

出國報告(出國類別：其他)

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」
視訊報告

服務機關：交通部民用航空局飛航服務總臺

姓名職稱：郭力瑋 預報員

溫文豪 預報員

派赴國家：臺灣，中華民國

出國期間：民國 111 年 11 月 1 日~ 11 月 23 日

報告日期：民國 111 年 12 月 20 日

列印

匯出

提要表

系統識別號：	C11101019					
視訊辦理：	是					
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：						
計畫主辦機關：	交通部民用航空局					
出國人員：	姓名	服務機關	服務單位	職稱	官職等	E-MAIL 信箱
	郭力瑋	交通部民用航空局飛航服務總臺		預報員		聯絡人 leokwo@anws.gov.tw
	溫文豪	交通部民用航空局飛航服務總臺		預報員		
前往地區：	臺灣，中華民國					
參訪機關：	美國國家大氣科學研究中心					
出國類別：	其他					
實際使用經費：	年度	經費種類	來源機關	金額		
	111年度	本機關	交通部民用航空局	0元		
出國計畫預算：	年度	經費種類	來源機關	金額		
	111年度	其他經費	民航事業作業基金	0元		
出國期間：	民國111年11月01日 至 民國111年11月23日					
報告日期：						
關鍵詞：	航空氣象					
報告書頁數：	55頁					
報告內容摘要：	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區之航空氣象資料服務品質及穩定性，得以跟上先進國家腳步，持續與國際接軌。為順利推動IA#18相關工作，爰規劃前往美國國家大氣科學研究中心(NCAR)研習美國大氣研究大學聯盟之NCAR發展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，以及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。					
報告建議事項：						
電子全文檔：						
出國報告審核表：						

限閱與否：	否
專責人員姓名：	莊順淑
專責人員電話：	02-23496197

列印

匯出

目錄

壹.	目的.....	2
貳.	過程.....	2
參.	課程內容摘要.....	3
一	更新飛行中積冰診斷及預報產品.....	3
二	第 4 版亂流圖形化指引及亂流圖形化指引即時預報.....	19
三	NCAR 亂流偵測演算法(NCAR Turbulence Detection Algorithm, NTDA)	29
四	更新雲頂高(Cloud Top Height, CTH)及大洋對流診斷(Convection Diagnosis Oceanic, CDO).....	33
五	更新機場雲幕與能見度預測產品(Ceiling and Visibility, C&V)....	40
六	發展 0-8 小時的風暴預報能力(AOAWS Short-term Prediction of Intense Rainfall and Echotops, ASPIRE).....	44
七	氣象通用支援服務(CSS-Wx)之網路設定.....	53
八	AOAWS-RU 系統整體架構.....	54
肆.	心得及建議.....	55
伍.	附錄.....	55

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 110 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)」，並依與美方共識，以每 2 年簽署 1 次執行辦法方式辦理相關工作，即 110 至 111 年簽署「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 112 至 113 年簽署「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，得以跟上先進國家腳步，持續與國際接軌。

本案係 IA#18 第 2 年出國計畫，為順利推動 IA#18 相關工作，爰規劃前往美國國家大氣科學研究中心(NCAR)研習美國大氣研究大學聯盟之 NCAR 發展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，以及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。

貳. 過程

- 一 日期：本案原定前往美國執行，受新冠肺炎(COVID-19)疫情影響，經總臺及 NCAR 協調改以視訊會議方式辦理。教育訓練時間為 111 年 11 月 1、3、8 至 9、11、15 至 17 及 22 至 23 日，上午 9 至 12 時，共計 30 小時。
- 二 參加人員：臺北航空氣象中心郭預報員力瑋及溫預報員文豪，共 2 人。
- 三 授課講師及課程內容如下表：

時間	講師	課程主題
11/1	Bill Petzke	System software architecture (FOCAL-QM)
11/3	Dan Megenhardt Dave Albo	System software architecture (ASPIRE)
11/8	Gary Cunning Dan Adriaansen	System overview of aviation weather information products; system software architecture (TFIP2/TCIP2)

11/9	Teddie Keller Hailey Shin Julia Pearson Wiebke Deierling	Evaluation of aviation weather information products; System overview of aviation weather information products (GTG4/GTGN)
11/11	Greg Meymaris	Evaluation of aviation weather information products; Calibration and fine-tuning; System overview of aviation weather information products (NTDA)
11/15	Gary Cunning Dan Adriaansen	Evaluation of aviation weather information products; calibration and fine-tuning (TFIP2/TCIP2)
11/16	Ken Stone	Evaluation of aviation weather information products (CTH/CDO)
11/17	Jason Craig	System software architecture (GTG4/GTGN); (NTDA)
11/22	Hailey Shin Wiebke Deierling	Calibration and fine-tuning (GTG4/GTGN)
11/23	Ken Stone Dan Megenhardt	Calibration and fine-tuning (CTH/CDO); System software architecture (CTH/CDO)

參. 課程內容摘要

一 更新飛行中積冰診斷及預報產品

即時積冰潛勢(Current Icing Product, CIP)及積冰預報潛勢(Forecast Icing Product, FIP)係以衛星、雷達、機場天氣報告(METAR)、閃電、飛行員報告(Pilot Reports, PIREP)及數值天氣預報(NWP)資料，藉由決策樹及模糊邏輯函數，產製預報積冰潛勢機率、過冷大水滴潛勢及積冰嚴重程度等產品

NCAR 將針對飛行中積冰診斷(即 CIP)及預報產品(即 FIP)版本 2.0 所需資料進行評估及分析，並估算相關作業所需電腦計算資源。NCAR 預計修改現行系統架構設計及程式碼，另並規劃一套臺灣 CIP 及 FIP 版本 2.0(TCIP2/TFIP2)之測試及驗證草案。於 2022 年完成 TCIP2 和 TFIP2 建置，其中包括應用層面上之測試及實作，再依測試結果進行相關程式碼調整及修正工作。

飛行中積冰(In-Flight Icing, IFI)為航路上顯著之危害天氣，成因為雲層中低於 0°C 之液態過冷水滴附著凝固於機翼上，改變機翼形狀如圖 1，進而影響飛機的升力與前進時的阻力，嚴重的狀況會使飛機失去控制。一般商業客機均會有除冰裝置，利用內部噴水、加熱、除冰套等方式去除積冰。過冷水滴之大小會影響其結冰形式：較小之過冷水滴容易在機翼上形成透明一層薄冰，較大之過冷水滴(Supercooled Large Droplets, SLD)則在機翼上形成不規則形狀冰體，危害風險較大。

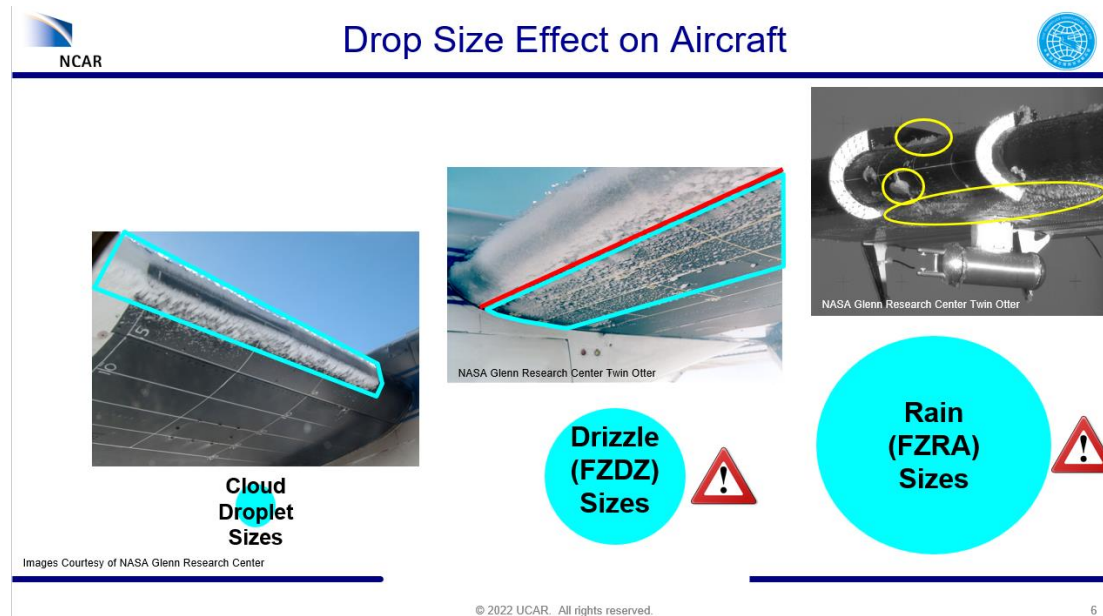


圖 1：不同大小之過冷水滴所產生之積冰樣態。

美國國家大氣科學研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)過去於航空氣象現代化系統(Advanced Operational Aviation Weather System, AOAWS)協助臺北航空氣象中心建置即時積冰潛勢產品(Current Icing Product, CIP)及積冰預報潛勢產品(Forecast Icing Product, FIP)，提供本中心對本區及鄰近航路上之積冰進行診斷與預報之工具。

(一)積冰預報潛勢產品(Forecast Icing Product, FIP)

FIP 係透過 NWP 在等壓面上之氣象參數，透過模糊邏輯演算法，輸出三維(1)積冰發生機率(2)積冰嚴重程度(3)過冷水滴潛勢等三項產品。其開發過程如圖 2。

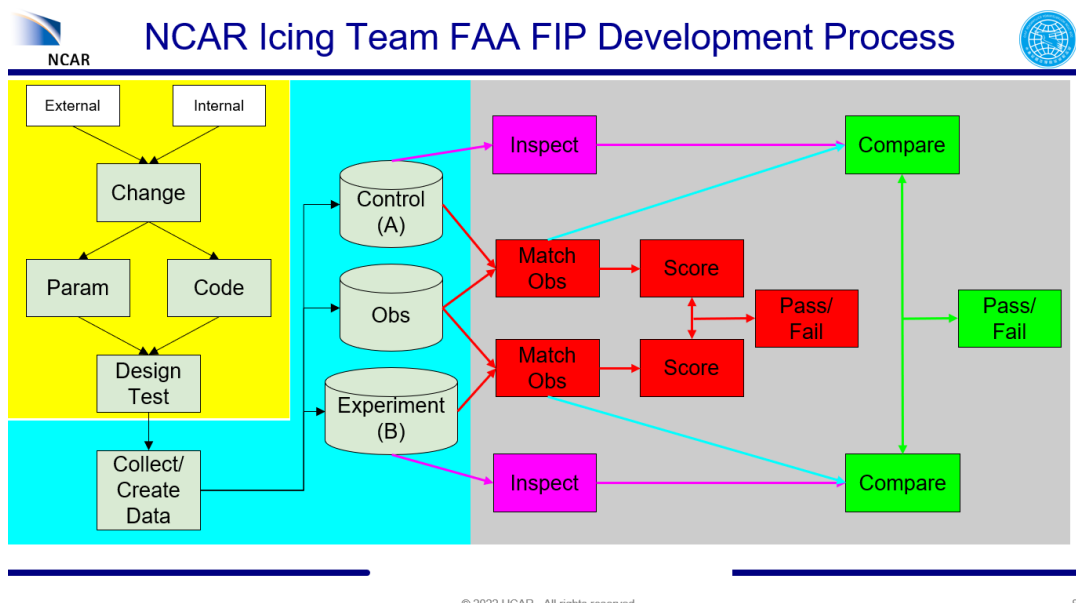


圖 2：FIP 開發流程圖。

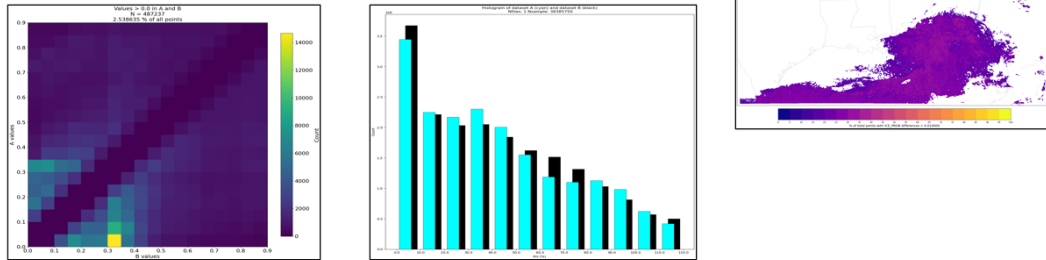
由於新技術、軟體層面演進及新觀測資料，且 NWP 也持續更新，電腦計算資源也升級，於是 NCAR 開始發展第二代積冰預報潛勢產品(FIP2)，利用新參數設定，部分程式碼更新來進行升級(圖 2 黃色部分)。

在開發 FIP 的流程中，需要觀測資料來驗證。美國主要觀測資料為 PIREP，其內容包含時間/地點/機型/積冰/亂流/溫度等相關資訊，是美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration，NOAA)及美國聯邦航空總署(Federal Aviation Administration，FAA)主要校驗積冰預報的依據。飛行員自行輸入或透過塔臺將資訊編碼後送到 NOAA，再傳送給 NCAR 進行解碼。但 PIREP 仍有一些限制：(1)人工輸入，具一定主觀意識；(2)存在空間及時間的誤差；(3)飛機報告雖然有一定的格式，但因為每次輸入的資訊皆不同，不容易由軟體自動化處理。

開發 FIP 時，由於要不斷調整改進演算法，分別建立控制組(A)與實驗組(B)兩組資料集，透過定性及定量的方式進行 A/B 測試，如圖 2 灰色部分。

定性上，兩組須進行下列的比較：(1)透過二維地圖顯示場量差距(2)比較機率分布圖(3)查看並比較場量(4)將衛星資料或 PIREP 與兩組模式積冰預報產品相互比對，如圖 3。

- Geographic maps of field differences (heatmaps)
- Comparison field histograms
- Inspect map plots of fields and compare



© 2022 UCAR. All rights reserved.

18

圖 3：定性比對控制組與實驗組資料。

FIP 定量績效評估係以觀測資料如 PIREP 內插至模式網格後計算預報得分，惟液態水含量及過冷水含量並沒有固定觀測資料做校驗。資料比對方法係比較觀測資料最近之網格點，或所有鄰近網格點之模式資料。資料格式使用 NetCDF，容易進行資料處理及分析。垂直方向網格以英尺為單位進行調整，水平方向則依模式空間解析度。

利用 PIREP 更新積冰預報潛勢產品演算法，我們可以將 PIREP 中的溫度資訊繪製成頻率分布圖如圖 4，利用最大頻率縮放頻率分布，讓模糊邏輯法的成員分布曲線接近該分布。

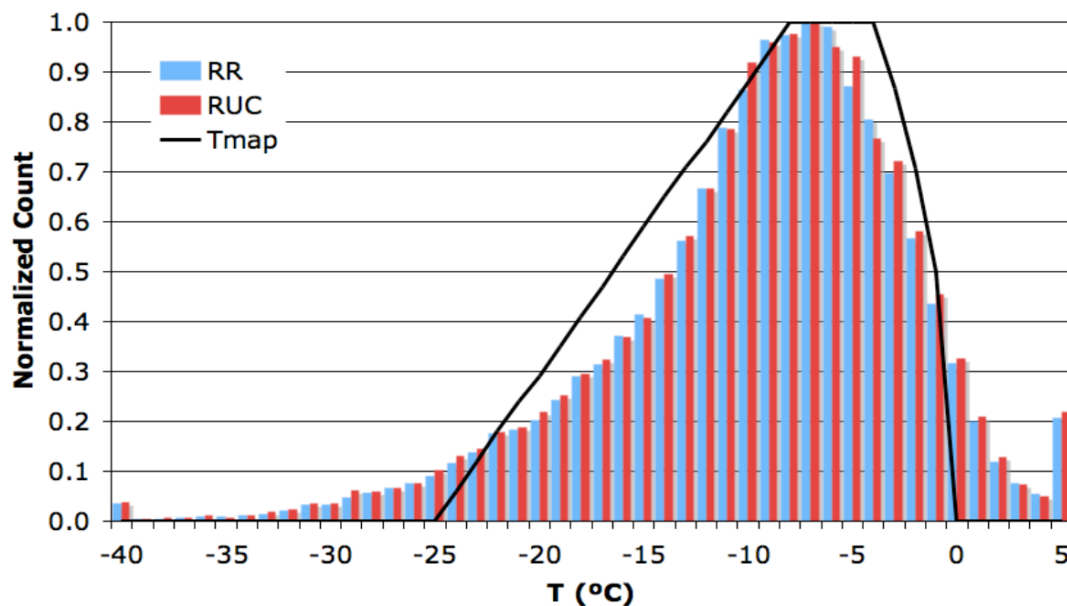


圖 4：利用飛行員報告建立模式變數頻率分布。

使用 PIREP 評估積冰預報潛勢產品的表現，可以透過下列預報技術指標：

1. PODy：表示當實際有積冰，正確預報發生積冰的比例(積冰偵測率)。
2. PODn：表示當實際沒有積冰，正確預報未發生積冰的比例。
3. POFD：即 1-PODn，表示未發生積冰卻預報有積冰的比例(過度預報率)。
4. MCASS：Multi-Category Average Skill Score。

如果 PODy=1，表示任何位置發生的積冰都有被預報到，但這也會發生在預報所有位置都有可能發生積冰的狀況，所以會透過一些參數計算來解釋 PODy 的含意：

1. Percent Volume：所有網格中，達到標準(例：積冰潛勢>0.25)的網格比例。
2. Volume Efficiency：PODy*100.0/(Percent Volume)。
3. Volume of Airspace Warned：表示積冰的空間總量，以每立方公里為單位。

當 A/B 測試通過後，演算法此次的改變就可以接受；如果未通過，表示假設被反駁或是更改的程式碼不適用，須重新設計實驗。

除 PIREP 以外，還有其他方式可校驗積冰預報：

1. 利用衛星資料透過演算法反演積冰潛勢，跟雲頂區的積冰關聯性較大，但僅適用於日間，而且只有二維平面資料，如圖 5。

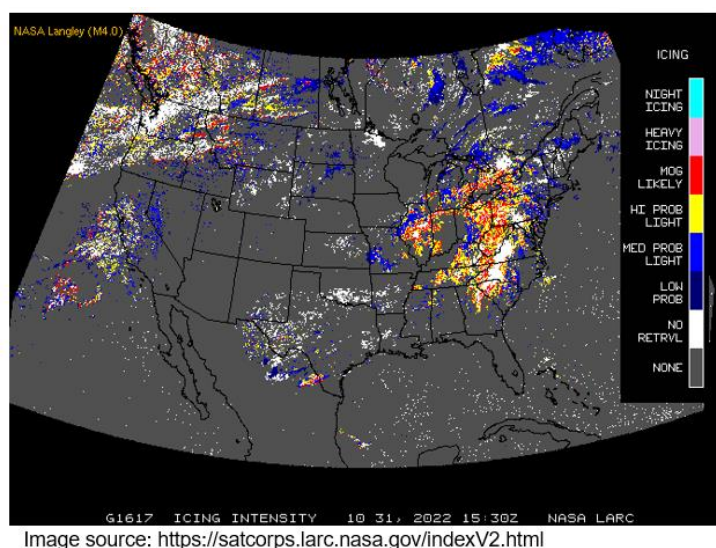
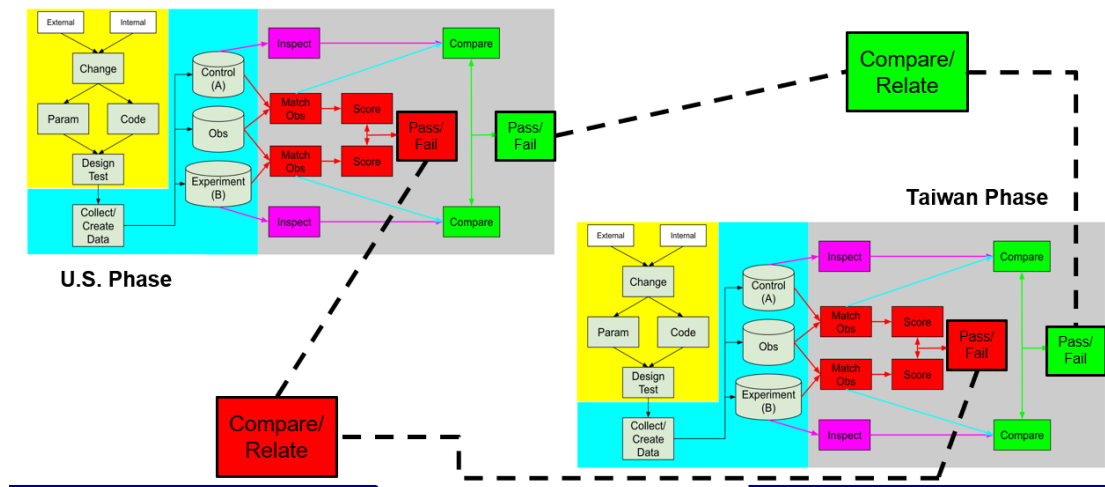


圖 5：衛星反演積冰潛勢。

2. 探空資料：溫度介於 -2 到 -15°C，相對溼度>87%為容易出現積冰的區域；溫度>0°C或<-25°C，相對濕度<50%則不容易產生積冰。
3. 利用範圍關係接近法(Domain Relation Approach)：針對有 PIREP 的區域運行 NWP 及積冰預報演算法→執行多重校驗方法→將同樣的演算法設定用於原始範圍(北美)→將原始範圍與測試範圍(東亞)相連結。此即第二代臺灣地區積冰預報潛勢產品(TFIP2)及即時積冰潛勢產品(TCIP2)所使用的方法。發展過程如圖 6。



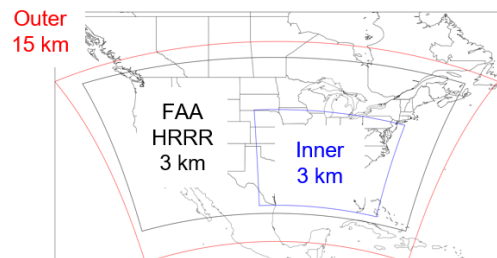
© 2022 UCAR. All rights reserved.

30

圖 6：TFIP2 開發流程圖。

在美國階段(U.S. Phase)因為需要 NWP 資料進行測試與開發，NCAR 團隊使用與氣象局作業用區域模式(CWB-WRF)雷同的設定，在美國範圍運行特定的 WRF 模式，參數及網格範圍設定如圖 7。

- Special WRF Model Runs for testing and developing TFIP2
- Closely match operational CWB-WRF
- PIREPs and FAA FIP2/FAA NWP model (HRRR) available



domain	$\Delta x, \Delta y$	n_x	n_y	n_z
d01	15 km	388	776	61
d02	3 km	268	636	61

Physics	Options Used
planetary boundary layer	YSU (Yongsei University)
surface layer	Original MM5 Monin-Obukhov
Land surface model	Noah
microphysics	Goddard 4-ice
convective parameterization	Kain-Fritsch (d01 only)
radiation: shortwave	RRTMG
radiation: longwave	RRTMG

© 2022 UCAR. All rights reserved.

35

圖 7：美國區域 WRF 模式網格與參數設定。

PIREP 部分，在 NCAR 先解碼，然後透過 python 程式轉為 SPDB 格式，對應到模式網格上。另外為了範圍關係接近法接近需要的比對，也需要前述 PIREP 資料：透過 NASA 得到 NetCDF 格式之積冰潛勢資料，也將探空資料轉為 BUFR 格式放入系統。另外還有個可以考慮的方式是比對現行美國的 FIP 輸出資料。

在反覆測試調整，確認演算法在美國可用之後，就可以將演算法轉移到臺灣

附近區域進行測試比對，模式範圍為現行 AOAWS 作業用 WRF 模式兩層巢狀網格（網格範圍及設定如圖 8），但本區缺乏 PIREP 資料進行定性或定量之校驗，所以在此僅利用 NASA 提供之衛星反演積冰潛勢資料與探空資料來做範圍關係接近法。

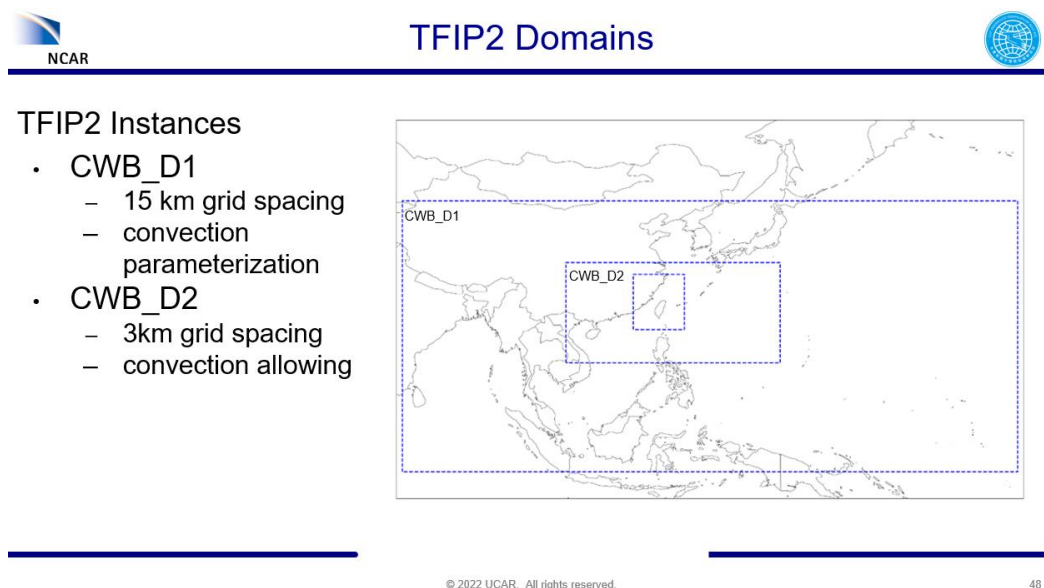


圖 8：臺灣區域 WRF 模式範圍。

範圍關係接近法透過不同觀測資料之 PODy 比例關係，來驗證積冰預報演算法於臺灣地區的預報表現：圖 9 為一範例，衛星反演之積冰資料於北美地區 PODy 約為 0.51，大約比 PIREP 的 0.73 低 30%，而探空之 PODy 則為 0.82，比 PIREP 高出 11%，演算法對於探空的積冰區域偵測率最高。將該比例關係套用至臺灣/東亞地區，可以推測若本區有 PIREP，其 PODy 約在 0.79-0.84 之間。

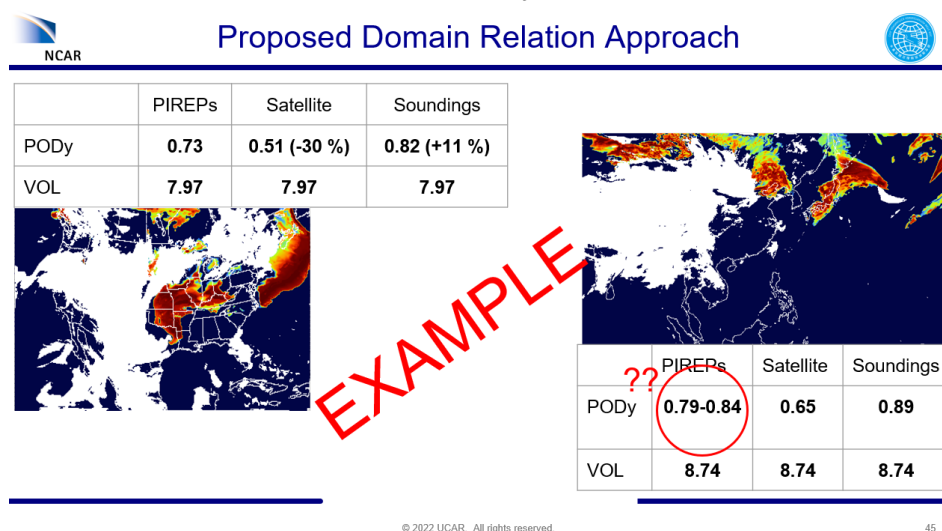


圖 9：範圍關係接近法範例。

TFIP2 資料流相對於前一版本 TFIP1 有以下不同：

1. 模式初始化過程的差異限制。

2. Wrf2Mdv 程序由 UPP、Grib2toMdv、Hyrbrid2Pressure 等三個程序取代。
3. 引入 Hyrbrid2Pressure 程序，將垂直座標由 hybrid 座標轉為等壓面座標。
4. 引入 FcstPrecipAccum 程序，計算一小時累積雨量。因 WRF 無輸出對流降雨量，需要此程序確認是否為對流降雨。
5. MdvDeriveModel 程序取代 derived_model_fields 程序。

這些改變讓 TFIP2 結構上與 FAA FIP2 相同，只是多了 FcstPrecipAccum 程序。

TFIP2 各程序常見之參數設定包含以下項目：(1)資料來源(2)檔案輸出位置(3)資料可接受時間(4)網格及投影資訊(5)錯誤校正設定(6)範例檔(7)即時或既有檔案模式。

TFIP2 輸入的模式變數如圖 10：高度場、溫度場、氣壓場、相對濕度、垂直運動速度、雲水混合比、雨水混和比、冰混合比、雪混合比、霰混合比、對流可用位能、抑制能、累積降雨量、地表高度。

Input Fields:		Accumulated Precipitation:	
Field Name	Units	Field Name	Units
Geopotential Height	m	Ice Mixing Ratio	kg/kg
Temperature	K	Snow Mixing Ratio	kg/kg
Pressure	Pa	Graupel Mixing Ratio	kg/kg
Specific Humidity	kg/kg	CAPE	J/kg
Vertical Velocity	Pa/s	CIN	J/kg
Cloud Water Mixing Ratio	kg/kg	Nth-hr Accum. Precip.	kg/m ²
Rain Water Mixing Ratio	kg/kg	Surface Height	m

- CWB_D1
 - Convective
 - Large scale
- CWB_D2
 - Total

圖 10：TFIP2 所需模式變數及單位。

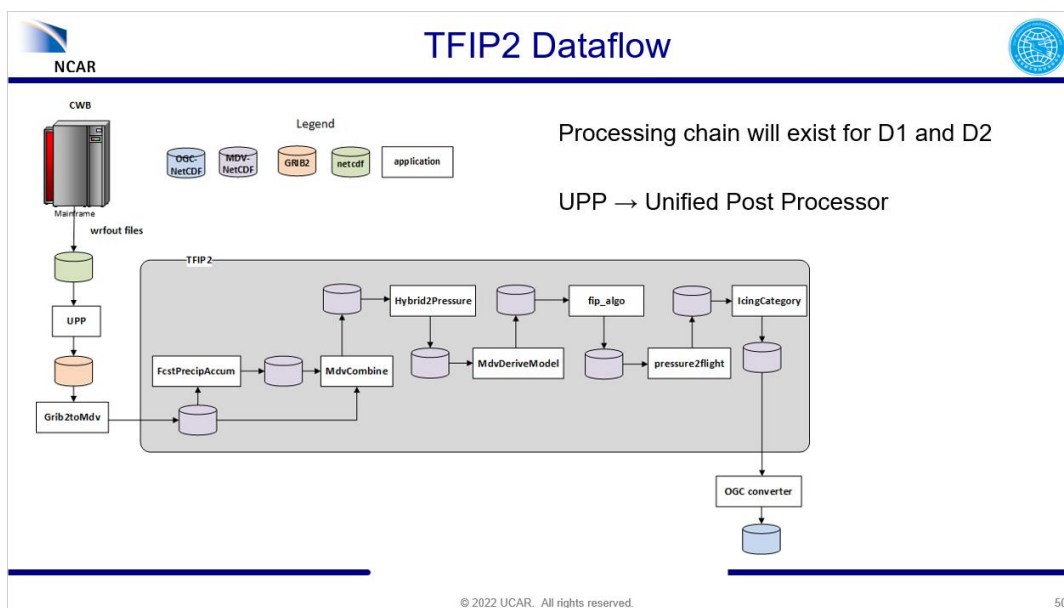


圖 11：TFIP2 資料流。

TFIP2 資料及處理流程如圖 11：WRF 模式資料經後處理進入 TFIP2 演算法計算，再將輸出結果轉為 OGC 格式。以下針對演算法各程序做簡單的介紹：

1. Grib2toMdv：將 Grib2 檔案轉為 MDV-NetCDF 格式。
2. FcstPrecipAccum：利用累積雨量計算每小時時雨量。
3. MdvCombine：將 MDV 檔案結合成新的檔案。
4. Hybrid2Pressure：將模式的垂直座標由原始的 Hybrid 座標轉至壓力座標。
5. MdvDeriveModel：計算演算法所需相關變數(TCIP2 也有用到)，需輸入氣壓座標下之三維層場，也需要輸入地形資訊。輸出變數如圖 12。

TFIP2: MdvDeriveModel Overview

Outputs:

Field Name	Units	Field Name	Units
equivalent potential temperature	K	precipitable condensate	g/kg
wet bulb temperature	K	Relative Humidity	%
super-cooled liquid water	g/kg	k index	N/A
model precipitation	g/m^2	lifted index	N/A
ice condensate	g/kg	total totals	N/A
liquid water condensate	g/kg	Relative Humidity Ice	%
total freezing water path	g/m^2		

Input fields are passed through program and appended to output

© 2022 UCAR. All rights reserved.

圖 12：模式變數導出量列表。

6. Fip_algo：計算積冰機率、過冷水滴潛勢、積冰強度。
7. Pressure2flight：將積冰參數垂直座標由氣壓座標轉換至飛航高度(Flight Level)座標。
8. IcingCategory：將積冰強度參數數值轉換成強度區間，並把缺值補零。

(二)即時積冰潛勢產品(Current Icing Product, CIP)

除更新 FIP 外，CIP 也一併更新。CIP 是利用衛星資料，結合等壓面上 NWP 資料、地面觀測(METAR)、PIREP 及雷達回波資料，透過模糊邏輯法，針對積冰的強度、發生機率以及較大過冷水滴含量進行推估。

1. 衛星資料部分使用：(1)日間可見光的反照率：用於推估液態水含量及水的三相；(2)長波紅外線頻道：得到雲頂高度與首次猜測相位；(3)計算導出量：包含短波輻射的反射率、夜間 $3.9\ \mu\text{m}$ - $11.2\ \mu\text{m}$ 、日間 $0.64\ \mu\text{m}$ - $2.24\ \mu\text{m}$ 、日間 $2.24\ \mu\text{m}$ 。
2. 地面機場定時觀測(METAR)：使用雲量、雲幕及降水資料，並用模式資料補足地面資料缺稀的地方，可以調整影響的半徑，用於分類降雨強度或雲覆蓋率。
3. NWP：提供 CIP 產品的背景網格，使用等壓面座標，輸入相對溼度、溫度、混合比、垂直速度、重力位高度等資訊。
4. 三維督卜勒雷達：用於有地面降水的時候，可以加強雲的邊界，針對雙偏極化雷達變數使用 NCAR 雙偏極化積冰演算法。
5. PIREP(選擇性)：對報告點在水平及垂直 CIP 網格上產生影響，也用於計算積冰強度，對顯著發生積冰的網格之積冰機率及強度進行調整。
6. 閃電資料(選擇性)：GOES 閃電繪圖將雷擊發生 25 公里的範圍內加進 CIP 的網格，用於驅動 CIP 中的深對流情境。RAOB/AMDAR 的觀測資料則多已同化至 NWP 中，不會被使用。

CIP 開發流程：與 FIP 開發流程相似，如圖 13。

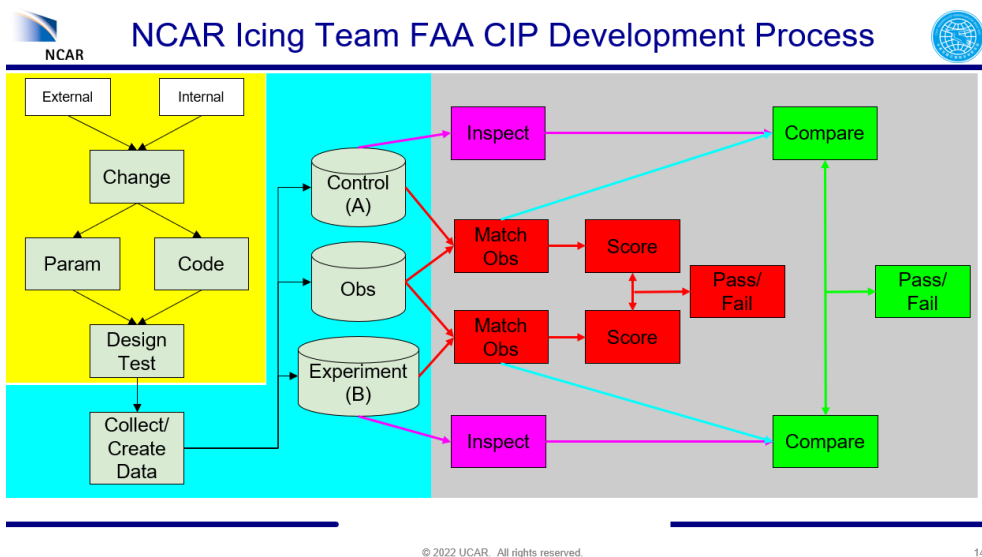


圖 13：CIP 開發流程圖。

CIP 在執行 A/B 測試時，若使用 PIREP 資料，因為 FAA 之 CIP 已使用 PIREP 作為輸入資料，故 PIREP 必須在 CIP 有效時間之後，確保與 CIP 診斷產品相互獨立，因此 A/B 測試時能用的觀測樣本比較少。除 PIREP 外，亦透過探空資料進行校驗：當溫度介於-2 到-15℃，相對溼度>87%為容易出現積冰區域；溫度>0℃或<-25℃，相對濕度<50%則不容易產生積冰。

TCIP2 開發流程如圖 14，由於臺灣地區/東亞地區缺乏 PIREP 資料，必須透過範圍關係接近法(Domain Relation Approach)進行開發，如先前 TFIP2 所述。然而衛星資料已在 CIP 中使用，不具獨立性，所以只能使用每天 2 筆探空資料進行校驗，時空分布受到限制，而且對於積冰是間接推估。能夠進行個案研究數量也很少。此外本區缺少雙偏極化雷達資料及 PIREP，而在 WRF Domain1 及 Domain2 也沒有閃電跟雷達資料。

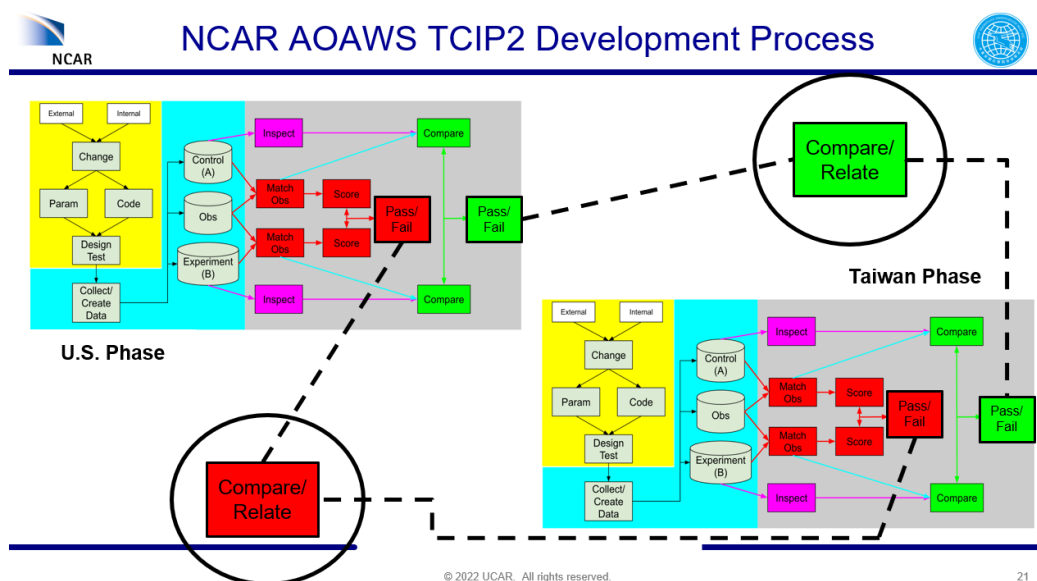


圖 14：TCIP2 開發流程圖。

TCIP2 的測試在美國階段(U.S. Phase)著重(1)計算缺乏之資料集的影響。(2)回顧當缺少資料集時輸出的積冰產品。(3)反演雙偏極化雷達的必要性。而在臺灣階段(Taiwan Phase)著重於(1)估算資料來源改變的影響，例如加入雷達整合資料及閃電資料，以及 GOES-16 衛星轉為向日葵 8 號/9 號衛星。(2)確保 U.S. Phase 演算法轉移後能產生相似的特性。(3)範圍關係接近法。

範圍關係接近範例如圖 15：若在 U.S. Phase 探空的 PODy 可以到 0.82，比 PIREP 多出 11%，我們可以用臺灣地區的探空資料與 TCIP2 的結果進行比對，推估有 79%的飛行員積冰報告可以被預報到。

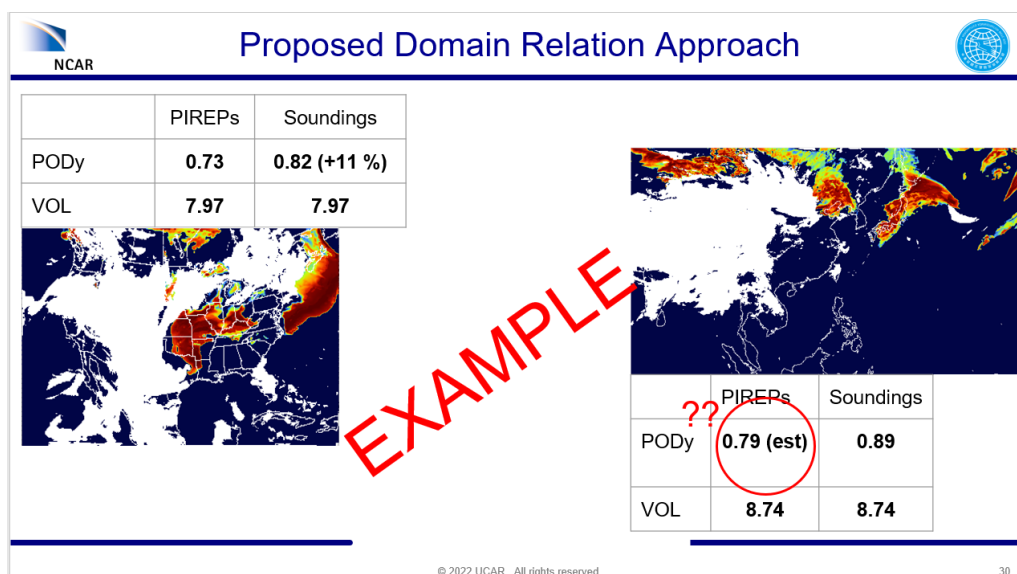
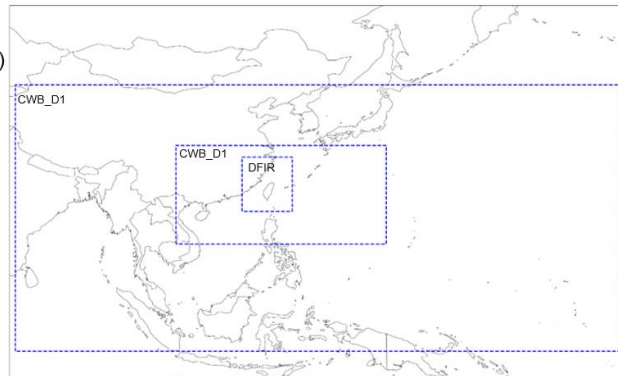


圖 15：TCIP2 範圍關係接近範例。

在美國階段需要特定的 WRF 模式輸出資料，設定同 TFIP2(圖 7)，與氣象局作業用模式雷同。也同樣需要 PIREP 內插到不同網格上。而為了進行範圍關係接近法計算，需使用 BUFR 格式之探空資料。另外也可以將透過特定 WRF 模式輸出的 CIP 跟美國現行作業的 CIP 輸出進行比對。之後將演算法轉移到臺灣地區，網格設定如圖 16，再利用探空資料進行校驗。

Instances:

- CWB_D1
 - CWB WRF D1 (15 km grid spacing)
 - Himawari-8/9
 - METARs
- CWB_D2
 - CWB WRF D1 (3 km grid spacing)
 - Himawari-8/9
 - METARs
- DFIR
 - CWB WRF D1 (3 km grid spacing)
 - Himawari-8/9
 - METARs
 - Radar (3-d reflectivity)
 - Lightning



© 2022 UCAR. All rights reserved.

37

圖 16：TCIP2 網格設定。

TCIP2 的輸入變數如圖 17、圖 18：模式資料(重力位高度/溫度/氣壓/相對濕度/垂直速度/雲混合比/雨混合比/冰混合比/雪混合比/霰混合比/地表高度)、雷達回波值、閃電位置與數量、向日葵衛星可見光頻道/紅外線各頻道亮度溫度、機場定時天氣觀測報文(雲量、雲幕高、與降水有關之天氣現象)。

Model Fields:

Field	Units	Field	Units
Geopotential Height	m	Ice Mixing Ratio	kg/kg
Temperature	K	Snow Mixing Ratio	kg/kg
Pressure	Pa	Graupel Mixing Ratio	kg/kg
Specific Humidity	kg/kg	Surface Height	m
Vertical Velocity	Pa/s		
Cloud Water Mixing Ratio	kg/kg		
Rain Water Mixing Ratio	kg/kg		

Radar Fields:

Field	Units
reflectivity	dbz

Lightning Fields:

Field	Units
strike location (lat/lon)	degress
strike count	N

© 2022 UCAR. All rights reserved.

38

圖 17：TCIP2 所需之模式資料、雷達資料及閃電資料。

Satellite Fields:		METAR Fields:	
Field	Units	Field	Units
Himawari8/9 channel 3	%	cloud cover	type
Himawari8/9 channel 5	C	cloudbase height	m
Himawari8/9 channel 7	C	presence of freezing rain	yes/no
Himawari8/9 channel 8	C	presence of freezing drizzle	yes/no
Himawari8/9 channel 13	C	presence of ice pellets	yes/no
Himawari8/9 channel 15	C	presence of rain	yes/no
		presence of snow	yes/no
		presence of drizzle	yes/no

圖 18：TCIP2 所需之衛星資料及地面觀測資料。

TCIP2 各程序常見之參數設定包含以下項目：(1)資料來源(2)檔案輸出位置(3)資料可接受時間(4)網格及投影資訊(5)錯誤校正設定(6)範例檔(7)即時或既有檔案模式。

接者針對 TCIP2 的資料流、各應用程序進行介紹：

1. JmaHimawari8toMdv：原始衛星資料轉檔：衛星資料來自向日葵 8 號/9 號衛星，將 B03/B05/B07/B08/B13/B15 等頻道原始 HRIT 格式的檔案透過 JmaHimawari8toMdv 轉為 MDV-NetCDF 格式。
2. SatDerive：計算衛星導出量(頻道之間的差/標準差/反照率)及太陽天頂角。輸入的是可見光頻道的雲量跟紅外線頻道的亮度溫度，輸出的是第 15 頻道與第 7 頻道的亮度溫度差、太陽天頂角、正規化的可見光雲量、短波反射率、積冰指數。

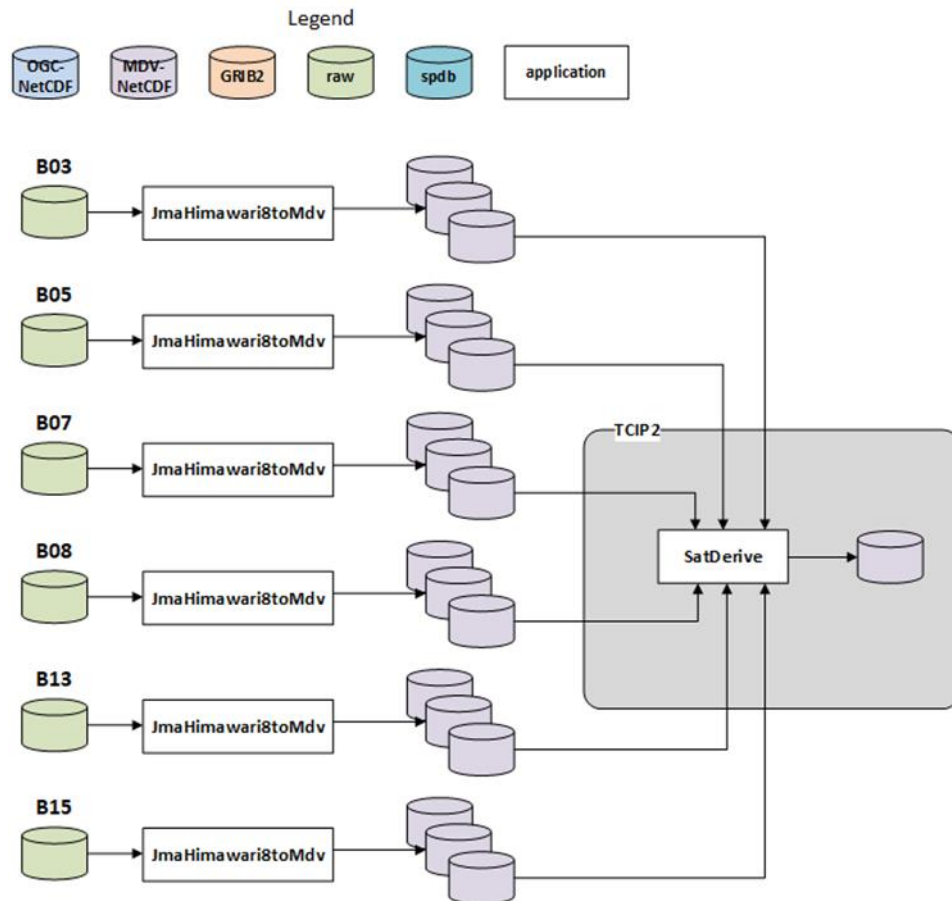


圖 19：衛星資料處理流程。

3. Metar2Spdb: 接下來處理地面觀測資料, 首先將文字格式的 METAR 報文資料, 轉為 SPDB 格式。未來也能夠處理 iWXXM 格式的報文。一樣可以選擇要用即時資料還是特定一段時間的既有資料。
4. MetarMapper: 將 SPDB 格式觀測資料透過演算法, 將鄰近測站的雲量/降水天氣/雲幕轉為二維網格資料。(轉為 Mdv-NetCDF 格式)。
5. CreateModelMetars: 由於地面觀測資料分布不均, 從 NWP 創造虛擬的 METAR 觀測資料, 填至網格上。輸入的模式資料有: 重力位高度、溫度、垂直速度、雲混合比、雨混合比、冰混合比、雪混合比、一小時累積降雨。輸出: 雲量、雲幕、與各降水天氣(凍雨/凍毛雨/冰珠/雨/雪/毛雨)的距離。
6. MdvBlender: 將實際 METAR 與虛擬 METAR 建立的二維場結合成單一 MDV 檔案。

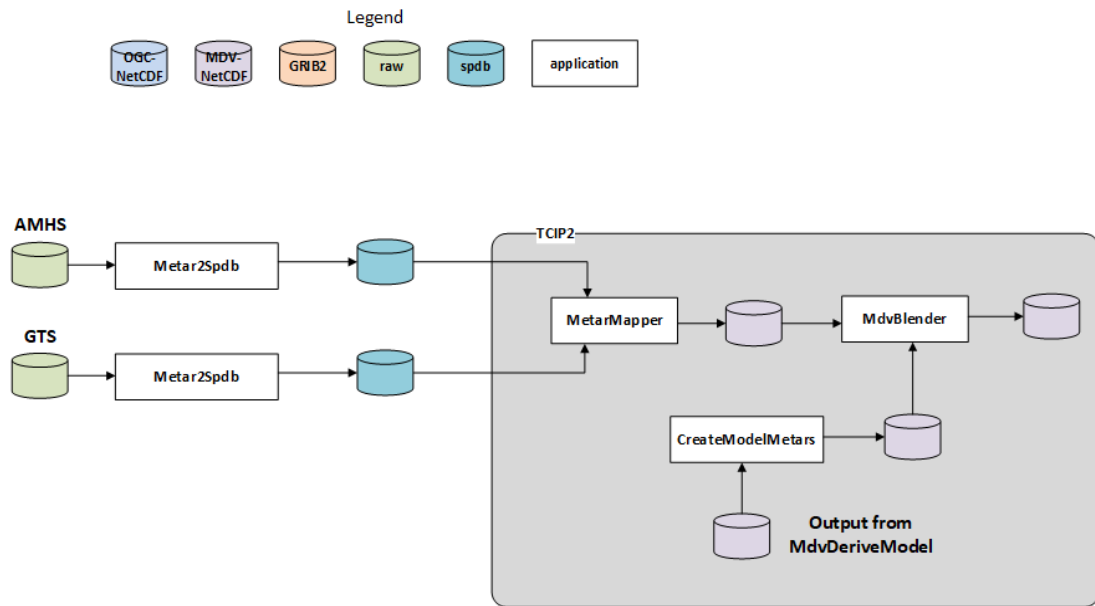


圖 20：地面觀測資料處理流程。

7. Grib2toMdv、FcstPrecipAccum、MdvCombine、Hybrid2Pressure 及 MdvDeriveModel 等程序所需相關變數及功能與 TFIP2 一致。輸出變數有：相當位溫、相對濕度、水滴濃度、冰晶濃度。

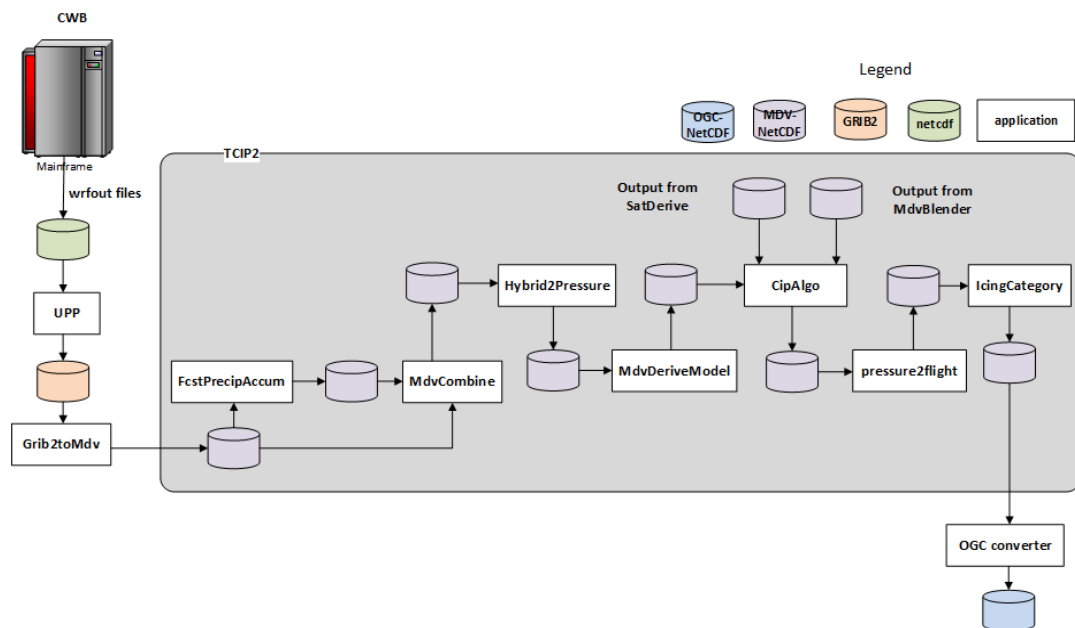


圖 21：模式資料及演算法處理流程。

8. CwbRadar2Mdv：將氣象局雷達整合回波從原始檔案格式轉為 MDV-NetCDF 格式。
9. MrmsPostProcessor：計算積冰診斷所需之網格，將雷達資料從等高度資料轉至氣壓座標，填至網格上。惟目前中央氣象局無提供雙偏極化動差資料合

成，TCIP2 沒有此項對積冰影響。

10. Ltg2Spdb：將閃電資料從原始格式轉為 SPDB 格式。

11. LtgSpdb2Mdv：將閃電資料轉為二維網格資料 MDV-NetCDF 格式。

到這裡，執行 TCIP2 演算法所需的資料已處理完成。

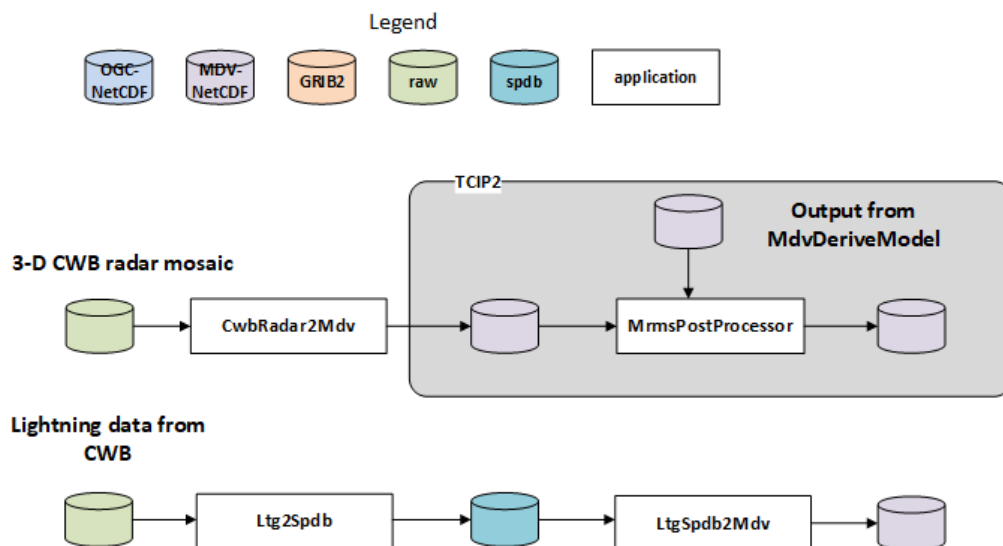


圖 22：雷達及閃電資料處理流程。

12. CipAlgo：輸入模式、觀測、衛星、雷達、閃電處理後的資料，計算積冰機率、過冷水滴潛勢、積冰強度。

13. Pressure2flight：將垂直座標由氣壓座標轉為飛航高度(Flight Level)座標。

14. IcingCategory：將積冰強度由連續數值轉為輕度/中度/強度分級。

二 第 4 版亂流圖形化指引及亂流圖形化指引即時預報

第 4 版亂流圖形化指引(Graphical Turbulence Guidance version 4, GTG4)係以 NWP 資料計算各種亂流診斷數值，透過長期觀測資料及個案研究進行校驗，求出各種診斷數值權重，加總各種亂流診斷數值及權重後取最大值產製 GTG4 預報產品。亂流圖形化指引即時預報(Graphical Turbulence Guidance Nowcast, GTGN)係以 GTG4 預報產品為基礎，加入即時觀測資料造成亂流程度，如機載實測亂流資料、飛行員報告(PIREP)、NCAR 亂流偵測演算法(NTDA)、閃電及地面風速。

目前 GTG4 預報產品已考慮晴空亂流(Clear-air Turbulence, CAT)、山岳波亂流(Mountain wave Turbulence, MWT)、對流引發亂流(Cloud-induced or Convectively-induced Turbulence, CIT)及低層地形引發亂流(Low level Terrain-induced Turbulence, LLT)造成影響。目前 GTGN 預報產品僅加入機載實測 EDR 及 NTD 等觀測資料。

GTG 發展過程介紹，NCAR 將持續針對先前發展第 2 版亂流圖形化指引 (Graphical Turbulence Guidance, GTG) 為基礎之亂流預報演算法進行升級，使其具備最新科學技術和功能。NCAR 將建置一套 GTG4 雛型，再使用為期 1 年 NWP 資料進行調校。另外，為使演算法計算時間滿足作業人員需求，GTG4 將採用標準訊息傳遞介面(MPI)之新程式碼，進行平行化計算程序。以 GTG4 為雛型，NCAR 將建置 GTGN，並透過個案研究及觀測資料進行校驗，使 GTGN 具最佳預報表現能力。

GTG 研究動機係因每年約有 200 億經濟損失與亂流有關，飛行器意外事故約有 75% 與亂流有關，飛行器毀損約有 10% 與亂流有關，亂流造成影響易使一般民眾認為飛行不安全。

所有 NCAR 亂流產品皆以渦流消散率(Eddy Dissipation Rate, EDR)作為亂流強度單位，過去遭遇亂流時，多以乘客感受程度為標準，但其與機型大小有相當大關係，改用 EDR 表示亂流強度，可客觀表示飛行器遭遇亂流強度。另為方便使用及判讀，數值範圍為 0 至 1。在 GTG4 及 GTGN 中，輕度、中度及重度亂流 EDR 分類標準為 0.15、0.22 及 0.3，EDR 值超過 0.3 即為重度亂流，前述定義與國際民用航空組織(ICAO)對中型飛行器之 EDR 分類標準不同。

目前 GTG4 中亂流種類分成 CAT、MWT、CIT 及 LLT 等 4 種，生成機制及垂直分布如圖 23。

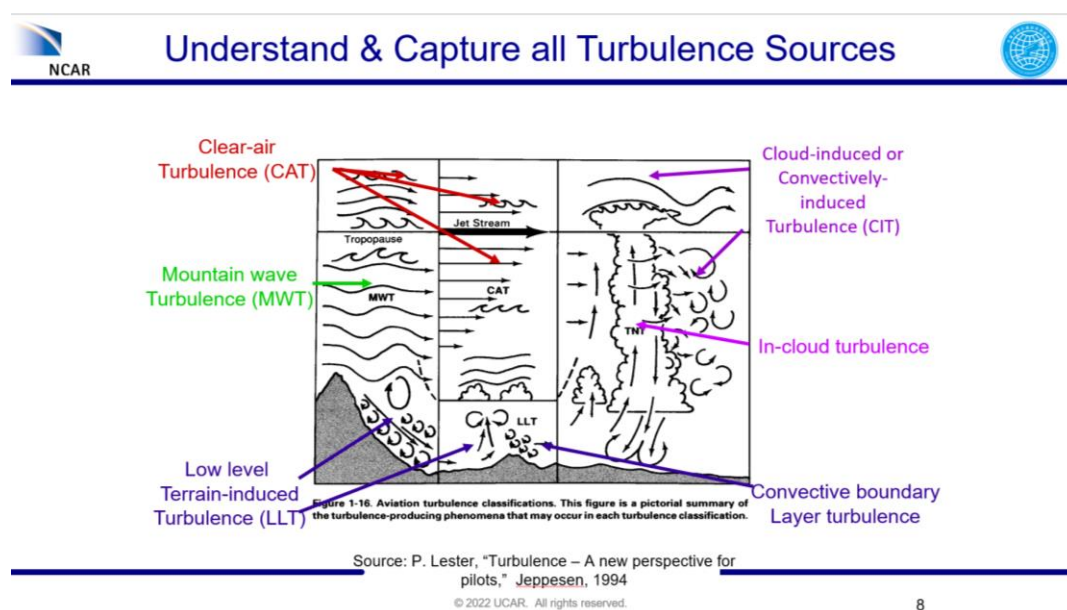


圖 23：4 種亂流生成示意圖及垂直空間上分布。

CAT 通常發生在噴流軸附近，Kronebach(1964)分析 470 個案發現約 70% 亂流發生在噴流軸位置緯度正負 4 度內，這些區域具強烈風切易產生亂流。根據 1999 年 12 月 3 日 PIREP 資料，亂流發生區域在對流層頂附近 3000 呎內。

MWT 係氣流通過複雜地形引發，造成強下衝氣流(25-50m/s)，近地面強垂直速度，氣壓變化。根據美國地區 1993 至 2007 年 PIREP 資料，中度以上亂流(EDR 大於 0.5)發生區域與美國山脈位置相符，如科羅拉多落磯、瓦薩奇、內華達及加

拿大洛磯。

CIT 係雲中對流引發，發生在強烈速度梯度區域附近，如圖 24 所示。雷達回波及 NTDA EDR 資料顯示高 dBZ 區域附近，特別是上方區域有強烈亂流，此結果與 NWP 模擬飢線(Squall line)產生亂流分布一致。CIT 生成機制為對流引發重力波破裂並傳播，會強化雲頂風切程度，Overshoot 雲常伴隨不穩定。

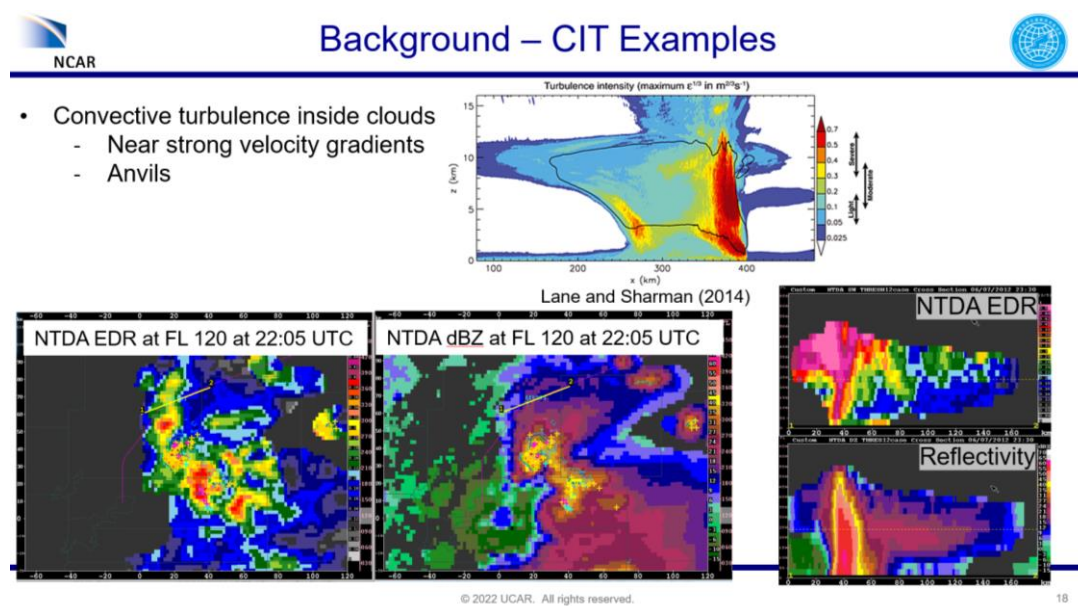


圖 24：雷達資料觀測及數值模式模擬雲中亂流結果。

亂流觀測資料分成 3 種，機載實測 EDR、飛行員報告(PIREP/AIREP)及 NTDA EDR。機載實測 EDR 資料具備自動記錄精確時間、位置及亂流強度特性，資料記錄頻率為 20 分鐘，另資料數量豐富，在美國地區，一天平均會收到 6 萬 6 千次機載 EDR 資料。PIREP 紀錄之亂流程度是飛行員主觀判斷且與飛機機型有關，且時間及位置不夠精確。在美國地區，一天平均會收到 550 次 PIREP 資料。NTDA 只能測量雲及風暴中亂流，資料高度範圍從 3000 呎至 45000 呎，具高時間及空間解析度，更新頻率為 5 分鐘。

GTG 預報流程分成 4 步驟：

(一)計算亂流診斷數值(D)：以 NWP 模式預報作為輸入資料，產製單位為 EDR 之亂流預報。

1. CAT 診斷數值：共約 60 種診斷數值計算方法，其與理察生數、空間梯度、渦度、水平風速及垂直速度等大氣參數有關。部分診斷數值描述如表 1。

Diagnostic	Description	Unit	Reference
Speed	Horizontal wind speed	m s^{-1}	Endlich (1964)
VWS	Vertical shear of horizontal wind	s^{-1}	Endlich (1964)
1/Ri	Inverse Ri (dry)		Sharman et al. (2006)
1/Ri _i	Inverse Ri (moist)		Sharman et al. (2006)
1/Ri _{1w}	Inverse Ri with VWS from thermal wind relation		Sharman et al. (2006)
HS	Horizontal shear of horizontal wind	s^{-1}	Dutton (1980)
Endlich	Wind speed $\times$ turning	radian s^{-1}	Endlich (1964)
Dutton	Dutton's empirical index	s^{-1}	Dutton (1980)
wsq	Vertical velocity (w) squared	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$	
iawind	Inertial advective wind	m s^{-2}	McCann (2001)
[DIV]	[Horizontal divergence]	s^{-1}	
VORTSQ	[Vertical vorticity] ²	s^{-2}	
DEFSQ	[Total deformation] ²	s^{-2}	
-DRiDt	Ri tendency	s^{-1}	Roach (1970)
Brown1	Simplified DRi/Dt	s^{-1}	Brown (1973)
Brown2	$e^{1/3}$ from simplified DRi/Dt	$\text{m}^{2/3} \text{s}^{-1}$	Brown (1973)
EDRLUN	$e^{1/3}$ from simplified DRi/Dt	$\text{m}^{2/3} \text{s}^{-1}$	Gill and Buchanan (2014)
CP	Colson-Panofsky TKE	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$	Colson and Panofsky (1965)
Ellrod1	T11 index	s^{-2}	Ellrod and Knapp (1992)
Ellrod2	T12 index (includes divergence)	s^{-2}	Ellrod and Knapp (1992)
Ellrod3	Ellrod2 with divergence tendency substituted for divergence and divergence tendency computed as in Sharman et al. (2006)	s^{-2}	Ellrod and Knox (2010)
SGSTKE	Subgrid TKE from NWP model	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$	
DTE3	Diagnostic TKE-epsilon formulation	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$	Marroquin (1998)
LAZ	TKE	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$	Laikhtman and Al'ter-Zalik (1966)
SEDR	$e^{1/3}$ derived from TKE	$\text{m}^{2/3} \text{s}^{-1}$	Schumann (2012)
SCHGW	$e^{1/3}$ derived from variance of vertical velocity	$\text{m}^{2/3} \text{s}^{-1}$	Schumann (2012)
NCSU1	Advection $\times$ [vorticity gradient]/Ri*	s^{-3}	Kaplan et al. (2004)
NCSU2	[Vorticity gradient $\times$ gradient of Montgomery streamfunction] computed on isentropic surfaces	s^{-3}	Kaplan et al. (2004)
PVGRAD	Horizontal potential vorticity gradient	PVU km^{-1}	
TROP/GZ	Tropopause gradient/tropopause height	m^{-1}	
NVA	Negative vorticity advection	s^{-2}	Sharman et al. (2006)
Stone	Inertial instability index	s^{-2}	Stone (1966); Knox (1997)
AGI	Anomalous gradient instability	m^{-1}	Alaka (1961); Mogil and Holle (1972)
LHFK	Lighthill-Ford spontaneous imbalance	m^{-1}	Knox et al. (2008)
[TEMPG]	Horizontal temperature gradient	K m^{-1}	Sharman et al. (2006)
NGM1	Wind speed $\times$ [deformation]	m s^{-2}	Reap (1996)
NGM2	[Vertical temperature gradient] $\times$ [deformation]	$\text{K m}^{-1} \text{s}^{-1}$	Reap (1996)
F2D	2D frontogenesis function on constant z surfaces	K m s^{-1}	Sharman et al. (2006)
F2DTW	2D frontogenesis function on constant z surface using thermal wind relation	K m s^{-1}	Sharman et al. (2006)
F3D	3D frontogenesis function on constant z surfaces	K m s^{-1}	
FTH	Normalized 2D frontogenesis function computed on isentropic surfaces	$\text{m}^2 \text{s}^{-3}$	Sharman et al. (2006)
EDRLL	$e^{2/3}$ estimated from second-order longitudinal structure function	$\text{m}^{4/3} \text{s}^{-2}$	Frehlich and Sharman (2004a)
EDRAVG	$e^{2/3}$ estimated from average of longitudinal and transverse second-order structure functions	$\text{m}^{4/3} \text{s}^{-2}$	Frehlich and Sharman (2004a)
SIGWX	Variance of w estimated from second-order longitudinal structure function	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$	Frehlich and Sharman (2004b)
SIGWAVG	Variance of w estimated from average of longitudinal and transverse second-order structure functions	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$	Frehlich and Sharman (2004b)
CTSQ	Temperature structure constant estimated from average of longitudinal and transverse second-order structure functions of T	$\text{K}^2 \text{m}^{-2/3}$	Frehlich et al. (2010)

表 1：CAT 診斷數值列表。

在區域 1(Domain 1)，飛航高度 FL320(約 300hPa)，以 CWB WRF 模式資料計算 CAT 診斷數值分布如圖 25。

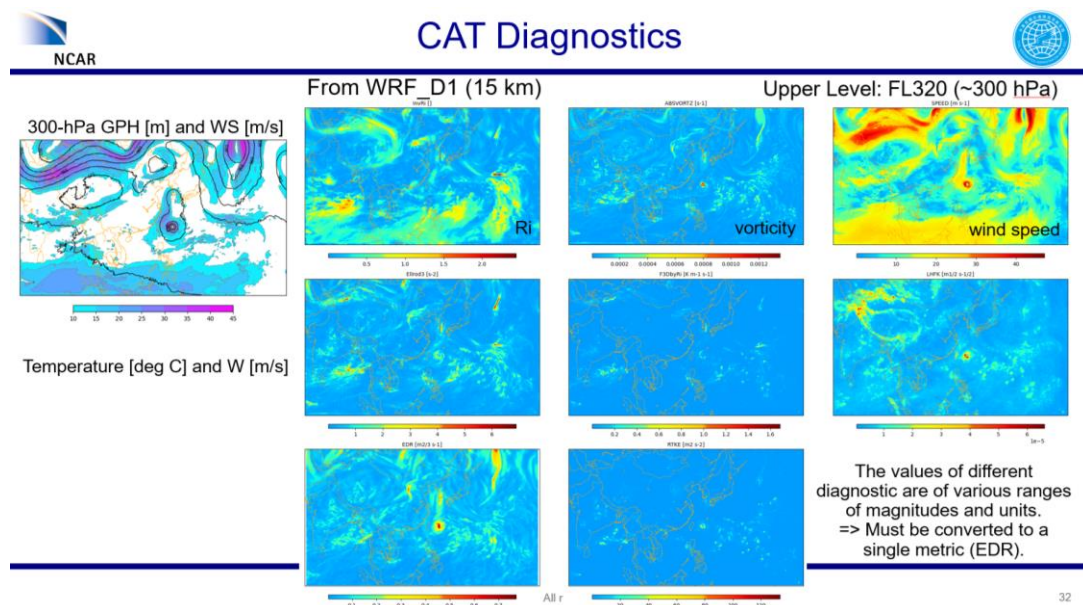


圖 25：在區域 1、飛航高度 FL320，CAT 診斷數值分布。

2. MWT 診斷數值：共約 14 種診斷數值計算方法，藉由個案研究及歷史資料統計，從 CAT 診斷數值計算方法中選取其中 14 種作為 MWT 診斷數值計算方法。MWT 診斷數值為 CAT 診斷數值乘以與速度及高度有關參數(d_s)，如圖 26。在區域 1(Domain 1)，飛航高度 FL320(約 300hPa)，以 CWB WRF 模式資料計算 MWT 診斷數值分布如圖 26。

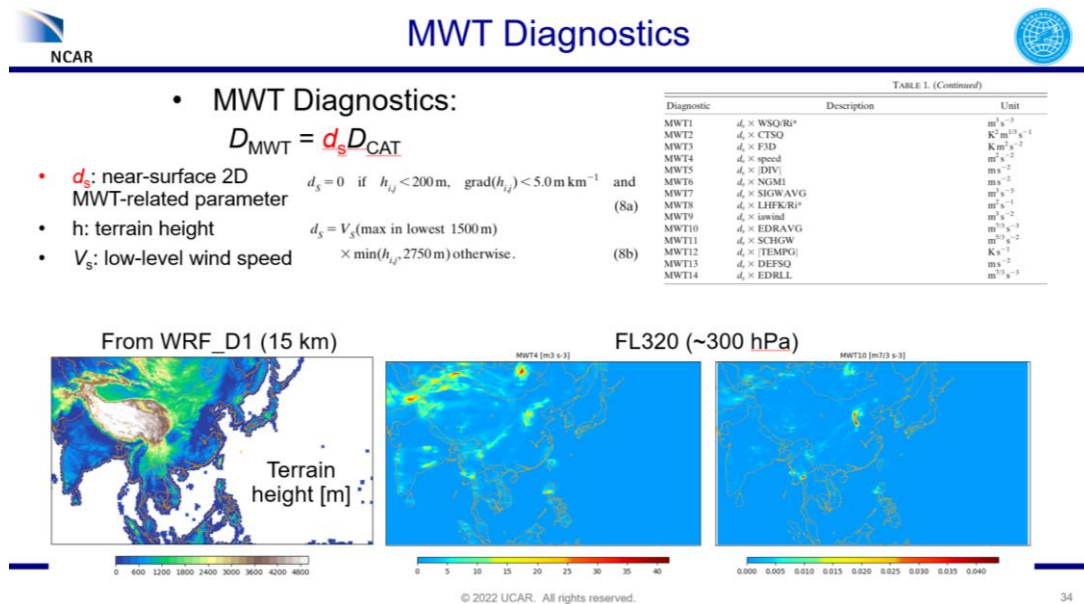
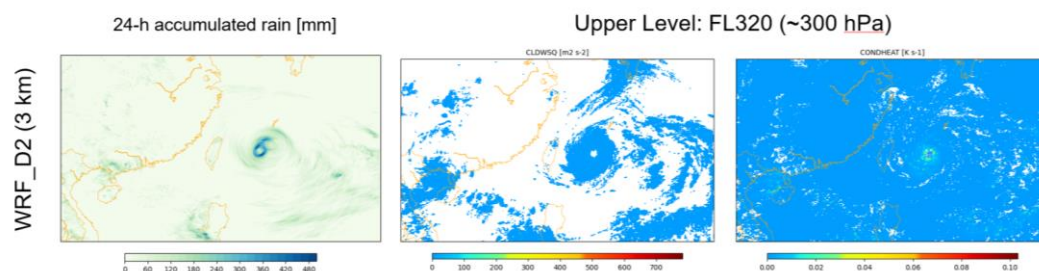


圖 26：上方為 MWT 診斷數值計算公式及其中 14 種 MWT 診斷數值計算方法。下方為在區域 1、飛航高度 FL320，MWT 診斷數值分布。

3. CIT 診斷數值：共約 10 種診斷數值計算方法。在區域 2(Domain 2，水平解析度為 3 公里)，飛航高度 FL320(約 300hPa)，以 CWB WRF 模式資料計算 CIT 診斷數值分布如圖 27，考量雲中亂流需要高解析度(水平解析度至少要 3 公里)資料才能計算，CIT 只在區域 2 且有雲區域(混合比大於 $1.e^{-6}$)才計算亂流。



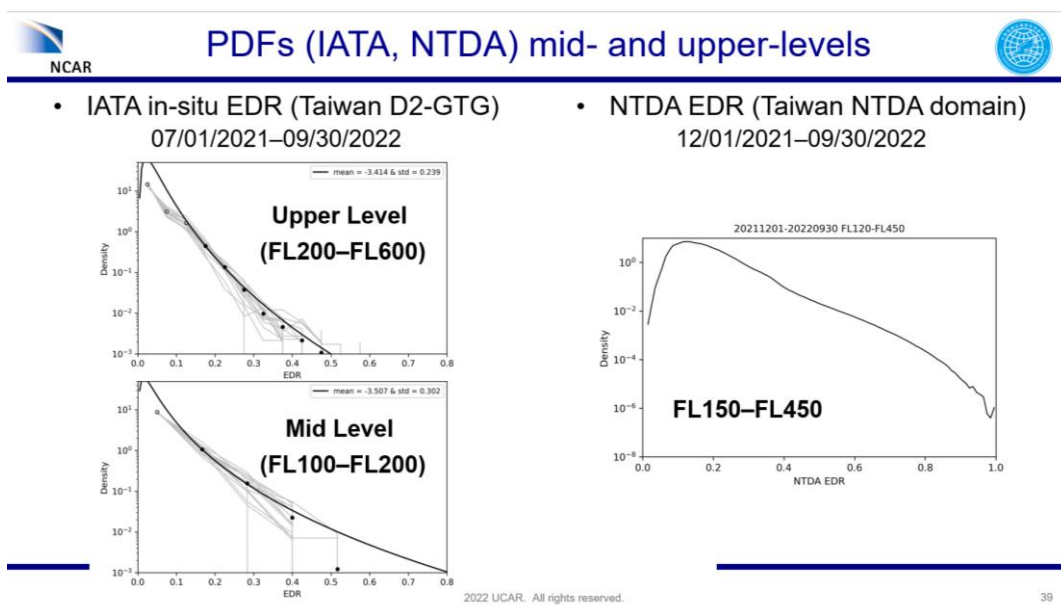
- CIT is computed at in-cloud grid points only (cloud mixing ratio > 1.e-6)

© 2022 UCAR. All rights reserved.

35

圖 27：右側 2 張圖為在區域 2、飛航高度 FL320，CIT 診斷數值分布。

(二)將診斷數值映射成以 EDR 為單位數值(D^*)：考量 CAT、MWT 及 CIT 診斷數值範圍及單位皆不相同，透過亂流觀測資料機率密度函數(PDF)分布，將所有診斷數值 D 映射成以 EDR 為單位之數值 D^* 。CAT 及 MWT 觀測資料為國際航空運輸協會(IATA)實測 EDR 報告，CIT 觀測資料為 NTDA，實測 EDR 及 NTDA 之 PDF 分佈如圖 28，假設觀測資料 PDF 與 log-normal 相似，則可取得 D 與 D^* 間轉換公式。另，藉由風塔實驗取得低層亂流觀測資料 PDF 分布，即可求出低層亂流 D 與 D^* 間轉換公式。



© 2022 UCAR. All rights reserved.

39

圖 28：2021 年 7 月至 2022 年 9 月 IATA 實測 EDR 報告(Domain 2)及 NTDA EDR(臺灣 NTDA 涵蓋範圍)PDF 分布。

(三)選取最佳診斷數值(D^*)：依每個診斷數值預報能力，去計算不同診斷數值權重。診斷數值預報能力計算方式為 ROC 曲線下面積(AUC)，AUC 越大表示預報能力越強，其所占權重越高。

以接收者操作特徵(Receiver Operating Characteristic, ROC)曲線評估診斷數值預報能力。比較 NWP 資料及實測 EDR 報告，將結果依圖 29 左側表格分成命中(Hit)、未命中(Miss)、錯誤預報(False Alarm)及正確拒絕(Correct rejection)，再依圖 29 公式計算可偵測機率(Probability of Detection, PODY)與錯誤預報率(False Alarm rate, 1-PODN)。在 WRF 模式範圍 1(水平解析度為 15 公里)及 2(水平解析度為 3 公里)以不同 EDR 值去計算不同診斷數值 PODY 及 1-PODN 值，即可繪製 ROC 曲線如圖 29 右側，ROC 曲線下方面積(Area Under the Curve, AUC)表示診斷數值預報發生亂流事件能力。

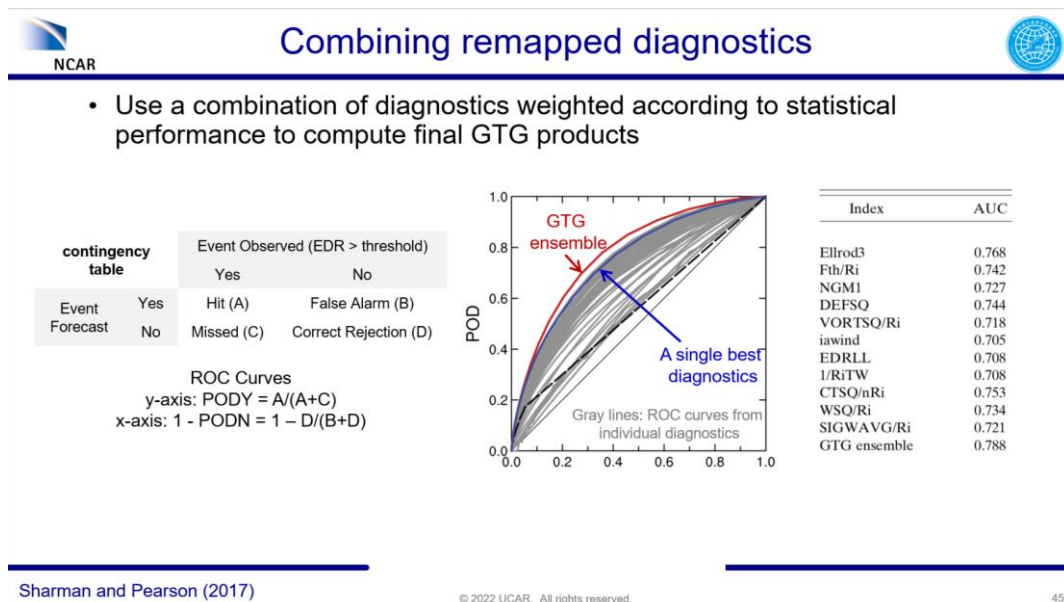


圖 29：左側為 PODY 計算公式，右側為各種診斷數值 ROC 曲線圖及 AUC 數值。

(四)結合診斷數值(D^*)求出最後 GTG 數值：相關計算公式詳如圖 30，加總每個診斷數值及其權重後求出 GTGCAT、GTGMWT 及 GTGCIT 數值，GTGMAX2 係在 Domain 2 取 CAT 及 MWT 最大值來表示亂流程度，GTGMAX3 係在 Domain 3 取 CAT、MWT 及 CIT 最大值來表示亂流程度。

(IN) NWP forecasts => (OUT) Turbulence forecasts in EDR levels

4. Use **the combination of best diagnostics** (D^*) to compute final **GTG** product (GTGMAX).

- For each turbulence sources

$$GTGCAT = (\sum D_{CAT})/N_{CAT}$$

$$GTGMWT = (\sum D_{MWT})/N_{MWT}$$

$$GTGCIT = (\sum D_{CIT})/N_{CIT}$$

- Then, combine different categories

$$GTGMAX2 = \text{MAX}(GTGCAT, GTGMWT); \text{ used in D1-GTG4 (15 km)}$$

$$GTGMAX3 = \text{MAX}(GTGCAT, GTGMWT, GTGCIT); \text{ used in D2-GTG4 (3 km)}$$

© 2022 UCAR. All rights reserved.

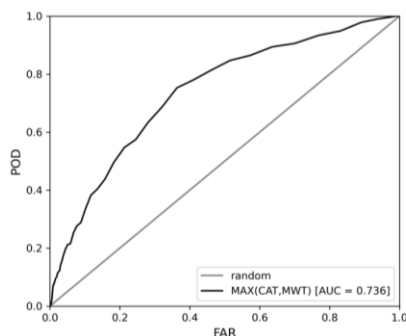
7

圖 30：最終 GTG 計算公式，在 Domain 2 只計算 CAT 及 MWT 造成亂流程度，Domain 3 包含 CAT、MWT 及 CIT 造成亂流程度。

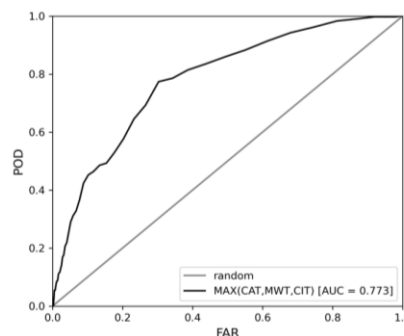
以長期觀測資料驗證 GTG4 預報能力，資料時間為 2021 年 7 月至 2022 年 9 月，範圍為東經 102 至 142 度、北緯 12 至 34 度。模式資料為中央氣象局(CWB)數值天氣研究及預報(WRF)模式，觀測資料為國際航空運輸協會(IATA)實測 EDR 報告，輕度、中度及重度以上報告個數分別為 1839、334 及 29 個。若 AUC 等於 1 表示完美預報，AUC 大於 0.5 表示預報能力比隨機猜測好。對於中度以上亂流事件，GTG4 預報能力在 Domain 1 及 2 為 0.73 及 0.77，詳如圖 31，表示 GTG4 能準確預報中度以上亂流事件。GTG4 預報資訊確實能協助飛航相關作業人員做出準確且即時決策，降低航機遭遇亂流可能性，全面提升飛航安全。

- Moderate-or-greater (MOG) turbulence

D1-GTG4



D2-GTG4



© 2022 UCAR. All rights reserved.

49

圖 31：GTG4 在 Domain 1 及 2 之 ROC 曲線圖，POD 等於 1 表示為完美預報。

以個案分析驗證 GTG4 預報能力，資料時間為 2022 年 3 月 31 日，高度 FL370，GTGMAX、CAT、MTT 及 CIT 空間分布如圖 32。GTGMAX 能準確預報亂流發生位置，惟預報亂流程度較觀測資料輕。有關 GTG4 預報亂流程度，後續 NCAR 將透過長期觀測資料及個案研究校驗去強化演算法預報能力。

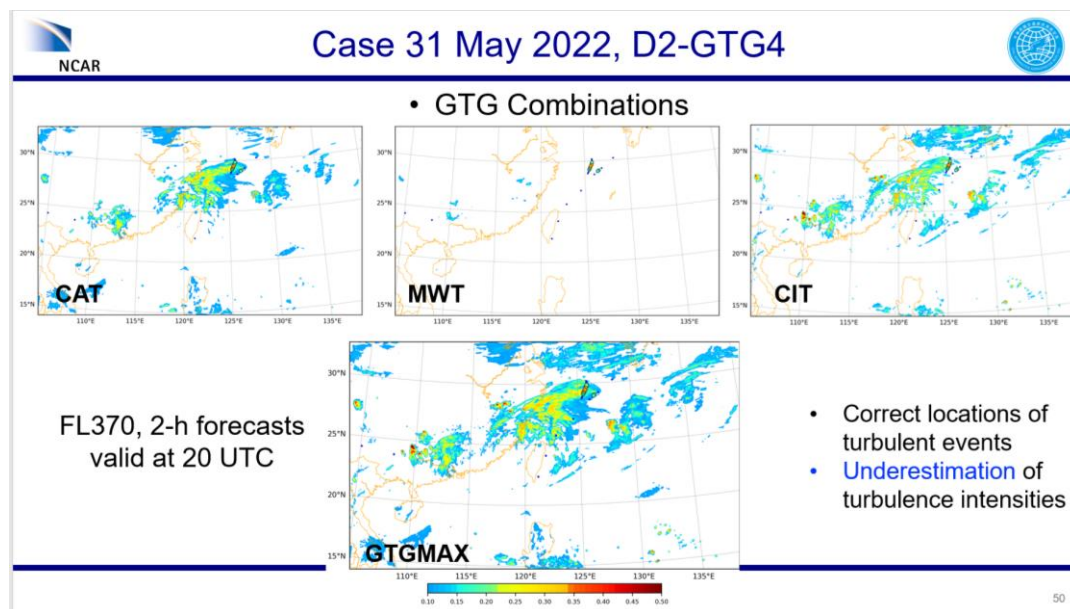


圖 32：2022 年 3 月 31 日，高度 FL370，GTGMAX、CAT、MTT 及 CIT 空間分布。

GTGN 係以 GTG 預報產品為基礎，加入即時觀測資料(如 PIREP、NTDA、閃電及地面風速)造成亂流程度。GTGN 即調整 GTG 預報，將所有最近觀測資料納入演算法，能最佳呈現目前亂流狀況。資料更新頻率為 15 分鐘，預報產品有效時間為 15 分鐘。GTGN 演算法流程如圖 33。

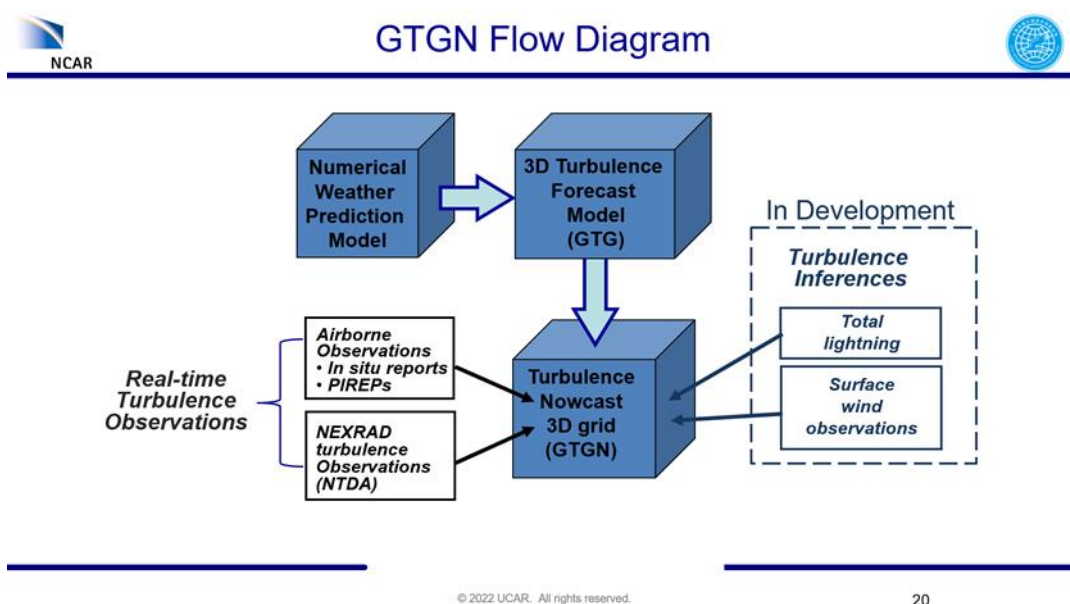


圖 33：GTGN 演算法流程。

臺灣地區 GTGN 個案研究，以 Domain 2 上 GTG4 產品加上實測 EDR 及 NTDA 觀測資料進行分析。資料時間為 2022 年 8 月 5 日 1145UTC，高度為 FL270，GTG、實測 EDR 及 NTDA 空間分布如圖 34。NCAR 後續將評估 PIREP、閃電及 METAR 風速資料對 GTGN 預報能力影響。

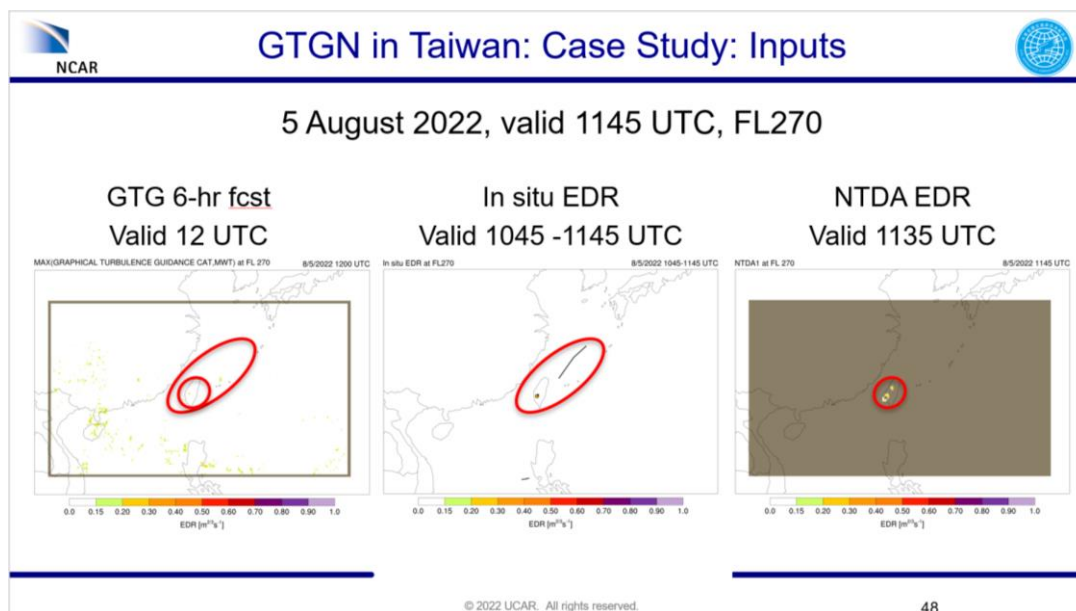


圖 34：GTG 6 小時預報、實測 EDR 及 NTDA 資料空間分布。

為明確顯示觀測資料(如實測 EDR 及 NTDA)補足 GTG 沒掌握到亂流區域，NCAR 以圖 35 黃色區域表示這些區域。

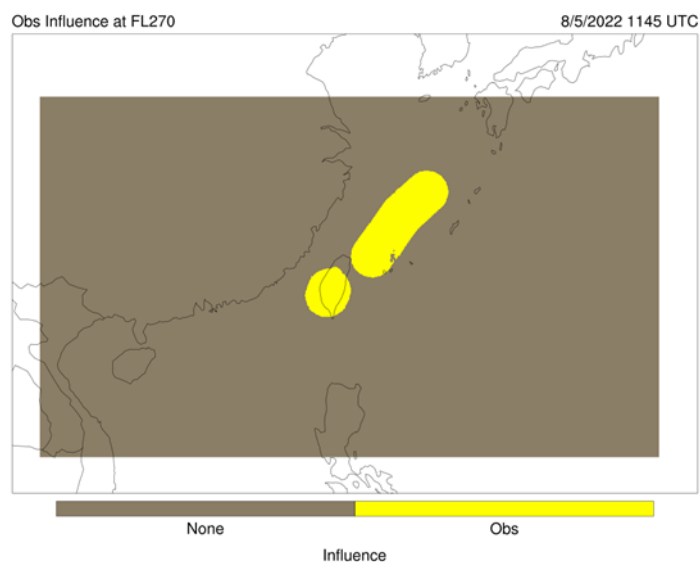


圖 35：黃色區域為實測 EDR 及 NTDA 等觀測資料補足 GTG 預報沒掌握亂流區域。

三 NCAR 亂流偵測演算法(NCAR Turbulence Detection Algorithm, NTDA)

NTDA 係以氣象雷達觀測資料透過亂流偵測演算法產製雲中亂流程度產品，以雷達頻譜寬度(Spectrum Width)計算亂流程度，頻譜寬度代表測量體積內徑向風變異程度(即風切)，將頻譜寬度轉換成 EDR 為單位即可產製 NTDA 觀測產品。NTDA 僅觀測會受風影響之追蹤因子，如雲及風暴。

NTDA 能提供高空間解析度及快速更新觀測產品，NTDA 確實能協助飛航作業人員(如航空氣象員、飛航管制員、飛行員及簽派員)做出準確且即時決策，加強飛航作業人員狀態意識、飛航空域利用率及安全，降低航機遭遇亂流可能性，全面提升飛航安全。

NCAR 將更新 NTDA，強化範圍包含減輕雷達頻率干擾及調整雷達掃描速率，以解決頻譜寬度擴展問題。此外，NTDA 將新增更多臺灣雷達(含 CWB 及軍方)使 NTDA 涵蓋範圍更大且資料缺漏區域更少。NCAR 將先行分析雷達資料格式及可用性，並同時對資料品質進行評估，後續再進行 NTDA 軟體調整、引入強化功能及進行個案分析。

現行總臺 AOAWS 系統之 NTDA 使用雷達為五分山、七股、花蓮及墾丁，預計新增雷達為 CWB 樹林、南屯及林園及空軍清泉崗、馬公及綠島等雷達資料。

亂流觀測資料有 PIREP 及實測 EDR。PIREP 以定性且主觀資料為主，缺乏精確數字描述，如無、輕微、中度、嚴重及極度等文字表示亂流強度。無法提供客觀亂流強度，因亂流強度與機型相關，所以 PIREP 亂流強度需調整。無法提供亂流精確發生位置及時間，不易與模式資料進行比較。

實測 EDR(In situ EDR)亂流觀測，定性且客觀資料，不受飛行員及機型影響。能提供精確發生位置及時間。能自動產生亂流報告。越來越多航機提供實測 EDR 報告，大部分可見於 B767、B777、B787 及 B737 MAX 等機型。

NTDA、GTG 及 GTGN 產品比較如表 2，NTDA 計算依據雷達觀測資料，資料更新頻率為 5 分鐘。一般而言，VOL 資料更新頻率較 PPI 資料慢約 3 分鐘，在只有 VOL 資料可用情況下，NTDA 更新頻率不變仍為 5 分鐘，產品範圍受限於雷達偵測距離，約 300 公里，產品空間解析度為 0.02 度×0.02 度×3Kft。GTG 計算依據 NWP 資料，資料更新頻率、產品範圍及產品空間解析度接取決於 NWP。

	NTDA	GTG	GTGN
Type of product	Observation	Forecast	Nowcast
Basis	Radar	NWP	GTG+obs (including NTDA if available)
Frequency of availability	5 minute (configurable)	Model based	15 minute (configurable)
Spatial availability	Limited by radar coverage (~300 KM)	NWP	NWP
Spatial Resolution	0.02°x0.02°x3Kft (configurable)	NWP	NWP

表 2：NTDA、GTG 及 GTGN 產品比較

考量雲中亂流空間尺度及生成時間可能很小且快，需要即時且精確診斷工具。而 PIREP 資料更新頻率取決於航機是否遭遇亂流，實測 EDR 資料更新頻率為 20 分鐘，資料範圍均視航機是否遭遇亂流而定。為增加亂流觀測資料更新頻率及範圍，NCAR 發展 NTDA，以雷達資料產製 NTDA，更新頻率為 5 分鐘，範圍不受航機軌跡限制，確實能達成增加雲中亂流觀測資料目標。

當亂流發展良好且與理論模型一致，NTDA 表現最好。NTDA 產品限制如下述，當亂流方向為同向時，NTDA 表現最好。在掃描仰角高角度區域，雷達資料會有較大縫隙。雷達無法每一次都濾除非大氣雜訊(如地形、閃電及無線電)。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。

NTDA 可視為觀測資料用來校驗亂流預報。可用來研究亂流氣候統計。

NTDA 計算流程介紹，第 1 步為偵測及檢視雜訊並清除，第 2 步為計算雷達資料頻譜寬度，第 3 步以距離相依函數將 SW 轉換成以 EDR 為單位表示，第 4 步為計算可信度及可信度權重平均 EDR。3 維 NTDA 合成方法為以距離權重合併不同雷達 NTDA 數值。

影響雷達資料品質因子有雜訊(如地形、生物、海、波束遮蔽、無線電頻率干擾)，天氣現象訊號(如訊號強度、重疊回波及波譜寬度)，雷達運作特性及訊號處理(如奈奎斯特速度、確定距離、照射時間、波譜寬度、掃描策略、脈衝發射策略、雜波濾除、波譜寬度計算及上游資料處理)。藉由計算 SNR(Signal-to-noise Ratio)、PR(Overlaid Power Ratio)、SWT(Spectrum width texture)及 REC(Radar Echo Classifier)等數值，評估雷達資料品質。SNR 計算為比較作業模式及模擬資料，REC 為辨識靜態雜波以外之殘餘雜波。

NTDA 應用至臺灣地區所做調整包含資料讀取程式、資料分析及研究、墾丁雷達掃描策略調整，雜波濾除。資料讀取程式新增 Gemtronik2Netcdf，用來讀取 C 波段雷達。資料分析及研究發現，有些 Gematronik 製雷達缺少部分參數，如雷達常數(用來計算 SNR)，NCAR 以反射率去評估雷達常數來解決這問題。以 1 年資料產製靜態雜波地圖。將墾丁雷達掃描策略從 Dual-PRF 調整成標準 PRT，調整後大幅增加偵測能力表現，後續 NCAR 將察看林園、南屯及樹林雷達掃描策略。五分山雷達能自動偵測及濾除雜波，七股雷達則是濾除雜波，墾丁及花蓮不會濾除雜波。

在臺灣周圍沒有飛機亂流觀測狀況下，以個案研究和相鄰雷達 NTDA 輸出資料比較確認相同波譜寬度之 EDR 轉換表可用於 Gematronik 和 NEXRAD 雷達。進行雷達模擬以取得各種 S 波段雷達頻譜寬度精確度、運作模式和 SNR 值，以調整資料品質控管流程。NCAR 已完成 S 波段雷達資料分析，正在分析 C 波段雷達資料。經分析，以波束寬度 1 度作為轉換參數對於 Gematronik 製雷達而言是合適的，僅造成約 4%差異。

臺灣地區個案分析如圖 36，資料時間為 2013 年 5 月 13 日，在強回波區域

附近有亂流情況。

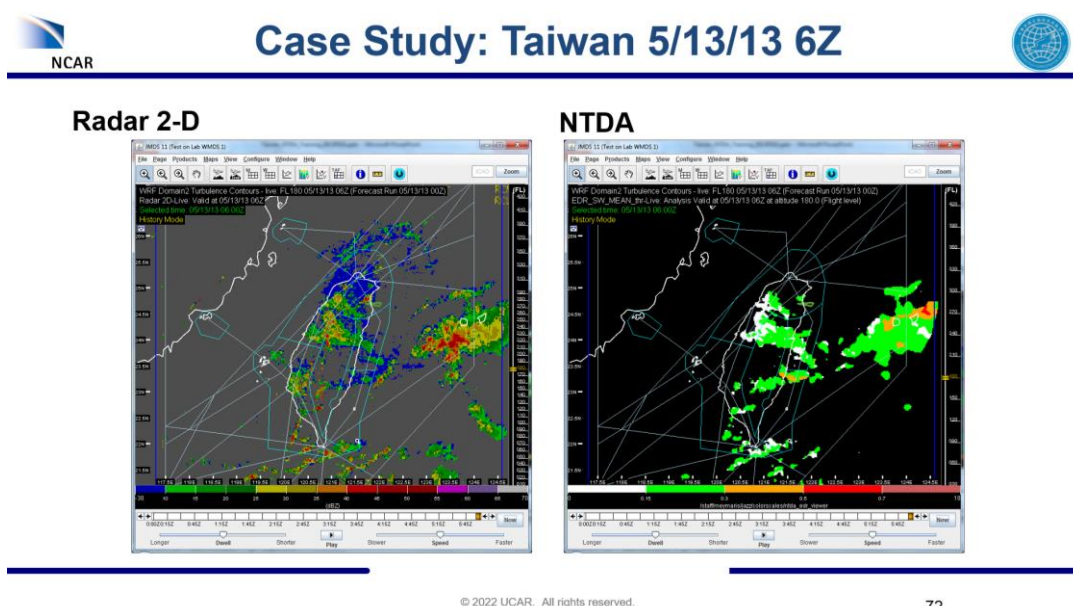


圖 36：資料時間為 2013 年 5 月 13 日，左圖為雷達回波合成圖，右圖為 EDR 合成圖。

NTDA 演算法系統軟體架構可分成 3 部分：

(一)第 1 部分為預處理，每個雷達逐一進行下列流程，

1. 合併及轉換輸入資料為通用 netCDF 格式。
2. 合併所需變數及同高度掃描資料。
3. 計算訊號與雜訊比(Signal-to-Noise Ratio, SNR)及做資料品質控管。
4. 儲存雜波圖。
5. 將同一高度仰角所需變數資料存為單一檔案。

預處理程式(如 Nexrad2Netcdf 及 Gemtronik2Netcdf)為控制資料儲存大小在有限範圍內，接收到新資料立刻進行讀取作業，接著在檔案中合併資料，當程式判斷收到下一個高度資料，就會輸出處理完同高度資料。五分山雷達資料以 Nexrad2Netcdf 處理，只使用 PPI 資料。CWB 七股、花蓮及墾丁雷達，以 Gemtronik2Netcdf 處理，同時使用 VOL 及 PPI 資料。CWB 林園、南屯及樹林雷達，以 Gemtronik2Netcdf 處理，只使用 PPI 資料。空軍清泉崗、馬公及綠島雷達，以 Gemtronik2Netcdf 處理，目前只接收 VOL 資料。

CWB 七股、花蓮及墾丁雷達站採德國 Gemtronik Meteor 1500S 型督卜勒雷達，需要體積掃描(Volume, VOL)及平面(PPI)掃描資料才能產製 NTDA。為降低範圍及速度混淆情況發生，雷達對低高度執行 VCP(volume coverage pattern)掃描策略，同一高度分別以長及短脈衝重複時間(Pulse Repetition Time, PRT)進行掃描，若無長 PRT 資料，會增加錯誤回波資料數量。

CWB 林園、南屯及樹林雷達站採德國 Gemtronik Meteor 1700S 型督卜勒雷達，開發階段以 VOL 及 PPI 資料產製 NTDA，最終版本系統將只使用 PPI 來產製

NTDA 產品。

(二)第 2 步為以演算法計算亂流程度，在極座標上計算 EDR 及可信度。

(三)第 3 步為產製 3 維合成(mosaic)資料，合併所有雷達資料並在 3 維網格上產製 EDR 及可信度。臺灣 AOAWS 系統 NTDA 資料更新頻率為 5 分鐘，每次計算會讀取最近 7 分鐘內資料。

經 NCAR 測試新增雷達資料能大幅提升 NTDA 產品表現，不僅增加 NTDA 偵測範圍還可減少偵測死角。以 2022 年 5 月 22 日 NTDA EDR 資料為例，圖 37 左側為以 CWB S 波段雷達(如五分山、七股、花蓮及墾丁)資料產製 NTDA EDR，右側為增加 CWB C 波段雷達(如林園、南屯及樹林)資料產製 NTDA EDR，比較這 2 張圖顯示新增 CWB C 波段雷達資料有效改善 EDR 資料覆蓋率，且臺灣地區周圍 EDR 資料缺漏區域變得更少。

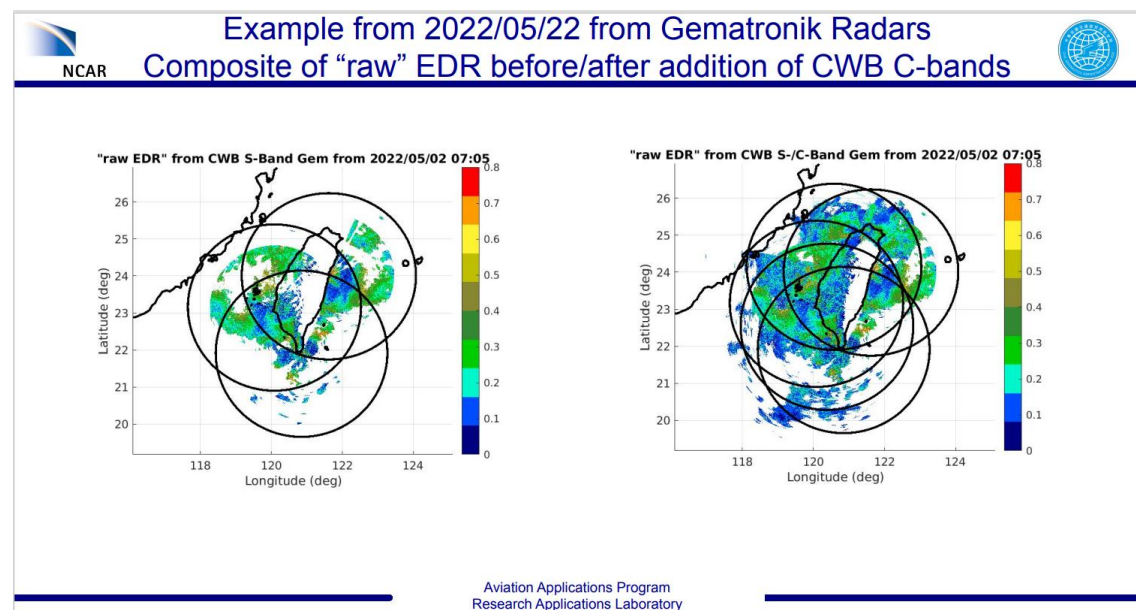


圖 37：2022 年 5 月 22 日 NTDA EDR 資料，左側為以 CWB S 波段雷達資料產製 NTDA EDR，右側為增加 CWB C 波段雷達資料產製 NTDA EDR

四 更新雲頂高 (Cloud Top Height, CTH) 及大洋對流診斷 (Convection Diagnosis Oceanic, CDO)

CTH 係比較衛星觀測資料及 NWP 模式資料產製雲頂高產品，大洋對流診斷 (CDO)係以 CTH、衛星、閃電觀測及 NWP 模式資料透過模糊函數及權重產製 CDO 產品。

NCAR 將升級現行 AOAWS 系統雲頂高(CTH)產品。本次升級內容為雲頂高演算法更新，並結合最新 CDO 產品。NCAR 將先檢查所需資料格式，並發展可供即時資料引入或歷史資料重覆使用以取代即時輸入資料介接程序。NCAR 將安裝相關軟體及進行相關設定以供測試，並使用臺灣地區資料，校驗 CTH 及 CDO 演算法，相關系統設定及測試應擴大至涵蓋對流事件相關之推斷。

雷雨是對飛航安全造成危害的主要天氣系統，常伴隨亂流、閃電、冰雹、風切、微爆流等危害天氣。在靠近地面氣象雷達站的區域，可以透過雷達加以監測，但在大洋上等遠離雷達的區域，就只能仰賴衛星資料，所以透過衛星資料發展雲頂高及大洋對流診斷產品，有助於掌握遠洋地區對流系統發生位置與強度。CTH/CDO 資料流程概述如圖 38。

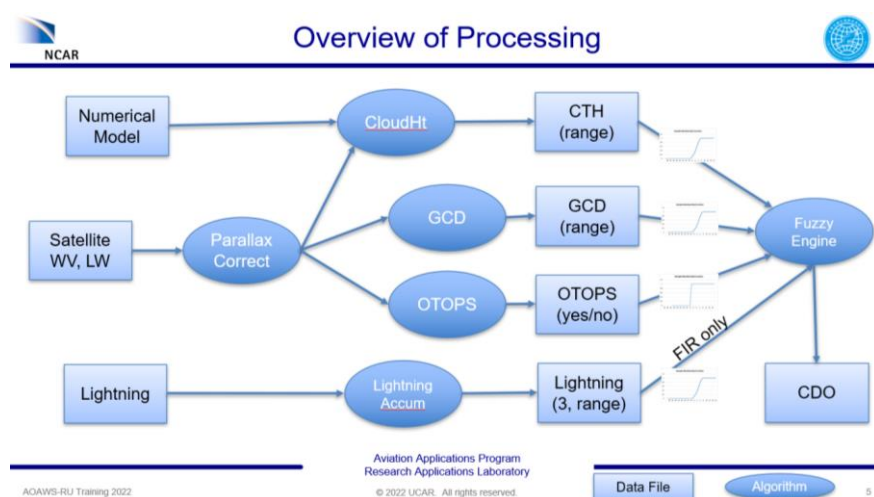


圖 38：CTH/CDO 資料流程

雲頂高產品係結合衛星資料及數值模式計算的產品，利用日本向日葵衛星 $11.2\mu\text{m}$ 波段紅外線輻射之亮度溫度，對應 WRF 模式中溫度氣壓剖面，推算雲頂高度，適用範圍是 15000 英尺以上，雲層厚度較厚(不透明)的雲頂，每 10 分鐘更新一次。比較是定義整個對流系統的範圍而非單一對流胞。產品於 ROMIO(Remote Oceanic Meteorology Information Operational Demonstration) 中的範例如圖 39。

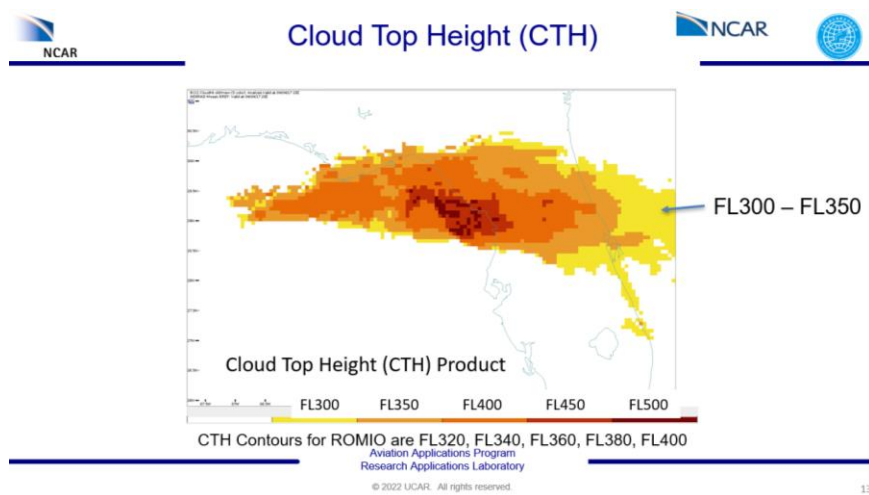


圖 39：CTH 產品示意圖

大洋對流診斷演算法係結合：(1)全球對流診斷產品(GCD)：利用衛星紅外線頻道及水氣頻道之亮度溫度差值，當差值接近 0 時，為發展成熟上升氣流的指引；(2)雲頂高產品(CTH)，如前段所述，當 CTH 在 FL200 以下時，數值定義為 0，往上線性增加，CTH 在 FL400 以上時定義為 1；(3)過衝頂演算法：利用衛星長波幅射的冷區及亮度溫度的梯度進行辨識；(4)10 分鐘/30 分鐘/60 分鐘累積閃電資料(僅適用於 FIR)演算得來，數值高代表對飛航安全具有危害性的上升氣流區域，CDO 數值最高處可以與對流胞位置相對應。前三項數值(0-1)加上閃電項數值(0-1)的三倍即為 CDO 數值(0-6)(WRF Domain1 及 Domain2 因為缺少閃電資料，CDO 數值最大為 3)。當 CDO 數值 ≥ 2 ，表示很可能有對流性的危害天氣，而當 CDO 數值 ≥ 3 ，表示有閃電或是過衝頂正在發生。CDO 一樣是每 10 分鐘更新一次。圖 40 及圖 41 為 CDO 演算法運算範例。

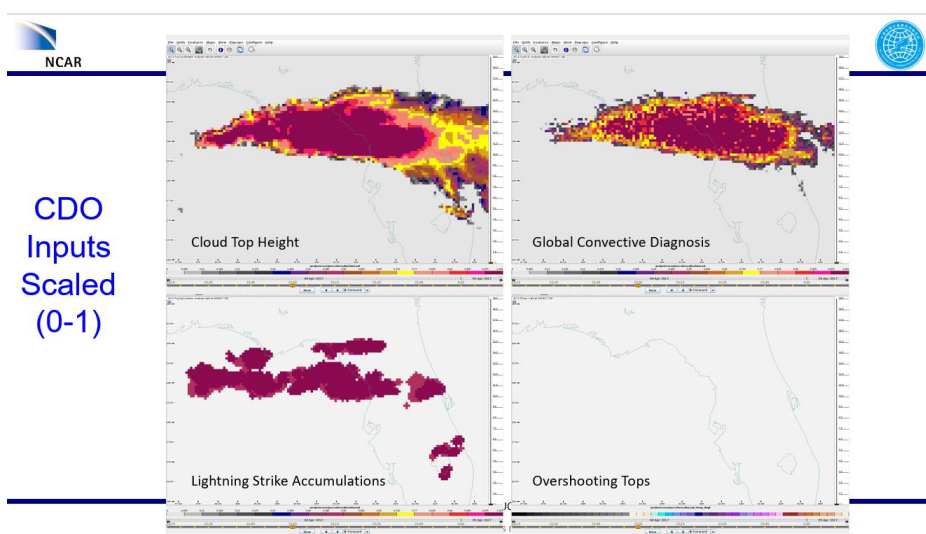
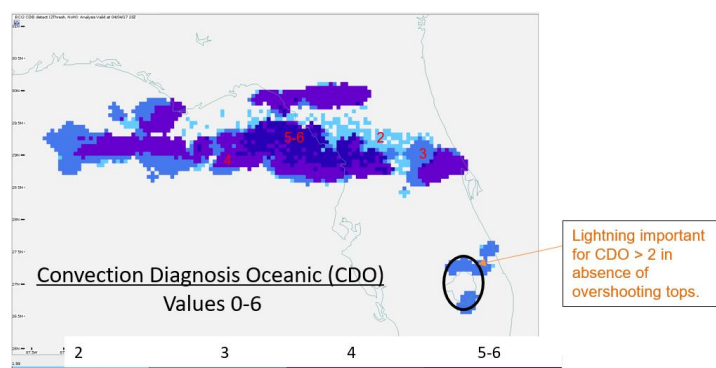


圖 40：CDO 輸入數值範例。



Aviation Applications Program
Research Applications Laboratory
© 2022 UCAR. All rights reserved.

23

圖 41：加總後之 CDO 產品範例

CTH 提供較完整對流雲覆蓋的區域及發展高度，CDO 則顯示容易造成飛行風險的上升氣流或是閃電發生區域。將 CDO 數值繪圖，與前後 15 分鐘內之渦流消散率(Eddy Dissipation Rate, EDR)資料進行個案比對(圖 42)，可以發現飛機在通過 CDO 數值=5 的範圍時，遭遇中度到強烈亂流，而通過 CDO 數值 ≥ 2 的區域也有輕度以上的亂流。

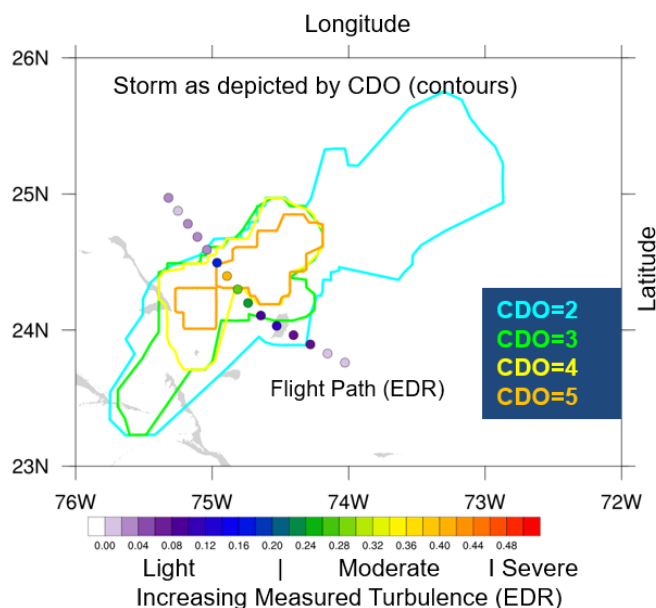


圖 42：EDR 資料與 CDO 數值個案比對。

CTH/CDO 亦提供一小時外延預報，是利用平常計算雷達回波外延之 CTREC 方法(Cartesian Tracking Radar Echo by Correlation)，透過達到門檻值區域在前後時間相關係數的統計，得到移動之向量場，其參數設定如圖 43。

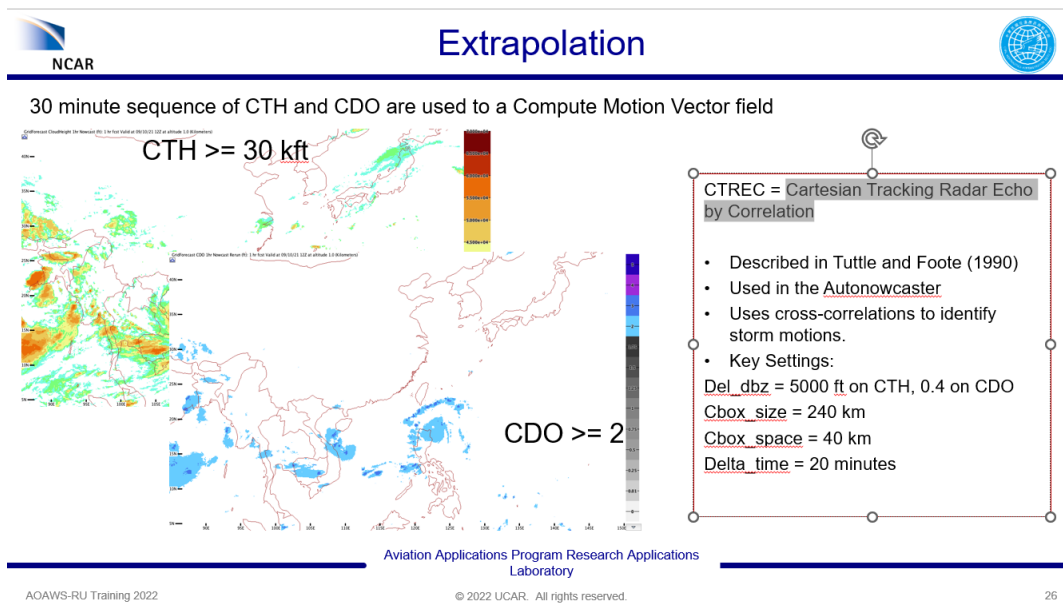


圖 43：CTREC 外延方法設定。

針對 2017 年 1 月至 2018 年 3 月之最大 EDR 資料與 CDO 數值進行統計，可以發現當 CDO 數值越高，發生輕度到中度亂流的比例也有些微的上升，驗證 CDO 有助於辨別容易發生亂流之區域，如圖 44。

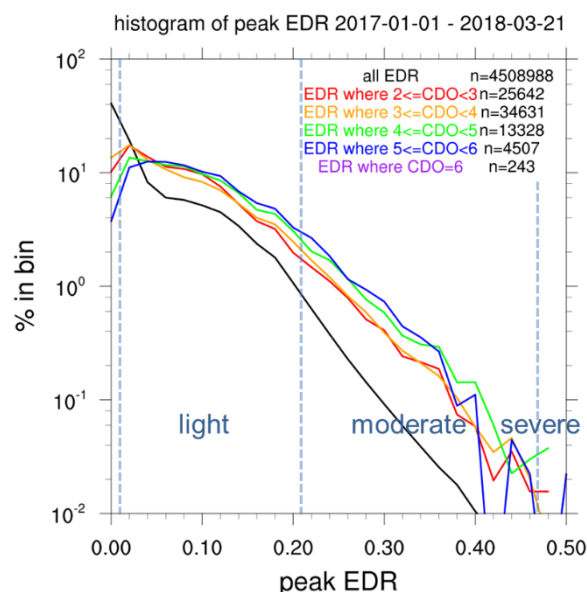


圖 44：EDR 與 CDO 數值對照關係圖。

NCAR 針對臺灣地區 2021 年九月期間進行統計，Domain1 的 CTH 之偵測率 (POD) 為 0.75，Domain2 為 0.70；CDO 之偵測率在 Domain1 為 0.59，Domain2 為 0.65，表示 7 成以上對流雲頂預報正確，強對流區也有 6 成以上正確預報，臨界成功指數 (Critical Successful Index, CSI) 也都在 0.5 以上，具一定的參考性。

NCAR 利用 2021 年 9 月四個劇烈天氣個案進行評估：(1)燦樹颱風(2)敏督利颱風(3)9 月 3 日對流個案(4)9 月 6 日對流個案。其影響時間與範圍如圖 45。



Case Summary



- Typhoon Chanthu: (07-Sep-2021 12Z) - (14-Sep-2021 06Z)
 - Passage through center of D1, D2, and FIR
- Typhoon Mindulle: (25-Sep-2021 03Z) - (01-Oct-2021 21Z)
 - Passage through eastern side of D1 and D2; missed FIR entirely
- Convective Case 1: (03-Sep-2021, 18Z) - (04-Sep-2021, 18Z)
 - FIR convection over Taiwan; moderate rate of convection elsewhere
 - No tropical storms in any domain
- Convective Case 2: (06-Sep-2021, 18Z) - (07-Sep-2021 18Z)
 - FIR convection over southeast China; high rate of convection elsewhere
 - Beginnings of Typhoon Chanthu

AOAWS-RU Training 2022

© 2022 UCAR. All rights reserved.

31

圖 45：2021 年 9 月個案研究時間與影響範圍

針對 CTH 的部分，參考圖 46，可以發現在較大的 Domain1 個案間的預報表現一致，而在 Domain2 颱風個案預報表現較佳，原因是颱風的雲系在 Domain2 範圍佔比較高；而在 FIR 範圍敏督利颱風表現較差，原因是颱風位置較遠未直接影響 FIR。總結來說，對於越小的範圍，預報的表現在個案間會有比較大的差別。

針對 CDO 的部分，參考圖 47，在 Domain 1 範圍日夜變化的對流訊號會被平滑掉，而 Domain 2 則在颱風期間表現較佳。整體來說，預報表現略差於雲頂高產品，因為 CTH ≥ 30000 英尺的範圍大於 CDO ≥ 2 的範圍。

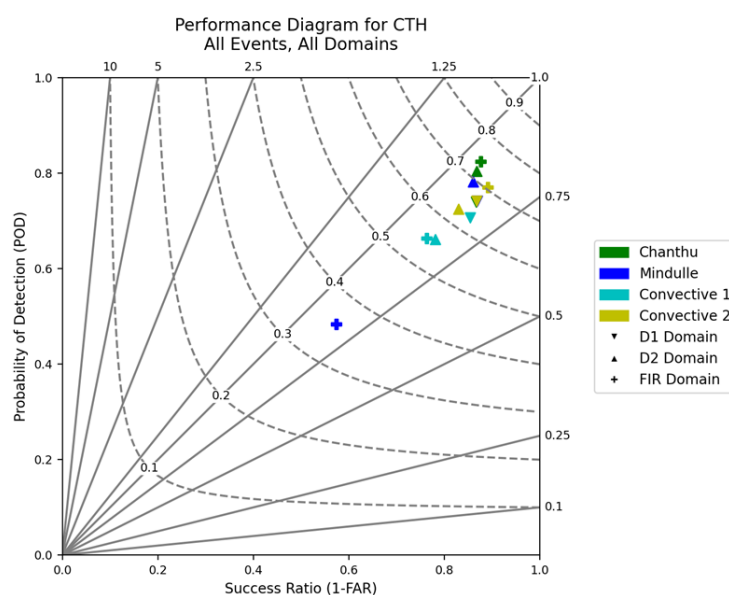


圖 46：2021 年九月天氣個案 CTH 預報表現分布圖

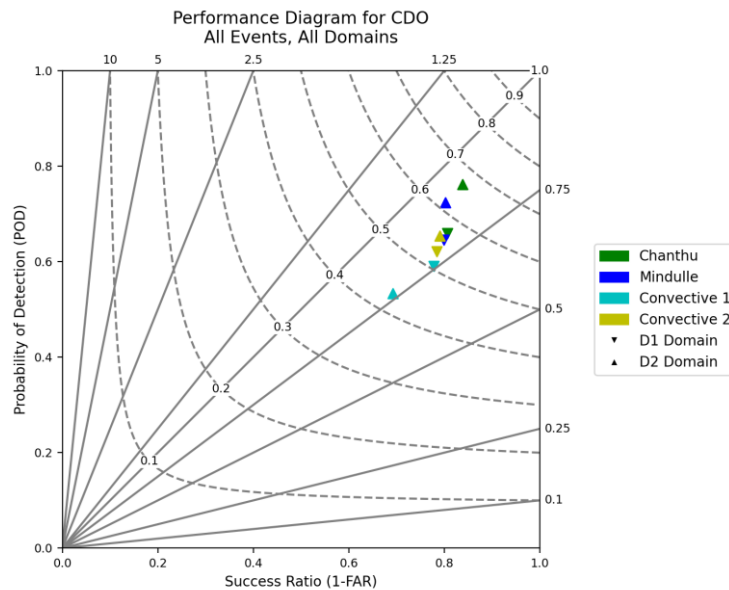


圖 47：2021 年九月天氣個案 CDO 預報表現分布圖

CTH 及 CDO 的資料運算流程如圖 48：先擷取所需之衛星及模式資料，在 Domain1 及 Domain2 先對衛星資料作處理，然後進行 CTH/CDO 的估算，再利用 CTREC 方法做出一小時的外延預報。而在臺北飛航情報區範圍(FIR)，CDO 的計算則加入閃電資料。

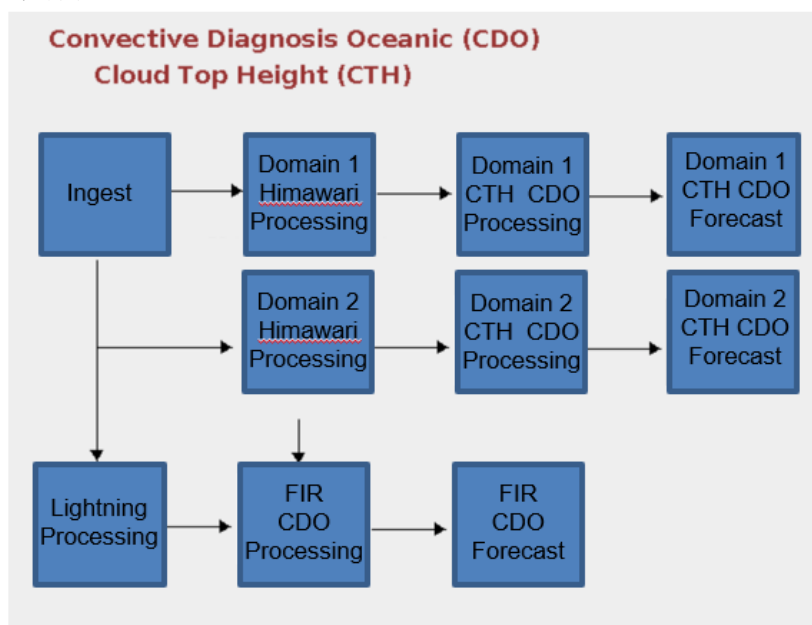


圖 48：CTH/CDO 資料處理流程

擷取資料包含數個程序：

1. InputWatcher：監控是否有新的衛星資料進入系統。
2. JmaHimawari8toMdv：將各頻道衛星資料轉為 NetCDF 格式。
3. MdvCombine：將不同波段衛星資料整合為一個檔案。

4. MdvConvert：將 WRF 模式投影方式轉為經緯度等距投影如圖 49。

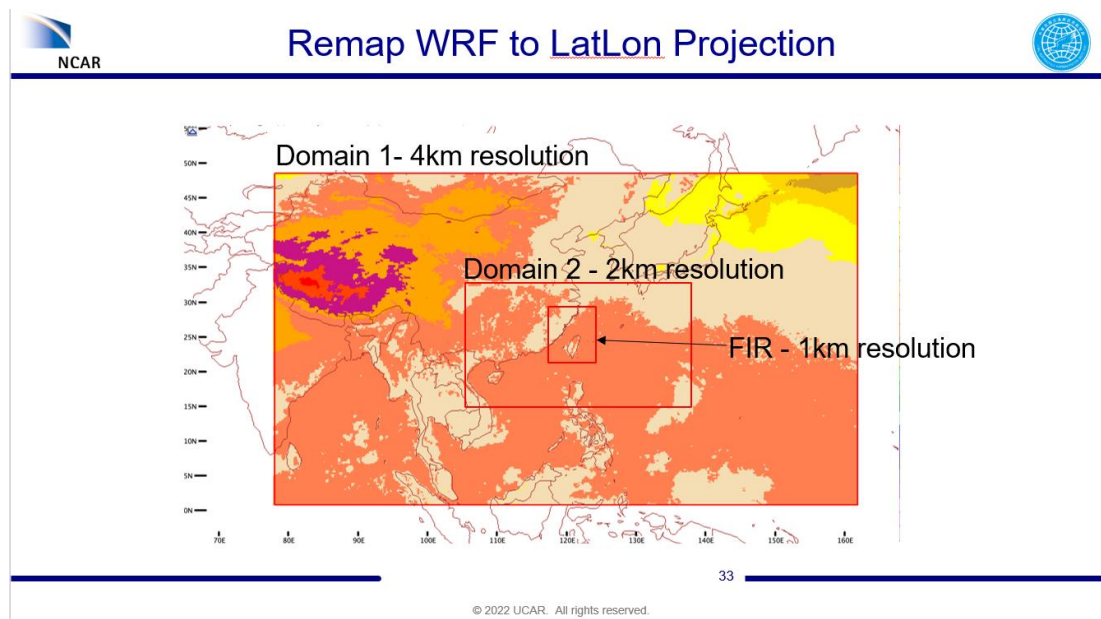


圖 49：CDO/CTH 經緯度等距投影範圍與空間解析度。

衛星資料處理包含下列程序：

1. cloudHt：利用 11.2 微米紅外線頻道與 WRF 模式三維溫度/高度場對照，得到雲頂高。
2. MdvMerge2：選擇較小之 CTH 數值。
3. SatParallax：利用 CTH 資料校正衛星視差
4. MdvThresh：移除衛星天頂角>75 度之資料。
5. MdvInterpMissing：填補校正視差時遺失的檔案。
6. OvershootingTopsDetect：利用天頂角校正後之水氣頻道及 11.2 微米紅外線頻道，配合 WRF 模式輸出之對流層頂溫度場，找出過衝頂的區域給 CDO 使用。
7. satDerive：利用水氣頻道之亮度溫度與 11.2 微米頻道亮度溫度相減得到 GCD 資料。
8. fuzzy_engine：運用模糊邏輯演算法，使用線性關係結合 CTH 及 GCD。

CTH/CDO 之處理包含下列程序：

1. MdvSmooth：將 CDO/CTH 資料平滑化，用於 1 小時外延預報。
2. MdvClump：移除部分孤立的 CTH 區域。

CDO/CTH 預報包含以下程序：

1. MdvResample：利用 10 公里濾波器重新取樣。
2. Ctrec：利用互相關關係輸出風暴的運動場。
3. GridForecast：網格平流演算法，利用風暴的移動場平流 CDO 及 CTH。

用於 CDO 之閃電資料(FIR 範圍)包含下列程序：

1. Ltg2Spdb：當有新的閃電資料時驅動。
2. LgSpdb2Mdv：配合衛星頻率，每十分鐘生成網格化之閃電資料。
3. Fuzzy_engine：透過模糊邏輯演算法產生輸入之閃電資料。

FIR 範圍之 CDO 之處理包含下列程序：

1. fuzzy_engine：將輸入之 CTH、GCD、過衝頂及閃電資料整合為 CDO 診斷產品。
2. MdvSmooth：將 CDO/CTH 資料平滑化，用於 1 小時外延預報。

FIR 範圍 CDO 預報包含以下程序：

1. MdvResample：利用 10 公里濾波器重新取樣。
2. Ctrec：利用互相關關係輸出風暴的運動場。
3. GridForecast：網格平流演算法，利用風暴的移動場平流 CDO 及 CTH。

五 更新機場雲幕與能見度預測產品(Ceiling and Visibility, C&V)

C&V 係以機場氣象觀測資料統計特性調整 NWP 模式資料數值，產製機場雲幕及能見度預報資料。

NCAR 利用機器學習模式校驗技術，使用觀測資料並將其應用於 WRF 模式輸出上，以改善現行 AOAWS 雲幕及能見度預報產品。NCAR 將檢視 WRF 模式及觀測資料，並評估訓練資料品質，接著開發初版 C&V 校驗系統。

對一般航空器而言，C&V 是重要安全議題。在儀器飛行規則(Instrument Flight Rules, VFR)情況，飛行員必須具備證照才能駕駛航空器；低 C&V 情況，可導致飛行器失去方向並墜毀。對商用航空器而言，C&V 是經濟議題。低 C&V 情況，會導致航機延遲、航線改變及燃料浪費等情況發生。

目前全球 NWP 模式受限於網格解析度無法預報機場 C&V 資料，藉模式輸出統計法(Model Output Statics, MOS)，以線性回歸方式，建立 NWP 模式及觀測資料之間統計關係，產製機場 C&V 預報資料。臺北航空氣象中心現行航空氣象現代化作業系統(Advanced Operational Aviation Weather System, AOAWS)C&V 預報產品採用 MOS 系統。惟考量 MOS 系統謹具統計意義及較不適合產製確定值，在 IA#18 下，NCAR 預計發展預報校驗分位數配對(Forecast Calibration - Quantile Matching, FOCAL-QM)法，其結合模式後處理方法(Unified Post Processor, UPP)及分位數配對(Quantile Matching, QM)等 2 種產製機場 C&V 預報資料。第 1 步為以 WRF 模式資料透過 UPP 產製 C&V 資料，第 2 步為以 QM 法校驗 C&V 資料，達成預報能力較佳之 C&V 預報資料。

UPP 程序介紹，UPP 由美國國家環境預測中心(NCEP)發展，經過測試並可用於實際作業。讀取 WRF 輸出資料後在每一個網格點上產製 C&V 資料。UPP 雲幕計

算包含雲底高及雲量，UPP 能見度計算包含水蒸氣、雲滴、雨滴、雲冰及雪混合比，並加上每一個相態之消光係數。須注意前述計算不考慮氣膠，如煙及吹雨等。

以 CWB WRF 模式資料及 UPP 程序產製 C&V 預報，更新頻率為 1 天 4 次，網格解析度為 3 公里。FOCAL-QM 流程如圖 50，步驟如下：

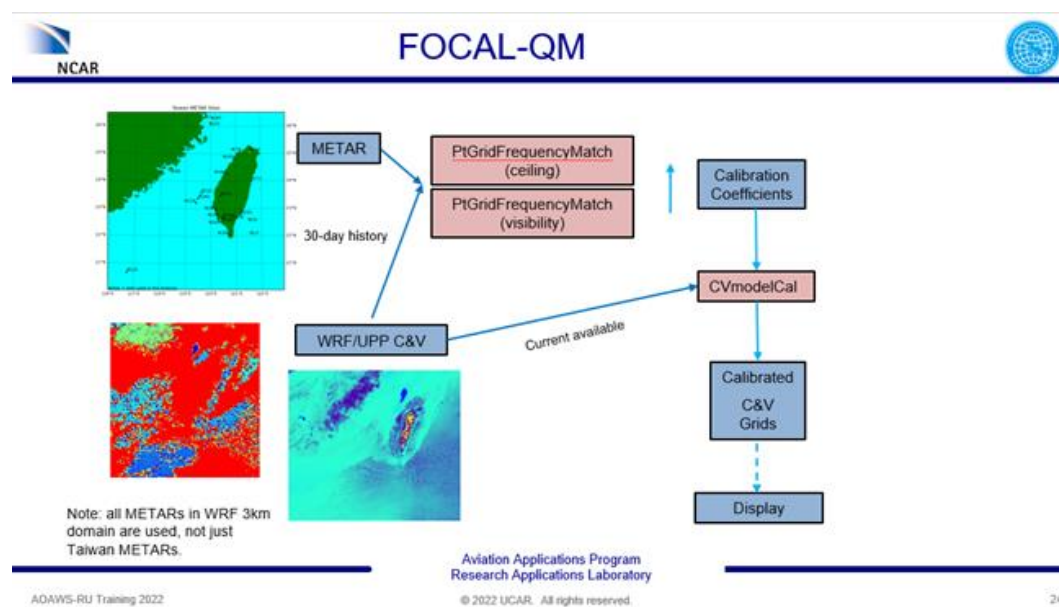


圖 50：FOCAL-QM 資料處理流程

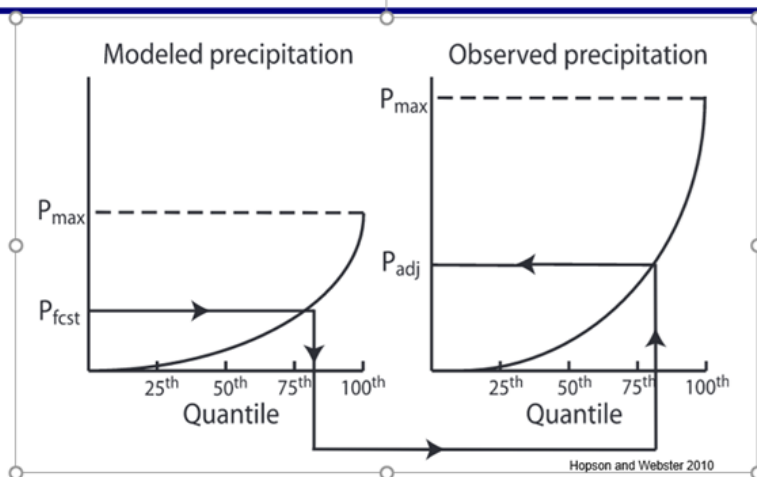
(一)PtGridFrequencyMatch 程序：

1. 訓練階段，以時間長度至少 30 日資料，在每一個機場從模式及觀測資料個別計算 C&V 累積密度函數(Cumulative Density Functions, CDFs)，並將資料用不同閾值做百分位數(percentile)排序以改善預報能力。閾值選取方式為保留下表重要 C&V 數值，並分成 14 分位數。

Category	Ceiling (feet AGL)	Visibility (miles)
Visual Flight Rules (VFR)	> 3000	> 5
Marginal VFR	1000 to 3000	3 to 5
Instrument Flight Rules (IFR)	500 to 999	1 to 3
Limited IFR	< 500	< 1

表 3：目視飛行及儀表飛行之天氣標準

2. 校驗階段，比較觀測及模式預報 CDF，決定未經校驗模式資料百分位數，如圖 2。根據模式資料 CDF，以線性方式找出模式資料對應百分位數，比對觀測資料 CDF，找到在同樣百分位數之觀測資料雲幕或能見度數值。此步驟目的為將 C&V 模式預報資料統計特性調整成與觀測資料一致。



Aviation Applications Program
Research Applications Laboratory
© 2022 UCAR. All rights reserved.

AOAWS-RU Training 2022

16

圖 51：校驗階段資料計算方法

3. 最後為使網格點數值較平滑，以距離權重平均調整每個網格點雲霧或能見度數值。
4. 控制擬合過度(overfitting)個案，設定校驗值與模式值差異不超過 0.5 至 2 倍。

(二)CVmodelCal 程序：

1. 以校驗係數調整模式預報資料，產製 C&V 校驗預報資料。
2. 權重計算依據當地觀測站資料密度及觀測與模式資料平均相關係數。
3. 只要測站密度很高，且模式預報及觀測資料間有高度相關性，校驗係數權重會比較高。
4. 計算最終 C&V 預報資料，最終 C&V 預報數值為 C&V 校驗數值及 C&V 模式資料之權重平均，權重計算透過斯皮爾曼等級相關係數(Spearman ranked correlation)產製，相關公式如下：

Applying Calibration Coefficients

- Final forecast value

$$F_{\text{cal}} = w_{\text{cal}} F_{\text{cal}_0} + (1 - w_{\text{cal}}) F_{\text{raw}}$$

- Weight calculation

$$w_{\text{cal}} = 0.5 \{ \max(1, N_s/8) + [\max(0, \langle r_s \rangle)] \}$$

圖 52：最終 C&V 預報資料及權重計算公式

FOCAL-QM 法極限：

1. 只調整模式預報數值，無法自行產生低 C&V 事件。模式及 UPP 有使用限制。QM 法在模式過度預報時有最佳調整能力。
2. 會發生過度擬合(over-fitting)情況，本演算法藉由設定校驗值與模式值差異，避免前述情況發生。
3. 觀測系統，感測器品質及維護非常重要。

以臨界成功指數(Critical Success Index, CSI)評估 C&V 產品預報能力，CSI 計算公式為 $\text{Hit}/(\text{Hit}+\text{Miss}+\text{False Alarm})$ ，其中 Hit、Miss 及 False Alarm 定義如表 1。將雲幕低於 3000 呎及能見度低於 5 公里狀況納入統計評估 C&V 預報能力個案。

臺北飛航情報區(FIR)內 9 個航空氣象觀測臺雲幕及能見度 CSI 指數如圖，資料時間為 2021 年 12 月至 2022 年 2 月，CSI 指數在 12 小時後無明顯變化，因為預報資料時間為 1 至 12、18 及 24 小時。低雲幕(低於 3000 呎)預報上，在南北竿、松山、桃園、高雄及豐年等 6 個航空氣象觀測臺，FOCAL-QM 預報能力比 MOS 好，只有金門、綠島及蘭嶼等 3 個航空氣象觀測臺 MOS 預報能力比 FOCAL-QM 好，造成預報能力較差原因仍待 NCAR 團隊確認；低能見度(低於 5 公里)預報上，在南北竿、金門、松山、桃園、豐年、綠島及蘭嶼等 8 個航空氣象觀測臺，FOCAL-QM 預報能力比 MOS 好。在高雄航空氣象觀測臺 MOS 預報能力比 FOCAL-QM 好，可能是因為冬季高雄地區能見度受附近工業區空氣汙染影響大，UPP 無法計算空氣汙染對能見度影響，致 FOCAL-QM 預報能力較差。

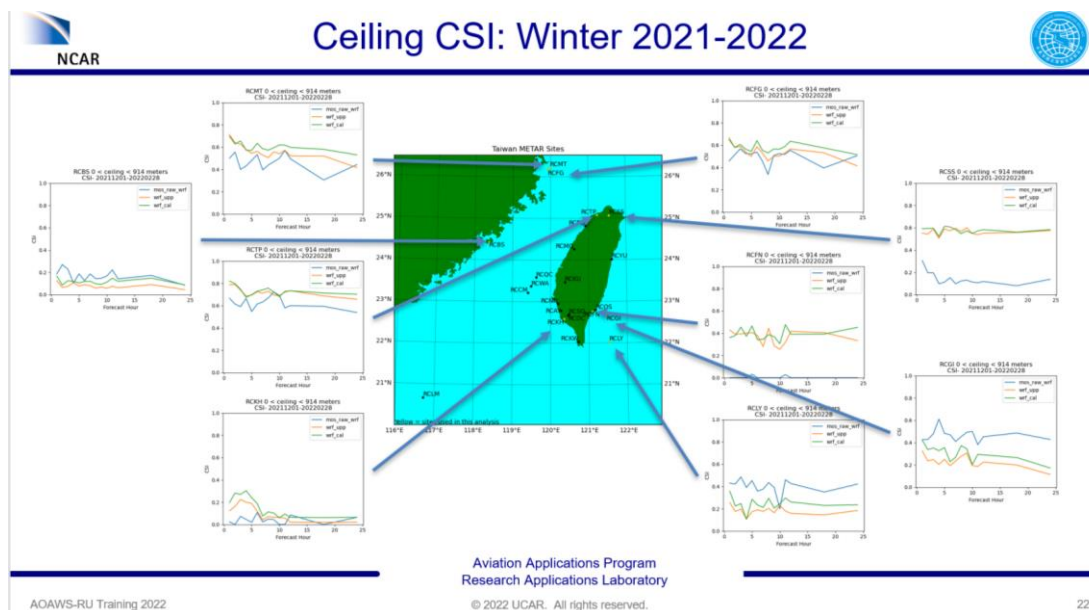


圖 53：臺北 FIR 9 個航空氣象觀測站雲幕 CSI 指數，資料時間為 2021 年 12 月至 2022 年 2 月。

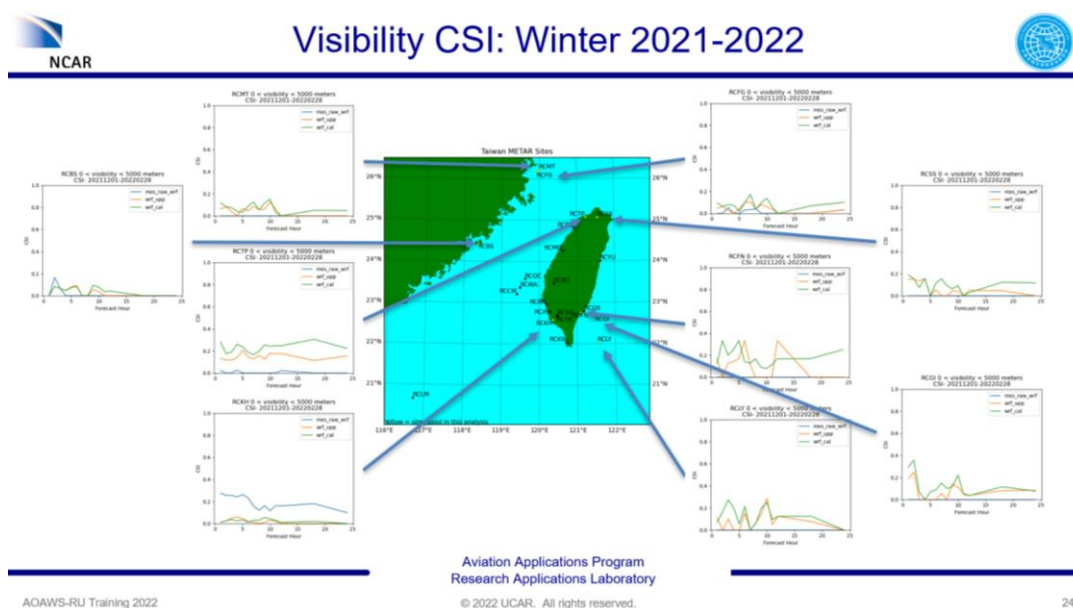


圖 54：臺北 FIR 9 個航空氣象觀測站能見度 CSI 指數，資料時間為 2021 年 12 月至 2022 年 2 月。

六 發展 0-8 小時的風暴預報能力(AOAWS Short-term Prediction of Intense Rainfall and Echotops, ASPIRE)

ASPIRE 係利用 CWB 對流尺度數值預報模式(RWRF)、雷達回波觀測及劇烈天氣監測系統(QPESUMS)雷達估計降雨率等資料，透過擴充混合系統產製 0 至 8 小時之雷達回波、回波頂高度(Echo Top Height)及降雨率預報資料。

NCAR 將藉由發展外延演算法及擴充混合演算法，新增一項 0-8 小時風暴預

測能力產品。NCAR 將依據多種參數建立系統需求文件，並蒐集樣本資料以進行分析及研究，並以個案測試進行外延法發展工作。2021 年底，將在 NCAR 安裝初版外延預報系統。2022 年，將蒐集資料評估外延法及模式對不同初始條件之反應。另亦利用雨量計資料來校正降雨率與雷達反射率因子(Z-R)關係式，並優化混合演算法軟體設定以提高演算法效能。

雷暴系統所引起的亂流、風切、微爆流、冰雹、閃電等是航空氣象上重要的危害因子，所以針對雷暴系統進行監測與預報就是航空氣象上十分重要的工作，藉由發展外延演算法及擴充混合演算法(Blending)來進行 0-8 小時的風暴預報。開發 ASPIRE 系統的動機是：(1)尋求更為安全有效率之航路(2)減少因為風暴系統的延誤(3)提供機場地面作業更準確開關應變時間(4)航路規畫時節省燃油(5)避開對流所引發之亂流(6)使航機避開上升氣流等危害天氣。

ASPIRE 輸出產品如圖 55，包含降雨率(Rain Rate in mm/hr)、合成雷達回波(Composite Reflectivity in dBZ)/回坡頂高度(EchoTop in m AGL)：特定 DBZ 值之最高高度等三樣產品，每 10 分鐘更新一次。在預報的部分，發展擴充混合演算法：結合經 UPP 後處理後之高解析度氣象局 RWRf 模式及多重尺度 NCAR-CTREC 外延演算法。擴充混合演算法的特徵為：(1)移除模式強度誤差，(2)調整模式位置(形狀修正)，(3)藉由鄰域技術得分(Fraction Skill Score, FSS)動態更新權重及(4)在風暴成長的區域使用探索式預報不確定性權重關係。

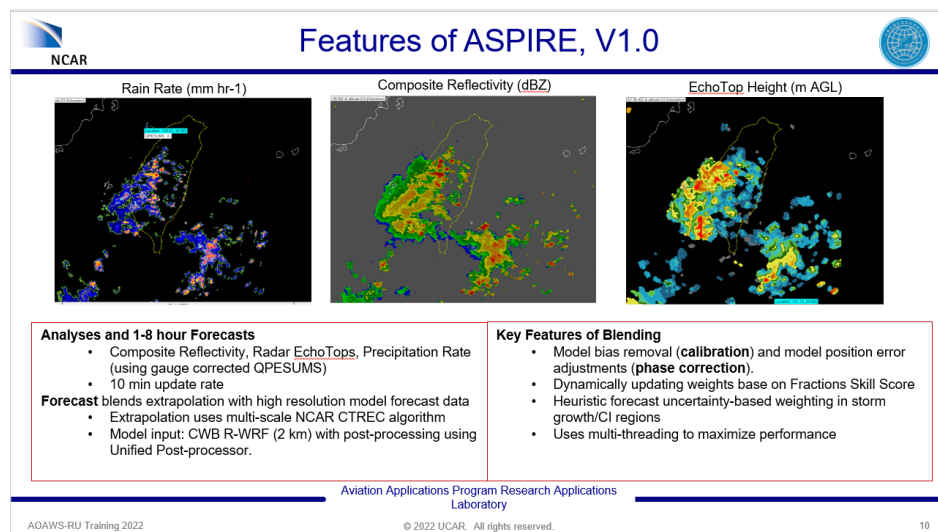


圖 55：ASPIRE 產品示意圖。

之所以需要使用擴充混合演算法是因為當預報延時越長，即時預報(Nowcasting)所用之外延法技術，會低於數值模式之預報能力，然而模式在初始的一段時間則預報能力偏弱，需要透過雷達資料同化來強化這段時間的預報能力，擴充混和演算法就是試著結合觀測外延與模式資料，希望能夠在 0-8 小時的極短期預報能有最佳的預報表現，如圖 56。

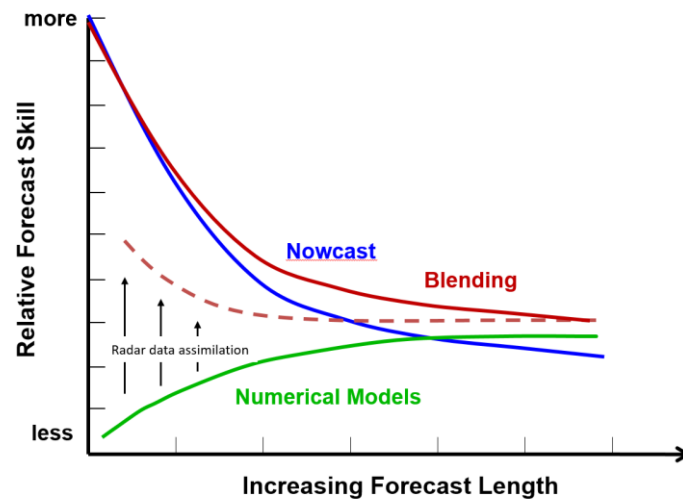


圖 56：短時預報能力變化示意圖。

氣象局 RWRf 模式為每小時更新一次，臺灣地區兩公里解析度，每小時輸出一筆資料。RWRf 模式包含三維雷達資料同化系統，並透過 NCEP 後處理程序 (Unified Post Processor, UPP) 得到所需之變數。

ASPIRE 結合數值模式及雷達回波外延資訊，在此稱為擴充混合演算法 (Blending)，流程如圖 57。

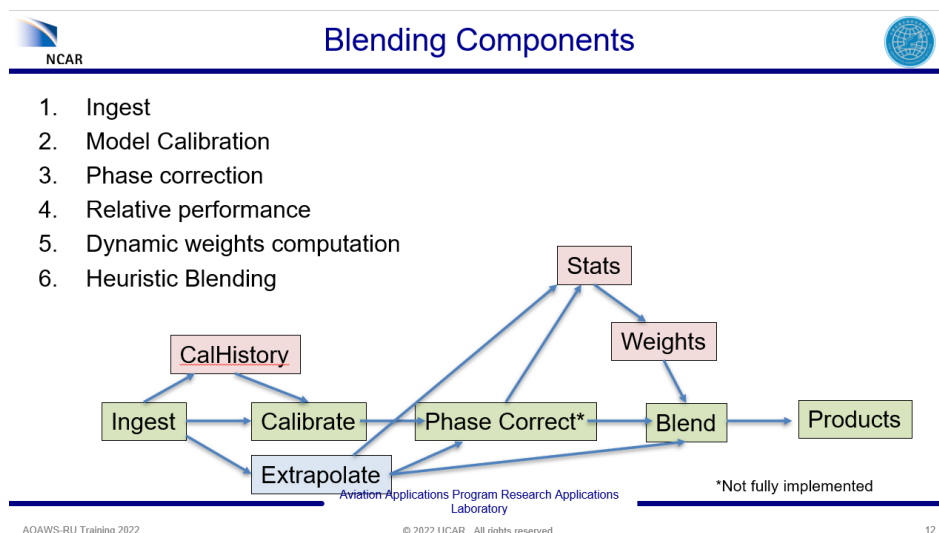


圖 57：擴充混合演算法運作流程。

(一) 擷取演算法所需資料 (Ingest)

外延的部分，是利用前一小時的合成回波場，透過跨相關關係，找出相關係數最高之移動範圍，藉此計算雷暴系統的移動向量。這個外延向量演算法稱為 CTREC (Cartesian Tracking Radar Echo by Correlation)。

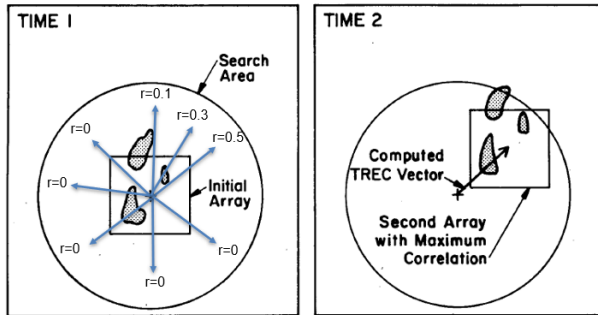


FIG. 1. Schematic showing the computation of a TREC vector to determine the motion of reflectivity echoes (shaded) from TIME 1 to TIME 2. The initial array of data at TIME 1 is cross-correlated with all other second arrays of the same size at TIME 2 whose center falls within the search area. The position of the second array with the maximum correlation determines the vector endpoint. In this study the array size used was 7 km and the time between measurements was typically 5 minutes.

Correlation Coefficient

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Where x_i = box from Time1 and
 y_i = box from Time2

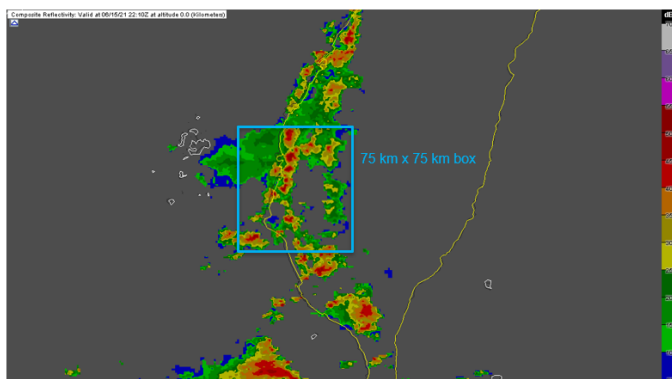
Tuttle and Foote (1990)

© 2022 UCAR. All rights reserved.

圖 58：CTREC 方法介紹。

臺灣地區針對 CTREC 選用的雷達回波門檻值是 10dBZ，時間間隔是 10 分鐘 1 筆資料，選取範圍大小為 75*75 公里，其餘參數設定如圖 59。

Last two Composite Reflectivity used to Compute Motion Vector field



CTREC = Cartesian Tracking Radar Echo by Correlation

- Described in Tuttle and Foote (1990).
- Used in the [Autonowcaster](#)
- Uses cross-correlations to identify storm motions.
- Key Settings:
 - `del_dbz` = 10 dBZ (dark green contour fill)
 - `cbox_size` = 75 km
 - `thr_cor` = 25 (correlation must exceed for valid vector)
 - `cbox_space` = 25 km
 - `delta_time` = 10 min
 - `temporal_smoothing_type` = SMOOTH_WITH_VECTOR_DIFFERENCE
 - `temporal_fuzzy_percent` = 0.4 (given as a fraction between 0 and 1)

© 2022 UCAR. All rights reserved.

7

圖 59：臺灣地區 CTREC 外延法參數設定。

圖 60 顯示用 2021 年六月資料計算外延兩小時的預報臨界成功指數 (Critical Successful Index, CSI)，可以發現外延法在傍晚到上半夜的預報表現較差，而夜間預報在新版本 CTREC 外延法略有改善。

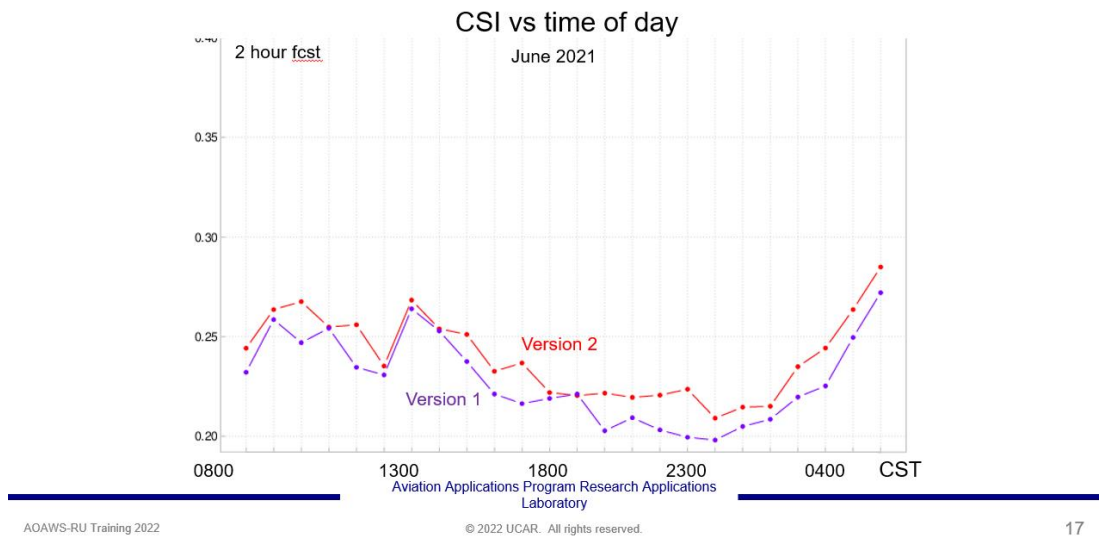


圖 60：外延法預報能力日變化。

接著利用 2021 年九月資料進行校驗，結果如圖 61，可以看到當回波門檻值為 20dBZ 時，CTREC 外延法與 RWRF 模式的預報成功臨界指數在約三小時後交錯，RWRF 在預報延時 3 小時以上的預報表現較佳，當閾值提高到 40dBZ 時，兩小時後模式的預報表現就優於外延法。在預報的前六小時 RWRF 模式的偏離指數均大於 1，回波範圍大小有過度預報的情形。

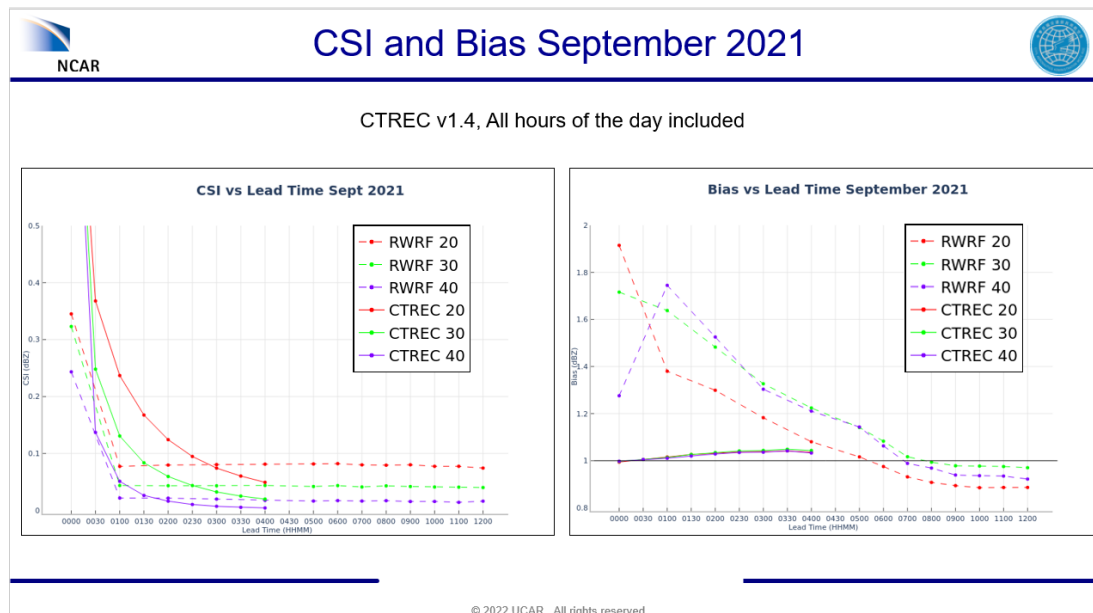


圖 61：不同閾值模式預報與外延法預報表現比較。

(二)對模式輸出結果做校正(Calibrate)，如圖 62。

1. 將模式範圍分為 16 個相同大小的方塊。

2. 計算每個方塊內的校正函式：頻率比對技術。
3. 重疊的區域使用距離權重關係。
4. 執行校正消除長期與每一筆模式間的偏差。
5. 針對每小時輸出的模式結果做動態校正。

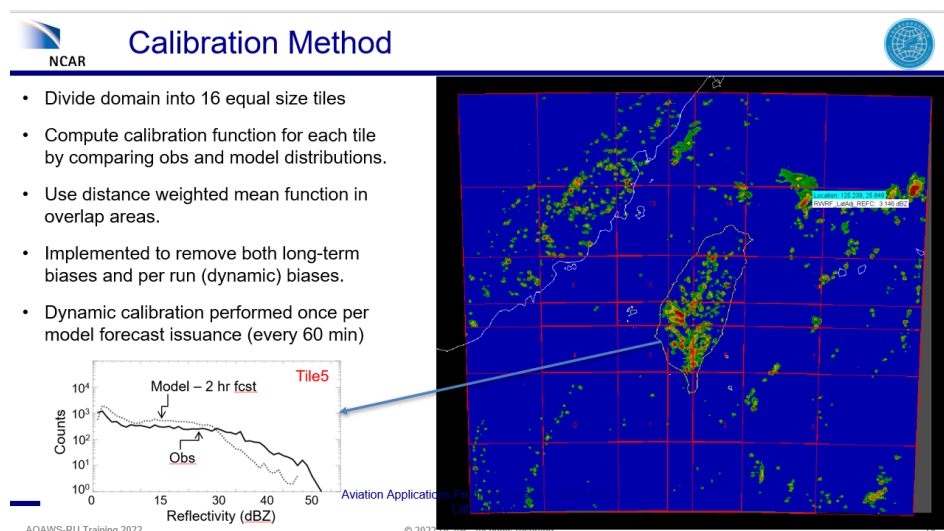


圖 62：模式校正方法。

校正方法為頻率比對技術(Frequency Matching Technique)，選取的每塊範圍接近中尺度系統大小，而該範圍又大於模式預測雷暴發展的位置誤差。以圖 63 為例，將觀測及預報之雷達回波格點數繪製成頻率分布圖，模式在較大 dBZ 回波值的數量少於實際觀測值，所以需要將預報的雷達回波值往上調，而在 30dBZ 以下，觀測的回波小於預報的回波，需要將回波值往下調整。

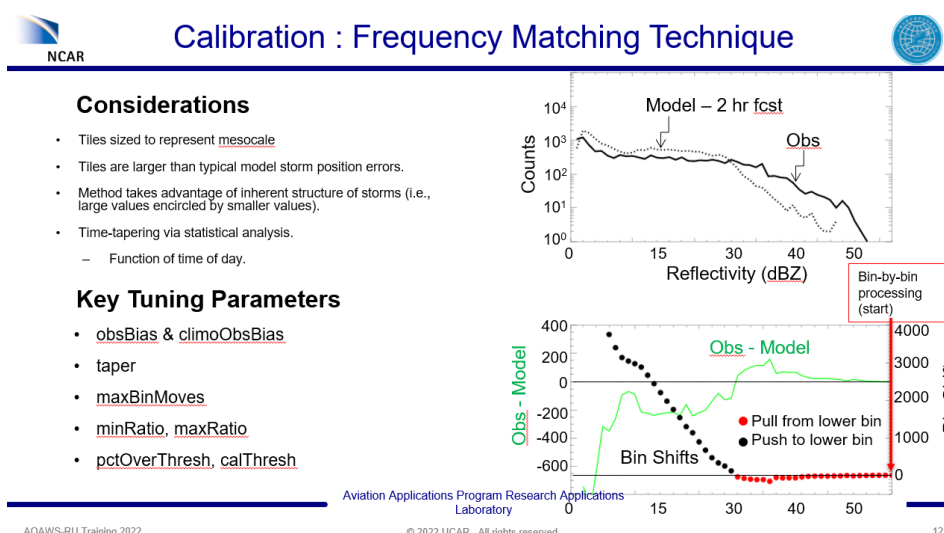


圖 63：頻率比對技術。

(三)位置修正

拉格朗日位置校正如圖 64：外延與模式預報雷達回波有位置(形狀)差異，需要透過加以校正，相對固定的位置校正方法，使用拉格朗日位置校正法的好處是：(1)移動向量場是隨著風暴的區域；(2)減少風暴形狀的失真、(3)提升預報能力。

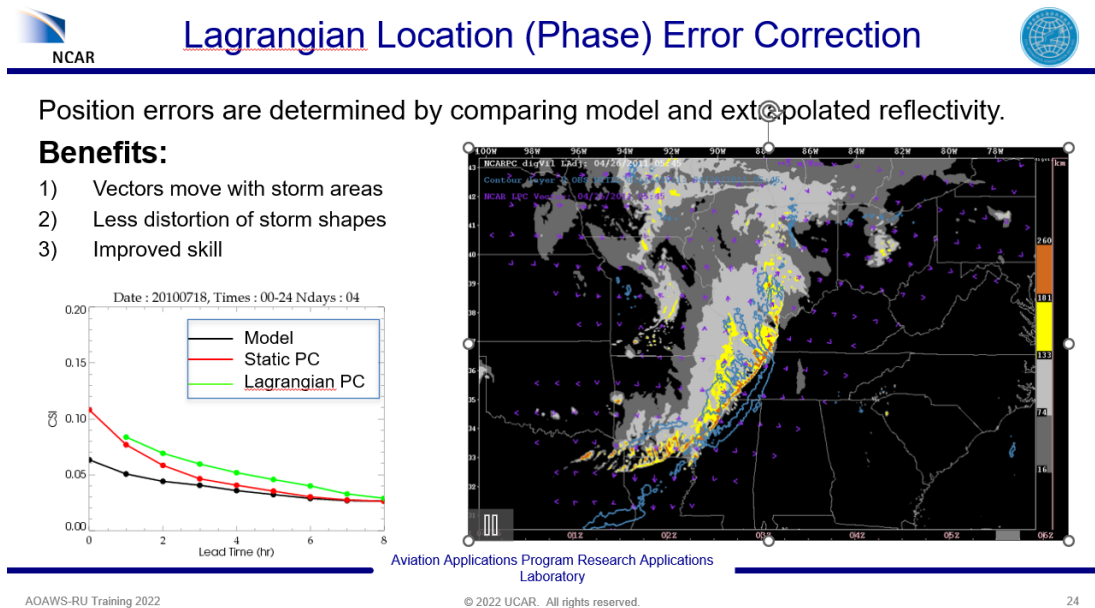


圖 64：拉格朗日位置修正。

(四)利用臨域技術得分評估相對預報表現

臨域技術得分(Fraction Skill Score, FSS)係利用指定範圍內，超過特定閾值的預報發生機率與觀測比對，越接近 1 表示預報越完美。如圖 65。

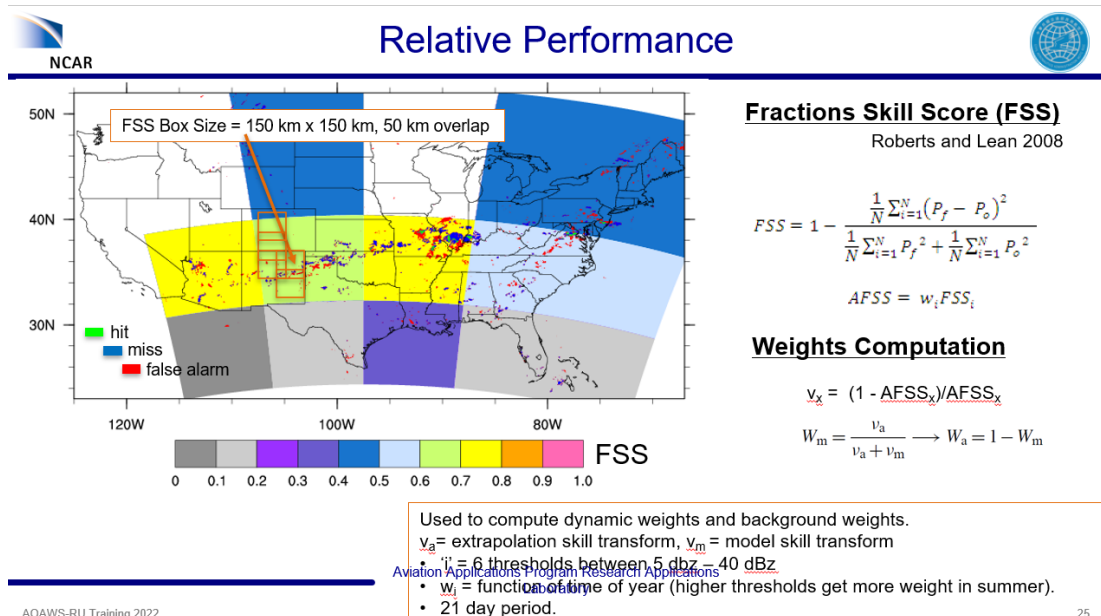


圖 65：利用臨域技術得分評估相對預報表現。

如圖 66，使用 FSS 評估預報技術，我們可以看到當 FSS 範圍在 30 公里的時候，若雷達回波門檻值為 20，CTREC 外延法的表現在 3 小時後被模式預報超越，

當回波門檻值越高，模式的表現會更早接近外延法之表現。若將 FSS 範圍拉到 60 公里，則外延法的表現優於模式會多延長約半小時的時間。

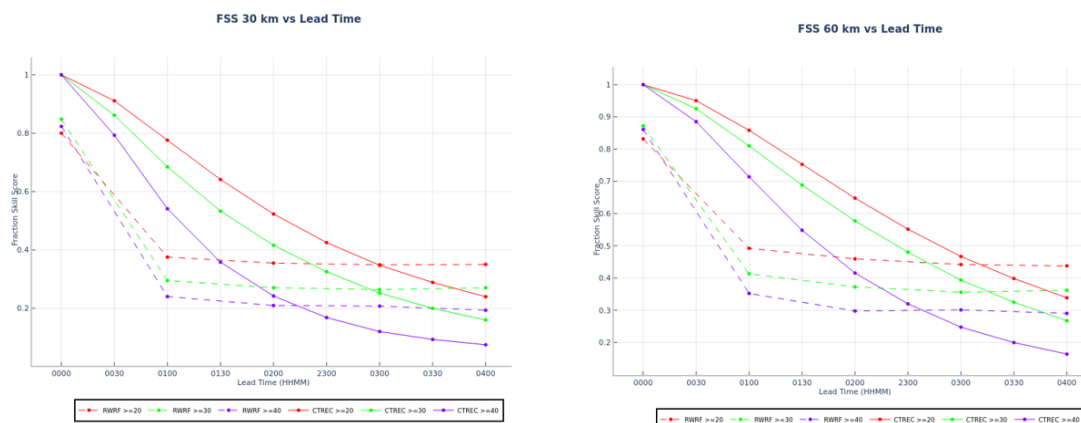


圖 66：外延法與模式預報 FSS 值隨時間變化。

(五)計算動態權重(圖 67)

探索式動態權重：背景模式權重(Background Model Weight, BW)，隨著預報延時而增加，權重 0.5 時表示模式與外延法預報能力交會的時間點。風暴初始權重(Storm Initiation Weight, SIW)為風暴初始權重，表達模式預報之不確定性，用於調整動態權重。權重的計算基準來自 FSS，每天會計算一次，BW 是基於過去三十天整個模式範圍網格資料，而 DW 是基於過去 18 天的表現。

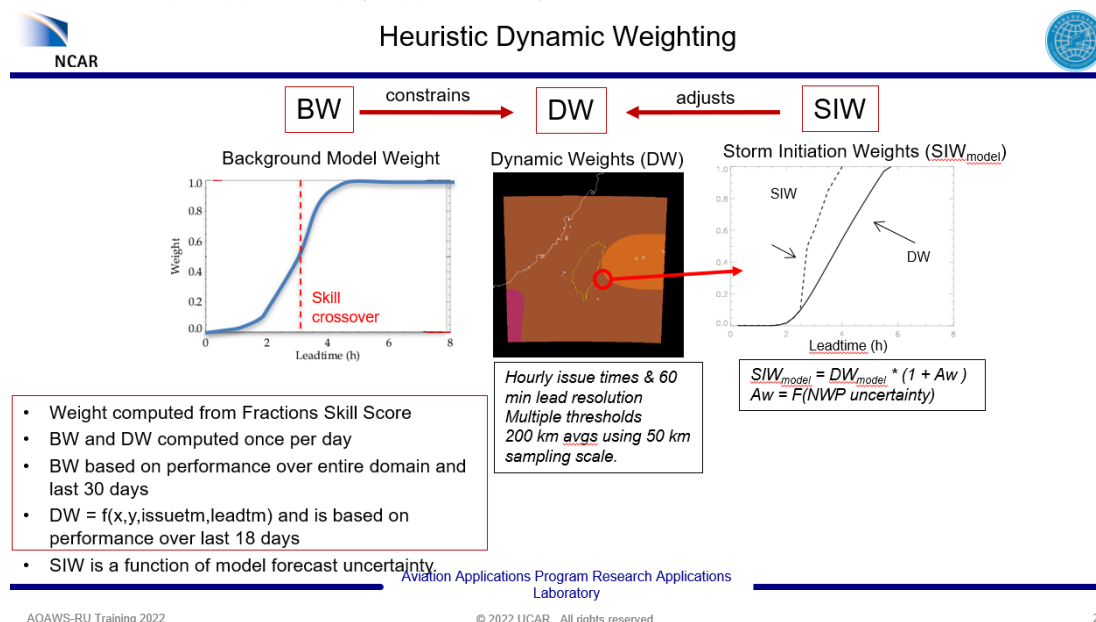


圖 67：動態權重計算。

透過不同初始時間模式針對同一有效時間的預報，可以產生時間滯後系集預報，使模式預報產生機率值如圖 68 等值線，再利用此機率分布調整動態權重比起單純外延法，擴充混合演算法所預報的回波範圍較廣，與模式預報對流發生機

率較為接近。

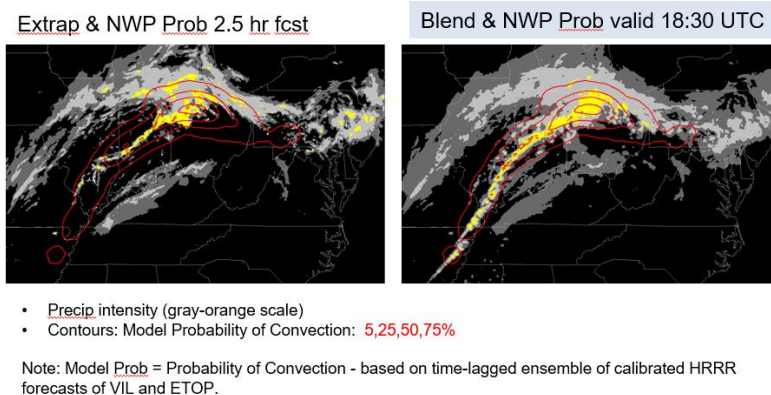


圖 68：運用模式延遲系及調整混合權重。

利用美東一個月資料進行統計(圖 69)，黑色線為外延法，綠線及紅線為模式預報，藍線為擴充混合演算法，以 35dBZ 為閾值，上排為預報臨界成功指數 (Critical Successful Index, CSI)，表示在觀測及預報超過閾值的雷達回波區域中，正確預報的比例。可以看到外延法的預報能力在前兩小時快速降低，在預報時間達 4 小時被模式超越，但擴充混合演算法的表現可以領先模式預報 6-8 小時。偏離指數(Bias)表示預報達門檻值與觀測達門檻值的比值，可以發現外延法隨時間偏離指數會逐漸上升，而數值模式因為包含了對流的成長及消散過程，在 4-8 小時偏離指數接近 1，而擴充混合演算法則在前兩小時有低估回波範圍大小，2-8 小時則明顯高估。

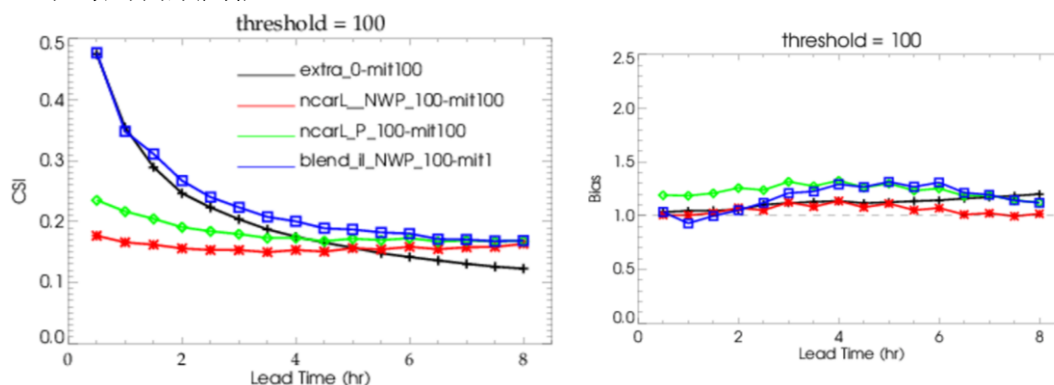


圖 69：外延法與數值模式及擴充混合演算法預報能力比較

七 氣象通用支援服務(CSS-Wx)之網路設定

本課程係 NCAR 介紹開放地理空間協會(OGC)協定及符合 CSS-Wx 資料服務標準之資料格式。

OGC 為國際標準組織，超過 500 個會員組織，提供開放式免費存取標準，方便地理資訊系統之資料處理及共享，目前約有 70 種以網路框架進行建置之標準，這些標準為地理資訊系統(GIS)主要標準及美國新一代空中運輸系統(Next Generation Air Transportation System, NextGen)重要基礎建設。

為達快速、有效及穩定傳遞大量複雜資訊目標，NextGen 計畫之網路服務有以下 3 種：網路地理覆蓋服務(Web Coverage Service, WCS)、網路要素服務(Web Feature Service, WFS)及網路地圖服務(Web Map Service, WMS)。WCS 提供對地理覆蓋資料介接及處理，在網格範圍上存取資料，格式為 NetCDF、GRIB2、GeoTIFF、JPEG2000。WFS 為檢索或改變要素功能，在點線及多角形上存取資料，格式為 GeoJSON 格式 FeatureCollection 物件。WMS 為提供地圖圖像，存取覆蓋或要素資料，圖像資料格式可為 GIF、PNG、JPG、TIFF、SVG 及 WebCGM。

符合發布標準測試套件必須提供驗證路徑，WCS、WFS 及 WMS 資料供應伺服器如 Unidata THREDDS、GeoServer、ArcGIS、MapServer、Hexagon ERDAS/LUCIAD、DigitalGlobe、Panorama、rasdaman 及 OpenWeather。

WCS 核心操作有 GetCapabilities、DescribeCoverage 及 GetCoverage。GetCapabilities 為回傳伺服器 WCS 功能概述，如可用資料列表、有效 WCS 操作及參數查詢，DescribeCoverage 為回傳特定資料之後設資料(metadata)，如資料說明、時間及空間區域及支持輸出格式，GetCoverage 為以支持格式回傳覆蓋範圍及接受符合標準參數。

WFS 核心操作有 GetCapabilities、DescribeFeatureType、GetFeature 及 GetPropertyValue。GetCapabilities 為回傳伺服器 WFS 功能概述，如可用資料列表、有效 WFS 操作及參數查詢。DescribeFeatureType 為回傳特定要素資料之特定後設資料、資料說明、時間及空間範圍及支持輸出格式。GetFeature 為回傳資料要素，如以支持格式編碼及符合需求之限制。GetPropertyValue 為以查詢表達式回傳一組要素之內容。

WMS 核心操作有 GetCapabilities、GetMap 及 GetFeatureInfo。GetCapabilities 為回傳伺服器 WMS 功能概述，如可用資料列表、有效 WMS 操作及參數查詢。GetMap 為以圖像形式回傳資料，如以支持格式編碼及符合需求之限制。GetFeatureInfo 為回傳有關給定像素點處資料層資訊，如可選操作、必須包括圖層、邊界屬性及像素位置與實現細節取決於伺服器。WMS 樣本資料如圖 70，在電子地圖上疊加道路資訊並以圖片型式供使用者存取。

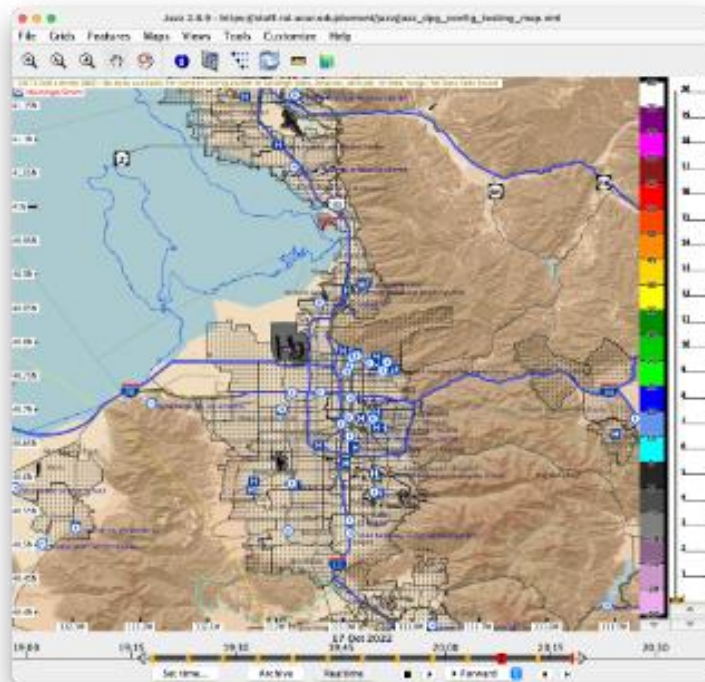


圖 70：電子地圖上疊加道路資訊。

八 AOAWS-RU 系統整體架構

資料夾包含輸入(Input)、輸出(Output)、應用軟體(apps)、工作區(work)及日誌(LOGS)，輸入輸出資料格式由介面控制文件(ICD)定義，應用軟體內有程式碼、設定檔、指令集及經編譯之應用軟體。LOG 用來記錄系統執行活動。依 ICD，資料夾架構如圖 71。

```
[jcraig@aoawsru2 /aoawsru2_d1]$ ls /data1/input/
acars_wmo aftn gts iwxxm lightning radar satellite wrf
[jcraig@aoawsru2 /aoawsru2_d1]$ ls /data1/input/wrf
15km 2km 3km
[jcraig@aoawsru2 /aoawsru2_d1]$ ls /data1/input/radar
cb_rain01h_rad_gc compref_mosaic cwbc inst_rate_rad mrefl_mosaic
[jcraig@aoawsru2 /aoawsru2_d1]$ ls /data1/input/radar/cwbc
rccg rcck rcgr rchd rckt rcly rcmk rcnt rcsl rcwf
```

圖 71：AOAWS-RU 系統資料夾架構。

目前帳號設計採每一種演算法產品有專屬帳號，目的為方便控管計算資源及能迅速去除程式執行錯誤，如有程式停止回應時，可輕易找出是哪一個演算法程式出錯並及時處理。共享使用者設計目的為避免在不同演算法產品資料夾內有重複應用軟體、資料庫及程式集，當不同演算法產品有相同資料或軟體要使用或執行，即透過共享使用者來進行作業。

肆. 心得及建議

一 持續辦理實體教育訓練，並增加視訊方式，以提升學術交流機會及訓練成效：

(一)增加視訊方式辦理教育訓練，可讓更多同仁參加訓練並增加與授課教官討論機會。

(二)如對課堂內容不清楚，可藉由錄影檔複習，增進訓練內容理解。

二 持續研習最新航空氣象科學及技術，建構飛航安全所需航空氣象資訊

新觀測資料、科學技術及電腦計算資源演進突飛猛進，需要持續研習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，以提供使用者最新航空氣象預報及觀測產品，增進航空氣象服務品質。

三 持續優化美國國家大氣科學研究中心（NCAR）天氣預報演算法效能：

(一)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、夏季有午後熱對流及颱風等，建議 NCAR 以臺灣地區不同天氣型態進行個案校驗及分析，使演算法符合本區氣候特性，並提昇預報可用性及信心度。

(二)建議 NCAR 協助總臺以臺灣地區雙偏極化雷達觀測資料發展積冰偵測演算法，補足本區積冰觀測資料不足情況。

(三)辦理說明會及業務交流，使航空公司了解並提供更多且完整積冰及亂流觀測資料，納入演算法程式以提升預報準確度。

伍. 附錄

一. AOWS NCAR Graphical Turbulence Guidance System (GTG) and Graphical Turbulence Guidance Nowcast (GTGN) 簡報

二. AOWS Short-term Prediction of Intense Rainfall and Echotops (ASPIRE) 簡報