

出國報告：類別(實習)

參加「航空氣象現代化作業系統汰  
換及更新計畫-研習航路及機場天氣  
預報產品演算法原理及發展技術」  
出國報告

服務機關：交通部民用航空局飛航服務總臺

姓名職稱：溫文豪 主任氣象員

陳浩昇 主任氣象員

派赴國家：美國·波德

出國期間：民國 113 年 09 月 02 日~09 月 15 日

報告日期：民國 113 年 10 月 18 日

## 提要表

系統識別號：	C11301865																							
視訊辦理：	否																							
相關專案：	無																							
計畫名稱：	航空氣象現代化作業系統汰換及更新計畫-研習航路及機場天氣預報產品演算法原理及發展技術																							
報告名稱：	參加「航空氣象現代化作業系統汰換及更新計畫-研習航路及機場天氣預報產品演算法原理及發展技術」出國報告																							
計畫主辦機關：	交通部民用航空局																							
出國人員：	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">姓名</th> <th style="width: 15%;">服務機關</th> <th style="width: 10%;">服務單位</th> <th style="width: 15%;">職稱</th> <th style="width: 15%;">官職等</th> <th style="width: 30%;">E-MAIL 信箱</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溫文豪</td> <td>交通部 民用航空局 飛航服務總臺</td> <td>臺北 航空氣象中心</td> <td>主任氣象員</td> <td>薦任(派)</td> <td>聯絡人： jasonwen@anws.gov.tw</td> </tr> <tr> <td>陳浩昇</td> <td>交通部 民用航空局 飛航服務總臺</td> <td>臺北 航空氣象中心</td> <td>主任氣象員</td> <td>薦任(派)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						姓名	服務機關	服務單位	職稱	官職等	E-MAIL 信箱	溫文豪	交通部 民用航空局 飛航服務總臺	臺北 航空氣象中心	主任氣象員	薦任(派)	聯絡人： jasonwen@anws.gov.tw	陳浩昇	交通部 民用航空局 飛航服務總臺	臺北 航空氣象中心	主任氣象員	薦任(派)	
姓名	服務機關	服務單位	職稱	官職等	E-MAIL 信箱																			
溫文豪	交通部 民用航空局 飛航服務總臺	臺北 航空氣象中心	主任氣象員	薦任(派)	聯絡人： jasonwen@anws.gov.tw																			
陳浩昇	交通部 民用航空局 飛航服務總臺	臺北 航空氣象中心	主任氣象員	薦任(派)																				
前往地區：	美國																							
參訪機關：	美國國家大氣科學研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)																							
出國類別：	實習																							
出國期間：	民國 113 年 09 月 02 日至 民國 113 年 09 月 15 日																							
報告日期：	民國 113 年 10 月 18 日																							
關鍵詞：	航空氣象，演算法																							
報告書頁數：	68 頁																							
報告內容摘要：	為持續提升臺北飛航情報區飛航安全與服務品質，飛航服務總臺於民國 110 年至 113 年間推動「航空氣象現代化作業系統汰換及更新計畫(Advanced Operational Aviation Weather System Renewal and Update, AOAWS-RU)」，並與美國簽訂「駐美國臺北經濟文化代表處與美國在臺協會間航空																							

	氣象現代化作業系統發展技術合作協議」「第十八號執行辦法」及「第十九號執行辦法」。本(113)年度為「第十九號執行辦法」計畫第 2 年，主要工作包含在總臺測試環境安裝新版演算法軟體、提交演算法測試評估報告及績效報告，並將於年底進行驗收交付。因此本年度教育訓練內容分為兩大部分：第一部分為講解各演算法如何進行校驗，利用列聯表分析等方法，輸出統計圖檔或文字檔，用以評估演算法整體成效；第二部分則針對過去三年的訓練課程進行總括複習，包含各演算法之科學原理、資料傳輸、演算法架構、參數設定等內容；另外透過實機操作，使學員對演算法校驗的流程有更進一步認識。
電子全文檔：	
附件檔：	
限閱與否：	否
專責人員姓名：	A15060000HA0
專責人員電話：	

# 摘要

為持續提升臺北飛航情報區飛航安全與服務品質，飛航服務總臺於民國 110 年至 113 年間推動「航空氣象現代化作業系統汰換及更新計畫(Advanced Operational Aviation Weather System Renewal and Update, AOAWS-RU)」，並與美國簽訂「駐美國臺北經濟文化代表處與美國在臺協會間航空氣象現代化作業系統發展技術合作協議」「第十八號執行辦法」(IA#18)及「第十九號執行辦法」(IA#19)。本(113)年度為 IA#19 計畫第 2 年，主要工作包含在總臺測試環境安裝新版演算法軟體、提交演算法測試評估報告及績效報告，並將於年底進行驗收交付。因此本年度教育訓練內容分為兩大部分：第一部分為講解各演算法如何進行校驗，利用列聯表分析等方法，輸出統計圖檔或文字檔，用以評估演算法整體成效；第二部分則針對過去三年的訓練課程進行總括複習，包含各演算法之科學原理、資料傳輸、演算法架構、參數設定等內容；另外透過實機操作，使學員對演算法校驗的流程有更進一步認識。



# 目錄

壹、	目的.....	2
貳、	過程.....	3
參、	課程內容摘要.....	5
一、	更新飛行中積冰診斷及預報產品(TCIP2/TFIP2).....	5
二、	升級亂流圖形化指引至第 4 版，並建置亂流圖形化指引及 時預報(GTG4/GTGN).....	17
三、	更新 NCAR 亂流偵測演算法(NTDA).....	29
四、	更新雲頂高預測產品(CTH/CDO).....	35
五、	更新機場雲霧與能見度預測產品(C&V).....	45
六、	發展 0-8 小時之風暴預報能力(ASPIRE).....	57
肆、	心得與建議.....	66
伍、	附錄.....	68

## 壹、 目的

本總臺為持續提升臺北飛航情報區飛航安全與服務品質，達成亞太地區飛航服務最佳提供者之組織目標，爰規劃於民國 110 年至 113 年間推動「航空氣象現代化作業系統汰換及更新計畫(Advanced Operational Aviation Weather System Renewal and Update, AOAWS-RU)」，並與美國簽訂「駐美國臺北經濟文化代表處與美國在臺協會間航空氣象現代化作業系統發展技術合作協議」「第十八號執行辦法」(IA#18)及「第十九號執行辦法」(IA#19)，主要目的係引進美國最新航空氣象科學及技術，打造符合本區航空氣象作業服務需求之航空氣象預報產品，以及國際民航組織(ICAO)系統廣泛資訊管理(System Wide Information Management, SWIM)要求之航空氣象資訊系統架構，確保臺北飛航情報區之航空氣象資料服務品質及穩定性，能持續與國際接軌，跟上先進國家腳步。

為順利推動 IA#19 相關工作，爰規劃前往美國國家大氣科學研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)底下的研究應用實驗室(Research Applications Laboratory, RAL)研習航空氣象預報演算法原理及技術，使總臺員工熟悉新一代演算法產品科學及技術知識，並使雙方合作發展之演算法產品科學及技術轉移順利，確保 AOAWS-RU 計畫執行成效符合預期。

本(113)年度是 IA#19 計畫第 2 年，本年度計畫主要工作包含在總臺測試環境安裝新版演算法軟體、提交演算法測試評估報告及績效報告、提交使用者回饋評估文件等項目，並將於年底進行驗收交付。因此本年度教育訓練內容分為兩大部分：第一部分為講解各演算法如何進行輸出結果校驗，產出統計圖表或數值檔案，用以評估演算法整體成效。訓練並安排至少 24 小時學員上機實作課程，使學員能在 NCAR 測試環境上執行演算法校驗程序。第二部分則針對各演算法背後的科學原理、資料傳輸、演算法架構、參數設定……等進行總括複習，包含過去 3 年教育訓練之全部教材內容，使學員們對各演算法有更完整的了解。

訓練期間透過講師與學員之間面對面問答，確保學員充分理解講師教授內容；學員也回饋 NCAR 演算法開發人員臺灣地區與航空氣象相關之氣候特徵，討論預報員日常作業如何使用 NCAR 演算法進行天氣監測與預報之情境，加強彼此對演算法相關內容之了解，並探討未來演算法發展之可能方向。

## 貳、 過程

### 一、日期：

本案教育訓練時間為 113 年 9 月 3 至 13 日，上午 8 至 12 時及下午 13 至 17 時(9 月 3 日自上午 9 時開始上課)，共計 71 小時。

### 二、參加人員：

臺北航空氣象中心溫主任氣象員文豪、陳主任氣象員浩昇及資拓宏宇公司蔡工程師宗裕，共計 3 人。

### 三、授課講師及課程內容如下表：

日期	時間	講師	課程主題
9/3	0800-1200	Dan Adriaansen	Lecture and supervised hands-on practice: Introduction to product verification -- IFI
	1300-1700	Dan Adriaansen	Review of production verification and hands-on practice + Q&A -- IFI
9/4	0800-1200	Ken Stone Josh Lave	Lecture and supervised hands-on practice: Introduction to product verification -- CTH/CDO
	1300-1700	Ken Stone Josh Lave	Review of production verification and hands-on practice + Q&A -- CTH/CDO
9/5	0800-1200	James Pinto Jeff Hancock	Lecture and supervised hands-on practice: Introduction to product verification -- ASPIRE
	1300-1700	James Pinto Jeff Hancock	Review of production verification and hands-on practice + Q&A -- ASPIRE
9/6	0800-1200	Bill Petzke	Lecture and supervised hands-on practice: Introduction to product verification -- C&V
	1300-1700	Bill Petzke	Review of production verification and hands-on practice + Q&A -- C&V
9/9	0800-1200	Greg Meymaris Jason Craig	Lecture and supervised hands-on practice: Introduction to product verification -- NTDA
	1300-1700	Greg Meymaris Jason Craig	Review of production verification and hands-on practice + Q&A -- NTDA
9/10	0800-1200	Hailey Shin Jason Craig Wiebke Deierling	Lecture and supervised hands-on practice: Introduction to product verification -- GTG
	1300-1700	Hailey Shin Jason Craig Wiebke Deierling	Review of production verification and hands-on practice + Q&A -- GTG

9/11	0800-1200	Jason Craig Dan Megenhardt Ken Stone	Review of previous training courses -- Shared applications; CTH/CDO
	1300-1700	Dan Adriaansen Dan Megenhardt	Review of previous training courses – IFI
9/12	0800-1200	Wiebke Deierling Hailey Shin Jason Craig	Review of previous training courses -- GTG/GTGN
	1300-1700	James Pinto Sue Dettling Dan Megenhardt	Review of previous training courses – ASPIRE
9/13	0900-1200	Greg Meymaris Jason Craig	Review of previous training courses – NTDA
	1300-1700	Bill Pezke	Review of previous training courses -- C&V

## 參、 課程內容摘要

### 一、更新飛行中積冰診斷及預報產品(TCIP2/TFIP2)

#### (一) IFI 介紹：

飛行中積冰(In-Flight Icing, IFI)為飛行器於航路上遇到的顯著危害天氣之一，由於雲層中含有大量低於 0°C 之液態過冷水滴，當飛機遭遇過冷水滴凝固於機翼上之現象稱為積冰，積冰現象會使機翼提供的升力減小及增加飛行的阻力，嚴重時會導致飛機失去控制。

當過冷水滴的粒徑超過 100 microns (=1mm)即定義為 SLD (Supercooled Large Droplets)，SLD 容易在機翼上形成不規則狀的積冰，使危害發生的機率增加。如圖 1。

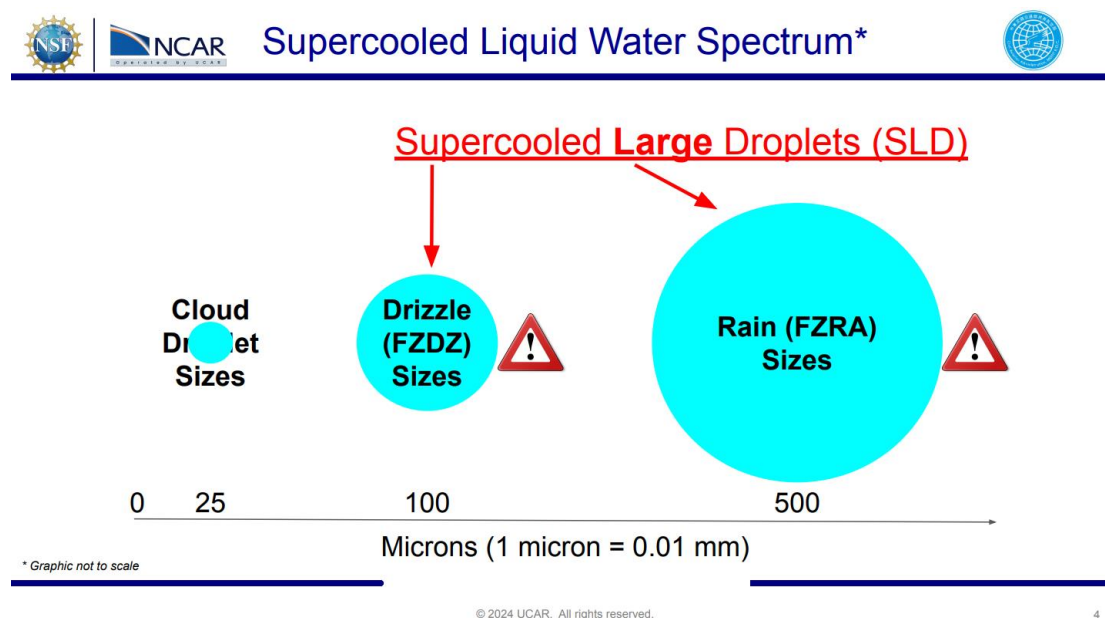


圖 1：過冷水滴粒徑分布

#### (二) TCIP2 & TFIP2：

美國國家大氣科學研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)利用現有的積冰即時診斷及積冰預報產品 2.0 版本(CIP2 & FIP2)開發出一套針對臺灣的積冰即時診斷和預報產品(TCIP2 & TFIP2)，目前已完成建置。

臺灣地區積冰診斷產品 2.0 版本(Taiwan Current Icing Product 2 - TCIP2)利用日本向日葵 9 號衛星資料(Himawari-9)、各機場之 METAR 資料、雷達及閃電資料、飛機報告、數值模式資料等進行演算，推估即時的 SLD 含量、積冰發生的機率及強度潛勢。如圖 2。



- Satellite, WRF\_D model, surface (D1/2/FIR)
- +Radar, Lightning (DFIR)
- Three outputs- Icing Probability, Icing Severity, and SLD Potential
- Runs on isobaric model data
- Fuzzy logic expert system
- Configurable output vertical levels
- More information can be found in [2021 AOAWS-RU training](#)

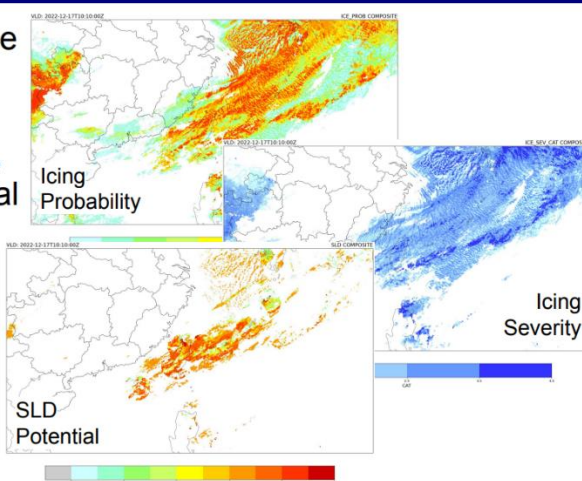


圖 2：TCIP2 簡介

臺灣地區積冰預報產品 2.0 版本(Taiwan Forecast Icing Product 2 - TFIP2)利用 WRF\_D 模式預報資料進行演算，輸出未來的積冰發生機率預報、積冰強度預報、SLD 潛勢預報等產品。如圖 3。



- WRF\_D Model Input
- Three outputs- Icing Probability, Icing Severity, and SLD Potential
- Runs on isobaric model data
- Fuzzy logic expert system
- Configurable output vertical levels
- More information can be found in [2021 AOAWS-RU training](#)

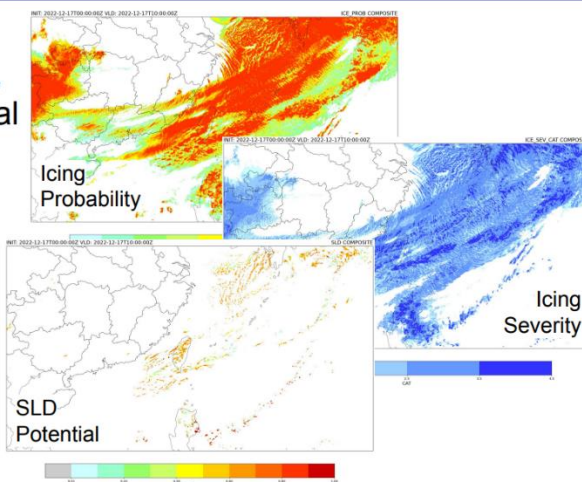


圖 3：TFIP2 簡介

TCIP2 提供的網格範圍有 Domain1、Domain2、DomainFIR 三種，空間解析度分別為 15km、3km、3km；TFIP2 提供的網格範圍有 Domain1、Domain2 兩種。如圖 4。

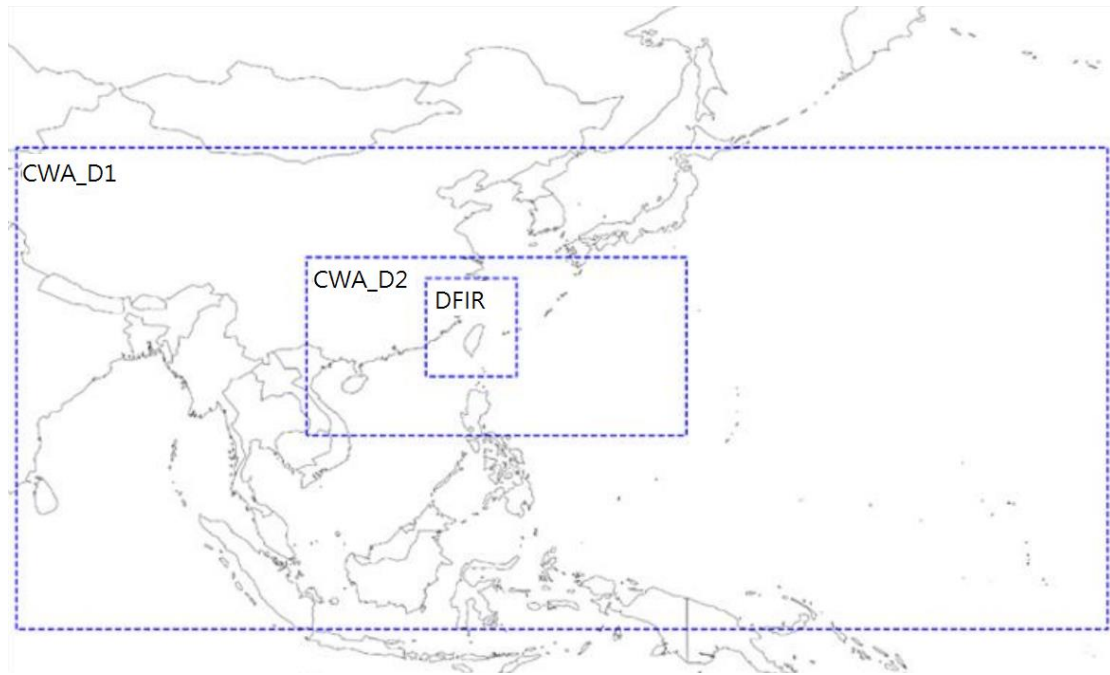


圖 4：使用與 CWA 之 WRF\_D 相同的 domain

TCIP2 輸入資料種類如下：

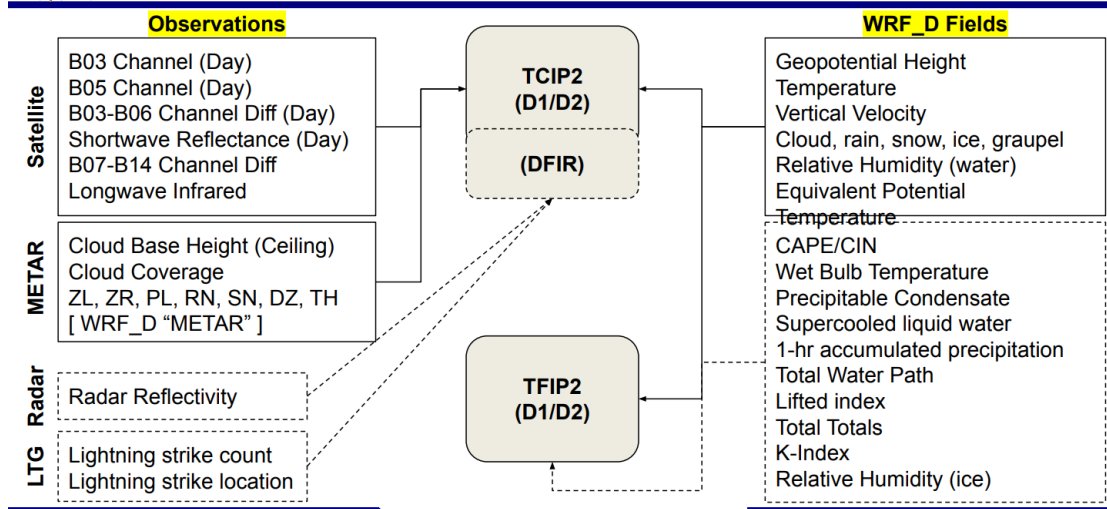
1. 衛星資料：
  - (1) Himawari-9 B03 & B05 channel，波長分別為  $0.64\mu\text{m}$  和  $1.6\mu\text{m}$ ，為可見光和近紅外光波段，分析雲的種類、粒徑大小分布，用以推估日間雲中液態水含量及水在雲中的相態。
  - (2) B03-B06 channel diff(日間)、B07-B14 channel diff(夜間)、日間短波輻射反照率，計算差值，推估積冰有可能存在的區域。
  - (3) 長波輻射可得知雲頂高度。
2. 機場觀測資料(METAR)：
 

各機場的 METAR 提供了整點和半點固定時間的雲量、雲幕高度、降雨型態和強度。
3. 探空資料。
4. 數值模式預報：
 

除了提供背景網格和等壓面坐標系之外，還補足了觀測資料不足的區域，幫助進行診斷和預報。
5. 另外針對 DFIR 導入了雷達和閃電資料。

TFIP2 輸入資料則是以數值模式預報為主。如圖 5。





© 2024 UCAR. All rights reserved.

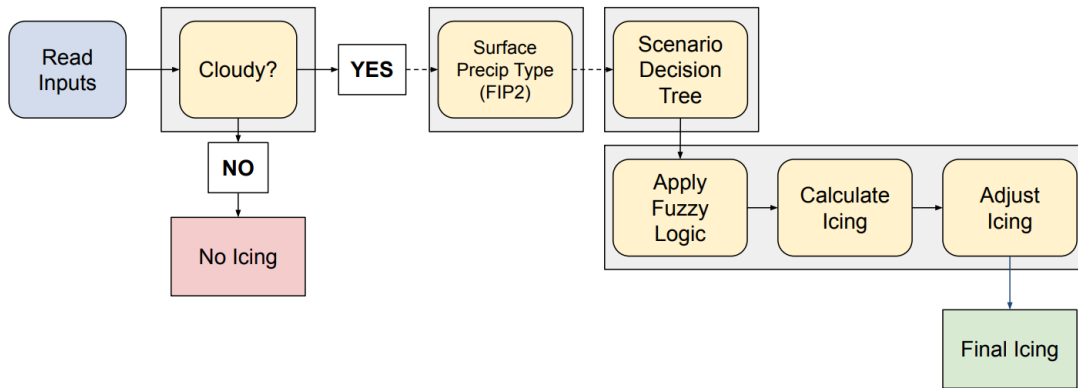
8

圖 5：TCIP2 & TFIP2 輸入資料種類

TCIP2 & TFIP2 演算法按照圖 6 的流程進行：

1. 判斷是否有雲，若有雲則進行下一步，無雲則表示無積冰發生的可能性。其中雲的判別方式如圖 7：TCIP2 以衛星和數值模式的溫度資料判斷雲頂高度，雷達和 METAR 可幫助判斷雲底高度，雷達回波和數值模式的相對濕度場可以判斷出雲層所在的位置；TFIP2 則是以數值模式推算是否有雲、雲底和雲頂高度、雲層厚度、雲層所在位置等。
2. 判斷降水種類並進入 Scenario Decision Tree 演算法，積冰發生的機率、SLD 發生潛勢、積冰的強度分別有不同的計算參數，而 TCIP2 和 TFIP2 觀測和數值模式資料所佔的比重也不同。如圖 8、圖 9。
3. 經過 Scenario Decision Tree 演算法之後，進行各種參數和權重調整，如晚上在缺乏衛星的可見光資料下，其他觀測資料和經驗公式的權重就會調高，不同降水種類也會影響最後的產出結果。最終會產出積冰發生的機率、SLD 發生潛勢、積冰的強度等結果，包含 TCIP2 積冰即時診斷和 TFIP2 積冰預報產品。

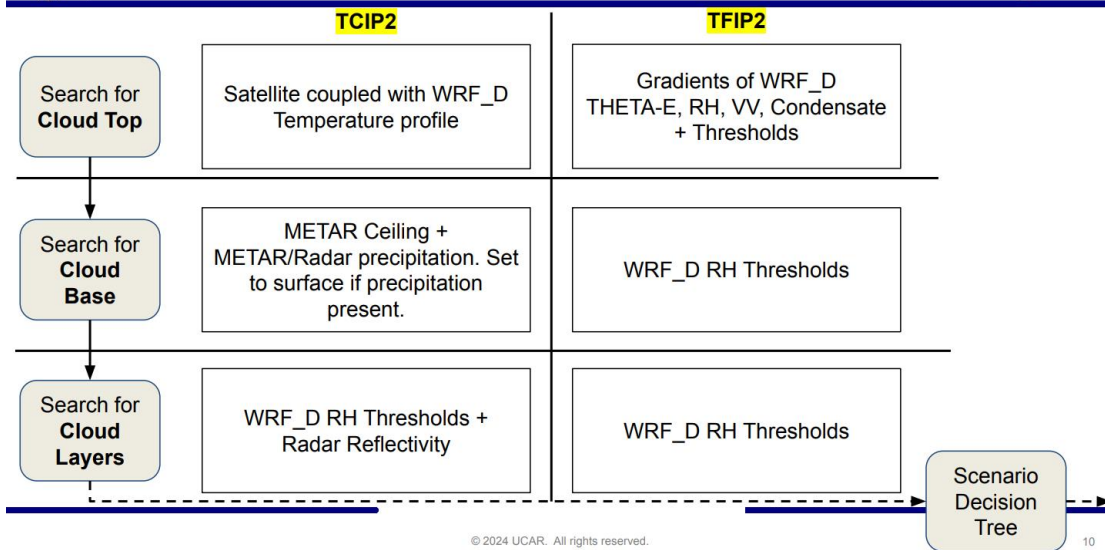




© 2024 UCAR. All rights reserved.

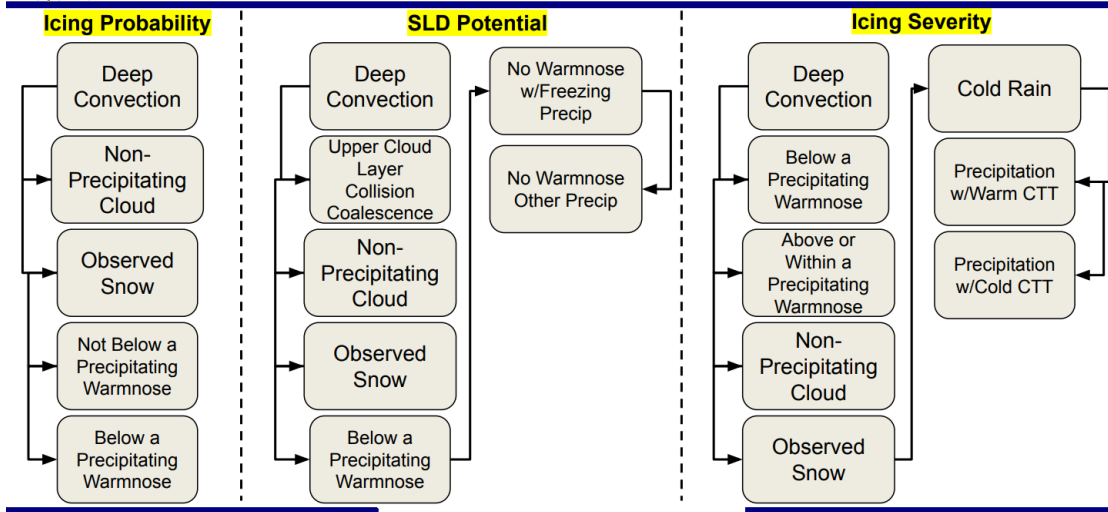
9

圖 6 : TCIP2 & TFIP2 演算流程



10

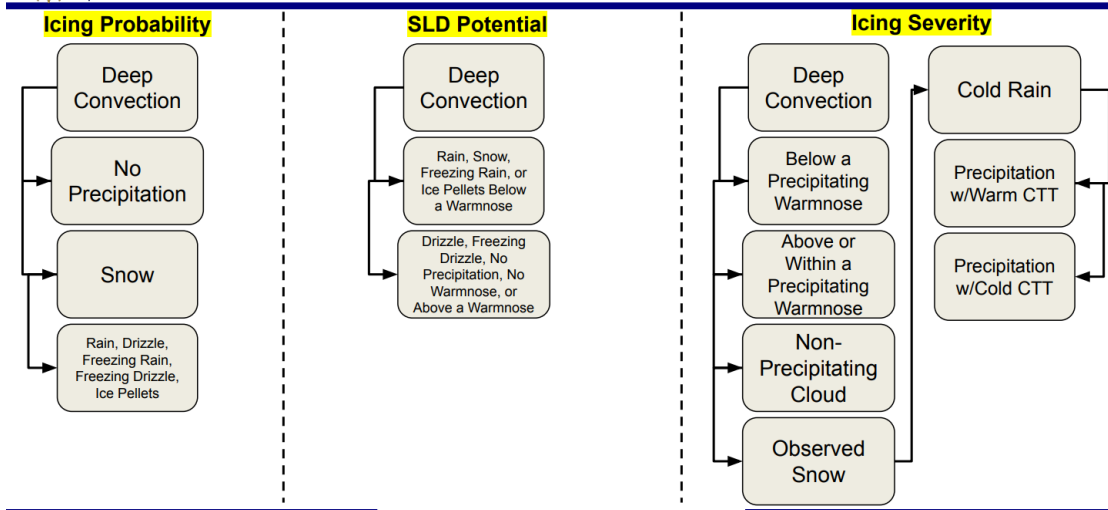
圖 7 : TCIP2 & TFIP2 雲層判別流程



© 2024 UCAR. All rights reserved.

12

圖 8 : Scenario Decision Tree for TCIP2



© 2024 UCAR. All rights reserved.

13

圖 9 : Scenario Decision Tree for TFIP2

(三) TCIP2 & TFIP2 校驗：

列聯表(Contingency Table)分析為氣象上常用的一種校驗方法，橫軸為觀測數值(真實值)是否有達到門檻值，縱軸為預報數值(模擬值、演算值)是否有達到門檻值。當預報值有到門檻，而實際觀測也達到門檻，定義為命中(Hits)；預報值沒有到門檻，而實際觀測達到門檻，定義為失誤(Misses)；預報值有到門檻，而實際觀測沒有到門檻，定義為假警告(False Alarm)；預報值沒有到門檻，而實際觀測也沒有到門檻，定義為負性正確(Correct Negatives)，如表 1。

預報 (Forecast)	觀測 (Observed)	Yes ≥ 門檻值	No < 門檻值
	Yes ≥ 門檻值	Hits (命中)	False Alarms (假警告)
	No < 門檻值	Misses (失誤)	Correct Negatives

表 1：列聯表分析

將上述統計表格數值加以運算，可以得到以下各項指標：

1. 偏移得分(Bias Score, BS)

$$BS = \frac{Hits + False\ Alarms}{Hits + Misses}$$

範圍在 0 到無限大之間，表示預報 Yes 相對觀測 Yes 的比例，>1 表示過度預報，<1 表示不足預報。

2. 可偵測機率(Probability of Detection, POD)

$$POD = \frac{Hits}{Hits + Misses}$$

範圍在 0 到 1 之間，表示觀測 Yes 事件被預報到的比例。

3. 誤報率(False Alarm Ratio, FAR)

$$FAR = \frac{False\ Alarms}{Hits + False\ Alarms}$$

範圍在 0 到 1 之間，表示有多少比例的預報 Yes 事件是假警報。

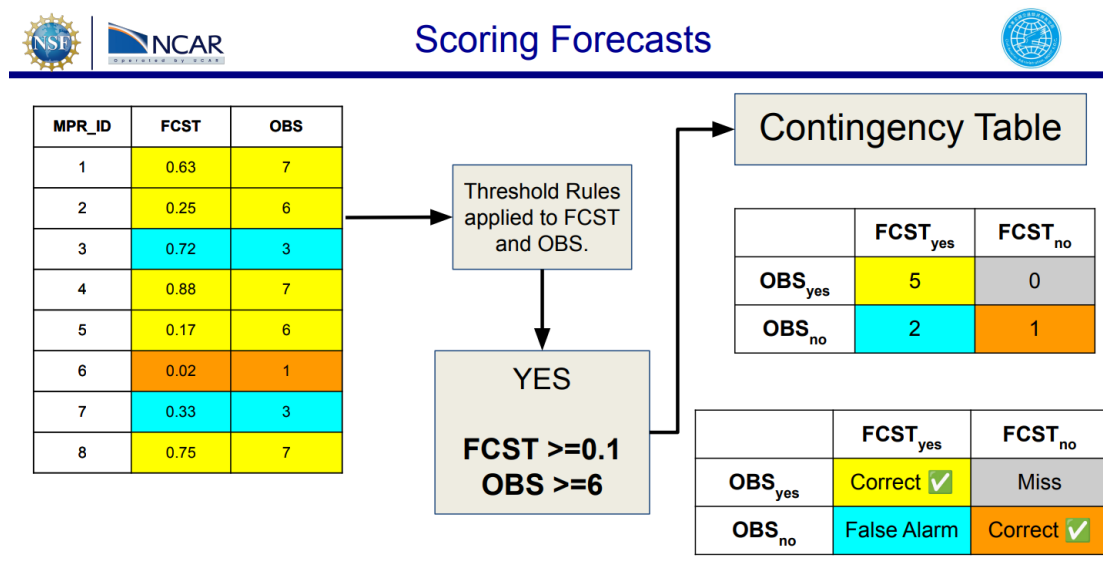
4. 預兆得分(Threat Score, TS)

$$TS = \frac{Hits}{Hits + False\ Alarms + Misses}$$

又稱為臨界成功指數(Critical Success Index, CSI)，排除預報及觀測皆未達門檻的狀況，可視為模式預報的正確率。

針對 TCIP2 & TFIP2 校驗，使用了可偵測機率(POD)當作指標。我們可以預設一個門檻值，當預報和觀測場的數值超過門檻值，即代表事件發生。如圖 10，預報的門檻值≥0.1，觀測的門檻值≥6，就表示事件發生，接著就使用工具進行校驗。整體來說，POD 數值越接近 1，表示該模式表現越好，在校驗過程中，

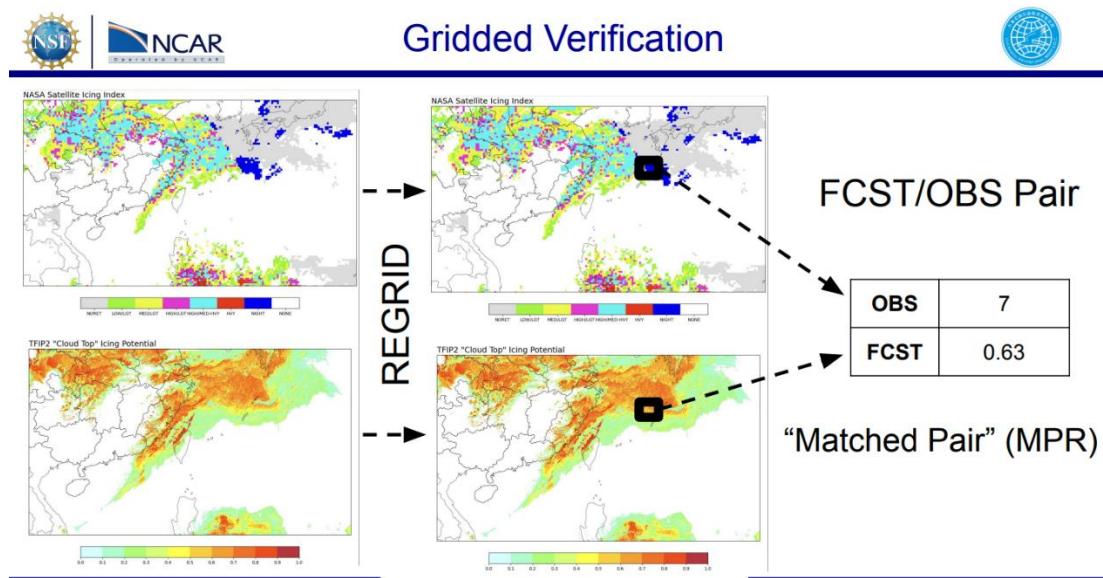
可以進行整面網格範圍的校驗及單點的校驗。如圖 11、圖 12。



© 2024 UCAR. All rights reserved.

10

圖 10：可預設事件發生的門檻值



© 2024 UCAR. All rights reserved.

7

圖 11：整面網格範圍的校驗

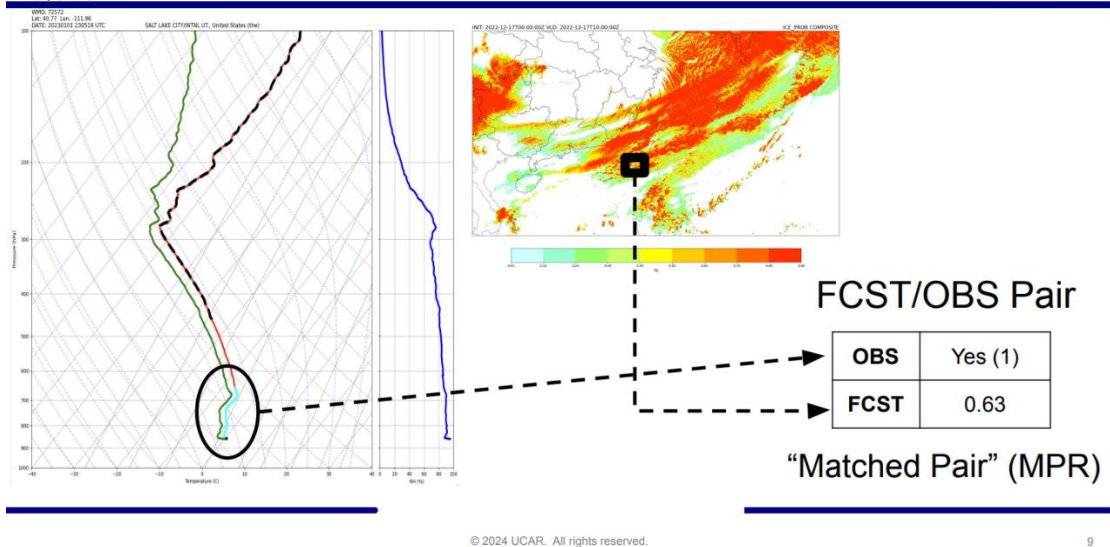


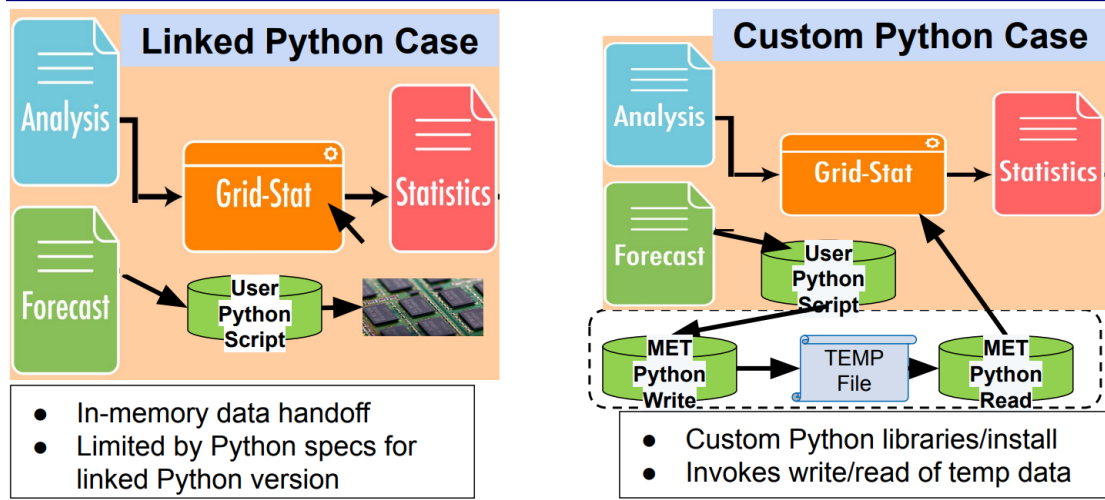
圖 12：單點校驗

除了 POD 之外也可以加入誤報率 FAR 的探討，畢竟 POD 並沒有考慮到 False Alarms 這個部分。如果同時參考 POD 和 FAR，除了可以知道模式對於積冰事件預報的正確率，也同時知道模式誤報的機率。

#### (四) TCIP2 & TFIP2 校驗流程：

TCIP2 & TFIP2 校驗工具使用 MET (Model Evaluation Tools)，MET 係由 NCAR、NOAA、美國空軍等單位協力支持。傳統模式預報校驗大多使用 python 程序進行，但因為會受到記憶體中資料切換和 python 的版本限制，而使模式校驗的成果受限，使用 MET 可以自行設置資料庫以及隨時輸入或讀取想要的資料或參數。如圖 13。

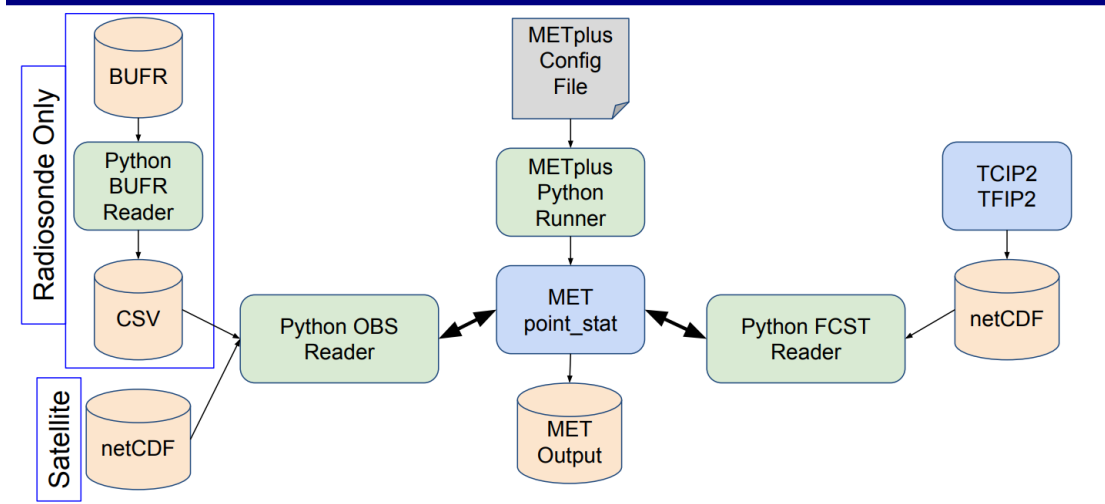
模式校驗的第一步先把觀測分析結果包含雷達、探空和衛星資料透過 python 程序進到 MET 資料庫中，此分析結果指的是把原始觀測資料進行客觀分析和資料同化，產出所謂的真實場；第二步將模式預報資料透過 python 程序進到 MET 資料庫中，其中可以自行進行參數設定；第三步將觀測分析結果和模式資料在資料庫中進行校驗；最後輸出模式校驗的結果。如圖 14。



© 2024 UCAR. All rights reserved.

14

圖 13：MET 和傳統 python 程序比較



© 2024 UCAR. All rights reserved.

5

圖 14：使用 MET 進行模式校驗流程

(五) 練習使用 MET 進行 TFIP2 校驗：

1. 使用自己的帳號登入 aoaws1.ral.ucar.edu
2. 建立練習的資料夾  
`mkdir ifi_training`
3. 進到 ifi\_training 資料夾中
4. 連結 MET 檔案  
`ln -s /home/dadriaan/training2024/git/METplus-5.0.1`  
`ls`

5. 在 ifi\_training 資料夾中建立 config 和 data 資料夾  
 mkdir config  
 mkdir data
6. 連結 python3  
 ln -s /data1/work/ifi/dadriaan/installs/miniforge3/envs/training2024/bin/python3
7. 執行 MET 程式，如圖 15。  
 python3 ./METplus-5.0.1/ush/run\_metplus.py -c ./git/ral-aoaws\_ru-icing/config/fip\_vs\_nasa\_grid\_stat.conf -c ./config/local\_training\_satvx\_fip.conf

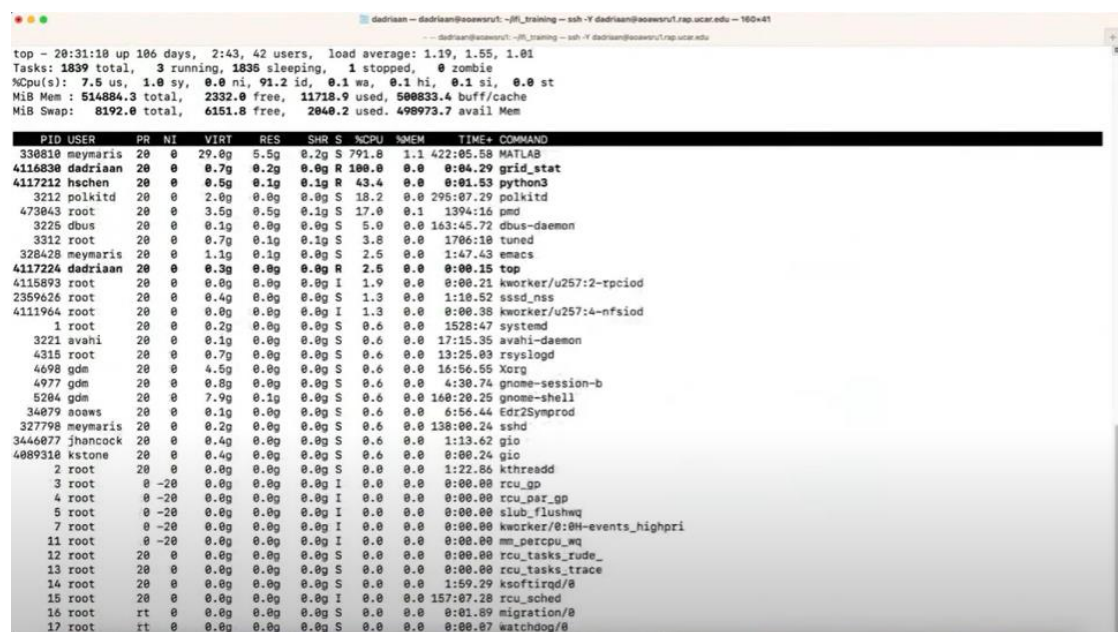


圖 15：MET 執行中

8. 最後可以到預設的資料夾中檢視執行 MET 程序的 log 和校驗的結果，如圖 16。



```
dadrian - dadrian@soesteruf: ~/rl_training - ssh -Y dadrian@soesteruf.rnp.ucar.edu - 08:24
dadrian@soesteruf: ~/rl_training - ssh -Y dadrian@soesteruf.rnp.ucar.edu
DEBUG 2: -----
-
DEBUG 2:
DEBUG 2: Processing ICE_PROB/P600 versus icing/P610-590, for observation type ADPUPA, over region FULL, for interpolation method MAX_SQUARE(64), using 10 matched pairs.
DEBUG 3: Number of matched pairs = 10
DEBUG 3: Observations processed = 367900
DEBUG 3: Rejected: station id = 0
DEBUG 3: Rejected: obs var name = 0
DEBUG 3: Rejected: valid time = 298432
DEBUG 3: Rejected: bad obs value = 10678
DEBUG 3: Rejected: off the grid = 57822
DEBUG 3: Rejected: topography = 0
DEBUG 3: Rejected: level mismatch = 958
DEBUG 3: Rejected: quality marker = 0
DEBUG 3: Rejected: message type = 0
DEBUG 3: Rejected: masking region = 0
DEBUG 3: Rejected: bad fcst value = 0
DEBUG 3: Rejected: bad climo mean = 0
DEBUG 3: Rejected: bad climo stdev = 0
DEBUG 3: Rejected: mpr filter = 0
DEBUG 3: Rejected: duplicates = 0
DEBUG 2: Computing Categorical Statistics.
907,8 98%
```

圖 16：檢視校驗結果

需要注意未來此系統上線時，主機和練習時不同、資料庫和程式所在的位置也不同，須調整所下的指令，但整體系統架構是一樣的。



## 二、升級亂流圖形化指引至第 4 版，並建置亂流圖形化指引及時預報(GTG4/GTGN)

### (一) 臺灣地區亂流圖形化指引第 4 版(Graphical Turbulence Guidance System version 4, GTG4)：

針對臺灣地區開發的 GTG4 有 domain 1 & 2 兩種空間尺度，分別使用 CWA-WRFD1 & CWA-WRFD2 為背景導出 GTG4 亂流預報產品，因此解析度和 WRF model 相同，domain1 為 15 公里、domain2 為 3 公里，垂直分層輸出從 1000~45000 呎，每 1000 呎輸出一次，另輸出 100 呎(近地面)、2500 呎(925hPa)、4800 呎(850hPa)。最終輸出結果為 GTGMAX，在 domain1 包含有晴空亂流 (Clear-air Turbulence, CAT)和山岳波(Mountain Wave Turbulence, MWT)；對流系統引發的亂流(Convectively Induced Turbulence, CIT)通常尺度很小，所以僅在 domain2 產製，產製範圍如圖 17。

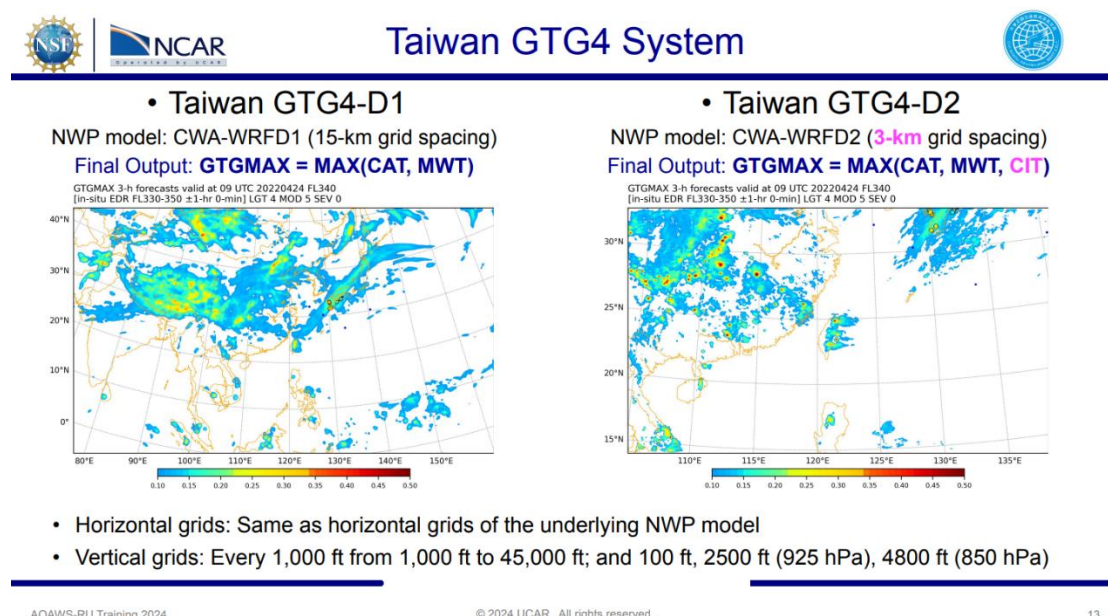


圖 17：台灣使用的 GTG4

### (二) GTG4 校驗：

GTG4 校驗使用的觀測資料來源有：

1. IATA 的飛行中亂流資訊(IATA in situ EDR)。  
時間解析度為 1 分鐘，約 12 公里，記錄每分鐘內發生的平均值和最大值。
2. 來自飛行員的亂流飛機報告(PIREP)，同樣以 EDR 表示。  
對於中型飛行器(如 B737)來說：  
輕度亂流的 EDR 門檻值為 0.15；  
中度亂流的 EDR 門檻值為 0.22；  
強烈亂流的 EDR 門檻值為 0.34。

### 3. NTDA 資料，用於校驗雲中的 CIT。

關於校驗的誤差統計，使用了平均絕對誤差(Mean Absolute Error, MAE)、方均根誤差(Root-Mean Square Error, RMSE)、偏差(BIAS)等方法，另使用 POD 和 FAR 當作校驗的指標，引進 ROC 曲線表現 POD 和 FAR 之間的權衡關係。

使用列聯表分析(表 1)，以中度以上亂流(MOG turbulence)為例，當門檻值大於等於 0.22 就表示亂流事件發生，若該事件有被預測到即為一個 hit。POD 用來描述預報正確的比例，POD 越接近 1，模式預報能力越好；FAR 用來描述過度預報發生的比例，FAR 越接近 0，過度預報越少發生。

如圖 18，使用橫軸為 FAR、縱軸為 POD 的 ROC 曲線來表示 GTG 模式預報表現。當 AUC score 越高，即曲線下的面積越大，表示整體統計結果 POD 分數越接近 1，而 FAR 越接近 0，GTG 模式預報表現越好；若 AUC = 0.5，表示沒有任何預報能力，理想狀態是 AUC 越接近 1。

模式校驗的表現也會和預設的 EDR 門檻值相關，假設門檻值設定很高，POD 和 FAR 分數都會很低，就會落在 ROC 曲線的左下角，畢竟模式不會預報到處都是強烈亂流，現實上強度越接近極值，發生的機率也越低，反之 EDR 門檻值設定很低，就會落在 ROC 曲線右上角。

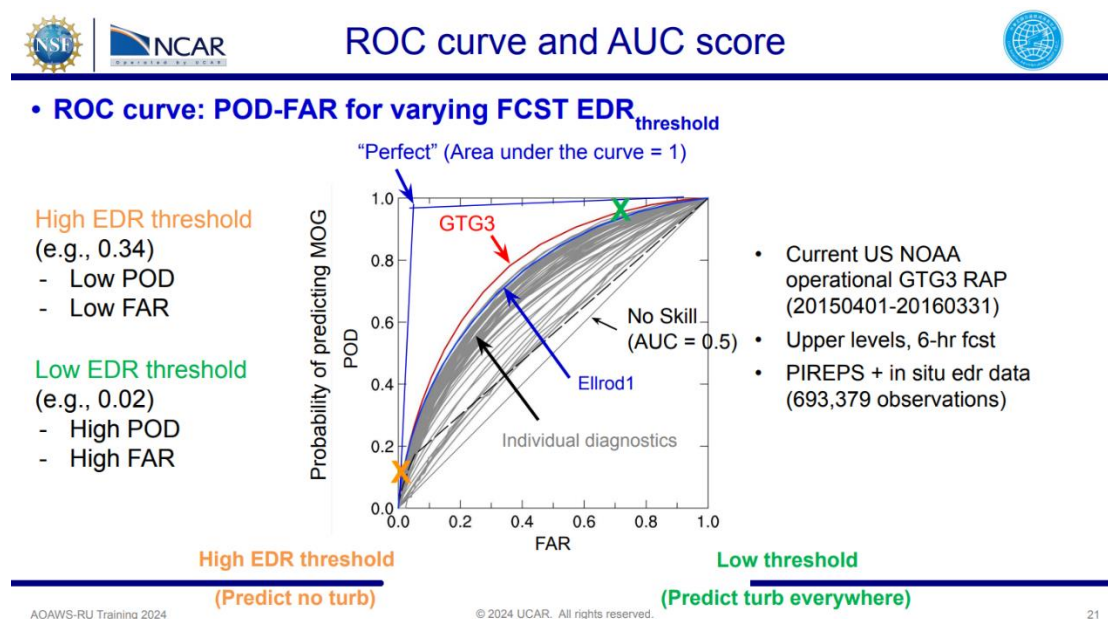


圖 18：ROC 曲線

隨著觀測資料更多及校驗技術進步，可以看到台灣的 GTG4 預報能力在 domain1 和 domain2 都有明顯提升，如圖 19。

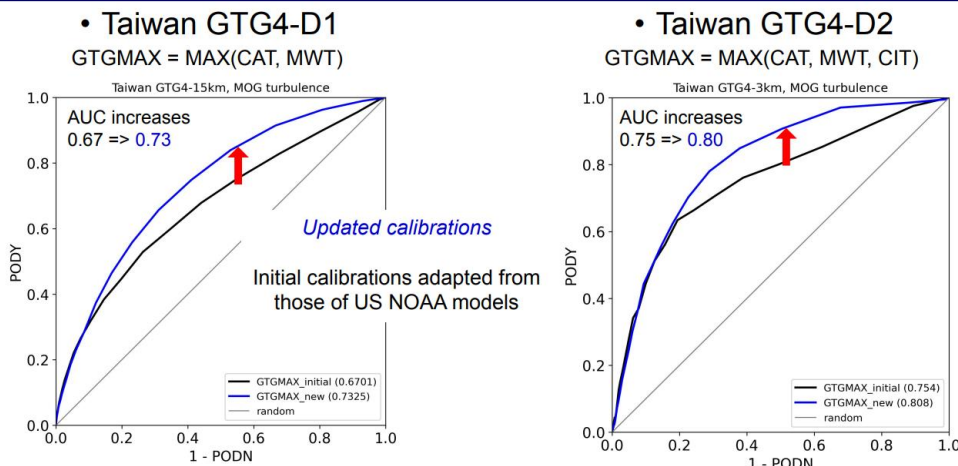


圖 19：台灣的 GTG4 表現提升

### (三) 課堂練習—GTG4：

GTG scoring run 可以用來檢驗 GTG 的預報得分，輸出結果後利用 `convert_gtg_scoring_txt2nc.py` 和 `compute_ROC_curve.py` 來進行後端處理。`convert_gtg_scoring_txt2nc.py` 將 GTG scoring run 輸出的文字格式轉換成 netCDF 格式，`compute_ROC_curve.py` 則用來計算 AUC score 和 ROC 曲線。

以下是 GTG scoring run 比較重要的設定：

1. 設定參數，可以設定校驗的時間區間、模式的初始時間和預報時間、輸出的空層等，如圖 20。

```
# gtg_run parameters
crunid          = 'GTGARWRF_CWBD2_414CITavg21'; | label for output files
zsmmin          = 0.0; | minimum altitude to compute
zsmmax          = 45000; | maximum altitude to compute } Same as in GTG4 forecast run
start_year      = 2021; | ifyearmin
start_month     = 07; | ifmonmin
start_day       = 01; | ifdaymin
end_year        = 2021; | ifyearmax
end_month       = 08; | ifmonmax
end_day         = 01; | ifdaymax
ihours          = 00,06,12,18; | list of init hours, e.g. 09,12,15...nitime
fhours         = 06; | list of fcst hours, e.g. 06,12,18...nftimes
```

- Due to the sparsity of in-situ EDR reports available over the CWA WRF domains, **it is recommend using at least two years' worth of in-situ EDR reports with GTG forecast outputs initialized every 6 hours at minimum to use the in-situ EDR reports available as much as possible.**
- NCAR used 6-h forecasts, initialized at 00, 06, 12, and 18 UTC, for a two-year period between 07/01/2021–06/30/2023, with a ± 0.5-h time window.

A longer time window, e.g., 1-h can be used.

圖 20：設定參數

2. 指定輸入的資料夾或檔案，如 IATA data、指定要校驗的模式等，如圖 21。



```

# assign input directories/files
fospfDir      = '';
DALgpfDir     = '';
ANZgpfDir     = '';
MFAgpfDir     = '';
AFrgpfDir     = '';
monthlyedrDir = '';
IATAedrDir    = '/data1/work/gtg/insitu_iata_nc_monthly/';
NTDAedrDir    = '';
udeDir        = '';
nldnDir       = '';
entlnlgtDir   = '';
nwpDir        = '/data1/archive/wrf//3km/';
nwpFileFormat = 'netcdf';
config_name    = 'gtg.config.ARWRF_CWBD2-wmwt-cit_EqWts_trop-strat_CITavg21_CATiata.dat';
actypefile     = '';
NTDAHGTFile   = '';

```

• nwpDir: All NWP files (wrfout\_d0\*) for multiple initial/forecast hours should be in the same nwpDir.

圖 21：指定輸入資料夾

3. 指定輸出的資料夾，如圖 22。

```

# assign output directories
cwdDir      = '/data1/work/gtg/test/';
FcstOutDir  = '/data1/work/gtg/test/fcst/';
PrintOutDir = '/data1/work/gtg/test/out/';
PDFOutDir   = '/data1/work/gtg/test/pdf_calib/';
SCOREOutDir = '/data1/work/gtg/test/score/';
PIOOutDir   = '/data1/work/gtg/test/PI/';

```

圖 22：指定輸出資料夾

4. 設定事件發生的水平半徑和垂直距離，如果有預測到在指定半徑內發生的亂流，即為得分。假設有一個亂流事件發生，可以在指定半徑內的網格點做平均分布、抓中位數或極值，或是強度隨著距離遞減等分布，如圖 23。

• Setup “scoring options”

– Parameter settings to use IATA in-situ EDR

```

# scoring options
rscore      =0.;
dzscore     =100.;
INCPREPS   =0FALSE.;
INCDALPREPS =.FALSE.;
INCANZPREPS =.FALSE.;
INCMFAIREPS =.FALSE.;
INCAFPREPS =.FALSE.;
TransitionAltitude =18000.;
usewakeclass =.FALSE.;
dptimef     =0.5;
dptimeb     =0.5;
lower_alt_limit =0.;
upper_alt_limit =45000;

```

• For each EDR obs, GTG scoring run outputs five types of GTGMAX values: average, median, minimum, maximum, and the nearest grid-point

• If rscore = 0 or rscore < grid spacing, the nearest 4 grid-point values are used.

Options to use PIREPs Set to .FALSE.

Options to use PIREPs

Observation altitudes to output obs-fcst pairs. You can either

- 1) Output obs-fcst pairs for altitudes of your interests
- 2) Output all altitudes and use subsets of them (e.g., troposphere, stratosphere) when compute verification metrics

圖 23：設定校驗半徑

5. 實際練習：

(1) 建立校驗資料夾：

```
mkdir -p /data1/work/gtg/verification_hschen/GTG_scoring/
```

(2) 將 input\_file\_name.dat、GTGARWRF\_CWBD2.input.Strat.1case、gtg.config.ARWRF\_CWBD2-wmwt-cit\_EqWts\_trop-strat\_CITavg21\_CATiata.dat 等檔案複製到自己的資料夾。

(3) 檢查輸入的資料 IATA 在 IATAedrDir 中，NWP files 在 nwpDir 中。

- (4) 前面已經指定了輸出的資料夾：FcstOutDir 存放 GTG 預報資料、SCOREOutDir 存放校驗分數。
- (5) 開始跑校驗分數：  
mpirun -n N GTG\_driver
- (6) 最後會在 SCOREOutDir 看到以下檔案：  
ObsIndex\_20210701-20210801\_i00-18f06CWBD2\_416CITavg21\_CATiata\_np32Q.dat
- (7) 打開檔案會看到校驗分數，如圖 24。

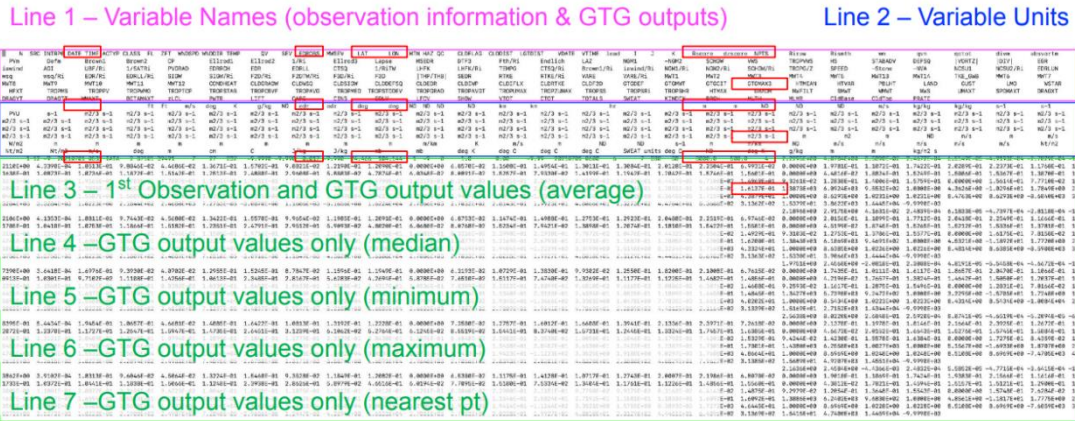


圖 24：GTG 校驗分數

convert\_gtg\_scoring\_txt2nc.py :

將 GTG scoring run 跑出來的文字檔案(ObsIndex\_20210701-20210801\_i00-18f06CWBD2\_416CITavg21\_CATiata\_np32Q.dat) 轉換為 netCDF 格式，如圖 25。

## Postprocessing GTG Scoring Output

- Run Program 1: python convert\_gtg\_scoring\_txt2nc.py
  - Input file:  
ObsIndex\_20210701-20210801\_i00-18f06CWBD2\_416CITavg21\_CATiata\_np32Q.dat
  - Output files

```
netcdf ObsIndex_20210701_i00-18f06GTGARWRf_CWB2_414CITavg21 {
dimensions:
    numEDR = 11 ; ← Number of observed EDR records
    numPTS = 5 ; ← GTG interpolation method
variables:
    float unix_time(numEDR) ; 1 - average
    float FL(numEDR) ; 2 - median
    float LAT(numEDR) ;
    float LON(numEDR) ; 3 - minimum
    int MTN(numEDR) ; 4 - maximum
    float CLDFLAG(numEDR) ; 5 - nearest grid point
    float OBS(numEDR) ;
    float PBLHT(numEDR) ;
    float TROPVAG(numEDR) ;
    float GTGMAX3(numPTS, numEDR) ;
    GTGMAX3:FillValue = -9999.f ;
}
```

Note: Daily netcdf files are created only if both in-situ EDR obs and GTG forecasts are available.

圖 25：文字檔轉為 netCDF 格式

compute\_ROC\_curve.py :

輸入已經轉檔完成的 netCDF 檔案，輸出 ctable.txt、roc.txt、auc.txt 三個檔案，其中 ctable.txt 為不同門檻值下的 2x2 列聯表分析，可用於計算 POD 和 FAR；roc.txt 為 POD 和 FAR 計算的結果；auc.txt 為 AUC score 之計算結果。如圖 26。

**Postprocessing GTG Scoring Output**

- Run Program 2: compute\_ROC\_curve.py
  - Input file: daily netcdf files of obs-fcst EDR pairs for a verification period desired
  - Output files: three text files
- 2x2 contingency table for varying EDR thresholds (ctable.txt)
- PODY, PODN, and FAR for varying EDR thresholds (roc.txt)
- AUC score (auc.txt)

圖 26 : compute\_ROC\_curve.py 輸出三個檔案

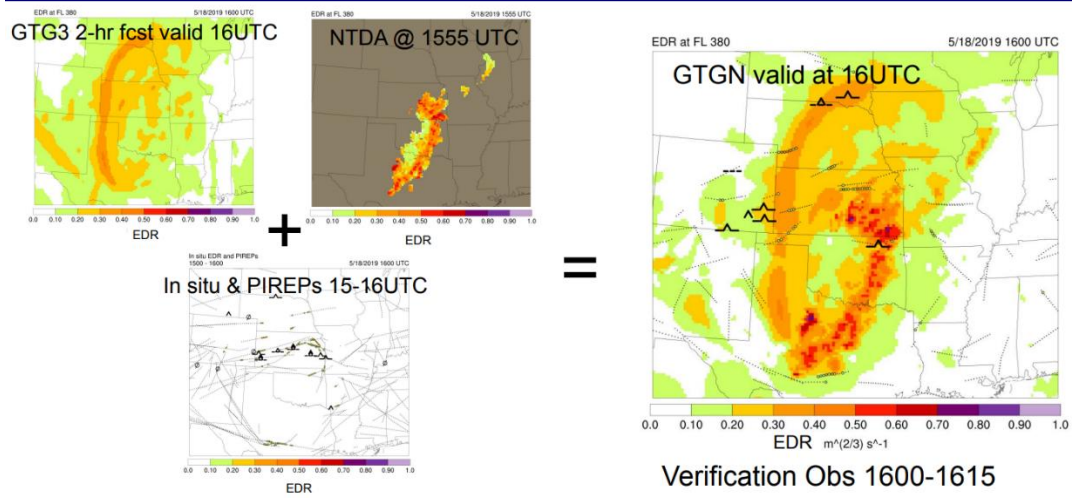
#### (四) 亂流圖形化指引(Graphical Turbulence Guidance Nowcast , GTGN)介紹：

GTG 為 NCAR 使用模式預報資料，透過演算法導出亂流數值，再透過各種各種觀測或演算法產品資料（NTDA, In situ EDR data, PIREP……）相互校驗，再將數值以 EDR 表示，最後輸出圖像化的亂流預報產品。目前 GTG 更新至第 4 版，為 GTG4。

GTGN 係以 GTG 為基礎，導入最新的亂流觀測資料來校正 GTG 的預報，建立混和即時預報產品，產品的有效預報區間更接近當下時間。目前 NCAR 的 GTG 使用了涵蓋整個美國本土的 RAP model，解析度為 13 公里。GTGN 每 15 分鐘更新一次。GTGN 可以量測低空風切、晴空亂流、山岳波，輸出 EDR 數值  $\epsilon^{1/3}$  (單位  $m^{2/3} s^{-1}$ ) 的 3D 網格。即時預報的垂直解析度從地面至 50000 英尺，每 1000 英尺輸出一次。18000 英尺以下使用以海平面為基礎的海拔高度，18000 英尺以上使用 flight level (FL)。

如圖 27，使用 GTG 短期亂流預報、NTDA 亂流資料、飛行中的亂流資料和飛機報告等經過演算產出 GTGN 即時亂流預報，而亂流預報透過圖像的方式呈現。由於 GTGN 15 分鐘會更新一次，所以可以即時驗證產出結果。



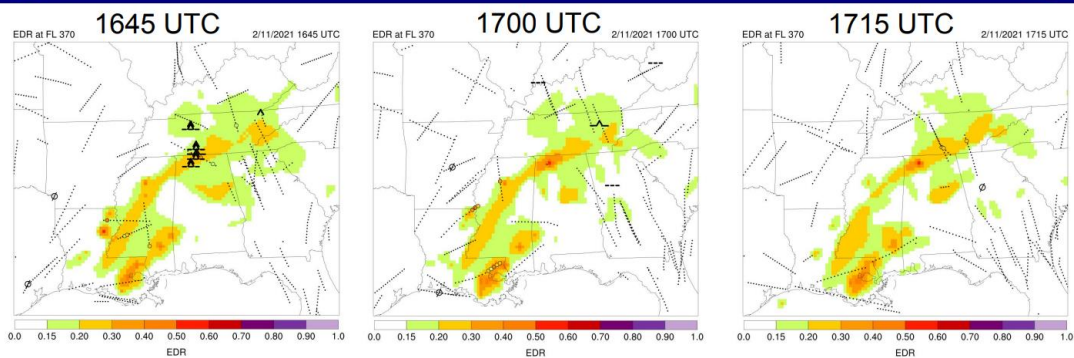


© 2024 UCAR. All rights reserved.

17

圖 27：GTGN 輸入資料

如圖 28，在 2022/02/11 的個案中，GTGN 準確掌握了中度或以上亂流發生的區域，同時可以在畫面中同時顯示該時間發生的飛行中亂流報告，透過實際亂流報告的驗證，可以看到在此事件中 GTGN 對於亂流區域和強度的掌握和實際相符。



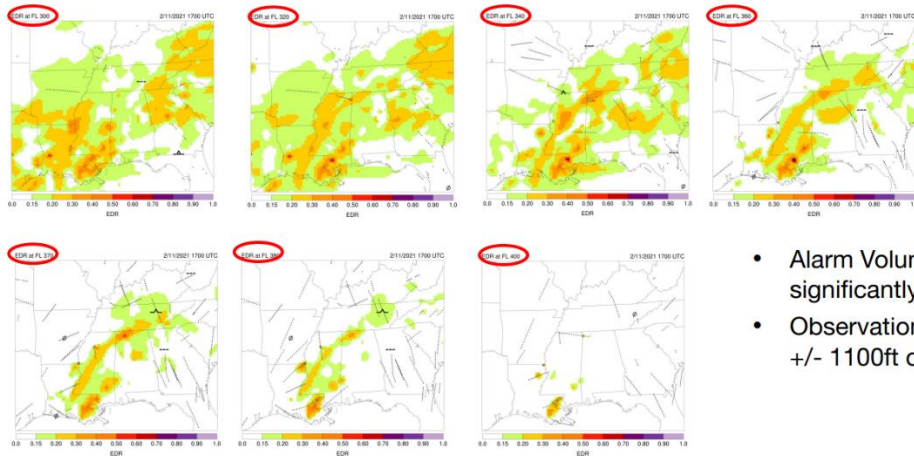
- Real Time GTGN, FL370. Verification observations +/- 2100 ft around FL370
- GTGN shows areas of MOG turbulence corresponding to the precise locations of several Mod and Mod-Sev PIREPs, as well as numerous elevated in situ EDR reports in LA, MS and TN over this time window.
- Null in situ EDR reports (dots) around these events are in areas GTGN shows as null to light turbulence.
- GTGN shows skill in correctly identifying narrow regions of MOG turbulence and adjacent null turbulence.

© 2024 UCAR. All rights reserved.

20

圖 28：GTGN 圖像和實際發生的亂流報告

如圖 29，在同一個亂流事件中，可以檢視不同空層的 GTGN 數值，掌握亂流最強的區域和高度。



- Alarm Volume changes significantly with altitude
- Observations shown are +/- 1100ft of FL

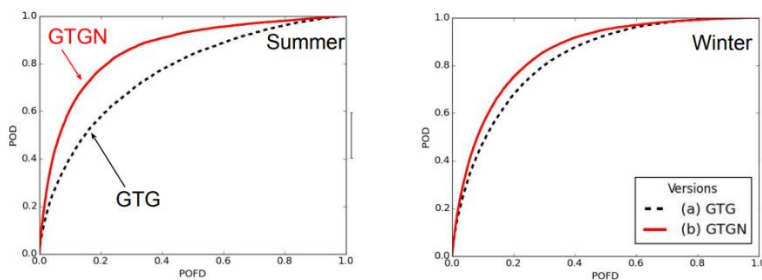
© 2024 UCAR. All rights reserved.

21

圖 29：同一個事件中不同空層的亂流分布

值得注意的是，GTGN 和 GTG 相比，對於亂流的掌握程度，在夏季比在冬季改善幅度更大，這是由於夏季更多熱對流發展：熱對流一般來說時間、空間尺度更小，瞬時變化更大，隨著模式預報時間拉長，可預報度會大幅降低，因此更需要即時的診斷與預警。GTGN 就是導入了最新的觀測資料，產出即時的診斷分析，因此在熱對流更多、可預報度較低的夏季，GTGN 有更好的表現，如圖 30。

- Evaluation: ROC curve comparison of GTG versus GTGN for **summer and winter months**



© 2024 UCAR. All rights reserved.

23

圖 30：GTGN 夏季改善幅度比冬季更大

(五) GTGN 資料架構：

如圖 31，目前 GTGN 輸入資料有即時觀測資料和模式預報資料兩大部分。



即時觀測資料有 IATA 飛行中亂流報告、NTDA 資料，GTGN2 還會加入閃電、地面風速及陣風資料。模式預報資料主要使用 GTG model。未來還有可能導入來自衛星產品運算出來的亂流資料(如大氣波動和 overshooting tops 就是對流雲系發展最高處會有衝過對流層頂的現象)與廣播式自動回報監視系統(ADS-B)的 EDR 資料。

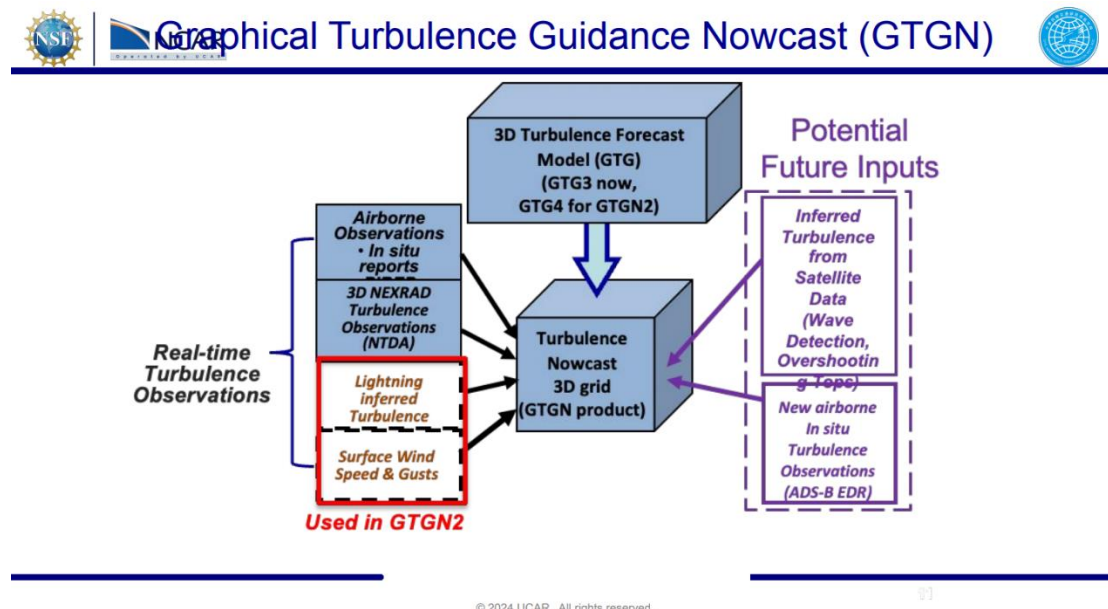


圖 31：GTGN 資料架構

#### (六) GTGN 在台灣的適用情形：

GTGN 在台灣的資料輸入和輸出如圖 32。

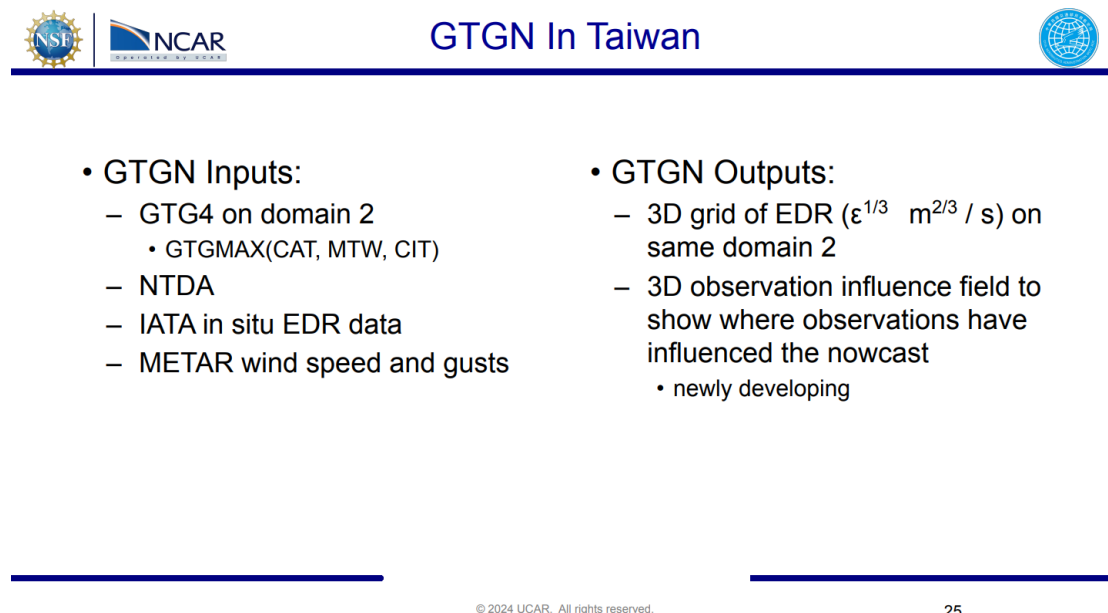


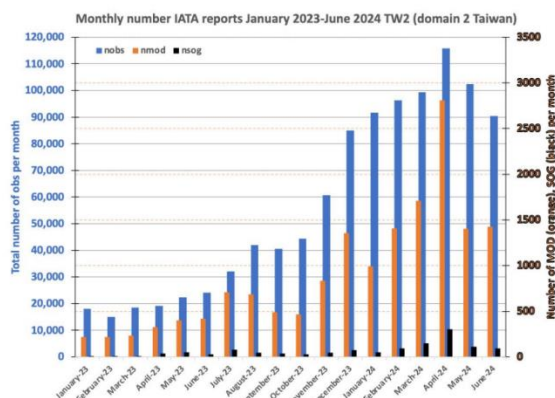
圖 32：GTGN 在台灣的資料輸入和輸出

輸入 GTGN 的資料種類如下：

1. Domain 2 的 GTG4 資料：包含晴空亂流 (CAT)、山岳波 (MTW)、對流引起的亂流 (CIT)。
2. NTDA 資料。
3. IATA 的飛行中實際亂流報告 (in situ EDR data)：和去年相比，今年接收的實際亂流報告數量有明顯提升，如圖 33。
4. 機場 METAR 的風速和陣風。



## Monthly IATA EDR reports over Taiwan



Aviation Applications Program  
Research Applications Laboratory

AOAWS-RU Training 2024

© 2024 UCAR. All rights reserved.

29

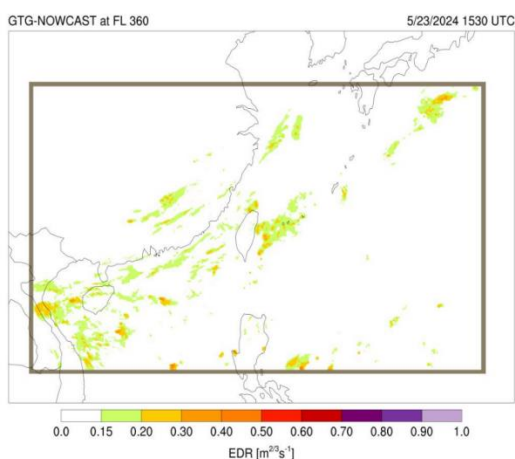
圖 33：沿著時間軸可看出 IATA 實際亂流報告明顯增加

GTGN 的輸出資料種類：

1. Domain 2 的 EDR 3D 網格資料，如圖 34。



## GTGN in Taiwan: Output



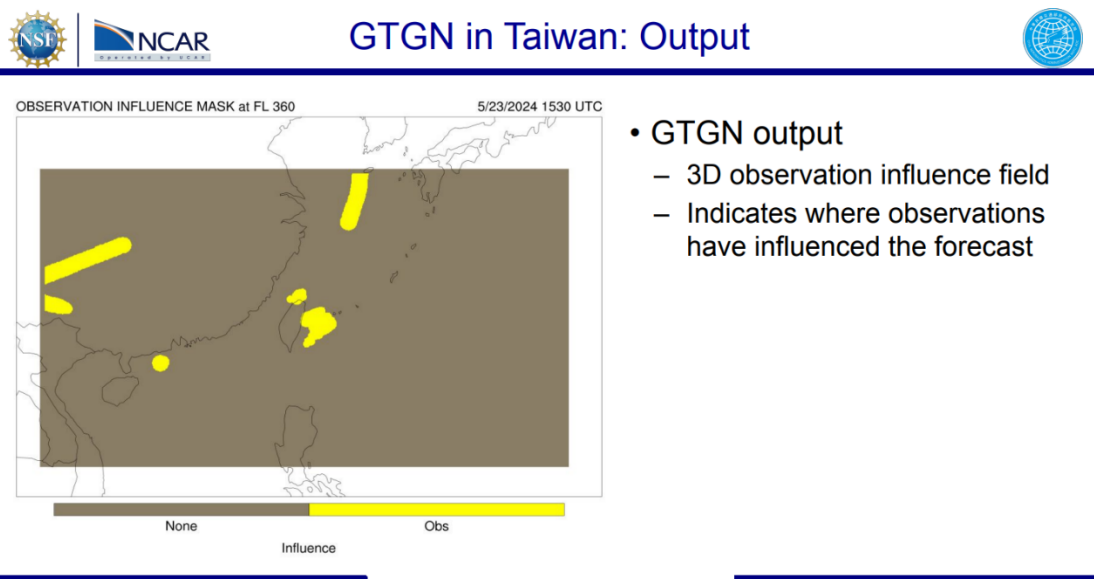
### • GTGN output

- Same grid as WRF-D2 with 3-km horizontal spacing and same vertical levels as GTG4 WRF-D2 output
- Output in EDR

© 2024 UCAR. All rights reserved.

圖 34：GTGN 輸出資料

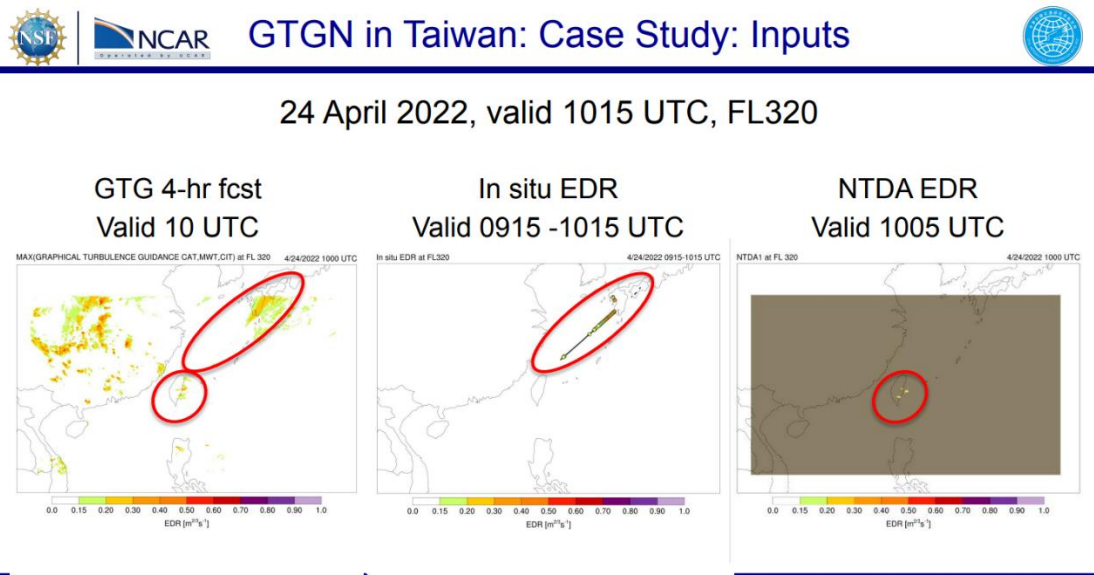
2. 3D 的觀測影響場：可以顯示即時預報場受到觀測資料改變的區域，這是目前新開發的功能，如圖 35。



© 2024 UCAR. All rights reserved.

圖 35：黃色部分為預報場受觀測資料改變的區域

圖 36、圖 37、圖 38 為 GTGN 實際個案(2024/04/22)展示，可以看到 GTGN 導入了前述的資料之後，產出的即時預報產品和 GTG 的比較，在臺灣東部海面上與部分山區的亂流區域以及日本九州附近航路上的亂流區域受到輸入資料改變(圖 38 圈起來的部分)。整體來說，NTDA、IATA 飛行中亂流報告、臺灣附近區域還有機場的 METAR 等輸入資料補足了原有 GTG 預報不足的部分。

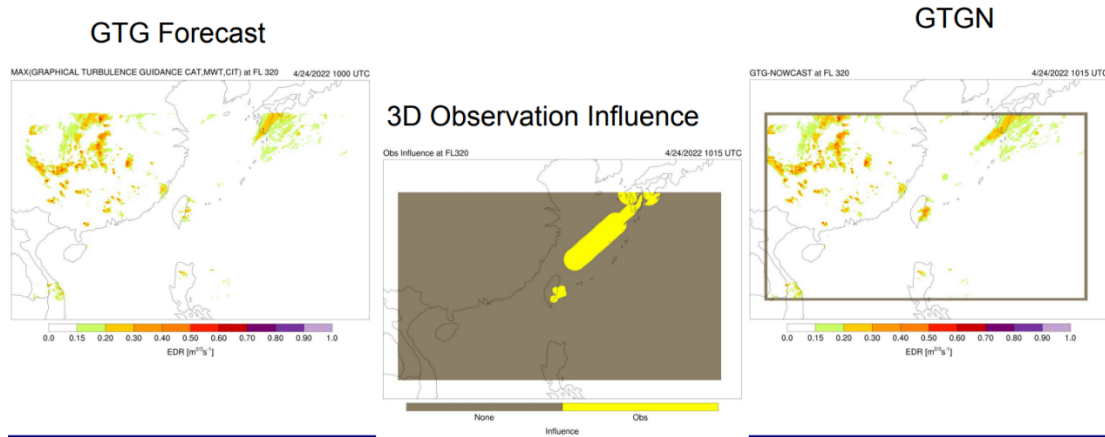


© 2024 UCAR. All rights reserved.

33

圖 36：此案例中的 GTGN 輸入資料

24 April 2022, valid 1015 UTC, FL320



34

圖 37：可以看出 GTG 受輸入資料改變的區域

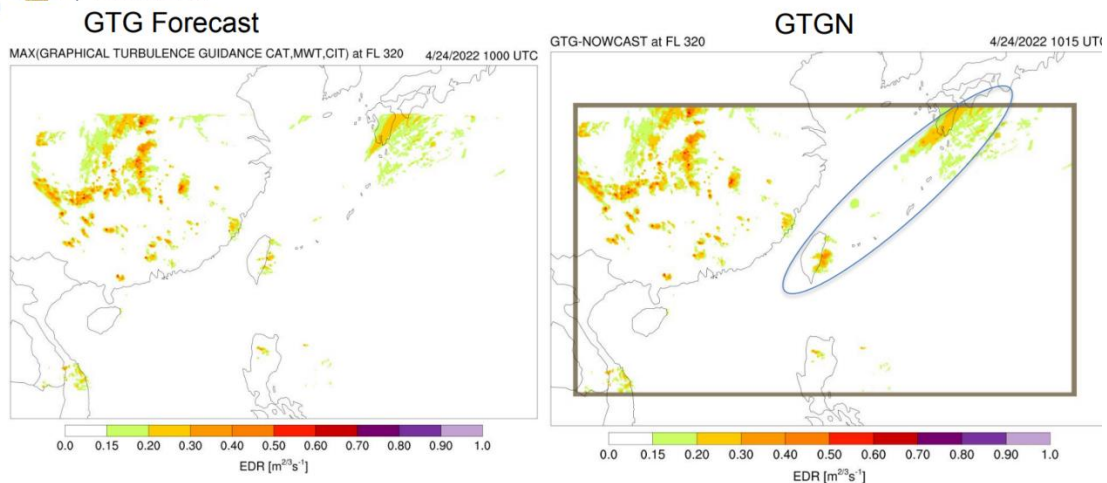


圖 38：最終 GTGN 輸出結果和 GTG 比較

### (七) GTGN 總結：

1. GTGN 每 15 分鐘更新一次即時亂流預報資料。
2. 目前輸入的觀測資料有 NTD A、IATA 飛行中亂流報告、機場的 METAR。
3. 輸入的觀測資料修改 GTG 預報，使 GTGN 產品能更好的描述短時間內會遭遇到的亂流情況。

### 三、更新 NCAR 亂流偵測演算法(NTDA)

#### (一) NCAR 亂流偵測演算法產品(NCAR Turbulence Detection Algorithm.

##### NTDA)介紹：

飛行中遭遇的亂流可大致分類為晴空亂流(Clear Air Turbulence, CAT)和雲中亂流(In-Cloud Turbulence)兩大類別，NTDA 是 NCAR 為了要偵測和預報雲中亂流所開發出的演算法產品。

首先我們必須先定義亂流的強度，但是航機大小不同，對於亂流的感受也不同，因此國際上使用渦流消散率(Eddy Dissipation Rate, EDR)作為亂流強度的客觀描述。NCAR 所有的亂流產品，包含 NTDA、GTG、GTGN 等都是使用 EDR 作為亂流強度指標。

作業上收到航機的亂流報告時，通常已經在事件發生之後一段時間了，為了提前作亂流偵測，NTDA 使用氣象雷達資料事前做演算法分析，由於使用雷達為資料來源，因此 NTDA 產品本身有受限於雷達條件的使用限制：

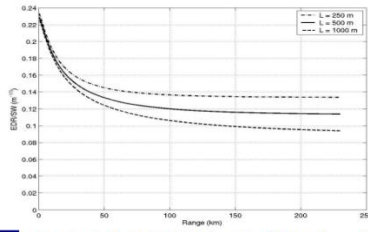
1. 對於剛發生的上升氣流或薄的風切層可能不適用。
2. NTDA 僅能辨識徑向速度變化，因此不易偵測出垂直風切。
3. 雷達掃描仰角高角度區域，NTDA 在每一層之間的縫隙也會變大。
4. 受限於地形及雷達掃描仰角限制，NTDA 在近地面涵蓋範圍有限制。
5. 無法完全濾除雷達資料中的大氣雜訊(海沫、地形、閃電、無線電……等)。
6. 大氣亂流基本上是一種統計數值，因此沒有精確的測量。
7. NTDA 不考慮水氣慣性效應，因此在大雨或冰雹中可能不太準確。
8. NTDA 是一種推斷性的測量數值(回顧性的)，而非預測性。

#### (二) NTDA 資料處理流程(如圖 39)：

1. 檢視資料中的雜訊。
2. 評估頻譜寬度(Spectrum Width, SW)，透過模糊邏輯測量品質。
3. 使用距離相關函數將 SW 轉換成 EDR。
4. 計算可信度加權平均 EDR 和可信度值。
5. 以距離權重合併所有雷達 NTDA 數值。



- Detect and censor contaminated data
- Assess spectrum width (SW) measurement quality via fuzzy logic
- “Scale” SW to EDR using range-dependent function
- Compute local confidence-weighted average EDR and confidence



Theoretical NEXRAD “scaling” function,  $f(r)$

UCAR Confidential and Proprietary. © 2014, University Corporation for Atmospheric Research

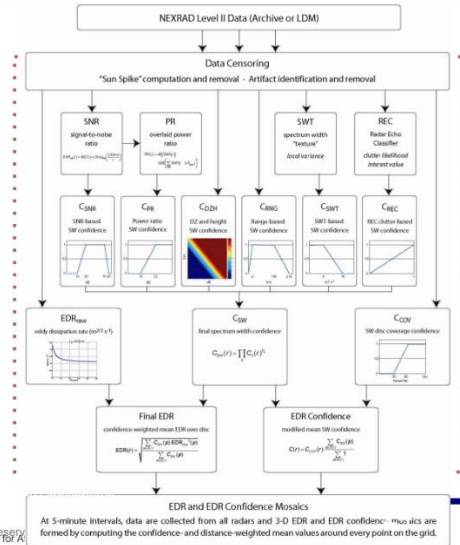
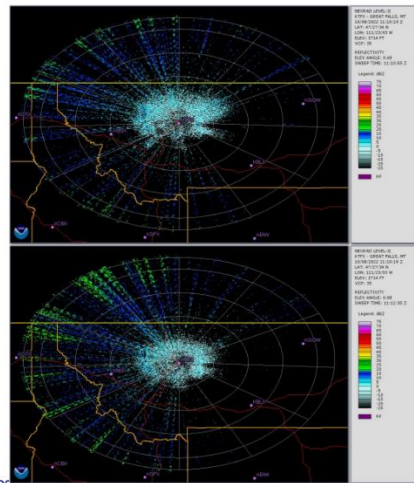


圖 39：NTDA 資料處理流程

射頻干擾(Radio-frequency Interference, RFI)會影響頻譜寬度測量，且通常很大，因此應該要審查 RFI 出現的區域，目前 RFI 逐漸成為顯著的問題，因此 NTDA 導入了新的演算法偵測 RFI。如圖 40，大部分的 RFI 有辦法被 NTDA QC 演算法掌握，但還是有一些 RFI 還是留下了，因為目前 QC 假設 RFI 的範圍沒這麼大。

- Upon investigation (still on-going), it was found that KTFX was experiencing severe amounts of RFI.
- It can be seen that much of the RFI was handled by the NTDA QC, but some did make it through because the current RFI QC assumes RFI is not this widespread.



Aviation Applications Program  
Research Applications Laboratory

© 2024 UCAR. All rights reserved.

AOAWS-RU Training 2023

33

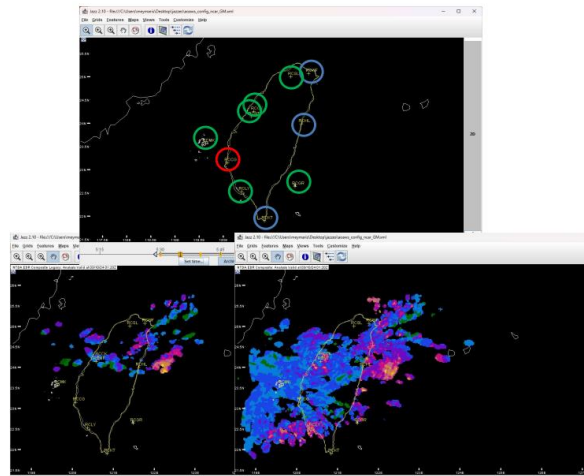
圖 40：RFI 示意圖

### (三) NTDA 針對台灣的適用狀況：

本次 NTDA 更新，主要是新增了更多雷達資料，包含 S-band 和 C-band 雷達，除了七股雷達因為資料格式不合未導入，目前總共導入 9 個氣象雷達資料，

如圖 41。比較原本只使用 S-band 雷達，新增了 C-band 雷達資料使 NTDA 水平和垂直空間偵測表現有了大幅度的提升。

- One of the primary goals was to add additional radars.
  - Effects from using C-band: SW/EDR scaling, SW quality (including effects from lower Nyquist velocity)
  - Standard tasks: Contaminant mitigation (ground clutter, sea clutter, RFI, etc.), Radar operational modes, data format.



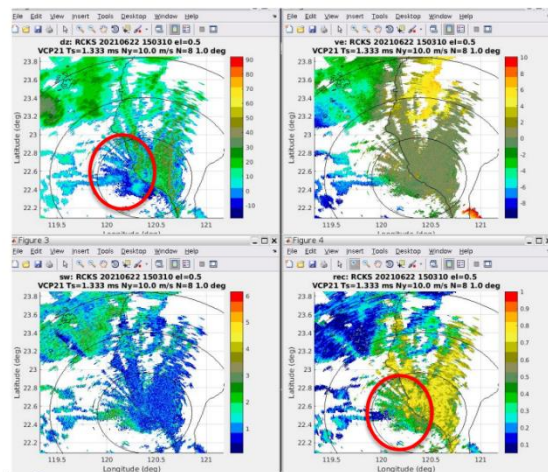
Aviation Applications Program  
Research Applications Laboratory

圖 41：雷達資料更新

目前使用 Gemtronik2Netcdf 或 Nexrad2Netcdf 軟體處理每個雷達資料，如五分山雷達使用 Nexrad2Netcdf，其餘雷達使用 Gemtronik2Netcdf，若未來雷達資料格式發生變化，則需要修改 Gemtronik2Netcdf 或 Nexrad2Netcdf 軟體，確保雷達資料可正常使用，該狀況已發生在去年和今年夏天墾丁和花蓮雷達上。

另外雷達資料需要過濾來自地面和海面上的雜訊，如圖 42 為處理林園雷達站海面上的雜訊，目前處理海面上的雜訊仍有一定的難度，因為它是移動雜波和海沫混和在一起，強度較強的雜訊仍然無法完全被移除。

- At right, we see sea clutter from RCLY(aka RCKS).
- Sea clutter is difficult since it is a blend of moving clutter (not a wind tracer) and sea spray (a wind tracer).
- Sea clutter that is weaker is removed but not the stronger.



Aviation Applications Program  
Research Applications Laboratory

圖 42：海上雜波

#### (四) 練習使用 JAZZ 看 NTDA 產品：

1. 登入 aoawsru2.rap.ucar.edu
2. runas ntda
3. cd jazzTraining
4. ./runJazz\_training

JAZZ 實機操作畫面如圖 43、圖 44、圖 45、圖 46。

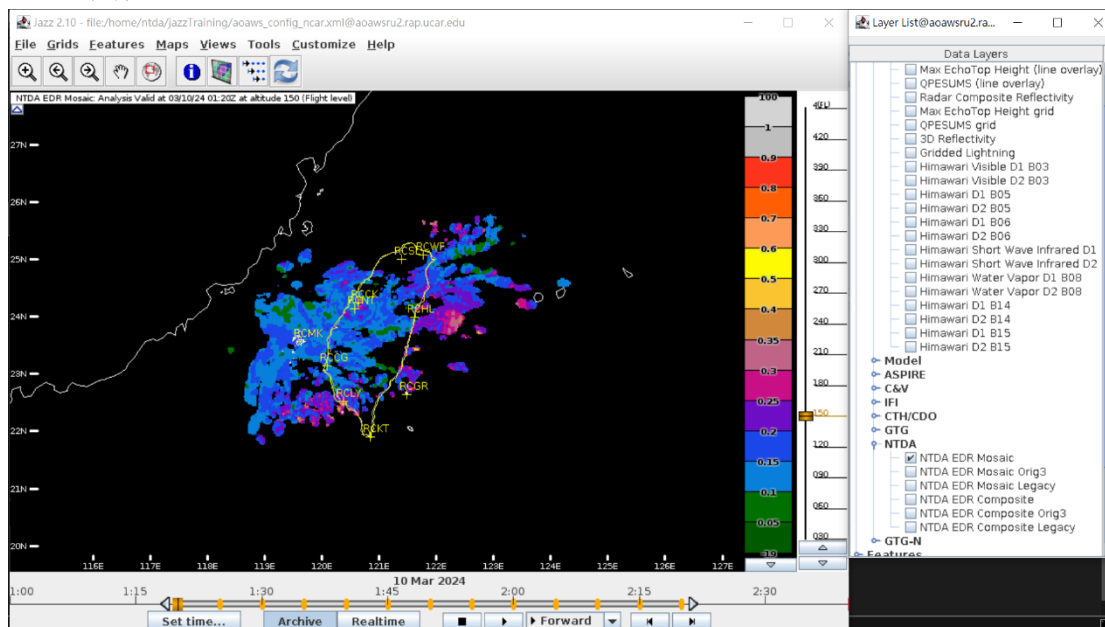


圖 43：顯示所有雷達(不包含七股)NTDA 演算結果

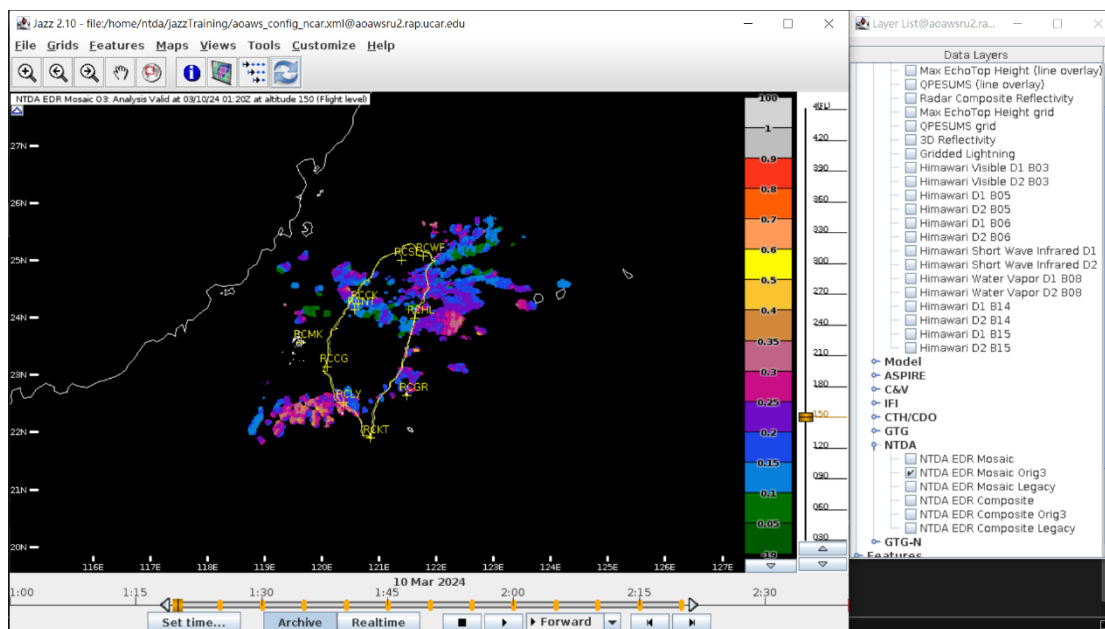


圖 44：僅顯示五分山/花蓮/墾丁雷達 NTDA 演算結果



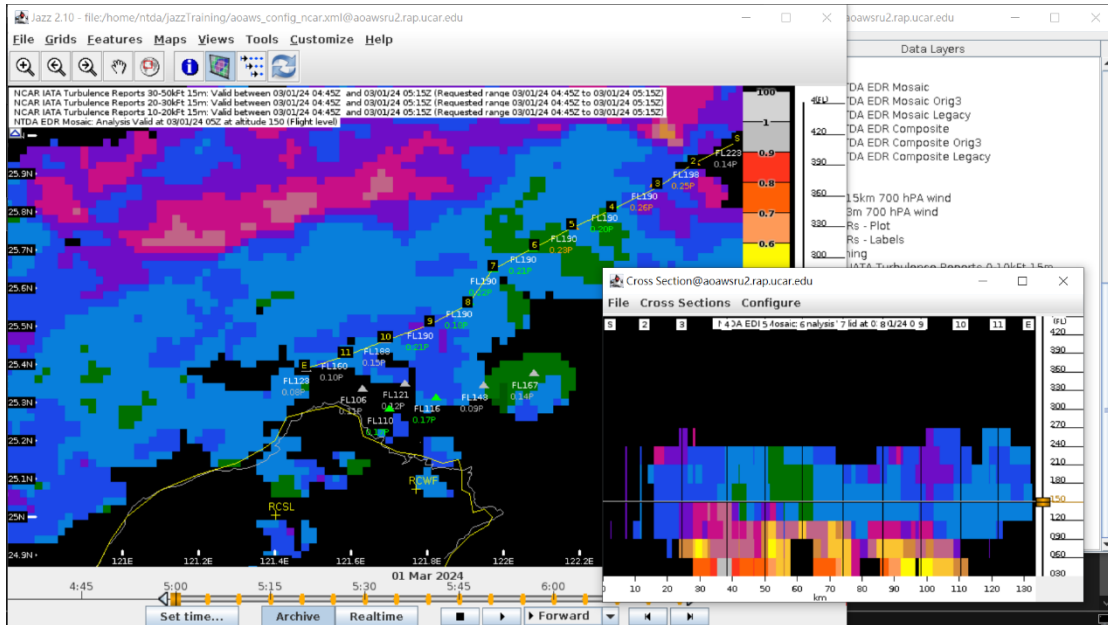


圖 45：剖面看亂流的垂直分布

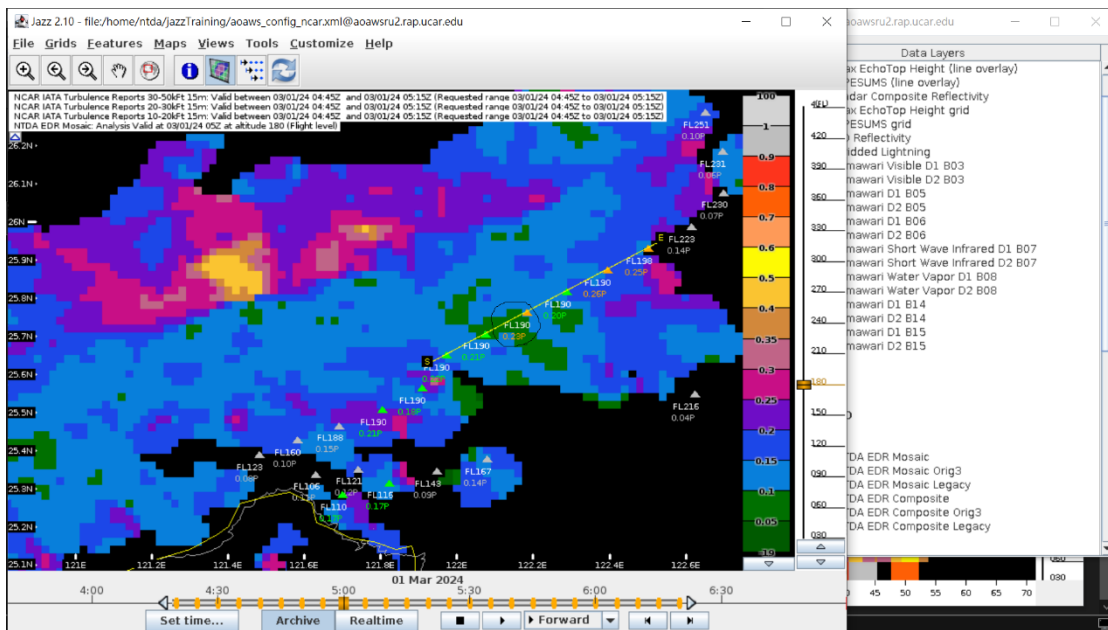


圖 46：比較 NTDA 和實際的飛機亂流報告資料(IATA in-situ EDR)

### (五) NTDA 總結：

1. NTDA 使用都普勒氣象雷達資料為飛航提供高解析度且快速更新的亂流強度偵測能力。
2. 可以即時提供雲中亂流強度數據，為各領域用戶提供參考，如航空公司、飛行員、管制員和航空氣象服務提供者。
3. GTGN 會使用預報和即時觀測資料，NTDA 也是 GTGN 的其中一個 input。
4. 可以藉由加入更多雷達資料增加準確度。

5. NTDA 中整合了強大的 QC 演算法以減少雜訊影響。當然，由於底層雷達資料的固有限制，NTDA 仍然有其限制。

## 四、更新雲頂高預測產品(CTH/CDO)

### (一) 雲頂高(CTH)/大洋對流診斷(CDO)產品簡介：

劇烈的對流系統往往伴隨積冰、亂流、閃電、低能見度…等危害天氣，對飛航安全有顯著的影響。在靠近陸地的地方，有陸基雷達監測對流系統發展，但在越洋航路上，往往沒有足夠的雷達觀測網進行監測。地球同步軌道之氣象衛星例如日本的向日葵九號衛星(Himawari-9)，監測範圍廣大，故利用不同波段之衛星影像，結合數值模式，透過演算法進行對流系統的診斷，對飛航安全有一定的幫助。

雲頂高產品(Cloud Top Height, CTH)係利用 11.2 $\mu\text{m}$  紅外線衛星頻道之亮度溫度，配合 WRF 模式之氣壓與溫度關係，推算雲頂的高度如圖 47。該方法適用於 15000 呎以上有厚度的雲，配合衛星資料時間 10 分鐘更新 1 次。

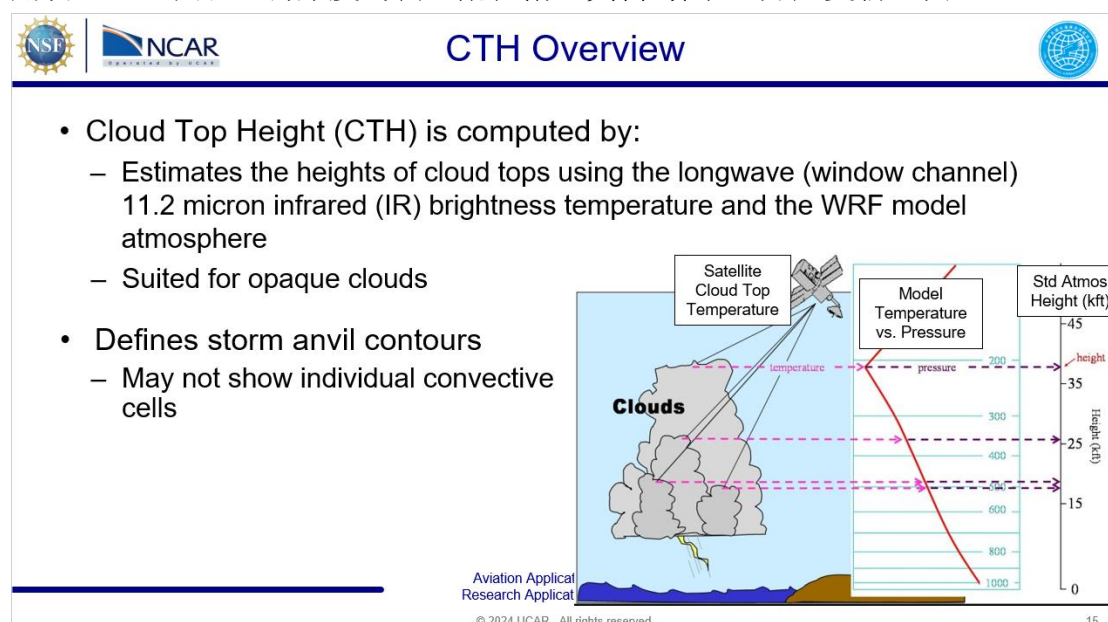


圖 47：CTH 計算原理

大洋對流診斷產品(Convection Diagnosis Oceanic, CDO)一樣是每 10 分鐘更新一次，表示容易發生危害天氣的強對流區域，結合了四種不同的輸入資料加以運算，數值在 0-6 之間：

1. 全球對流診斷產品(Global Convective Diagnosis, GCD)：  
計算衛星水氣頻道(6.2 $\mu\text{m}$ , WV)及紅外線頻道(10.8 $\mu\text{m}$ , IR)的亮度溫度差，厚度較厚的雲兩者溫度接近，當差異接近零度時表示上升氣流最強的區域。
2. 雲頂高產品(CTH)：如前段所述。
3. 過衝雲頂演算法(Overshooting Tops Algorithm)：  
使用 Bedka et al. (2010)的方法進行過衝雲頂的計算，過衝雲頂一般發生在發展旺盛之對流系統核心，表示底下的上升運動很強。

4. 閃電資料(Lightning accumulation at 10, 30 and 60 minutes) :  
閃電為發展旺盛之對流系統的確切位置，該資料僅使用於 FIR 範圍。

透過模糊邏輯法(Fuzzy Logic)，將上述四種資料進行權重加總(如圖 48)，當 CDO 數值在 2 以上，表示很可能有對流危害天氣；CDO 數值在 3 以上，表示已經有閃電或過衝雲頂出現，該地為一劇烈之對流系統。

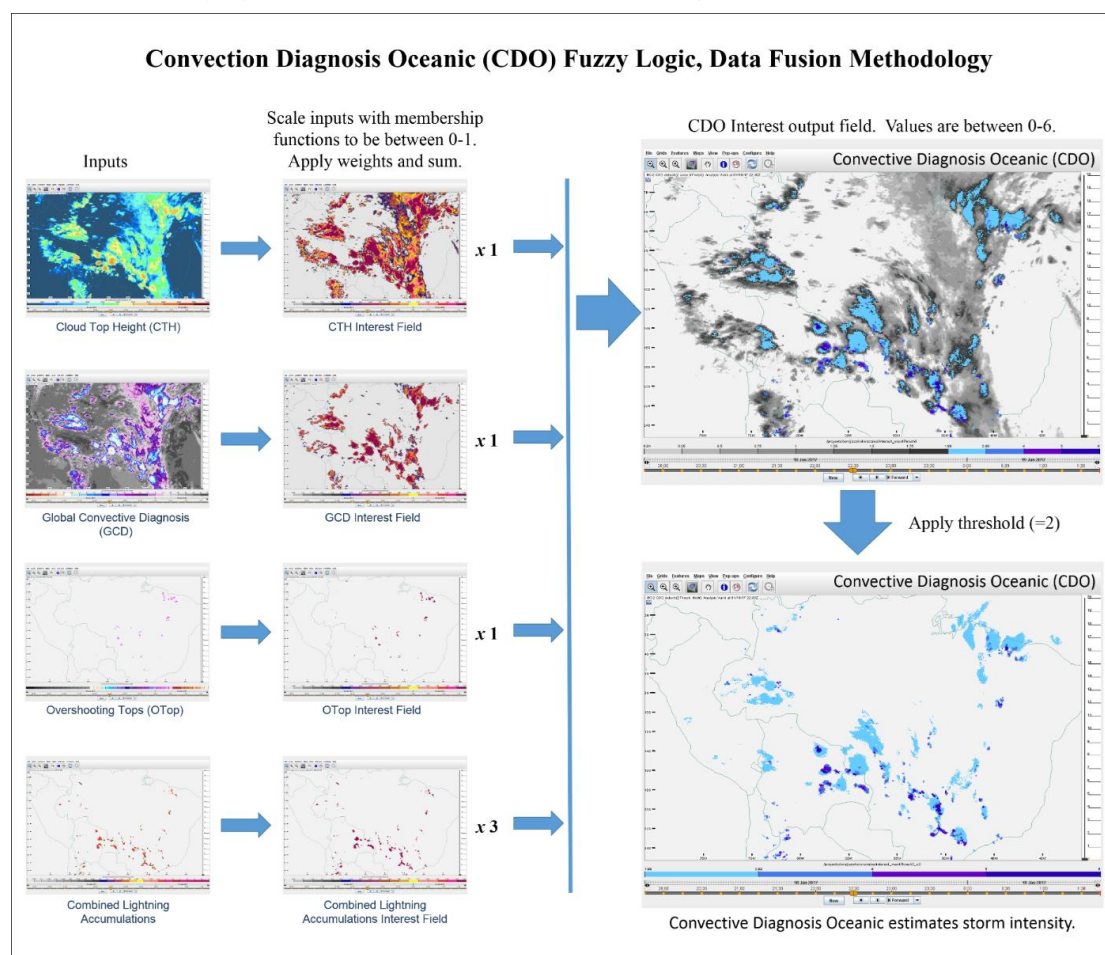


圖 48：CDO 數值加總

## (二) 迴歸測試(Regression Test)：

迴歸測試的目的在於當演算法安裝在不同環境的機器上面時，確保有成功安裝演算法於新的環境，尋求演算法輸出結果與原環境達到一致。迴歸測試流程如下：

1. 在 NCAR 控制環境下，使用樣本檔案跑測試個案，產出原始演算法輸出資料作為參考基準。
2. 儲存輸入樣本及輸出之原始檔案(圖 49、圖 50)以進行迴歸分析。

**Regression test data tarfile:** Regression\_test\_data-D1.tar.bz2

- Contains 30 minutes of D1 input data from 20210911 (0000Z - 0030Z).
  - ctrec needs at least 20 minutes of input before producing storm motion vectors.
  - input data includes:
    - Himawari channel 8 (WV) on D1.
    - Himawari channel 14 (IR) on D1.
    - D1 WRF data containing the 3D Geopotential height, 3D temperature, and Trop Height.
- Contains the truth data set.
  - D1 CTH forecast of 0, 1, and 2 hours from 20210911 00:30Z
  - D1 CDOLite forecasts of 0, 1, and 2 hours from 20210911 00:30Z

圖 49：用於 Domain 1 迴歸測試之原始輸入輸出檔案

**Regression test data tarfile:** Regression\_test\_data-D2\_FIR.tar.bz2

- Contains 30 minutes of D2 and FIR input data from 20210911 (0000Z - 0030Z).
  - ctrec needs at least 20 minutes of input before producing storm motion vectors.
  - input data includes:
    - Himawari channel 8 (WV) on D2.
    - Himawari channel 14 (IR) on D2.
    - D2 WRF data containing the 3D Geopotential height, 3D temperature, and Trop Height.
    - Lightning data.
- Contains the truth data set.
  - D2 CTH forecast of 0, 1, and 2 hours.
  - D2 CDOLite forecasts of 0, 1, and 2 hours.
  - FIR CDO forecasts of 0, 1, and 2 hours.

圖 50：用於 Domain 2 及 FIR 迴歸測試之原始輸入輸出檔案

3. 安裝演算法於目標環境。
4. 執行初始檢查，以確保所有元件已正確安裝，確認服務正在運作及配置已依需求進行設定。
5. 執行腳本檔(regression\_test-D1.sh / regression\_test-D2\_FIR.sh)(圖 51、圖 52)，使用已儲存之資料進行比對，產生比對之結果，顯示 CTH 及 CDO 是否通過迴歸測試，如圖 53、圖 54。



**Script:** regression\_test-D1.sh

- Performs the regression testing for the domain 1 products.
- Usage: regression\_test-D1.sh

**Script Description:**

- Sources the `cth_env-regression` file in the control directory
  - sets up the environment for running the test processing steps.
- `Untar`'s the input and baseline data into a regression testing directory.
- Processes 30 minutes of data through each step of the processing chain and produces a test 00:30 UTC forecast data set for CTH and `CDOLite` on D1.
- Runs the application `MdvDiff`, using the configuration files `MdvDiff.CTH_D1`, and `MdvDiff.CDOLite_D1` which are found in the config directory.
  - `MdvDiff` Compares data at two url's that are presumably the same data and check for differences in the grid values.
  - `MdvDiff` returns 0 if the grids are the same, and a 1 if they are different.
- Checks the return value from `MdvDiff` and issues a PASSED message if it is 0 or issues a FAILED message if it is not 0.
- Checks the 0, 1, and 2 hour forecasts for both CTH and `CDOLite`.
- Cleans up by removing the regression test directory.
- Takes approximately 5 minutes to run.
- Run details can be found in the file `/data/logs/cth/regression_test-D1.log`
  - Regression summary files can also be found in `/data/logs/cth`

圖 51 : regression\_test-D1.sh 內容



**Script:** regression\_test-D2\_FIR.sh

- Performs the regression testing for the domain 2, and FIR products.
- Usage: regression\_test-D2\_FIR.sh


**Script Description:**

- Sources the `cth_env-regression` file in the control directory
  - sets up the environment for running the test processing steps.
- `Untar`'s the input and baseline data into a regression testing directory.
- Processes 30 minutes of data through each step of the processing chain and produces a test 00:30 UTC forecast data set for CTH, and `CDOLite` on D2 domain, and `CDO` on the FIR domain.
- Run the application `MdvDiff`, using the configuration files `MdvDiff.CTH_D2`, `MdvDiff.CDOLite_D2`, and `MdvDiff.CDO_FIR` which are found in the config directory.
  - `MdvDiff` Compares data at two url's that are presumably the same data and check for differences in the grid values.
  - `MdvDiff` returns 0 if the grids are the same, and a 1 if they are different.
- Checks the return value from `MdvDiff` and issues a PASSED message if it is 0 or issues a FAILED message if it is not 0.
- Checks the 0, 1, and 2 hour forecasts for CTH and `CDOLite` on domain 2, and `CDO` on FIR domain.
- Cleans up by removing all the data in the regression\_test directory.
- Takes approximately 5 minutes to run.
- Run details can be found in the file `/data/logs/cth/regression_test-D2_FIR.log`
  - Regression summary files can also be found in `/data/logs/cth`

圖 52 : regression\_test-D2\_FIR.sh 內容

## Regression test: Domain 1



---

**Example output:**  
Processing D1 data from 2021/09/11\_00:00:00 to 2021/09/11\_00:30:00

Running Regression test on CTH D1 for all forecast lead times.  
CTH D1 REGRESSION TEST: PASSED

Running Regression test on CDOLite D1 for all forecast lead times  
CDOLite D1 REGRESSION TEST: PASSED



**Files created in /data/logs/cth:**

- regression\_test-D1.log
  - Verbose output of all the processing.
- regression\_summary-CTH\_D1.out
- regression\_summary-CDOLite\_D1.out


```
----- CTH D1 Forecasts Summary -----
nInput:3 nOne:0 nDataDiff:0 nMasterDiff:0
nMetaDiff:0
Field:CTH nOne:0 nFhdr:0 nDataDiff:0
2021/09/11 00:30:00 Perfect Match
2021/09/11 00:30:00+3600 Perfect Match
2021/09/11 00:30:00+7200 Perfect Match
```

© 2024 UCAR. All rights reserved.
32

圖 53 : regression\_test-D1.sh 執行結果範例

## Regression test: Domain 2, FIR



---

**Example output:**  
Processing D2 data from 2021/09/11\_00:00:00 to 2021/09/11\_00:30:00

Running Regression test on CTH D2 for all forecast lead times.  
CTH D2 REGRESSION TEST: PASSED

Running Regression test on CDOLite D2 for all forecast lead times  
CDOLite D2 REGRESSION TEST: PASSED

Processing FIR data from 2021/09/11\_00:00:00 to 2021/09/11\_00:30:00

Running Regression test on CDO FIR for all forecast lead times  
CDO FIR REGRESSION TEST: PASSED

**Files created in /data/logs/cth:**

- regression\_test-D2\_FIR.log
  - Verbose output of all the processing.
- regression\_summary-CTH\_D2.out
- regression\_summary-CDOLite\_D2.out
- regression\_summary-CDO\_FIR.out

```
----- CTH D2 Forecasts Summary -----
nInput:3 nOne:0 nDataDiff:0 nMasterDiff:0
nMetaDiff:0
Field:CTH nOne:0 nFhdr:0 nDataDiff:0
2021/09/11 00:30:00 Perfect Match
2021/09/11 00:30:00+3600 Perfect Match
2021/09/11 00:30:00+7200 Perfect Match
```

© 2024 UCAR. All rights reserved.
35

圖 54 : regression\_test-D2\_FIR.sh 執行結果範例

### (三) CTH/CDO 演算法效能評估：

可用於 CTH 即時預報校驗的資料包含：

1. 陸基雷達系統：

提供雲的垂直結構細節，但由於門檻值 18dBz 的設定，可能會忽略較小的雲滴；有良好的垂直解析度，但對比較不稠密的雲表現不佳。
2. 搭載於人造衛星的紅外線探測儀，例如 MODIS：

對於熱輻射較為敏感，可能會誤判高層的捲雲為對流雲；容易有視角問題需要校正。

3. 人造衛星搭載之光達或雷達系統，例如 GPM 或 EarthCARE：  
光達對捲雲的偵測良好，但對較厚的雲因為衰減過快不易偵測；CPR 則針對較厚的雲層有良好的偵測效果。

可用於 CDO 即時預報校驗的資料包含：

1. 陸基雷達系統：  
提供雲的垂直結構細節，但由於門檻值 18dBz 的設定，可能會忽略較小的雲滴；有良好的垂直解析度，但對比較不稠密的雲表現不佳。
2. 衛星搭載之光達或雷達系統，例如 GPM 或 EarthCARE：  
CPR 能穿透較厚的雲層，不受薄雲干擾，有利於偵測風暴的核心區域。

當有對流系統發展被雷達掃描到，就有回波值。而 CDO 數值若高，表示對流系統發展的越好，自然越容易透過雷達偵測到。如果我們用 25dBz 當成強對流雷達回波的門檻值，使用前述之列聯表分析(表 1)進行統計分析，定義預報成功率(Success ratio)為 Hits/(Hits + False Alarms)，即 1-FAR。以預報成功率及可偵測率 POD 為縱軸，不同的 CDO 門檻值為橫軸，針對 2022/06/01 的個案進行繪圖(圖 55)：可以發現到說當  $CDO \geq 2$ ，預報成功率提升至 0.5 左右；當  $CDO \geq 3$ ，預報成功率提升至 0.7 以上，顯示 CDO 數值越高，實際雷達回波越容易觀測到 25dBz 以上的對流系統，不太會有假警報的狀況。但若將 CDO 門檻值調至 2.0 以上，可偵測率 POD 會快速降低至 0.1 以下，表示會有許多雷達觀測到的強對流事件不被 CDO 定義為強對流。所以比較合理的 CDO 門檻值應該訂在 1.9，在過度預報或不足預報之間取得平衡。

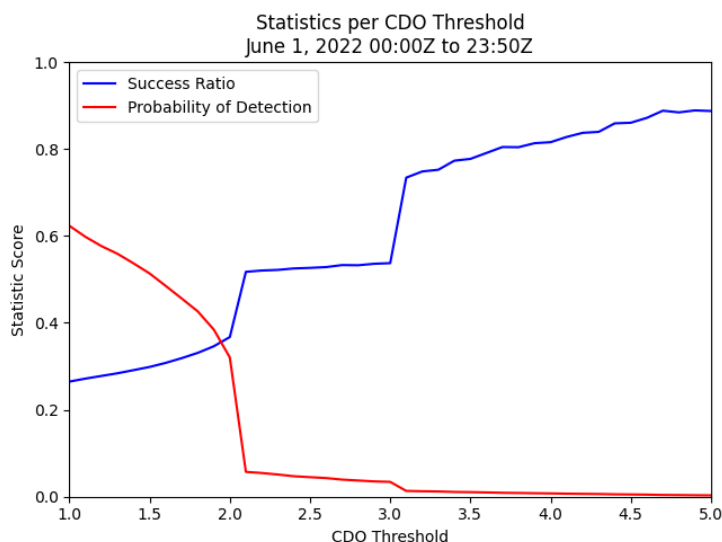


圖 55：不同 CDO 門檻值的預報成功率與可偵測率

至於 CTH 的校驗，則可以利用雷達觀測的 ETops 數值，但可以預期 CTH 的高度會略高於 ETops 的高度，因為雲頂較小的雲滴雷達不一定能偵測到。

在目前版本的 CTH/CDO 演算法系統中，利用 cdoValidate.py 及

cthValidate.py 兩隻 python 程式來進行計算(圖 56)，產出 CDO\_statistics.txt 及 CDO\_statistics.txt 兩個檔案。



cdoValidate.py and cthValidate.py

#### Usage

- ./cdoValidate.py -start "YYYY mm dd HH MM SS" -end "YYYY mm dd HH MM SS"
- ./cthValidate.py -start "YYYY mm dd HH MM SS" -end "YYYY mm dd HH MM SS"

#### Script Description

1. Ingests parameter file
  - a. data paths, output paths, grid resolutions, product and radar thresholds
2. Searches by timestamp for matching product and radar file pairs
3. Regrids data in each matching file pair to the product grid; trims off points that only exist in one dataset or the other
4. Applies thresholds as filters (CTH only)
5. Calculates statistics across the common grid
6. Generates plots
7. Saves statistics and plots to local directory

© 2024 UCAR. All rights reserved.

38

圖 56：cdoValidate.py 及 cthValidate.py

用兩個實際個案來看實際演算的結果：

第一個個案是 2022/09/07 下午 06-12Z 的午後熱對流個案(圖 57)：以 25dBz 為對流系統的雷達回波門檻值，該區域當天 CTH 的高度界在 25000 呎到 40000 呎之間，相當於  $0.36 < \text{CDO 數值} < 1.0$ ；對流區 GCD 計算的 CDO 數值較高；有零星的過衝雲頂跟部份的閃電訊號。計算出來的 CDO 預報成功率為 0.65639。

第二個個案是 2022/09/01 的傍晚 09Z-15Z 軒嵐諾颱風個案(圖 58)：以 25dBz 為對流系統的雷達回波門檻值，該區域當天 CTH 的高度界在 40000 呎到 55000 呎之間，相當於  $\text{CDO 數值} \geq 1.0$ ；對流區  $\text{GCD} \geq -1^\circ\text{C}$ ，此時對應的 CDO 數值  $\geq 2.0$ ；有一些過衝雲頂跟閃電訊號。計算出來的 CDO 預報成功率為 0.40181。表示在颱風期間因為雲的發展高度都很高，CDO 過度預報的狀況會多一些。

## Convective Case #2: September 7, 2022, 06-12Z

See Jazz

- Cellular convection, broad region of CREF > 25dBZ reflectivity
  - Disregard misses
- 25kft < CTH < 40kft where CREF > 25dBZ
  - 0.36 < CDO < 1.0
- High GCD over convection
  - CDO scales with GCD
- Few overshooting tops
- Some lightning

CDO\_statistics.txt

```
Contingency Table:
Hits: 605492
False Alarms: 316960
Misses: 2184575
Correct Null: 70482508

Derivative Statistics:
Accuracy: 0.96601
Success Ratio: 0.65639
```

CTH\_statistics.txt

```
CTH/ETops Correlation Statistics:
OLS Coefficients: [0.47121, 13388.42698]
Mean Error: 3811.86328125
RMSE: 10208.9638671875
Pearson R: 0.41971
```

圖 57：對流系統個案校驗結果

## Typhoon Hinnamnor: September 1, 2022, 09-15Z

See Jazz

- Northwestern bands of Hinnamnor
- 40kft < CTH < 55kft where CREF > 25dBZ
  - CDO ≥ 1.0
- Broadly, GCD ≥ -1°C
  - CDO ≥ 2.0
- Some overshooting tops
- Some lightning

\*NOTE: Beam blockage over the southeastern coastline

CDO\_statistics.txt

```
Contingency Table:
Hits: 3847407
False Alarms: 5727698
Misses: 1239546
Correct Null: 62337259

Derivative Statistics:
Accuracy: 0.90476
Success Ratio: 0.40181
```

CTH\_statistics.txt

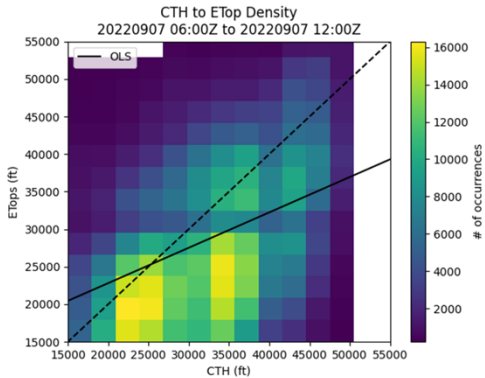
```
CTH/ETops Correlation Statistics:
OLS Coefficients: [0.7679, 419.24392]
Mean Error: 10361.5302734375
RMSE: 13133.392578125
Pearson R: 0.5302
```

圖 58：颱風個案校驗結果

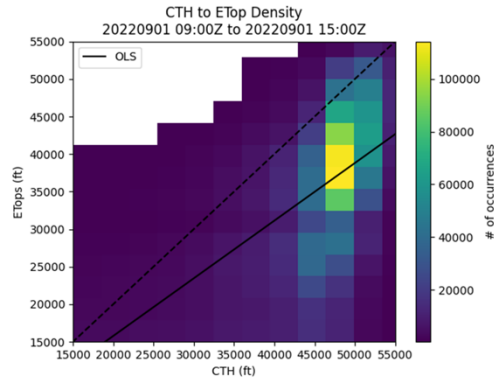
針對 CTH 的部分，cthValidate.py 會用統計結果繪製以 CTH 為橫軸，ETops 為縱軸的統計密度圖，色塊表示配對網格點的數目，如圖 59：可以看到颱風個案期間普遍雲頂比較高在 45000 呎到 55000 呎之間，而且 CTH 會略高於 ETops；而在對流系統個案看到平均雲頂高約在 20000 呎到 40000 呎之間，使用最小平方方法大略得到在 25000 呎以上 CTH>ETops，而 25000 呎以下則是 ETops>CTH。



## Convective Case #2



## Typhoon Hinnamnor



© 2024 UCAR. All rights reserved.

41

圖 59：CTH 與 ETops 統計密度圖

### (四) 外延法效能評估：

目前 CTH/CDO 有未來 1 到 2 小時的外延預報，為了檢視外延預報的成效，利用 CTH/CDO 演算法系統中的 `extrapolationStats.py` 這隻 python 程式(如圖 60)，進行計算與繪圖，比較的對象為 CTH/CDO 即時預報值及其 1 到 2 小時外延預報值。這隻程式最後會繪製出 Performance Diagram(圖 61)：橫軸為預報成功率 1-FAR；縱軸為可偵測率 POD；鍊線為預兆得分 TS，越右上角越接近 1 表示預報能力越好。從 2024/04/01 的個案來看：1 小時外延預報明顯優於 2 小時外延預報，TS 分數大約相差 0.2；而 domain 2 的預報表現則較 domain 1 為佳，顯示外延法在較高的空間解析度下有較好的預報效果。

`extrapolationStats.py`

#### Usage

- `./extrapolationStats.py --start "YYYY mm dd HH MM SS" --end "YYYY mm dd HH MM SS" --product ""`
- product is CTH or CDO

#### Script Description

1. Requires `MdvForecastStatistics` parameter files in current working directory
2. Locates parameter files
3. Iteratively runs `MdvForecastStatistics` with each parameter file
4. Retrieves statistics and stores in local variable
5. Generates Roebber Diagram
6. Saves statistics and plots to local directory

© 2024 UCAR. All rights reserved.

43

圖 60：`extrapolationStats.py`

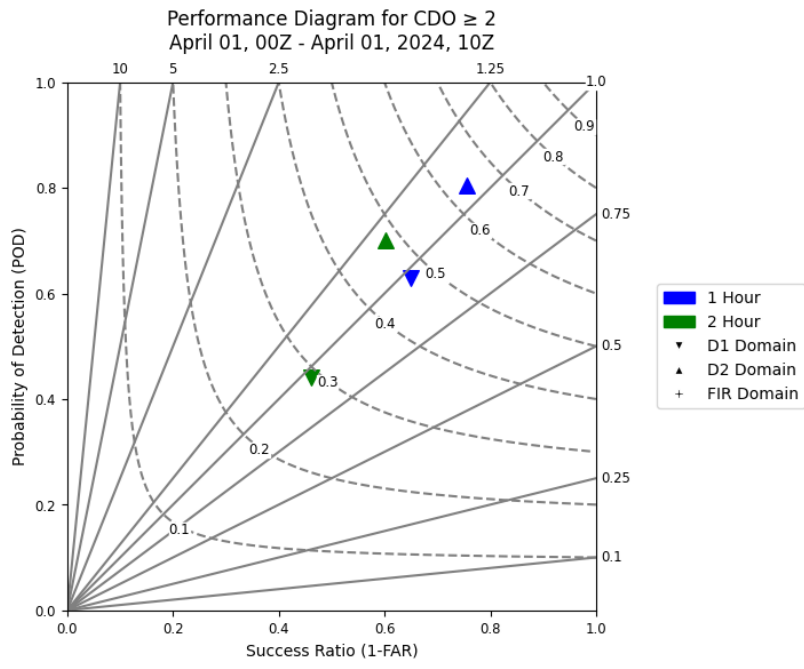


圖 61 : Performance Diagram

## 五、更新機場雲霧與能見度預測產品(C&V)

### (一) 雲霧及能見度簡介：

雲霧及能見度為影響航空器起降階段安全最為重要之氣象要素，飛機降落時若看不到跑道，有需要重飛甚至發生事故的可能。雲霧之定義為從地表算起覆蓋 1/2 以上天空的最低高度(當雲霧難以定義時使用垂直能見度)。當 10000FT 以下沒有雲時，定義為 **unlimited**。能見度為水平方向上能辨認物體或是光點的最遠距離，能見度 10000 公尺以上定義為 **unlimited**。造成雲霧及能見度降低最主要是大氣層中的水氣，凝結成雲滴或雨滴降低能見度，另外霾、煙、火山灰、海沫等氣膠粒子也可能會降低能見度。

傳統數值模式並未針對雲霧及能見度進行預報，全球模式的空間解析度太大也不適用於單一機場點的預報。現行之 AOAWS 系統使用模式輸出統計方法 (Model Output Statistics, MOS)，找出數值模式中不同變數與雲霧或能見度的相關性，進行雲霧及能見度的預報，如圖 62。MOS 的特點是：如果相關性高，可以產生數值模式沒有的變數；僅有統計但缺乏物理意義；結果好壞依賴訓練資料的品質與長度；定性上比定量好。用於目前作業之 AOAWS 系統，會覺得與實際的觀測仍有一定的差距。

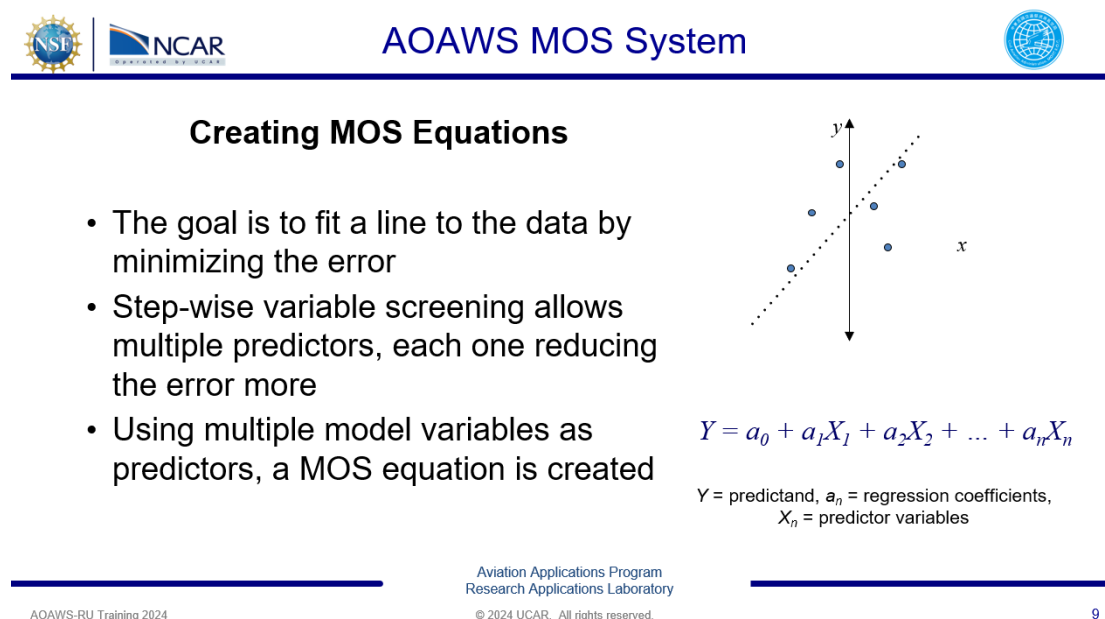


圖 62：模式輸出統計方法 MOS

### (二) FOCAL-QM 方法：

AOAWS-RU 中，更新了雲霧及能見度預報的演算法。首先透過 WRF 後處理程序(Unified Post Processor, UPP)計算出 3 公里解析度雲霧跟能見度的數值；再透過 FOCAL-QM(FOrecast CALibration-Quantile Matching)方法，使用過去一段時間 UPP 輸出及 METAR 觀測資料，用於分位數配對技術，計算出校正係數；再套用該校正係數於新一輪模式預報結果，減少模式預報的誤差。

UPP 為美國環境預測中心(NCEP)開發之 WRF 模式後處理套件，已經經過完整測試並應用於作業環境，讀取 WRF 模式輸出檔案，計算每一個網格點的雲霧、能見度及其他變數數值。雲霧的計算是利用水及冰的混合比總和大於  $10^{-6}$ kg/kg，定義為有雲，找出 10 英里半徑範圍的雲量，當由地面往上搜尋時，如果該範圍雲量>50%，則定義該高度為雲霧高數值。如果都找不到，則定義為無限制(20000m)。能見度的計算是利用 Stoelinga-Warner method (JAM, 1999)，取用模式低層之水氣、雲滴、雨滴、冰、雪的混合比，計算消散係數，用光線減弱 98%的距離定義為能見度，最大職責限制在 24000m。要注意這算法並未考慮因為霾、煙、吹雪等因素降低的能見度。

FOCAL-QM 的運算，需要使用過去 30 天的模式及觀測資料進行統計，這時間尺度足以對雲霧及能見度的計算有足夠的影響，但又不會太長以致於包含了不同季節的氣候特徵。校正係數會針對所有有 METAR 觀測的機場分別給予校正值，每天重新計算，再用於新一輪 UPP 輸出的能見度或雲霧校正。FOCAL-QM 使用 9 個不同的分位區間，包含了主要的適航條件門檻例如 VFR/IFR。

FOCAL-QM 演算法流程如下：

1. 為觀測資料及預報資料建立各自的累積機率分布(CDF)：  
用於訓練階段，至少需要一個月的資料，而只有觀測與預報同時存在的時間才會列入計算，儲存百分位數值。
2. 比對觀測與預報的累積機率分布：  
用於校正階段，使用尚未校正的模式數值，找到其對應的百分位數，然後對應觀測資料相同百分位數的閾值區間，使用線性內插得到最接近的值，將模式值重新調整為該數值(圖 63)，降低模式的過度預報或不足預報(圖 64)。為了避免調整前後數值差異太大，校正係數限制在 50%到 200%之間。再利用距離權重關係(圖 65)，參考距離該網格 100 公里內所有的測站資料，將校正值分布到所有的網格點。
3. 得到所有網格點的校正係數後，用於每天 4 次的 WRF 模式 UPP 輸出資料校正，空間解析度 3 公里，預報時間長度 48 小時。

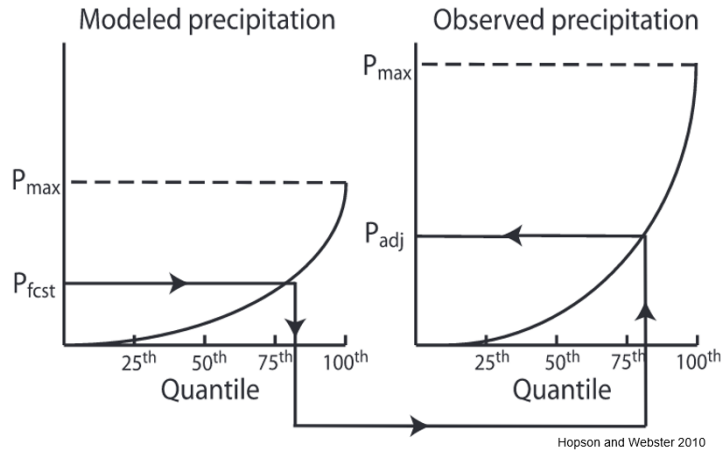


圖 63：將模式數值的百分位數對應到觀測數值的百分位數

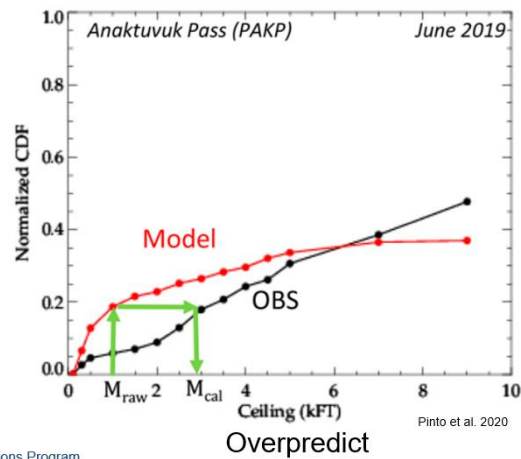
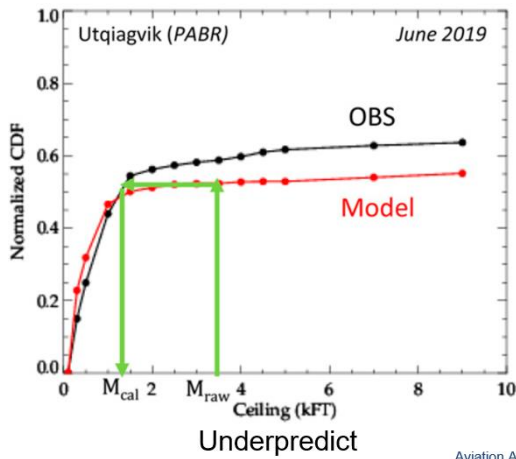


圖 64：依百分位數校正過度預報或不足預報的數值





```
>>> pd.DataFrame([{'dist':d,'weight':min(1,(100-d)/75)} for d in range(0,101,5)])
   dist  weight
0      0  1.000000
1      5  1.000000
2     10  1.000000
3     15  1.000000
4     20  1.000000
5     25  1.000000
6     30  0.933333
7     35  0.866667
8     40  0.800000
9     45  0.733333
10    50  0.666667
11    55  0.600000
12    60  0.533333
13    65  0.466667
14    70  0.400000
15    75  0.333333
16    80  0.266667
17    85  0.200000
18    90  0.133333
19    95  0.066667
20   100  0.000000
```

圖 65：距離權重關係

### (三) 雲幕及能見度校驗：

雲幕及能見度的校驗是用 createCombinedStats.py 這隻 PYTHON 程式進行運算與繪圖工作(位於 \$RAP\_PROJ\_DIR/script 資料夾下)。該程式需要手動執行，執行指令如圖 66。會產生包含 WRF\_UPP 及 WRF\_CAL 的統計校驗圖檔。圖檔會依不同機場站點、變數、圖表種類分開存放(如圖 67-圖 75)：



## Command Line & Options

```
usage: createCombinedStats.py [-h] [-v] [--outdir OUTDIR] [--dates DATES DATES]

Create stats plots for CV forecasts

options:
  -h, --help            show this help message and exit
  -v, --verbose         Output detailed logging information.
  --outdir OUTDIR       Write output here (default=/data/verify)
  --dates DATES DATES  Start and end date (YYYYMMDD) separated by a space (default=previous 30 days)
```

圖 66：createCombinedStats.py

#### 1. 時間序列圖：

繪製特定時間區間的觀測及 0-6 小時預報，包含 WRF\_UPP 及校正後的 WRF\_CAL。

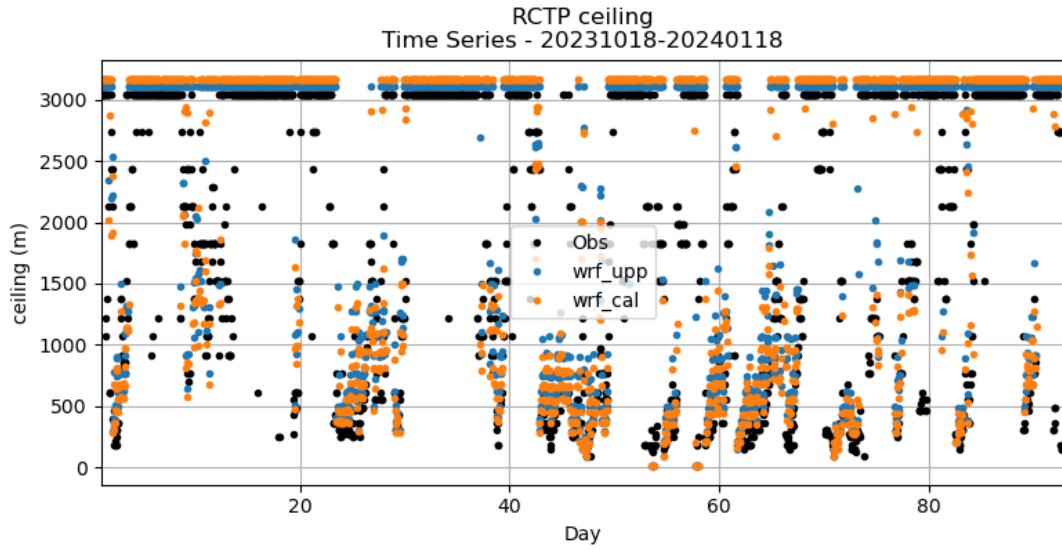


圖 67：時間序列圖

2. 累積機率分布圖：

呈現觀測及預報數值的頻率分布，將特定數值區間的資料點數量加總繪製。

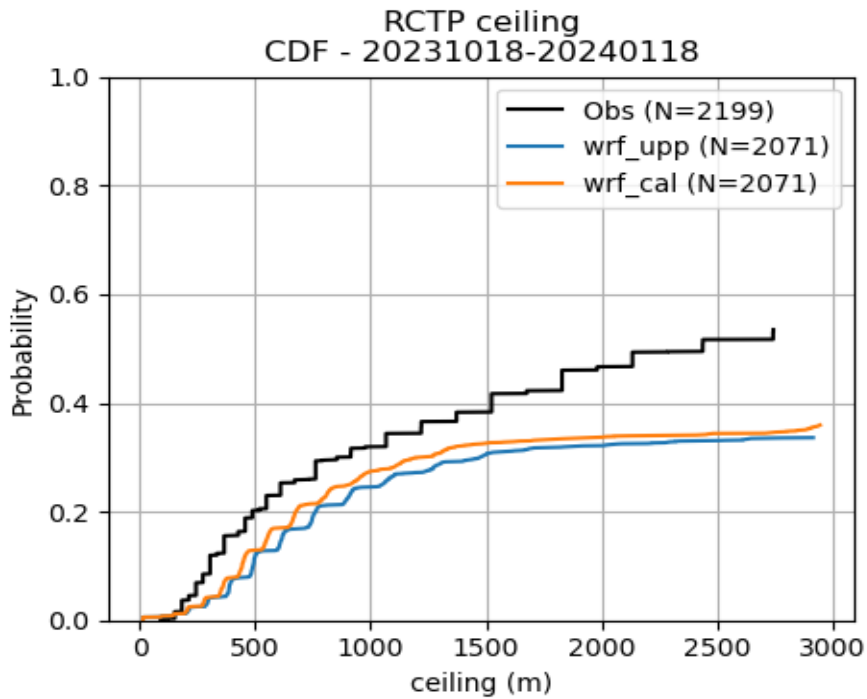


圖 68 累積機率分布圖

3. 偏差(Bias)：

預報值相對於觀測值的偏差值(有正負號)。

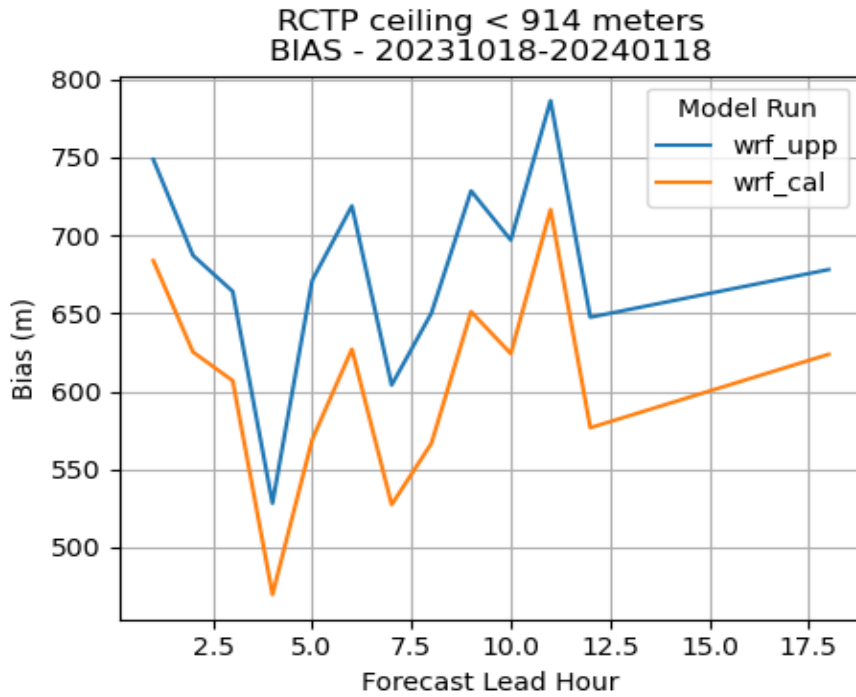


圖 69：不同預報時間之偏差值

4. 方均根誤差(RMSE)：  
預報值相對觀測值的方均根誤差。

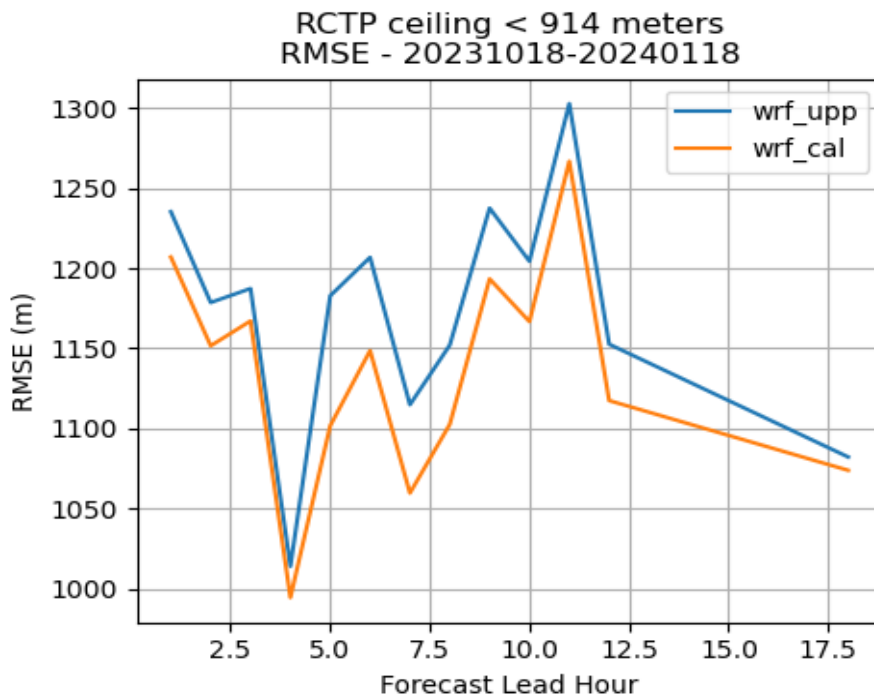


圖 70：不同預報時間之方均根誤差

5. 平均絕對誤差(MAE)：  
預報相對於觀測值的誤差的絕對值取平均，數值變化趨勢會與 RMSE 接近。

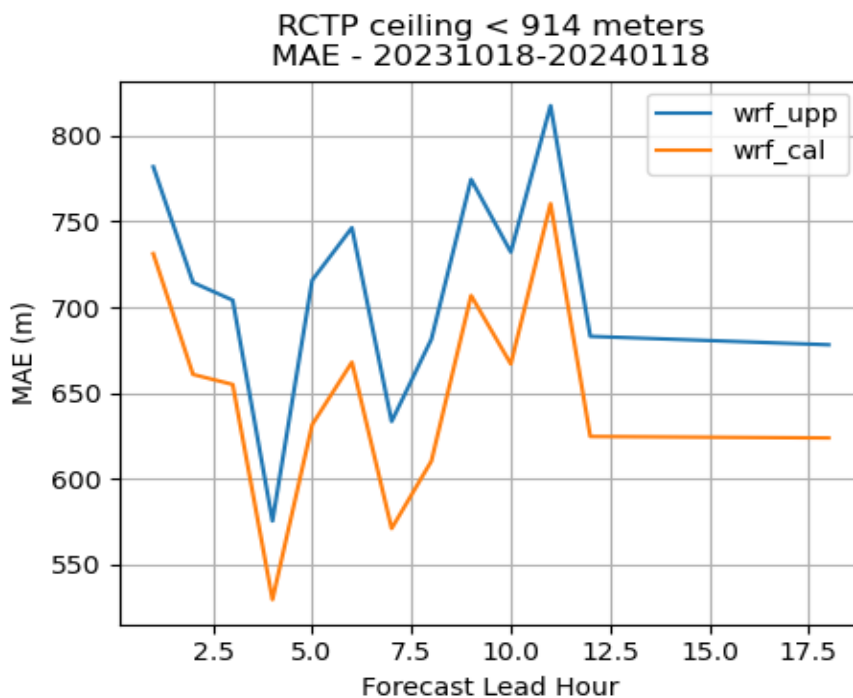


圖 71：不同預報時間之平均絕對誤差

6. 可偵測率(POD)：  
定義如表 1， $POD = Hits / (Hits + Misses)$ ，表示觀測發生低雲事件時，有多少比例有被預報到。可以針對預報延時或是數值分別計算繪圖。

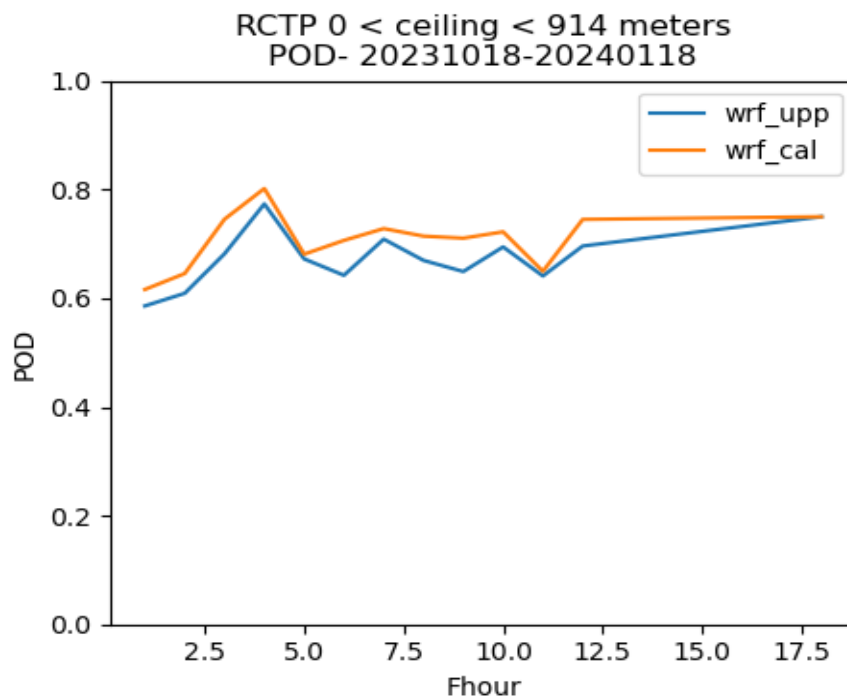


圖 72：不同預報延時之可偵測率

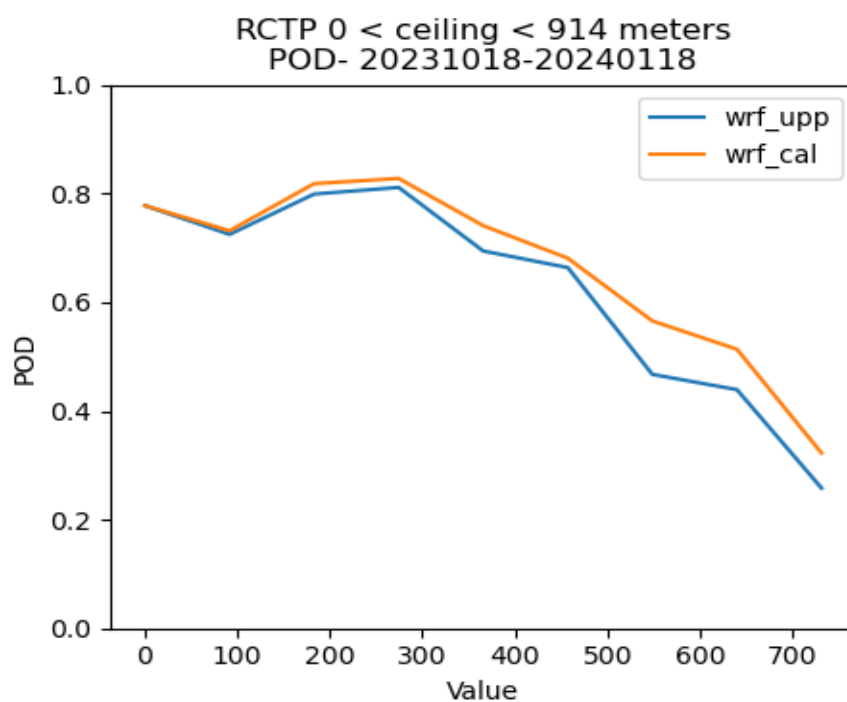


圖 73：不同雲幕數值之可偵測率

7. 臨界成功指數(CSI)：

參考表 1，臨界成功指數即為預兆得分， $CSI=TS=Hits/(Hits+Misses+False$



Alarms) ，能夠表現預報的成功率。可以針對預報延時或是雲幕數值分別繪圖。

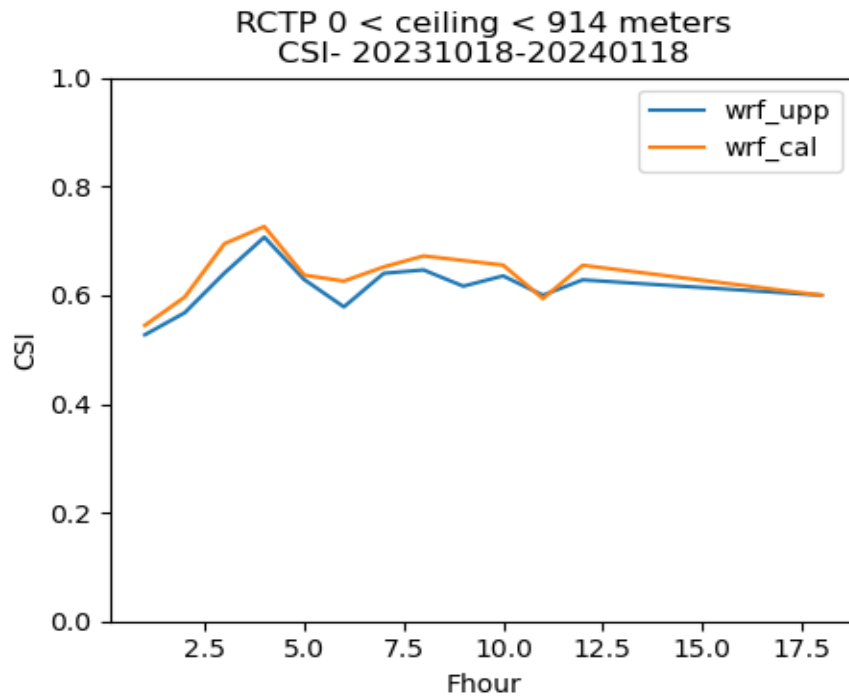


圖 74：不同預報延時之臨界成功指數

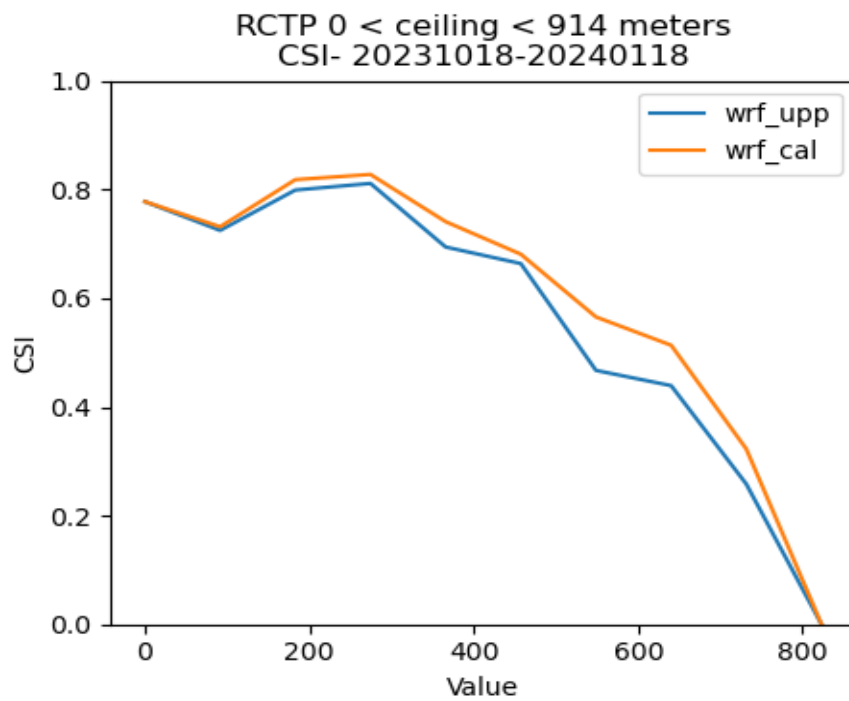


圖 75：不同雲幕數值之臨界成功指數

以上這些統計圖檔，需要過去的 SPDB 檔案作為輸入資料。小於一個月的校驗區間雖然可以看到時間序列的細節，但其它誤差統計數值容易受到干擾。如果是雲幕 $\geq 10000$  呎或能見度 $\geq 10$  公里的情形，就用最高值做計算，此時的誤差不是我們關注的重點。POD 跟 CSI 繪圖須設定事件門檻，例如雲幕 $< 3000$  呎；能見度 $< 5$  公里。事件門檻值及誤差計算最大值設定如圖 76。



### Other Thresholds & Caps

```
# thresholds for CSI and POD categorical forecasts ([min,max,nbins],...)
threshold_dict = {
  'ceiling' : [(0,914.4,10)],
  'visibility' : [(0,5000.0,10)]
}

# caps to restrict large values (which can swamp the error stats) for BIAS, MAE and RMSE
large_value_caps = {
  'ceiling' : 914,
  'visibility' : 5000
}

# offsets to avoid overlaying unlimited values in time series plots
ts_offsets = {
  'ceiling' : 0.02,
  'visibility' : 0.04
}
```

圖 76：C&V 校驗門檻值設定

#### (四) 課堂實作

1. `ssh -Y aoawsru1.rap.ucar.edu`  
登入 NCAR 測試主機。
2. `runas cv`  
切換到 CV 帳號。
3. 確認環境變數(圖 77)。

```
# CV bashrc

# Source global definitions
if [ -f /etc/bashrc ]; then
    . /etc/bashrc
fi

# AOAWSRU specific environment
umask 002

# Source the shared environment variables
. $HOME/shared_env

export PROJ="cv"
export RAP_PROJ_DIR="$RAP_DATA_DIR/apps/$PROJ"
export PROJ_DATA_DIR="$RAP_DATA_DIR/work/$PROJ"

[cv@aoawsru1 ~]$ head shared_env
# Shared AOAWS-RU Environment Variables
export SHOST="${HOSTNAME%%.*}"
export RAP_DATA_DIR="/data1"
export INPUT_DIR="$RAP_DATA_DIR/input"
export OUTPUT_DIR="$RAP_DATA_DIR/output"
export SHARED_PROJ_DIR="$RAP_DATA_DIR/apps/shared"
export SHARED_DATA_DIR="$RAP_DATA_DIR/work/shared"
export SHARED_PROJ_CONFIG_DIR="$SHARED_PROJ_DIR/config"
export RAP_SHARED_INC_DIR="$SHARED_PROJ_DIR/include"
export RAP_SHARED_LIB_DIR="$SHARED_PROJ_DIR/lib"
```

圖 77：環境變數設定

4. 確認校驗用 SPDB 檔案存在(圖 78)。

```
[cv@aoawsru1 script]$ ls $PROJ_DATA_DIR/spdb/wrf_upp/3km | head
20220424.data
20220424.indx
20220531.data
20220531.indx
20220609.data
20220609.indx
20220805.data
20220805.indx
20221031.data
20221031.indx

[cv@aoawsru1 script]$ ls $PROJ_DATA_DIR/spdb/wrf_cal/3km | head
20230101.data
20230101.indx
20230102.data
20230102.indx
20230103.data
20230103.indx
20230104.data
20230104.indx
20230105.data
20230105.indx

[cv@aoawsru1 script]$ ls $SHARED_DATA_DIR/spdb/metar | head
20220401.data
20220401.indx
20220402.data
20220402.indx
20220403.data
20220403.indx
20220404.data
20220404.indx
20220405.data
20220405.indx
```

圖 78：輸入之 SPDB 檔案範例

5. `cd /data1/work/cv/cv_training`
6. `mkdir verify_{name}`  
建立校驗用資料夾。
7. `cp /data1/apps/cv/script/createCombinedStats.py .`  
複製校驗用程式。
8. `./createCombinedStats.py --outdir ./verify_{name} --dates 20240101 20240331`  
執行校驗用程式。

9. `cd ./verify_{name}/20240101-20240331/`
10. `gm -display 20240101-20240331_RCYU_visibility_TS.png`  
於終端機顯示校驗統計圖。
11. `scp`  
`{username}@aoawsru1.rap.ucar.edu:/data1/work/cv/cv_training/verify_{name}/`  
`20240101-20240331/*.png .`  
將所有統計圖檔下載回自己的電腦。

## 六、發展 0-8 小時之風暴預報能力(ASPIRE)

### (一) ASPIRE 簡介：

AOAWS 劇烈降水及回波頂短期預報(AOAWS Short-term Prediction of Intense Rainfall and Echotops, ASPIRE)係利用中央氣象署 (CWA) 對流尺度數值預報模式(RWRF, 空間解析度為 2 公里)、CWA 雷達合成回波觀測資料及 CWA 劇烈天氣監測系統 (QPESUMS) 雷達估計降雨率等資料, 透過外延模組、校正模組、擴充結合模組等程序(流程圖如圖 79), 產製 0 至 8 小時之雷達回波強度(CREF)、回波頂高度(ECHOTOP)及降雨率預報(PRATE)資料。

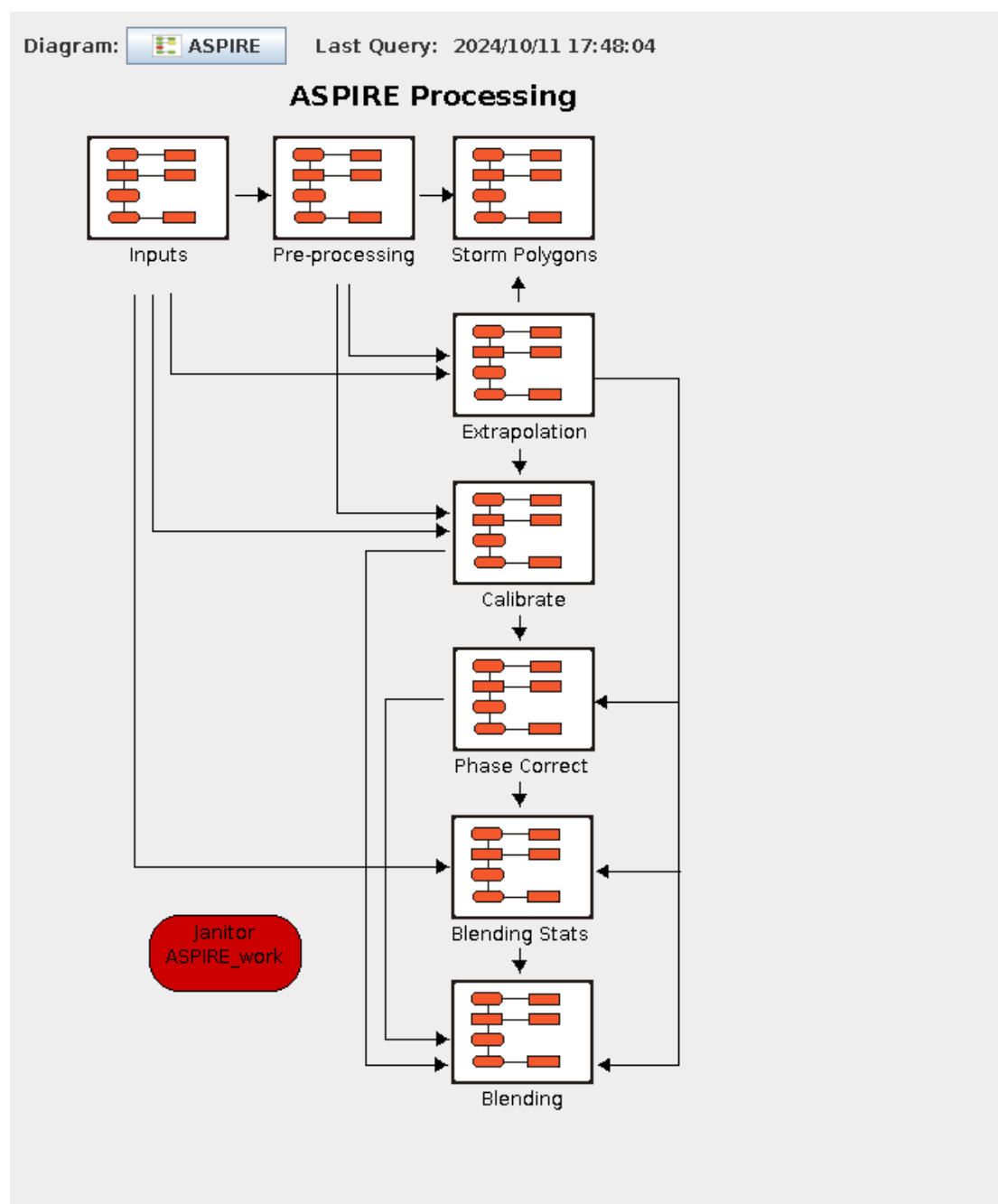


圖 79：ASPIRE 處理流程

雷達觀測資料先進行前處理：將 2D 雷達回波資料中未達門檻值或是範圍太小的回波濾除，加以平滑化；用 3D 雷達回波計算出回波頂高度，如圖 80。接著利用 CTREC 方法，計算雷達回波在不同方向上的相關係數，得到雷暴的移動向量場。再利用移動向量場得到外延預報的雷達回波、回波頂及降雨率，如圖 81、圖 82。

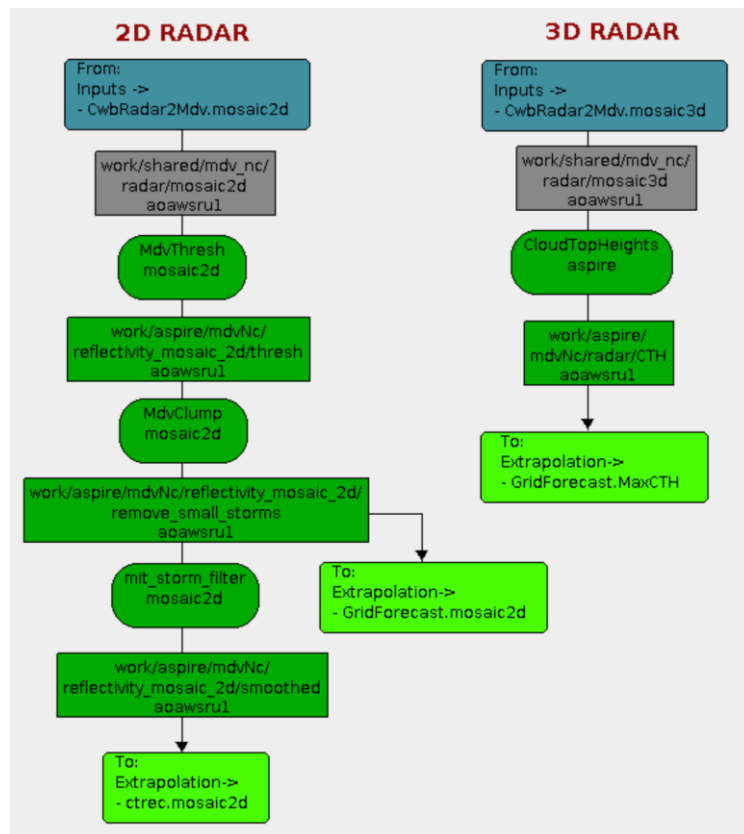


圖 80：雷達資料前處理流程



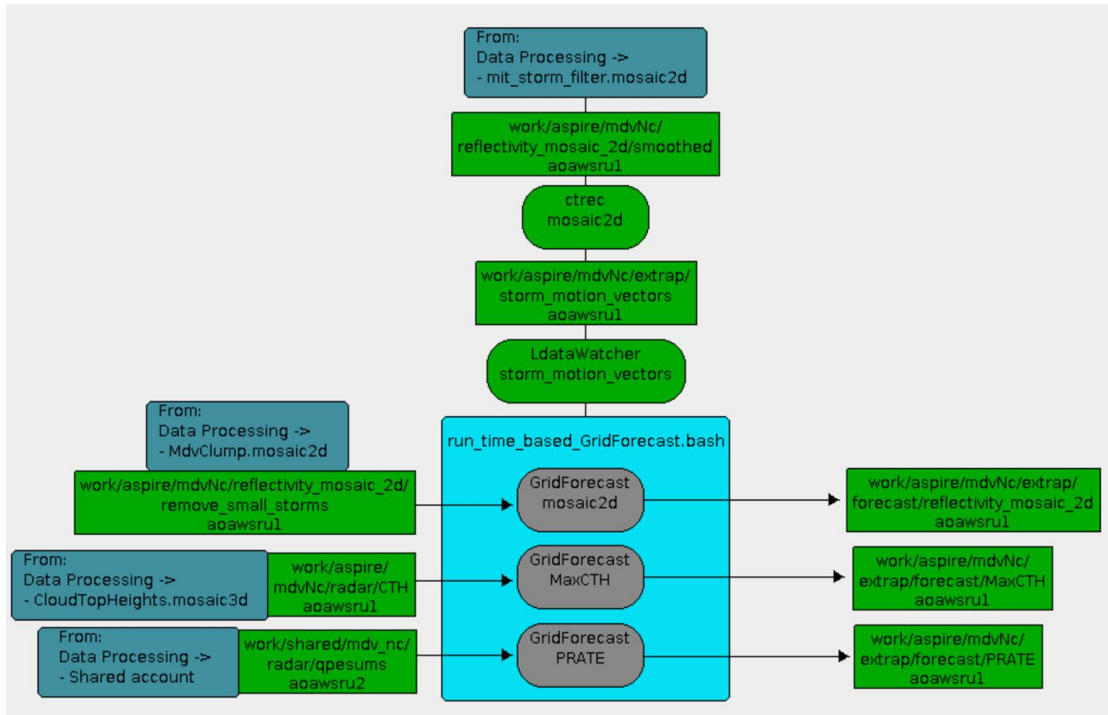


圖 81：ASPIRE 外延模組

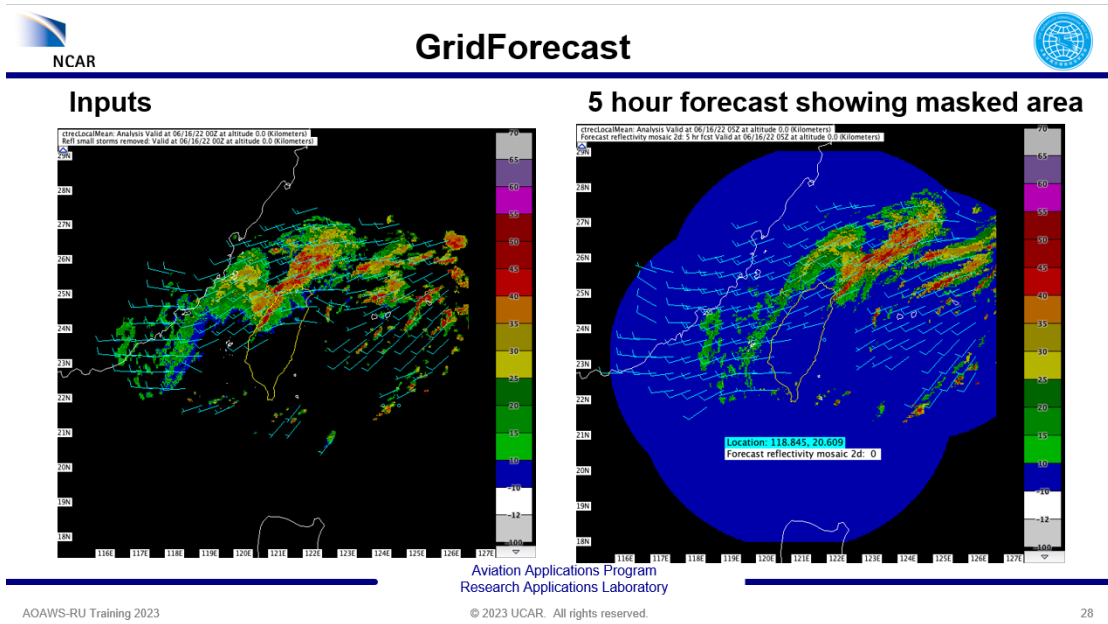


圖 82：外延預報及移動向量

## (二) ASPIRE 版本更新至 V2.2：

ASPIRE 今年由 V1.5 逐步升級至 V2.2，從 V1.5 到 V2.1 最主要的變動是預報的時間間隔由 1 小時縮短為 10 分鐘，目前更新頻率為 10 分鐘，預報時間長度為 8 小時，間隔為 1 小時；另外也調整了 CREF 跟 ECHOTOP 的校正及權重函數，如圖 83。今年八月則更新至 V2.2 版本，主要是更新 ECHOTOP 及 PRATE 的校正模組。

## ASPIRE V1.5

- 10 min update with 60 min leadtime resolution.
- Limited tuning of calibration and blending weight functions.
- Limited realtime evaluation and tuning.

## ASPIRE V2.1

- Updates every 10 min with 10 min lead time resolution.
- Completed tuning of calibration and weighting functions for CREF and ECHOTOP.
- Numerous improvements to handle realtime timing issues
  - Sped up implementation of extrapolation code
  - Numerous adjustments to handle timing issues (e.g., delay in receiving QPESUMS data compared to dbz).
- Added TITAN processing to extract and add CTREC vectors to storm objects and output geoJSON.
- Other improvements
  - Improved ingest to handle missing data properly.
  - Added ability to handle variable lead times for a given forecast - to increase uptime of blended forecast when model latency is high.
  - Added app to handle out of sequence forecast lead times
  - Improved handling of background weights to force bgweight function to 1 for extrapolation to a lead time of 1 hour.
  - New code to allow for increased storm area if indicated by Calibration function.

圖 83：ASPIRE 版本比較

另外一個新增的項目則是依總臺需求，提供風暴範圍及移動向量繪製模組：輸出 geoJSON 檔案格式之風暴移動向量，及 35dBz 以上的回波範圍，包含 1 至 2 小時外延後的位置，類似 AOAWS 系統現有的 TITAN 功能，如圖 84。

## Storm Polygon Applications :

- Titan
  - Input is a smoothed 2D radar mosaic
  - Identifies storms 35 dbz and greater
- Tstorms2Spdb
  - Converts Titan output to a database
- update\_storm\_vectors
  - Inputs are the polygon database and gridded storm motions (from ctrec).
  - Output is polygon database with motions assigned to each polygon
- tstormsFcst2Json
  - Inputs the polygon database
  - Output is a GeoJSON file with 0, 1, and 2hr extrapolated polygons

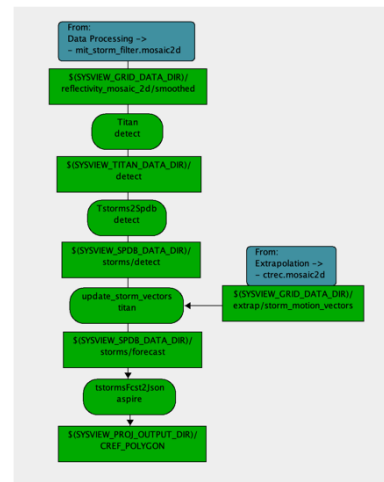


圖 84：風暴範圍及移動向量繪製模組

### (三) METplus 校驗：

METplus 校驗框架(METplus Verification Framework)是用於模式診斷及校驗的工具套件，包含三個部分：

1. METplus wrappers：控制時間與工作流程。
2. 模式評估工具(Model Evaluation Tools, MET)：計算統計結果。

### 3. 其他分析工具。

執行校驗前需要特定的設定檔 `GridStat_fcstBlended_obsRadar_refc.conf`、`system.conf`，如圖 85，包含要執行那些統計計算、使用變數以及檔案存放位置等資訊。

#### METplus Simple Example

- Files: `/home/aspire/kalb/Training`
- `GridStat_fcstBlended_obsRadar_refc.conf`
  - Runs all three MET processes (Grid-Stat, Stat-Analysis, Stat-Analysis)
  - Contains settings for variables as well as those specific to Grid-Stat and Stat-Analysis
- `system.conf`
  - Contains important paths, such as input/output, location of MET, etc.
- Runs the 3 statistics steps from previous slide on blended model for reflectivity, 3 thresholds ( $\geq 20$ ,  $\geq 30$ ,  $\geq 40$  dbz)
  - Plotting done in separate script

```
[config]
# Documentation for this use case can be found at
# https://metplus.readthedocs.io/en/latest/generated/met_tool_wrapper/GridStat/GridStat.html
# For additional information, please see the METplus Users Guide.
# https://metplus.readthedocs.io/en/latest/Users_Guide
###
# Processes to run
# https://metplus.readthedocs.io/en/latest/Users_Guide/systemconfiguration.html#process-list
###
PROCESS_LIST = GridStat, StatAnalysis(sanal_lead), StatAnalysis(sanal_lead_time_of_day)
###
# Time Info
# LOOP_BY options are INIT, VALID, RETRO, and REALTIME
# If set to INIT or RETRO:
#   INIT_TIME_FMT, INIT_BEG, INIT_END, and INIT_INCREMENT must also be set
# If set to VALID or REALTIME:
#   VALID_TIME_FMT, VALID_BEG, VALID_END, and VALID_INCREMENT must also be set
# LEAD_SEQ is the list of Forecast Leads to process
# https://metplus.readthedocs.io/en/latest/Users_Guide/systemconfiguration.html#timing-control
###
LOOP_BY = INIT
INIT_TIME_FMT = %Y%m%d%H
INIT_BEG=2024080800
INIT_END=2024081223
INIT_INCREMENT = 3600
LEAD_SEQ = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
###
# File I/O
# https://metplus.readthedocs.io/en/latest/Users_Guide/systemconfiguration.html#directory-and-fi
```

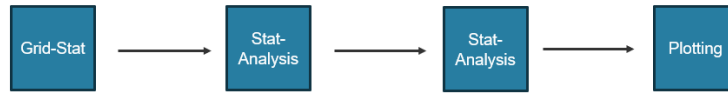


圖 85：GridStat\_fcstBlended\_obsRadar\_refc.conf 及 system.conf：

校驗運作流程如圖 86：

1. **Grid-Stat：**  
使用列聯表統計分析(表 1)，依要求的校驗的時間或日期，對模式網格及觀測資料作計算。同時也會有其他統計數值被計算，但不會用來繪圖。
2. **Stat-Analysis：**  
針對預報延時合併計算統計結果，然後針對預報延時及當日時間合併計算統計結果。
3. **Plotting：**  
可以透過 Python(圖 87)或 MET viewer(圖 88)繪製校驗統計結果。

## METplus Chain of Processing



- Grid-Stat
  - Computes Contingency Table Statistics for each requested model day/time on gridded model and observation data
  - Additional statistics also computed, but are not plotted
- Stat-Analysis
  - Aggregates statistics over a user-specified time period
    - First: run aggregates over lead time
    - Second: run aggregates over both lead time and time of day
- Plotting: 2 options
  - Python scripts
  - METviewer

圖 86：METplus 運作流程

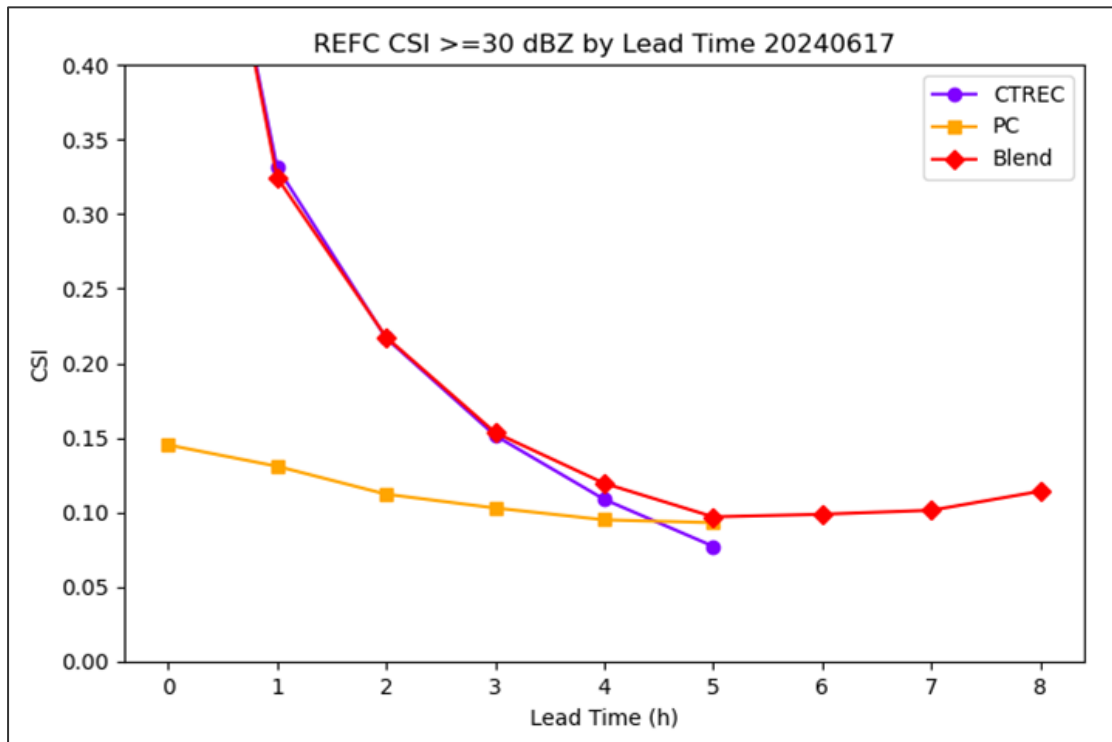


圖 87：使用 PYTHON 程式繪製校驗結果

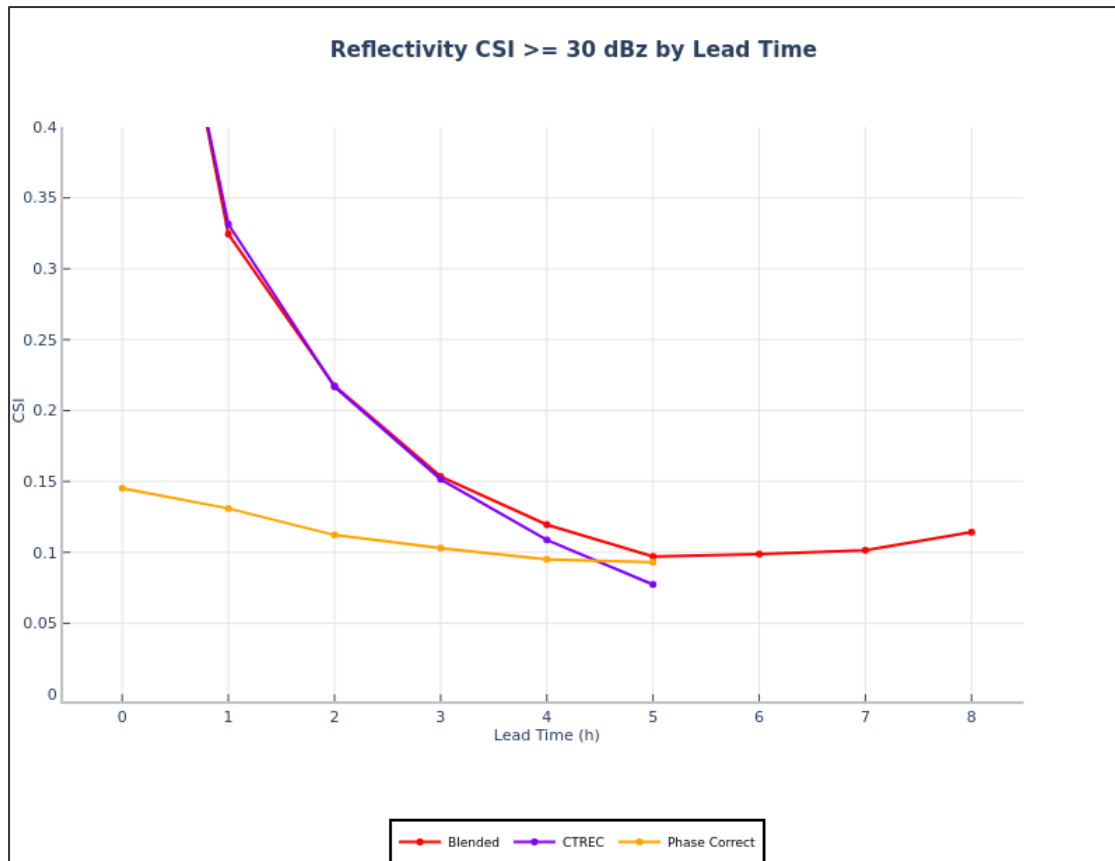


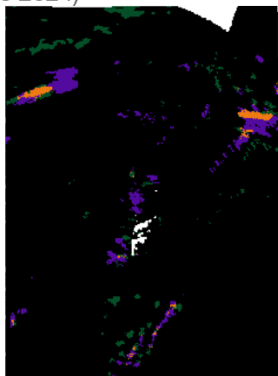
圖 88：使用 MET Viewer 顯示校驗結果

#### (四) FWCT 校驗：

如前文所述，列聯表分析(表 1)為氣象上重要的校驗方法。預報窗列聯表 (ForecastWindowedContingencyTable, FWCT)是 C++應用程式，輸入所有的預報及觀測網格資料，然後輸出 netCDF 格式的 Hit/Miss/False Alarm/Correct null 分佈(圖 89)及 ASCII 格式的 Hits/Misses/False Alarms/Correct nulls 數量統計(圖 90)，不同門檻值會分別輸出檔案。運作模式可以針對即時資料也可以針對歷史資料。參數設定包含運行模式、輸入檔案位置、輸出檔案位置。

## Gridded Output Diagnostics Data

Output grids of H/M/F files are mdv-compliant [NetCDF](#), so both [Jazz](#) and [ncview](#) works on them. Example: Blended PRATE > 0.5 mm hr-1 (1 hour [fcst](#) valid at 0700 UTC 17 June 2024)



- 1 = missing [obs](#) (white)
- 1 = Correct Null (black)
- 2 = False Positive (green)
- 3 = Miss (purple)
- 4 = Hit (orange)

NCAR RESEARCH APPLICATIONS LABORATORY

圖 89：降雨預報之 H/M/F 分佈

## ASCII output data

```
Valid_040000_blended_cref_o_20_f_20  
Valid_040000_blended_cref_o_30_f_30  
Valid_040000_blended_cref_o_40_f_40  
(poorly named, as 040000 is the GEN time, not valid time!)  
Example content:
```

```
yyyy mm dd hh mm ss leadtm(sec) ignore correct_nulls misses false_alarms hits  
2024 05 09 01 00 00 3600 1 97074 239 157 30  
2024 05 09 03 00 00 10800 1 96929 151 418 2  
2024 05 09 04 00 00 14400 1 96331 193 946 30  
2024 05 09 05 00 00 18000 1 96194 172 1060 74  
2024 05 09 06 00 00 21600 1 96175 161 1076 88  
2024 05 09 07 00 00 25200 1 96473 213 770 44
```

where yyyy mm dd hh mm ss is the valid date and time in UTC

NCAR RESEARCH APPLICATIONS LABORATORY

圖 90：ASCII 格式 H/M/F 數量統計範例

StatsAOAWS.py 這隻程式會加總 10 天的 ASCII 格式數量統計進行繪圖，然後上傳至 NCAR web server(網址於附錄)，使用者可以在上面選擇校驗的變數、校驗門檻及校驗的時間區間，查看校驗結果(圖 91)。



## Example of Stats Plot Selector Website

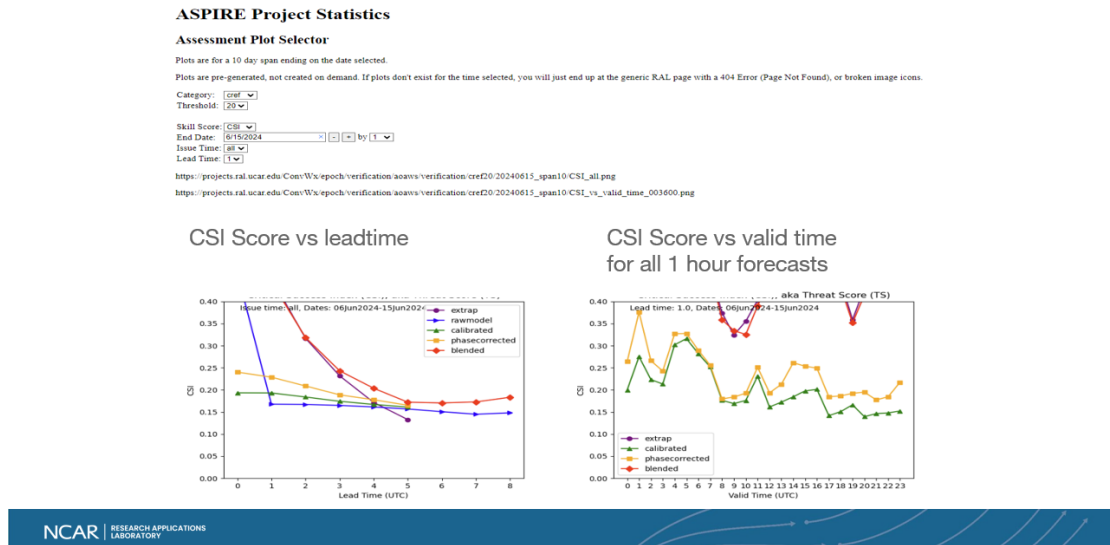


圖 91：Stats Plot Selector 網頁

### (五) 課堂練習：

1. 移動至/data1/apps/aspire/script/stats\_training\_sandbox\_1 or /data1/apps/aspire/script/stats\_training\_sandbox\_2
2. ./FcstWindowedContingencyTable -params params/FcstWindowedContingencyTable.aspire.blended\_cref.archivemode -interval 20240609000000 2024060923595  
執行 FWCT 程式。
3. 檢查輸出檔案：  
netCDF 檔案：/data1/work/aspire/stats\_sandbox\_n/mdv/verify  
ASCII 檔案：/data1/work/aspire/stats\_sandbox\_n/ascii/verify/model
4. 編輯 RunFWCTArchiveMode.py：  
運算資源不足，僅執行 2024/06/09 到 2024/06/10 時間區間。
5. 編輯 StatsManualRunThreaded.py：  
改變要執行加總的 ASCII 檔案時間區間，因執行速度快可針對所有個案。
6. ./StatsManualRunThreaded.py | tee StatsManualRunThreaded.log  
執行加總統計。
7. ./AvailabilityAOAWS.py  
檢查各變數(CREF, ECHOTOP, PRATE)的 PC 及 Blending 檔案數量，呈現於 Stats Plot Selector 網頁。

## 肆、心得及建議

### 一、持續強化 AOAWS-RU 案校驗系統

目前 AOAWS-RU 案中，已於預報系統下建置子系統校驗系統，內容涵蓋網格資料校驗、機場單站校驗、長期校驗三大類。目前 NCAR 開發的 6 項演算法產品中，除了雲頂高預測產品 CTH/CDO 外，皆已納入校驗系統的校驗項目。然而目前開發的校驗系統，主要針對臺北飛航情報區的風場、雷達回波、雲幕、能見度、溫度、氣壓、相對濕度、積冰、亂流、降水量等變數，並列觀測及模式資料進行人工比對，除了雲幕及能見度部分因為有 METAR 觀測資料可以進行計算，並未對其他變數所有網格的預報及觀測資料進行列聯表分析，來定量評估演算法的預報能力。

本次研習則提供了校驗系統未來可行的強化發展方向：對積冰而言，可以透過衛星反演之積冰資料進行校驗，計算 POD 及 FAR 來繪製 Performance Diagram；對亂流而言，可以透過 IATA in situ EDR 及 NTDA 資料進行校驗，繪製 ROC 曲線圖；對 CDO 來說，可以繪製 Performance Diagram，評估 1 至 2 小時外延預報的表現；對 ASPIRE 及 C&V 而言，可以繪製 CSI 與預報延時的關係圖等等。這些計算及繪圖程式已建置於系統內，資訊維護廠商可以設定自動化流程，定期輸出統計圖檔，放置在校驗系統網頁上。除了提供預報員作參考，長期下來這些結果也可以回饋給 NCAR 或是資訊委外廠商進行演算法的調整。

### 二、持續辦理實體教育訓練

實體教育訓練能讓學員及講師有隨時討論之可能性，增加對各演算法細節的了解，有充分時間進行討論；臺灣地區四季的變化與美國有很大的差異，加上複雜的地形與獨特的天氣系統(梅雨、颱風、東北季風...)，讓預報員回饋實際應用演算法產品的經驗給開發團隊其實是非常重要的。

另外透過實際操作演算法相關程序，從安裝、參數設定、執行程序、檢視結果、資料校驗等過程，不僅強化學員程式語言能力，亦可讓學員深刻理解演算法內部系統架構及每個程序扮演的角色。

### 三、持續研習最新航空氣象科學與技術

由於新增加之觀測資料，電腦運算資源的進步，以及科學技術的發展迅速，目前尚未加入國際民航組織(ICAO)的臺灣，需要持續研習國外最新發展之航空氣象科學及技術，其中航空業蓬勃發展的美國便是我們重要的學習對象。

另外透過與氣象署、空軍氣象聯隊、航空公司、國內學術單位與資訊廠商合作，增加本國航空氣象科學研發能力，打造符合本區航空氣象作業服務需求

之航空氣象預報產品，提供使用者更細緻的航空氣象預報及觀測分析產品，有助於增進航空氣象服務品質。

#### 四、持續優化美國國家大氣科學研究中心天氣預報演算法效能：

臺灣地區位於太平洋及歐亞大陸交界，冬天有東北季風、春天有華南雲雨帶、春夏之交有梅雨、夏季有午後熱對流及颱風等不同天氣，NCAR 須以臺灣地區不同季節不同天氣型態持續進行個案校驗及分析，使演算法符合本區氣候特性，提昇預報可用性及信心度。該項工作需要長時間的個案累積，儲存校驗統計數據，也需要預報員持續回饋使用意見。

#### 五、對外辦理使用說明會及業務交流：

對外辦理使用者說明會及業務交流，例如教育訓練課程，使航空公司了解最新航空氣象演算法產品相關應用，讓相關從業人員能正確認識演算法背後原理，回饋使用者意見，並期望未來能提供更多積冰及亂流觀測資料，納入演算法程式調整以提升預報準確度。

## 伍、 附錄

WWRP/WGNE Joint Working Group on Forecast Verification Research

<https://www.cawcr.gov.au/projects/verification/>

METplus User Support

<https://dtcenter.org/community-code/metplus/user-support>

MET Viewer

<https://dtcenter.ucar.edu/met/metviewer/metviewer1.jsp>

ASPIRE 校驗網頁

<https://projects.ral.ucar.edu/ConvWx/epoch/verification/plotSelectorAspire.html>