(林,2006),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,甚至飛航安全均帶來相當大的衝擊與影響。從表四也發現過去20年(統計自1987至2006年)梅雨季發生超大豪雨事件(連續24小時,累積降雨量在350公釐以上的降雨現象)的分布情形,其中1987至1996的前10年間共有9天,6件超大豪雨個案,而1997至2006的後10年間共有23天,14件超大豪雨個案,顯見劇烈天氣發生的頻率亦有逐年

增加的趨勢。

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(圖一)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°C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,尚包含甲烷及氟氣碳化物等)的作用,到21世紀,地表氣溫可能升高1.5~4.5°C,海平面亦將因此持續加速上升。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,改變原先所存在的氣候穩態。

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°C;嚴冬事件發生前約3~5°C,而現今溫度約升高0.6~0.7°C(如圖一);另外在海水鹽度

方面,從圖二可以看出,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震幅或頻率,因為它是長時間(十年、百年甚或千年以上)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漫延是不爭的事實,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。

Brian Fagan(2008)也從考古歷史的角色來回溯在西元800至1200年間中世紀暖期(Medieval warm period)當時的情境,因氣候異常所肇致各類極端天氣發生及因應作為,當時的大氣環境條件不單是增暖且相對乾旱,土地負載能力逐年大幅下降,除造成糧食不足、耕地縮減外,水土流失且災害頻仍更是人類生活上必須面對的痛。在世界各地的居民透過戰爭、遷徙、改善農耕模式(如:栽種耐旱作物、改善農具)、調整生計行為(如:改採漁補及貿易行為)、重視微環境變化(如:小面積多元化的操作系統)以及強化水資源管理(如:儲水與供水設計、修正溝渠網)等來加以因應,部份族群勉強

渡過危機;可是,當21世紀全球環境惡化加劇、大氣中溫室氣體不斷累積上升,暖化程度已超乎人類所能想像,現階段如何因應更是考驗著地球村所有人的智慧,因為它將緊密地影響著我們「求生存」、「謀生計」以及「延生命」的重要議題。

三、氣候異變下的飛航安全維護：

現階段根據研究結果發現,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,所有居住在地球村上的生物過往就是在此穩態中,不斷調整、演化與適應;現今,一旦環流形式改變,全球氣候特徵亦將隨之改變,所影響層面將加速擴大漫延。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極端天氣,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、暴雨成災(Lin and Jou, 2005; Chiag and Lin, 2007; 林等, 2006)。氣候變化所導致「爆裂天氣」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,打亂原有班機安排上調度,延宕作業任務執行的掌握,並直接挑戰飛航安全係數的臨界點。2007年「泰國東方航空公司」(Orient Thai Airways)所屬的國內線One-Two-Go班機,從曼谷飛往普吉島,降落時遭遇強風暴雨,能見度不足,飛機瞬間失去平衡,滑出跑道、機身起火爆炸、嚴重斷截,機上乘客88人罹難。同年11月,土耳其Atlasjet航空,一架自伊斯坦堡飛往土耳其西南部的伊斯帕爾塔的客機,於土耳其中部上空疑似遭遇嚴重亂流墜毀,機上56員乘客及機

組員,無人生還。美國國家運輸安全全部NTSB(2004)統計資料顯示在1994~2003年間所發生19,562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(附表五);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,又以1996年的相關性最高,高達24.3%,顯見氣象因子與飛安維護之間關係相當密切。

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;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名乘客遭致肋骨及胸骨骨折;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°C)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。以上歷年所發生的飛安個案中，均在在突顯出其所伴隨之愈來愈劇烈的極端天氣型態，即便是固定翼／渦輪扇葉發動機的機種也無法有效避免；爆烈天氣的類型、發展與強度正逐漸挑戰飛安維護的極限，舉凡亂流、雷雨(林, 2006)、低能見度、強側風、嚴重積冰等氣象因子所發生的機率與強度也正一波波考驗著飛行器的最高安全係數以及飛行員的臨機因變處置作為。身為氣象從業人員，應有的體認與因應：

1. 強化觀測密度，建置氣候資料庫：

現階段對於氣候突變的因應作為，最重要的是防範未然、減災防災，降低其肇生的可能性、擴張性及危安性；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。由於天氣的發展與演變必須滿足週遭大氣環境的連續性與物理性，過往經由傳統觀測儀器的監測，可以有效追蹤實際發生的天氣個案環境大氣，並將結果適時、及時提供使用單位運用；舉例來說，今

(2008)年梅雨季期間，聯隊配合中央氣象局、台灣大學及中央大學等國內作業與學術單位，並與美國、日本及韓國等氣象單位共同進行長達二個月的國際型的西南氣流實驗計畫(SoWMEX)，就是透過合作機制，整合氣象能量，強化觀測密度、擴展作業寬度、提升觀測精度，預期將對影響我們天氣現象上游區域週遭之大氣環境條件與系統結構特徵能有更清楚的瞭解，結果亦可回饋至後續的天氣預報作業內容與氣候資料庫的建置發展(尤其對應氣候異變的極端天氣之診斷分析，監測氣候變遷發展的趨勢變化，對於系統波動的振幅、強度與頻率做詳實的登載研究，利於精進預報基礎知識背景與測報作業經驗，並適時回饋提醒飛行員參考運用，建立風險管理控制平台，落實維護飛航安全)。

2. 提昇預報準度，發展氣象數值模式：

然對於未來天氣的變化趨勢，仍需搭配有效整理出合於邏輯且滿足物理的推論工具或診斷手法，現今隨著氣象技術領域的蓬勃發展以及對於預報產品的迫切需求，氣象數值模式的問世(林等, 2006)，有改善對迷惘未知的未來提供合理的情境模擬，尤其是近年來，各國大力推展的高效率、高解析度、高靈敏度的氣象數值模式(如：WRF中尺度數值模式等)，以及數值模擬技術(如：四維空間資料同化等)，更能精確地掌握真實大氣的特徵，對我飛安的維護助益甚大。因此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與發展，以提高氣候模式預報的準確度及敏感度，本年度在國防部及司令部各級長官的指導與支持

下，聯隊已著手規劃執行「新一代氣象觀測系統」建案，案中之氣象數值預報模式的建置，就是結合傳統觀測資料內容於網格點中，透過物理定律的計算，反演並預推未來可能發生的天氣型態或天氣現象，不但可有效延展預報長度、擴充預報範圍，並經由資源共享的合作機制、彙整預報的經驗法則，如此將有助於預警氣候異變所可能發生的時間、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維護。

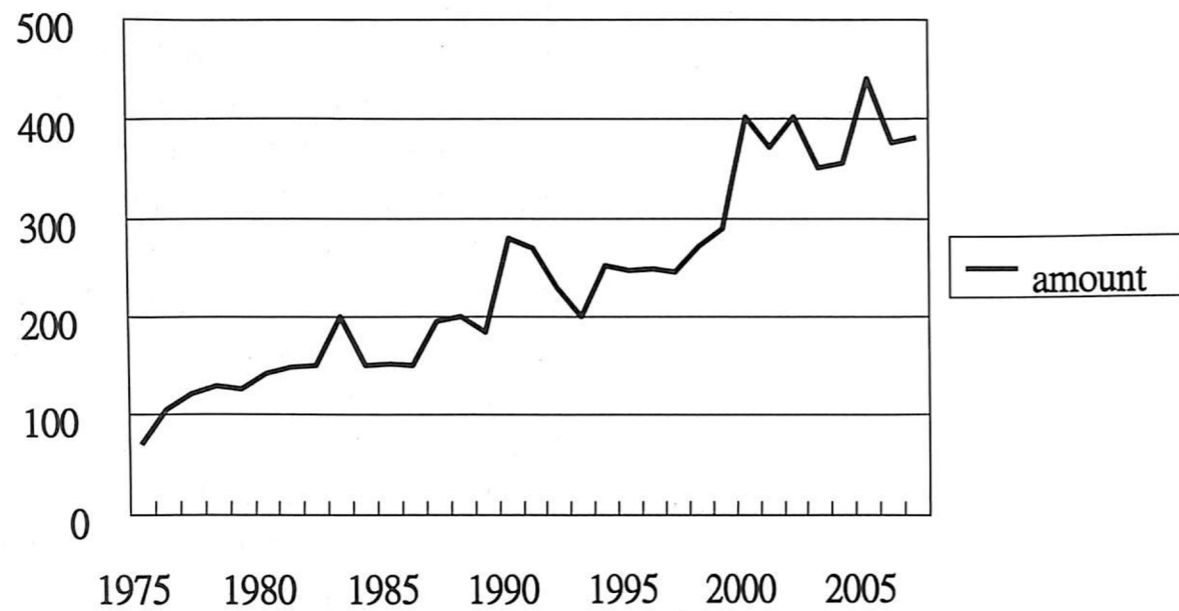
四、結論與建議：

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；2007年4月聯合國「政府間氣候變遷問題小組」(IPCC)就公布所做氣候變遷階段評估，預測溫室氣體將改變原先降雨模式，增強熱帶風暴威力、加速北極冰與山區冰河溶解，並擴大乾旱、洪水與缺水壓力的風險；同年12月在印尼峇里島召開的氣候變遷會議，並籲警災情本世紀將再加劇，狀況有可能無法逆轉。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，打亂原有班機安排上調度，並直接挑戰飛航安全係數的臨界點。

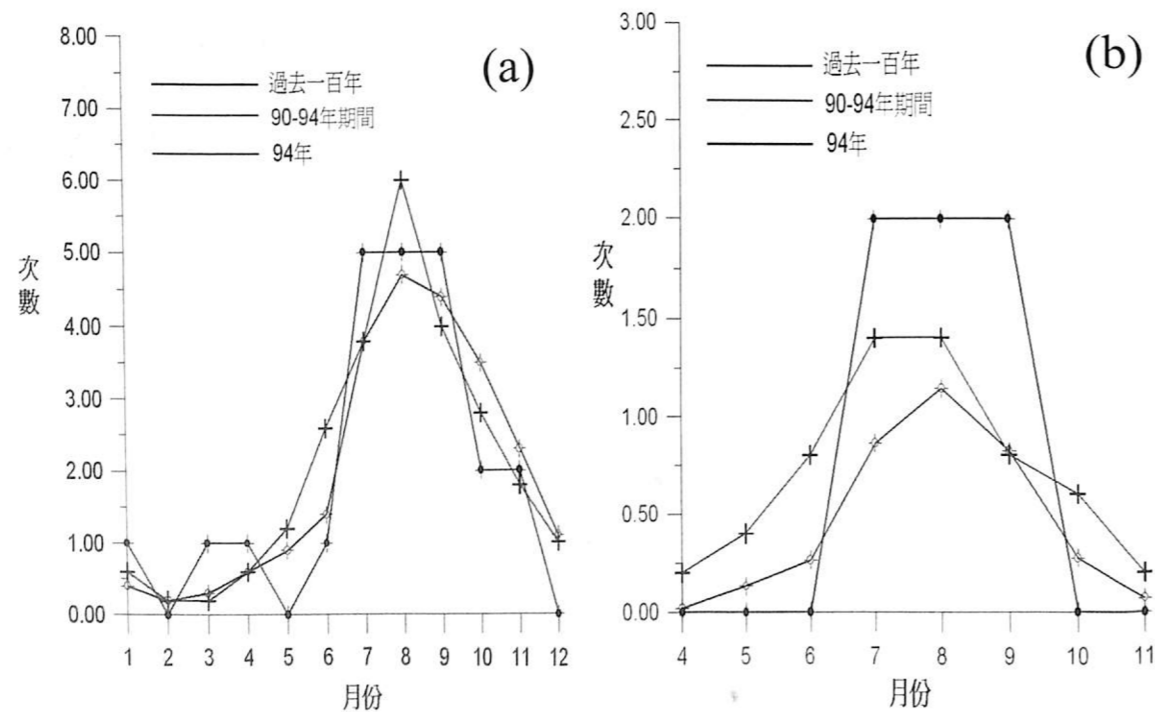
美國國家運輸安全部NTSB統計資料

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；爆烈天氣的類型、發展與強度正逐漸挑戰飛安維護的極限，舉凡亂流、雷雨、低能見度、強側風、嚴重積冰等氣象因子所發生的機率與強度也正一波波考驗著飛行器的最高安全係數以及飛行員的臨機因變處置作為。現階段對於氣候異變的因應作為，最重要的是防範未然、減災防災，降低其肇生的可能性、擴張性及危安性，強化觀測密度，提昇測報精度，建置並運用氣候資料庫，做為預報基礎知識背景；除對傳統觀測技術精進、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，亦應持續致力於氣象數值模式的改進與發展，以提高氣候模式預報的準確度及敏感度，有效改善對迷惘未知的將來提供合理的情境模擬，尤其是近年來，各國大力推展的高效率、高解析度、高靈敏度的氣象數值模式(如：WRF中尺度數值模式等)，以及數值模擬技術(如：四維空間資料同化等)，更能精確地掌握真實大氣的特徵，對我飛安的維護助益甚大，如此亦將有助於預警氣候異變所可能發生的時間、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維護。

表一、統計自1975至2007年全世界天然災害所發生的數目



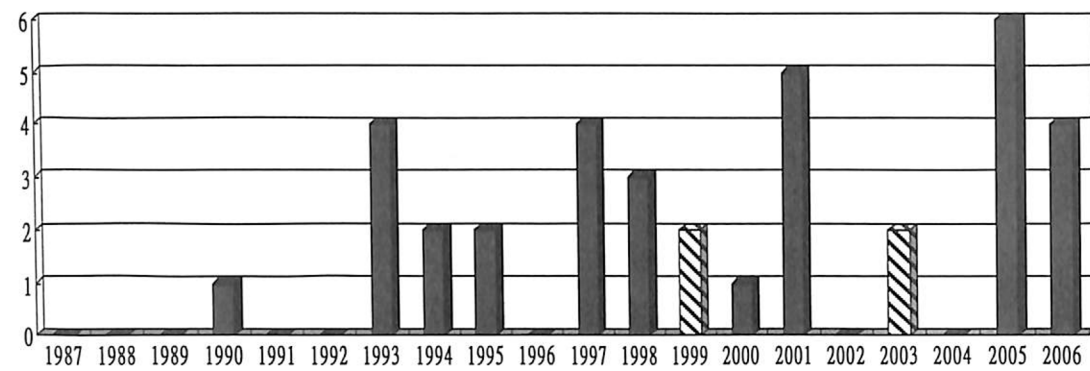
表二、過去一百年、90-94年及90年各月(a)發生於西北太平洋及中國南海颱風個數及(b)侵台颱風個數。



表三、90年至96年台灣地區災變天氣事件記錄表

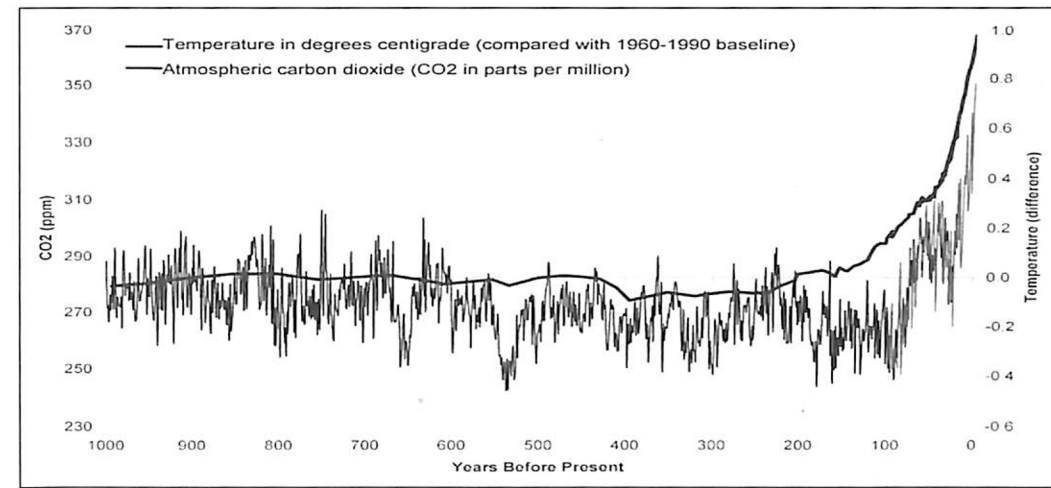
時間	事件內容	天氣類型	備考
96.12.	宜蘭、蘇澳、高雄、蘭嶼異常高溫	高溫	創12月份測站最暖紀錄
96.7.	宜蘭、台中、阿里山、嘉義、台南、成功、大武、恆春及蘭嶼等站出現最高溫	高溫	設站以來最高溫度紀錄且7月份最少雨
96.7.	克羅莎颱風來襲	颱風	行進路徑詭異且農民損失超過42億元
96.3.	鋒面前緣旺盛西南氣流過山沈降的影響之下，台東出現焚風現象	高溫	最高溫度(攝氏37.4度)為台東同月份百年記錄的最高值
96.2.	彭佳嶼、基隆、宜蘭、蘇澳、新竹等	高溫	諸站設站以來同一時期最高溫紀錄
96.1.	台北站1月份高溫17.3°C	高溫	該站設站以來同期第5名高溫
95.11.	台南、恆春及澎湖異常高溫	高溫	創11月份測站最高溫紀錄
95.7.	阿里山最高溫度	高溫	設站以來7月份最高溫度紀錄
95.6.	導致中南部地區大淹水	梅雨鋒面	財產損失11億元
95.1.	台北及宜蘭異常高溫	高溫	出現設站以來同月份第2最高溫度紀錄
94.08.	合歡山下冰雹；強陣風	午後熱力對流	打破20年紀錄
94.08.	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.	屏東漁塢遭雷擊3000尾烏魚暴斃	雷暴系統	近50年來未見
94.06.	屏東東港淹水，4萬多戶停電，2人死亡	梅雨鋒面	破30年紀錄
94.03.	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.	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.	翡翠水庫、石門水庫水位降至歷史新低，北部地區大缺水	乾旱	創10年乾旱缺水的紀錄
90.09.	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.	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

表四、統計自1987至2006年，梅雨季發生超大豪雨事件的分布情形（橫軸為發生年代，縱軸為發生天數）

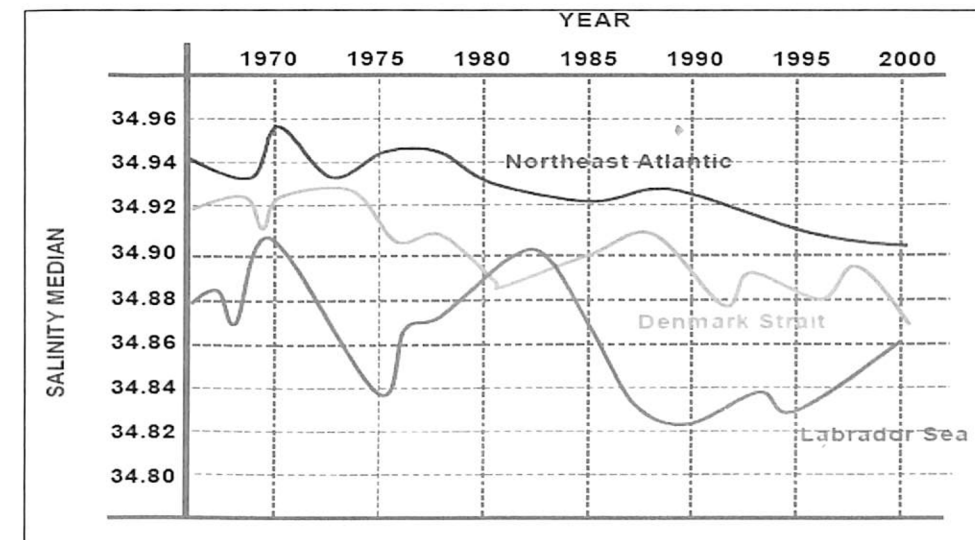


表五、1994至2003年飛安事件統計表（資料來自NTSB，2004年）

WEATHER VS. 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。



圖二、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)。

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。
- 林得恩，2006：影響飛安的雷電現象，中華民國的空軍，792，14。
- 林得恩，2006：氣候異變對飛航安全的影響，飛航天氣，6，15-26。
- 林得恩、戴志輝、鳳錦輝，2006：敏督利颱風侵襲期間的落雷分析，氣象預報與分析，189，37-43。
- 魏國彥與許晃雄，1999：全球環境變遷導論，時英出版社。
- Brian Fagan，2008：歷史上的大暖化，野人文化出版社。
- Chiag Che-Ming, De-En Lin, 2007: The discussion of the conversion of different scales of weather system based on the experience of architecture, International conference on Sustainable Building 2007, Taipei.
- Lin De-En, Ben J.-D. Jou, 2005: A model simulation of mesoscale convective systems in the Mei-Yu front, AOGS 2nd Annual Meeting 2005, Singapore.
- 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.