

# 參與國際颱風實驗實地作業兼訪美軍氣象作業單位

葉文欽

(空軍氣象中心)

## 一、前言

經過五年的策劃和設計，國際間整合性之「颱風觀測實驗」之實地作業，已於去年(1990)8~9月份在西北太平洋颱風生成、活動之活躍區執行完畢。在科學目標一致的情況下，共有四個獨立的實驗分別同時相互配合展開，它們是(1)美國的T C M-90；(2)蘇聯的TYPHOON-90；(3)世界氣象組織颱風委員會的SPECTRUM-90；(4)我國的TATEX-90。

國際颱風實驗計畫的主要科學目標是(1)研究太平洋高壓和颱風環流的交互作用對颱風路徑之影響。(2)研究高層槽線和颱風環流的交互作用對颱風路

徑之影響。以及(3)研究如何決定颱風之駛流。

我國因政治的因素無法參加WMO之活動，但透過中美合作的方式參與，主要的理由是(1)颱風為台灣地區最重要的災變天氣。(2)台灣位於西北太平洋地區，氣候上是颱風轉向和不轉向的轉捩點，路徑預報困難重重。(3)颱風侵襲台灣時，因與地形作用，使得颱風路徑、強度、環流和對流均發生變化，風和雨之預報掌握困難。因此對國際間我們亦設計了Taiwan Area Typhoon Experiment的實地作業計畫，向國際氣象界打出了「TATEX-90」的品牌，我國以最少的代價獲得最佳的迴應和認可，其國際間的聲譽比民國76年(1987)的TAMEX有過之而無不及(Elsberry etc., 1990; 李, 1990)。

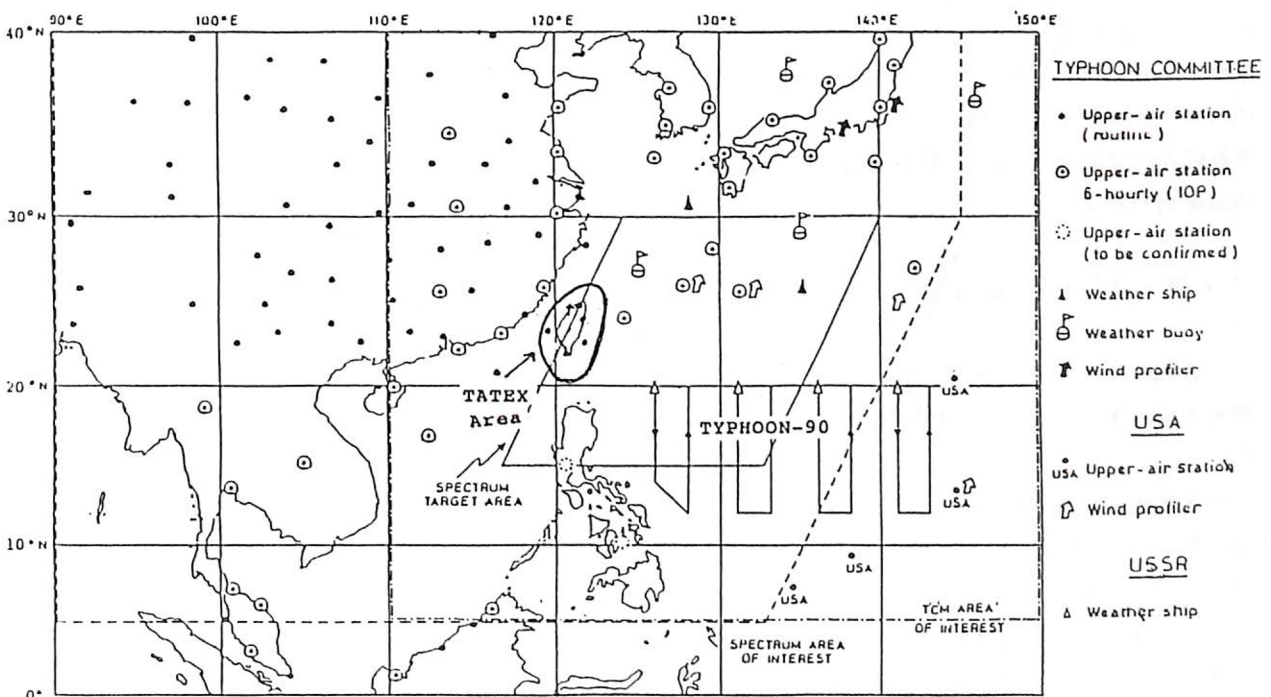


圖 1：國際颱風實驗實地作業之資料蒐集範圍及測站設施分布示意圖

實驗的研究興趣區位於台灣以東，其涵蓋範圍如圖一所示，其中SPECTRUM 所定出的目標區 (Target Area) 與我國颶風之是否來襲關係異常密切，就是我國不參與這次的計畫也等於國際氣象社團主動在為我們費心思的作實驗。我國氣象界之所以如此積極的推展這次的實驗，也基於以下的目的：(1)積極參與國際氣象研究合作，尋找重回國際氣象組織的機會。(2)研究瞭解造成颶風突然轉向的物理過程。(3)研究瞭解台灣地形對颶風路徑、強度、環流和對流的影響，以提高颶風伴隨風、雨的預報能力。

在我國就氣象作業單位而言，任何的預報沒有比「颶風」來的重要，其導致的破壞力最嚴重，使作業人員感受的壓力是沉重地！故在國科會的大力支持下，國內的學術與作業單位再度合作推展這一次的「颶風實驗計畫」，並基於以下三點理由：(1)積極參與科學討論和指揮作業，除可促進交流外，亦可提高國內颶風研究和作業之國際形象。(2)負責關島指揮中心和國內指揮中心之聯絡和即時氣象資訊傳遞工作。(3)吸收國際有關颶風研究和作業之資訊。行政院國科會 (NSC) 決定支助派遣人員赴關島，作者和中央氣象局的吳德榮和陳正改即參與國內這次實驗計畫「海外組」的工作。本文即為作者赴關島的見聞錄，反應了我國參與國際氣象活動所想達到的希望。

## 二、推動國際颶風實驗的原因

這個經過五年的策劃、設計和協調才得以展開實地作業的實驗，美國的全名為 Tropical Cyclone Motion，其作業指揮中心設在關島，世界氣象組織的全名為 Special Experiment Concerning Typhoon Recurvature and Unusual Motion，其作業指揮中心在日本東京。可以看的出來他們都強調「颶風運動」，也就是「路徑預報」。作者曾向美方 TCM-90 的主持人 Dr. Russell L. Elsberry

請教，導致這次實驗的真正激發機制為何？這是作者親自參與的收穫之一。

作為氣象事業的實作人員，如果曾參與颶風預報，常有一種說不出來的「無奈」，因為有時預報是近乎百分之百的正確，但人員傷亡的災變還是眼睜睜的看著發生；如果預報一而再的誤失，又如何去解釋呢？國際颶風實驗的真正起因於「一而再的誤失」，最後理由只能以颶風移行通過地區「資料不足」解釋之，因此才有這次「颶風實地實驗」，藉以蒐集大量可資分析研究的素材。

1983年8月上、中旬發生於西北太平洋的超級強烈颶風艾貝 (Super Typhoon Abby)，事後的最好路徑分析如圖二所示，是一條近乎標準之拋物線轉向路徑，但在實際作業所認知及發布之預報與已經轉向之持續路徑有很大的差異，而在 JTWC 決定其官方預報之前當然參考很多客觀、氣候及綜觀形式，這些指示均指出 ABBY 的預測路徑應該向 N W 方移。吾人取當年 8 月 12 日 1200 UTC

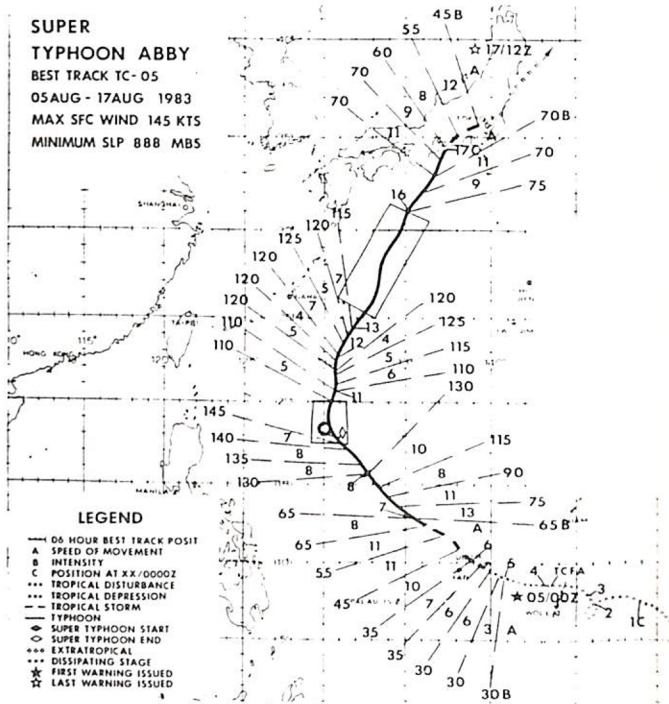


圖 2：1983 年 8 月 JTWC 確定發布之艾貝 (ABBY) 颶風之最佳路徑及其強度和速度圖

之天氣圖 (見圖三)，就綜觀形式而言，雖然 ABBY 已越過其轉向點直指高壓脊，其導引實在「應」再向西北方轉向才合理，因為氣候路徑或 NTCM 等模式運算均也指出這樣的結果，故使 JTWC 的正式預

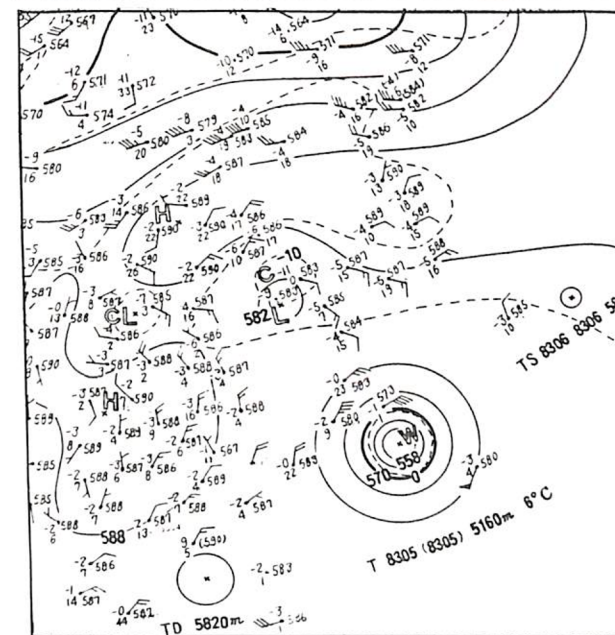
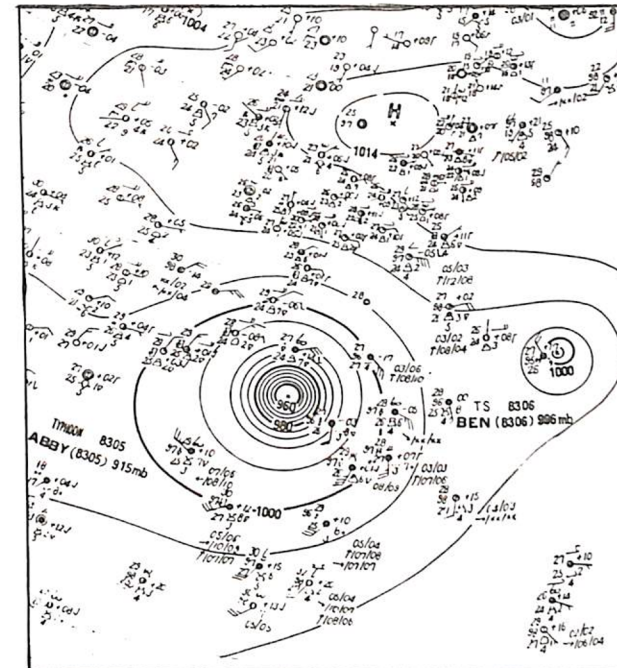


圖 3：1983 年 8 月 12 日 1200 UTC ABBY 颶風活動期間之 (A) 地面 (B) 500 m b 天氣圖。

報如圖四所示，在颶風已持續向 N N E 方移動時其預報仍然指向 N W 方向對著琉球、東海而來，而此實際路徑向左偏差了約 90 度。此時 ABBY 風速達 120 K T S，對部署了陸、海、空重要軍事設施之琉球而言，美軍是否應有必要之防患措施？而這種可能威脅的錯誤預報是持續了好幾天。由於美軍太平洋指揮部 (U.S. Pacific Command) 自 1958 起均針對前一年的颶風狀況有一次研討會 (早期本軍亦受邀參加)，所討論問題甚多，ABBY 的預報問題自然在討論之列，也由於氣象界對 ABBY 預報錯誤的不解，慢慢就形成了這次國際颶風實驗想要追尋解決路徑預報的源動力。事實上颶風 (颶風) 路徑之預報的確是重點而且困難重重，R.C. Sheets (1990) 在介紹美國颶風中心 (NH C) 之作業時，由他所舉出之實例如圖五所示，即可知決定正確路徑預報之困難。

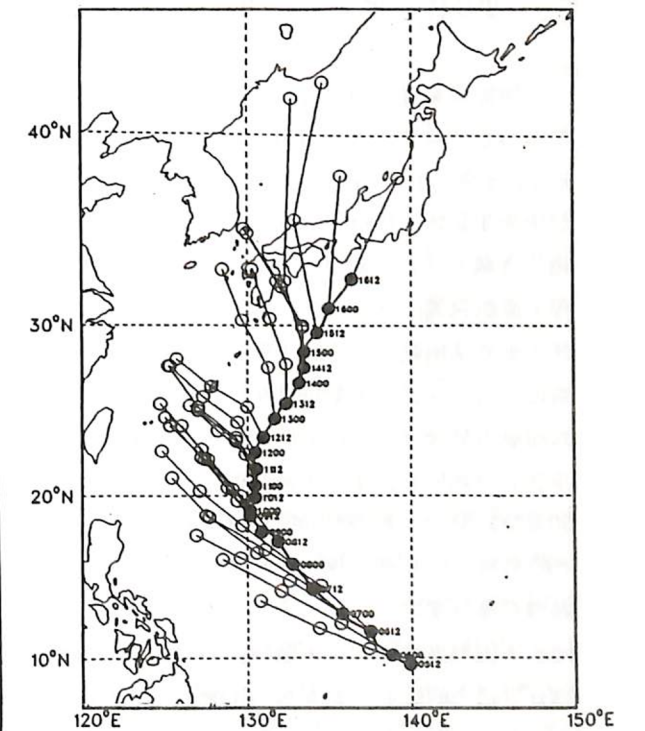


圖 4：1983 年 8 月 ABBY 颶風活動期間關島 JTWC 每 12 小時所發布之 24、48 及 72 小時之官方正式預報及其實際路徑之比較圖。

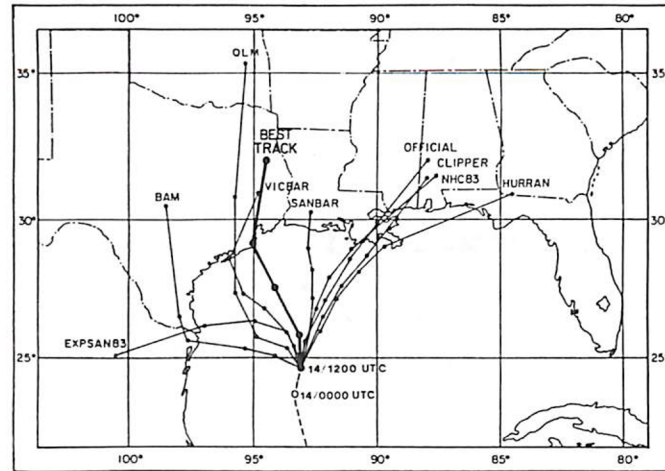


圖 5：1989年10月14日1200 UTC 美洲加勒比海 JERRY 颶風之各種預測方法、官方發布預測路徑及事後真正路徑 (Best Track) 之比較圖。

### 三、TCM-90 之實地作業狀況

國際颶風實驗由美方主導之 TCM-90 之作業指揮中心 (OCC) 設在關島 (GUAM)，關島約位於 13.5°N, 145.3°E，是西北太平洋密克羅尼西亞中馬里亞納 (Marianas) 群島內最大且最南端的島嶼，其大小約與台北縣相等，距本省約 1500 哩，直航只需三個多小時。關島是 1521 年為西班牙人麥哲倫所發現，1898 年美西戰爭後成為美國屬地，第二次世界大戰期間曾被日本佔領二年餘。其地層由珊瑚礁和火山岩所組成，全世界最深的馬里亞納海溝位於其東方，島西的 Apra 港是夏威夷和東亞之間最大最安全的深水港，是數艘美國補給艦的母港，波斯灣危機在 8 月 2 日爆發，這些補給艦也奉命陸續開往該區。在島北方之安德森空軍基地是美國海外重要的戰略轟炸機的基地，越戰期間擔負了很大的任務。而關島的尼米茲山 (Nimitz Hill) 頂是美海軍馬里亞納軍區司令部之所在地，TCM-90 的 OCC 即也設在該軍區總部內之美國海洋指揮中心和聯合颶風警報中心 (NAVOCEAN COM CEN / JTWC) 的辦公室內。該兩中心之設

立與第二次世界大戰有關，是美國海軍之海爾塞 (Admiral William F. Halsey) 的特遣艦隊在 1944 年 12 月遭遇颶風嚴重受損後所成立之氣象勤務支援單位。故這次的熱帶氣旋運動 (Tropical Cyclone Motion) 實驗由美國海軍所主導，參加現場作業人員在美國方面，除海、空軍作業單位的協助外，主要為海軍研究院、佛羅里達大學、賓夕法尼亞大學、科羅拉多大學、夏威夷大學等為主，國外參與者有澳大利亞、德國和我國。除了重要負責人如 Dr. Russell L. Elsberry、Dr. Greg Holland 外，其餘均分批介入，我國則有三人參加。

我國參與 TCM-90 之實地作業除負責與台北 TATEX-90 作業指揮中心之聯絡事宜外，主要亦參與其作指中心每天二次之討論會，以決定何時展開密集觀測 (IOP)。使用資料即以 JTWC 作業所提供之圖表為主，包括：00 及 12 UTC 之地面天氣圖，Gradient level 及 200 mb 之氣流分析圖，來自加州 Monterey 的艦隊數值海洋中心 (FNOC) 由 NOGAPS 模式之分析及預測圖，另有 NMC 的 Deep layer Mean 風場環流圖，當地接收之衛星雲圖有 DMSP、NOAA 及 GMS 之 VIS、IR 及加強雲圖，及由 JTWC 之自動熱帶氣旋預報 (ATCF) 系統所處理的各種預測路徑及過去之最佳路徑。討論會由 Dr. Elsberry 主持，天氣講解通常由 Dr. Holland 負責，所有參與實驗之科學家及 JTWC 的主任、副主任或颶風值班氣象官 (Typhoon Duty Officer: TDO) 均可對討論之綜觀環境變化及最可能颶風未來發展及路徑表示意見，主持人會詢問大家對未來颶風之移向、強度及位置並作記錄，必要時同時討論決定執行 IOP 之時間，一般 IOP 儘量與 SPECTRUM 相配合，我們即將 IOP 之訊息傳回台北 TATEX-90 之作業指揮中心。

TCM-90 分兩階段執行，Phase I 自 8 月 1 日~8 月 23 日，Phase II 為 9 月 1 日~9 月 25 日 (有 NASA 研究飛機 DC-8 參與)，在這兩個月總共有 10 次颶風生成，移行於研究興趣區，其中有

6 個颶風執行了七次 IOP (葉, 1991)，其名稱、時程如下：

表一 TCM-90 執行 IOP 之時間及其特徵

IOP	颶風	起迄時間	特徵說明	備註
1	溫諾娜 (WINONA)	8月8日12UTC 8月10日00UTC	①由 Tasha 颶風減弱之殘存雲塊出海發展而成； ②與東方太平洋高壓脊交互作用。	
2	楊希 (YANCY)	8月15日12UTC 8月17日12UTC	①與副熱帶高壓脊之交交互作用； ②外圍風場結構與地形交互作用； ③早期運動之中尺度環流現象。	TATEX IOP # 1
3	柔拉—楊希 (ZOLY — YANCY)	8月18日00UTC 8月20日00UTC	①與東方太平洋高壓脊交互作用； ② TUTT 之影響； ③早期運動之中尺度環流現象。	
4	黛特 (DOT)	9月5日12UTC 9月8日00UTC	①與副熱帶高壓脊之交交互作用； ②早期運動之中尺度環流現象； ③與地形交互作用。	TATEX IOP # 3
5	艾德 (ED)	9月13日00UTC 9月14日12UTC	①與季風槽之交交互作用； ②與北方高壓脊之交交互作用。	
6	芙蘿—艾德 (FLO-ED)	9月15日00UTC 9月16日12UTC	①與北方高壓脊之交交互作用； ②早期運動之中尺度環流現象。	
7	芙蘿—艾德 (FLO-ED)	9月17日00UTC 9月19日00UTC	①轉向期間與中緯度西方槽之交交互作用； ②與 TUTT 之交交互作用； ③ FLO 有飛機觀測。	

註：TATEX IOP # 2 為亞伯 (ABE)

在這 10 個颶風中，8 月下旬同時生成之 ABE-BECKY 颶風分別由本省南、北方海域通過，很可惜因 TCM-90 正好結束 Phase I 並未執行 IOP，國內則對 ABE 颶風通過本省東北方海域時執行了國內 TATEX-90 之 IOP # 2。在關島之 OCC 除了開會討論每天綜觀天氣大勢，以決定是否執行 IOP 外，主持人另安排與颶風有關之專題或執行 IOP 颶風之檢討報告，大家的討論也很熱烈。

作者參與 Phase II，除完成三次 IOP 的連

絡工作之外，最意外的收穫是 9 月 17 日參加 DC-8 飛行超級強烈颶風 (145 KTS/G175 KTS) FLO 的「眼之旅」(葉, 1991)，圖六為其全程路徑及每隔 10 分鐘之風向風速分布，圖七則為飛入颶風眼中所攝得近海面之雲層狀況，投落送所測得之最低氣壓為 891 mb，與 JTWC 以雲圖判定之颶風強度相當接近。這次國際颶風實驗之實地作業得以順利完成，NOCC / JTWC 之大力支援是相當重要的因素之一。

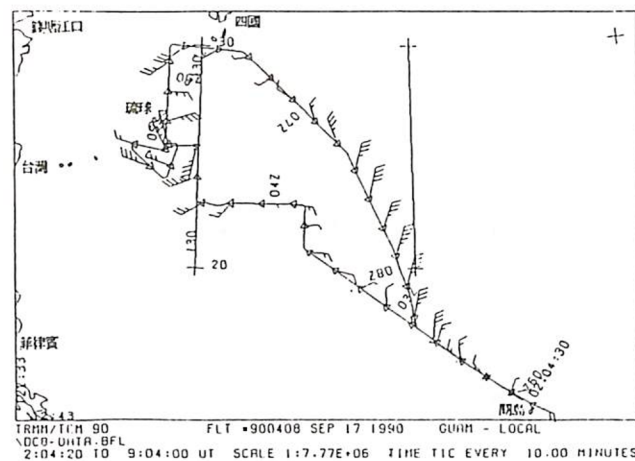


圖 6：1990年9月17日DC-8研究飛機偵測超級強烈颱風FLO之全程路徑及每隔10分鐘之風向風速分布圖。



圖 7：NASA DC-8 第二次飛入 FLO 中心所攝得颱風眼底層近海面之雲層狀況。

#### 四、參訪關島美軍氣象作業單位

關島的美軍聯合颱風警報中心 (JOINT TYPHOON WARNING CENTER) 在國內的知名度相當高，實際在關島的美軍氣象單位主要有五個，其中有三個工作在一起，過去國內軍中亦曾有過參訪見學。此次利用參與TCM-90的機會，進行瞭解將所知者簡述如下供大家參考：

#### (一)海軍海洋指揮中心 (NOCC)

根據指揮官 (Commanding Officer) 之簡介，美國海軍負責氣象和海象的作業督導單位稱為海軍海洋司令部 (NAVAL OCEANOGRAPHY COMMAND)，總部設在密西比州的聖路易灣市，其主要的作業單位有位於加州蒙特利的艦隊數值海洋中心 (FLEET NUMERICAL OCEANOGRAPHY CENTER)，負責其全海軍氣 (海) 象作業單位的數值預報產品，它和位於華盛頓特區的國家氣象中心 (NATIONAL METEOROLOGICAL CENTER) 及內布拉斯加州歐福特空軍基地的空軍全球氣象中心 (AIR FORCE GLOBAL WEATHER CENTRAL) 並稱為美國三大數值預報中心並相互支援。同時他有三個主要的海軍海洋指揮中心 (Naval Oceanography Command Center: NOCC) 分別位於維吉尼亞州的諾福克海軍基地 (負責大西洋至地中海)，夏威夷的珍珠港 (負責國際換日線以東的太平洋)，及關島的NOCC負責國際換日線以西的太平洋和印度洋含波斯灣，所管轄的海域佔全球的 $\frac{1}{3}$ 。在重要的海軍基地 (含空港) 及航艦上則另有分隊 (DETACHMENT) 實際支援戰演訓。在關島的NOCC與JTWC是合併的，工作也在一起，NOCC所接收到FNOC的數值預報產品 (NOGAPS 模式) 提供JTWC使用，JTWC所決定之颱風路徑及強度預報則交由NOCC進一步作天氣及海象的預報。

主要因二次大戰期間海爾賽的特遣艦隊在一九四四年十二月份遭遇颱風嚴重受損，因而在隔年 (一九四五) 元月份成立艦隊氣象中心 (FLEET WEATHER CENTRAL: FWC)，以提供海軍艦隊的氣 (海) 象勤務支援任務。而FWC也在一九七九年改稱為海軍海洋指揮中心 (NOCC)，所以這個氣象單位實際稱為NOCC / JTWC，其指揮官由海軍上校擔任。

根據現場所見及NOCC呈報給NOC司令有關關島中心必須負責之責任區 (AOR) 的預報以及其簡介得知，NOCC的資料來源除了他們仍有部份自行填繪外，絕大部份透過各種通訊網路如NEDN, NESH, AWH...等，由加州MONTEREY的FLENUMOCEANCEN獲得各種傳真的天氣圖 (含預報)、衛星雲圖以及全球的電碼資料等，另外由NMC, AFGWC及日本氣象廳亦均可獲得傳真圖。由於其預報區域很廣，在關島中心的預報成果再傳送給下游的使用單位。其預報範圍由海裡、海面至大氣層，其責任區內的主要系統為熱帶氣旋、溫帶氣旋、移動性高壓、寒潮...等，然後做出各種天氣和波浪及一些特殊預報，這和國內中央氣象局和空軍氣象中心的作業相類似。

#### (二)聯合颱風警報中心 (JTWC)

二次大戰因HALSEY艦隊的嚴重受損，美軍除設立艦隊氣象中心亦立即在關島成立颱風追蹤中心 (TYPHOON TRACKING CENTER: TTC)，並且也有空中航線天氣偵察。而人類第一次飛進颶風是在一九四三年七月德州附近海域始，空軍在一九四六年九月成立了54氣象偵察中隊，首次穿颶風眼是一九四七年。一九五八年起西太平洋區美軍開始每年開一次熱帶氣旋研討會，並將報告出版，同時也為颶風命名。一九五九年五月一日應太平洋區美軍總部之要求，正式將海空軍有關颶風之單位在關島成立了JOINT TYPHOON WARNING CENTER，但在日本的府中空軍氣象中心亦同時有備用單位 (AJTWC) 直到一九七四為止。同時開始每年出版颶風年報 (ATR, 一九八〇年改稱為熱帶氣旋年報: ATCR)。一九六〇年TIROS衛星發射後，颶風眼粗略有定位，但強度仍無法估計。一九六二年起其預報時限已延至72小時，且在一九六三年首次使用「SUPER TYPHOON」的名稱。一九七〇年起增加了熱帶氣旋生成警告電碼，海軍在

太平洋區於一九七一年停止飛機偵察天氣 (大西洋為一九七四年)，同年第一氣象聯隊第一分隊加入一起工作，專門負責衛星雲圖之分析，同時孟加拉灣的氣旋也歸JTWC負責。一九七二年颶風的最大風速出現了最大陣風的編報，一九七三年建立DMSP的衛星雲圖網歸一分隊負責，同年DVORAK強度分析納入作業。一九七五年阿拉伯海的氣旋亦納入作業責任區，而顯著熱帶天氣諮詢報告亦在該年逐日納入廣播。至一九七六年東、西經一八〇度以西的北太平洋至東非以東的印度洋地區的洋面所產生的熱帶氣旋全部納入該中心 (含NOCC) 的責任區。一九七七年原DMSP設備經改裝亦可接收NOAA衛星。一九七九年有電腦客觀自動作業之建議，因為這兩年與加州MONTEREY的FNOC的各種先進的通訊網路均已建立完成。從一九八〇年起印度洋的衛星雲圖透過AFGWC已能獲得，同年接收日本GMS衛星雲圖開始作業。一九八一年九月西南太平洋和南印度洋的熱帶氣旋也全納入責任區，使JTWC每年負責70%的全球熱帶氣旋，責任非常之重。到了一九八七年六月衛星的循環影像系統建立，同年54氣象偵察中隊在八月十四日完成最後一次任務後裁撤，同時空軍亦增加人員至JTWC以加強各種技術之發展。而近年來最大的改進則是作業自動化的電腦連線之完成，這套系統一九八六年發展而在一九八八年二月份安置在JTWC正式納入作業，是由美國海軍海洋和大氣研究實驗室所發展完成的。

美軍太平洋區總部有見於海空軍所各別提報之颱風位置強度和預報可能各有差別，為了力求統一也節省開支，才下令合併成立聯合颱風警報中心 (JTWC)，海空軍各出一半人員，並設立在颶風易於生成的源地區「關島」，並由海軍艦隊氣象中心 (FWO後改為NOCC) 支援各種作業圖表。早期國內沒有衛星裝備，對颶風的訂位及強度變化，相當依賴參考美軍所發布的資料和飛機偵察報告，可以說JTWC是對我國相當重要

的一個國外氣象機構，近十幾廿年來，國內氣象單位已有大幅的進步，同樣的JTWC的作業方式亦有大幅度的改變。此次國際颶風實驗的作業指揮中心設在這裡，JTWC提供了所有的後勤支援，作者也因為有此機會參與，才得以去瞭解這個國內氣象界極為重視的美軍氣象機構。從前面的介紹中對其發展已有所識，現介紹所蒐集及親自請益所得於後。

JTWC共有成員十六位，主任為空軍中校，副主任為海軍少校，另有一位少校技術發展官，七位颶風值班氣象官(TDO)，六位颶風值班助理士(TDA)，每次值班為TDO及TDA各乙員，如果同時有很多颶風存在時則另有加班TDO才有辦法處理。氣象助理士的工作主要是填地面和200MB由西太平洋至印度洋及亞洲、澳洲的天氣資料供氣象官分析，每天00及12Z各乙次，由於在高空有大量的飛機報告，使得200mb在30°N~30°S可以分析氣流圖，這也決定熱帶擾動是否可以發展之主要依據。此外就是氣象官所發布的熱帶氣旋報告電碼及接收傳真天氣圖之處理等。TDO除了分析那兩張天氣圖之氣流圖外，就是處理熱帶氣旋(颶風)。由於JTWC管轄的涵蓋面甚廣，每年處理的熱帶氣旋佔了全球70%(大西洋和東太平洋的颶風除外)，主要重點在西北太平洋的颶風，故該中心與我國氣象界關係非常密切。除了最重要的TROPICAL CYCLONE/TROPICAL DEPRESSION WARNINGS，每天在06Z以電碼格式發布SIGNIFICANT TROPICAL WEATHER ADVISORIES一次，此外針對西北太平洋的颶風必須在路徑預報的WARNING上附加PROGNOSTIC REASONING MESSAGES。

這幾年JTWC的颶風作業有相當重大的改變：

1. 不再有飛機偵察：從一九四五~一九七一在關島的海、空軍同時有飛機偵察，從一九七一~一九八七是由空軍的第五十四氣象偵察中隊在執行，每次定位的花費高達八萬美元，每年花

在飛行偵察則達二千萬美元，而這些年來由於衛星資料的廣泛運用，美軍也利用一九八七年六月十五日~八月十五日二個月八個個案，分成兩組測試的結果，其預報的準確度幾乎相同，加上經費的問題，美軍在十月一日正式結束WC-130在安德森基地的飛行任務。今年TCM-90實驗，以衛星定位之超級強烈的FLO颶風，經飛機偵測中心氣壓出現891MB，證明沒有飛機偵測對颶風作業沒有什麼影響，因為其強度的估計相當一致。

2. 自動熱帶氣旋預報系統的啓用：這套一九八八年二月份才正式啓用稱為Automated Tropical Cyclone Forecasting(ATCF)系統是由原海軍環境預報研究小組的TED L. TSUI同R.J. MILLER和A.J. SCHRADER所發展的，透過人機交換的專家系統以網路和加州的FNOC電腦連線，如此TDO每次處理一次颶風的作業只要花費十五分鐘，在這以前完成一次典型作業要九十分鐘。有關這套系統在JTWC的工作站的設計如圖八，其作業程序如圖九所示。這套系統完成後，TDO有更多的時間用在研究各種圖表以做好預報。當然在一九八八年由以前類似我們目前作業方式一下子全改為用MOUSE, TRACKBALL在終端機上決定一切，剛開始這一年是有些困難的，不過現在已經處理的很順暢了，在JTWC內共有兩套這樣的工作站，同時有多個颶風出現時才有辦法加班處理。

當然系統實質的內容不是一下子可以弄清楚，但其作業相當簡易，可參考T.L. Tsui等(1990)之報告。由空軍一分隊衛星分析員提供的颶風定位及強度，值班氣象官以連線輸入各項資料經十五分鐘的運算後，即可在TDO的終端機上獲得各種模式24、48、72小時的位置、強度預報並選出相似的類型來，當所有路徑顯示出來後，TDO必須以其知識經驗由現在各種天氣圖綜合出預報結果，當他在終端機顯示出代表JTWC的官方預報定位結果時

### Forecasting Procedure Automation

-- Automated Tropical Cyclone Forecasting (ATCF) System  
A Computer Aided Forecasting Tool

- Features:
- Z-248 (IBM/AT)
  - Automated Data Archives and Management System
  - Interactive Graphics
  - In-House Software Development

- Major Functions
- Storm Location / Decision Aids / Forecasting
  - Field Analysis
  - Message Construction
  - Error Statistics Compilation

-- Expert System

圖 9：JTWC 颶風預報作業自動化程序步驟示意圖

和GMS三種)，則由第一氣象分隊提供。

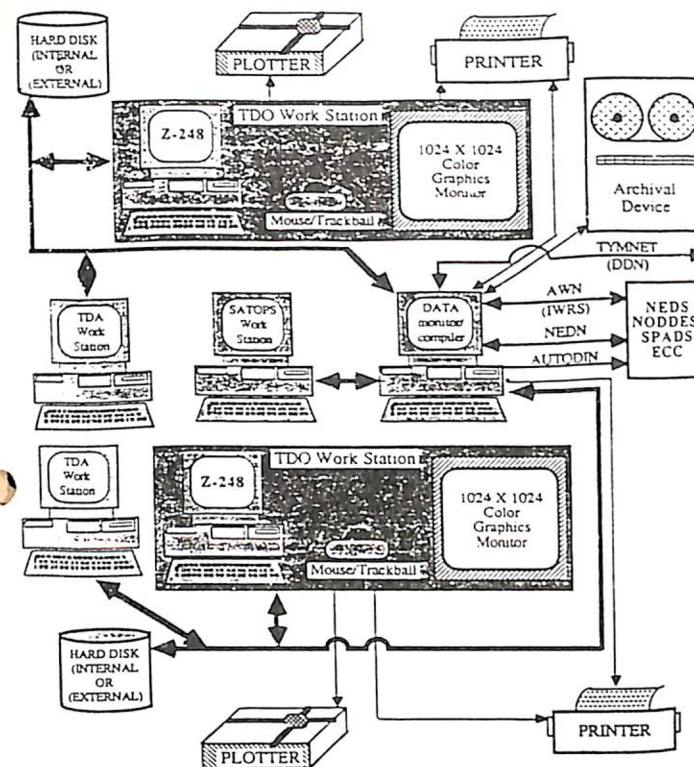
有關印度洋地區之颶風資料，其中心初定位來自AFGWC對該區的軌道衛星合成圖之傳真及定位，再透過ATCF系統完成預報，好在整個印度洋區域熱帶氣旋不太多，以這次參與實驗期間為例，直到作者前去參觀其作業，才勉強出現一次不太成形之Cyclone之報告。

JTWC所使用的預報模式分四大類：

- (1)氣候持續法：有CLIM, XTRP, HPAC等。
- (2)類型法：有TYAN, TOTL, RECR等。
- (3)統計法：有COSM, CLIP, CSUM等。
- (4)動力法：有OTCM, NRPS等。

當然還有其他路徑方法共有卅多種，不過

JTWC AUTOMATION PROPOSAL  
ULTIMATE PHYSICAL SYSTEM DESIGN



THICK LINES INDICATE FILE SERVER NETWORK BETWEEN COMPUTERS

圖 8：JTWC 在 1988 年正式啓用之 ATCF 系統，供 TDO 及 TDA 作業之工作站電腦裝備及網路連線圖。

，終端機上的預測方向和速度立即顯現，強度則由他所分析的天氣圖、衛星雲圖、FNOC利用NOGAPS運算出來的結果……，綜合決定未來的強度預報，再完成編碼及說明，則TDO的一次颶風警報作業就完成了。那些結果也存檔，等最佳路徑及實際強度一出來，逐次預報誤差也分析出來了。

JTWC所使用的圖除了自填的SFC和200MB天氣是自己分析外，主要參考FNOC的SFC、850、700、500、200分析和24、48及72小時預測圖，另外就是NMC的由850~200MB之合成深厚層平均環流(風場圖)，當然相當重要的是雲圖(包括DMSP NOAA

每次TDO會選六至八種預測路徑參考如圖十所示，再綜合之即為JTWC對外公布的路徑。傳統的手繪只有衛星、雷達的觀測尚被使用，若真遇到通訊線路故障，無法與FNOC連線，就好像氣象局或空軍氣象中心目前的作法，不過他們說機會極少。JTWC只要把電碼發出去就完成任務，進一步的衍生預報是NOCC及各使用單位的責任。

JTWC除了發布颶風之外，他另有一組人負責每年出版一本「ANNUAL TROPICAL CYCLONE REPORT: ATCR」，本書從一九五九年起發行迄今，所使用的雲圖一定是DMSP或NOAA，從不使用GMS的雲圖，一九八九年曾使用中央氣象局一張SARAH颶風花蓮雷達的照片及花蓮港LUNG HAO輪斷裂為二的照片，該書每年會贈送我國氣象作業及學術單位。

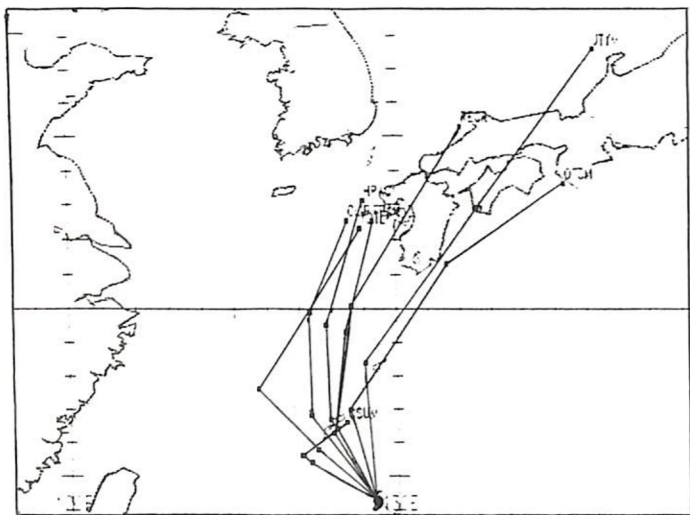


圖10：JTWC值班氣象官(TDO)以FLO為例經連線處理所獲得之各種預報模式之颶風路徑示意圖實例。

#### (三)空軍第一氣象聯隊第一氣象分隊(DET 1. FIRST WEATHER WING)

第一氣象分隊共有成員十一位，分隊長一直是由JTWC的主任兼任，他有技術發展軍官，分

析人員完全由氣象士擔任，他們都是常備士官，而且亦有人是在民間大學獲學位者，其分析技術是以在職訓練的方式獲得，故經驗非常重要，所分析方法就是使用DVORAK（一九八四）修定的方法，據稱在技術轉移期間，DVORAK就曾親自至關島來指導。自從飛機偵察停止後，衛星定位成為幾乎是颶風位於海洋上唯一最主要的來源，整個一分隊的任務就是為JTWC準備雲圖之分析資料。

美軍一直以接收DMSP為主，目前是42及43號，其次是NOAA-10及11號，DMSP有非常高的解析度只有0.5公里。在西太平洋除了關島外，尚有韓國OSAN，琉球的KADENA，菲律賓的CLARK，夏威夷的HICKAM，印度洋上的DIAGO GARCIA島有能力接收。美國的AFGWC則可以其數據資料製作MOSAIC的雲圖同時也定位印度洋區熱帶氣旋的中心位置，再透過網路傳給關島使用。

第一分隊只負責分析雲圖，接收不是他的責任（屬通信單位）。一分隊的衛星自動化也都是在一九八八年才陸續完成的，透過網路所顯示之各種雲圖供NOCC，JTWC和一分隊全體氣象人員使用。整體說來一分隊的任務就是支援JTWC，所以他的人員和JTWC是相通使用的，有共同的主官相同的任務。

#### (四)空軍第一氣象聯隊第二氣象分隊(DET 2. FIRST WEATHER WING)

除了以上在馬里亞納軍區總部內三個在一起合作的氣象單位外（工作性質合起來正如我國空軍氣象中心），在關島海軍航空站有一個分隊，在安德森空軍基地有第一氣象聯隊的第二氣象分隊，他們的任務同我們在機場的「天氣中心」相似，我原本很希望有空可以去參觀，實在無法成行，不過利用九月十七日參加DC-8任務時，得以在安德森基地的天氣室集合，以專業的眼光視之略將所見陳述如下：

第二氣象分隊有氣象雷達，美軍表示海外基地的氣象雷達一向比本土新，將來的理想是換裝NEXRAD都卜勒雷達。天氣室的安排相當簡單，與過去受訓及在美軍氣象單位所見有所不同，該分隊在正面的展示除了本場24小時預報(TAF電碼)和起飛資料(最新飛行天氣報告)外，只公布四張來自AFGWC的傳真有關航線的危險天氣圖。天氣室有兩台終端機，推想一個可以顯示本場的最新觀測天氣，另一個可以獲得航行之目的地及航線上天氣的各種電碼，另外尚配有印表機，可以在簡報之後將資料交給飛行員帶走參考。由以上之考量可以看的出來，美國空軍已經在為往後的基地氣象自動化作準備，美國空軍氣象勤務部(AWS)希望從一九九〇年起至一九九五年能建造一八七組自動氣象傳輸系統(AUTOMATED WEATHER DISTRIBUTION SYSTEM: AWDS)，全面換裝一一〇個本土，四十三個歐洲，十四個太平洋區的空軍基地，另準備二十個機動站，以備戰地或緊急狀況使用，這些氣象站都將與位於歐福特基地的空軍全球氣象中心(AIR FORCE GLOBAL WEATHER CENTRAL)聯線由監控器上獲得資料包括天氣圖、雷達或衛星畫面，這就是美國空軍正在推行的「氣象精進案」，在他們的氣象勤務部(AWS)被列為最高優先。去年聯隊長劉將軍赴美訪問，第一套之AWDS已安裝在Chanute AFB之氣象訓練班供教學之用。

在第二氣象分隊天氣室有一間OBSERVING ROOM，內有來自守視室的自動觀測系統顯示器，推想氣象雷達的顯示器也應在裡面。在天氣室的走道上另有兩塊牌子印象很深，一個是歷年來侵襲關島颶風的時間、名稱及本場出現最大風速等資料，他們設計的很好，除了有歷史資料，還有空間供往後侵襲的颶風使用。另一塊是本場逐月的各種氣候資料，及本年出現的一些平均值和極端值，比如說我那天到那裡是九月十七日，其當月資料已公布至八月份，氣候資料則逐月均已上面。他們數據的顯示是活動的，所以改起來

很方便。安德森基地在有氣象偵察中隊時期，曾有第三氣象分隊配合從事氣象觀測，隨54中隊的裁撤，第三氣象分隊不知移往何處或亦裁撤。

以上所見除了可以瞭解美軍現行氣象作業，也簡介了它往後的發展，可做為我們基地天氣室及國軍氣象部隊作業發展之參考。

## 五、結語與建議

真正從艾貝(ABBY; 1983)錯誤路徑的預報所引發，經策劃、協調、設計到執行這次國際氣象界所屬目的「颶風實驗計畫」長達七年，實際作業僅二個月完成7次的IOP，作者雖參加的時程只有20天，但所見所聞不管對實驗本身或對美軍氣象單位的瞭解，其獲益良多，今將見聞與建議分述如下：

(一)我國積極參與國際科學實驗本身就值得肯定鼓勵，何況此次的研究區域與我國經建民生……等關係重大，等於國際為我國在關鍵區域專門做颶風研究實驗。我國除了全力參與之外，更針對侵台颶風有一密集觀測實驗相配合，亦派人參與其作業指揮中心的活動，美方非常重視，在其各種文件及受訪均對我國有高度評價，認為國際一九九〇年八~九月的颶風實驗共有四項子計畫同時進行，TATEX-90是其中之一，對我國國際科學地位之提升助益良多。

(二)一九九〇年八~九月TCM-90執行期間共有十次颶風生成於研究區域內活動，其中WINONA、YANCY、ZOLA、DOT、ED和FLO共執行七次IOP，其餘ABE、BECKY、CECIL和GENE沒有執行IOP，我國的TATEX-90則對YANCY、ABE和DOT執行三次IOP。所有路徑顯示各種預期之路徑均出現在研究區域，資料蒐集研究後將有助於對颶風之瞭解，進而改進颶風路徑及風雨分布之預報。

(三)在TCM-90執行期間，NOCC/JTWC對作業人員提供最大協助，該中心有關人員也借此機會參與開會討論。所有與會的人均加入作颶風路徑、

強度之預報，在共識中對 I O P 之決定與時間之選定幫助甚多。除了每天例行簡報之外，並安排多次專題作業檢討及未來研究取向之討論，相當有積極意義，值得國內參考。

(四)美軍作業和行政單位有明顯的畫分，進入作業單位的外人均必須有專人帶往，全程相陪解說。三個單位作業相互支援，但權責非常分明。由於這幾年美軍颱風的作業有重大的改進，雖然表面上他們的硬體好像不如我們，但其軟體的開發，通訊網路之增強，中心作業化的執行，不必重複做同樣的工作，使作業人員更能專心於預報的考量，值得我們學習的地方仍多。國內氣象作業單位可以考慮將關島美軍作業單位納為參訪見學之對象。

(五)在這次的參訪以「聯合颱風警報中心」作業為重點，美軍將海、空軍對颱風之定位與預報結果能綜合統一，這對使用者比較方便，決策者在下達命令也好有依據，否則指揮官手中好幾份不同的定位、強度和路徑預報，他到底聽誰的？預報本來就很難百分之百，但差異過多的預報是會擾亂使用者的判斷，國內是可以考慮往共同裁決這條路，尤其面對處理同一件事務，共識之後的下游需求可能各有不同，各單位視其特性為之。以關島為例，JTWC 的預報發出之後，在同一辦公室的 NOCC 可能會對某一航艦就其附近海域做預報，空軍第二氣象分隊就其機場的氣象要素做預報，因為他們收到是同一個路徑預報，如果同時有不同路徑進來，則在考慮可能混亂。

(六)JTWC 的作業已自動化，但其人工仍有部份保存，如必須分析地面和高層天氣圖，部份颱風眼資料仍需做手繪之工作，這是對的，以免電腦當機或通訊出狀況，因為太依賴電腦不會做了。據我所見他們對於資料的蒐集非常重視，各種颱風預報方法及地區颱風侵襲出現之現象均分門別類，如台灣區在第38卷，共蒐集了 BRAND、吳宗堯、曲克恭和王時鼎四篇文章，有的雖是影印，至少顯示他們非常重視，而這些資料就放在值班室，隨時可查閱。國內研究颱風的學者專家，如果

有大作完成可以把 JTWC 列為贈送的對象。而 JTWC 每年出版的年報 (ATCR) 亦是他們例行很重要的成果報告，是對西北太平洋地區颱風研究者最重要的基本資料。而對颱風之生成預報，他們也設計了檢查表，分門別類，T.D.O. 對每一可能之熱帶擾動系統，必須對所有天氣(雲)圖做一查驗，這部份即相當需要人工做法也非常基本。

(七)參加 TCM-90 的第三週，正週第一氣象聯隊到第一氣象分隊年度視察，整整一星期的業務視導，一一核對看的非常詳細，他們都說是到基層解決實際問題的。由於 JTWC 主任兼分隊長，所以他特別邀請視察官、一分隊同仁、JTWC 的空軍氣象官、士(含眷屬)也請作者再度到他家彼此社交一翻，得與和來自聯隊部的氣象視察人員有進一步的交談。美國空軍的氣象官以民間大學為主要來源，服務二~五年間再度到研究所進修者比例甚高，預報士官到大學進修者也大有人在。軍官在實務方面，從少尉到上尉是主要的歷練，升到校級軍官已走上參謀、研發或指揮職為主，與國內氣象專長之趨向一致。因此我們的尉官應把握從事實務的機會，用心歷練不同的職務，紮下氣象作業的厚實基礎。進入校官時期更應隨時精進本職學能，以更寬廣的識能，培養獨立研究的能力，充份考量做好參謀判斷使指揮官信服採納，更能以專業的知識指導後進，以使氣象部隊保持日新又新。

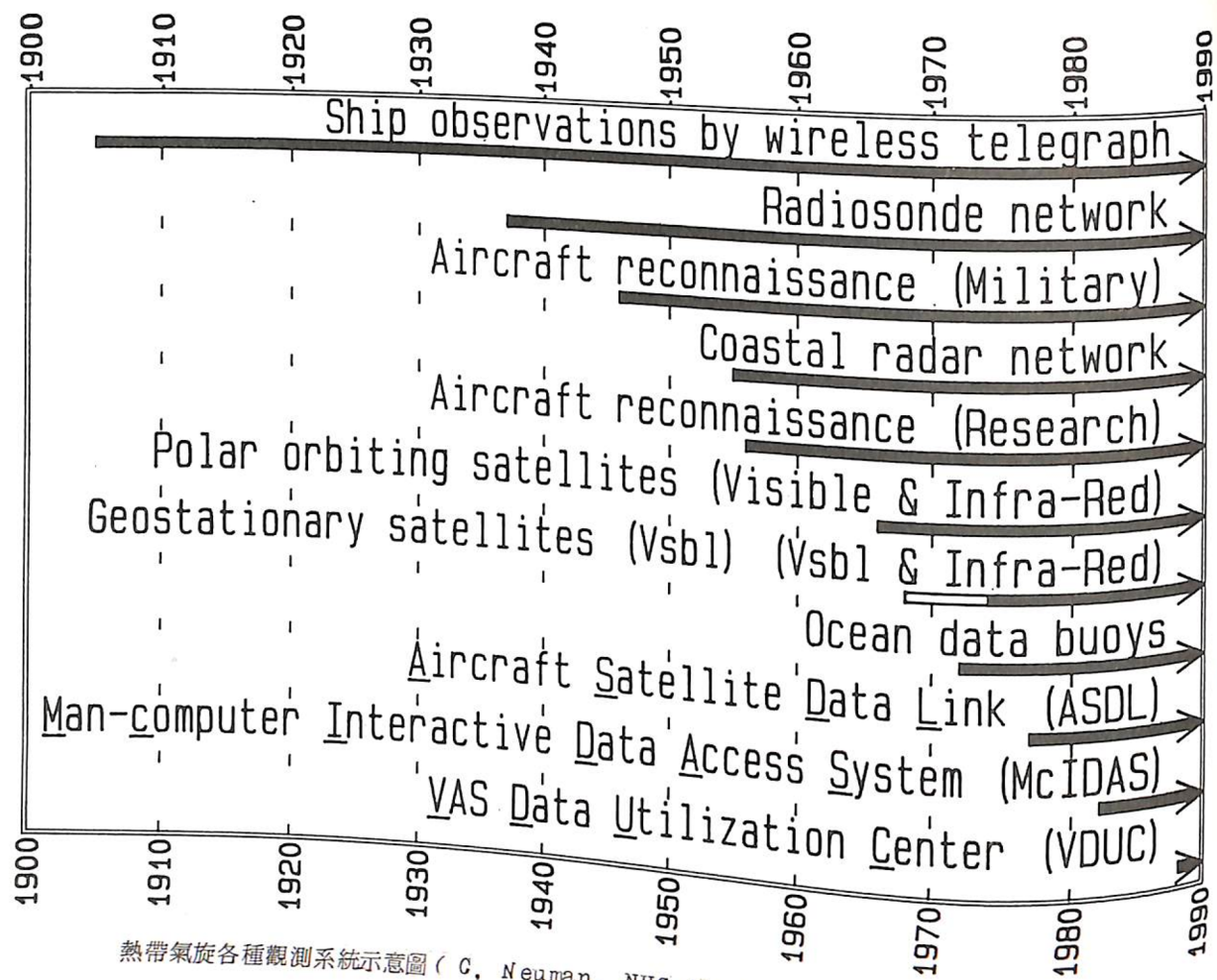
(八)太平洋美軍早在一九五八年起，每年即輪流在夏威夷、日本、菲律賓……等地舉行熱帶氣旋研討會(本軍曾受邀出席)並出版一冊論文集編( PROCEEDING REPORT OF TROPICAL CYCLONE CONFERENCE )迄今，這次會議後的第二年(一九五九年五月一日)而有 JTWC 之成立。論文中有很多實作、新技術引進及未來將執行之新作業方式之介紹……等等，作者即參考其內容與其現行作業相對照，有助於我對他們作業方式的瞭解。這種研討會我覺得國內值得做，國科會推動的大型防災計畫，我國每年的災害

以來自颱風為最，如果每年由國科會出面召集，將氣象作業單位及各經建、交通、水利、農政……等單位集合做個報告並出專利，必可為颱風侵襲之有關資料做一很完整的保存，供各單位未來研究發展及政府施政之參考。

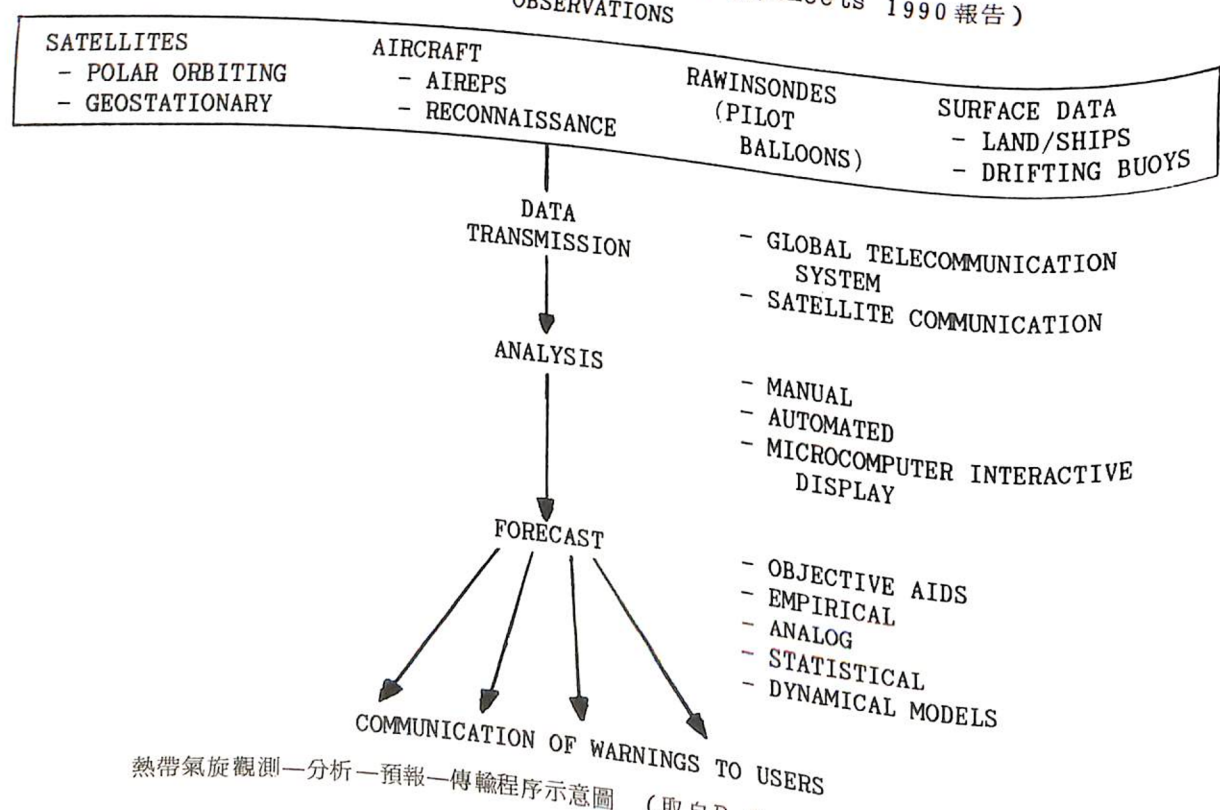
## 參考文獻

1. 李清勝(1990): 1990 台灣地區颱風實驗(TATEX)簡介, 中華民國氣象學會會刊, 第31期第2號。
2. 葉文欽(1991): 赴關島參與TCM-90 飛颱風記, 中華民國氣象學會會刊, 第32期第1號。
3. 葉文欽等(1991): 國際颱風實驗期間西北太平洋區域颱風特徵分析, 80天氣分析與預報研討會論文集編, 中央氣象局。
4. Johnny C.L. Chan (1986): Supertyphoon Abby-An Example of Present Track Forecast Inadequacies, Weather & Forecasting, Vol.1, No.3 & 4, p.113-126.
5. Joseph D. Dushan (1988) Support to the Pacific Command's Tropical Cyclone Warning Mission by the Air Force Global Weather Central, Tropical cyclone Conference, U.S. Pacific Command.

6. Daniel McMorro (1989): Forecasting Typhoons without Aircraft Reconnaissance at the Joint Typhoon Warning Center, Tropical Cyclone Conference, U.S. Pacific Command.
7. Joel D. Martin (1989): Techniques Development Program at the Joint Typhoon Warning Center, Tropical Cyclone Conference, U.S. Pacific Command.
8. Robert C. Sheets (1990): The National Hurricane Center-Past, Present, and Future, Weather and Forecasting Vol.5, No.2, p.185-232.
9. Russell L. Elsberry (1990): International Experiments to Study Tropical cyclones in the Western North Pacific, BAMS, Sept. 1990.
10. Russell L. Elsberry, etc (1990): ONR Tropical Cyclone Motion Research Initiative-Field Experiment Summary, NPS-MR-91-001.
11. Ted L. Tsui, etc (1990): The Automated Tropical Cyclone Forecasting System (ATCF), Weather and Forecasting, Vol.5, No.4, p.653-660.
12. JTWC: History of the Joint Typhoon Warning Center.



熱帶氣旋各種觀測系統示意圖 (C. Neuman, NHC, 取自 Sheets 1990 報告)



熱帶氣旋觀測—分析—預報—傳輸程序示意圖 (取自 R.C. Elsberry, 1987)

