

出國報告(出國類別：實習)

赴美國航空氣象中心(AWC)  
研習航空氣象守視作業技術

服務機關：民用航空局飛航服務總台

姓名職稱：林雍嵐 預報員

派赴國家：美國

出國期間：101.05.11~101.05.24

報告日期：101.07.13

# 目錄

壹、目的.....	2
貳、過程.....	3
一、訓練行程.....	3
二、訓練過程.....	3
參、心得.....	11
一、數值模式預報校驗.....	11
二、機場天氣預報(Terminal Aerodrome Forecast, TAF)校驗.....	12
三、對流即時預報產品.....	16
肆、建議.....	18

## 壹、目的

自民國 95 年起，飛航服務總臺臺北航空氣象中心（以下簡稱本中心）每年度持續派員前往美國航空氣象中心(Aviation Weather Center, AWC) 進行約兩周的短期研習，今年為第八年度。AWC 隸屬於美國商業部(United States Department of Commerce)國家海洋大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)美國國家氣象局(National Weather Service, NWS)轄下之國家環境預報中心(National Center for Environmental Prediction, NCEP)，與 AWC 相同位階的還有其他八個中心，包括國家颶風中心(National Hurricane Center)、氣候預測中心(Climate Prediction Center)、風暴預測中心(Storm Prediction Center)和水文氣象預測中心(Hydrometeorological Prediction Center)等。AWC 主要為美國本土、阿拉斯加和夏威夷地區之航空氣象服務供應者，另外也是世界天氣預報中心之一，與英國倫敦共同提供全球的航空天氣預報，兩中心互為備援。本中心也接收使用 AWC 所發布之越洋航線高空顯著天氣圖(SIGWX)。AWC 負責提供即時、正確的航空氣象資訊，與使用者及其他天氣服務單位密切合作，以增進飛航安全與效率，美國政府也致力於發展最新的航空氣象技術，藉由研習觀摩 AWC 作業可以增廣見聞，並且了解最新航空氣象技術的發展趨勢。

此次參訪行程中，亦包含美國航路管制中心(Air Route Traffic Control Center, ARTCC)內的氣象服務席位(Center Weather Service Unit, CWSU)，以及 NWS 當地預報辦公室(Weather Forecast Office, WFO)，以深入瞭解各個不同的氣象單位間如何分工提供，不同的航空氣象產品，以及其運作的方式。

## 貳、過程

### 一、訓練行程#

101年5月11日   101年5月13日	去程	11日自桃園國際機場搭乘華航CI004班機至舊金山國際機場，13日搭機轉往堪薩斯城國際機場。抵達後，由本次研習課程安排者James H. Henderson協助辦理入住旅館相關手續。
101年5月14日   101年5月21日	訓練	14日起訓練課程依序為美國航空氣象中心各席位研習4天後，18日並參訪了天氣預報辦公室(Weather Forecast Office, WFO)，以及21日於堪薩斯城航路管制中心(Air Route Traffic Control Center, ZKC, ARTCC)內的氣象服務席位(Center Weather Service Unit, CWSU)。
101年5月22日   101年5月24日	返程	22日清晨自堪薩斯城國際機場飛至舊金山國際機場，搭乘23日凌晨華航CI003班機於24日清晨返回桃園國際機場。

### 二、訓練過程#

第一天 5月14日 全日 北半球顯著天氣圖介紹 (SIGWX graphics Northern Hemisphere)，主講人：Jesse Sparks

第一天的訓練課程，早上七點四十分，與負責本次研習課程籌劃的James Henderson先生，在飯店碰面後，一同步行離飯店不遠的AWC作業大樓。在八點之前通過AWC安全檢查後，與協助安排本次參訪的AWC執行秘書Joe Bishop先生會面，並與AWC副主任Clinton Wallace先生短暫寒暄後，由執行秘書Bishop引導我們前往預報作業室。第一天主要見習北半球顯著天氣席，當日值班預報員為Jesse Sparks先生，由他介紹北半球SIGWX(圖1a)的製作流程。由於全球的尺度相當大，以北緯20度分南北半球，由2席位(相關席位如圖1b)分別製圖，完成後由南半球席位負責合併成一張全球的顯著天氣預報圖。在AWC製作預報產品的系統介面，大量參考NCEP全球預報模式(Global Forecast System, GFS)的產品。在製作高空亂流產品主要參考Ellrod Index、Richardson number和輻散趨勢項；系統介面密集切換高空噴流垂直剖面以判別梯度最大區域亦可能伴隨中度以上亂流，並辨別噴流的上下邊界之範圍。利用水氣頻道衛星雲圖、相當位渦場判定高空高壓及低壓環流中心位置。在對流區的繪製，非常依賴全球的閃電落雷資料，目前資料涵蓋範圍以北美地區最為齊全，亞洲地區中國和西伯利亞一帶資料較欠缺。另外也參考水氣輻合場、相當位溫、6小時累積降雨、積冰、K-index和可降水量等場量。下午4點半(臺北時間上午5點半)，AWC開放SIGWX之網路聊天室，與包括臺北航空氣象中心、澳洲、巴西，針對18Z

世界時的高層顯著天氣預報產品與各地預報員進行意見交換，必要時做適度的修正。Jesse並以此今（101）年度2月，他在AWC的Seminar投影片介紹高空亂流積冰的學理成因，顯示他在高空顯著天氣圖的預報已有相當豐富的經驗可與其他同仁分享。

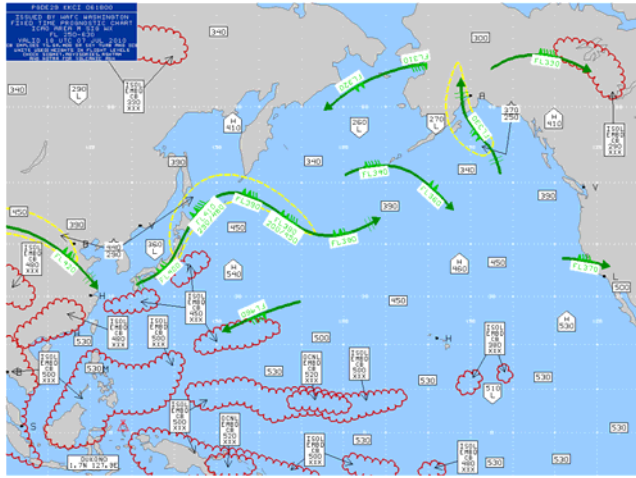


圖1 (a)越洋航高空顯著天氣圖和



圖1 (b)AWC國際航空氣象服務席位

第二天 5月15日 上午 熱帶席(Tropical Desk)，主講人：Nolan Duke

第二天訓練課程，早上七點由Jesse協助我們安檢通關進入預報作業室，當日上午於熱帶席實習，當日值班預報員為Nolan Duke先生。熱帶席的預報重點區域為墨西哥灣、加勒比海及東太平洋海域(圖二)。由於墨西哥灣約有三萬多人在有四千個鑽油平台作業，並且每年大約有一百三十萬架次直昇機在墨西哥灣空域活動，為全世界直升機活動最為頻繁的空域，因此熱帶席(Tropical Desk)必須針對墨西哥灣每日發佈兩次（1030Z、1830Z）天氣概述，預報內容主要是警告海平面高度12000 呎以下有雷暴、對流SIGMET 資訊、中度以上的積冰與亂流、1000 呎以下平均風大於25 海浬、結冰高度等資訊。這些資訊對巡航高度較低的直昇機來說相當重要。而加勒比海與墨西哥灣的天氣概述是相同的，但預報的範圍是從地面至24,000 呎，主要是服務往返或經過加勒比海區域之國際民用航空器。

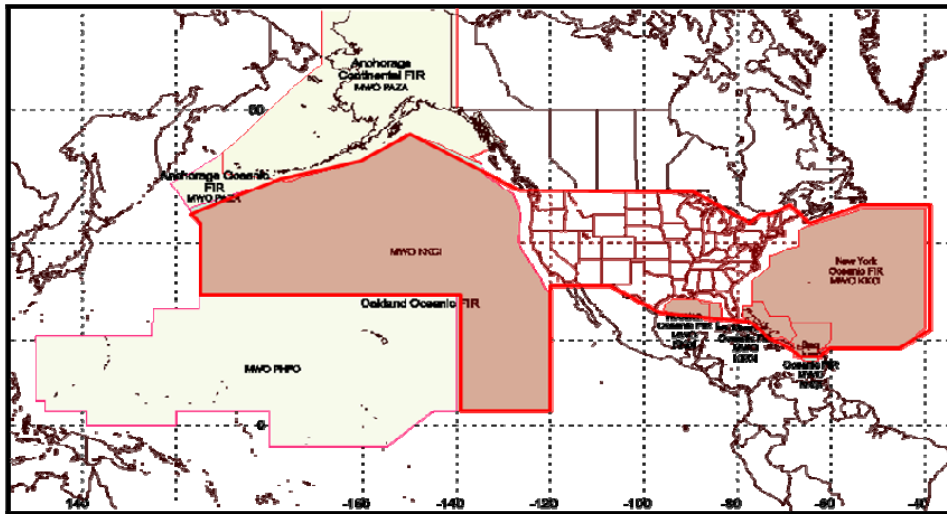


圖2 紅色區塊AWC負責守視之範圍(SIGMET)

下午 對流顯著危害天氣席(Convective SIGMET desk)，主講人：Kathryn Derouche

對流顯著危害天氣席位為守視美國境內對流天氣，而在鄰近美國的國際水域為熱帶席守視的範圍。每2個小時編發對流顯著危害天氣報告，有效時間2小時。當日的顯著對流主要位於東岸，所以預報員必須時時刻刻注意，每一塊對流區域的消長，不斷的更新修正SIGMET的預報。由當天預報員Kathryn女士急促的語速介紹，可見工作的緊湊度。同時她也提到，資訊力求的正確和即時性，以避免遭到航空公司等使用者的質疑。由於美國全境內的同一時段內，對流胞可能多達數十個以上，因此預報員編報時，可以直接在雷達回波畫面點出SIGMET的範圍，電腦自動將圖形轉換成經緯度，預報員檢視無誤後，立即發布或修正，以爭取時效性。此外，預報員也使用CIWS (Corridor Integrated Weather System)網頁中雷達回波的兩小時動畫預報；該系統由麻省理工學院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)和美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administrator, FAA )合作研發。

第三天 5月16日 全日 美中區域預報席(Central Area Forecast Desk)介紹，主講人：Larry Jacobs

本日由中部區域預報席Larry Jacobs先生介紹其預報產品，包括定時發布之天氣區域預報概述(FAs)、每日定時發布之顯著危害天氣(AIRMET)、非對流性SIGMET和低層顯著天氣圖(Low Level Significant Weather Chart)等產品(圖3)。由於美國幅員遼闊，所以此席位將全美分成東、中與西部三個區，由三位預報員各負責一部份(圖4a)。Larry習慣在每次接班時，重新啟動工作站，再以自己的帳號登入進入自己的慣用的桌面系統。由於每位預報員的預報邏輯的差異，會有不同預報產品的慣用頻率，因此每位預報員都可以自行設定自己的工作環境(圖4b)。

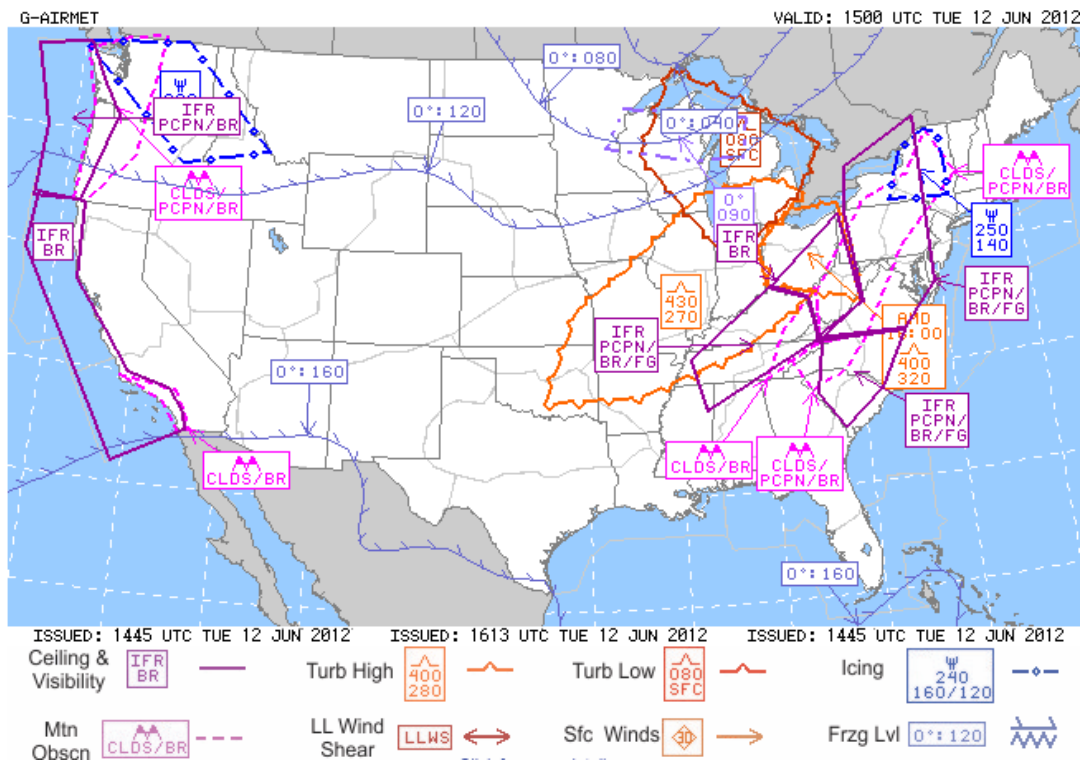


圖3 AIRMET相關整合產品

AIRMET是發布美國國內45000呎以下的危害天氣，包含中度積冰、結冰層高度、中度亂流、低層風切、山嶽模糊(Mountain Obscure)、地表面持續風(大於30KT)、儀器飛行規範(IFR, Instrument Flight Rules)等等。AIRMET每6個小時發布一次，三個席位發布的時間相同，並每次根據發報的內容，將AIRMET分為Zulu報(中度積冰與結冰層高度)、Tango報(中度亂流、低層風切與地表面持續風(大於30KT))與Sierra報(儀器飛行規範、山嶽模糊)。預報有效時間為6小時再加上6小時的危害天氣展望(outlook)。預報產品製作時，會不時的參考最新的駕駛員天氣報告，其報告內容包含各式的危害天氣現象，如積冰、亂流、雲底高、雲頂高等等，並註明飛機的機型、型號與發生的時間及高度層，使得預報員可以藉由大量的飛機報告來驗證並修改所發布的報文。

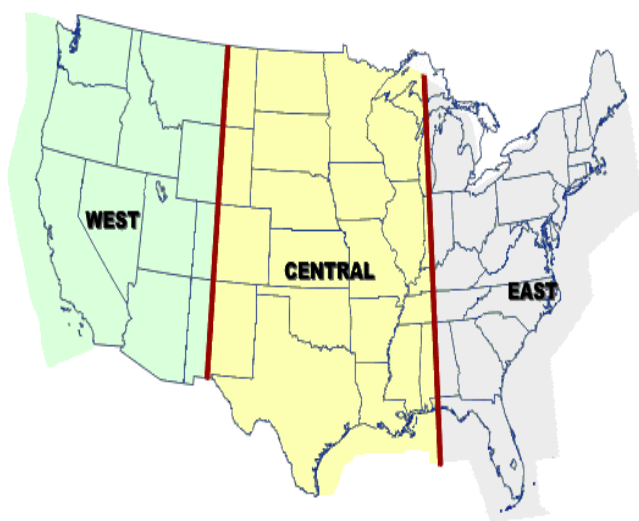


圖4 (a)AWC各區域預報席負責之範圍



圖4 (b) AWC區域預報席

第四天 5月17日 上午 對流整合預報席(Collaborative Convective Forecast Product, CCFP Desk)，  
主講人：JoAnn Becker

美國境內的幅員遼闊，因此從美國東岸至西岸之空中交通流量很大，其中以芝加哥-紐約-亞特蘭大的航行量最大，有黃金三角之稱。在夏季對流天氣系統旺盛的時候，在美國境內的航路及機場經常會受到雷暴、龍捲風等影響，造成機場關閉或航路上必須躲避雷暴天氣，經常造成班機延誤，以及造成某區域空中交通流量暴增，因此為了達到最佳的飛行效益及流量管理，整合對流預報席之預報產品，提供空中交通流量管理者一個具有全美各地綜觀的對流天氣資訊，作為流量管理策略參考。只有在每年四月至十月間，每日早上0800L至晚上2100L值班作業。工作內容為每2小時整合預報美國境內超過回波值40dBZ和2.5°x2.5°範圍的對流天氣系統，製作2、4、6小時的預報產品。席位預報員也大量使用CIWS系統，參考對流回波預報。在產品發佈前，必須先與美國各地的氣象人員、航空公司的氣象人員、區域管制中心氣象服務席位(Center Weather Service Unit, CWSU)的預報員等，使用網路聊天室進行討論，討論之初CCFP預報員會先展示預報產品草案圖示及概述，各區域的預報員可依自己所負責範圍，針對對流區發展之機率預報和範圍提出修正意見，以供預報員彙整修改後，發布最後正式產品(圖5)。當日約有

17位成員登入聊天室討論。

下午由南半球顯著天氣席值班的Steve Silberberg博士，介紹GFS模式的對流區預報校驗方法。首先介紹由Fred Mosher博士所研發的全球對流診斷(Global Convective Diagnostic)方法，其理論為在成熟發展的積雨雲中的冰晶會因重力而沈降，因此殘留在雲砧中的即大量的水氣。當利用紅外線頻道所得到的雲頂溫度與利用水氣頻道得到的雲頂溫度相差不到1度時，同時對流不穩定K指數大於20，代表該地區有明顯對流雲系的發展。利用這理論長期校驗GFS對流區發展，GFS的預報準確度優於英國UKMet模式，但對流區的範圍，GFS模式仍有過度預報的問題。因此我們討論到，若進一步計算其預兆得分(Threat Score)，模式得分可能仍然偏低。因此模式的運用依舊需要謹慎。

由於當日AWC的最後一日參訪行程，在研習最終時刻，由AWC主任Bob Maxson先生致贈小禮物，以代表AWC歡迎之意。

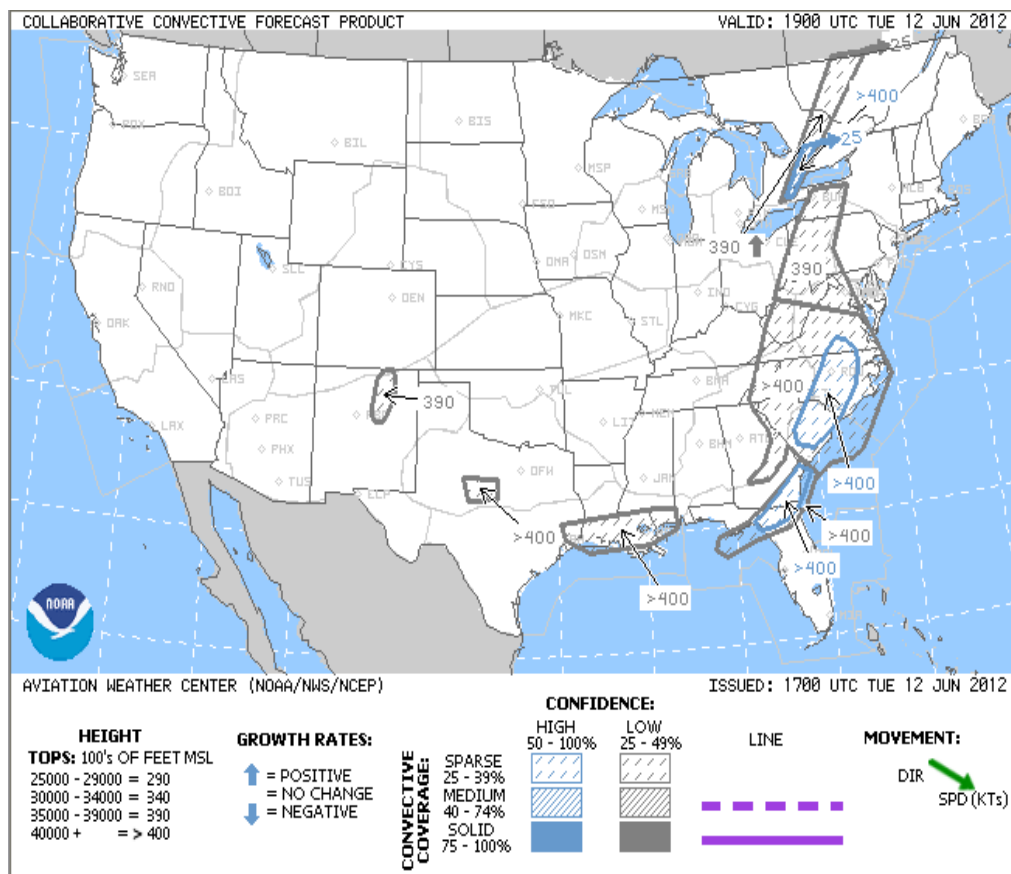


圖5 CCFP 2小時對流整合預報產品

### 第五天 5月18日 預報辦公室 WFO Pleasant Hill

上午九點，與James一同驅車前往位於堪薩斯城東南近郊的Pleasant Hill天氣預報辦公室，由該辦公室主任Julie L. Adolphson進行業務介紹。美國國家氣象局(NWS)在美國各地設有122個WFO，WFO負責一般天氣預報、水文監測，危害天氣如龍捲風、雷暴雨、暴風雪、洪水之守



視(watch)、警報(warning)、公告(advisory)，以保障民眾的生命財產安全，此外，還負責空氣品質監測以及乾旱季節之火災天氣預報，並且負責編報機場天氣預報(TAF)。此次參訪位於密蘇里州位於 Pleasant Hill的WFO，其負責預報的區域範圍約三萬八千平方公里，包含有44個行政區，區域人口共約兩百四十萬人。由於位在密西西比河流域內，以及龍捲風、雷暴經常發生的地區，因此經常需要發佈危害天氣之警報。在機場天氣預報方面，則負責三座機場，分別為惠勒機場（MKC），堪薩斯城國際機場（MCI）和聖約瑟機場（STJ）之TAF，每6小時編報一次，每次預報時間為24小時。Julie首先介紹先進交談式天氣處理系統(Advanced Weather Interactive Processing System, AWIPS)，界面相當類似中央氣象局天氣資料整合與即時預報系統(Weather Integration and Nowcasting System, WINS)系統；以及圖形化編輯器(Graphic Forecast Editor, GFE; 圖6a)將數值模式格點預報資料庫(National Digital Forecast Database, NDFD)進行各類氣象參數預報產品製作和文字轉譯的工作圖(6b)。氣象局從今(101)年開始發布鄉鎮天氣預報(<http://www.cwb.gov.tw/township/chfx/NDFD.html>)，由原本臺灣22分區擴展到368鄉鎮格點天氣預報，即採用NWS之NDFD格點資料庫，輸出至GFE圖形編輯器提供預報員進行格點預報產品的製作。

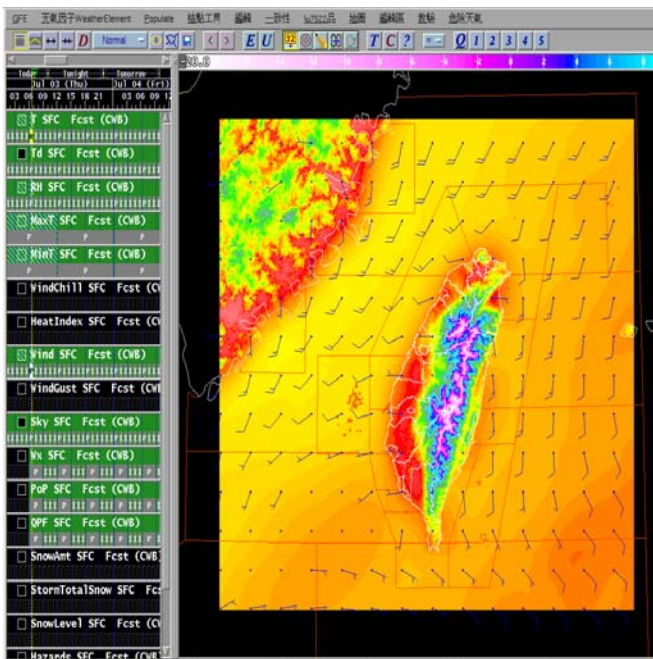


圖6 (a)GFE圖形化編輯器和

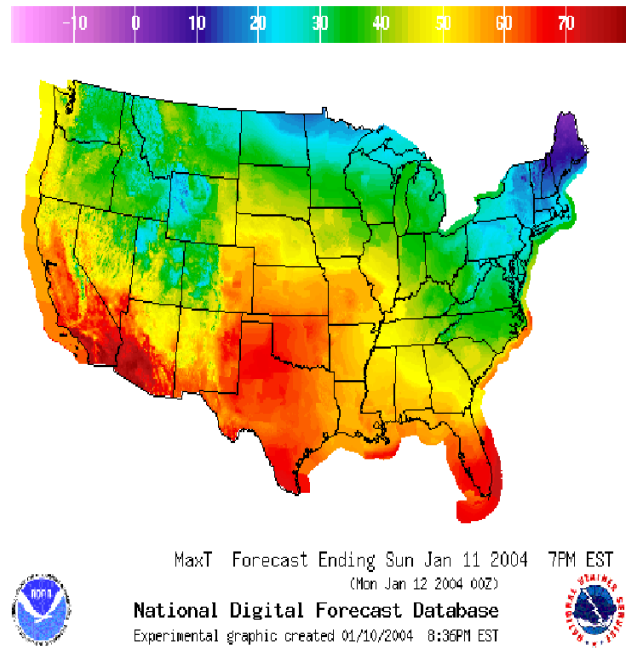


圖6 (b)NDFD數值模式格點預報資料庫

另外介紹AvnFPS(Aviation Forecast Preparation System)為TAF編報輔助軟體(圖7)，可以自NDFD資料庫擷取數值預報模式資料，將機場所在之格點資料經文字轉譯器，自動編成TAF的報文，再由預報員手動修改報文，然後自動做語法檢查避免輸入上的錯誤，並且可以自動比對長期氣候統計資料，若編發之TAF 內容與統計資訊有重大的出入時，也會發出警告。AvnFPS 中還整合了氣候資料查詢系統，可供預報員參考各機場的氣候資料，讓資淺預報員編發預報時，參考氣候值做出適當的判斷。另外TAF編報版面內以顏色顯示目前最新的TAF報文內各項參數與最新的METAR是否差距太大，可即時提醒預報員某段預報與目前的天氣差距過大，已達到應該修正的門檻，並可讓預報員以點選該段預報的方式立刻進行修正。此外，WFO預報員編發

TAF時，也會透過網路聊天室的方式，與所在CWSU的值班預報員進行意見交換。

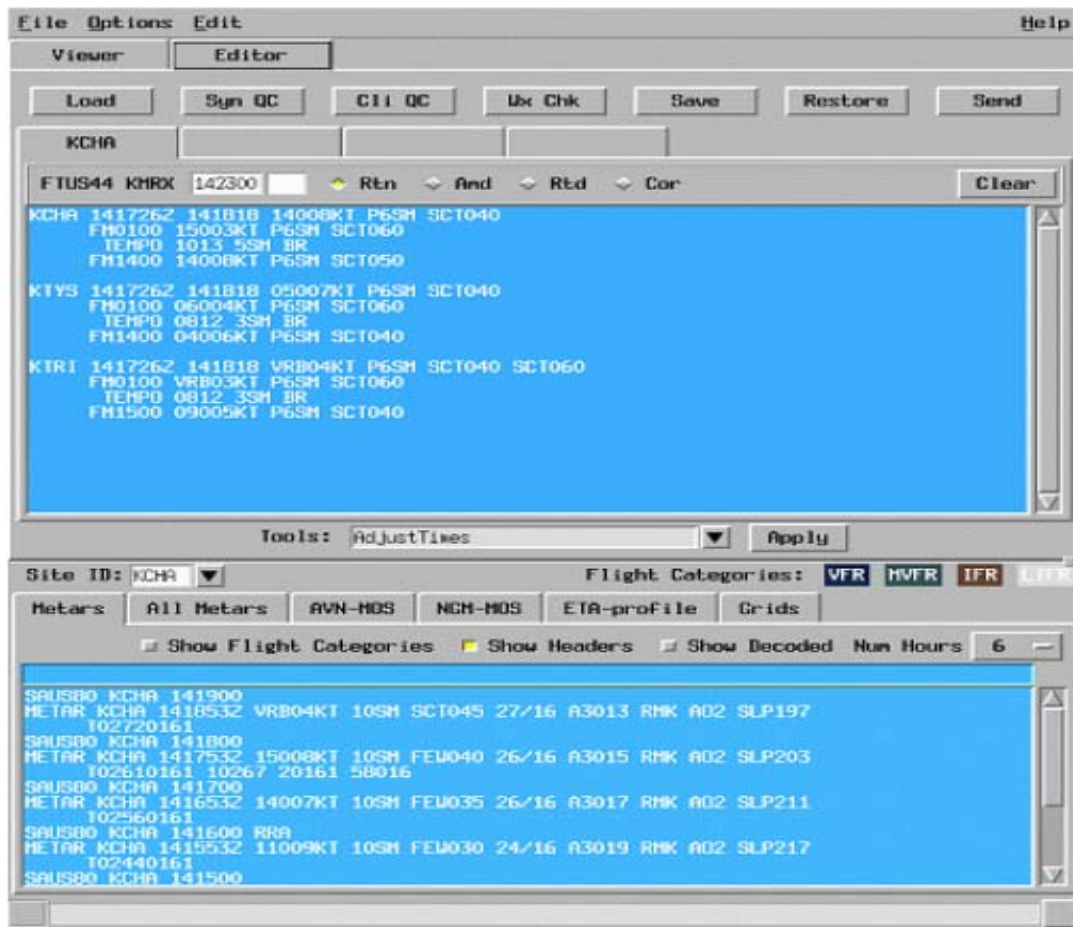


Figure 3: L4F Editor.

圖7 AvnFPS TAF預報編發軟體

### 第六天 5月21日 美國航路管制中心

早上六點半，與James一同驅車前往位於堪薩斯城西面，堪薩斯州的美國航路管制中心(Air Route Traffic Control Center, ARTCC ZKC)之氣象服務席位CWSU，參加每日早晨七時四十五分之簡報會議。由於ARTCC隸屬FAA，門禁安全比照機場安檢規格。完成安檢後，由Rich Webber先生引導我們進入管制作業室。CWSU為NWS派駐在各航路管制中心雷達管制室的氣象席位，在全美共有21個ARTCC，值班作業時間依照各地區ARTCC任務需求而有所不同，ZKC的CWSU席位值班時間為每日早上五點三十分至晚上九點三十分，冬天(十月至三月)時僅值班至九點。任務為提供FAA的空中交通管理者與管制員天氣諮詢，並且隨時守視負責區域內所有可能影響飛航操作的天氣，若有預期將發生或已經有影響飛航操作的天氣時，則發布氣象公告(Center Weather Advisory, CWA) 及氣象影響報告書(Meteorological Impact Statements, MIS)，氣象公告為有效時間在兩小時以下，不定時的預報產品，主要內容為各ARTCC 負責區域內之危害天氣，如中度以上亂流、積冰、儀器飛行天氣、對流天氣系統、火山灰等。

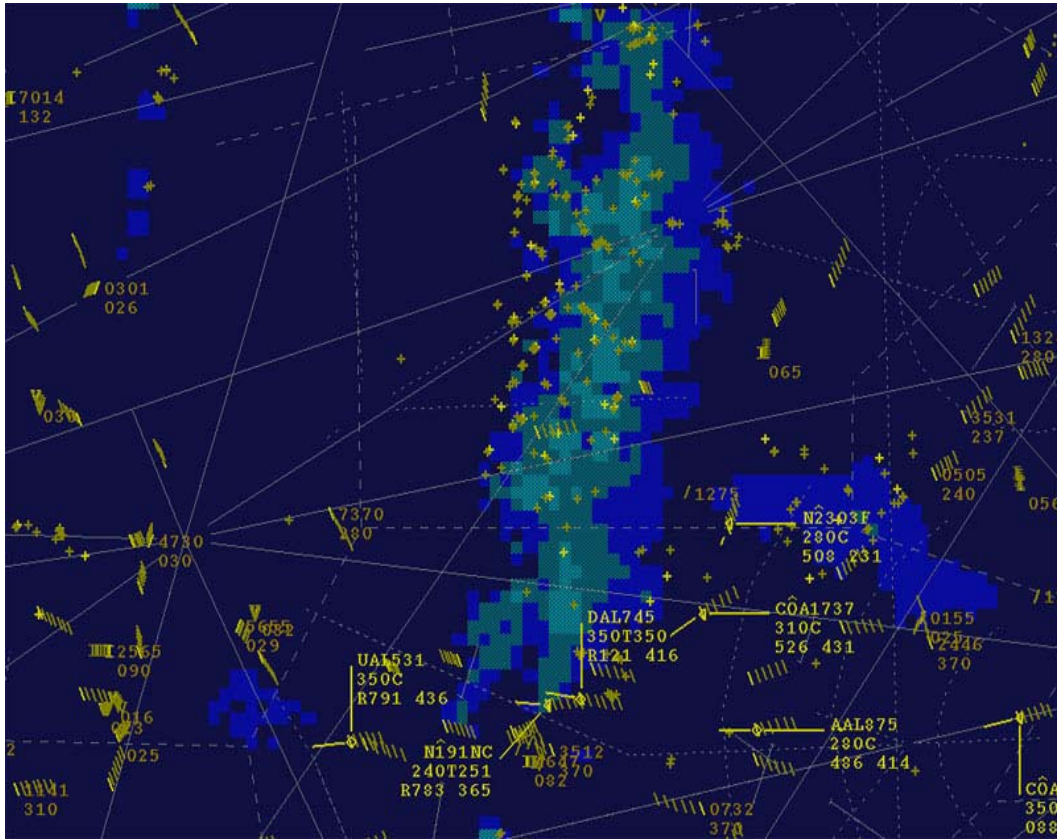


圖 8 整合式天氣與航管交談決策系統

七點四十五分舉行晨間會議，討論每日航路之流量管制作業，而會議開始則先由 CWSU 之值班預報員先開始簡報當日的天氣大勢、高空噴流、對流系統的位置、SIGMET、AIRMET 的區域範圍及上述天氣系統影響的時間、範圍、移動方向等，隨後由值班的航管主管針對天氣系統所造成的航路流量上的衝擊及其他影響流量的因素，向負責各區域航路之主任管制員進行今日的流量管制作業之任務提示。晨報後，預報員會製作約 2 至 3 分鐘的 6 頁簡報影音檔，內容與晨報簡報相當，隨後上傳到 CWSU 網頁(<http://www.crh.noaa.gov/crh/cwsu/index.php?site=zkc>)，以供航管相關人員瀏覽。此外，預報員定時參加 CCFP 的聊天室和不定時彙整管制員接到飛機天氣報告(PIREP)，將報告內容格式化上傳 AISR(Aeronautical Information System Replacement)系統，將訊息公布網路上。CWSU 預報員也大量參考 CIWS 雲頂溫度和回波預報資訊，密集監控航路上顯著對流發展並會對其預期發生的時間、發展的過程和移動方向做更細節的航路預報。在參訪最後，也前往管制席位聆聽 20 分鐘的無線電管制通話，感受 ZKC 上空繁忙的空中交通。另外也觀察到，管制席位上方牆面有大型 LCD 電視螢幕，即時展示 ZKC 附近的雷達降水回波資料，以供管制員參考。同時整合式天氣與航管交談決策系統(Integrated Weather-Air Traffic Management Decision Support)可將即時的降水回波資訊疊加在航管雷達顯示畫面(圖八)，對管制人員正確和即時地引航機避開雷雨或對流胞系統有相當大的助益。

## 參、心得

### 一、數值模式預報校驗#

AWC 航空作業支援部門，有專職的人員負責航空氣象之科學研究、模式開發校驗、電腦軟硬體維護、客戶服務等。由於所有的預報產品都建立在模式預報輸出場量，所以模式的校驗扮演預報準確度提升非常重要的一環。AWC 長期利用全球對流診斷法校驗 GFS 模式的對流區預報，以了解 GFS 在全球各區域的優劣分布如何(圖 9)。目前臺北航空氣象中心所使用之中尺度數值模式 WRF(Weather Research and Forecasting Model)，提供校驗網頁可供預報員線上查詢(圖 10)。目前以風場、溫度場和高度場為主要校驗的氣象變數，有 48 小時預報場和探空觀測資料進行校驗，可呈現 domain 範圍內觀測與預報場的偏差值，對預報員了解模式的優劣有很大的幫助。此外，利用 WRF 模式輸出統計預報之機場地面天氣產品(Model Output Statistics, MOS)，提供最長 12 小時有效預報資料，包括能見度和雲幕高，可輔助預報員編發 TAF 使用 (圖 11)。

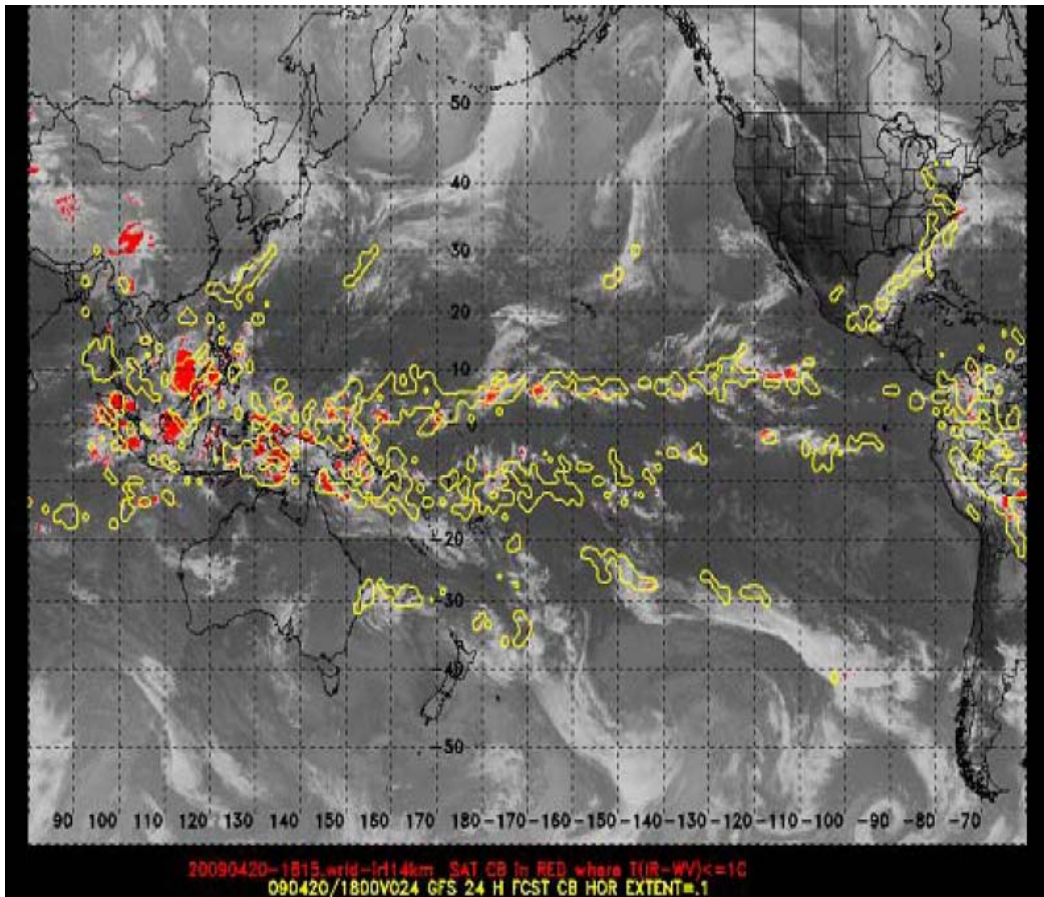


圖 9 實際觀測紅外線衛星雲圖疊加全球對流診斷法所反演之可能對流區(紅色區塊)，黃色區塊為 GFS 模式 24 小時的對流預報區域。

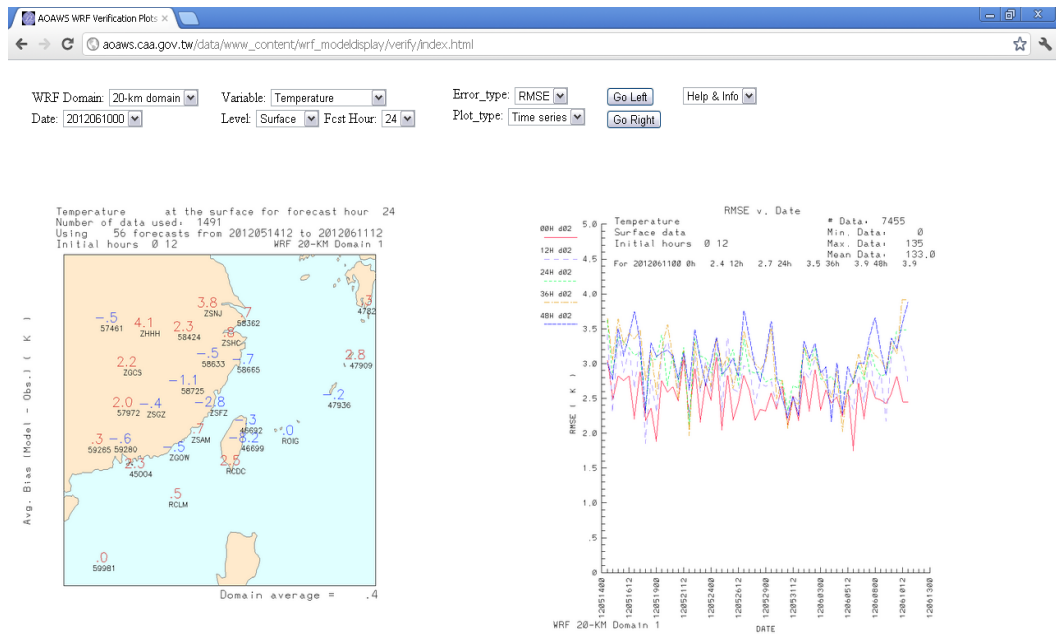


圖 10 AOAWS WRF 模式校驗網頁

([http://aoaws.caa.gov.tw/data/www\\_content/wrf\\_modeldisplay/verify/index.html](http://aoaws.caa.gov.tw/data/www_content/wrf_modeldisplay/verify/index.html))

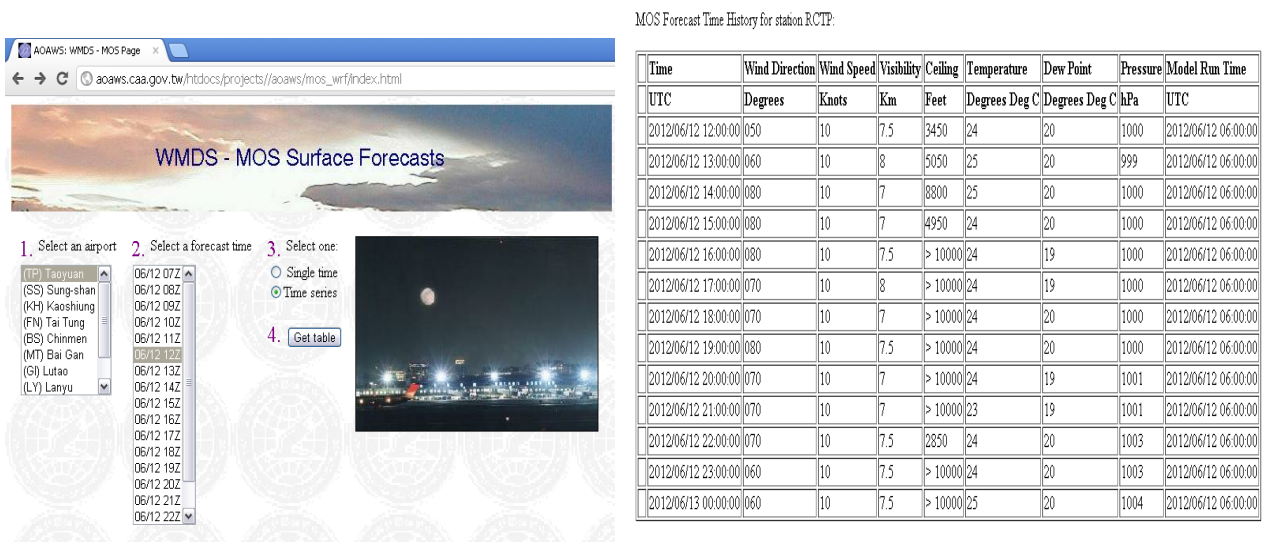


圖 11 (a)WRF MOS 地面天氣預報網頁和 圖 11 (b)桃園機場(RCTP)MOS 12 小時有效預報產品

## 二、機場天氣預報(Terminal Aerodrome Forecast, TAF)校驗

WFO 為編發全美各地主要機場天氣預報 TAF 的負責單位，因此由國家氣象局建立 TAF 預報的輔助軟體 AVNFPS 和預報校驗系統 (Performance Management Homepage, <https://verification.nws.noaa.gov>; 圖 12)，提供 NWS 及 NOAA 所屬機構之預報員進行線上查詢。可供查詢校驗的預報產品涵蓋 TAF、龍捲風警報、劇烈雷暴警報、颶風路徑預報、冬季風暴警報、洪水警報、高低溫預報、海象預報。

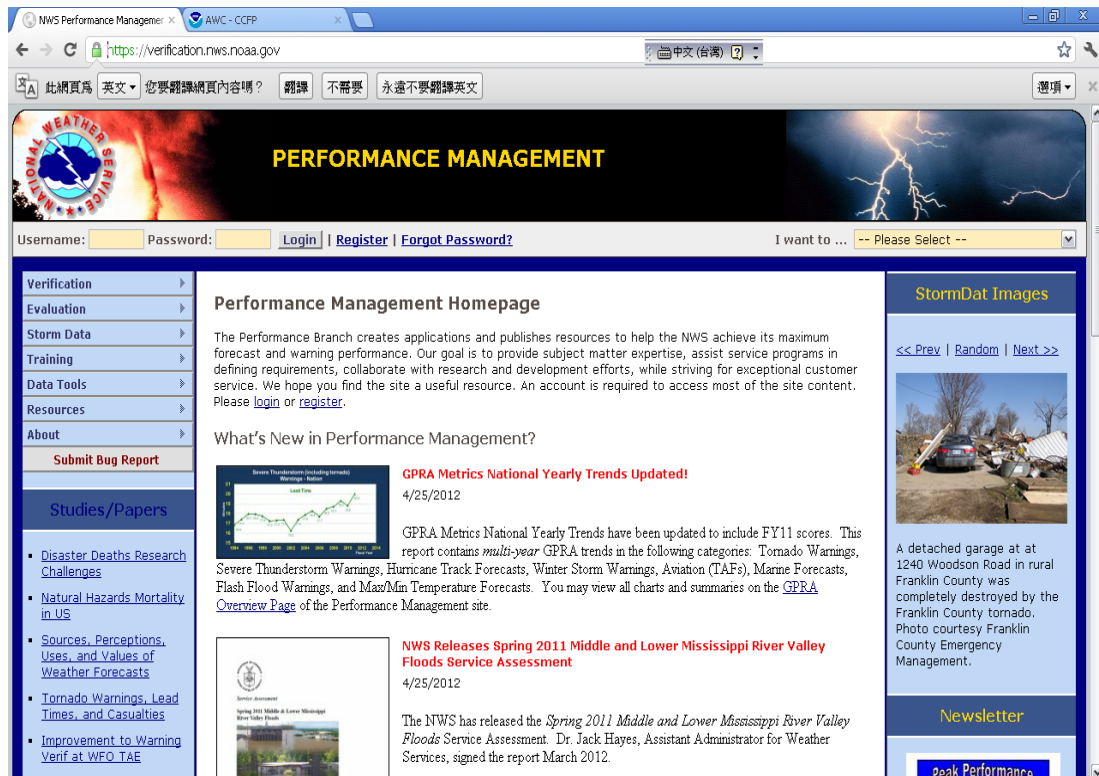


圖 12 NWS 預報產品校驗網頁。

關於 TAF 預報校驗的考核標準，發現 NWS 並非採用世界民航組織 ICAO Annex 3 Attachment B 的校驗標準，而是另外制定。ICAO Annex 3 Attachment B 校驗所有天氣資料，所以包含好壞天氣。TAF 預報與實際 METAR 觀測，能見度大於 800m，雲幕大於 1000ft，其預報誤差不得大於正負 30%。因此顯著天氣發生期間，所能允許的預報誤差範圍相對會縮小許多。2010 年聯合國世界氣象組織(World Meteorological Organization, WMO)航空氣象委員會(Commission for Aeronautical Meteorology, CAeM)於香港天文台年度會議討論 ICAO Annex 3 的校驗標準。結論認為此標準雖然簡單易懂，很方便的建立全球一致性的期望標準值。但是過於簡化，校驗標準無法反應預報技術準確性。尤其對於嚴重影響機場運作的顯著天氣事件，無法適切的描述當時 TAF 的準確性。此外 WMO 也提出，ICAO Appendix 5 Amendment (與 TAF 修正門檻有關)與顯著天氣發生有顯著相關，但 Attachment B 的校驗標準卻與 Appendix 5 Amendment 的關聯性很低，頗為矛盾，TAF 校驗也失去意義(圖 13)。意即，當校驗所有好壞天氣，預報準確度(hit rate)將會大部分落在天氣良好的時段。而通常天氣佳的時段遠大於壞天氣的總時段，所以長期利用 ICAO 標準統計的考核分數，可能僅是在反映該機場發生好天氣的頻率。對於鮮少發生壞天氣的機場，得到的考核分數可能無法反映壞天氣時 TAF 的準確性。所以 WMO 建議正確的 TAF 校驗並非無所不包的檢驗所有好壞天氣的時段，且應該採分區分類建立分級制度的預報校驗標準。同時，顯著天氣發生時，過度預報是不被鼓勵的，所以校驗標準除了要可以反應顯著天氣時 TAF 的準確度，還要能評量過度預報發生的頻率(False Alarm Ratio, FAR)。

### Mismatches

Meteorological Element	Criteria for Change groups and Amendment (Appendix 5)	Desirable accuracy of forecasts (Attachment B)	Goal for Hit Rate (Att. B)
Wind direction	≥ 60° for mean wind speed ≥ 20 km/h (10 kt)	± 20°	80% of cases
Wind speed	≥ 20 km/h (10 kt)	± 10 km/h (5 kt)	80% of cases
Wind gusts	≥ 20 km/h (10 kt) above mean wind speed, being ≥ 30 km/h (15 kt)	No criterion	
Visibility	Threshold criteria: 150, 350, 600, 800, 1500, 3000, (5000) m	± 200 m up to 800 m, ± 30% between 800 m and 10 km	80% of cases
Weather phenomena	Freezing precipitation, freezing fog, Mod heavy precipitation, blowing/driftng snow/dust/sand, duststorm, sandstorm, thunderstorm, squall line, tunnel cloud, others	Occurrence or non-occurrence of precipitation	80% of cases
Cloud amount	For cloud height below 450 m (1500 ft) change from NSC/FEW/SCT to BKN/OVC or vice versa	One category below 450 m (1500 ft), Occurrence or non-occurrence of BKN or OVC between 450 m (1500 ft) and 3 000 m (10 000 ft)	70% of cases
Cloud height	Threshold criteria for BKN/OVC/VV: 100, 200, 500, 1000, (1500) ft	± 30 m (100 ft) up to 300 m (1000 ft) ± 30% between 300 m (1000 ft) and 3000 m (10000 ft)	70% of cases

Remark: The number of change and probability groups should be kept to a minimum and should not normally exceed 5 groups

### TAF Accuracy

(% of cases within range or % of accurate forecasts - existing performance measure in ICAO Annex 3 Attachment B)

- Merits**
  - simple and easy-to-understand
  - convenient for setting a globally applicable level of desirable accuracy
- Shortfalls**
  - may not reflect skills properly
    - Target percentage of accurate forecasts could have been met even by never forecasting significant weather at most airports
  - fail to delineate performance in forecasting high operational impact events
  - need special treatment to cater for change groups

圖 13 WMO CAeM 2010 年文件報告，取自 <http://forum.14.caem.wmo.int/14web/ppts/>。

美國氣象局現行 TAF 預報校驗，即採用分級制度的預報校驗標準，如表一為雲霧和能見的校驗分級標準表。而 ICAO Annex 3 Attachment B 的準確度目標(Hit of goal)高達 0.7 至 0.8，而美國氣象局的目標(national goal)卻只有 0.65，略低的原因與僅校驗顯著天氣有關。

表一 NWS 制定之 TAF 校驗分級表(a) 雲霧高，(b)能見度，取自 National Weather Service Instruction (NWSI) 10-1601 2011 年版(<http://www.nws.noaa.gov/directives/>)

Table A-6. Ceiling categories used in contingency tables.

• Less than 200 feet
• 200 to 400 feet
• 500 to 900 feet
• 1000 to 1900 feet
• 2000 to 3000 feet
• Greater than 3000 feet (including situations with no ceiling)

Table A-7. Visibility categories used in contingency tables.

• Less than ½ statute mile
• ½ to less than 1 statute mile
• 1 to less than 2 statute miles
• 2 to less than 3 statute miles
• 3 to 5 statute miles
• Greater than 5 statute miles

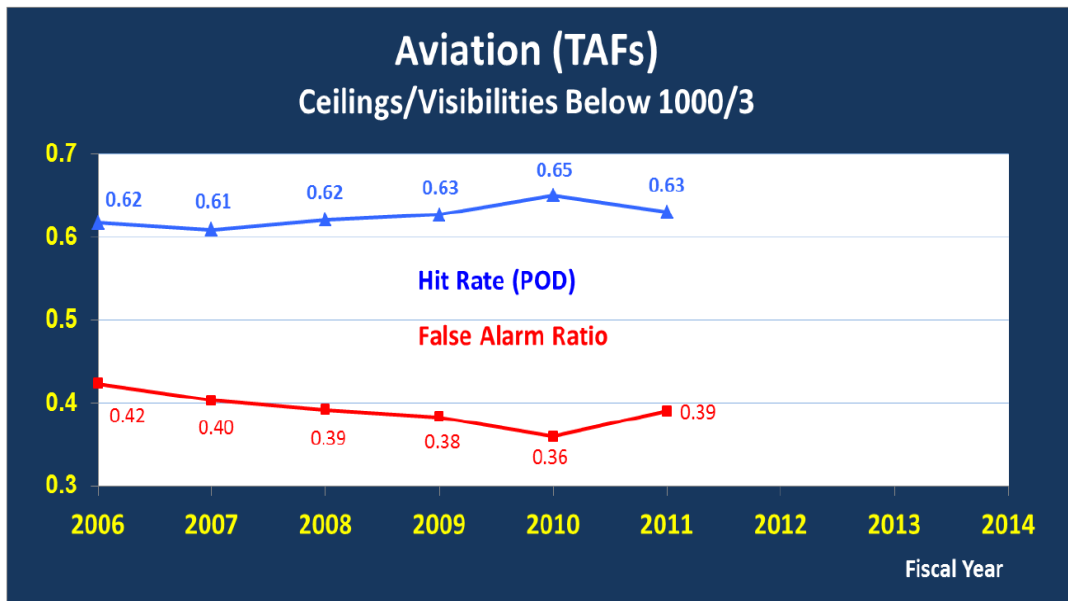


圖 14 2006 至 2011 年全美官方 TAF 預報校驗之平均準確度(藍:POD)和誤報率(紅:FAR)之變化。摘自 NWS 2011 年度預報校驗報告(GPRA Metrics National Yearly Trends, [https://verification.nws.noaa.gov/services/gpra/NWS\\_GPRA\\_Metrics.pdf](https://verification.nws.noaa.gov/services/gpra/NWS_GPRA_Metrics.pdf))

NWS 校驗自 2006 年到 2011 全美 3 至 6 小時預報時效之 TAF 預報準確度(Probability of detection, POD)，而且僅校驗雲霧低於 1000ft，能見度低於 3 英哩之顯著天氣時段。自 2006 年起，校驗成績 POD 近乎常數般地維持在 0.61 至 0.63 間，距離 national goal 0.65 還有一點距離；但誤報率 FAR 卻有明顯的自 0.42 下降至 0.36，即使 2011 年略為提高，但仍然維持低於 national goal 的 0.41 (圖 14)。壞天氣的誤報對機場和航管運作都有很大的影響，所以在顯著天氣時，低雲霧和低能見度已發生，應該盡可能減少誤報率。在 NWS 校驗網頁可以呈現官方 TAF 和多個數值模式自動編發 TAF 之間的校驗分數比較，而且對 24 小時有效預報時效分段為每 6 小時校驗 (圖 15)。藉由數值模式建立預報指引(Model Guidance)，且長期統計可定量得到模式 TAF 的可預報度，建立客觀的考核標準，才能客觀探討不良天候時段 TAF 的預報水準。

Period	Absolute Ceiling Errors		TAF
	FWC	MAV	
1	0.49	0.42	0.33
2	0.57	0.47	0.45
3	0.60	0.49	0.48
4	0.62	0.53	0.49

**Figure 2.** Mean absolute errors by category for ceiling at KTUL. FWC and MAV are model guidance. TAF is the official forecast. Periods indicate four 6-hour groups.

圖 15 官方 TAF 預報和 2 個數值模式 FWC 和 MAV 24 小時預報之雲霧平均誤差值。Period 1 為第 1 個 6 小時預報。故值愈小代表預報愈準確，隨預報時間增長，誤差值愈大。



據統計全美各主要國際機場，其中以紐約紐瓦克國際機場(KEWR)和舊金山國際機場(KSFO)的航班誤點率位居一和二，其中天氣因素也是造成誤點的主要原因，而舊金山機場又以濃霧影響最鉅。利用 NWS 校驗網頁查詢統計 KSFO 在過去十年曾發生能見度低於 1 英哩時段，其官方 TAF 預報的 POD 約 0.25。同時，網頁也統計由 GFS 模式自動編發 TAF 的 POD，以供預報員客觀比較數值模式的優劣。就一般校驗標準(雲霧低於 1000ft，能見度低於 3 英哩)，通常官方 TAF 會優於 GFS 預報，但有趣的是，KSFO 這段濃霧期間甚至出現 GFS 表現優於官方 TAF 的現象。

### 三、對流即時預報產品

AWC 針對 CCFP 產品進行 2 小時有效預報時的校驗(圖 16)，預報準確度 POD 和偏差值 Bias 隨時更新，提供網頁線上查詢(<http://www.aviationweather.gov/products/ccfp/>)。以 2012 年 5 月 27 日 23Z 預報校驗，POD 為 0.62，已有相當程度的準確度。參訪過程發現 AWC CCFP 和 Convective SIGMET 兩席位和位於航管中心的 CWSU 席位，預報員都相當頻繁的使用 CIWS (Corridor Integrated Weather System)系統。系統除了顯示過去雷達回波或雲頂溫度的歷史動畫外，另外可直接顯示未來 2 小時的對流動畫預報，對流的強度和範圍會隨預報時間有所消長(圖 17)。此種極短時的即時預報技術，對發布 SIGMET 產品將有很大的幫助；此系統為 FAA 和 MIT 林肯實驗室共同研發計畫(Consolidated Storm Prediction for Aviation, CoSPA)，詳細計畫內容可於獲 MIT 網頁獲得(<http://www.ll.mit.edu/mission/aviation/aviationwxresearch/cospa.html>)。而日本氣象廳網頁，也有類似雷達回波預報產品，但僅有 1 小時的延伸預報(圖 18)。實際上，本中心使用的多元化氣象產品顯示系統(Multi-Dimensional display System, MDS)系統之 TITAN 功能也具有追蹤顯著對流系統的功能，針對對流胞移動方向、速度和區域，提供未來 1 小時的外延法預報標示(圖 19)。

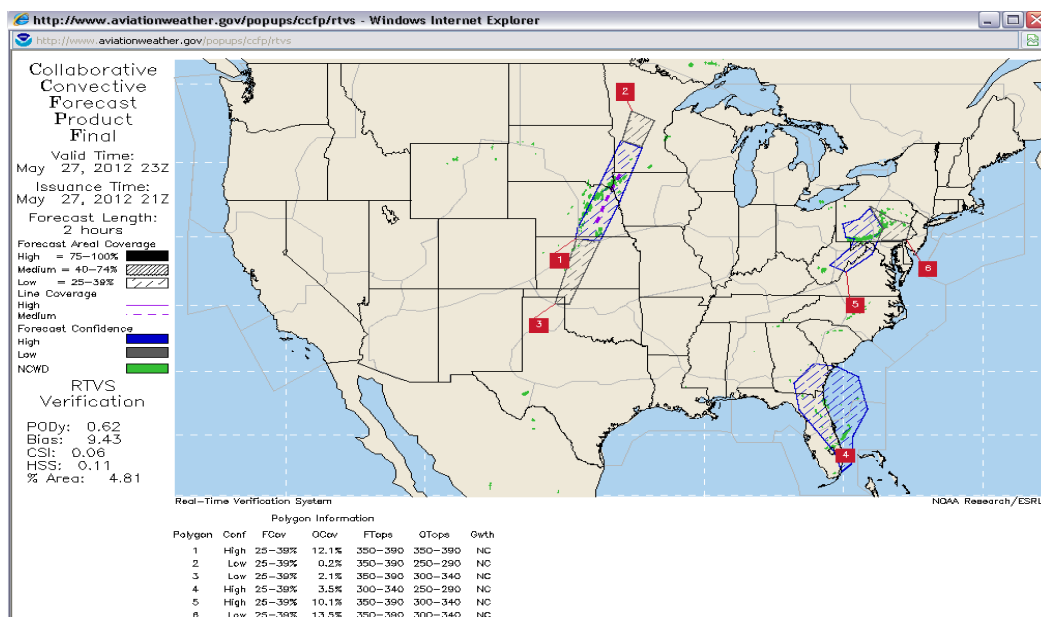


圖 16 AWC CCFP 2 小時有效預報時之校驗結果

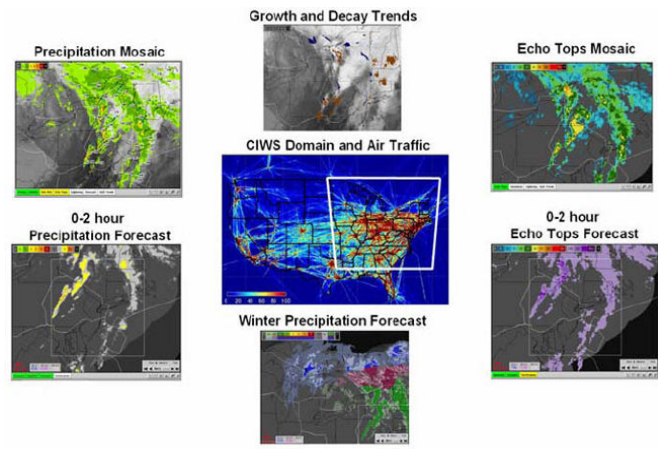
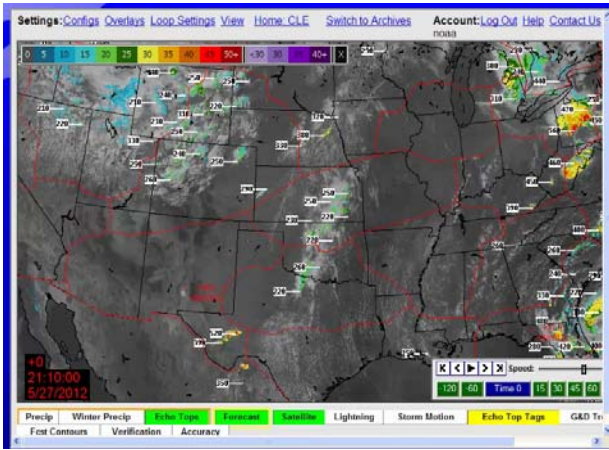


圖 17 (a) CIWS 系統雲頂溫度觀測標示

圖 17 (b) 0 至 2 小時雲頂溫度和降水即時預報產品

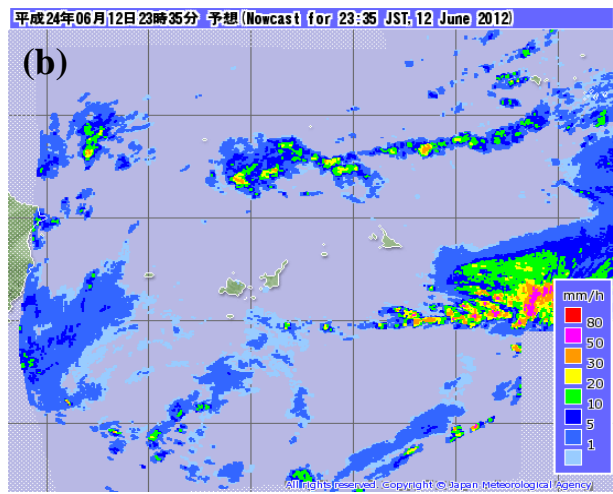
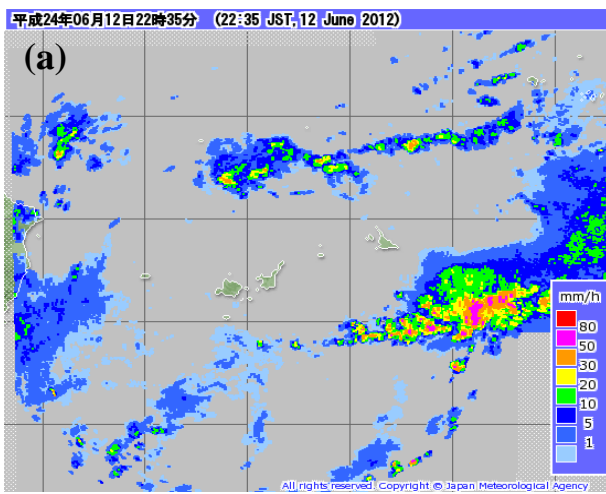


圖 18(a) 日本氣象廳宮古島雷達回波觀測資料

圖 18(b) 1 小時後即時預報

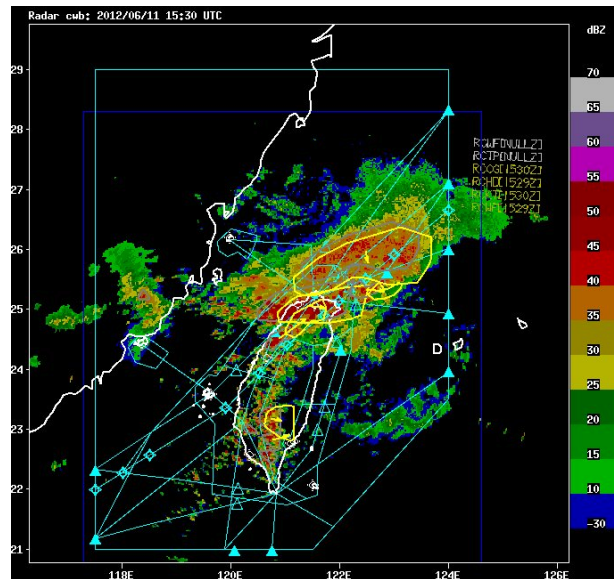


圖 19 MDS 雷達回波合成圖與 TITAN 預報產品(黃色標示區塊)

## 肆、建議

- 一、為符合 ICAO Annex 3 規範，本中心現行參照 Annex 3 Attachment B 之 TAF 校驗標準之考核仍持續作業中。依據 WMO CAeM 2010 年的建議，未來可參考 NWS TAF 分級制度的預報校驗表，建立於顯著天氣時段的校驗標準，以求評量分數能反映不適航天氣時段之預報技術優劣，以供內部技術檢討參考使用。
- 二、現行本中心 WRF 校驗系統，僅針對模式風場、溫度場和高度場為進行每 6 小時的校驗；但與 TAF 預報的能見度和雲霧高兩大要素，與預報實務運用有所落差。建議 WRF MOS 地面 12 小時預報產品可比照相同 TAF 校驗標準進行考核，了解 WRF MOS 在 TAF 預報的準確性和穩定性，定量得到數值模式的可預報度，建立模式的預報指引(Model Guidance)和校驗的客觀標準。再藉由模式預報指引和官方 TAF 準確度的比較，以求客觀地探討不良天候時段 TAF 的預報水準。
- 三、中央氣象局自今(101)年開始發布鄉鎮天氣預報，同時建立臺灣地區之 NDFD 格點預報資料庫，提供更細緻的小區域預報產品。而美國氣象局已經使用 NDFD 資料庫，再透過 AvnFPS 軟體的轉譯，進行 TAF 的自動編發。因此，建議本中心未來可透過與中央氣象局合作協議取得臺灣地區 NDFD 資料庫，輔助預報員 TAF 的編發。