

氣候變遷對國防安全之影響及因應策略

李昌運

空軍氣象聯隊氣象中心

摘要

近年來，全球由於氣候變遷導致極端天氣頻繁出現，使重大天災事件出現頻率更甚以往，造成世界各國社會、經濟及生命的嚴重損失；面對全球氣候變遷衝擊，臺灣無法置身事外，劇烈對流系統的強度及出現頻率均有增加趨勢，異常氣候造成複合型災害的威脅業已持續化、常態化，其對國家軍事安全威脅已非侷限於傳統軍事武力，而是必須考量由氣候變遷間接引起之糧食、資源及疾病等非傳統之安全議題，因此在建軍備戰上，除了傳統軍事安全議題，上述非傳統安全議題已逐漸受到重視；面對可能引起國防安全的威脅，除平時必要的戰備訓練之外，我氣象人員應持續精進長期天氣預報，與國內相關學術單位合作，建置有效氣候監測能量，提昇防災天氣相關作為，有效支援各項戰演訓任務，以確保國家安全。

關鍵字：氣候變遷、極端天氣、國防安全

一、前言

不同氣象因子的變化到變動的大氣環境對高科技武器裝備效能發揮、作戰行動的整備的乃至整個作戰進程都有不同程度的影響。深入研究其效應，無論是積極創造或消極運用「利我，不利敵」之時機與環境，均具有重要意義。狹義而言，氣象因素直接影響武器系統效能發揮；從確保軍事行動安全、裝備維保，乃至研析是否因大氣環境乃至海洋因素變動而導致攻守利弊情勢互異，都足以影響戰爭勝負之契機。廣義而言，戰略、戰術及戰鬥上應須將各項戰場環境氣象因素之限制列入考量，選擇或創造最有利之戰場環境，以為戰爭求勝謀取最大公算。是故無論戰略部署、戰鬥時機乃至作戰思想與戰法運用，均間接受到大氣環境因素所約制(潘，2000)。

而近年來全球氣候異常，地球環境因人類活動破壞或因自然的週期性變遷，天然災害有越來越嚴重的趨勢，氣候變遷(Climate Change)之議題已儼然成為全球矚目的焦點，而根據世界氣象組織(WMO)所發表的「WMO 2016年 global 氣候狀況聲明」(WMO, 2017) 可得知，2016年是有記錄以來最熱的年份(如圖1)，而自2014年到2016年每年平均溫度均逐年增高，且2016年比工業化前時期溫度高出 1.1°C ，除溫度上升明顯外，也較

有記錄以來的上一次溫度最高年份(2015年)高 0.06°C ，全球海平面持續上升，北極海冰面積全年大部分時間均遠低於平均值(如圖1)。

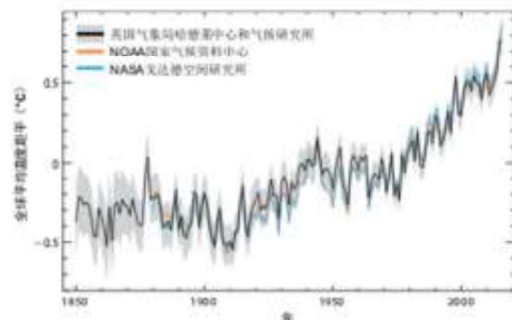


圖1 WMO 2016年聲明使用的3個主要資料集的全球平均溫度距平(1961至1990年基準期)。灰色陰影表示 HadCRU資料集中的不確定性(資料來源：英國氣象局哈德萊中心)。

根據美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)分析的資料指出，自1880年以來，全球年均溫以每10年遞增 0.07°C ，2016年全球海洋及陸地平均溫度高出長期平均值約 0.94°C ，除受到強烈的聖嬰現象影響所致，跨政府氣候變化委員會(Intergovernmental Panel on Climate

Change, IPCC)第5次評估報告亦指出,由觀測資料檢測與歸因研究表明,人類活動對氣候的影響是自1950年代以來觀測到的全球氣候系統變暖背後的主要驅動因素,而這一氣候發展在海平面所呈現出的特徵為2016年11月全球海冰面積比平均值下降了400多萬平方公里,全球海平面大幅上升;在降雨方面則呈現出降雨不平均分布的情況,且降雨發生頻率也未若過去,在時空分布特性呈現不一致的情況,由上可發現,受到氣候變遷影響,導致極端降雨、熱浪、乾旱及豪大雨等極端天氣的強度與頻率皆有增加的情形。因此,聯合國多次呼籲各國政府,一方面要持續減少溫室氣體排放,以減緩全球的增溫;另一方面應針對氣候變遷下的各類衝擊,積極採取適當的調適作為(中央氣象局,2017)。

過去氣候變遷在時間尺度上被視為是一個長時間(百年或千年以上尺度)氣候的改變,氣候緩慢的改變將不致於立即影響人類活動,但隨著人為因素的影響,氣候變遷已有加劇的情況,極端天氣災害發生的頻率越來越快,強度越來越強,使得許多國家與組織均已開始關切氣候變遷可能帶來的國家安全衝擊與影響(林,2008)。

而根據國家災害防救科技中心統計2002-2014年臺灣地區颱風警報發布之颱風個數進行統計可發現強烈颱風佔15.4%,中度颱風佔48.7;2015-2017年臺灣地區颱風警報發布之颱風個數進行統計可發現強烈颱風佔31.3%,中度颱風佔43.8,顯見強烈颱風所佔比例有上升趨勢(摘自國家災害防救科技中心),顯見臺灣地區受氣候變遷影響,極端天氣有增強之情況(如圖2)。

二、氣候變遷與國家安全

(一) IPCC AR5的警示

根據IPCC AR5中指出,AR5與AR4相比,其觀測資料較多,而數值模式已有明顯改進,並總結出下列觀點(臺灣氣候變遷推估與資訊平台,2017):

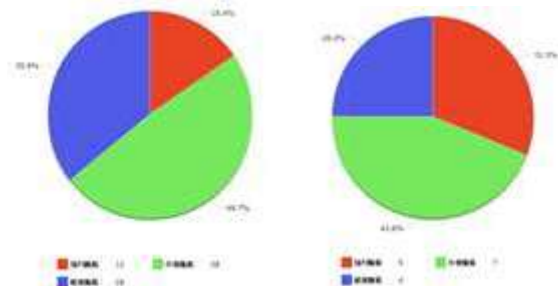


圖2 左為2002至2014年颱風資料統計,右為2015至2017年。(摘錄自國家災害防救科技中心網站)

1. 2007年後所進行之研究報告,更加確認地球暖化狀況持續發生,而造成其發生之原因主要為人為因素。
2. 由新的觀測資料,確認海洋熱容量的明顯增加,而人為溫室效應增加的能量主要儲存於海洋中,海表層下700公尺以內的水溫上升,氣候系統增加的能量有60%儲存在海表層下700公尺以內的海洋;且本次報告強調人為溫室氣體排放將造成海洋酸化的現象。
3. 北極海與北半球陸地的冰雪量都減少,南極洲陸地的冰量也減少,但是南極洲周圍海冰面積有些微增加。
4. 人為溫室效應(相對於1750年)的估計,較第4次評估報告的估計增加40%,而且從1950年代至今有持續加強的趨勢。
5. 極端雨量與颱風變化趨勢與第4次評估報告的看法相當。
6. 檢視過去十數年觀測到的暖化趨勢減緩現象,可發現主要應是受到自然變異的影響,但是判斷暖化趨勢需長期的觀察,不能僅依據短時期資料論斷。

事實上,氣候變遷並不僅僅影響地球環境,而是一影響國家社會、經濟、政治及軍事安全息息相關的重要議題。就軍事安全的角度而言,並非指氣候變化會帶給人們直接的戰爭,而是其間接造成的影響,如糧食缺乏、全球氣溫升高、海平面上升、極端氣候增加等事件發生,將嚴重威脅未來的國家軍事安全。國際事務專欄作家戴爾在其所著《氣候戰爭2.0》(Climate Wars, 2nd

edition)指出在暖化持續惡化的環境下，2045年全球糧食匱乏，其原因來自於氣候改變了降雨分布，進而影響糧食的生產。部份國家則因為長期乾旱，土地逐漸沙漠化，人們開始面臨飢荒，而其中不乏科技高度發展的國家，為了生存不擇手段；而糧食相對充足的國家雖可以自飽，但必須驅趕湧入的饑民，彼此對立與衝突日益明顯，造成政治上及軍事上的紛擾，氣候變遷就如同「灰犀牛」一般，它是一顯而易見且既存的威脅，但卻因現行作業體系及政治因素等種種原因，因此難以進行長時間與大資源的投資，以進行有效作為來回應變化，進而使災害越形擴大，致問題越來越嚴重（Gwynne Dyer，2012）。

（二）氣候變遷與軍事安全

傳統的軍事安全，主要來自國家間利益競爭，或為了確保國家目標與利益而生之軍事行動；非傳統安全威脅的形成，主要源自於因天災與人禍造成國家安全；由於近年因氣候變遷，使得全球環境改變，極端天氣事件發生更趨頻繁，使各地發生重大天然災難、傳染疾病、基礎設施破壞、糧食與能源危機等問題將直接影響國家經濟，這些危機更可能衍生國家間資源與利益衝突，造成軍事或政治上對立，影響區域穩定及軍事戰略規劃；若不審慎以對，將形成軍事安全的罅隙，對軍事安全勢必造成相當大的影響。目前美國已將氣候變遷議題正式納入國家安全政策，並在此基礎上推動在國家安全政策中正式納入氣候變遷議題，以謀求解決之道。氣候變遷所引發的危機如糧食等，可能使政府疲於奔命、無力處理，形成軍事上危機，導致政權瓦解；另外其它可能因氣候變遷下所連帶影響的問題，如恐怖活動增加、人心不安，地區不穩等其它政治、社會乃至於國家軍事安全的問題，這也是五角大廈的專家與情報單位首次嚴肅看待氣候變遷對國家軍事安全的影響(Dennis，2010)。

事實上，由於戰場多變的氣象條件對軍事作戰帶來諸多影響，早在二戰之後，美國就開始對軍事氣象進行研究，包括天候對武

器裝備、部隊作戰行動的影響，以及人員適應環境的能力等做深入的研究。1949年，美國軍方在佛羅里達州坦帕灣建立了「麥金萊氣候實驗室」(McKinley Climatic Laboratory)，進行相關軍事氣象的研究；麥金萊氣候實驗室主要針對全球各種氣候環境及天象條件進行研究和模擬，其中包括暴雨(雪)、結冰、強風、急速降溫雷暴等劇烈天氣系統與沙漠、海洋等類型氣候環境，而隨著現代戰爭的科技化與資訊化，美國在1998年起擴大對麥金萊氣候實驗室的投資。同時為了提升美軍在資訊環境下的作戰能力，於2003年底增加了「資訊能量實驗室」與「太空實驗室」；由於麥金萊氣候實驗室具備得天獨厚的氣象調節功能，所以美軍半數以上的武器裝備在進入部隊服役之前，都必須先經過麥金萊氣候實驗室的嚴苛考驗，透過對各種氣候、天象條件的模擬，檢驗新式武器裝備的性能。美軍各特種部隊也時常在氣候實驗室內接受訓練，實驗室為特戰隊員模擬了熱帶雨林、非洲沙漠、冰雪極地、高原缺氧、海上求生等各種氣候條件，以培養美軍特戰部隊在各種複雜氣候條件下的作戰能力(張，2016)。

而中國大陸為了使2008年的北京奧運露天儀式及賽事能於合適的環境下執行，甚至運用人工增(消)雨手段，改變北京週遭地區的天氣環境，使天氣能符合奧運露天活動的執行標準，由上述可知中國大陸已將氣象運用於戰場環境營造上，為我傳統安全上的強大威脅；而臺灣因地理區位及年輕地質的環境特性，容易發生天然災害，極端氣候更加強了天然災害的發生頻率與規模，影響層面廣及水資源、公共衛生、生態與生物多樣性等領域，我國體系又深切依賴國際貿易，故無法倖免於全球農產品及各項原物料在氣候變遷下所導致的供需失衡，因此可知氣候變遷為我非傳統安全方面為一大隱憂(林等，2009)。

三、氣候變遷對軍事作戰的影響

（一）氣象與戰場環境

戰場環境經營對我軍處於防守態勢而

言，為一高性價比之投資，而藉由上述案例可知，氣候變遷在世紀末將會改變地球環境，進而影響戰場環境經營，而IPCC在第五次評估報告則提出中地球後續可能變化，本文將羅列針對我國防安全及軍事行動之相關要點，簡述如下：

1. 北極冰融範圍擴大：

全球暖化加劇，北極冰融情況也日趨嚴重，根據美國國家冰雪資料中心(Nation Snow & Ice DataCentre, NSDIC)2016年6月1日衛星資料顯示，北極海冰面積僅略超過1,110萬平方公里，但過去30年的平均值為1,270萬平方公里，每年消融的海冰面積約達26萬平方公里，估計2050年北極冰層變薄，一般船艦無須破冰都能橫渡此海域，美國冰雪資料中心預估北極冰山每年持續以百分之三的速率溶化，預估2030年後因大範圍融冰，將出現西北及東北兩條北極航道，一般船隻也可以在北冰洋上航行，此一現象的發生，當然也包括對美國抱有敵意的船隻，由北冰洋發射導彈攻擊美國本土，預警時間不需10分鐘，這對美國而言將會是急迫且嚴重的威脅。

但對於臺灣而言，北極航道的開啟也可能是一個轉機，北極航道的出現，意味蘇伊士運河(位埃及西奈半島的西側)在歐亞海運長達一世紀的獨佔地位即將結束，透過北極航道，西歐與東亞之間的航程將比現有的蘇伊士運河航線縮短5,500公里(如圖3)，換言之，往來上海與鹿特丹的船走俄羅斯沿岸的東北航道將縮短航程22%，也就是至少免去10天航程，又能避開麻六甲及中東海域等高風險區域，等同減少燃油及保險成本，即便走美加沿岸的西北航道約可減少15%總航程(AC, 2009)，東北亞將成為東南亞、紐澳與歐洲三區之間的轉運樞紐，而高雄港則處於重要地理位置，這意味著臺灣戰略地位將有所提高，臺灣海峽、對馬海峽、白令海峽將成為新的全球戰略衝道，夏季通行船隻倍數成長。對日本、西方國家、東協來說，臺灣海峽作為國際水域要比成為中國領海來得有利，即便各國在政治上不與臺灣正面打交道，但基於利益基礎上，商業間的折衝

將為我國帶來另一波合作的可能性，可說是臺灣與其他國家加深雙邊實質關係的良機，同時亦提高了中國武力犯臺之成本。

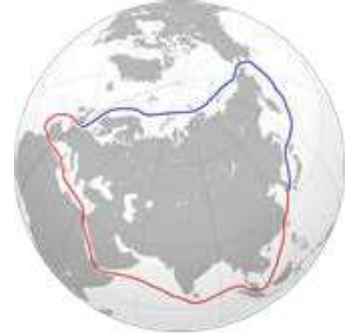


圖3 歐亞海運新航道，藍色路線為北極東北航道，紅色路線為經蘇伊士運河傳統航道(圖片來源：mothership.sg)。

2. 海平面上升：

在美國前副總統高爾拍攝的「不願面對的真相」影片裡提及全球暖化加速溶解了北極和格陵蘭的冰川，加上海水遇熱膨脹，處於海拔10公尺以下的紐約、東京和上海，將沉沒為海中廢墟。

而美軍在印度洋上的狄亞哥賈西亞(Diego Garcia)基地即為一案例，該基地是美軍在印度洋上的後勤基地，不過僅高於海平面1公尺而已，海平面上升可能使該基地遭到淹沒，造成美軍於該地區維保及運補發生窒礙，美海軍基地與其他軍事設施上，共有11.1萬棟建築與構造物，分布在全球220萬英畝的面積上，搬遷起來得耗資2,200億美元；而相對我軍而言，我國地勢低窪處之戰術陣地及相關設施在海平面上升後，將面臨場地無法使用或功能受限的問題；更甚者，我國在南海地區所擁有之東沙島及南沙島在海平面高度上升後，島上各營舍、設施及裝備有是否所影響，亦須審慎評估，因此如海平面上升是否仍可進行軍力建置；若駐軍為必需之舉，我軍應發展在海面維持軍事設施之相關科技。而在空軍部分，則需面臨機場遷移及發展短程或垂直起降航空載具均需列入考量。

3. 降雨日減少，降雨強度增強：

臺灣持續暖化所引發的氣候變遷，真正

要擔憂的是暴雨暴旱交迭，臺灣近年氣候變異極大，不是水太多，就是水太少，2001年的納莉颱風，台北市單日降下650mm豪雨，破了百年紀錄；翌年，石門水庫河床乾涸，遭逢30年來最嚴重乾旱。

臺灣名列世界第18大缺水國，即使總降雨量並沒有減少，但據中研院地球科學研究所研究員汪中和長期追蹤分析，臺灣北部總雨量增加20%、南部減少10%，北澇南旱趨勢顯著；且南北降雨天數逐年降低，使得雨量集中，強度更強，且隨著氣候變遷的持續發展，後續乾旱風險可能更為嚴峻。

4. 溫度升高，能耗增加，武器系統壽期縮短：

氣候變遷將造成地球平均溫度上升，使地球環境較以往有明顯差異，而氣象要素對軍事作戰的影響，隱含有效利用氣象情資，以助提升各式作戰能量。因此，為提高軍事武器、裝備與設施的使用效率及維持高效率的作戰能力，不能忽視氣候變遷及其所可能引發突變天氣對我國防戰略的衝擊與影響；因此現代武器系統在設計時，多已將大氣環境列入考量，而為將大氣環境列入考量，多會運用大量高速電腦進行運算，以便能克服，然若運用大量運算電腦來控制電腦系統，其所需造成高溫環境，將大幅縮短系統壽命，將對武器系統帶來負擔，造成其壽命縮短。

氣象條件對各種戰演訓及作戰行動過程均有不同程度之影響和限制。有效運用氣象資訊，不僅可成功支援戰訓任務，更可提高訓練成效。

氣象條件限制對戰演訓任務具潛在風險。為使任務得以順遂，先期掌握各項氣候要素及評估可能面臨之氣象限制採取應變，方能有效達成目標。

(二) 氣象因子對作戰行動的影響

因此可知，人類為適應氣候變遷，已由適應天氣至現今已逐漸改為改變天氣，但改變天氣仍屬大氣科學的領先範疇，至今仍有許多問題有待克服，因此在氣候變遷及科技待改進的前提下，我國軍仍須進行政策及組

織的變革，以因應氣候逐漸變遷的環境。

現今由於隨著軍事科技的蓬勃發展，為使武器能發揮最大效能，軍事作戰對於氣象的需求愈來愈高；如在二次世界大戰期間，由於火炮的射程增大，艦艇活動範圍大大擴展，再加上飛機、煙幕、毒氣投入戰場使用，使得軍氣氣象應用日益複雜，不僅要求提供地面氣象觀測及短期的天氣預報，更要求能夠有高空氣象資料及長期的天氣預報。

舉例來說，陸軍除砲兵之彈道氣象要素對任務遂行非常關鍵外；氣象量場對其核生化作戰也亦顯重要。此外，降水也控制機械化部隊之活動能力。對於陸軍的集結、照明、斥候，以及獲得空中支援之程度等作戰任務亦息息相關。非常可惜的是，由於氣象變遷所導致的極端天氣事件頻傳，不但在發生頻率上明顯增高，在發展強度上也屢屢打破觀測的紀錄，完全跳脫氣候平均所呈現的穩態，對我原有軍事活動安排、規劃、執行與應變，造成相當大的困擾與限制。由此可見氣象因素在作戰運用中，已不僅只是影響武器效能的發揮，更影響建軍備戰的長遠規劃。

氣象條件具有時間上的可變性和影響上的可利用性。氣象條件非惟軍事活動之制約因素，亦是軍事活動的有利因素。例如惡劣天候既是不利因素，亦屬有利因素，此取決於武器裝備之優劣、指揮人員對天氣之利用及作戰人員之素質等(張等，2005)。因此，氣象支援作戰係依據作戰任務屬性、武器裝備性能、部隊訓練素質及自然地理環境等條件，提供作戰所需之氣象條件分析及判斷；不同軍種、兵種部隊和不同作戰行動，所需的氣象條件也各不相同。例如，空軍之偵察、偵巡、航炸、反制、阻絕、密支、運兵、戰力保存及搜救等作戰任務；海軍之艦艇作戰、潛艦航行、灘頭作戰、運補及兩棲登陸等作戰任務；陸軍之步兵、砲射、裝甲、行軍、兵力轉移及陸空聯訓等作戰任務。針對空軍作戰任務影響要素及範圍簡述如表1。

表1 對軍事行動影響之氣象因素(以空軍為例)。

內容 項次	氣象 因素	對空軍作戰任務之影響
1	風	1. 地面風：影響航機起降，對空投、空降或轟炸等任務之準確度產生偏差。 2. 高層風：順風或逆風與否將影響飛行空速、耗油量、航程之遠近及作戰半徑之大小。 3. 風切、側風及下爆氣流：造成航機偏移、傾斜或偏離航線，嚴重甚至造成飛安事故。
2	能見度	能見度不佳（霧或霾塵等視障），造成武器投放、高空偵照及搜索地面目標困難，並增加目視飛行起降之風險。
3	降雨 (雷暴)	1. 跑道積水、濕滑，增加飛機起降失控風險；地面勤務如加油、掛彈等行動遲緩，影響作戰任務之遂行。 2. 航行中雨水在座艙罩流動，降低飛行員目視能力，影響作戰行動。 3. 雷雨伴隨豪雨、冰雹、強烈亂流與雷電等現象，易使飛機設備性能（如引擎進氣效能等）下降、損傷或影響電子系統，對飛機安全產生威脅。
4	雲	1. 積冰（過冷卻水）及航行顛簸（不穩定氣流），影響飛機操控性能或造成損傷，並可能降低偵察、轟炸、空投及空降任務等作戰效能。 2. 雲層高（厚）度干擾空投及人員跳傘任務執行，影響著陸點。 3. 造成能見度下降，影響空中編隊、偵察及空投等作戰任務。

		4. 雲中飛行，影響視覺參考點，易造成視覺錯覺（空間迷向）。
5	溫度	1. 溫度影響大氣環境壓力、密度分布狀況，密度高低將影響耗油量，進而影響飛行航程及作戰半徑。 2. 極端高低溫影響電子設備壽期，溫度越高將導致精密儀器故障、壽命減短。
6	濕度	1. 濕度越高，將導致電磁波衰減率增加，進而影響電磁波對大氣中傳輸之無線電波、雷達及飛彈行進之導引效能（對遠紅外線影響甚鉅）。 2. 濕度及溫度高的環境，作戰人員易疲勞，武器裝備容易生鏽，保養困難。
7	氣壓	海拔越高，作戰人員吸入的氧氣量越低，造成人員身體不適，降低作戰效能。例如執行空中人工增雨任務，作業人須在高空約 15,000 呎無艙壓狀態下實施作業，若無接受適當訓練，將徒增任務風險；天氣系統有劇烈變化時，亦會對航機高度儀產生影響，致使儀器有所誤差。
8	亂流	亂流之出現使操作困難甚或飛機結構受損以致失事；此外，執行編隊飛行，恐因無法保持高度穩定而發生碰撞危險。
9	雷電	可能引發電磁脈衝之現象，導致戰機等重要武器或精密電子設備（如雷達、導航系統等）受到高感應電壓而產生損壞。
10	太陽照射角度	日出日落期間時段，目標物與環境背景溫度對比差異小，影響紅外線武器系統偵測，降作戰效能。

科技的迅速發展也使得現今戰爭型態已漸漸由傳統模式轉變為高科技戰爭模

式，任何國防及戰爭無不應用高科技及現代化武器做為軍事後盾，舉凡戰機、船艦、飛彈、坦克、火炮及各式軍事兵器，如無人飛機等，都是現代作戰所必備的基本要件。然而，這些軍事武器的運用效能均會受到因氣候變遷所導致的極端天氣所影響，例如雷電、劇烈降水、暴風雪、強風等惡劣天氣，都將直接衝擊軍事戰略的調配與兵力佈署。戰機將因此無法執行空中作戰或訓練任務，海面的強風與惡浪將導致船艦將無法運行，各式高科技軍事武器裝備也受氣象因素影響而降低使用效能。除此之外，氣象條件對各種作戰行動乃至於整個戰爭過程亦有不同程度的影響和限制。例如，空軍作戰任務如偵察、偵巡、航炸、反制、阻絕、密支、運兵、戰力保存及救難等，海軍之艦艇作戰、潛艦航行、聯合作戰、灘頭作戰、艦載機之運用乃至於未來航母戰鬥群之移動，陸軍之步兵、砲射、裝甲作戰、行軍、兵力轉移及陸空聯訓等任務。因此，未來任何軍事行動必須特別審慎面對極端天氣所伴隨下列不同氣象量場變化對戰演訓任務的影響。

(三) 案例分析與借鏡

1. 2008年北京奧運人工增(消)雨作業

因應氣候變遷來調控戰場環境，如大陸於2008年奧運期間多次運用火箭進行人工消雨作業，使露天儀式順利進行。

北京在該次奧運期間正處於夏季雷雨好發季節，因此中國大陸氣象單位自2005年開始組建奧運氣象機構，針對奧運同時期的氣候資料進行蒐整，並評估人工消雨執行可行性。

在北京奧運期間，中國大陸在北京、天津、河北等地布署10架飛機、163部火箭發射架、3道人工消雲減雨防線；開幕式當日進行高強度人工影響天氣作業，北京等地計21個火箭作業點發射1,110枚消雨火箭彈，兩度破壞「鳥巢」西南方雷雨雲雲體，使2008年北京奧運能在晴朗的天氣下順利完成。

2. 1971年越戰人工改變戰場環境：

1971年初，美軍利用麥金萊氣候實驗室

開發的氣象武器，對北越實施氣象作戰。美軍利用西南季風這個有利條件，出動飛機二萬六千架次，在越南戰場投放四百七十多萬枚降雨催化彈，在雲層中施放成噸的碘化銀，藉此製造大規模的降雨，造成每小時80毫米的特大暴雨。在未實施人工造雨之前，胡志明小徑平均每週可通行9000部汽車，往南運送大約3萬5千噸的作戰物資。實施人工造雨之後，洪水導致胡志明小徑泥濘不堪，每週通行車輛降至900輛、物資運送降至2千噸左右，使得北越南侵的行動受到嚴重阻礙。

美國科學家也發現，在某地實施人造降雨，會使周遭地區的雨量銳減，甚至造成乾旱。因此，美國在1970年對古巴實施「乾旱作戰」。中情局利用麥金萊實驗室開發的氣象武器，對飄往古巴的雲層動手腳，讓古巴出現異常的乾旱天氣，導致作為主要經濟作物的甘蔗歉收。直到蘇聯派遣氣象專家前往古巴實施人造雨，才化解古巴的旱象；在阿富汗戰爭期間，美軍同樣利用氣象武器圍剿恐怖份子。美軍透過能夠產生高壓、高溫，消耗目標區內大量氧氣的溫壓炸彈，攻擊藏匿於洞穴、坑道等掩體內的恐怖份子，成效同樣十分顯著。

由上述個案可發現，受現今科技水平限制，人工影響天氣並不是人工控制天氣，僅能做到對局部地區實施人工增消雨作業，但對大尺度劇烈降雨系統影響甚微。

四、因應策略與作法

有鑑於氣候變遷影響國防上軍事安全及對於軍事戰略規劃之安排考量。未來應儘早將氣候變遷問題納入作戰規劃中，在面對難以有效預測與防範的氣候變遷衍生的災害，唯有先期掌握其對作戰環境影響，平時強化軍事設施與基地的防護能力，並透過嚴密的防衛動員體制，確保戰力之保存及發揮，才能有效確保我軍事安全。但面對氣候和天氣都存在不確定性的難解問題，目前科技尚無法對於氣候變化做準確的預報與掌握，以現今科學去預測未來數十年的情境，對於何時、何地氣候會發生什麼樣的變化，

除了不確定性高，更是難以捉摸。雖然，對於氣候的預測多以統計或比對的方式來推算，而其中不免也出現許多的誤差與主觀認定。因此，對於未來數十年以上的氣候預測，應該以更謹慎的態度去面對，做好準備，防範於未然，以確保軍事上之安全無慮。

（一）納入氣候變遷於國家軍事安全議題

氣候異常的現象已經在全球發生，臺灣破紀錄之天然災情也持續傳出，莫拉克八八水災及2012年後梅雨季鋒面與西南氣流引發之劇烈降水，持續重創臺灣。因此，未來當全球性氣候突變災害的危機發生時，臺灣不可能置身事外。在面對無法完全排除氣候變遷引起之自然災害威脅，以及其所隱含潛在之資源爭奪、政治或軍事危機時，災難的嚴重性及複雜度可能超乎預期。因此，除了平時必要的軍事上戰備整備外，應儘早將氣候突變的可能發生的危機納入國家軍事安全考量，取得國防上軍事安全維護的致勝先機。

（二）完善氣候監測與預報技術研發能量

建置完善之氣象監測系統，增加氣象觀測時間及空間的密度，以強化臺灣地區與周邊海域劇烈（突變）天氣的監測及預警能力，並持續致力於氣候模式的改進及蒐整氣候資料研析，深入瞭解大氣、海洋與氣候變遷間的作用，透過反覆預報與觀測間的不斷驗證，瞭解模式預報之能力，適時調整修正，以提高對氣候模式預報的品質與準確度，如此將有助於預警氣候突變發生的時間，減低災害之衝擊。由於天氣預報品質的良窳直接影響戰演訓任務的遂行，唯有在人員素質及裝備性能的不斷提升下，才能持續精進預報作業的質與量，俾使戰演訓任務順利執行，提升國軍整體作戰能力。

（三）完善氣候監測與預報技術研發能量

由於極端氣候頻繁，天氣掌握也愈來愈困難。臺大全球變遷研究中心在2008年12月發布的報告「臺灣地區未來氣候變遷預估」中指出，未來夏季和冬季將分別出現極端高溫或低溫的狀況，但是被成功預報的機率並不大，且難度愈來愈高。此外，全球氣候總體是溫度升高、偏暖趨勢，將引發複雜的大

氣、海洋、陸面相互作用，大氣水分循環加劇，產生極端天氣的條件增多。總體上，全球變暖會導致高溫、暴雨和颶風等極端天氣事件增加，嚴寒發生的頻率減少，但局部地區會有例外。暴風雪、寒流、暴雨、熱浪等極端天氣氣候事件在全球發生的頻率增加，強度加大。

由於全球氣候異常似乎已成常態，重大災害連年發生，國際動員軍隊參與大型救災已成為世界各國處理緊急應變時的主力模式。國內災害防救已是目前國軍核心任務中極為重要的一環，面對災變天氣頻繁，國軍應持續強化統合救難單位與救災能量，熟練各天候條件下搜救技巧，強化救災機制與能力。此外，在面對難以預測的天災，透過事前氣象情資蒐集及研判，提供指揮官即時可靠之氣象情資，俾利下達救災任務決心，落實「超前部署、預置兵力、隨時防救」之最高指導原則。

五、結語

近年來，因氣候變遷所導致極端天氣出現的頻率及強度日益增加，全球由於極端氣候變化導致重大天災事件頻繁，乾旱、洪水或是複合型災害同時發生所產生之災情更甚於以往，已造成世界各國社會、政治、經濟及軍事上的衝擊與影響。由於氣候變遷所引發的危機，可能使政府疲於奔命無力處理，影響地區不穩及其它政治、社會乃至於國家軍事安全等問題，形成軍事上嚴重的危機。因此，已有許多先進國家認真嚴肅看待氣候變遷對國家軍事安全的影響，並研擬將氣候變遷議題正式納入國家安全政策，以謀求解決之道。

面對氣候變遷的威脅，我們必須以更審慎的態度，來思考有效因應作為與防範措施。此外，有鑒於異常氣候造成複合型災害的威脅已持續化、常態化，在建軍備戰上，除了傳統軍事安全議題，由氣候變遷衍生之非傳統安全議題逐漸受到重視。面對可能引起國家軍事安全的威脅，除平時必要的戰備與訓練之外，應持續提升氣候變異監測與預報能量及掌握極端天氣脈動，以洞悉大氣環

境變化；並針對過去數年發生重大天然災害，以及全球氣候異常的各項徵兆，先期預判對軍事安全可能造成影響，落實教育訓練、強化宣導作為、檢討現有緊急應變機制及執行方式，預先擬定相關因應作為，方能有效因應氣候變遷對國家軍事戰略與軍事安全的影響。

國家軍事安全的完備與否，攸關國家的總體安全，未來在氣候變遷的情境下，軍隊將擔負起更重要的任務，除因應天然災害防救與人道救援外，尚需隨時應付傳統與非傳統的衝突與挑釁。因此，唯有認清處境、強化戰備，才有能力因應。氣候變遷所帶來的軍事安全挑戰，不僅考驗國家的治理能力，更考驗國家平時的準備與發生災害時的應變作為；因此，在未來國防戰略與兵力部署規劃中，考量在氣候變遷下的相關安全議題已是不可或缺的一環，儘早將氣候突變的可能發生的危機納入國家應變措施，以提高應變作，確保人民福祉及維護國家軍事。

六、參考文獻

- 中央氣象局，2017，氣候監測報告，第97期。
- 中國氣象局，2018，人工消雨—能否助力北京奧運。
- 不願面對的真相，2016，New York Times lists book as #1 Paperback Nonfiction, 02-Jul-2006
- 林得恩，2008，《因應全球氣候變遷，對氣象因子影響我飛航安全維護應有的認識》，飛地安全，第475期，頁19-29。
- 林得恩、林裕豐與顧凱維，2018，〈軍事氣象與國防科技的實務結合運用〉，《第18屆國防科技學術研討會》，龍潭，桃園，頁537-540。
- 哈佛商業評論，2018，美國海軍：管理最前線。
- 張泉湧，2016，《圖解大氣科學》，臺北，五南出版社，371-373。
- 張軍等，2005，《軍事氣象學》，北京：氣象出版社。
- 國家災害防救科技中心，2018，災害事件簿統計。
- 潘大綱，2000，《數值天氣預報在軍事行動上的應用》，氣象預報與分析，第165期，頁30-35。
- 劉廣英，2013，《風起雲湧—氣象與作戰》，臺北：黎明文化。
- 關鍵評論，2018，10萬年來第一次 科學家警告「北極冰層恐消失」。
- 臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置，2017，《臺灣氣候變遷推估與資訊平台：第二期計畫》。臺北：國科會，頁33-35。
- Arctic Council，2009，《北極海運報告書》，北極理事會。
- Gwynne Dyer，林聰毅譯，2012，《氣候戰爭2.0》(Climate Wars, 2nd edition)，臺北：財信出版，頁22-23
- WMO，2017。《WMO 2016年全球氣候狀況聲明》。日內瓦：WMO
- Dennis C. Blair, "Annual Threat Assessment of the US Intelligence Community for the Senate Select Committee on Intelligence," (Washington, DC: Central Intelligence Agency, 2010), p. 40