

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」
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

郭力瑋 預報員

派赴國家：美國，丹佛

出國期間：民國 112 年 09 月 09 日~ 09 月 22 日

報告日期：民國 112 年 10 月 31 日

提要表

系統識別號：	C11202052																							
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></td> <td>主任氣象員</td> <td></td> <td>聯絡人： jasonwen@anws.gov.tw</td> </tr> <tr> <td>郭力瑋</td> <td>交通部 民用航空局飛航服務總臺</td> <td></td> <td>預報員</td> <td></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		主任氣象員		聯絡人： jasonwen@anws.gov.tw	郭力瑋	交通部 民用航空局飛航服務總臺		預報員		
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		主任氣象員		聯絡人： jasonwen@anws.gov.tw																			
郭力瑋	交通部 民用航空局飛航服務總臺		預報員																					
前往地區：	美國																							
參訪機關：	美國國家大氣科學研究中心																							
出國類別：	其他																							
出國期間：	民國 112 年 09 月 09 日 至 民國 112 年 09 月 22 日																							
報告日期：	民國 112 年 10 月 31 日																							
關鍵詞：	航空氣象																							
報告書頁數：	111 頁																							
報告內容摘要：	<p>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</p>																							

	<p>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。本(112)年度是 IA#19 計畫第 1 年，本年度計畫主要工作包含在總臺測試環境安裝演算法軟體及提交演算法測試評估報告，因此本年度教育訓練內容主要為講解演算法軟體安裝步驟並解釋演算法程序架構及相對應參數檔案，另安排至少 30 小時學員實體練習課程，使學員能在 NCAR 測試環境上手動執行演算法安裝步驟，並手動調整相關參數檔案後執行演算法程序，最後於 JAZZ 或 NCview 等顯示軟體上檢視輸出成果，加深學員理解 NCAR 演算法程序架構。此外，訓練內容包含講師與學員之間面對面問答時間，確保學員充分理解講師教授內容，也回饋 NCAR 飛航服務總臺預報員使用演算法進行天氣監測與預報之經驗。</p>
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

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。本(112)年度是 IA#19 計畫第 1 年，本年度計畫主要工作包含在總臺測試環境安裝演算法軟體及提交演算法測試評估報告，因此本年度教育訓練內容主要為講解演算法軟體安裝步驟並解釋演算法程序架構及相對應參數檔案，另安排至少 30 小時學員實體練習課程，使學員能在 NCAR 測試環境上手動執行演算法安裝步驟，並手動調整相關參數檔案後執行演算法程序，最後於 JAZZ 或 NCview 等顯示軟體上檢視輸出成果，加深學員理解 NCAR 演算法程序架構。此外，訓練內容包含講師與學員之間面對面問答時間，確保學員充分理解講師教授內容，也回饋 NCAR 飛航服務總臺預報員使用演算法進行天氣監測與預報之經驗。

目錄

壹.	目的.....	2
貳.	過程.....	3
參.	課程內容摘要.....	5
一	MAKE 系統介紹.....	5
二	網路通用資料格式(NetCDF)介紹.....	8
三	氣象資料輸入與共享系統(Input/Shared System).....	12
四	更新飛行中積冰診斷及預報產品.....	16
五	第 4 版亂流圖形化指引 (GTG4).....	29
六	NCAR 亂流偵測演算法(NCAR Turbulence Detection Algorithm)	34
七	更新雲頂高預測產品(CTH/CDO).....	38
八	更新機場雲幕與能見度預測產品(Ceiling and Visibility , C&V)	55
九	發展 0-8 小時的風暴預報能力(AOAWS Short-term Prediction of Intense Rainfall and Echotops , ASPIRE).....	71
十	氣象產品顯示系統(JAZZ).....	99
十一	AOAWS-RU 演算法監控系統(SysView).....	104
肆.	心得及建議.....	108
伍.	附錄.....	109

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，得以跟上先進國家腳步，持續與國際接軌。

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(112)年度是 IA#19 計畫第 1 年，本年度計畫主要工作包含在總臺測試環境安裝演算法軟體及提交演算法測試評估報告，因此本年度教育訓練內容主要為講解演算法軟體安裝步驟並解釋演算法程序架構及相對應參數檔案，另安排至少 30 小時學員實體練習課程，使學員能在 NCAR 測試環境上手動執行演算法安裝步驟，並手動調整相關參數檔案後執行演算法程序，最後於 JAZZ 或 NCview 等顯示軟體上檢視輸出成果，加深學員理解 NCAR 演算法程序架構。此外，訓練內容包含講師與學員之間面對面問答時間，確保學員充分理解講師教授內容，也回饋 NCAR 飛航服務總臺預報員使用演算法進行天氣監測與預報之經驗。

貳. 過程

- 一 日期：本案教育訓練時間為 112 年 9 月 11 至 20 日，上午 9 至 12 時及下午 13 至 17 時，共計 56 小時。
- 二 參加人員：臺北航空氣象中心溫主任氣象員文豪及郭預報員力瑋，共 2 人。
- 三 授課講師及課程內容如下表：

日期	時間	講師	課程主題
9/11	0900-1200	Jason Craig	Lecture and supervised hands-on practice: Introduction to GNU Make and RAL's Makefile system
		Dan Megenhardt	Lecture and supervised hands-on practice: Introduction to NetCDF API, tools and the mdv_nc conversion process, NetCDF2Mdv App
	1300-1700	Jason Craig Dan Megenhardt	Review and hands-on practice + Q&A
9/12	0900-1200	Jason Craig	Lecture and supervised hands-on practice: Understanding algorithm code/program structure & understanding TDRP or any parameter/configuration files -- SHARED/INPUT
	1300-1700	Jason Craig	Review and hands-on practice + Q&A
9/13	0900-1200	Gary Cunning Dan Adriaansen	Lecture and supervised hands-on practice: Understanding algorithm code/program structure & understanding TDRP or any parameter/configuration files -- IFI
	1300-1700	Gary Cunning Dan Adriaansen	Review and hands-on practice + Q&A
9/14	0900-1200	Jim Cowie Bill Petzke	Lecture and supervised hands-on practice: Understanding algorithm code/program structure & understanding TDRP or any parameter/configuration files -- C&V

	1300-1700	Jim Cowie Bill Petzke	Review and hands-on practice + Q&A
9/15	0900-1200	Jeff Hancock Dan Megenhardt	Lecture and supervised hands-on practice: Topic JAZZ & Sysview
	1300-1700	Jeff Hancock Dan Megenhardt	Review and hands-on practice + Q&A
9/18	0900-1230	Wiebke Deierling Jason Craig Teddie Keller	Lecture and supervised hands-on practice: Understanding algorithm code/program structure & understanding TDRP or any parameter/configuration files -- GTG/GTGN
	1330-1700	Ken Stone Dan Megenhardt	Lecture and supervised hands-on practice: Understanding algorithm code/program structure & understanding TDRP or any parameter/configuration files -- CTH/CDO
9/19	0900-1200	James Pinto Dan Megenhardt Dave Albo Sue Dettling	Lecture and supervised hands-on practice: Understanding algorithm code/program structure & understanding TDRP or any parameter/configuration files -- ASPIRE
	1300-1700	James Pinto Dan Megenhardt Dave Albo Sue Dettling	Review and hands-on practice + Q&A
9/20	0900-1200	Greg Meymaris Jason Craig	Lecture and supervised hands-on practice: Understanding algorithm code/program structure & understanding TDRP or any parameter/configuration files -- NTDA
	1300-1700	Greg Meymaris; Jason Craig	Review and hands-on practice + Q&A

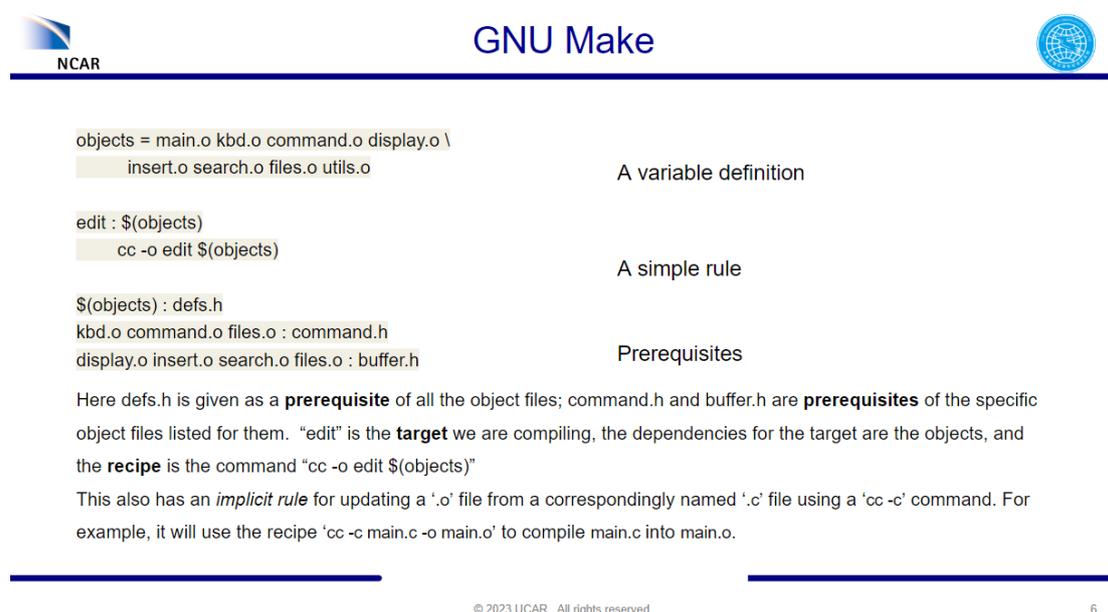
參. 課程內容摘要

一 MAKE 系統介紹

(一) GNU MAKE 系統簡介：

GNU MAKE 系統是控制如何從原始碼快速產生執行檔及其他非原始碼檔案的工具。開發人員建立一個 `makefile` 檔案，列舉所有的非原始碼檔案存放位置及如何計算，就可以建構及安裝程式。MAKE 系統的細節均寫在 `makefile` 裡，使用者無需知道太多細節即可進行安裝。MAKE 會自動找出那些檔案需要更新，以及不同檔案安裝的順序。MAKE 對程式語言的使用沒有限制，會使用不同的指令對原始碼進行編譯。MAKE 系統不只可以安裝，也可以反安裝，只要是常用的工作都可以透過 MAKE 系統控制。

MAKE 系統的四大基礎：規則(rule)、目標(target)、先決條件(prerequisites)、配方(recipes)：規則(rule)告訴 MAKE 系統如何執行一系列指令，包含何時要進行動作，從原始碼建立目標檔案，並建立目標檔案的依賴項目清單；目標(target)為程式所產生之檔案名稱，通常是物件檔或是可執行檔，也可以是要執行的操作名稱；先決條件(prerequisites)是用來產生目標的輸入資料，一個目標通常需要多個先決條件；配方(recipes)是 MAKE 系統的操作，一個配方可能包含多組指令，同一行也可能有兩個以上的指令，而每個配方前面都要加上 `tab` 鍵。(如圖 1)



The screenshot shows a slide titled "GNU Make" with the NCAR logo on the left and a globe icon on the right. The slide content is as follows:

```
objects = main.o kbd.o command.o display.o \
insert.o search.o files.o utils.o
```

A variable definition

```
edit : $(objects)
cc -o edit $(objects)
```

A simple rule

```
$(objects) : defs.h
kbd.o command.o files.o : command.h
display.o insert.o search.o files.o : buffer.h
```

Prerequisites

Here `defs.h` is given as a **prerequisite** of all the object files; `command.h` and `buffer.h` are **prerequisites** of the specific object files listed for them. "edit" is the **target** we are compiling, the dependencies for the target are the objects, and the **recipe** is the command "cc -o edit \$(objects)"

This also has an *implicit rule* for updating a '.o' file from a correspondingly named '.c' file using a 'cc -c' command. For example, it will use the recipe 'cc -c main.c -o main.o' to compile `main.c` into `main.o`.

© 2023 UCAR. All rights reserved. 6

圖 1：makefile 範例

GNU MAKE 系統較為複雜，可以視作一種程式語言，程式設計師可以在裡面進行編碼，我們只需知道這是一個主要設計來安裝、連結、編譯程式碼的工具。

(二) RAL 的 GNU MAKE 設定：

RAL 的 Makefile 設定非常繁複，但這些工作大部分已經被做隱藏在幕後的“make_include”資料夾，可以透過共用帳號“aoaws”進入，而其他各演算法系統也都會利用這個資料夾下的資訊。所以一般來說，makefile 若要使用 RAL 的設定，第一行如下：

```
include $(RAP_MAKE_INC_DIR)/rap_make_macros
```

接下來需要設定一些環境變數：

RAP_MAKE_INC_DIR : make_include 資料夾位置。

HOST_OS : 系統結構(作業系統)。

RAP_INC_DIR : 安裝標頭檔的位置。

RAP_LIB_DIR : 安裝編譯用函式庫的位置。

RAP_BIN_DIR : 存放編譯後的應用程式。

底下為一個 AOAWS-RU 環境參數設定的範例：

```
export ROOT_DIR="/data1/apps/aoaws/"
```

```
export HOST_OS="LINUX_CX14"
```

```
export RAP_MAKE_INC_DIR="$ROOT_DIR/make_include"
```

```
export RAP_INC_DIR="$ROOT_DIR/include"
```

```
export RAP_LIB_DIR="$ROOT_DIR/lib"
```

```
export RAP_BIN_DIR="$ROOT_DIR/bin"
```

一些共用的標頭檔或是函式庫會被安裝在共享資料夾(aoaws)底下：

RAP_SHARED_INC_DIR : 存放共享標頭檔的位置。

RAP_SHARED_LIB_DIR : 存放共享的編譯函式庫的位置。

RAP_SHARED_BIN_DIR : 存放共享的編譯後應用程式。

底下為一個簡單的 RAL makefile 範例：

```
include $(RAP_MAKE_INC_DIR)/rap_make_macros
```

```
TARGET_FILE = procmmap
```

```
LOC_LIBS = -ltoolsa -ldataport -lpthread
```

```
HDRS = Args.hh \
```

```
    Procmmap.hh
```

```
CPPC_SRCS = Args.cc \
```

```
    Main.cc \
```

```
    Procmmap.cc
```

```
include $(RAP_MAKE_INC_DIR)/rap_make_c++_targets
```

第一行是標示 make_macros 的位置，目標名稱是 procmmap，接著是載入函式庫與需要的原始碼(先決條件)，最後一行則是編譯 C++ 原始碼的規則。

rap_make_cf_recursive_targets 列舉了一些 make 的目標，作為 make 指令的選項：

make -：使用預設選項編譯

make debug(make -g)：除錯編譯

make opt(make -O)：最佳化編譯

make optopt(make -O2)

make static：編譯靜態連結執行檔

make clean：安裝時移除所有.o 檔

make install：安裝執行檔於 RAP_BIN_DIR，安裝函式庫於 RAP_LIB_DIR

make install_include：安裝函式庫標頭檔於 RAP_INC_DIR

AOAWS-RU 預設的 make 選項為 “-O2 -g”

底下為常用安裝指令：

Build1：編譯並安裝單一應用程式(先執行“make clean”然後執行“make install”)。

例：“./Build1 src/procmap”

BuildAll：編譯並安裝所有函式庫及應用程式及所有專案需要的檔案(先執行“make clean”然後對所有函式庫執行“make install_include” 然後對所有函式庫及應用程式執行“make install”

MakeClean：清除所有前次編譯的應用程式及函式庫。

需先使用“aoaws”專案帳號，完整“BuildAll”安裝共享資料夾，其他專案才能進行編譯。

二 網路通用資料格式(NetCDF)介紹

(一) 網路通用資料格式(NetCDF)簡介：

NetCDF 是美國大氣科學研究大學聯盟 (University Corporation for Atmospheric Research, UCAR) 底下的 Unidata 團隊負責開發維護的資料檔案格式，適用於多維陣列之科學資料，例如氣象資料或是海洋資料。有一系列的函式庫協助讀取或寫入檔案，可以透過不同程式語言(C, C++, Java, Fortran, Python...)編輯或讀取。

NetCDF 格式最主要的特色為：(1)自述性：一個 NetCDF 檔案的開頭會是該筆資料內容的相關資訊，例如包含哪些變數及資料的維度。(2)可攜性：一個 NetCDF 檔案可以被使用整數、字元、浮點數的不同電腦存取。(3)可擴展性：大型資料集下各種資料格式的子集可以很高效的透過 NetCDF 的介面訪問，甚至可以透過遠端連線。(4)可附加性：資料可以附加到結構化的 NetCDF 檔案中，不用複製資料集或是重新定義資料結構。(5)可分享性：同時可以有一個寫入者跟多個讀取者使用同一個 NetCDF 檔案。(6)檔案可相容：現在跟未來版本的軟體仍會支援早期的 NetCDF 格式檔案。

NetCDF 檔案布局包含幾個部分：(1)維度：NetCDF 檔案的形狀(每個維度的長度，整數)。(2)變數：多維度陣列，須定義在特定維度中，資料可以是浮點數、整數等不同格式。(3)變數屬性：變數的詮釋資料。(4)全域屬性：整組資料的詮釋。變數維度的排列順序是[t z y x]，分別對應時間、高度、Y 方向、X 方向，通常每個維度都有對應一個相符的座標變數，需要網格繪圖變數宣告水平的參考坐標系，除非 XY 網格本身就是經緯度座標。(如圖 2)

```
dimensions:
  y = 228;
  x = 306;
  time = 41;
variables:
  int Lambert_Conformal;
  Lambert_Conformal:grid_mapping_name = "lambert_conformal_conic";
  Lambert_Conformal:standard_parallel = 25.0;
  Lambert_Conformal:longitude_of_central_meridian = 265.0;
  Lambert_Conformal:latitude_of_projection_origin = 25.0;
  double y(y);
  y:units = "km";
  y:long_name = "y coordinate of projection";
  y:standard_name = "projection_y_coordinate";
  double x(x);
  x:units = "km";
  x:long_name = "x coordinate of projection";
  x:standard_name = "projection_x_coordinate";

double lat(y, x);
lat:units = "degrees_north";
lat:long_name = "latitude coordinate";
lat:standard_name = "latitude";
double lon(y, x);
lon:units = "degrees_east";
lon:long_name = "longitude coordinate";
lon:standard_name = "longitude";
int time(time);
time:long_name = "forecast time";
time:units = "hours since 2004-06-23T22:00:00Z";
float Temperature(time, y, x);
Temperature:units = "K";
Temperature:long_name = "Temperature @ surface";
Temperature:missing_value = 9999.0;
Temperature:coordinates = "lat lon";
Temperature:grid_mapping = "Lambert_Conformal";
```

圖 2：蘭伯特投影 NetCDF 檔案檔頭

(二) NetCDF 檔案版本：

1. NetCDF 3(CDF-1)：經典資料模式，為最原始格式，無壓縮，檔案可能很大。
2. 64-bit offset(CDF-2)：也是 NetCDF 3 格式，可以容納更多的變數與檔案大小，提供更大型的資料集使用。
3. NetCDF 4(CDF-4)：增強資料模式，使用 HDF5 資料格式，但易於使用 NetCDF API 進行讀寫。NetCDF API 會呼叫 HDF5 API。提供進步的效能與更好的壓縮率。
4. NetCDF 4 Classic：使用經典資料模式，但是效能有進步，壓縮率也有提升的 NetCDF 4 HDF5 檔案。該檔案可以還原成 NetCDF 格式供較舊的系統使用。
5. NetCDF 4 64bit data format(CDF-5)：需要 NetCDF 4 安裝於 64 位元作業系統上面。取代所有 32 位元及 64 為元整數。支援巨大的陣列(陣列元素超過 40 億)。

NetCDF 4 檔案壓縮特性：(1)資料壓縮來自 HDF5 儲存層。(2)相對 gzip 壓縮有很大的優勢。(3)只做無損壓縮。(4)區分不同區塊來允許快速讀取。(5)只壓縮不是詮釋資料的部分。(6)必須指定 1 到 9 的壓縮程度，數字越大所需時間越長但是檔案越小。(7)區塊大小對壓縮大小及讀取效能有很大影響。

(三) NetCDF API

NetCDF API 函式庫的各種變體包含：(1)NetCDF C library (netcdf-c)：須最先安裝的核心函式庫。(2)NetCDF 3 C++ library (netcdf-c++)：原始 C++ 語言 API，現已棄用。(3)NetCDF 4 C++ library (netcdf-cxx4)：新 C++ 語言 API，與前者完全不同。(4)NetCDF Fortran library (netcdf-fortran)：Fortran 語言 API。(5)NetCDF Python library (netcdf-python)：Python 語言 API。(6)NetCDF Java library：與其他 API 有很大的不同，可以打包下載單一預先編譯之 jar 檔案。

我們使用內部 C++ 函式(NCxx)庫與目前的 NetCDF 4 C 語言函式庫來取代原始版本 NetCDF3 C++ 語言 API。這麼做讓 NetCDF 4 格式誕生前的程式碼可以使用 NCxx 輕鬆修改而不用完全重寫即可適用 NetCDF 4 C++ API(netcdf-cxx4)。

NetCDF 4 檔案是我們現在唯一使用的版本，它可以向下相容 NetCDF 3 檔案，需要 HDF5 1.8X 或更新的版本。如果建構環境時不正確，沒有載入 HDF5 的函式庫，那就只會建構 NetCDF 3 函式庫進行安裝(沒壓縮)。如果正確建構環境，預設輸出會是 NetCDF 4 經典檔案格式。

正確安裝模組所需要的函式庫版本：(1)ZLib：1.2 或更新版本，提供 HDF5 格式更高的壓縮率。(2)HDF5：1.8 或更新版本。(3)NetCDF 4 (netcdf-c)：4.3 或更新版本。(4)NetCDF 4 C++ (netcdf-cxx4)：4.3 或更新版本。(5)NetCDF fortran (netcdf-fortran)：4.4 或更新版本。

(四) NetCDF 檔案讀取與處理常用指令：

1. `ncdump -h <file.nc>`

顯示 NetCDF 檔案檔頭資訊(資料維度、變數、屬性)，快速檢視檔案內容。

2. `ncdump -hs <file.nc>`
顯示 NetCDF 檔案壓縮程度
3. `ncdump -k <file.nc>`
顯示 NetCDF 檔案類型: classic (CDF-1)、64-bit offset (CDF-2)、netcdf-4 (CDF-4)、64-bit data (CDF-5)。
4. `ncdump <file.nc>`
顯示完整檔案，資料量可能很大。
5. `nccopy -d 1 <input.nc> <output.nc>`
複製輸入檔案壓縮後(壓縮程度 1)輸出。
6. `nccopy -k <kind> <input.nc> <output.nc>`
複製輸入檔案轉乘其他 netcdf 格式
kind: '1' => classic (CDF-1)
 '2' => 64-bit offset (CDF-2)
 '3' => NetCDF4
 '4' => NetCDF 4 Classic
可以將未壓縮之 NetCDF3 檔案轉成 NetCDF4 經典格式(有壓縮)，節省儲存空間。
7. `nccopy -d 1 <input.nc> <output.nc>`
複製輸入檔案，以壓縮程度 1 壓縮後輸出。常用於轉換 NetCDF 3 檔案到 NetCDF 4 檔案，透過壓縮節省大量儲存空間。
8. `nccopy -k <kind> <input.nc> <output.nc>`
複製輸入檔案，輸出成不同 netcdf 格式。
kind: '1' => classic (CDF-1)
 '2' => 64-bit offset (CDF-2)
 '3' => NetCDF4
 '4' => NetCDF 4 Classic
9. `nc-config -all`
顯示所有 NetCDF 函式庫資訊、顯示 NetCDF 版本、顯示如何編譯。(如圖 3)

nc-config example

- *nc-config -all*
 - Print all information about the netcdf library
 - What version it is
 - What it was compiled with
 - How to compile programs against it

```

This netCDF 4.7.0 has been built with the following features:
--cc          -> gcc
--cflags      -> -I/usr/include -I/usr/include/hdf
--libs        -> -L/usr/lib64 -lnetcdf
--static      -> -ljpeg -lmf hdf -ldf -ljpeg -lsz -lhdf5_hl -lhdf5 -lm -ldl -lz -lcurl -ltirpc
--has-cxx     -> no
--cxx         ->
--has-cxx4    -> no
--cxx4        ->
--has-fortran -> yes
--fc          -> gfortran
--fflags      -> -I/usr/lib64/gfortran/modules
--flibs       -> -lnetcdff
--has-f90     ->
--has-f03     -> yes
--has-dap     -> yes
--has-dap2    -> yes
--has-dap4    -> yes
--has-nc2     -> yes
--has-nc4     -> yes
--has-hdf5    -> yes
--has-hdf4    -> yes
--has-logging -> no
--has-pnetcdf -> no
--has-szlib   -> yes
--has-cdf5    -> yes
--has-parallel4 -> no
--has-parallel -> no
--prefix      -> /usr
--includedir  -> /usr/include
--libdir      -> /usr/lib64
--version     -> netCDF 4.7.0
    
```

圖 3：nc-config 輸出範例

以下三則為 NetCDF 操作者(NetCDF Operators, NCO)的使用範例：

10. *ncks -A file-1.nc file-2.nc*

將 file-1.nc 的內容添加至 file-2.nc

11. *ncks -h -O -6 input_file.nc output_file.nc*

將檔案轉為 NetCDF3 64bit (CDF2)格式。

12. *ncks -h -O -7 input_file.nc output_file.nc*

將檔案轉換為 NetCDF4 classic 格式(HDF5)。

13. *ncview file.nc*

透過圖像檢視 NetCDF 檔案資料內容，包含 mdv_nc 檔案格式。

三 氣象資料輸入與共享系統(Input/Shared System)

(一)AOAWS-RU 整體系統設計：

AOAWS-RU 使用多個不同帳號，將不同演算法系統分開：包含積冰預報(ifi)、亂流預報(gtg)、亂流即時預報(gtgnow)、基於雷達回波之亂流偵測(ntda)、雲頂高(cth)、雲霧及能見度預報(cv)、劇烈天氣預報(aspire)等子系統(括號內為所使用之帳號)。每個子系統相互獨立，可以安裝在不同的伺服器上。另有氣象資料輸入與共享系統(Input/Shared System，使用“aoaws”帳號)，該系統的主要目的，在整合傳輸來的氣象資料，經過處理，提供下游各演算法使用，節省硬碟空間與計算資源。所以在安裝 AOAWS-RU 各 NCAR 演算法時，需先安裝 Input/Shared System。Input/Shared system 需安裝在 RedHat8.4 作業系統上，搭配 GNU 編譯器執行。“aoaws”帳號需要設定 Bash Shell，而所有演算法帳戶均有讀取共享資料夾的權限。所需要的第三方函式庫均有列在 ICD 文件上，大部分在 RedHat8.4 的標準安裝即有包含。

根目錄\$ROOTDIR 下會有五個資料夾：\$ROOTDIR/input 資料夾為系統所需輸入檔案的位置；\$ROOTDIR/apps 下為各系統之應用程序、控制參數檔、原始碼等資料；\$ROOTDIR/work 下為演算法執行過程中暫時性的檔案存放的位置；\$ROOTDIR/output 下則是各演算法最終輸出之 NetCDF-OGC 格式檔案；\$ROOTDIR/logs 下則是各程序執行時的紀錄檔。如圖 4，不同演算法系統具有相同的目錄結構，會在安裝時由系統自動建立。

NCAR

AOAWS-RU Overall System Design

Within each of the apps, work and logs directories there shall be one directory for each of the project service accounts:
(These directories are created by the system)

```
apps/apsire|cth|cv|gtg|gtgn|ifi|ntda|shared/  
work/apsire|cth|cv|gtg|gtgn|ifi|ntda|shared/  
logs/apsire|cth|cv|gtg|gtgn|ifi|ntda|shared/
```

Note the "aoaws" service account's directories are named "shared"

圖 4：各演算法系統基本資料夾結構

(二)輸入/輸出資料：

氣象資料輸入與共享系統所輸入的資料有以下幾種：WRFD 模式資料

(15KM/3KM)、RWRf 模式資料(2KM)、GTS 報文資料、AMHS 報文資料、向日葵衛星資料(B03/B05/B07/B08/B13/B14/B15)、雷達整合回波資料、雷達資料(RCWF/RCHL/RCCG/RCKT/RCLY/RCNT/RCSL/RCCK/RCMK/RCGR)、雷達即時降雨率資料、閃電資料、IWXXM 報文資料、AMHS 報文資料、EDR 亂流資料等。

氣象資料輸入與共享系統所輸出的資料，依不同網格範圍(D1/D2/FIR/RWRf)及不同演算法(cip/fip/gtg/gtgn/ntda/cth/cv/aspire)分開存放，如圖 5。

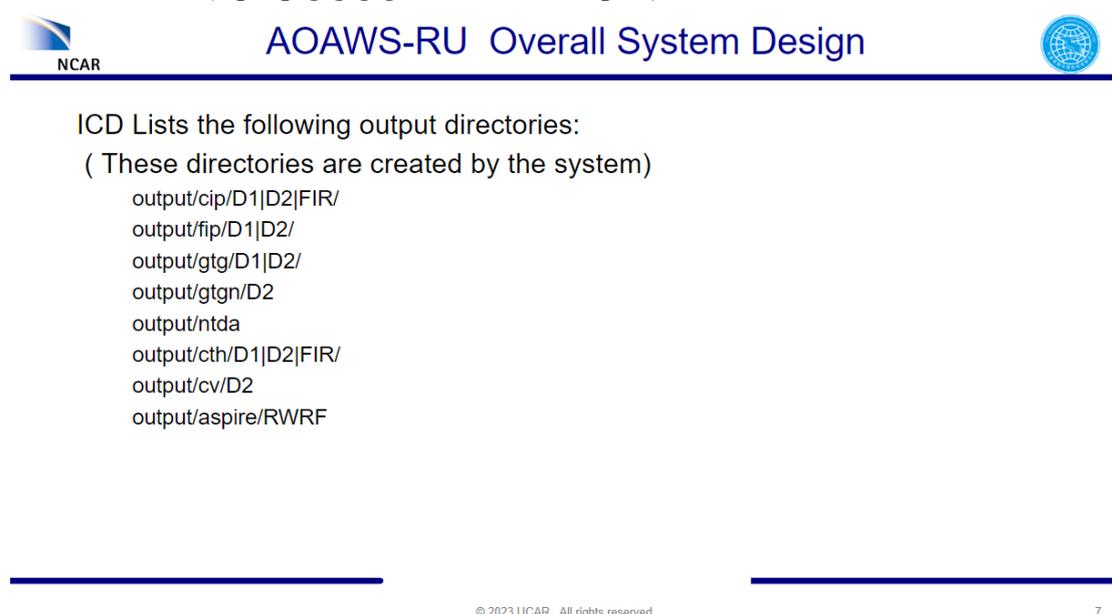


圖 5：氣象資料輸出到各演算法資料夾

(三)各演算法系統安裝流程：

所有子系統會分別被壓縮成一個.tar 壓縮檔，使用 `proj_install XXX.tar` 即可開始安裝子系統。`proj_install` 這支 script 會進行下列事項：建立頂層目錄、清除該系統原本已存在的資料夾、解壓縮.tar 檔到各子目錄、準備帳號環境、建立其他需要的目錄、安裝需要的 Ds 檔案、呼叫 BuildAll 編譯程式碼、確認所有應用程序編譯完成。

範例：`proj_install apps_shared_20230912.tar /dl/training`

control 資料夾下包含許多執行演算法所需要的檔案：(1)**bashrc**：安裝為該演算法帳號之.bashrc 檔，包含所需的環境定義，並載入共用之環境變數。(2)**crontab**：安裝為該帳號之 crontab，讓必要之程序持續運行。(3)**applist**：列舉系統必須編譯之應用程式。(4)**proc_list**：列舉系統要執行的程序。(5)**shares_env**：設定所有的系統環境變數(只在 shared 系統)。

config 資料夾下包含每個程序所對應的參數設定檔，例如輸入/輸出的資料夾的位置，或是演算法的控制參數。`_Janitor` 檔案控制檔案保留在系統不被刪除的時間。當然每個系統都有各自的參數設定檔。

script 資料夾下包含各種系統對內對外可被執行的腳本檔(scripts)，舉例如下：

proj_install：從壓縮檔安裝演算法。

proj_start：開啟/重啟演算法。

proj_stop：停止執行演算法及其所有程序。

setupRapDataDirs.py：創造需要的檔案資料夾，被 proj_install 所呼叫。

start scripts：許多程序有單獨啟動的腳本檔。

src 資料夾下包含各演算法系統的原始碼：(1) Build1：用於編譯單一應用程式。(2)BuildAll：用於編譯特定演算法系統所有程式。(3)Make Clean：編譯後清除所有腳本檔。(4)apps：包含各應用程式的原始碼。(5)libs：包含必須之函式庫。(選用)

(四)系統共用程序簡介(部分)：

1. procmamp：監控主機上各程序運行狀態。
2. DataMapper：監控主機上各資料更新狀態。
3. auto_restarter：自動重啟中止的程序。
4. DsMdvServer：將 MDV 檔案傳到其他伺服器。
5. DsSpdbServer：將 SPDB 檔案傳到其他伺服器。
6. Janitor：監控資料時間是否過舊。
7. InputWatcher：監控輸入檔案時間。
8. snuff：中止特定程序(= kill job)。
9. snuff_inst：中止程序。
10. printMdv：用於顯示 MDV 檔案屬性，類似 NetCDF 檔案之 ncdump -h 指令。
11. procmamp_auto_restart：自動重啟 procmamp。
12. PrintDataMap：顯示資料更新時間列表。
13. print_procmamp：顯示程序運行狀態列表。
14. start_inst：用特定的參數檔重啟程序。
15. runJazz：執行 JAZZ 氣象產品顯示系統(詳情後述)。
16. mdv_nc2ogc：將 mdv_nc 檔案轉換為標準 NetCDF 檔案格式。
17. NetCDF2Mdv：將 NetCDF 檔案轉為 MDV 格式供演算法使用，MDV 格式主要特點是可以給不同主機使用，同時記憶體運用的效能較佳。
18. LdataWatcher：監控資料是否到位。

(五) 氣象資料輸入與共享系統程序簡介(部分)：

1. CwbRadar2Mdv：將氣象署雷達整合回波資料及 QPESUMS 降雨率資料轉為 mdv_nc 檔。
2. Grib2toMdv：將 UPP 後處理過之模式資料從 GRIB2 檔轉為 mdv_nc 檔。
3. JmaHimawari8toMdv：將日本向日葵衛星原始資料轉為 mdv_nc 檔。
4. Ltg2Spdb：將氣象署閃電資料轉為 SPDB 格式。
5. LtgSpdb2Mdv：將閃電 SPDB 格式資料轉為 mdv_nc 格式。

6. Metar2Spdb:將透過 AMHS 或 GTS 系統收到之 METAR 報文資料轉為 SPDB 格式。
7. MetarIwxm2Spdb:將透過 IWXXM 收到之 METAR 報文資料轉為 SPDB 格式。
8. run_UPP & UPP:執行 unipost.exe,將 WRF 模式原始資料進行後處理。
9. unipost.exe:WRF 模式後處理程序,產生原始模式不輸出之變數。
10. Iata2Spdb:將 IATA EDR 資料轉為 SPDB 格式。

(六)上機實作:

1. 檢視 ICD 文件及計算環境文件。
2. 在測試主機透過.tar 檔案安裝 Input/Shared System。
3. 啟動 Input/Shared System,透過“procmapper”確認程序是否有正常運行。
4. 透過“datamapper”確認資料傳輸情形。
5. 檢視 apps/shared、logs/shared、work/shared 資料夾及各資料輸入資料夾。
6. 檢視 apps/shared/config 資料夾下之參數設定檔。
7. 透過 Sysview 網頁(詳情後述)檢視氣象資料輸入與共享系統資料流。如圖 6。



圖 6：Input/Shared System 資料流程圖

四 更新飛行中積冰診斷及預報產品

(一) 積冰演算法描述：

臺灣即時積冰潛勢(TCIP2)係以衛星、雷達、機場天氣報告(METAR)、閃電及中央氣象署(CWA)天氣研究和預報模式(WRF)資料，判斷是否多雲、雲層數量及地面降水型態，藉由決策樹演算法確定各種情況相對應模糊邏輯函數，產製積冰嚴重程度產品。臺灣積冰預報潛勢(TFIP2)則以 NWP 資料，判斷是否多雲、雲層數量及地面降水型態，藉由決策樹演算法確定各種情況相對應模糊邏輯函數，產製積冰嚴重程度產品。

CWA WRF 模式 D1 (空間解析度為 15 公里)、D2 (空間解析度為 3 公里)及臺北飛航情報區(FIR)範圍如圖 7，TCIP2 及 TFIP2 所需資料種類如圖 8。在 CWA WRF D1 及 D2 區域使用衛星、METAR 及 WRF 等資料產製 TCIP2，在 FIR 區域則另外新增雷達及閃電資料以產製即時 TCIP2，TCIP2 更新頻率為 10 分鐘。

在 D1 及 D2 區域分別以 WRF D1 及 D2 資料產製 TFIP2，TFIP2 更新頻率為 6 小時，TFIP2 在 D1 區域空間解析度為 15 公里，預報時間長度為 48 小時，間隔為 3 小時；TFIP2 在 D2 區域空間解析度為 3 公里，預報時間長度為 48 小時，間隔為 1 小時。TCIP2 及 TFIP2 輸出垂直高度為 1000 呎至 45000 呎，間隔為 1000 呎，另外加上 2500 及 4800 呎。輸出變數為積冰機率、過冷大水滴(SLD)潛勢及積冰嚴重程度。

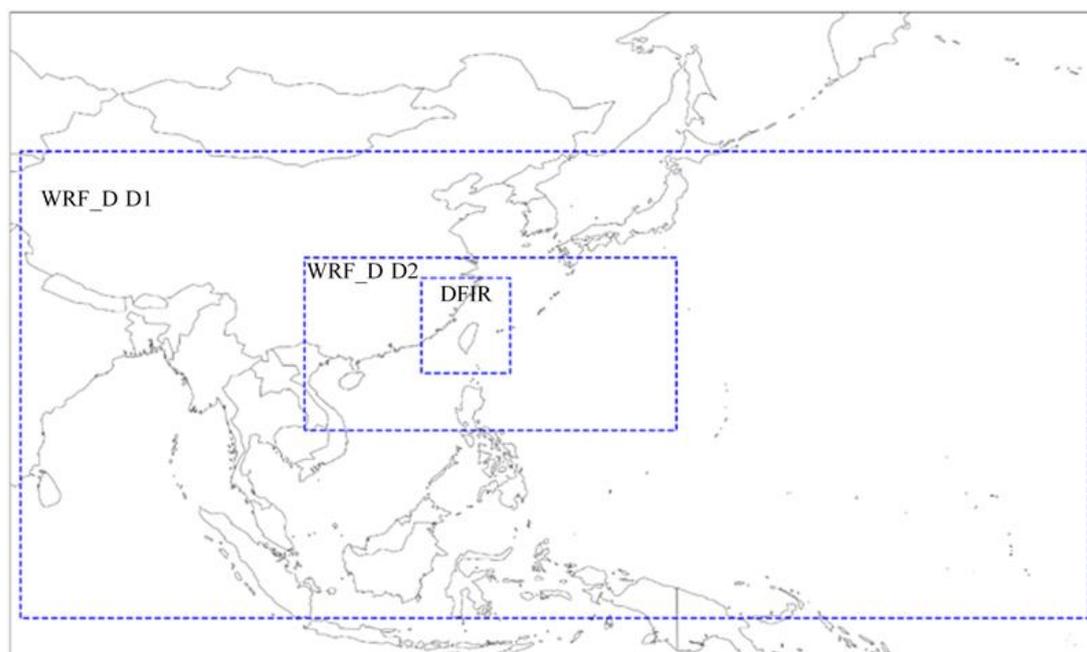


圖 7：TCIP2/TFIP2 產品在 WRF 模式 D1、D2 及 FIR 區域範圍。

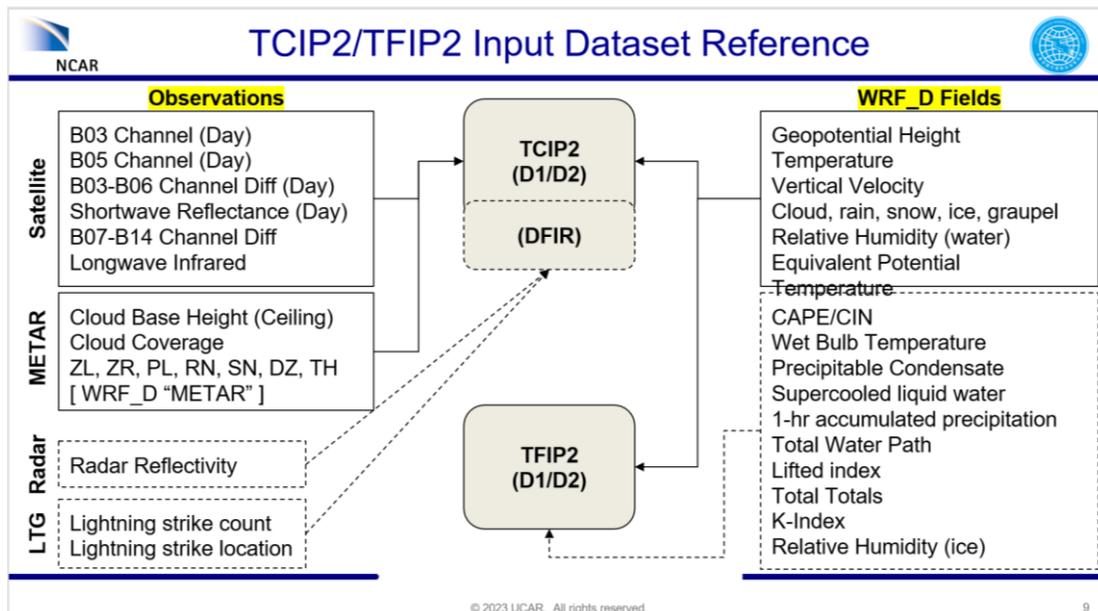
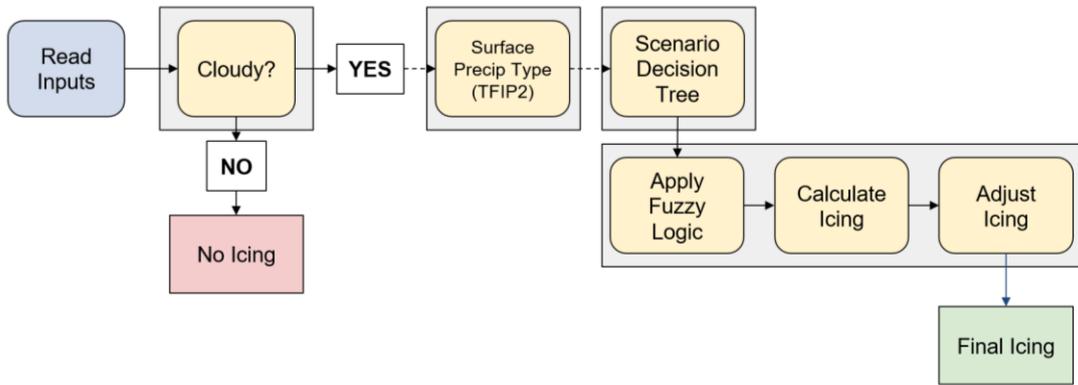


圖 8：TCIP2 及 TFIP2 輸入資料種類。

TCIP2 及 TFIP2 演算法核心流程主要為 4 步驟如圖 9，第 1 步為判斷是否為多雲情況及雲層數量，第 2 步為判斷地面降水種類，第 3 步為決策樹演算法，第 4 步為利用相對應模糊邏輯函數產製積冰潛勢機率、SLD 潛勢及積冰嚴重程度等 3 項產品，並透過衛星、雷達及 WRF 資料調整最終積冰嚴重程度。第 1 步判斷流程如圖 10，TCIP2 以衛星及 METAR 判斷是否多雲，以衛星、METAR 及雷達計算雲頂高度、雲底高度及雲層厚度，TFIP2 則以 WRF 模式資料判斷是否有雲並計算雲頂高度、雲底高度及雲層厚度，另外 TCIP2/TFIP2 透過 WRF 判斷雲頂至雲底間乾空氣層作為判斷後續降水種類。第 2 步為判斷地面降水區域及種類，地面降水種類判斷有順序，TCIP2 及 TFIP2 判斷順序如圖 11 及圖 12 所示，給定降水種類後即決定各種參數權重及模糊邏輯函數。第 3 步為以前述給定參數權重及相對應模糊邏輯函數產製積冰潛勢機率、過冷大水滴潛勢及積冰嚴重程度等 3 項產品，最後 3 項產品會進行最終調整，積冰潛勢機率白天以衛星資料晚上則以經驗公式調整數值，過冷大水滴潛勢有考慮不同降水種類進行調整，積冰嚴重程度以衛星、雷達、WRF 資料及經驗公式調整。



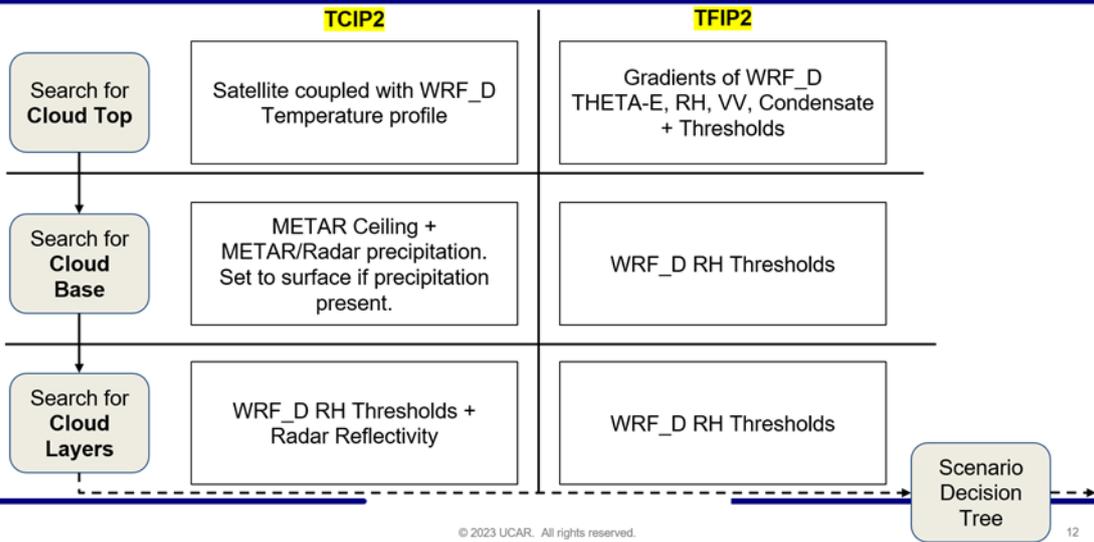
© 2023 UCAR. All rights reserved.

11

圖 9：TCIP2 及 TFIP2 演算法流程示意圖。



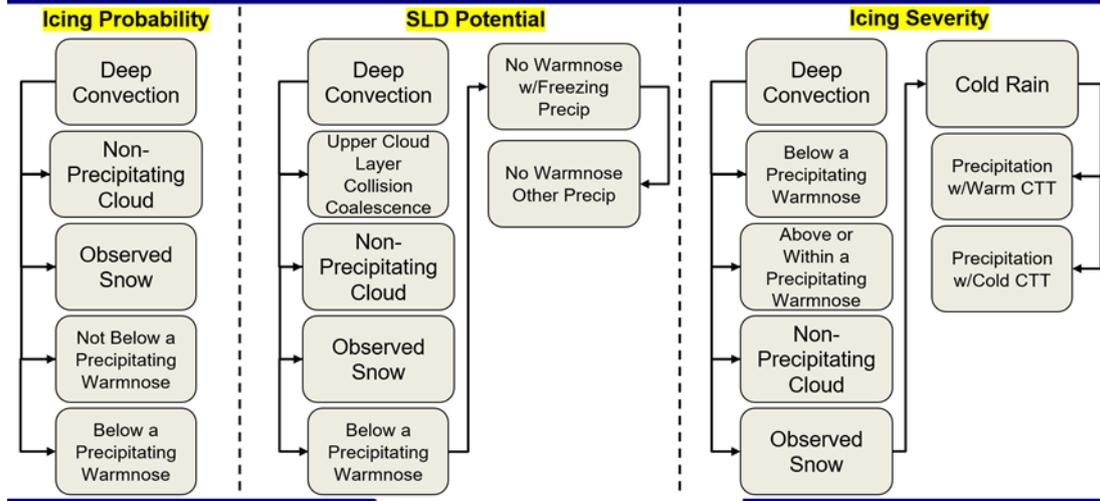
Identifying Clouds in TCIP2/TFIP2



© 2023 UCAR. All rights reserved.

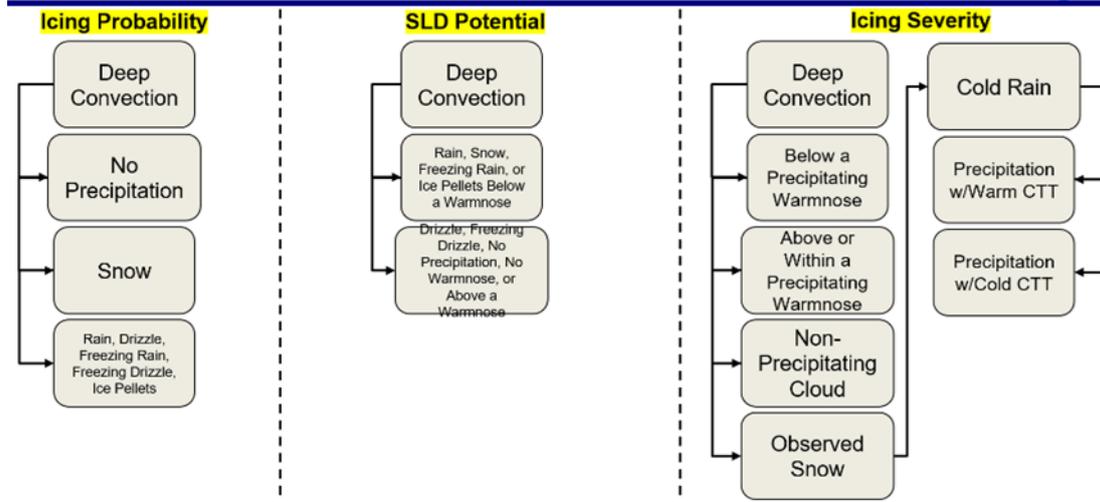
12

圖 10：TCIP2 及 TFIP2 辨識雲層流程示意圖。



© 2023 UCAR. All rights reserved.

圖 11：TCIP2 地面降水情境順序流程示意圖。



© 2023 UCAR. All rights reserved.

15

圖 12：TFIP2 地面降水情境順序流程示意圖。

不同地面降水種類，TCIP2 積冰嚴重程度各以不同變數進行計算。在深對流情況下，積冰嚴重程度為閃電、衛星及積冰機率函數。在降雨暖鼻下方情況下，積冰嚴重程度為衛星、雷達、雲層厚度、雲頂溫度、濕度、垂直速度及積冰機率函數。在降雨暖鼻上方情況下，積冰嚴重程度為衛星、總含水量、濕度、垂直速度及積冰機率函數。沒降雨雲情況下，積冰嚴重程度為衛星、總含水量、雲層厚度、濕度、垂直速度及積冰機率函數。在降雪情況下，積冰嚴重程度為衛星、總含水量、雲層厚度、濕度、垂直速度及積冰機率函數。在冷雨情況下，積冰嚴重程度為衛星、總含水量、雲層厚度、濕度、垂直速度及積冰機率函數。在具有溫

暖雲頂溫度的降水情況下，積冰嚴重程度為衛星、總含水量、雲層厚度、混合比、濕度、垂直速度、SLD 及雷達函數。在具有冷雲頂溫度的降水情況下，積冰嚴重程度為衛星、總含水量、雲層厚度、濕度、垂直速度及積冰機率函數。不同地面降水種類，TFIP2 積冰嚴重程度計算方式與 TCIP2 不同。

在非降水雲情況，TCIP2 計算積冰嚴重程度流程如圖 13，程式判斷雷達及 METAR 資料是否符合地表無降水或目前網格不在最低雲層中條件，然後即確定積冰機率計算所需參數為雲頂溫度、相對濕度、衛星 B05 及太陽高度角等變數及相對應模糊邏輯函數。

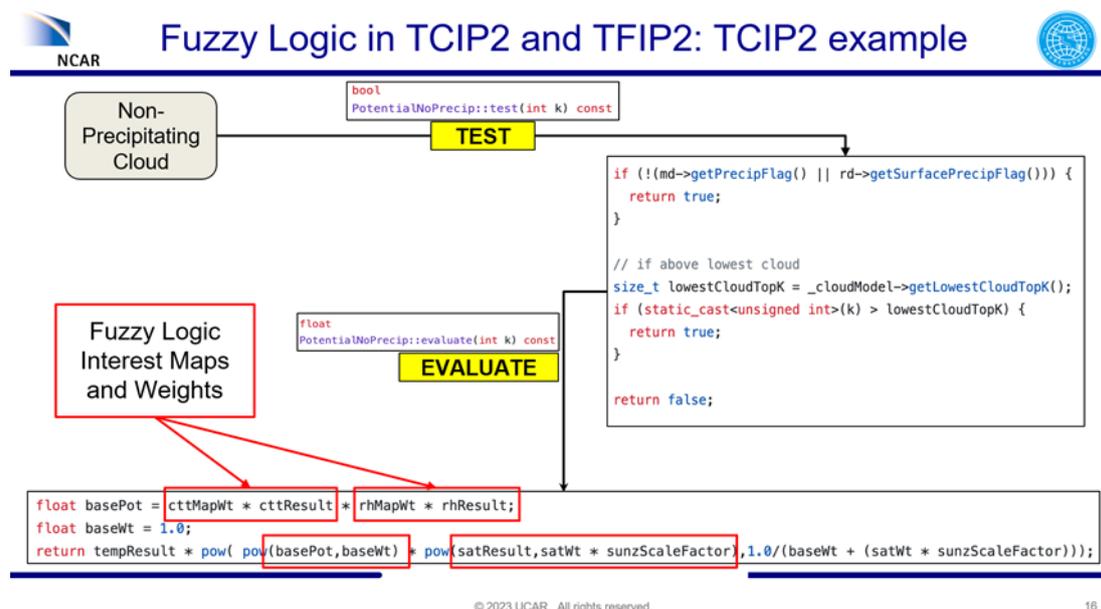


圖 13：在非降水雲情況，TCIP2 計算積冰嚴重程度程式。

(二) 積冰演算法系統描述：

TCIP2/TFIP2 在 D1 區域 WRF 模式資料及程序處理流程如圖 14，在 D2 區域 WRF 模式資料及程序處理流程與 D1 區域一致。WRF 資料由共享 (Shared) 系統處理，以統一後處理程序 (UPP) 及 Grib2toMdv 程序產製所需變數及格式。LdataWatcher 程序為監控資料是否到位，一旦監控到有資料立刻啟動 compute_1hr_precip.py 程序，計算 1 小時降雨量。接著以 Hybrid2Pressure 程序將 WRF 模式資料垂直座標 (TFIP2 所需) 轉換為壓力座標，並將資料格式轉換為 MDV-NetCDF 格式。轉換方式為雙線性內插法。所需垂直座標值的定義在參數檔案中。MdvDeriveModel 程序用來計算 TCIP2 和 TFIP2 產品所需氣象參數，並自動進行單位轉換。

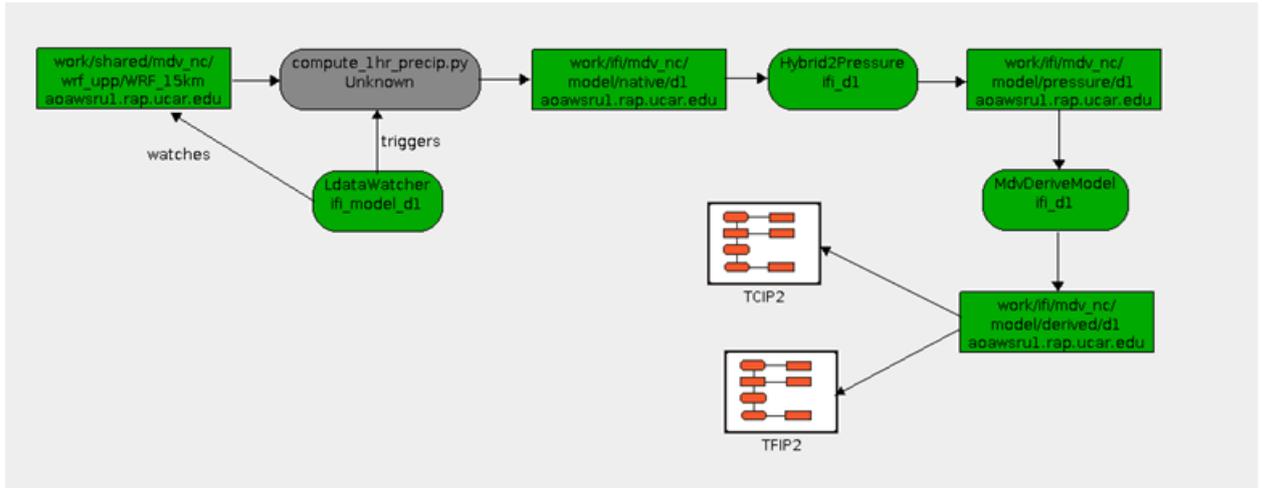


圖 14：在 D1 區域 WRF 模式資料及程序處理流程圖。

TCIP2/TFIP2 在 D1 區域 METAR 資料及程序處理流程如圖 15，在 D2 區域 METAR 資料及程序處理流程與 D1 區域一致。Metar 資料由共享 (Shared) 系統處理及儲存。MetarMapper 程序目的為將機場點 METAR 資訊映射至二維笛卡爾坐標網格。本程序從 SPDB 資料庫讀取 METAR，並將 METAR 資訊存成 MDV-NetCDF 格式檔案。CreateModelMetars 程序目的是分析 WRF 模式變數，以在 WRF 網格點上建置虛擬 METAR。MdvBlender 程序目的是使用參數檔案中使用者指定技術將 2 個變數合併成 1 個變數。機場 METAR 資訊密度及間隔使 MetarMapper 輸出結果有很多區域無 METAR 資料。以 CreateModelMetars 和 MdvBlender 填補無 METAR 資料區域，產製最終 D1 區域 METAR 資料。

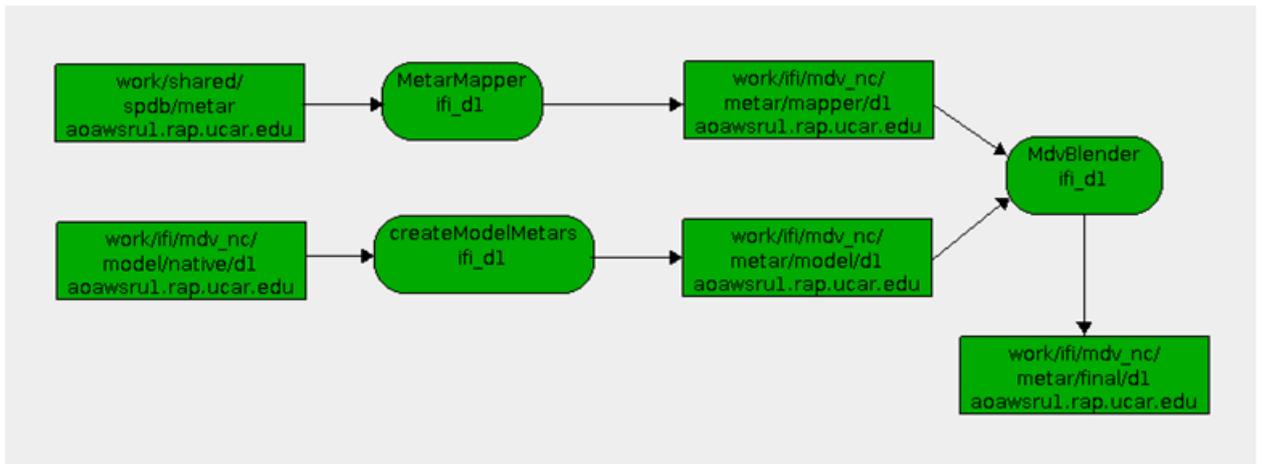


圖 15：在 D1 區域 METAR 資料及程序處理流程圖。

TCIP2/TFIP2 在 D1 區域衛星資料及程序處理流程如圖 16，在 D2 區域衛星資料及程序處理流程與 D1 區域一致。SatDerive 程序目的係處理衛星資料。SatDerive 能接收不同來源的衛星資料並將其合併為 1 個檔案，該程序執行以下動作：計算差異；計算標準差；標準化反照率；依據太陽天頂角計算雲遮；計算短波反射率；計算僅使用衛星資料的冰指數；計算太陽和衛星角度。

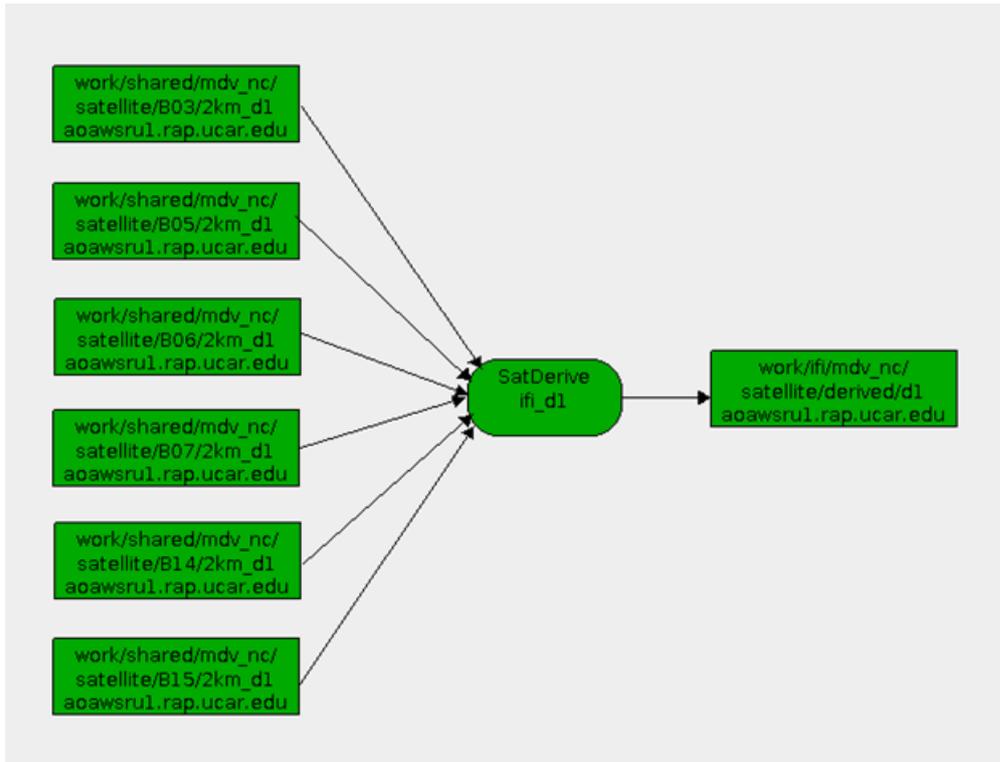


圖 16：在 D1 區域向日葵衛星 9 號資料及程序處理流程示意圖。

在 FIR 區域雷達資料及程序處理流程如圖 17，雷達處理程序包括將垂直坐標從固定高度重新映射為壓力。MrmsRegrid 是 1 個處理 3 維垂直座標網格雷達資料的程序，其讀取雷達資料並寫入 MDV-NetCDF 格式檔案。MrmsRegrid 程序有兩個目的，首先，它將輸入的雷達資料轉換成網格點資料，以垂直坐標系統從固定高度轉換為壓力座標。另一個目的是計算只有雷達的模糊邏輯場，表示超冷液態水的可能性。這些模糊邏輯場被 CipAlgo 中的演算法使用，CipAlgo 是 TCIP2 中的核心程序。

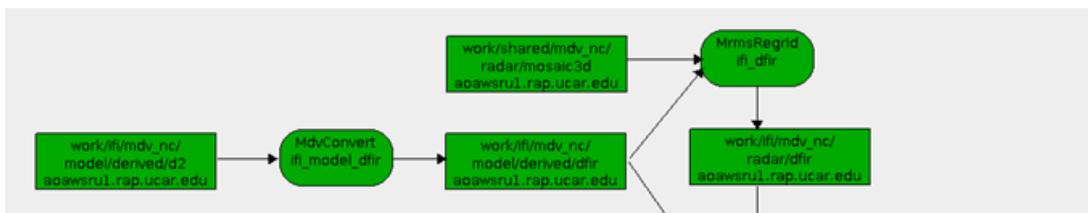


圖 17：在 FIR 區域雷達資料及程序處理流程示意圖。

在 FIR 區域閃電資料及程序處理流程如圖 18，LtgSpdb2Mdv 程序目的是將閃電打擊資訊從 SPDB 資料庫映射到規則間隔的模式網格上，並輸出成 MDV-NetCDF 格式檔案。輸入資料包括 SPDB 資料庫中的閃電打擊資訊（包含位置和打擊次數）。

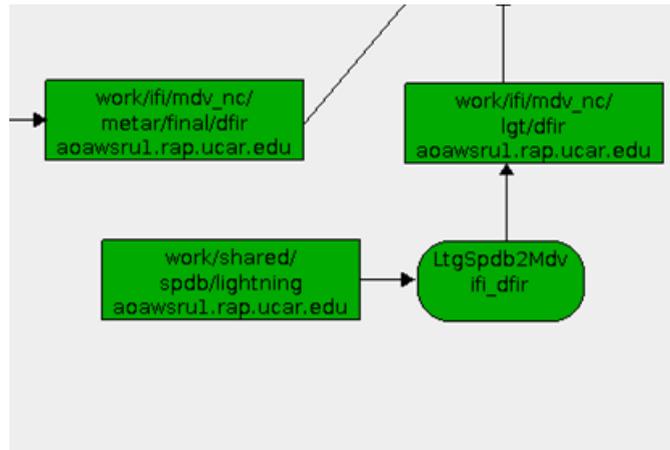


圖 18：在 FIR 區域閃電資料及程序處理流程示意圖。

TCIP2 資料及程序處理流程在 D1、D2、FIR 區域如圖 19 至圖 21。在 D1 及 D2 區域 CipAlgo 資料處理流程包含 WRF 模式、METAR 及衛星資料，而在 FIR 區域 CipAlgo 資料處理流程額外增加雷達和閃電資料。

MdvConvert 程序目的是產製 Mdv-NetCDF 格式檔案。對於 TCIP2，它用於切割輸入資料（如衛星、模式及 METAR）檔案。使用 MdvConvert 的 3 個情況為：

- 1.SatDerive 在 D2 和 DFIR 區域的輸出檔案。
- 2.FIR 區域的 MdvDeriveModel 輸出檔案。
- 3.FIR 區域的 MdvBlender 的結合 METAR 輸出檔案。

CipAlgo 是 TCIP2 中的核心程序。它使用處理過的模式和觀測資料計算積冰機率、SLD 潛勢和積冰嚴重程度。這些二維或三維輸入資料和三維輸出資料存儲為 MDV-NetCDF 格式檔案。此程序首先建置各種降水類型及不同層數雲層等情境，當判斷出模式網格為那一種情境後，即以觀測及模式資料搭配模糊邏輯函數計算積冰機率、SLD 潛勢及積冰嚴重程度等產品。

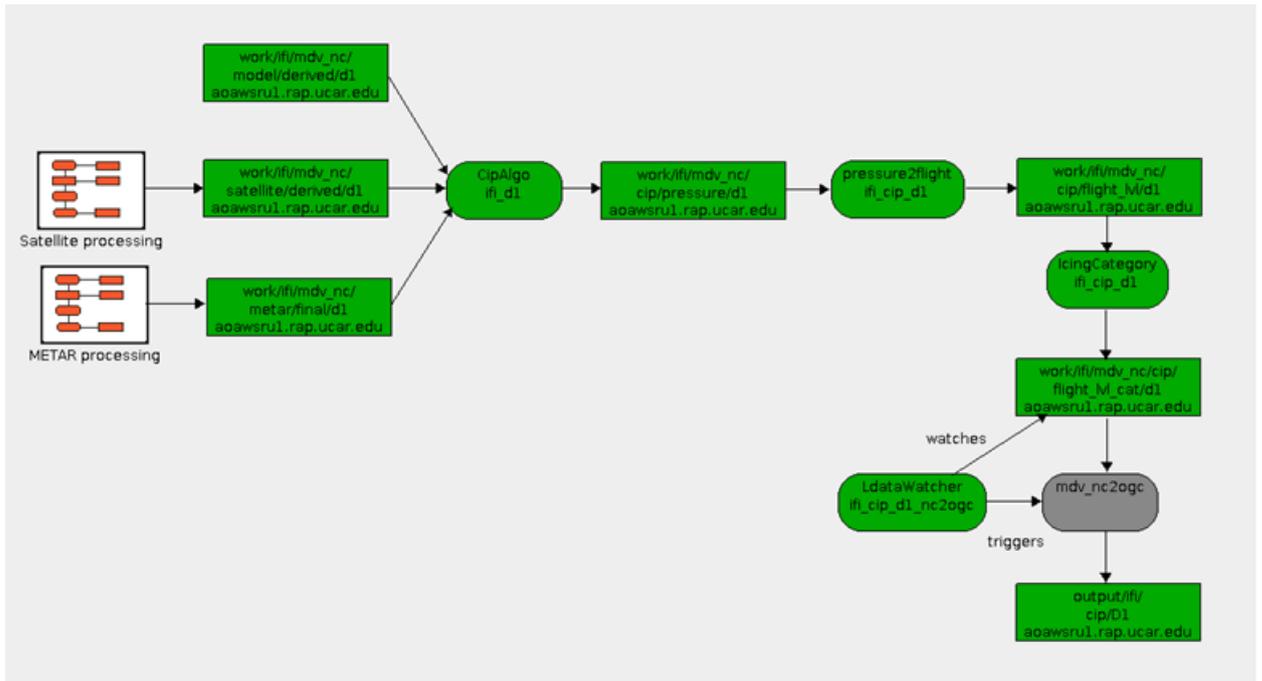


圖 19：在 D1 區域 TCIP2 資料及程序處理流程示意圖。

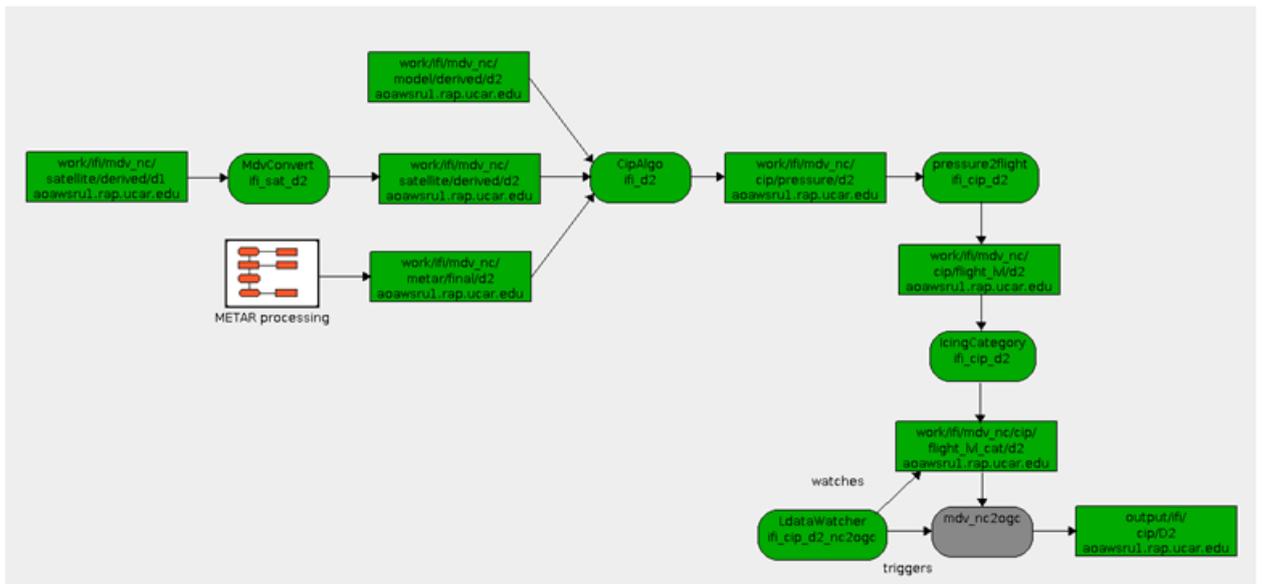


圖 20：在 D2 區域 TCIP2 資料及程序處理流程示意圖。

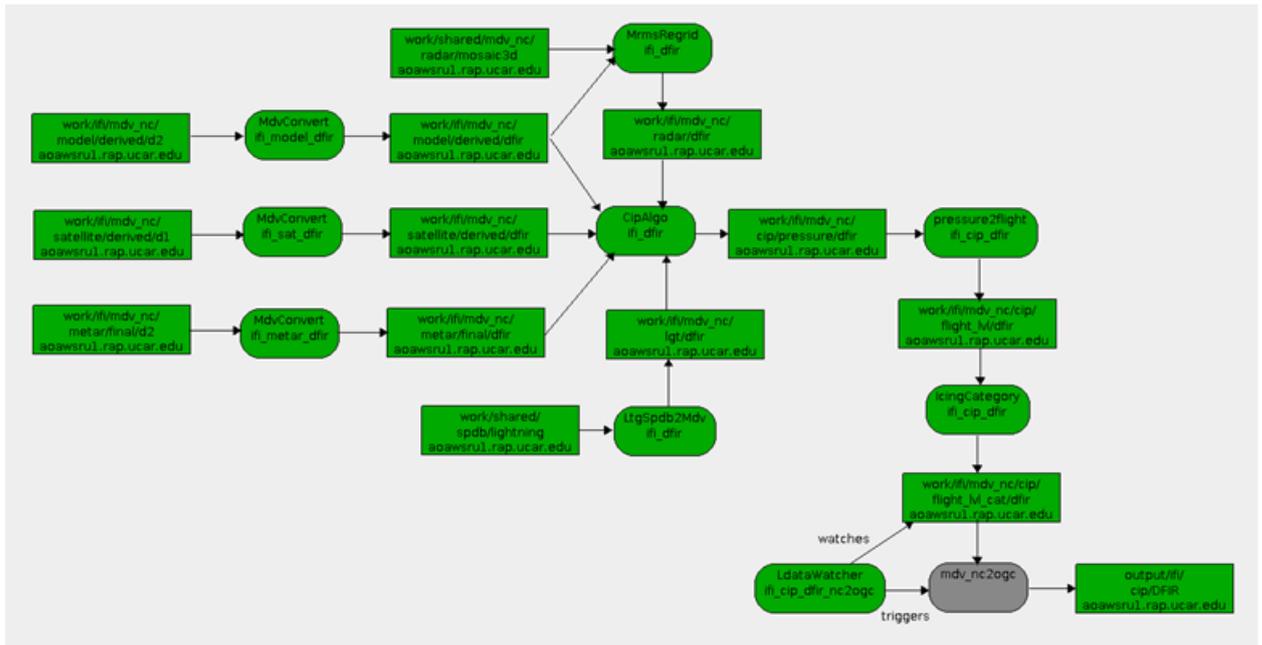


圖 21：在 FIR 區域 TCIP2 資料及程序處理流程示意圖。

TFIP2 在 D1 區域 `fi_algo` 資料及程序處理流程如圖 22，`fi_algo` 程序係 TFIP2 核心，此程序首先建置各種降水類型及不同層數雲層等情境，當判斷出模式網格為那一種情境後，即以模式資料搭配模糊邏輯函數計算積冰機率、SLD 潛勢及積冰嚴重程度等產品。因為上述功能包含很多情境及相對應模糊邏輯函數導致此程序參數檔案非常大且複雜。`pressure2flight` 程序目的是將 `fi_algo` 輸出的垂直坐標系統從壓力轉換為固定高度，使用雙線性內插技術。通過參數檔案，可以選擇定義垂直高度。還存在額外的參數，用於指定兩種座標系統定義。`IcingCategory` 程序功能相對簡單，它將連續值的積冰嚴重程度轉換為積冰嚴重程度分類。在輸出資料中使用數值來表示積冰嚴重程度類別。

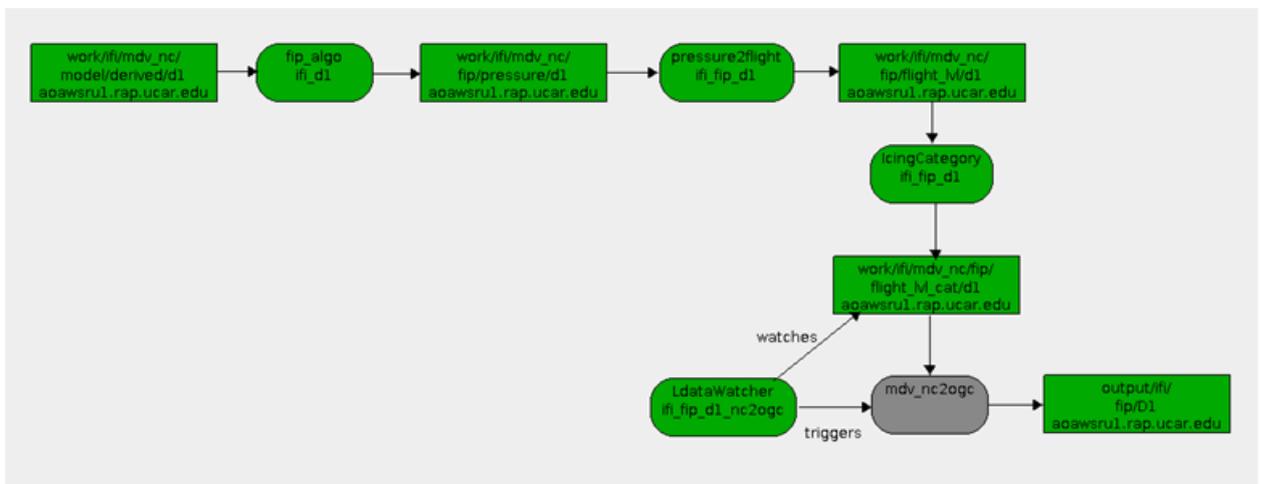


圖 22：在 D1 區域 FIP 演算法資料及程序處理流程示意圖。

TCIP2 雲模式參數（包含衛星等資料所需參數）無法直接從 TCIP2 參數檔案

取得，如需要進行雲模式參數修改，則需要重新編譯 TCIP2 程式。積冰潛勢及積冰嚴重程度所需參數定義在 TCIP2 的 Scenarios.cc 程式碼。TCIP2 的 CipAlgo 參數檔案包含一個權重地圖列表。列表中的每個數字包含權重地圖代碼 (ID)、維度，以及 (x, y) 交叉點，其中 x 是變數值，y 是在模糊邏輯中使用的權重值。許多權重地圖被多個程式碼使用。在修改權重地圖之前，必須先確定每個使用程式。

TFIP2 的各種參數和模糊邏輯權重地圖可透過 TFIP2 參數檔案進行設定。這些參數用於 TFIP2 的 CloudLayersCalculator.cc 程式碼。在 TFIP2 之前，地表降水類型是從 WRF_D 模式產製，透過 MdvDeriveModel 程序完成。這個地表降水類型為 TFIP2 積冰機率和 SLD 潛勢提供情境決策樹架構，同時也在積冰嚴重程度情境決策樹中使用。在 TFIP2 中，積冰機率和 SLD 潛勢參數被定義在 TFIP2 參數檔案中，稱為 icing_algo。這些參數設定選項包括基於地表降水類型的不同情境所使用的模糊邏輯權重地圖，及用於計算積冰機率和 SLD 潛勢的各種常數和閾值。TFIP2 積冰嚴重程度之模糊邏輯權重地圖、權重以及各種常數和閾值都定義在 severity_algo 中。請注意，每個情境均列出其所需權重值，但在參數檔案中並不知道它們應用於哪個權重地圖。需要檢查 TFIP2 程式碼以追蹤了解權重應用於哪些權重地圖及順序。

(三) TCIP2/TFIP2 演算法參數調整練習：

這個練習將引導學員調整 TFIP2 參數檔中的模糊邏輯函數。這個練習將為學員建立下列能力：

1. 找到、打開並調整 TFIP2 參數檔案。
2. 使用調整後的參數檔案執行 TFIP2。
3. 檢視輸出結果並與使用先前版本的參數檔案進行比較。

所需步驟如下：

1. 建置測試所需資料夾及檔案：
 - (1). 建立資料夾。
 - (2). 複製並重新命名參數檔案，並將參數檔案位置存在環境變數中。
2. 修改 TFIP2 參數檔案：
 - (1). 打開參數檔案。
 - (2). 更改模糊邏輯函數。
 - (3). 開啟 TFIP2 的診斷輸出檔案。
 - (4). 儲存參數檔案。
3. 使用新參數檔案執行 TFIP2：
 - (1). 為 TFIP2 輸出檔案設定所需環境變數。
 - (2). 以新參數檔案執行 TFIP2。
 - (3). 確認成功產製輸出檔案。
4. 比較您的 TFIP2 測試檔案與標準 TFIP2 輸出檔案：

- (1).設置所需環境變數。
- (2).使用 `ncdiff` 程序建置資料差異檔案。
- (3).使用 `ncview` 檢視檔案差異。
- (4).使用 Python 檢視檔案版本及資料差異。
5. 設計您自己的測試。

底下為程式碼及說明：

1. 登入 `aoaws9.rap.ucar.edu`
2. 建置輸出資料夾：


```
mkdir -p /d1/${USER}/mdv_nc/fip/pressure/d2
mkdir -p /d1/${USER}/mdv_nc/fip/diagnostic/d2
mkdir -p /d1/${USER}/files/config
```
3. 複製 WRF D2 的 TFIP2 參數檔案到您的測試資料夾，並重新命名該檔案。
同時將參數檔的位置存儲在環境變數中。
4. 複製和重新命名 TFIP2 參數檔案：


```
cp -r /home/${USER}/config/fip_algo.ifi_d2
/d1/${USER}/files/config/fip_algo.ifi_d2.demo
```
5. 將您的測試參數檔案存儲在環境變數中：


```
export MY_TFIP2_PARAM=/d1/${USER}/files/config/fip_algo.ifi_d2.demo
```
6. 打開您的參數檔案：


```
vim ${MY_TFIP2_PARAM}
```
7. 更改模糊邏輯函數：刪除第 508 行並調整為下列內容，


```
relative_humidity_interest_map = "relative_humidity_map, 2, {{10.0, 0.0}, {30.0,
0.0983}, {33.0, 0.1309}, {35.0, 0.24051}, {40.0, 0.4110}, {45.0, 0.4552}, {58.0,
0.4943}, {62.0, 0.6532}, {70.0, 0.68442}, {76.0, 0.7653}, {81.0, 0.7994}, {83.0,
0.8894}, {85.0, 0.9105}, {89.0, 1.0}}"
```
8. 開啟 TFIP2 的診斷輸出：在第 295 行，將「FALSE」更改為「TRUE」，針對「`diagnostic_mode`」設定。儲存檔案並離開。
9. 為 TFIP2 輸出設定所需環境變數：


```
export TFIP2_OUTPUT=/d1/${USER}/mdv_nc/fip/pressure/d2
export TFIP2_DIAG=/d1/${USER}/mdv_nc/fip/diagnostic/d2
```
10. 使用新參數檔案執行 TFIP2：


```
fip_algo -params ${MY_TFIP2_PARAM} -two_inputs -if
/d1/ifi/mdv_nc/model/pressure/d2/20221217/g_060000/20221217_g_060000_f_0001
8000.mdv.cf.nc
/d1/ifi/mdv_nc/model/derived/d2/20221217/g_060000/20221217_g_060000_f_00018
000.mdv.cf.nc -out_url ${TFIP2_OUTPUT} -diag_url ${TFIP2_DIAG}
```
11. 確認成功產製輸出檔案

```
ls
${TFIP2_OUTPUT}/20221217/g_060000/20221217_g_060000_f_00018000.mdv.cf.nc
```

```
ls
${TFIP2_DIAG}/20221217/g_060000/20221217_g_060000_f_00018000.mdv.cf.nc
```

12. 比較測試 TFIP2 與標準 TFIP2 輸出檔案差異：設置所需環境變數，

```
export
TEST_TFIP2_DIAG=${TFIP2_DIAG}/20221217/g_060000/20221217_g_060000_f_00018000.mdv.cf.nc
```

```
export
BASE_TFIP2_DIAG=/d1/dadriaan/stage/mdv_nc/fip/diagnostic/d2/20221217/g_060000/20221217_g_060000_f_00018000.mdv.cf.nc
```

13. 使用 `ncdiff` 程序建置差異檔案：

```
/usr/local/nco/bin/ncdiff -v RH_INT ${BASE_TFIP2_DIAG}
${TEST_TFIP2_DIAG} ~/diff.nc
```

14. 使用 `ncview` 顯示軟體檢視差異檔案：

```
ncview ~/diff.nc
```

請注意「RH_INT」3 維變數位置有差異。在 `ncview` 中顯示為「i=」和「j=」。每個數字代表 WRF 模式網格中的位置。

15. 使用 Python 檢查兩個版本和差異

```
/usr/local/anaconda3/bin/python3 /d1/ifi/scripts/plot_grid_cell_columns.py
${BASE_TFIP2_DIAG} ${TEST_TFIP2_DIAG} 771 321 RH_INT
```

五 第 4 版亂流圖形化指引 (GTG4)

(一) GTG4 演算法描述：

GTG4 係以 CWA WRF 模式資料計算各種亂流診斷數值，透過長期亂流觀測（如機載實測 EDR、飛行員報告(PIREP/AIREP)及 NTDA EDR）資料及個案研究進行校驗，將診斷數值單位轉成以 EDR 表示，並求出各種診斷數值權重，最後加總各種亂流診斷數值，然後取最大亂流值產製 GTG4 預報產品。GTG4 亂流計算包含超過 70 種晴空亂流(Clear-air Turbulence, CAT)診斷數值、15 種山岳波亂流(Mountain wave Turbulence, MWT)診斷數值、10 種對流引發亂流(Cloud-induced or Convectively-induced Turbulence, CIT)及低層地形引發亂流(Low level Terrain-induced Turbulence, LLT)，其中 CAT 計算結果包含 LLT 造成的影響。

考量 CIT 需要空間解析度較高之模式資料才能計算並預報，所以 CIT 診斷數值只有在 WRF 模式空間解析度 3 公里區域產製，並以臺灣地區時間長度 2 年 NTDA EDR 資料進行校驗，而 CAT 及 MWT 診斷數值在 WRF 模式空間解析度 3 及 15 公里區域產製，以臺灣地區時間長度 2 年機載實測 EDR 及飛行員報告進行校驗。

GTG4 產品更新頻率為 6 小時，在 D1 區域，空間解析度為 15 公里，預報時間長度為 48 小時，預報時間間隔為 3 小時，輸出變數包含 CAT、MWT 及最大亂流，在 D2 區域，空間解析度為 3 公里，預報時間長度為 48 小時，預報時間間隔為 1 小時，輸出變數包含 CAT、MWT、CIT 及最大亂流。輸出垂直高度為 1000 至 45000 呎，間隔為 1000 呎，另外加上 2500 及 4800 呎。

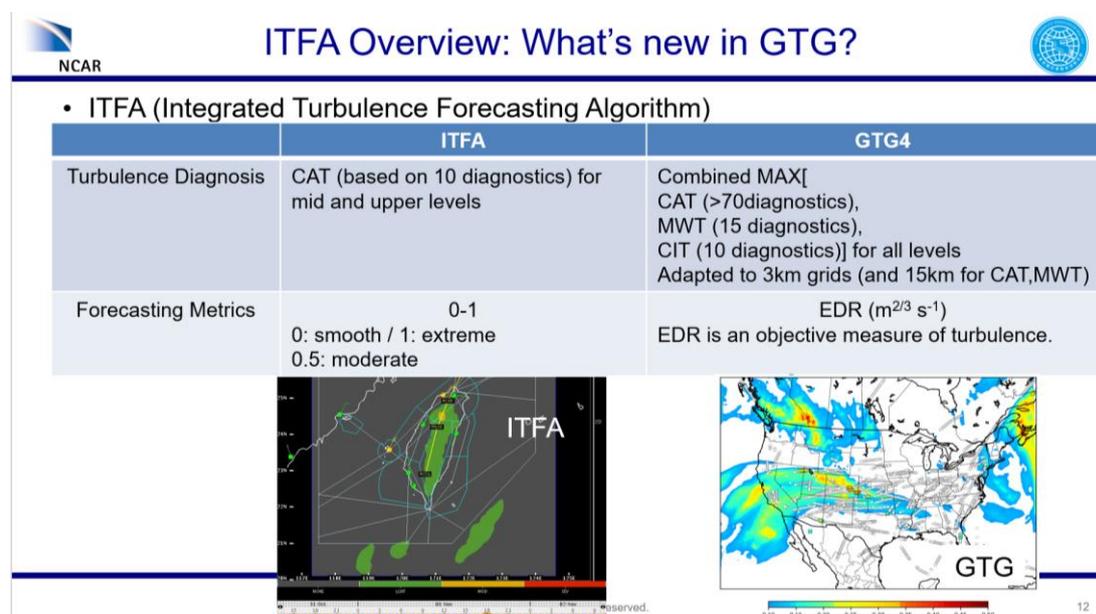


圖 23：GTG4 與 ITFA 演算法差異比較圖。

GTG4 預報流程分成 4 步驟：

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

- (1). CAT 診斷數值如圖 24 所示，超過 70 種診斷數值，與理查森數、空間梯度、渦度、水平風速及垂直速度等大氣參數有關。
- (2). MWT 計算包含 15 種診斷數值如圖 25，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 15 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 25。
- (3). CIT 計算包含 10 種診斷數值。考量 CIT 需要高解析度(水平解析度至少小於 3 公里)資料才能計算，CIT 只在 D2 且有雲區域(混合比大於 $1.e-6$)計算。

NCAR		Turbulence Diagnostics (CAT) Example		
Diagnostic	Description	Unit	Reference	
Speed	Horizontal wind speed	$m s^{-1}$	Efthich (1964)	are linked to:
VWS	Vertical shear of horizontal wind	s^{-1}	Efthich (1964)	
IRI	Inverse Ri (dry)	s^{-1}	Sharanan et al. (2006)	• Richardson number (RI)
IRL	Inverse Ri (moist)	s^{-1}	Sharanan et al. (2006)	• spatial gradients
IRLW	Inverse Ri with VWS from thermal wind relation	s^{-1}	Sharanan et al. (2006)	• temporal tendency
Efthich	Wind speed \times turning	$radian s^{-1}$	Efthich (1964)	• vorticity
Dutton	Dutton's empirical index	s^{-1}	Dutton (1960)	• horizontal wind speed / vertical velocity
veg	Vertical velocity (w) squared	$m^2 s^{-2}$		• ...
lawind	Inertial advective wind	$m s^{-1}$	McCase (2001)	
HSDIV	Horizontal divergence	s^{-1}		
VORVSO	Vertical vorticity	s^{-1}		
DEFSQ	Total deformation	s^{-1}		
-DRID	Ri tendency	s^{-1}	Roach (1970)	
Brown1	Simplified $DRID$	s^{-1}	Brown (1973)	
Brown2	s^{-1} from simplified $DRID$	$m^2 s^{-2}$	Brown (1973)	
EDRLIN	s^{-1} from simplified $DRID$	$m^2 s^{-2}$	Gill and Burkman (2014)	
CF	Cohen-Panofsky TKE	$m^2 s^{-2}$	Cohen and Panofsky (1965)	
Ellrod1	TI index	s^{-1}	Ellrod and Knapy (1992)	
Ellrod2	TI index (includes divergence)	s^{-1}	Ellrod and Knapy (1992)	
Ellrod3	Ellrod2 with divergence tendency substituted for divergence and divergence tendency computed as in Sharanan et al. (2006)	s^{-1}	Ellrod and Knapy (2010)	
SOCKE	Simplified TKE from NW P model	$m^2 s^{-2}$		
DIT1	Diagnostic TKE - explicit formulation	$m^2 s^{-2}$	Martinetto (1968)	
LAZ	TKE	$m^2 s^{-2}$	Lukhtanov and A'Yer-Zelik (1966)	
SEDR	s^{-1} derived from TKE	$m^2 s^{-2}$	Schuman (2012)	
SCHW	s^{-1} derived from variance of vertical velocity	$m^2 s^{-2}$	Schuman (2012)	
NCH1	Advection \times vorticity gradient Ri^*	s^{-1}	Kaplan et al. (2004)	
NCH2	(Vorticity gradient \times gradient of Montgomery streamfunction) computed on isentropic surfaces	s^{-1}	Kaplan et al. (2004)	
PVGRAD	Horizontal potential vorticity gradient	$PVU km^{-1}$		
TROPQZ	Tropopause gradient/tropopause height	m^{-1}		
NVA	Negative vorticity advection	s^{-1}	Sharanan et al. (2006)	
Stoe	Inertial instability index	s^{-1}	Stoe (1966), Knox (1977)	
AGI	Asymmetric gradient instability	s^{-1}	Alaka (1961), Magill and Holte (1972)	
LHFK	Lighthill-Fred spontaneous imbalance	m	Knox et al. (2000)	
TEMPG	Horizontal temperature gradient	$K m^{-1}$	Sharanan et al. (2006)	
NGMI	Wind speed \times deformation	$K m s^{-1}$	Keap (1996)	
NGM2	Vertical temperature gradient \times deformation	$K m^{-1}$	Keap (1996)	
F2D	2D frontogenesis function on constant z surface	$K m s^{-1}$	Sharanan et al. (2006)	
F2DFW	2D frontogenesis function on constant z surface using thermal wind relation	$K m s^{-1}$	Sharanan et al. (2006)	
F3D	3D frontogenesis function on constant z surface	$K m s^{-1}$		
FTH	Normalised 2D frontogenesis function computed on isentropic surfaces	$m^{-1} s^{-1}$	Sharanan et al. (2006)	
EDRLL	$m^2 s^{-2}$ estimated from second-order longitudinal structure function	$m^2 s^{-2}$	Fiechlich and Sharanan (2004a)	
EDRAVG	$m^2 s^{-2}$ estimated from average of longitudinal and transverse second-order structure functions	$m^2 s^{-2}$	Fiechlich and Sharanan (2004a)	
SHOWX	Variance of w estimated from second-order longitudinal structure function	$m^2 s^{-2}$	Fiechlich and Sharanan (2004b)	
SHOWAVG	Variance of w estimated from average of longitudinal and transverse second-order structure functions	$m^2 s^{-2}$	Fiechlich and Sharanan (2004b)	
CTSQ	Temperature structure constant estimated from average of longitudinal and transverse second-order structure functions of T	$K^2 m^{-2}$	Fiechlich et al. (2001)	

Table 1
Sharman and Pearson (2017)

圖 24：CAT 診斷數值列表。

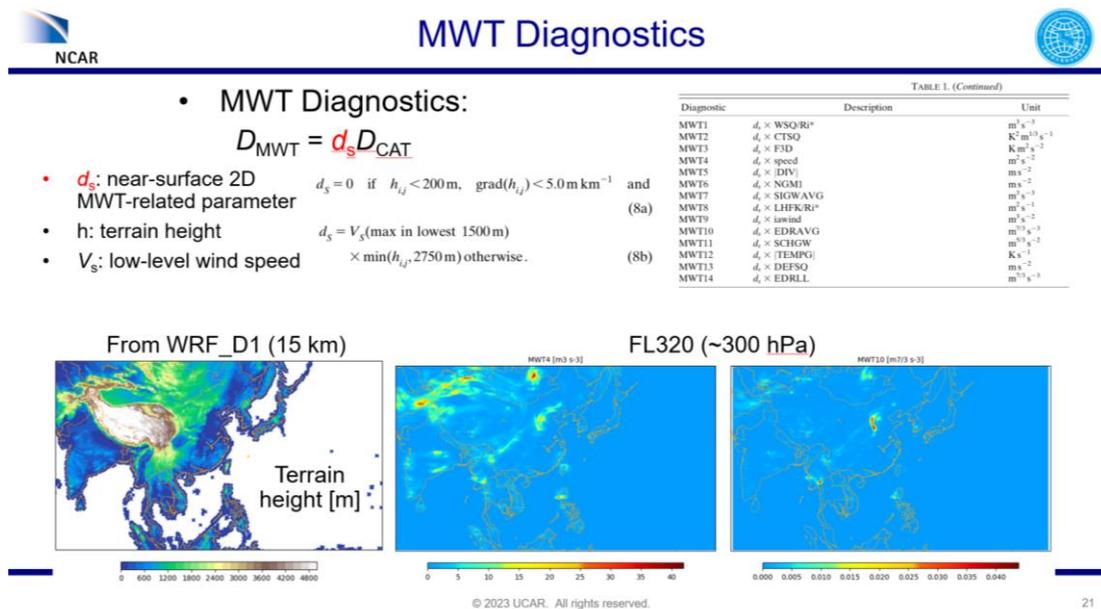


圖 25：上方為 MWT 診斷數值計算公式及其中 14 種 MWT 診斷數值計算方法。下方為在 D1、飛航高度 FL320，MWT 診斷數值分布。

2. 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 以國際航空運輸協會(IATA)實測 EDR 資料進行校驗, CIT 則以臺灣地區 NTDA 進行校驗, 實測 EDR 及 NTDA 之 PDF 分佈如圖 26, 假設觀測資料 PDF 與 log-normal 相似, 則可求得 D 與 D^* 間轉換公式。



Mapping Raw Diagnostics (D) to EDR (D^*)



- Each Diagnostic D is rescaled to an EDR assuming a **log-normal distribution of EDR**

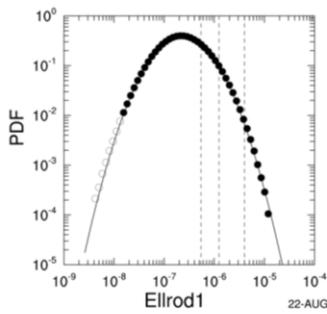
$$\log \varepsilon^{1/3} = a + b \log D_i$$

- Where a and b are chosen to give best fit to expected lognormal distribution in the **higher ranges**
- a and b depend on (constraints)

$$\overline{\log \varepsilon^{1/3}} \text{ and } SD[\log \varepsilon^{1/3}]$$

- Which must be estimated from climatology

$\langle \log \varepsilon^{1/3} \rangle \sim -2.5$	EDR data
$SD[\log \varepsilon^{1/3}] \sim 0.5$	used.



22-AUG-

See Sharman and Pearson 2017

© 2023 UCAR. All rights reserved.
25

圖 26：診斷數值映射成以 EDR 為單位數值(D^*)計算方式。

3. 選取最佳診斷數值(D^*): 依每個診斷數值預報能力, 去計算每個診斷數值 AUC(ROC 曲線下面積), 並計算所有診斷數值 AUC, 計算方式如圖 27 所示, 依此決定那些診斷數值權重為 1, 那些診斷數值為 0, 即 GTG4 演算法不需要計算那些診斷數值。

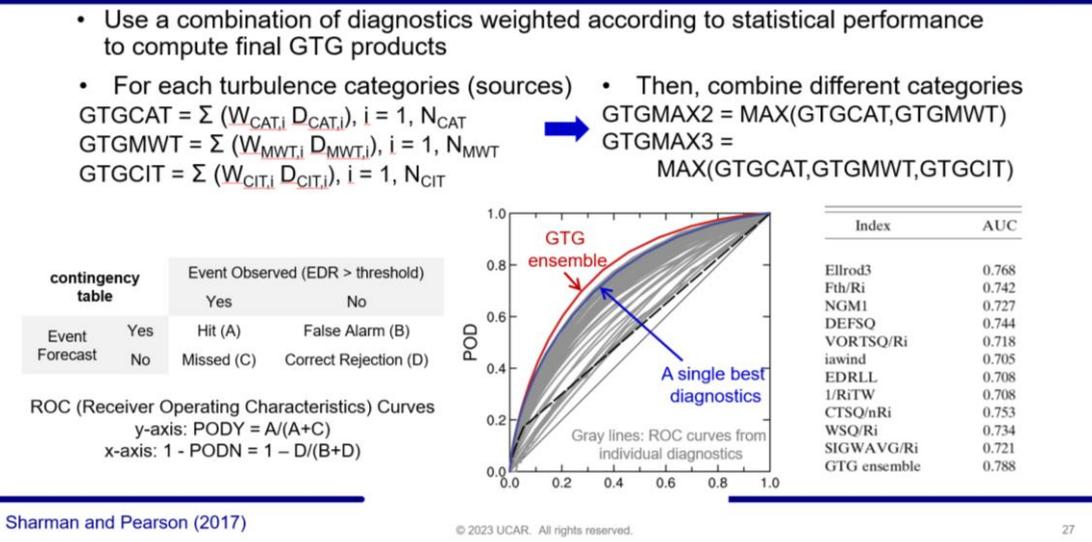


圖 27：左側為 PODY 計算公式，右側為各種診斷數值 ROC 曲線圖及 AUC 數值。

- 結合診斷數值(D^*)求出最後 GTG 數值:加總每個診斷數值後求出 GTGCAT、GTGMWT 及 GTGCIT，GTGMAX2 係在 D1 區域取 CAT 及 MWT 最大值來呈現亂流程度，GTGMAX3 係在 D2 區域取 CAT、MWT 及 CIT 最大值來呈現亂流程度。

(二) GTG4 演算法系統描述：

GTG4 演算法程序需要 2 個參數檔案，如 Namelist 及 Configuration，Namelist 包含資料夾位置、預報時間、輸入、輸出、演算法執行及預報績效分數等相關設定。另外，是否包含 CIT 計算及 CIT 計算區域設定也在這個檔案。Configuration 檔案分成 2 部分，第 1 部分設定模式輸入資料，如垂直座標及水平範圍等參數，第 2 部分設定亂流診斷數值計算高度、權重、最佳診斷數值、映射計算所需數值。

GTG4 係各種亂流診斷數值總和，其中計算方程式包含許多微分計算，需要高精確度資料，因此直接讀取原始 WRF 資料，而 ASPIRE、CTH&CDO、TCIP2/TFIP2 及 C&V 需要 UPP 程序產製額外變數資料。

GTG4 演算法程序及資料流程如圖 28，共 5 個程序為 inputwatcher、GtgLevelinterp、LdataWatcher、run_GTG 及 mdv_nc2ogc。

Inputwatcher 程序目的為監控原始 WRF 資料檔案，並對每個 WRF 輸入檔案名稱執行 run_GTG 指令集，來執行 GTG4 演算法。由於 GTG4 演算法是由 Fortran 程式語言編寫，無法直接與 DataMapper 傳遞訊息。因此，需要透過 run_GTG 指令集來執行 GTG4 演算法。

run_GTG 指令集為負責控制 GTG4 演算法的指令集。唯一引數是原始 WRF 輸入檔案路徑：

“run_GTG <ROOT_DIR>/input/wrf/3km/2023-09-15/wrfout_d02_2023-09-15_02_00_00”

在 run_GTG 指令集中，可以設定以下參數：

1. GTG4 演算法運行所使用的 CPU 數量：32 個 CPU 核心。
2. GTG4 參數檔案：gtg.config.ARWRF_CWBD...等檔案。
3. 用於 GTG4 執行的臨時工作資料夾：work/gtg/tmp/gtg_runs。
4. GTG 輸出資料夾：work/nc/gtg。

GTG4 演算法指令集為透過 run_GTG 指令集執行。在暫存工作資料夾中準備好執行 GTG。然後執行執行 GTG 演算法。確認正確的輸出檔案並移至暫存資料夾。建置 NameList 檔案，並將其移至參數資料夾中。

GTG 演算法程序執行方式如下，mpirun -n <#CPUS> GTG_driver。為加速 GTG4 計算花費時間，GTG4 以 openmpi 平行計算程式語言執行，需要指定使用 cpu 數量及記憶體。

GtgLevelinterp 目的為讀取原始 GTG4 演算法輸出檔案，透過內插方式新增總臺額外要求的垂直高度層，目前包括 2500 呎和 4800 呎。透過 mdv 格式檔案輸出資料，以便在 Jazz 顯示軟體上檢視。參數檔設定包括：要新增的垂直高度層、GTG4 輸出變數名稱及 GTG4 未經調整變數名稱。

LdataWatcher 為偵測新資料程序，一旦偵測到新資料，立刻通知 DataMapper 程序，然後啟動 mdv_nc2ogc 指令集，mdv_nc2ogc 指令集目的為使 mdv_nc 檔案格式轉換成符合 OGC netcdf 格式。

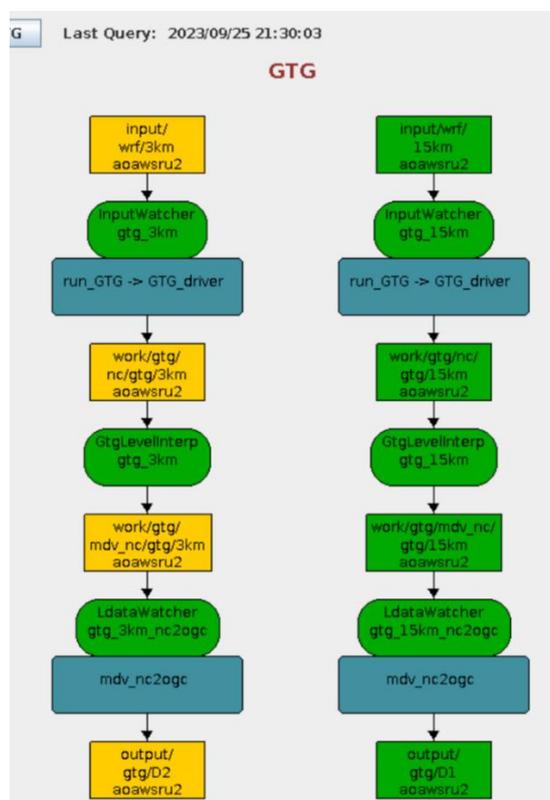


圖 28：GTG4 演算法程序及資料流程圖。

六 NCAR 亂流偵測演算法(NCAR Turbulence Detection Algorithm)

(一) NTDA 演算法描述：

NTDA 係以氣象雷達觀測資料透過 NCAR 亂流偵測演算法產製雲中亂流程度產品，此演算法係以雷達回波頻譜寬度(Spectrum Width)作為亂流程度，頻譜寬度代表測量體積內每個粒子徑向風變異程度，之後將頻譜寬度單位轉換成 EDR 即為 NTDA 產品。NTDA 觀測會受風影響之追蹤因子，如雲及對流胞。NTDA 更新頻率為 5 分鐘，垂直高度為 3000 至 45000 呎，間隔為 3000 呎。輸出變數包含平均 EDR、EDR 信心水準、平均 EDR 信心水準門檻及 EDR 距離權重。

現行 AOAWS NTDA 使用五分山、七股、花蓮及墾丁等雷達資料，預計新增 CWA 樹林、南屯及林園及空軍清泉崗、馬公及綠島等雷達資料。新 NTDA 預計採用 10 顆雷達資料，將比現行 NTDA 具備水平範圍更廣且垂直範圍更沒有縫隙的 3 維亂流偵測空間。

NTDA 表現最好情況為亂流方向為同向、亂流發展良好且與理論模型一致。NTDA 使用極限如下：

1. 對於新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. 在掃描仰角高角度區域，NTDA 會有較大縫隙。
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. NTDA 無法每一次都濾除非大氣雜訊(如地形、閃電及無線電)。
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。

NTDA、GTG 及 GTGN 產品比較如圖 29，NTDA 更新頻率為 5 分鐘，非常迅速。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 產品係以模式資料進行計算，GTG 產品更新頻率、產品範圍及產品空間解析度均取決於 WRF 模式。

	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

圖 29：NTDA、GTG 及 GTGN 演算法差異比較圖。

NTDA 演算法亂流程度及各種品質參數計算如圖 30，第一步為偵測及檢視雜訊並清除。第二步為通過模糊邏輯評估雷達頻譜寬度 (SW) 測量品質。第三步為使用距離函數 (如圖 31 左下) 將 SW 轉換成 EDR 表示。第四步為計算可信度加權平均 EDR 和可信度值。最後 3 維 NTD A 合成方法為以距離權重合併不同雷達 NTD A 數值。

第二步雷達資料品質評估參數包含 SNR (Signal-to-noise Ratio)、PR (Overlaid Power Ratio)、SWT (Spectrum width texture) 及 REC (Radar Echo Classifier) 等參數，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。

第四步所需參數為 EDR、SNR、PR、SWT、REC 及 SW 涵蓋範圍可信度等。

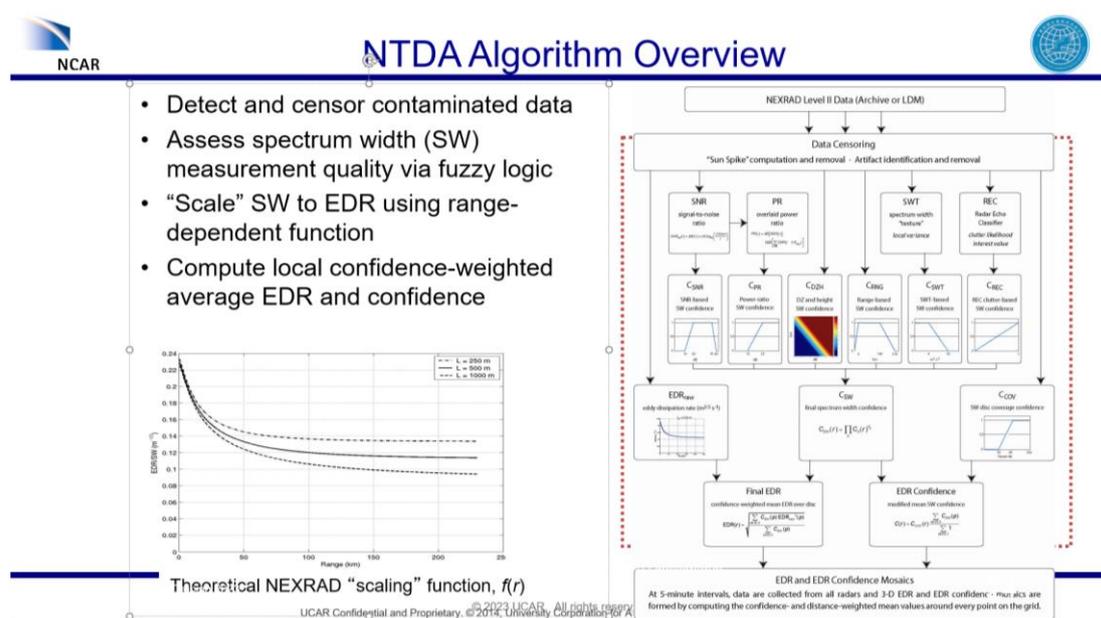
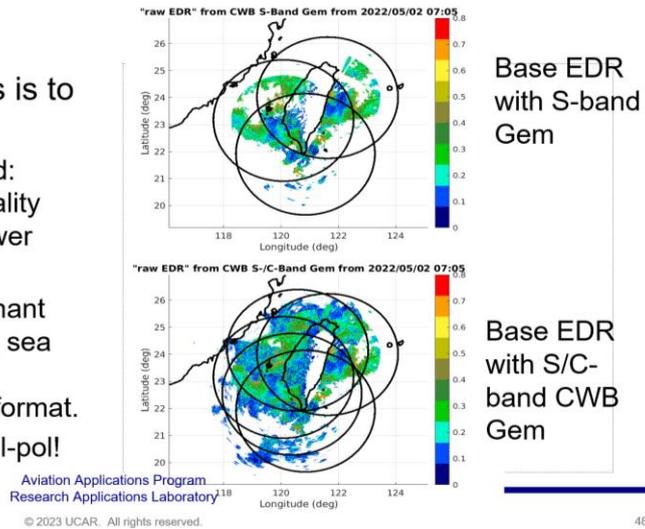


圖 30：NTDA 演算法亂流程度及各種品質參數計算流程圖。

經 NCAR 測試新增雷達資料將大幅提升 NTD A 產品表現，不僅增加亂流偵測水平範圍還可減少垂直偵測死角。以 2022 年 5 月 22 日 NTD A 產品為例，圖 31 上方為以 CWA S 波段雷達(如五分山、七股、花蓮及墾丁)資料產製 NTD A，下方為額外新增 CWA C 波段雷達(如林園、南屯及樹林)資料產製 NTD A，比較這 2 張圖顯示新增 CWA C 波段雷達資料後，新 NTD A 具備水平範圍更廣且垂直範圍更沒有縫隙的 3 維亂流偵測空間。

- One of the primary goals is 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.
 - Note: new radars are dual-pol!



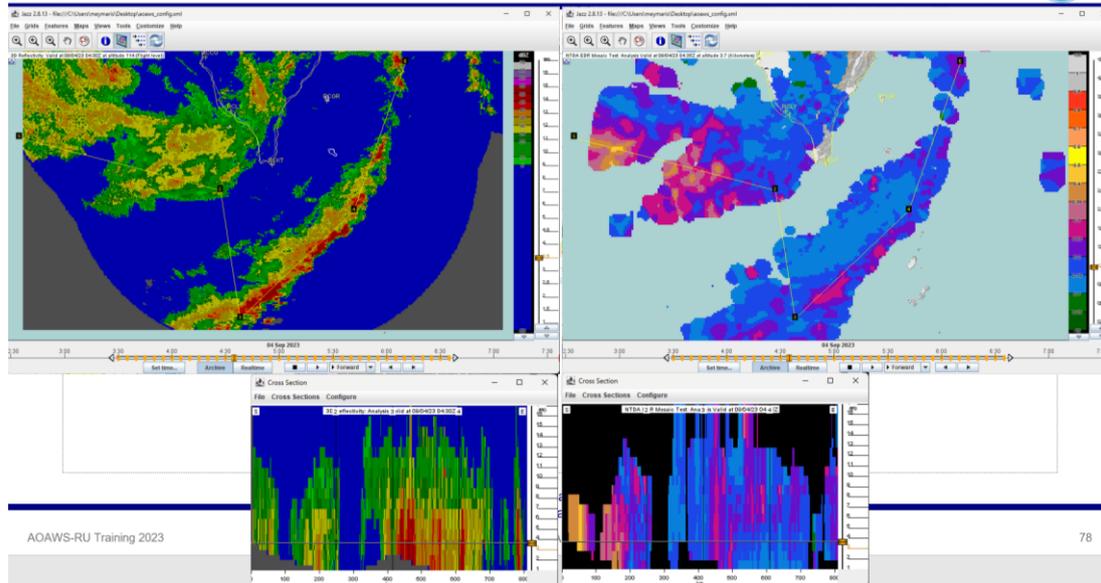
AOAWS-RU Training 2023

Aviation Applications Program
Research Applications Laboratory

48

圖 31：2022 年 5 月 22 日 NTDA 產品，上方為以 CWA S 波段雷達資料產製 NTDA，下方為額外增加 CWA C 波段雷達資料產製 NTDA EDR。

2023 年 9 月 4 日 0430Z 雷達回波及 NTDA 比較如圖 32 所示，NTDA 顯示雷達回波黃色區域(恆春西南側)有高亂流現象，從垂直剖面圖也有一致的情況。顯示 NTDA 能有效協助預報員辨識有亂流的水平及垂直範圍。



AOAWS-RU Training 2023

78

圖 32：2023 年 9 月 4 日 0430Z 雷達回波及 NTDA 比較圖。

(二) NTDA 演算法系統描述：

NTDA 程序及資料流程如圖 33。每個雷達都有專屬程序及資料流程，五分山雷達使用 Nexrad2Netcdf 程序處理雷達資料，其他 9 個雷達均使用

Gemtronik2Netcdf 程序處理雷達資料。NCARTurbDetectAlg 為 NTDA 演算法核心，計算可信度加權平均 EDR 和可信度值。流程如圖 33 所示。

Nexrad2Netcdf 及 Gemtronik2Netcdf 程序進行下列工項：

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。

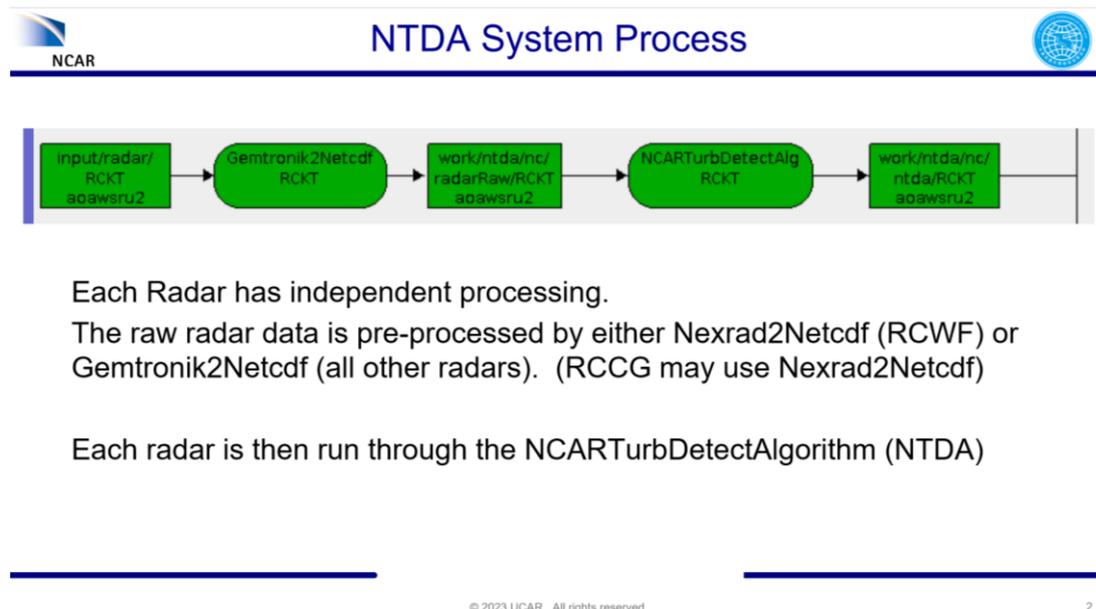


圖 33：NTDA 演算法程序及資料流程圖。

雷達回波合成以 confWgtdMosaic_mdvdz 程序，EDR 合成則以 confWgtdMosaic_mdvedr 程序。流程如圖 34 所示。

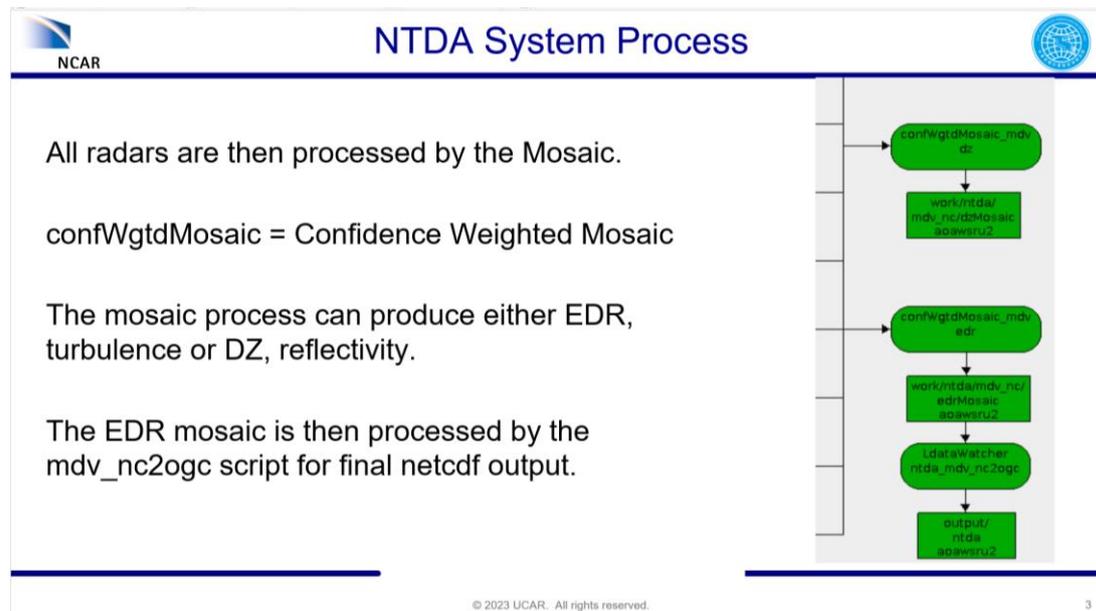


圖 34：NTDA 演算法程序及資料中雷達回波及 EDR 合成流程圖。

七 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：

在飛機飛行的過程中，劇烈對流系統伴隨積冰、亂流、閃電、低能見度等危害天氣，是航機必須特別留意的天氣系統，除了近岸可以透過雷達回波觀測對流系統外，在廣大的洋面上，或是缺發雷達資料的地方，就必須透過衛星影像來協助辨識劇烈對流系統所在的位置。雲頂高預測產品(Cloud Top Height, CTH)是利用向日葵衛星的紅外線頻道(11 μm , BAND14)影像，配合 WRF 模式資料，推導出深對流區(雲頂高大於 15000 英尺)的雲頂高度；大洋對流診斷產品(Convection Diagnosis Oceanic)利用向日葵衛星的紅外線頻道(11 μm , BAND14)影像及水氣頻道(6.2 μm , BAND8)影像，配合 WRF 模式資料及閃電資料，計算出劇烈對流的危害指標，當數值 ≥ 2 表示可能有對流危害，數值 ≥ 3 表示該區域有閃電或是過衝雲頂，是對流發展最劇烈的區域。這兩項產品配合衛星資料更新的頻率，均為十分鐘更新一次，並提供一小時的外延預報。

如圖 35，CTH 提供較為完整的對流雲覆蓋區域及發展高度；CDO 則提供了整塊對流雲系中，帶有上升運動或是閃電這種容易帶來危害的區域。兩者併用讓我們對該對流系統的特性有更多的了解。

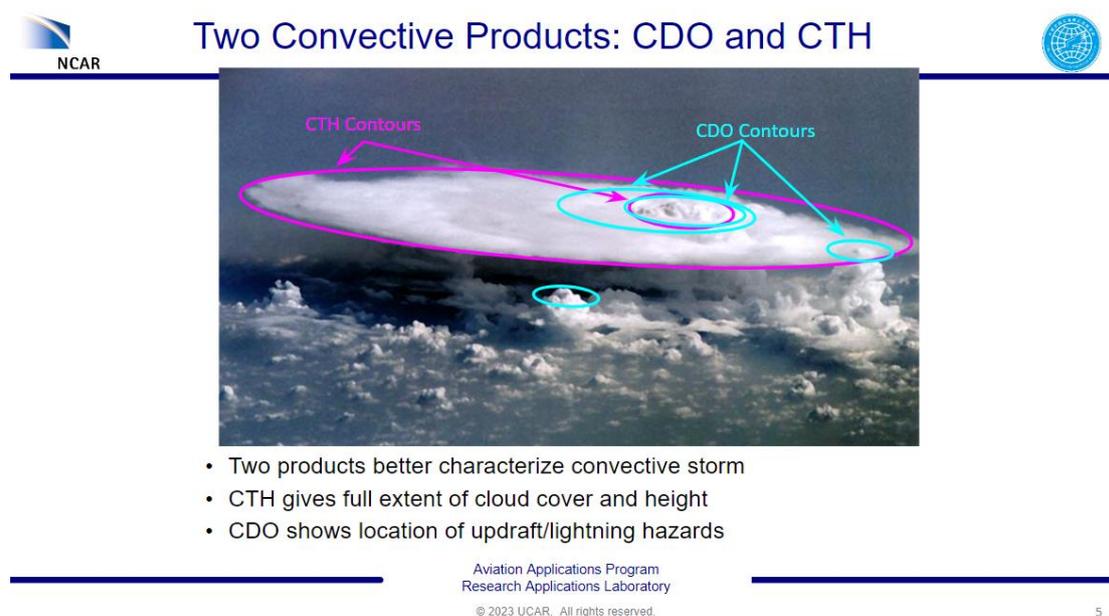


圖 35：CTH/CDO 搭配對流雲砧示意圖

(二)雲頂高預測產品資料流與相關程序：

如圖 35，在蒐集衛星及模式資料後，會先分 Domain1 及 Domain2 進行衛星資料的處理，然後分別進行 CTH/CDO 的演算，然後透過 CTREC 方法進行短期預報。Domain2 處理過的衛星資料，跟處理過後的閃電資料則用在 FIR 範圍 CDO 的運算，運算結果再透過 CTREC 方法進行短期預報，詳細的流程如下：

CTH processing flow diagram

- Multiple processing steps are separated into sub-diagrams.
- Arrows show data produced in one diagram is used by processes in other diagrams.

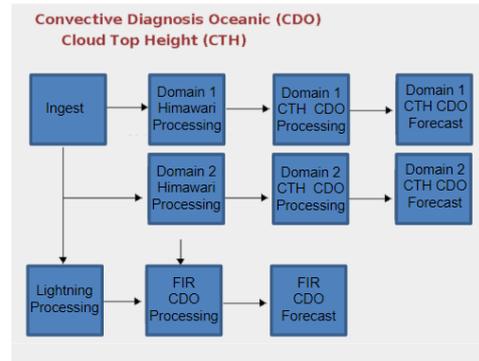


圖 35 : CTH/CDO 運算流程圖

1. 輸入資料程序(圖 36) :

從 Input/Shared System 得到衛星、模式及閃電資料。

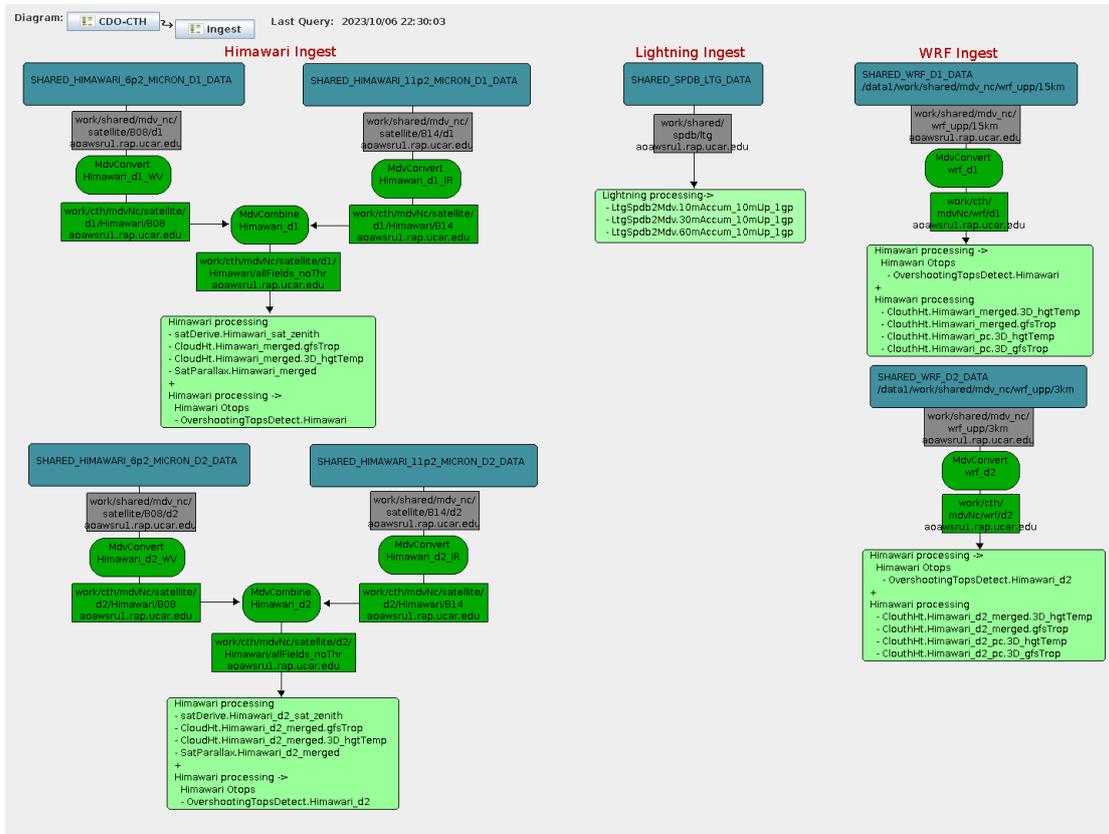


圖 36 : CTH/CDO 資料輸入流程圖

- (1) MdvConvert : 將衛星原始資料切割到演算法所需範圍(Domain1/Domain2) , 並調整成等經緯投影, 如圖 37 及圖 38。
- (2) MdvCombine : 將不同頻道之衛星資料合併為一個 MDV 檔案。

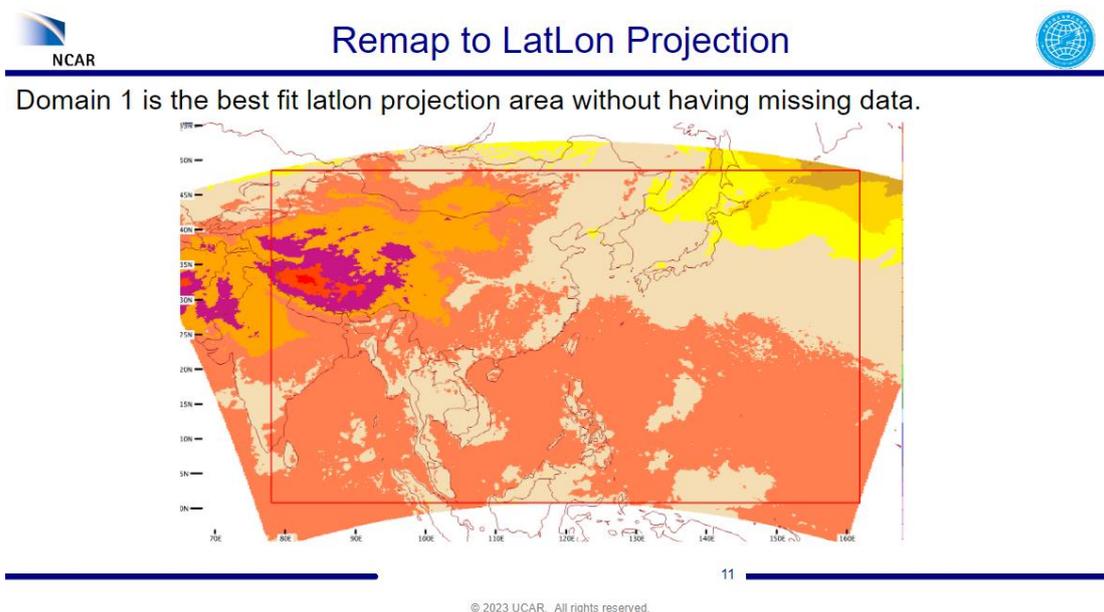


圖 37 : DOMAIN 1 為不具有無效值的最大矩形範圍

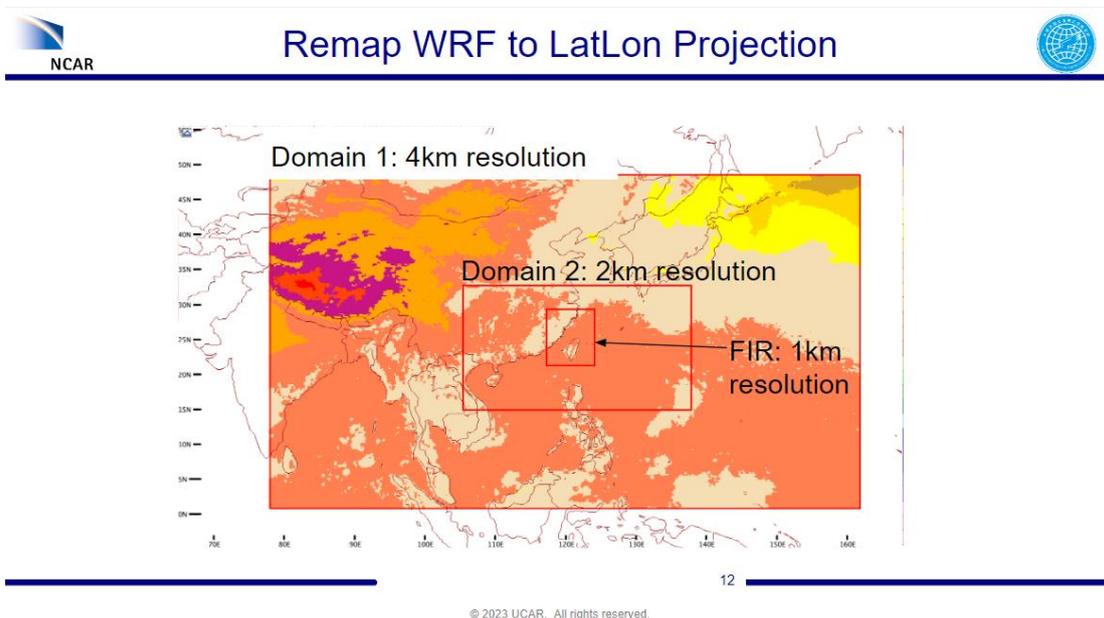


圖 38 : CTH/CDO 網格範圍

2. 衛星資料處理程序—衛星資料品質管制(圖 39) :
 - (1) cloudHt : 利用紅外線頻道 11.2 μ m 及模式三維溫度、三維高度、對流層頂溫度計算雲頂高, 用來做做視差校正。
 - (2) MdvMerge2 : 將模式三維溫度/對流層頂溫度兩種計算雲頂高方式合併取

最小值。

- (3) SatParrallaz：用 CTH 來校正不同衛星頻道的視差。
- (4) satDerive：計算衛星天頂角。
- (5) MdvThresh：移除衛星天頂角>75 度的檔案。
- (6) MdvInterpMissing：填補視差校正時所產生之資料空缺。
- (7) OvershootingTopsDetect：利用紅外線頻道(11.2 μm)及水氣頻道(6.2 μm)及天頂角，配合模式對流層頂高度，找出過衝雲頂的位置供 CDO 計算使用。
- (8) cloudHt：利用視差校正後之紅外線頻道 11.2 μm 及模式三維溫度、三維高度、對流層頂溫度計算雲頂高，盡可能使用最好的模式結果。
- (9) MdvMerge2：將模式三維溫度/對流層頂溫度兩種計算雲頂高方式合併取最小值，用於雲頂高演算程序。
- (10) satDerive：將水氣頻道(6.2 μm)與紅外線頻道(11.2 μm)相減，計算全球對流診斷產品(Global Convective Diagnosis, GCD)。
- (11) fuzzy_engine：模糊邏輯演算法，利用線性關係式連結 CTH 跟 GCD，用於 CDO 演算程序。

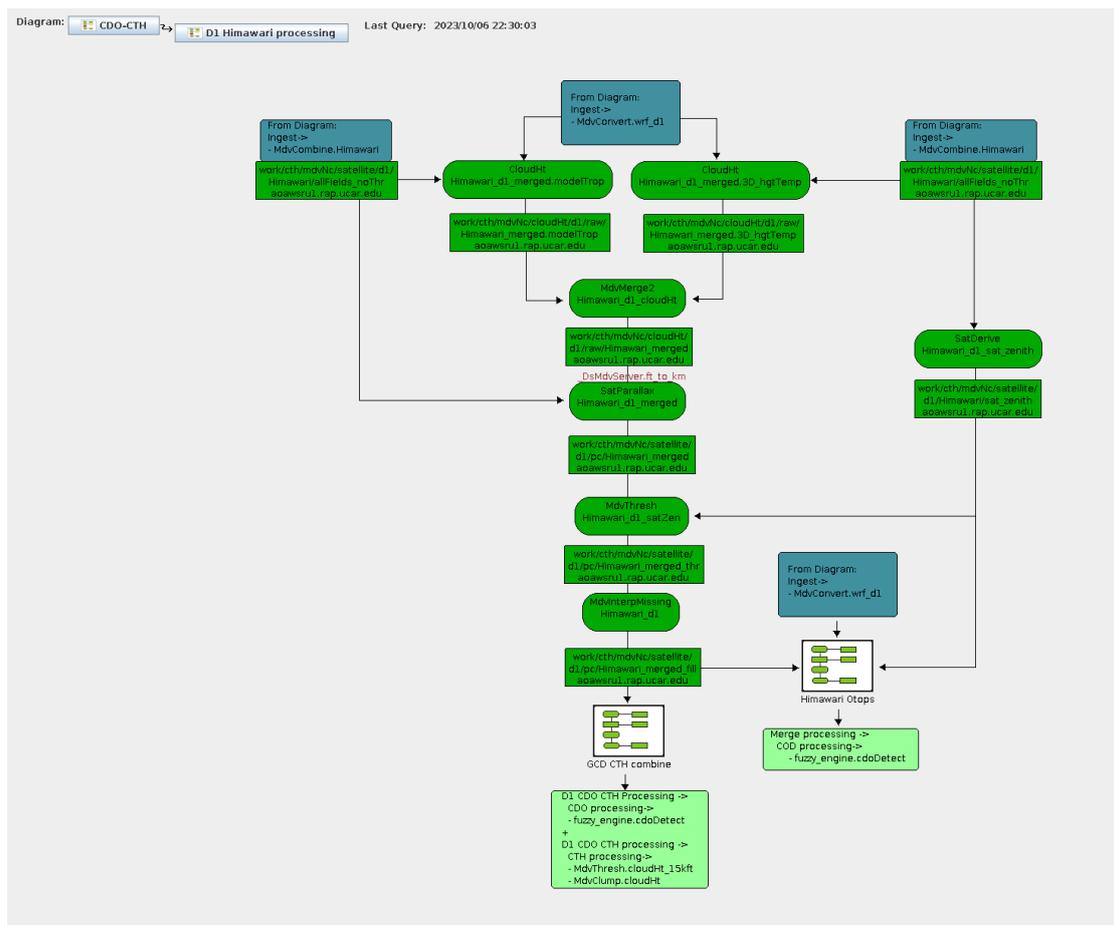


圖 39：衛星資料處理流程圖

3. 雲頂高產品(CTH)處理程序(圖 40)：
 - (1) MdvThresh：移除雲頂高不到 15000 英尺的數值。
 - (2) MdvClump：移除過小的孤立雲頂高區域。
 - (3) MdvSmooth：使用 3*3 的中值濾波器，用於 CTH 一小時外延預報。

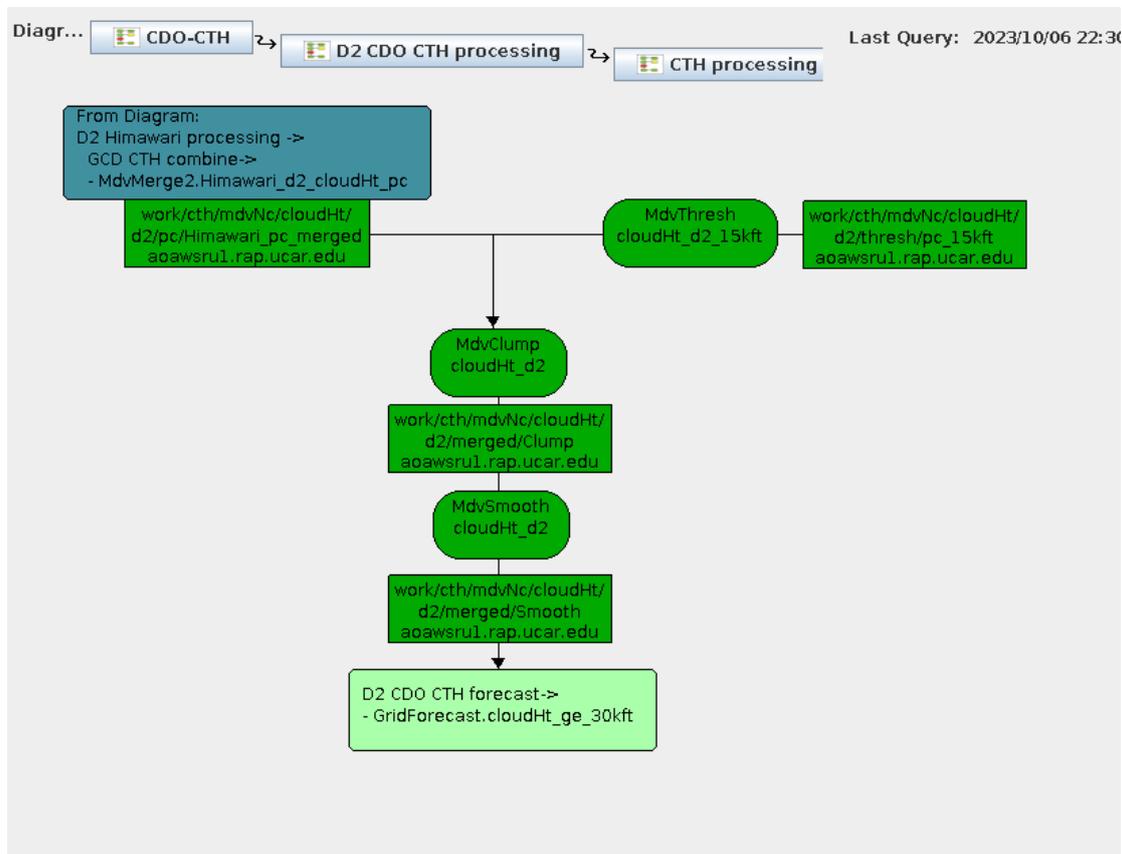


圖 40：雲頂高產品資料處理流程圖

4. 大洋對流診斷產品(CDO)處理程序(圖 41)：
 - (1) fuzzy_engine：模糊邏輯演算法，運用 step point function 結合 GCD 及 CTH，產出即為 CDO-Lite(不含閃電資料版本的 CDO)最終產品。
 - (2) MdvSmooth：使用 3*3 的中值濾波器，用於 CDOLite 一小時外延預報。

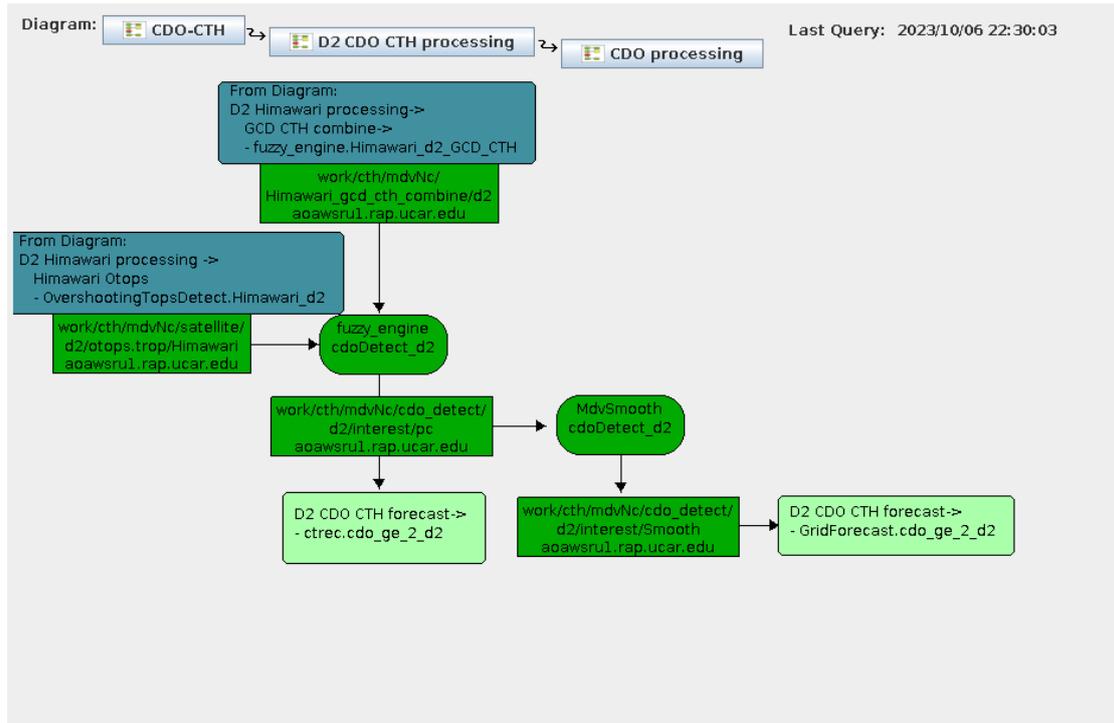


圖 41：CDO-Lite 資料處理流程圖

5. CTH/CDO 外延預報程序(圖 42)：

- (1) MdvResample：使用 10 公里中值濾波器對資料重新採樣，使追蹤演算法加速運行。
- (2) Ctrec：計算不同時間鄰近網格的相關係數得到風暴之移動場(詳情於 ASPIRE 章節介紹)，輸出移動場數值。
- (3) GridForecast：網格平流演算法，運用 CTREC 方法得到的風暴移動場，得到 CTH 及 CDO 下一個時間的位置。
- (4) MdvCombine：將 CTH/CDOlite 的結果合併為一個檔案。
- (5) LdataWatcher：收到檔案後，運行 mdv_nc2ogc 程序，將檔案轉為標準 NetCDF4 格式。

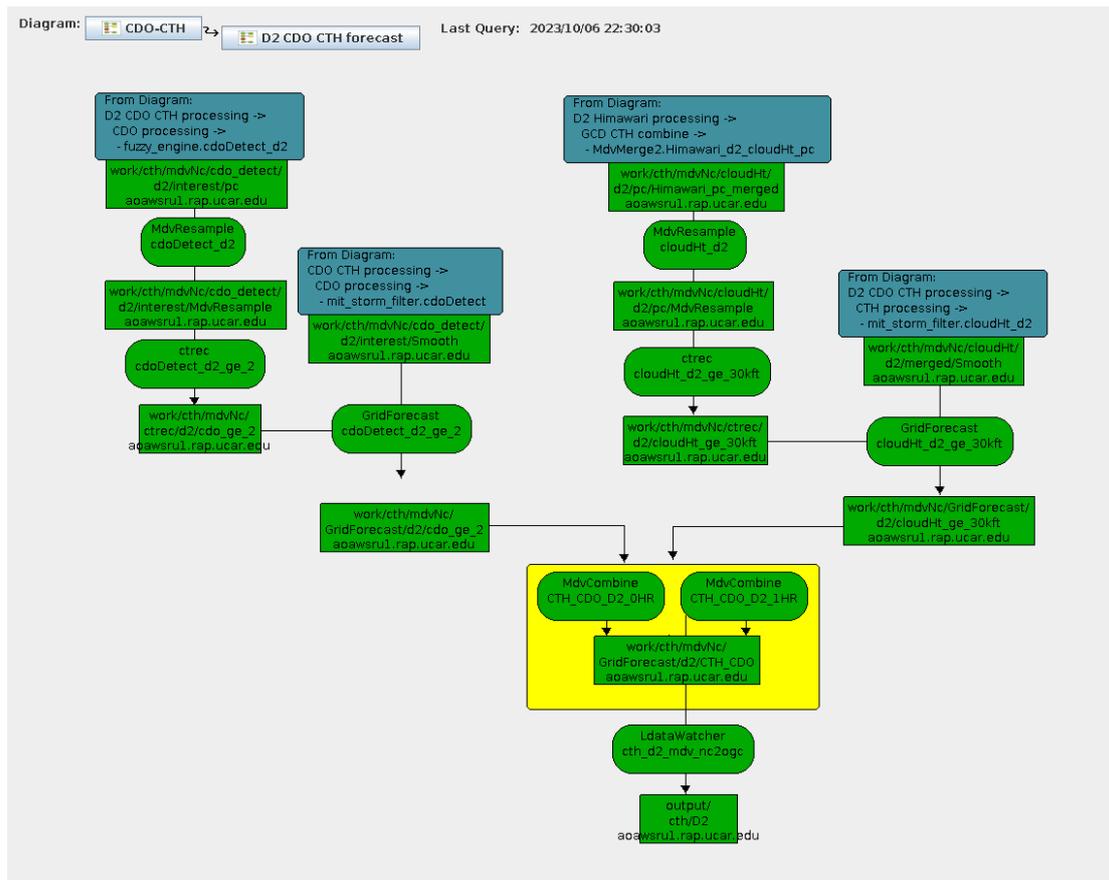


圖 42：CTH/CDO 外延預報資料處理流程圖

6. 閃電資料處理程序(圖 43)：

- (1) LtgSpdb2Mdv：每 10 分鐘啟動一次(配合衛星資料更新時間)，將 10 分鐘 /30 分鐘/60 分鐘累積閃電資料二維網格化。
- (2) fuzzy_engine：模糊邏輯演算法：利用 linear point functions 跟權重關係合併 10 分鐘/30 分鐘/60 分鐘累積閃電數量網格，用於演算 FIR 範圍之 CDO 產品。

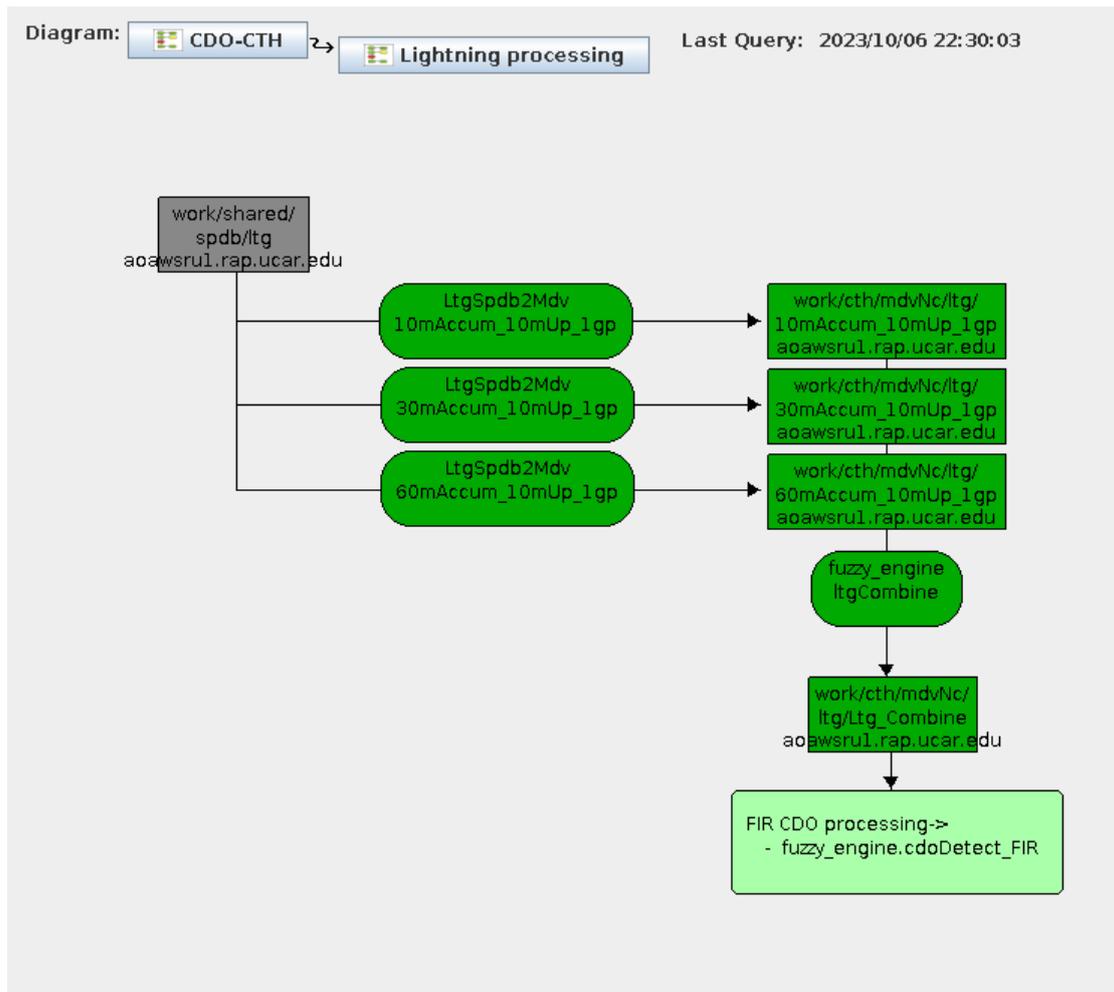


圖 43：閃電資料處理流程圖

7. FIR CDO 處理程序(圖 44)：

- (1) fuzzy_engine：模糊邏輯演算法，運用 step point function 結合過衝雲頂；
運用 linear point function 結合閃電資料與 GCD 及 CTH，產出即為 CDO 最終產品。
- (2) MdvSmooth：使用 3*3 的中值濾波器，用於 CDO 一小時預報。

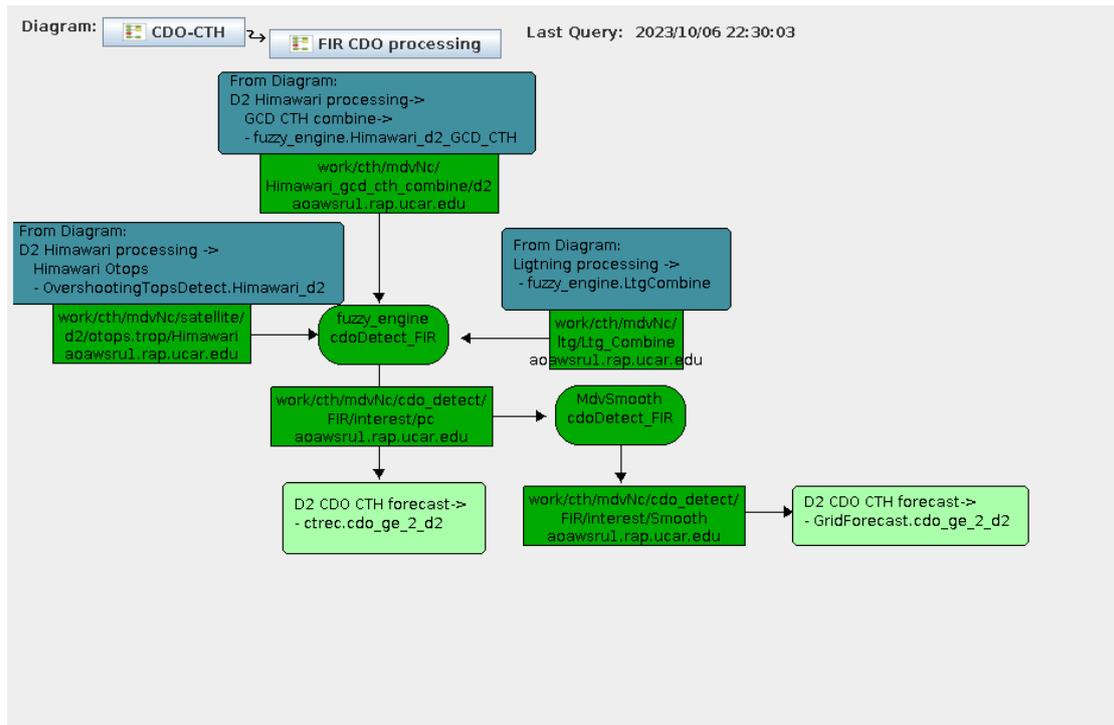


圖 44：FIR CDO 資料處理流程圖

8. FIR CDO 外延預報程序(圖 45)：

- (1) MdvResample：使用 10 公里中值濾波器對資料重新採樣，使追蹤演算法加速運行。
- (2) Ctrec：計算不同時間鄰近網格的相關係數得到風暴之移動場，輸出移動場數值。
- (3) GridForecast：網格平流演算法：運用 CTREC 方法得到的風暴移動場，得到 CDO 下一個時間的位置。
- (4) LdataWatcher：收到檔案後，運行 mdv_nc2ogc 程序，將檔案轉為標準 NetCDF4 格式。

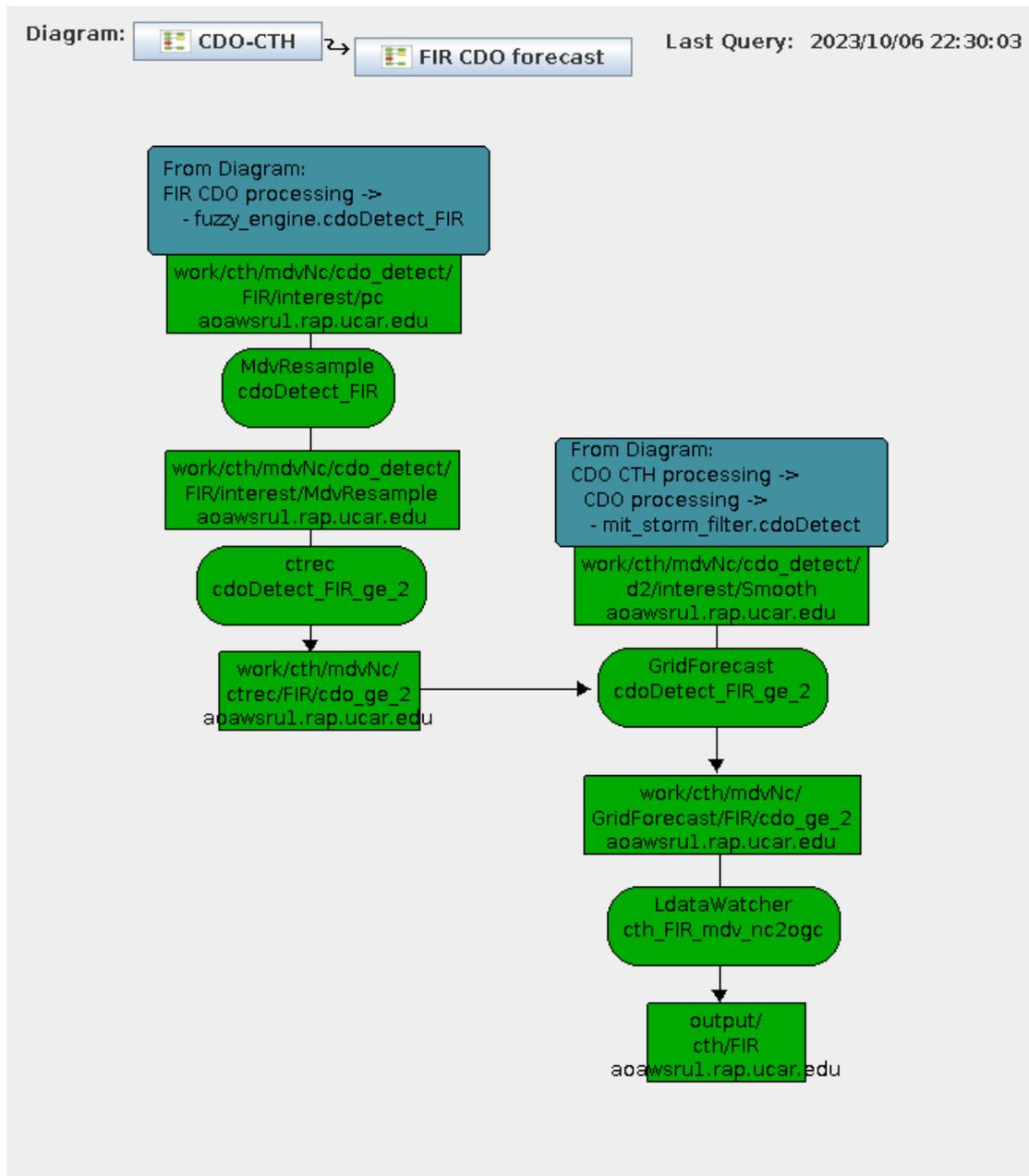


圖 45：FIR CDO 資料處理流程圖

(三)CTH/CDO 演算法參數調整(最佳化)：

1. CTH 相關參數調整：

(1)CloudHt：

tropo_method = TROPO_FROM_TROPO_HT_FIELD

TROPO_FROM_3D_HT_AND_TEMP_FIELDS

CTH 演算法中決定對流層頂高度的兩個方法，預設是兩者取最小值。

height_info = { min = 950, max = 50};

決定對流層頂高度的搜尋範圍。

(2)MdvInterpMissing :

radius_of_influence = 30

當視差校正後，會出現無效值的網格，以無效網格為中心，設定特定的半徑(單位：公里)，取半徑內有效網格的平均值來填補無效網格。

fill_percent = 0.5

以無效網格為中心，特定半徑內有效網格的比例，如果低於該數值則不填補無效值。(數值在 0-1 之間)

2. CDO 相關參數調整：

(1) OvershottingTopsDetect :

min_top_temp = 173

max_top_temp = 215

min_wv_ir_temp_diff = -2

max_ir_tropo_diff = 7.5

max_sat_zenith = 65

min_top_dist = 15

搜尋紅外線頻道中，亮度溫度界在 173K(min_top_temp)跟 215K(max_top_temp)之間，且與模式對流層頂溫度差在 7.5K(max_ir_tropo_diff)之內的區域。接著確認水氣頻道與紅外線頻道溫度差(min_wv_ir_temp_diff) > -2K，衛星最大天頂角(max_sat_zenith)為 65 度。過衝頂之間最小距離(min_top_dist)為 15 公里。

anvil_distance = 8

對每一個孤立的過衝雲頂候選像素，觀察在 16 方位上的特定距離(anvil_distance)(單位公里)，是否可以視為雲砧，建議數值是 8-16。

max_anvil_temp = 225

當評估孤立的過衝雲頂候選像素時，鄰近像素必須 ≤ 特定溫度(max_anvil_temp)的才會被認為是雲砧。

min_anvil_directions = 5

孤立的過衝雲頂候選像素必須至少有幾個雲砧像素在周圍(min_anvil_directions)才能被考慮為過衝雲頂，最小值為 1。

必須符合各項限制條件才會被認定是過衝雲頂，平均雲砧溫度減去過衝雲頂溫度永遠都是負值。

例一：

min_anvil_pixels = 9,

Range: (min_mean_anvil_temp = -40, max_mean_anvil_temp = -6.5)

min_wv_ir_temp_diff = -10000 (無限制)

例二：

min_anvil_pixels = 13, (範圍較大)

Range: (min_mean_anvil_temp = -400, max_mean_anvil_temp = -5)
 min_wv_ir_temp_diff = 2 (標準較嚴格)

(2) Fuzzy_engine :

興趣場(interest field)用於表示模糊邏輯法中不同參數之間的權重關係。圖 46 中，CTH 及 GCD 是利用 linear point function 得到權重關係，而興趣場的參數是可以調整的，例如這裡 CTH 的設定為，從 0 到 16400，權重為 0，16400 到 40000 權重線性從 0 上升到 1，而 40000-80000 則權重維持為 1，可以發現 16400 英尺以下的雲頂高不會列入 CDO 的計算；GCD 則是設定-20 到-6 權重為 0，-6 到-0.68 權重從 0 上升到 1，-0.68 到 30 權重維持為 1，30 到 200 權重下降為 0，GCD 是水氣頻道與紅外線頻道相減的結果，接近 0 的時候表示有最成熟的上升氣流，故權重為 1。再將 CTH 及 GCD 的結果合並用於 CDO 的診斷。

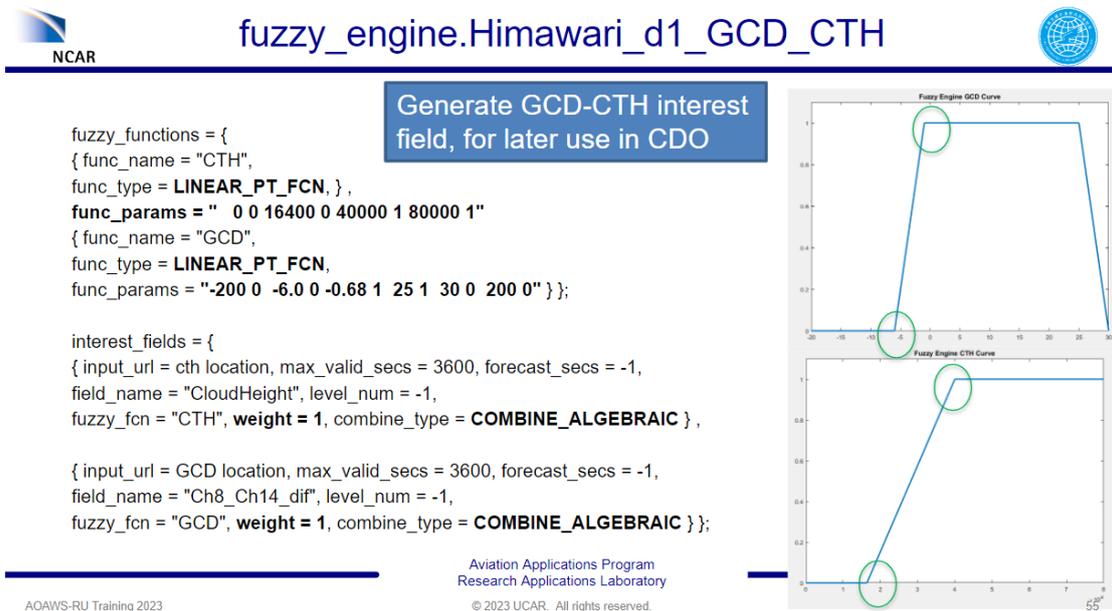


圖 46：GCD-CTH 興趣場設定

圖 47 為結合 GCD-CTH 與過衝雲頂得到 CDO-Lite 的模糊邏輯演算法過程：這裡過衝雲頂使用的是 Step Point Function，-300 到 149 權重為 0，150 到 299 權重為 1，300 到 10000 權重為 0。再用 2 比 1 的權重結合 GCD-CTH 與過衝雲頂高的興趣場，即可得到 CDO-Lite。

Combine GCD-CTH with Overshooting Tops to Build CDO Lite

```
fuzzy_functions = {
  { func_name = "GcdCthCombine",
    func_type = SCALE_FCN,
    func_params = "1",
    {func_name = "OTop",
      func_type = STEP_PT_FCN,
      func_params = "-300 0 149 0 150 1 299 1 300 0 10000 0" };
    // Temperature Range of Valid OTop
  }
  interest_fields = {
    { input_url = file location, max_valid_secs = 3600, forecast_secs = -1,
      field_name = "GCD_CTH_Combine", level_num = -1,
      fuzzy_fcn = "GcdCthCombine",
      weight = 2, combine_type = COMBINE_ALGEBRAIC },
    { input_url = file location, max_valid_secs = 3600, forecast_secs = -1,
      field_name = "Temp", level_num = -1,
      fuzzy_fcn = "OTop", weight = 1, combine_type = COMBINE_ALGEBRAIC };
  }
}
```

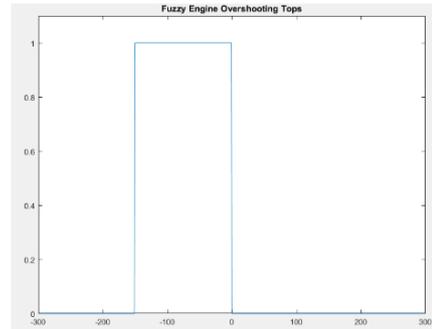


圖 47：CDO Lite 興趣場設定

圖 48 為閃電資料合併的興趣場設定，0 以下權重為 0，大於 0 權重即為 1，而 10 分鐘/30 分鐘/60 分鐘累積閃電均以權重為 1 相合併，所以一個網格如果過去 10 分鐘有閃電發生，CDO 數值會直接多 3。

Simple Linear Combination of Lightning Accumulations for later use in CDO FIR

```
fuzzy_functions =
  { {func_name = "60min_LtgStrikes", func_type = LINEAR_PT_FCN, func_params = "-300 0 0 0 1 1 100000 1"},
    {func_name = "30min_LtgStrikes", func_type = LINEAR_PT_FCN, func_params = "-300 0 0 0 1 1 100000 1"},
    {func_name = "10min_LtgStrikes", func_type = LINEAR_PT_FCN, func_params = "-300 0 0 0 1 1 100000 1"},
    {func_name = "15min_LtgStrikes", func_type = LINEAR_PT_FCN, func_params = "-300 0 0 0 1 1 100000 1"};
}
```

Could use 15 min accumulation if it is built.

```
interest_fields = {
  { input_url = "mdvp://localhost::cth/mdvNc/ltg/10mAccum_10mUp_1gp", max_valid_secs = 3600, forecast_secs = -1,
    field_name = "LtgStrike_10min", level_num = -1,
    fuzzy_fcn = "10min_LtgStrikes", weight = 1, combine_type = COMBINE_ALGEBRAIC },
  { input_url = "mdvp://localhost::cth/MdvNc/ltg/30mAccum_10mUp_1gp", max_valid_secs = 3600, forecast_secs = -1,
    field_name = "LtgStrike_30min", level_num = -1,
    fuzzy_fcn = "30min_LtgStrikes", weight = 1, combine_type = COMBINE_ALGEBRAIC },
  { input_url = "mdvp://localhost::cth/MdvNc/ltg/60mAccum_10mUp_1gp", max_valid_secs = 3600, forecast_secs = -1,
    field_name = "LtgStrike_60min", level_num = -1,
    fuzzy_fcn = "60min_LtgStrikes", weight = 1, combine_type = COMBINE_ALGEBRAIC };
}
```

圖 48：閃電資料合併興趣場設定

如圖 49、圖 50，最終結合 GCD-CTH、過衝雲頂溫度、閃電資料的興趣場，透過 2:1:3 的權重相加即可得到 CDO 的最終數值。以上興趣場均可在相對應的參數檔中進行調整。

```
fuzzy_functions = {
    { func_name = "GcdCthCombine",
      func_type = SCALE_FCN,
      func_params = "1" },

    { func_name = "LtgCombine",
      func_type = LINEAR_PT_FCN,
      func_params = "-300 0 0 0 2 1 10000 1" },

    { func_name = "OTop",
      func_type = STEP_PT_FCN,
      func_params = "-300 0 149 0 150 1 299 1 300 0 10000 0" }; // Temperature Range of Valid OTop
}
```

Combine GCD-CTH, Otops, Lighting Build CDO FIR

圖 49：合併 GCD-CTH、OTOPS、閃電興趣場設定

```
interest_fields = {
  { input_url = "mdvp://localhost:$(PROJECT)/$(OUTPUT_DATA_TYPE)/Himawari_gcd_cth_combine/d2",
    max_valid_secs = 3600, forecast_secs = -1,
    field_name = "GCD_CTH_Combine", level_num = -1,
    fuzzy_fcn = "GcdCthCombine",
    weight = 2,
    combine_type = COMBINE_ALGEBRAIC },
  { input_url = "mdvp://localhost:$(PROJECT)/$(OUTPUT_DATA_TYPE)/satellite/d2/otops.trop/Himawari",
    max_valid_secs = 3600, forecast_secs = -1,
    field_name = "Temp", level_num = -1,
    fuzzy_fcn = "OTop",
    weight = 1,
    combine_type = COMBINE_ALGEBRAIC },
  { input_url = "mdvp://localhost:$(PROJECT)/$(OUTPUT_DATA_TYPE)/ltg/Ltg_Combine",
    max_valid_secs = 3600, forecast_secs = -1,
    field_name = "LtgCombine",
    level_num = -1, fuzzy_fcn = "LtgCombine",
    weight = 3,
    combine_type = COMBINE_ALGEBRAIC };
}
```

圖 50：透過不同權重相加得到最終 CDO 數值

3. 外延法相關參數調整：

(1) MdvResample：

resample_radius = 10

表示距離輸出格點中心特定距離(resample_radius)的範圍，用於重新取樣。

stat_type = STAT_MEDIAN;

選擇取樣方法，選項有：STAT_MAX, STAT_MIN, STAT_MEAN,

STAT_MEDIAN, STAT_MODE_MAX, STAT_MODE_MIN,

STAT_MODE_MEAN, STAT_MODE_MEDIAN, STAT_PERCENTILE

stat_percentile_value = 100;

如果有設定該選項，可以選擇數值大於特定比例的資料，範圍 0 到 100。

(2) MdvSmooth

HalfWin = 1;

定義取樣窗的大小，表示網格本身往外延伸的網格數，設定為 1 時，取樣窗為 3*3 的正方形區域。

MinWinData = 2

取樣窗裡的最小有效格點數，大於等於該值才能做平滑，最小值為 1。

SmoothingMethod = MEDIAN

平滑選項：MIN, MAX, MEAN, MEDIAN, WEIGHTED_MEAN

(3) MdvClump

MinNumPoints = 5;

最小相鄰網格數，小於這個數字會被視為雜訊濾除，以無效值填補。

MaxNumPoints = -1;

最大相鄰網格數，如果超過會被濾除，如果設定為負值則無作用。

(4) CTREC

(※此處參數原始設定為雷達回波版本，應用在 CTH/CDO 需配合資料範圍調整數值)

min_echo = 1.9;

max_echo = 10;

用於追蹤的資料最大最小值，需 \geq 雷達回波門檻值。

max_speed_echo = 30;

資料移動的最大速度(m/s)，須為合理數值，如果不加以限制會影響系統運行速度，也會減少能運算移動場的資料量，因為部分方位可能會超出範圍，該數值最小值為 0。

floor_flg = TRUE;

當該值設定為真，弱回波及無回波資料會由隨機值取代。

thr_dbz = 1.5;

雷達回波閾值，表示大於該數值的回波才會被追蹤/填充。當 floor_flg 設定為真，雷達回波值超出設定範圍者會使用鄰近該數值的隨機值。

del_dbz = 0.4; (for example, CDO)

擾動值：當 floor_flg 設定為真，不在追蹤資料最大最小值範圍的數值，會填補為 thr_dbz - del_dbz 與 thr_dbz + del_dbz 之間的隨機值。

cbox_fract = 90;

相關性方框比例：允許有壞檔案的最大百分比，數值範圍 0 到 100。

cbox_size = 240;

相關性方框大小(公里)：必須 \geq 網格資料空間解析度的 10 倍，最小值為 3，最大值為 1000。

cbox_space = 40;

相關性方框空間解析度(公里)：最終向量網格的空間解析度，須等於資料網格的空間解析度，最小值為 2，最大值為 1000。

thr_cor = 25;

相關係數閾值：當移動向量的相關係數 $\times 100 < \text{thr_cor}$ 則捨棄不用，數值在 0 到 100 之間。

rad_mean = 75;

尋找區域平均移動向量時的最大半徑(公里)：適用於 **thrvect_flg** 為真的情形，對一個移動向量值而言，半徑內至少要有五個有效移動向量，如果數量不足，該移動向量會被捨棄，該向量本身並不列入平均移動向量計算，這數值必須大於 **cbox_space** 的 1.5 倍以確保有足夠的向量數計算區域平均。最小值為 0。

thr_dif = 45;

全域平均差閾值：若移動向量與全域平均值的差距大於該數值將會被捨棄，最小值為 0。

temporal_smoothing_type = SMOOTH_WITH_VECTOR_DIFFERENCE;

時間平滑選項：

SMOOTH_NONE 表示不做時間平滑；

SMOOTH_WITH_PREVIOUS_VECTOR 表示 U/V 向量被前一時間的數值限制改變比例，如果沒有前時間的數值，則不會改變。

SMOOTH_WITH_VECTOR_DIFFERENCE 表示現在的向量跟前一時間的向量的差會被 $(1.0 - \text{temporal_u_percent})$ 或 $(1.0 - \text{temporal_v_percent})$ 減少。

temporal_prev_grid_type = PREV_GRID_SMOOTHED;

用於時間平滑的先前時間網格資料型態：

PREV_GRID_SMOOTHED：使用前一時間經時間平滑的向量網格資料。

PREV_GRID_UNSMOOTHED：使用前一時間未經時間平滑的原始向量網格資料。

PREV_GRID_AVERAGE：使用前兩者的平均。

max_time_between_vectors = 3600;

min_time_between_vectors = 1100;

執行時間平滑時，向量間的時間差範圍(秒)，最小值為 1。

temporal_u_percent = 0.4;

temporal_v_percent = 0.4;

時間平滑變化率，與時間平滑選項有關，最小值為 0：

temporal_prev_u_min = 2;

temporal_prev_u_min = 2;

時間平滑最小 U/V 向量個數設定。

(5) GridForecast

vector_spacing = 4

理想的向量空間解析度設定(公里)，實際情形需參照 CTREC 所得到的運動場。

smoothing_radius = 140

平滑半徑(公里)：選擇任一網格，平滑半徑內的運動向量權重與距離該點距離成反比。

u_field_name = "U_local"

v_field_name = "U_local"

讀取的移動向量場名稱。

image_field_name = "CloudHeight"

設定外延的場量名稱。

image_val_min = 30000

image_val_max = 100000

設定場量的最大最小值。

(四)課堂實作練習：安裝 CTH/CDO 系統

1. 登入 NCAR 測試用主機 aoaws9

2. 切換至 CTH/CDO 專案帳號

```
runas cth
```

3. 用 shared project 下的 proj_install 安裝專案

```
/d1/aoaws/apps/shared/script/proj_install -h
```

proj_install 用法：proj_install project.tar RootDir

```
/d1/aoaws/apps/shared/script/proj_install ~/apps_cth_20230912.tar /d1/aoaws
```

4. 載入所需環境設定：

設定路徑/別名/環境變數，使用 Shared project 的 scrips 與 bin 資料夾

```
source ~/.bashrc
```

5. 開始 CTH/CDO 演算法程序

```
proj_start
```

八 更新機場雲霧與能見度預測產品(Ceiling and Visibility, C&V)

(一)雲霧與能見度預報系統簡介：

雲霧及能見度是航空氣象中，影響機場適航與否的兩個主要條件，也是影響飛安的重要因子，更精準的能見度及雲霧預報有助於飛行的安全性與經濟性。過去數值模式並不提供雲霧及能見度的預測，而全球模式的解析度也不足以產生特定地點(例如機場)。模式輸出統計方法(Model Output Statistics, MOS)是目前發展來協助雲霧及能見度預報的工具，也在現行的航空氣象現代化作業系統(AOAWS)上運作，提供能見度、雲霧高、溫度、氣壓、風場等變數。

模式輸出統計方法是建立數值模式資料以及觀測資料之間的統計關係，利用模式資料(例如 WRF 模式)來預報觀測資料(METAR)，利用多變量線性回歸，得到兩者之間的統計關係式(用於訓練模型)，再用這組關係式對模式輸出結果進行所需變數的預報，如圖 51。如果使用數年的觀測資料進行訓練，可以得到固定的關係式。若模式有顯著調整，則必須重新進行訓練找到新的關係式。利用這組關係式對應新的模式資料輸出 MOS 預報結果。模式輸出統計方法的優點為可以產出模式沒有輸出的變數，只要有好的相關性存在；缺點是沒有物理意義，而且受訓練的資料品質影響很大。

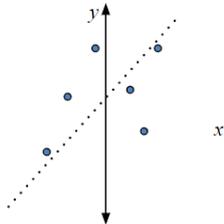


AOAWS MOS System



Creating MOS Equations

- The goal is to fit a line to the data by minimizing the error
- Step-wise variable screening allows multiple predictors, each one reducing the error more
- Using multiple model variables as predictors, a MOS equation is created


$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n$$

Y = predictand, a_n = regression coefficients,
 X_n = predictor variables

AOAWS-RU Training 2023

Aviation Applications Program
Research Applications Laboratory
© 2023 UCAR. All rights reserved.

9

圖 51：MOS 關係式示意圖

除了 MOS，還有其他方法可以預報雲霧及能見度：透過演算法對模式結果進行運算，包含在 WRF 模式後處理(Unified PostProcessor, UPP)中，然後透過分位匹配方法進行校正。AOAWS-RU 更新之雲霧與能見度預報產品就是使用這個方法：首先透過 UPP，從 WRF 模式原始輸出變數計算出雲霧高及能見度，接者利用分位匹配或是偏差校正的方法校正 WRF/UPP 輸出的結果。

統一後處理器(Unified Post Processor, UPP)是美國國家環境預測中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)開發的 WRF 模式後處理程

式，已經過完整的測試並作業化，也於 Github 上開放其 FORTRAN 原始碼。UPP 讀取 WRF 輸出變數，產製雲幕及能見度及其他變數的格點資料。

UPP 雲幕計算同時考慮雲底高及雲覆蓋率，雲層的定義為水滴及冰晶的混合比加總達到 $10^{-6}(\text{kg/kg})$ ；雲覆蓋率採用 16 公里內的平均。由地面往上，當該高度雲覆蓋率 $>50\%$ ，則將該高度視為雲幕；如果都沒有 $>50\%$ ，則設為 20000 公尺，表示沒有雲幕。(圖 52)

```

SUBROUTINE CALCEILING (CLDZ,TCLD,CEILING)
$$$$ SUBPROGRAM DOCUMENTATION BLOCK
!
! SUBPROGRAM: CALCEILING COMPUTES Ceiling
! PRGRMMR: Binbin Zhou /NCEP/EMC DATE: 2005-08-18
!
! ABSTRACT:
! This program computes the ceiling
! Definition: Ceiling is the cloud base height for cloud fraction > 50%
! The cloud base is from sea level in the model, while ceiling
! is from surface. If no ceiling, set ceiling height = 20000 m
!
! USAGE: CALL CALCEILING (CLDZ,TCLD,CEILING)
! INPUT ARGUMENT LIST:
! CLDZ - CLOUD BASE HEIGHT from sea level(M)
! TCLD - TOTAL CLOUD FRACTION (%)
!
! OUTPUT ARGUMENT LIST:
! CEILING - CEILING HEIGHT from surface (m)

```

Aviation Applications Program
Research Applications Laboratory
© 2023 UCAR. All rights reserved.

AOAWS-RU Training 2023 16

圖 52：UPP 中的雲幕高計算

UPP 能見度計算使用的是 Stoelinga-Warner method，使用 WRF 模式最底下幾層的水汽、雲滴、雨滴、雲冰、雪的混合比，每種水相粒子有不同的消散係數，結合計算就可以得到能見度(定義為光源亮度減少 98%)。能見度最大值設定為 24 公里。這裡只考慮水相粒子造成的能見度減弱，不包含煙霧、霾害、吹沙等其它因素的影響。(圖 53、圖 54)

```

*****
SUBROUTINE CALVIS(QV, QC, QR, QI, QS, TT, PP, VIS)
!
! This routine computes horizontal visibility at the
! surface or lowest model layer, from qc, qr, qi, and qs.
! qv--water vapor mixing ratio (kg/kg)
! qc--cloud water mixing ratio (kg/kg)
! qr--rain water mixing ratio (kg/kg)
! qi--cloud ice mixing ratio (kg/kg)
! qs--snow mixing ratio (kg/kg)
! tt--temperature (k)
! pp--pressure (Pa)
!
!
! If iice=0:
!   qprc=qr and qclw=qc if T>0C
!   qcld=qc           =0           =0 if T<0C
!   qsnow=qs and qclice=qc if T<0C
!                   =0           =0 if T>0C
!
! If iice=1:
!   qprc=qr+qs and qclw=qc
!   qcld=qc+q1 qsnow=qs and qclice=qc
!
! Independent of the above definitions, the scheme can use different
! assumptions of the state of hydrometeors:
! meth='d': qprc is all frozen if T<0, liquid if T>0
! meth='b': Bocchieri scheme used to determine whether qprc
! is rain or snow. A temperature assumption is used to
! determine whether qcld is liquid or frozen.
! meth='r': Uses the four mixing ratios qrain, qsnow, qclw,
! and qclice
!

```

Aviation Applications Program
Research Applications Laboratory

圖 53 : UPP 能見度計算—水相粒子混合比

```

! The routine uses the following
! expressions for extinction coefficient, beta (in km**-1),
! with C being the mass concentration (in g/m**3):
!
!   cloud water: beta = 144.7 * C ** (0.8800)
!   rain water:  beta =  2.24 * C ** (0.7500)
!   cloud ice:   beta = 327.8 * C ** (1.0000)
!   snow:       beta = 10.36 * C ** (0.7776)
!
! These expressions were obtained from the following sources:
!
!   for cloud water: from Kunkel (1984)
!   for rainwater:  from M-P dist'n, with No=8e6 m**-4 and
!                   rho_w=1000 kg/m**3
!   for cloud ice:  assume randomly oriented plates which follow
!                   mass-diameter relationship from Rutledge and Hobbs (1983)
!   for snow:      from Stallabrass (1985), assuming beta = -ln(.02)/vis
!
! The extinction coefficient for each water species present is
! calculated, and then all applicable betas are summed to yield
! a single beta. Then the following relationship is used to
! determine visibility (in km), where epsilon is the threshold
! of contrast, usually taken to be .02:
!
!   vis = -ln(epsilon)/beta      [found in Kunkel (1984)]
!

```

Aviation Applications Program
Research Applications Laboratory

圖 54 : UPP 透過消光係數計算能見度

AOAWS-RU 更新後的雲霧及能見度預報產品有以下特性：(1)使用氣象署 WRF 模式。(2)每日更新 4 次。(3)空間解析度高(3KM)。(4)預報延時長達數日 (~120HR)。(5)其它 AOAWS-RU 子系統也可以使用 UPP 資料。雲霧與能見度預報演算法產品資料流程如圖 55。

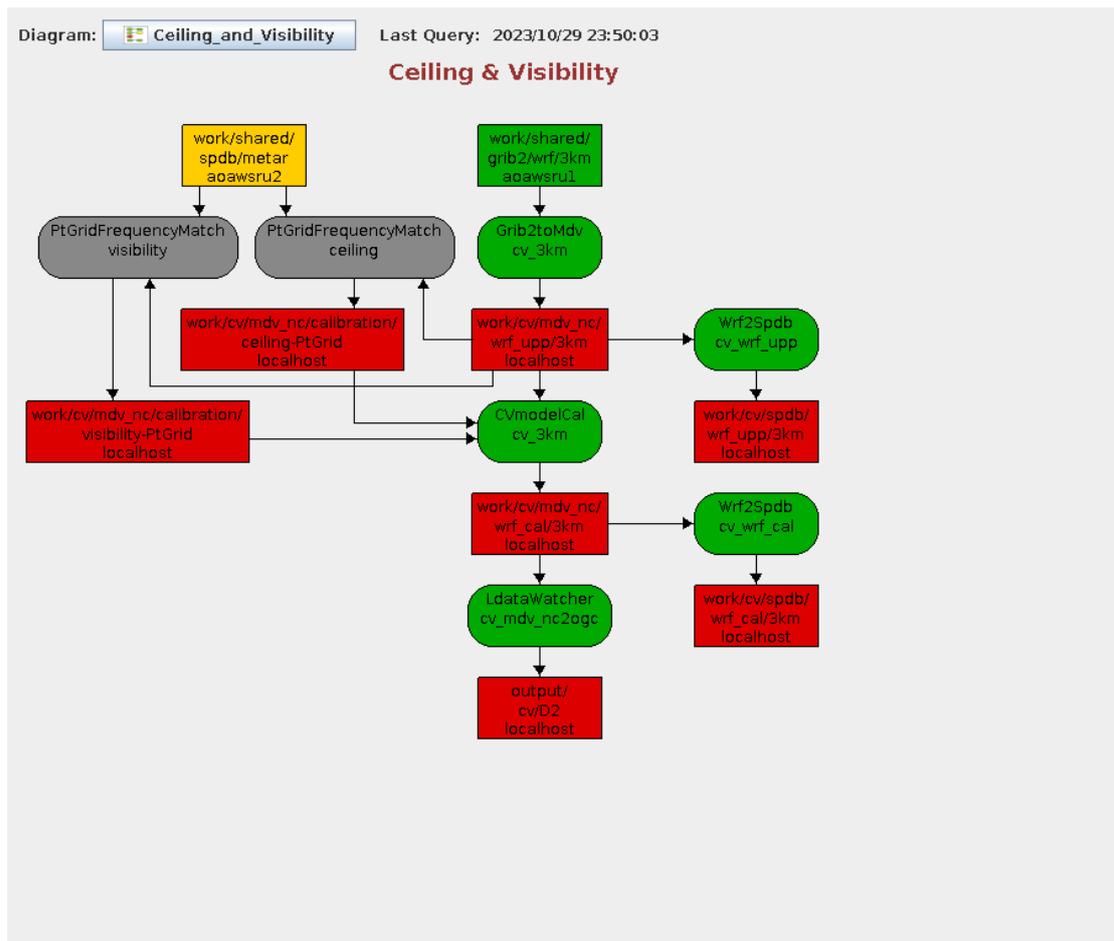


圖 55：雲幕與能見度預報產品資料流程圖

(二) 預報校正分位匹配法(Forecast CALibration Quantile Matching, FOCAL-QM)：

校正(calibrate)是指對模式預報結果在一定範圍內進行調整，移除模式偏差。預報校正分位匹配法(FOCAL-QM)使用 30 天的觀測資料進行校正，這樣的時間長度足夠讓顯著的低雲低能見度事件被納入計算，又不會太常受到季節變化干擾。校正每天會對各機場觀測點，分別做一次能見度跟雲幕的校正，利用一天四筆的模式 1-6 小時預報資料及觀測資料，得到的校正係數會用於下一組數值模式輸出結果，就可以得到校正過後的雲幕及能見度預報。圖 56 為 FOCAL-QM 資料處理流程圖。

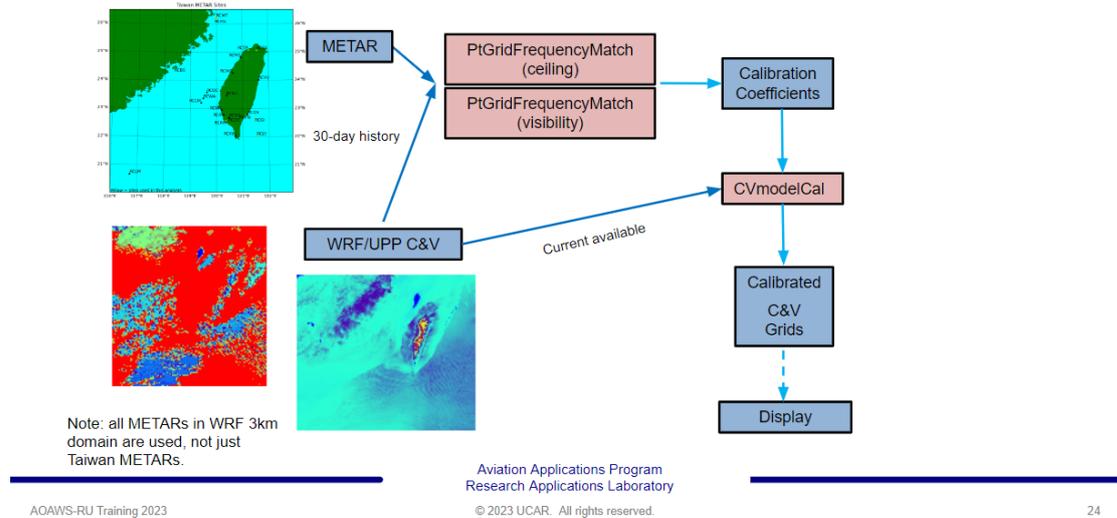
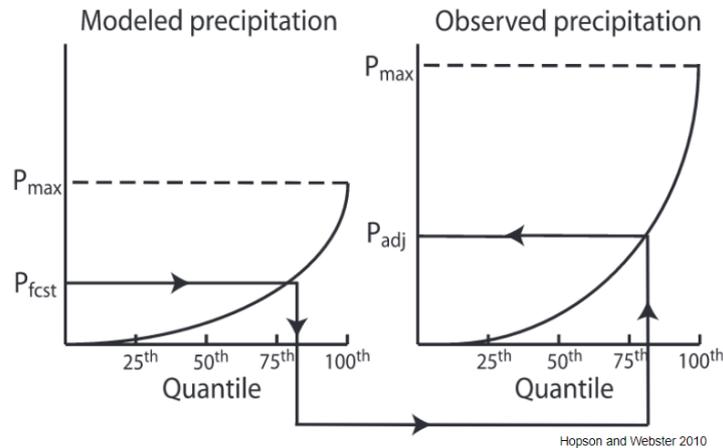


圖 56：FOCAL-QM 資料流程圖

分位匹配法(Quantile Matching, QM)是比較模式與觀測資料的累積機率密度函數(cumulative density functions, CDFs)，CDFs 是用一組閾值範圍來定義，在低雲霧/低能見度時，閾值間會更接近，閾值也包含特定的飛航天氣標準，例如目視標準(5000m/1500ft)。QM 技術主要是調整模式的頻率分布來匹配觀測數據，預報數值的分位數對應到觀測資料的同一分位數，然後以觀測資料該分位數對應之數值為校正後之數值(如圖 57)。每個觀測站個別調整而不是對整個模式使用單一數值校正。

校正係數每日更新，使用 30 天的模式及觀測資料，每個變數每個區間都有不同的校正係數。大約會有 15 個閾值區間，所以當資料數值越大的時候，區間的閾值範圍會越寬。當有新一輪的模式資料，就可以用最新的校正係數對模式預報結果進行調整。校正本身有個範圍限制，避免過度校正。校正調整一般用在特定氣象測站，但也會影響到鄰近的測站。

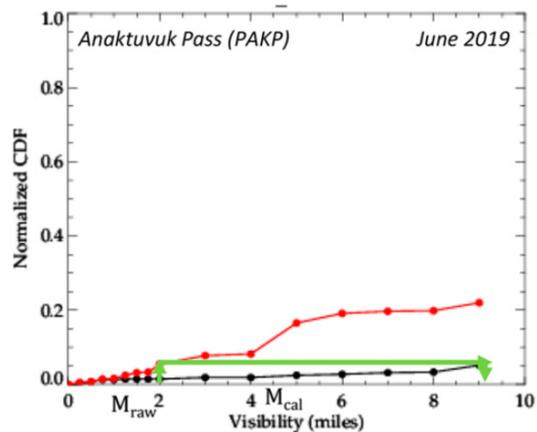


Aviation Applications Program
Research Applications Laboratory
© 2023 UCAR. All rights reserved.

圖 57：累積機率分布校正範例

分位匹配法有以下的限制：(1)校正只是一種調整，在模式過度預報的時候會有比較好的表現，而目前數值模式的表現仍有其極限。(2)過度匹配：模式原始數值可能被過度校正，所以必須加以限制，目前校正後的數值必須在原始數值的 50%到 200%之間，如圖 58。(3)觀測的限制：儀器的品質與維護是重要議題；而在地形複雜的區域，觀測的再現性很低；煙霧、吹沙、霾害等非水相視障可能會影響到觀測數值。

- Model predicts 2 mile visibility but it's probability of occurrence matches the obs at ~9 miles
- For this reason limits of 50% - 200% are used
- Values are not changes more than this amount



Pinto et al. 2020

圖 58：過度校正範例

為了能夠校正不在觀測點上的模式網格，對 6*6 的網格範圍使用距離權重平均關係(每個閾值區間獨立計算)，如圖 58 為阿拉斯加的實驗範例，測站

周圍 65 公里範圍的網格，都會受到雲幕/能見度校正係數的影響。

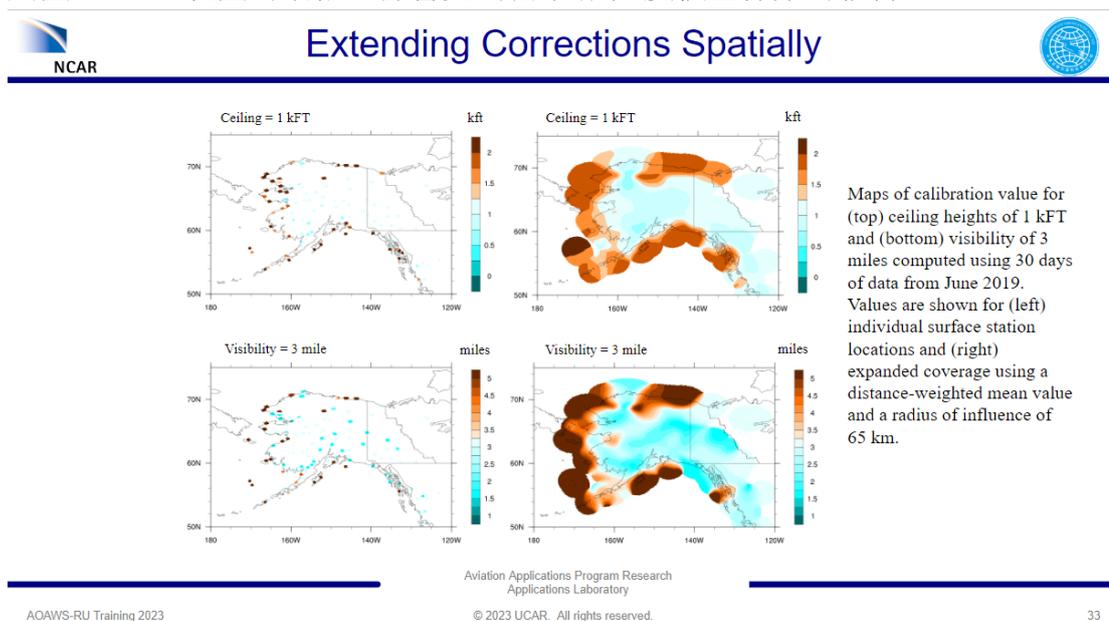


圖 58：擴展校正係數空間範圍

(三) FOCAL-QM 參數設定：

1. 雲幕分位(Ceiling Quantiles)：

FOCAL-QM 用於調整 WRF-UPP 輸出的雲幕數值，使其具有與觀測資料相符的統計特性。每個分位即為特定閾值的區間，FOCAL-QM 中設定了 14 個分位，包含目視天氣/儀器天氣的門檻值(1500ft)。

Quantile	Meters (feet)	Flight Category
1	30.48 (100)	LIFR
2	91.44 (300)	LIFR
3	152.4 (500)	IFR
4	304.8 (1000)	MVFR
5	457.2 (1500)	MVFR
6	609.6 (2000)	MVFR
7	762.0 (2500)	MVFR
9	1066.8 (3500)	VFR
10	1219.2 (4000)	VFR
11	1371.6 (4500)	VFR
12	1524.0 (5000)	VFR
13	2133.6 (7000)	VFR
14	3049.0 (10003.28)	VFR

參數設定檔如圖 59。

```

//////////////////////////////// thresh //////////////////////////////////
//
// Thresholds for calculating frequencies at each station location.
//
//
// Type: float
// 1D array - variable length.
//

thresh = {
  30.48,
  91.44,
  152.4,
  304.8,
  457.2,
  609.6,
  762,
  914.4,
  1066.8,
  1219.2,
  1371.6,
  1524,
  2133.6,
  3049.0
};

```

圖 59：雲霧分位值設定檔

2. 能見度分位(Visibility Quantiles)：

FOCAL-QM 用於調整 WRF-UPP 輸出的能見度數值，使其具有與觀測資料相符的統計特性。每個分位即為特定閾值的區間，FOCAL-QM 中設定了 14 個分位，包含目視天氣/儀器天氣的門檻值(1500ft)。

Quantile	Meters (miles)	Flight Category
1	100 (0.06)	LIFR
2	200 (0.12)	LIFR
3	500 (0.31)	LIFR
4	1000 (0.62)	LIFR
5	1500 (0.93)	LIFR
6	2000 (1.24)	IFR
7	2500 (1.55)	IFR
8	3000 (1.86)	IFR

9	3500 (2.17)	IFR
10	4000 (2.49)	IFR
11	4500 (2.79)	IFR
12	5000 (3.10)	MVFR
13	7000 (4.35)	MVFR
14	10000 (6.21)	VFR

參數設定檔如圖 60。

```

//////////////////////////////// thresh //////////////////////////////////
//
// Thresholds for calculating frequencies at each station location.
//
//
// Type: float
// 1D array - variable length.
//

thresh = {
  100,
  200,
  500,
  1000,
  1500,
  2000,
  2500,
  3000,
  3500,
  4000,
  4500,
  5000,
  7000,
  10000
};

```

圖 60：能見度分位值設定檔

3. 過度匹配(Overfitting)限制項：

該項參數設定避免模式輸出結果被過度修正，min_thresh_frac_limit 為修正後數值比例下限；max_thresh_frac_limit 為修正後數值比例上限，如圖 61。

```
////////// min_thresh_frac_limit //////////  
//  
// Multiples calibrating threshold to find the minimum value allowed.  
//  
// min value allowed = min_thresh_frac_limit * level.  
//  
//  
// Type: float  
//  
  
min_thresh_frac_limit = 0.25;  
  
////////// max_thresh_frac_limit //////////  
//  
// Multiples calibrating threshold to find the maximum value allowed.  
//  
// max value allowed = max_thresh_frac_limit * level.  
//  
//  
// Type: float  
//  
  
max_thresh_frac_limit = 2;
```

圖 61：修正數值比例限制

4. 模式訓練時間設定(freq_num_days)：太短會抓不到顯著事件；太常會被季節變化干擾，如圖 62。

```
////////// freq_num_days //////////  
//  
// Number of days in Frequency calculation.  
//  
//  
// Type: int  
//  
  
freq_num_days = 30;
```

圖 62：模式訓練時間設定

5. 資料範圍限制：在 QC 之前，設定數值上限，超過的數值剔除，不列入頻率計算。雲霧限制 = 3048(m) = 10000(ft)，能見度限制 = 10000(m) = 32808(ft)，如圖 63、圖 64。

```

//////////////////////////////// data_limits //////////////////////////////////
//
// Option to limit the data values.
//
// If limit_min_value is true, all data values less than min_data_value
// will be set to that value. If limit_max_value is true, all data
// values greater than max_data_value will be set to that value. For
// ceiling and visibility Metar2Spdb sets these to STATION_NAN or 262144
// if the are unlimited. Therefore, it is recommended to always limit
// the max_value so that these are not thrown out in the
// data_quality_thresholds step.
//
//
// Type: struct
// typedef struct {
//     boolean limit_min_value;
//     float min_data_value;
//     boolean limit_max_value;
//     float max_data_value;
// }
//
//
data_limits = {
    limit_min_value = FALSE,
    min_data_value = 0,
    limit_max_value = TRUE,
    max_data_value = 10000
};

```

```

//////////////////////////////// data_limits //////////////////////////////////
//
// Option to limit the data values.
//
// If limit_min_value is true, all data values less than min_data_value
// will be set to that value. If limit_max_value is true, all data
// values greater than max_data_value will be set to that value. For
// ceiling and visibility Metar2Spdb sets these to STATION_NAN or 262144
// if the are unlimited. Therefore, it is recommended to always limit
// the max_value so that these are not thrown out in the
// data_quality_thresholds step.
//
//
// Type: struct
// typedef struct {
//     boolean limit_min_value;
//     float min_data_value;
//     boolean limit_max_value;
//     float max_data_value;
// }
//
//
data_limits = {
    limit_min_value = FALSE,
    min_data_value = 0,
    limit_max_value = TRUE,
    max_data_value = 3048
};

```

圖 63：資料數值上限設定

```

//-----
//
// Point Frequency Algorithm settings.
//
//-----

////////// data_quality_thresholds //////////
//
// Values outside this range will not be used in the frequency
// calculations.
//
//
// Type: struct
// typedef struct {
//     float min_accepted_value;
//     float max_accepted_value;
// }
//
//
data_quality_thresholds = {
    min_accepted_value = 0,
    max_accepted_value = 10000
};

```

```

//-----
//
// Point Frequency Algorithm settings.
//
//-----

////////// data_quality_thresholds //////////
//
// Values outside this range will not be used in the frequency
// calculations.
//
//
// Type: struct
// typedef struct {
//     float min_accepted_value;
//     float max_accepted_value;
// }
//
//
data_quality_thresholds = {
    min_accepted_value = 0,
    max_accepted_value = 3048
};

```

圖 64：資料數值範圍限制

6. 距離權重關係(Distance Weighting)：
網格化的校正值為鄰近測站校正值的加權平均。

$$F_{\text{cal}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{station}}} w_i F_{\text{cal}_i}}{\sum_{i=1}^{n_{\text{station}}} w_i},$$

其中 F_{cali} 為 200 公里內鄰近測站的校正值，共有 n 個測站。 $W_i = \min[1, (D_s - D_i)/150]$ ， $D_s = 200$ ， D_i = 測站與網格點之間的距離。距離設定圖 65。

```
////////// grid_radius_km //////////////////////////////////////
//
// Gridding radius in kilometers.
//
//
// Type: float
//
grid_radius_km = 100;

////////// grid_weighted_distance_km //////////////////////////////////////
//
// Distance in kilometers in which to give full weight to a point.
//
// After this distance the weight decreases by
// grid_weighted_distance_km/distance.
//
// Minimum val: 0.001
//
// Type: float
//
grid_weighted_distance_km = 25;
```

圖 65：距離權重關係的距離值設定

7. 平滑(smooth)：設定要平滑的半徑大小及平滑化的方法，如圖 66。

```
////////// smooth_data //////////////////////////////////////
//
// Option to smooth the final output.
//
//
// Type: boolean
//
//smooth_data = FALSE;
smooth_data = TRUE;

////////// smoothing_radius_km //////////////////////////////////////
//
// Smoothing radius in kilometers.
//
//
// Type: int
//
smoothing_radius_km = 32;

////////// smoothing_method //////////////////////////////////////
//
// What type of smoothing should be applied to the data?.
//
//
// Type: enum
// Options:
//   SMOOTH_MIN
//   SMOOTH_MAX
//   SMOOTH_MEAN
//   SMOOTH_MEDIAN
//
smoothing_method = SMOOTH_MEAN;
```

圖 66：平滑參數設定

(四) FOCAL-QM 相關應用程序：

參考前述雲幕及能見度預報資料流程圖(圖 55)

1. UPP：WRF 模式後處理器，產出雲幕及能見度網格預報資料。
2. Metar2Spdb：將 ASCII 格式之觀測報文 METAR 轉為 SPDB 格式，解碼所有的 METAR/SPECI 報文。對應的參數檔如圖 67，包含：(1)輸入/輸出的資料夾位置。(2)邊界過濾值。(3)除錯參數。圖 68 為執行 Metar2Spdb 解資料的範例。



圖 67：Metar2Spdb 資料輸入/輸出資料夾設定

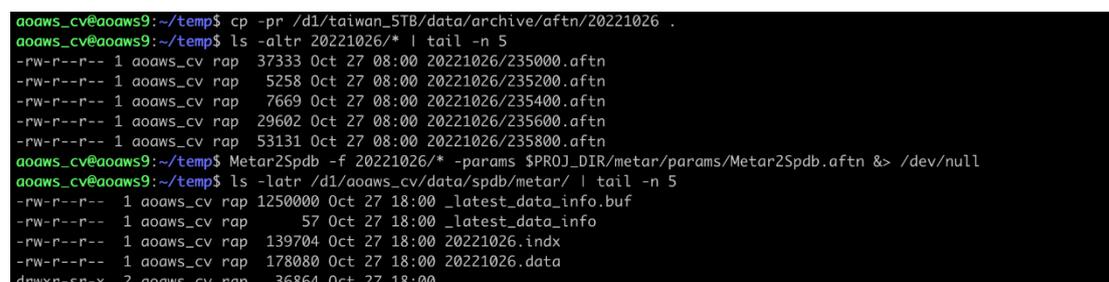


圖 68：執行 Metar2Spdb 轉檔範例

3. PtGridFrequencyMatch：該程式利用過去 30 天的觀測(METAR in SPDB)及模式資料(WRF in mdv_nc)進行訓練，找出各分位的校正係數。下方為計算 2023 年 9 月 1 日能見度校正值的範例。

```
[cv@aoawsrul cv]$ bin/PtGridFrequencyMatch -time "2023 09 01 00 00 00" --
params config/PtGridFrequencyMatch.visibility
```

4. CVmodelCal：該程式利用 PtGridFrequencyMatch 計算出的校正係數，校正模式預報資料得到雲幕及能見度最終的預報值。下方為計算使用 2021 年 7 月 22 日 06Z 模式預報資料輸出 6 小時後雲幕高的範例：

```
./CVmodelCal -
params ../../projects/taiwan/params/CVmodelCalTaiwan.WRF_3km -f
/d1/ceiling/taiwan/save/raw/WRF_3km/mdv/20210722/g_060000/f_00003600.m
dv.cf.nc
```

- SpdbQuery：解碼特定時間區段的 METAR 資料，如圖 69，下方為

```
../shared/bin/SpdbQuery -url ${SHARED_DATA_DIR}/spdb/metar -start "2023
09 01 00 00 00" -end "2023 09 01 23 59 59"
```

The screenshot displays the SpdbQuery application window. At the top, there are logos for NCAR and a globe, and the title 'SpdbQuery'. The main content area is split into two panels. The left panel shows a 'Weather observation' for station RCSS, including station details, time (2023/09/01 00:00:00), and METAR strings. Below this, it lists 'FIELD data' with various weather parameters like temperature, dewpoint, humidity, wind, and visibility. The right panel shows the same data in a more structured format, with 'Data for weather observation' and 'Weather observation' sections. A blue arrow labeled '/RC' points to the station ID 'RCSS' in the left panel. At the bottom, there is a footer with 'AOAWS-RU Training 2023', 'Aviation Applications Program Research Applications Laboratory', and '© 2023 UCAR. All rights reserved.' along with the page number '34'.

圖 69：解譯後的 METAR 觀測資料

- Wrf2Spdb：將 WRF 模式範圍內，對應測站位置的網格資料轉為 SPDB 格式，需要各機場測站位置，用於校正。底下為執行範例：

```
wrf2Spdb -ff_00086400.mdv.cf.nc -params Wrf2Spdb.wrf_cal
```

(五) 課堂實作練習：

- 執行 C&V 演算法：
 - 安裝 C&V 演算法：

```
/d1/aoaws/apps/shared/script/proj_install apps_cv_20230913.tar /d1/aoaws
```
 - 啟動 C&V 演算法：

```
/d1/aoaws/apps/shared/script/proj_start
```
 - 使用 print_procmap 跟 PrintDataMap 兩個指令檢視程序執行與資料到位情形。
 - 檢查 log 檔。
 - 用 nview 檢視輸出檔案。
- 增加通過變數：
 - 決定新變數名稱，檢視 UPP 輸出檔。

- (2) 更改 Grib2toMdv 參數檔中 out_fields 設定。
- (3) 手動執行 Grib2toMdv。
- (4) 手動執行 CVmodelCal。
- (5) 用 ncview 檢視輸出檔案是否包含新變數。
3. 變更校正係數訓練時間：
 - (1) 更改 PointGridFrequencyMatch 之對應參數檔中 freq_num_days 設定。
 - (2) 重新執行 PointGridFrequencyMatch。
 - (3) 手動執行 CVmodelCal。
 - (4) 用 ncview 或 ncdiff 檢視輸出檔案是否改變。
4. 變更輸入之 WRF 模式檔案：
 - (1) 找到更動後的 WRF-UPP 檔案，檢查是否有所需變數。
 - (2) 更改 PointGridFrequencyMatch 之對應參數檔中輸入檔案位置。
 - (3) 重新執行 PointGridFrequencyMatch。
 - (4) 手動執行 CVmodelCal。
 - (5) 用 ncview 或 ncdiff 檢視輸出檔案是否改變。
5. 變更校正訓練參數檔
 - (1) 更改 PointGridFrequencyMatch 之對應參數檔中 input_skip_pat 設定。
 - (2) 重新執行 PointGridFrequencyMatch。
 - (3) 手動執行 CVmodelCal。
 - (4) 用 ncview 或 ncdiff 檢視輸出檔案是否改變。

九 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 雷達合成回波觀測及劇烈天氣監測系統 (QPESUMS) 雷達估計降雨率等資料, 透過擴充結合系統產製 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。ASPIRE 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。擴充結合系統為透過歷史預報績效分數分別給定 NCAR 外延法及調整 (模式誤差校驗及雷達回波位置調整) 過 RWRF 模式預報權重, 並計算兩者結合後之預報, 以此產製 0 至 5 小時預報, 6 至 8 小時則使用校驗過 RWRF 模式預報。ASPIRE 產品特色如圖 70 所示。

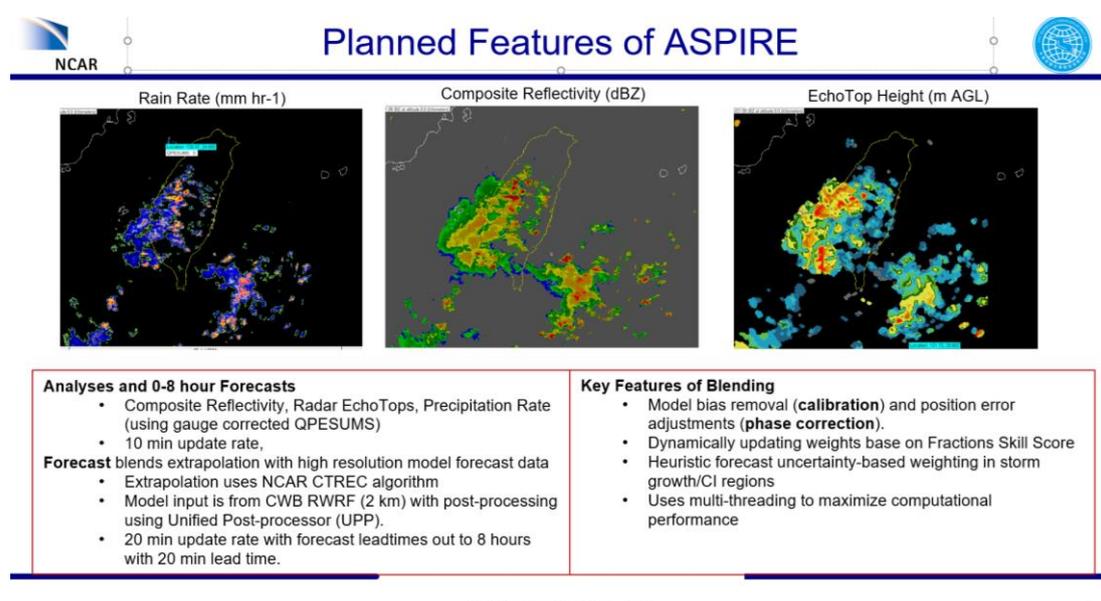


圖 70：ASPIRE 產品及其特色。

ASPIRE 演算法係由 7 個模組組成如圖 71 所示, 分別是資料輸入、雷達資料預處理、外延法、校驗、相位調整 (phase correction)、結合統計及結合。

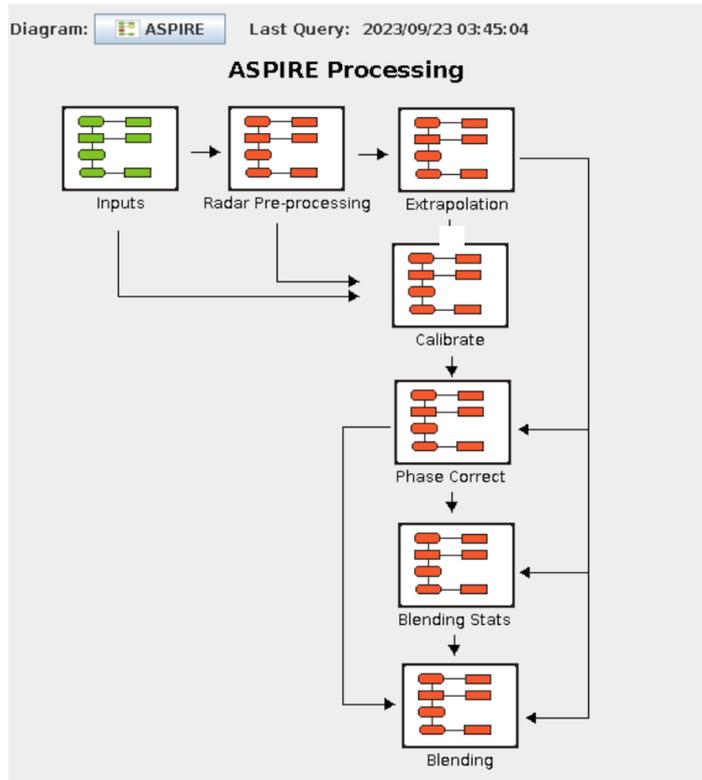


圖 71：ASPIRE 模組程序及資料流程圖。

- (一) 資料輸入處理模組如圖 72 所示，總共處理 2 維雷達合成回波、3 維雷達合成回波、QPESUMS 降雨率及 RWRf 模式等 4 種資料。其中 3 維雷達合成回波將用來計算觀測之回波頂高度。RWRf 模式資料將使用模式後處理程序 (UPP) 計算模式雷達回波、模式回波頂及模式降雨率資料。

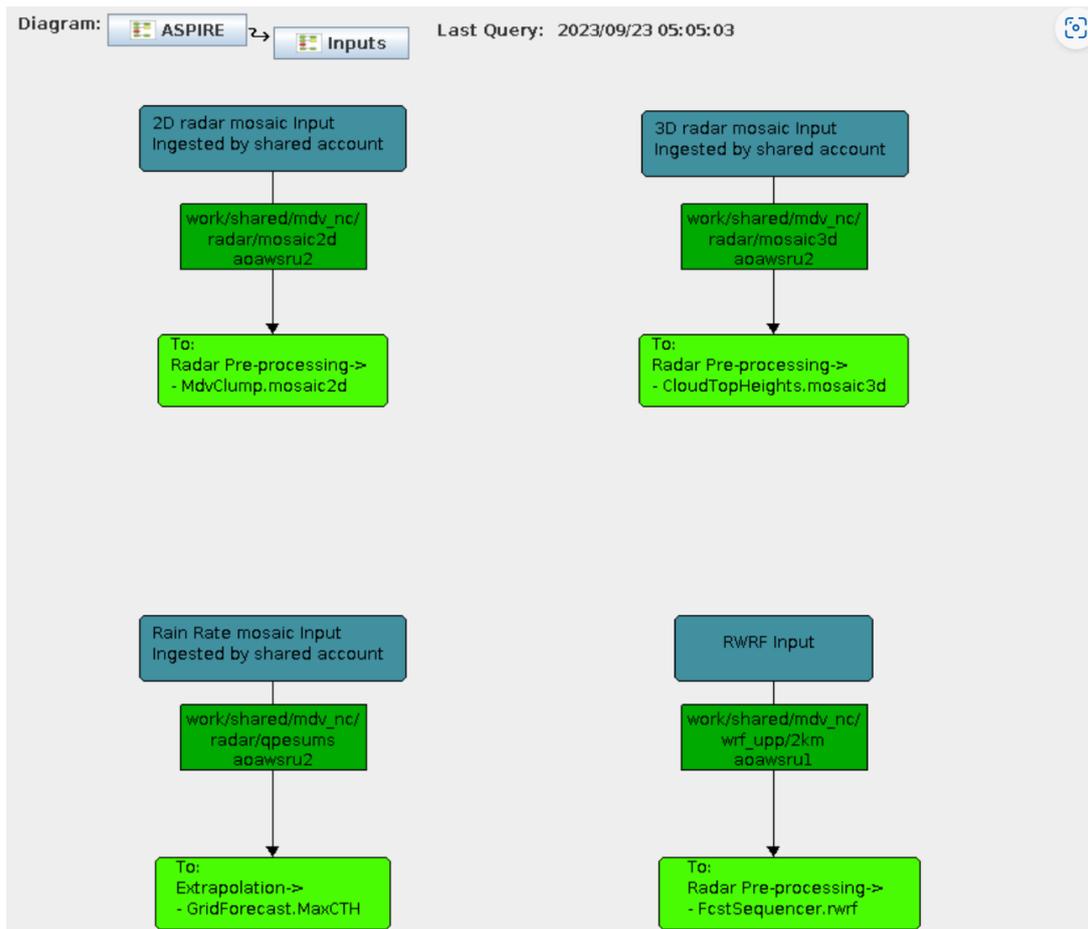


圖 72：ASPIRE 資料輸入處理模組。

(二) 雷達資料預處理分成 2 維雷達及 3 維雷達回波觀測資料處理，處理流程如圖 73 所示。為使後續外延法預報結果最佳化，2 維雷達回波觀測資料須經過 MdvThresh、MdvClump 及 mit_storm_filter 等 3 個程序處理。

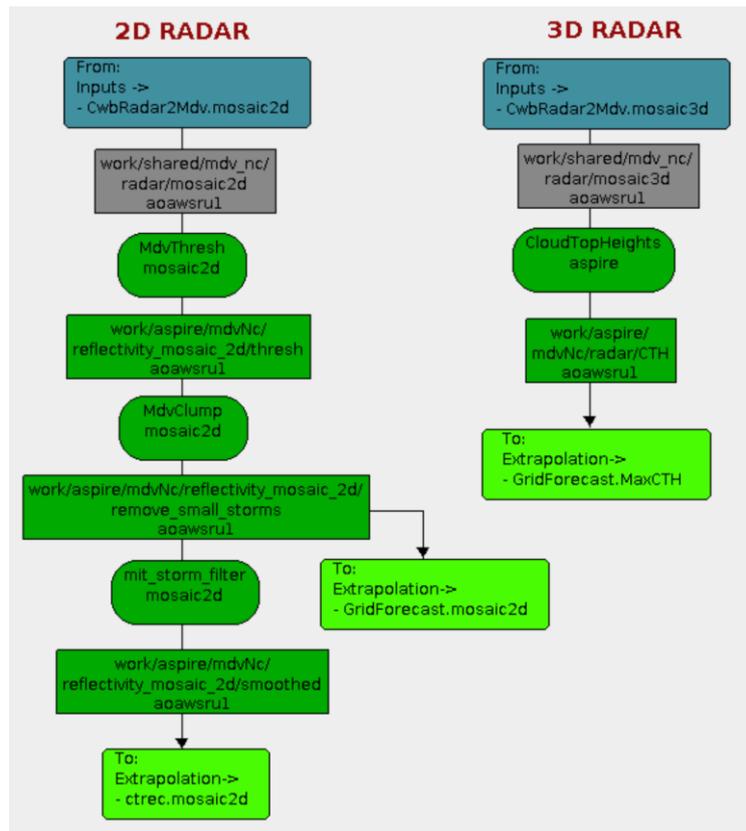


圖 73：ASPIRE 雷達資料預處理流程。

下為雷達資料預處理 3 個程序目的及輸入及輸出資料格式。

1. **MdvThresh：**
 移除回波值低於 0，設定無雷達回波區域均為黑色（沒有值），結果如圖 74 所示。
 輸入及輸出資料格式：2 維雷達回波，值大於 0 之 2 維雷達回波。
2. **MdvClump：**
 移除風暴區域小於 6 個鄰近格點，由於小區域風暴移動不易預報，故直接移除。經此程序雷達回波圖會變得比較乾淨，結果如圖 75 所示。
 輸入及輸出資料格式：2 維雷達回波，2 維雷達回波。
3. **mit_storm_filter：**
 此程序目的為使雷達回波分布變得更加平滑，範圍為半徑 4 個格點之圓，範圍內的值均為回波值平均，經此程序後 CTREC 程序會有最佳化表現，結果如圖 76 所示。
 輸入及輸出資料格式：2 維雷達回波，值大於 0 之 2 維雷達回波。

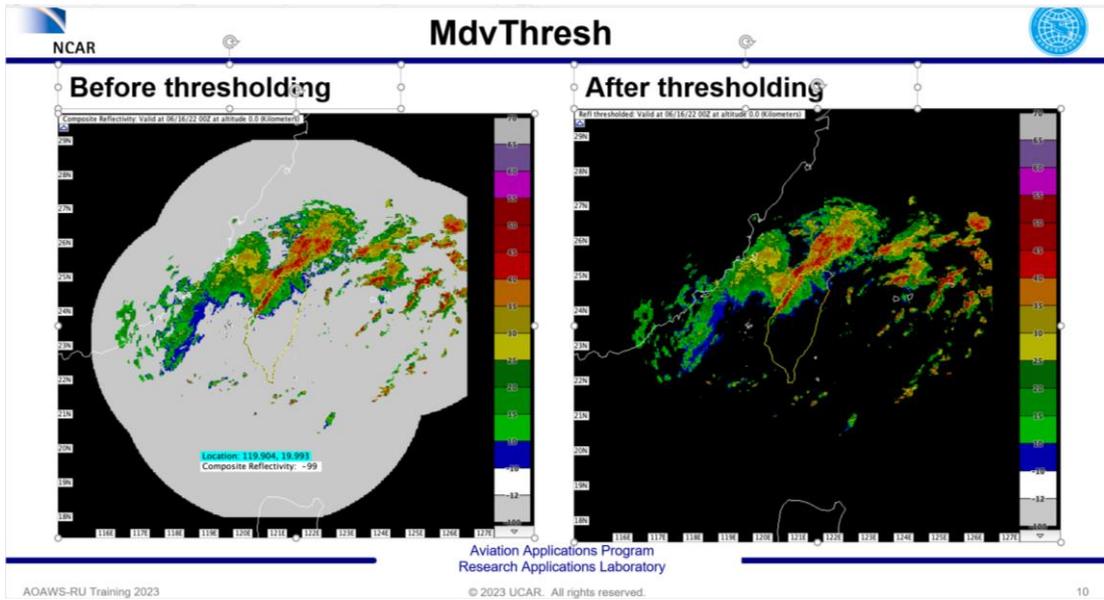


圖 74：經 MdvThresh 程序處理前後雷達回波圖。

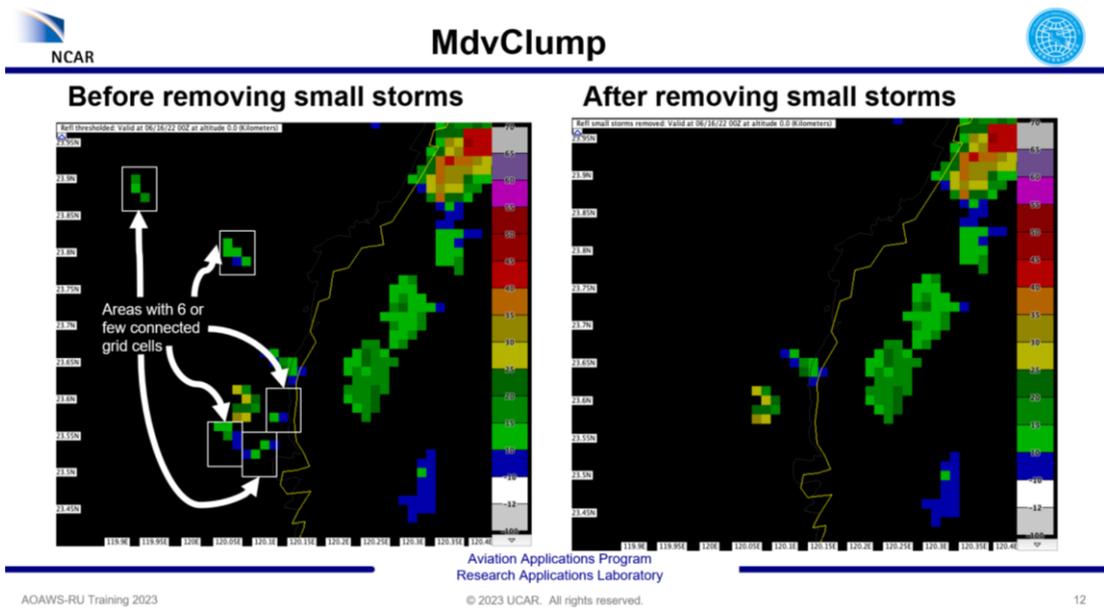


圖 75：經 MdvClump 程序處理前後雷達回波圖。

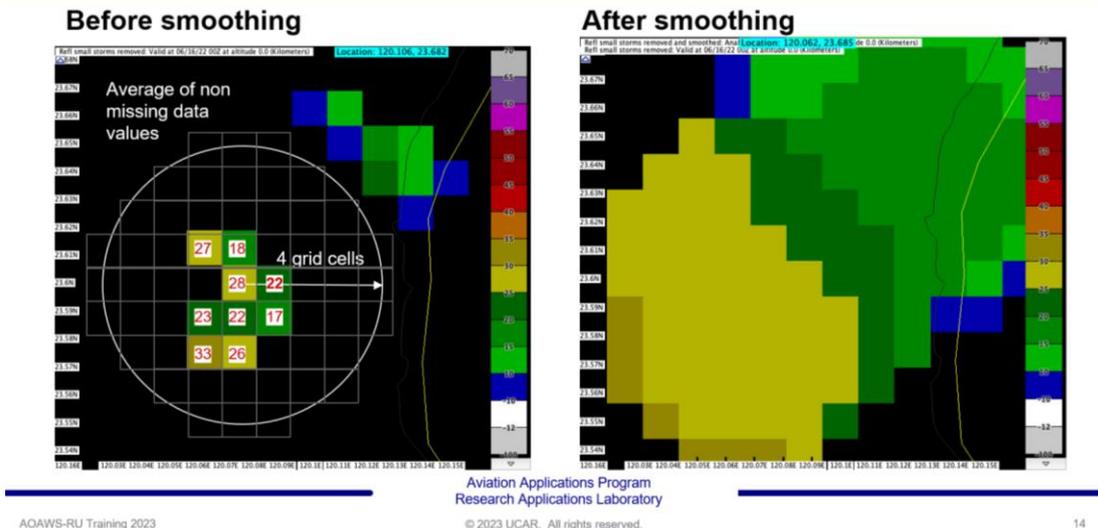


圖 76：經 mit_storm_filter 程序處理前後雷達回波圖。

(三) ASPIRE 外延法模組目的係利用 CTREC 方法產製 0 至 5 小時雷達回波、回波頂高度及降雨率預報，如圖 77 所示，有 CTREC 及 GridForecast 等 2 個程序，CTREC 計算出格點移動方向及速度後，再用 GridForecast 程序去分別計算下個時間點雷達回波、回波頂高度及降雨率資料。

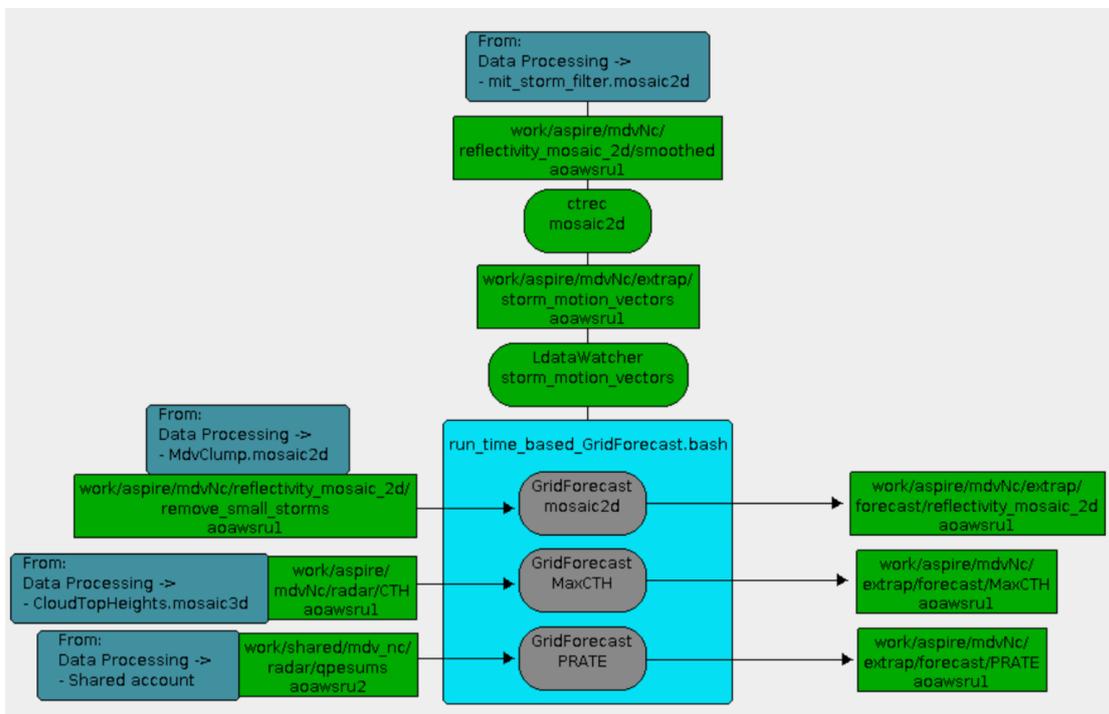


圖 77：ASPIRE 外延法模組程序及資料流程圖。

下為 ASPIRE 外延法模組 2 個程序目的及輸入及輸出資料格式。

1. CTREC (Cartesian Tracking Radar Echo by Correlation) :

以最近 2 個時間之觀測雷達回波去計算有回波值格點之移動方向及速度。相關參數設定如圖 78。其中 CTREC 相關係數計算方法為選取一個範圍，在這個範圍內以更小範圍計算對流胞在下一個時間之位置相關係數 R，本程序中選取範圍大小為 75 公里正方形，更小範圍為 25 公里正方形，間隔時間為 20 分鐘， $r_{Max} = V\Delta t$ ， $\Delta t=20$ 分鐘，如找到 R=1 的正方形範圍，則 r_{Max} 為兩個正方形距離，依前述公式計算速度即為雷達回撥速度。此程序最後使用平滑處理資料，使雷達回波分布更加平滑，GridForecast 程序才能有最佳表現。CTREC 程序計算結果如圖 79 所示。

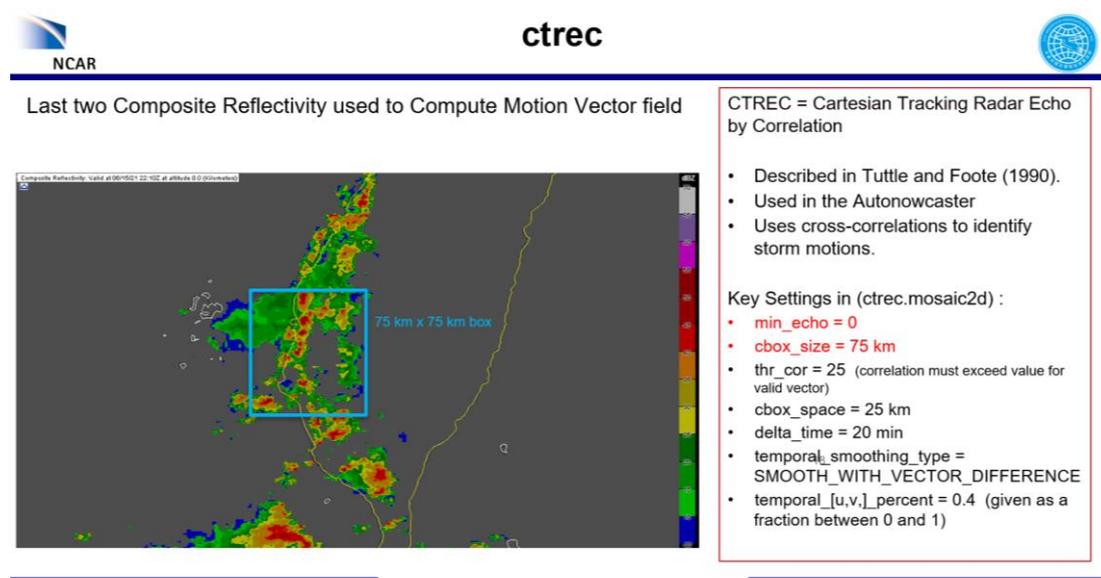
輸入及輸出資料：平滑化 2 維雷達回波，u 及 v 速度場。

2. GridForecast：

以 CTREC 計算之移動方向及速度去平滑雷達回波、回波頂高度及降雨率，以得到下一個預報時間點之雷達回波、回波頂高度及降雨率。GridForecast 程序計算結果如圖 80 所示。

輸入及輸出資料：2 維雷達回波、回波頂高度、降雨率及 u、v 雷雨胞移動場，預報時間為 0 至 5 小時之 2 維預報雷達回波、回波頂高度及降雨率。

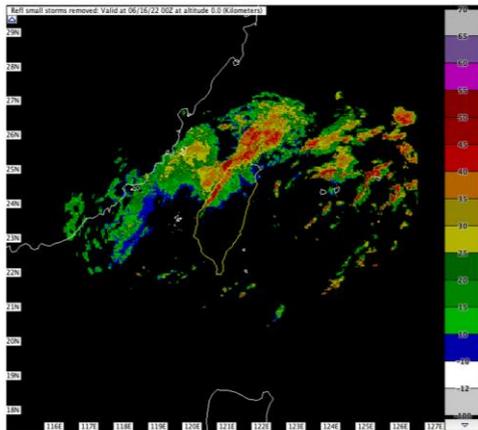
重要參數：smoothing_radius 表示某一個格點上 u 及 v 速度的影響力與距離成反比。mask_forecast 設定無雷達回波範圍值均為 0。



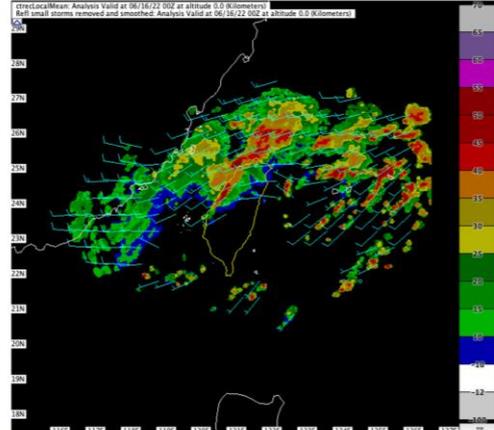
© 2023 UCAR. All rights reserved.

圖 78：ASPIRE 模組 CTREC 參數設定。

Before smoothing



After smoothing with ctrec motions



Aviation Applications Program
Research Applications Laboratory

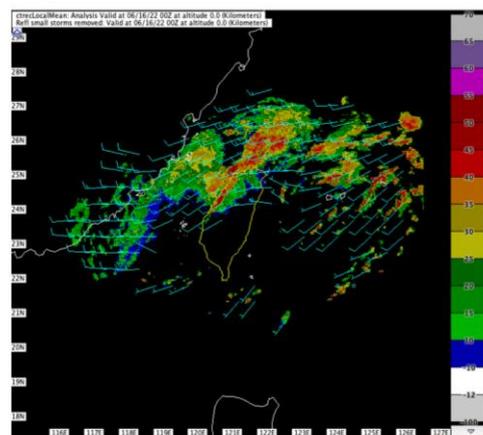
AOAWS-RU Training 2023

© 2023 UCAR. All rights reserved.

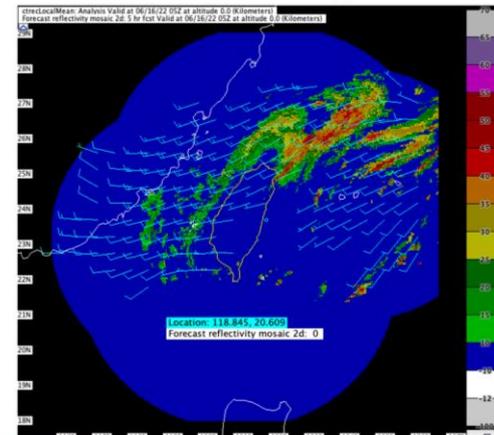
22

圖 79：CTREC 程序處理後得到每個格點上回波值之移動方向及速度。

Inputs



5 hour forecast showing masked area



Aviation Applications Program
Research Applications Laboratory

AOAWS-RU Training 2023

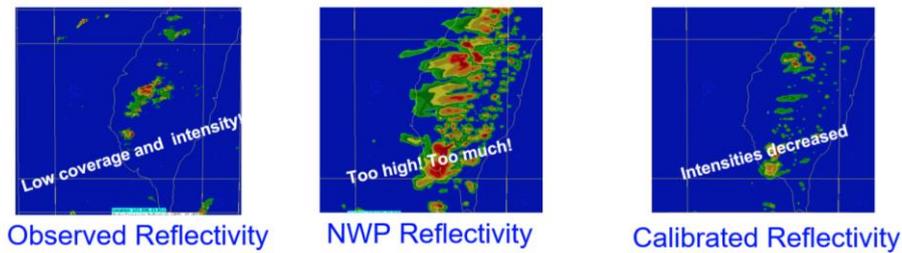
© 2023 UCAR. All rights reserved.

28

圖 80：GridForecast 預報 5 小時雷達回波結果。

(四) ASPIRE 校驗模組目的為以觀測雷達回波去調整目前模式預報雷達回波強度差異，本模組調整規則為調整後雷達回波在區域上與模式預報相似、空間上分布平滑且時間上與模式之後的預報結果平滑。以圖 81 為例，模式預報雷達回波強度及範圍與觀測相比太強太大，經本模組調整後強度及範圍大幅降低，與觀測雷達回波強度及分布較為接近。

Use Observations to Detect and Correct NWP Model Intensity Biases



- Corrections must be:
- Regionally consistent with NWP
 - Spatially smooth
 - Temporally smooth favoring NWP at later lead times

圖 81：校驗模組目的示意圖。

ASPIRE 校驗模組有 Dist2Data、DistributionsCalc、ClimoDistributions 及 Calibrate 等 4 個程序。雷達整合回波、雲頂高及降雨率校驗模組資料及程序流程分別如圖 82、83 及 84。

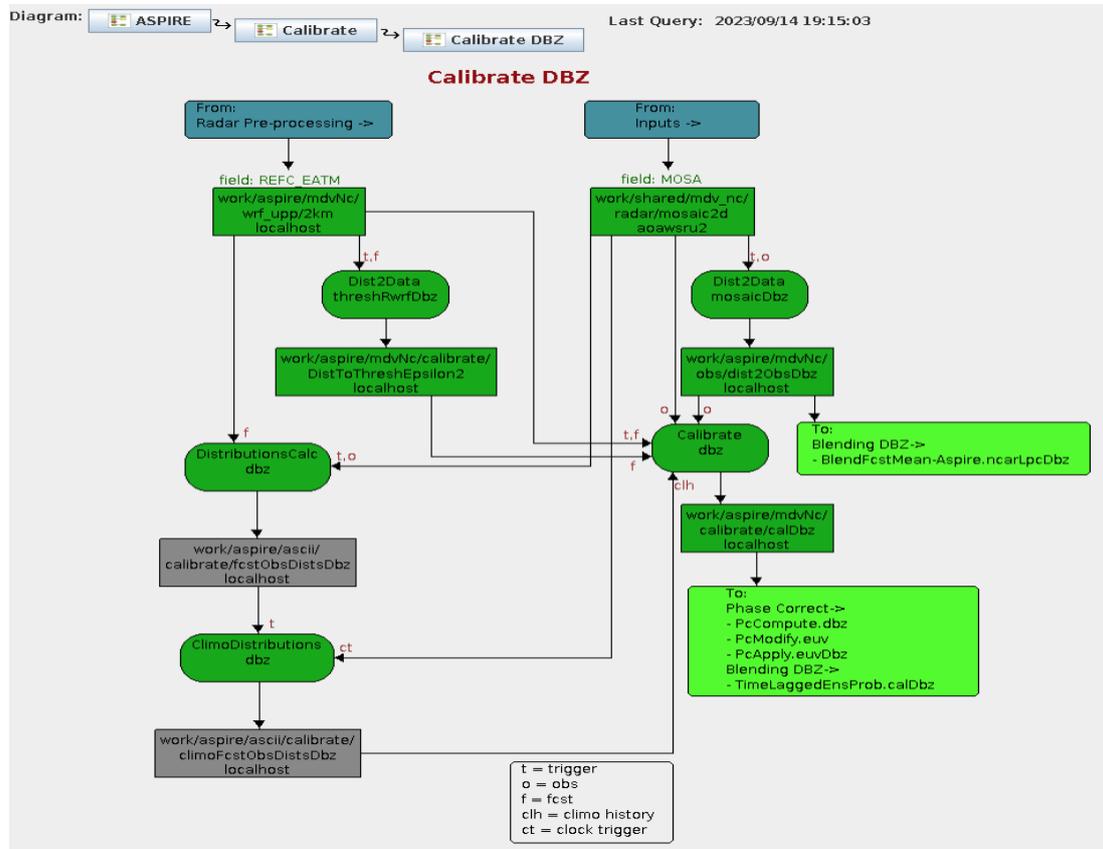


圖 82：雷達整合回波校驗模組資料及程序流程圖。

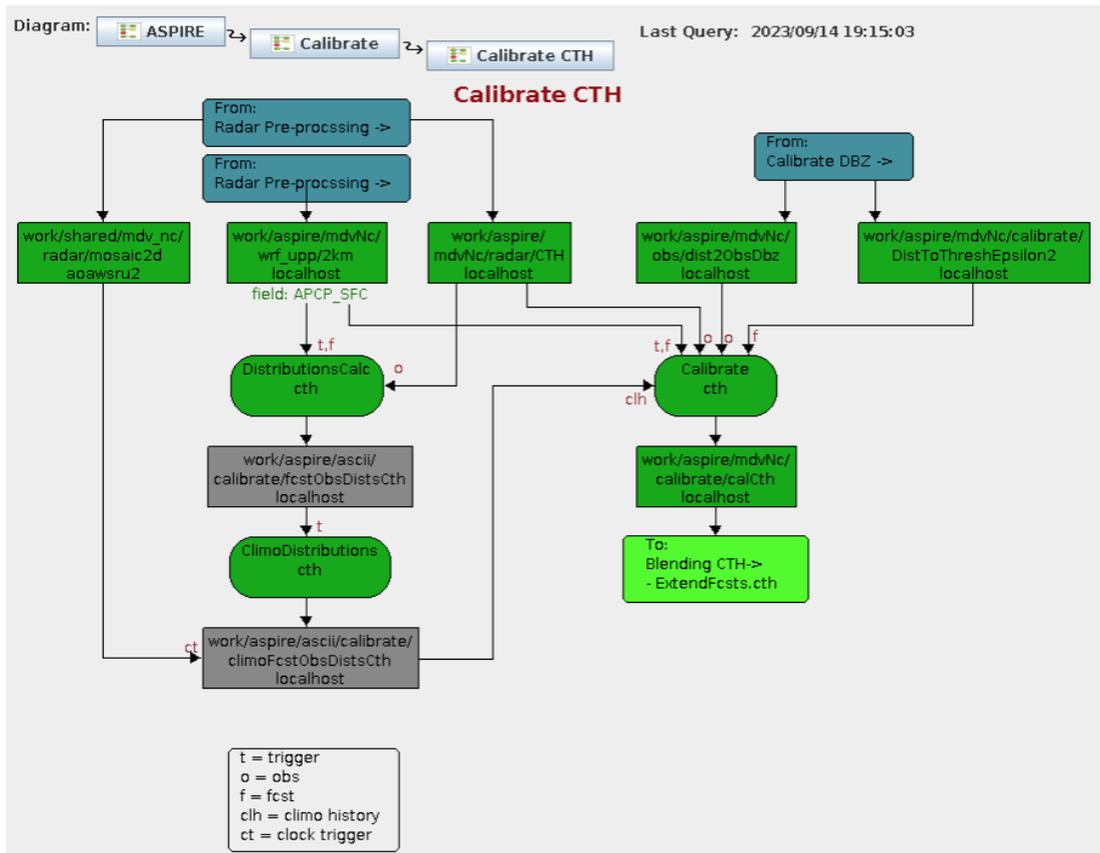


圖 83：雲頂高校驗模組資料及程序流程圖。

點而言總共有 13 個有效預報，每一個有效預報都有不同起始時間及預報長度時間。

輸入及輸出資料：每一個預報時間點預報及觀測資料，預報及觀測資料強度機率分布。

3. ClimoDistributions：

為校驗數值模式預報長期偏差，本程序分別計算平均最近 21 天 9 個子區域中每一個預報時間點預報及觀測資料。結果如圖 88 所示。

輸入及輸出資料：最近 21 天每一個子區域中每一個預報時間點預報及觀測資料，每一個子區域中每一個預報時間點 21 天平均預報及觀測資料強度機率分布。

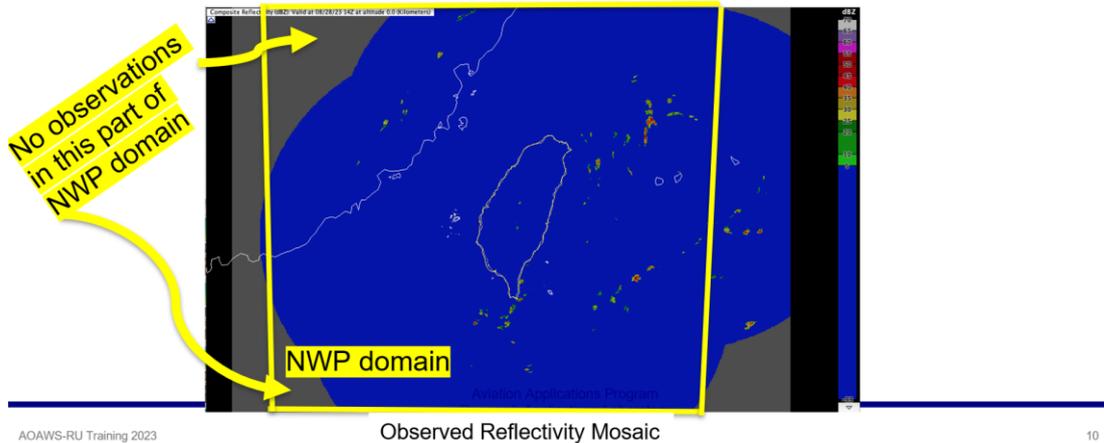
4. Calibrate：

利用上述程序輸出結果去校驗數值模式預報空間及時間偏差，計算方式如圖 89，本程序目的為調整每一個預報時間數值預報模式中雷達回波強度，方式為先進行長期模式偏差調整再調整短期模式偏差，長期模式偏差調整以 ClimoDistributions 程序輸出結果計算長期強度調整比率，進行模式預報雷達回波強度調整。短期模式偏差調整為利用數值模式資料輸出具延遲性，如 02Z 才有 00Z 為起始時間之數值模式預報資料，即可以 DistributionsCalc 程序計算 00Z 至 02Z 觀測與模式預報之強度差異，以近期強度調整比率調整雷達回波強度。如以 35 至 40dbz 回波強度而言，強度調整比率為觀測資料發生次數除以模式資料發生次數。

輸入及輸出資料：上述三個程序輸出資料均為輸入資料加上模式預報資料，具空間及時間校驗後之模式預報。

重要參數：校驗種類有 FCST_DYN_CAL 短期校驗、FCST_CLIMO_DYN_CAL 長期加上短期校驗及 FCST_CLIMO_CAL 長期校驗。Lead time based weights for bias adjustment 校驗權重依時間長短而不同，時間越長則權重越低。Distance to Observations based weights 觀測資料只會影響最接近數值模式資料。Maximum change in value at an NWP grid point 設定數值模式值的變化。

Observed data may be used to correct NWP forecasts
 BUT Observed data may be missing in some areas of the NWP domain



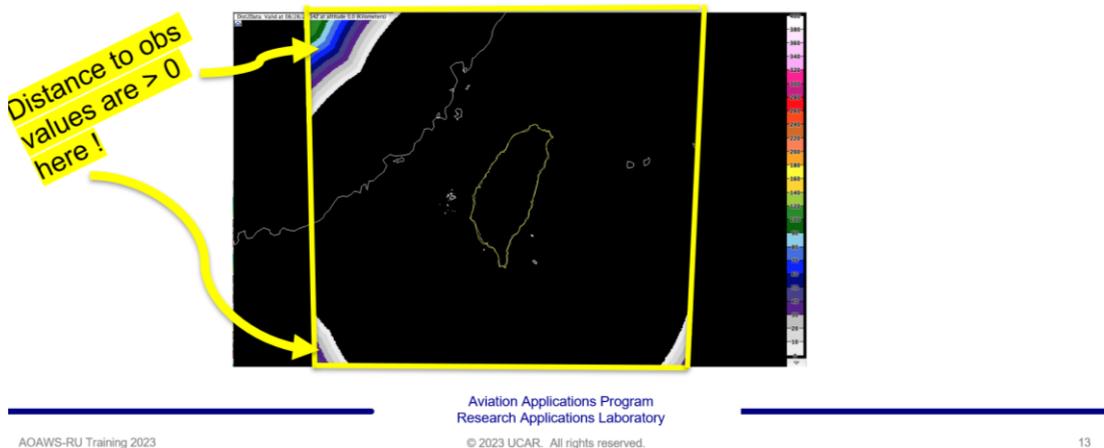
AOAWS-RU Training 2023

Observed Reflectivity Mosaic

10

圖 85：觀測雷達回波圖，在數值模式範圍沒有觀測資料，如左上及左下區域。

Sample Output for the reflectivity data in the first slide:
 Radar reflectivity data is missing in some corners of the NWP domain



AOAWS-RU Training 2023

Aviation Applications Program
 Research Applications Laboratory
 © 2023 UCAR. All rights reserved.

13

圖 86：圖 14 經 Dist2Data 程序計算後得到此分布。

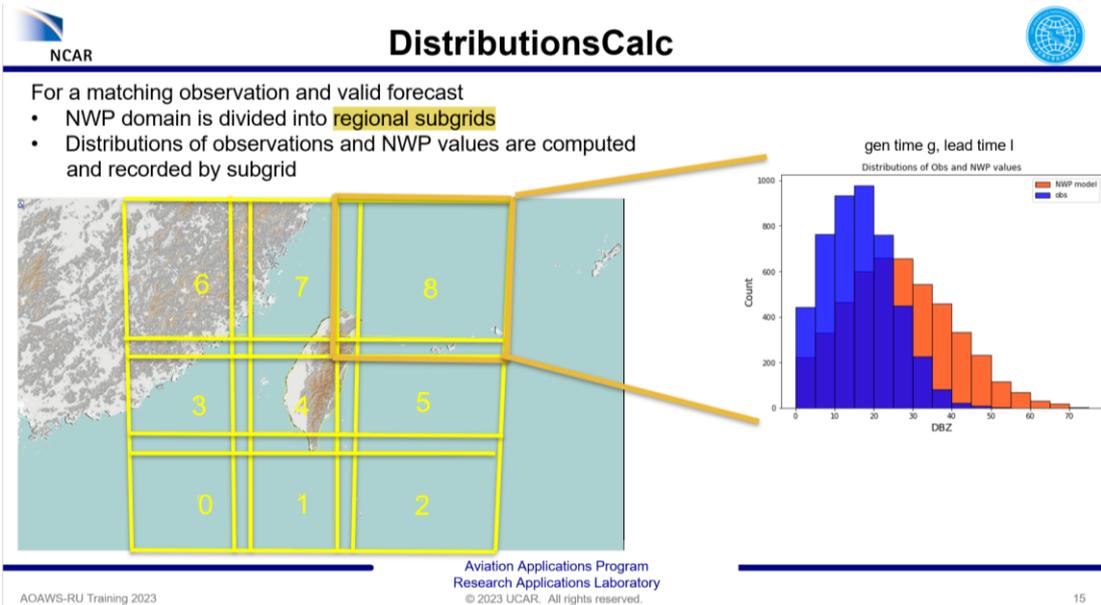


圖 87：每一個子區域經 DistributionsCalc 程序計算後得到右上強度機率分布圖，橘色為模式預報，藍色為觀測資料。

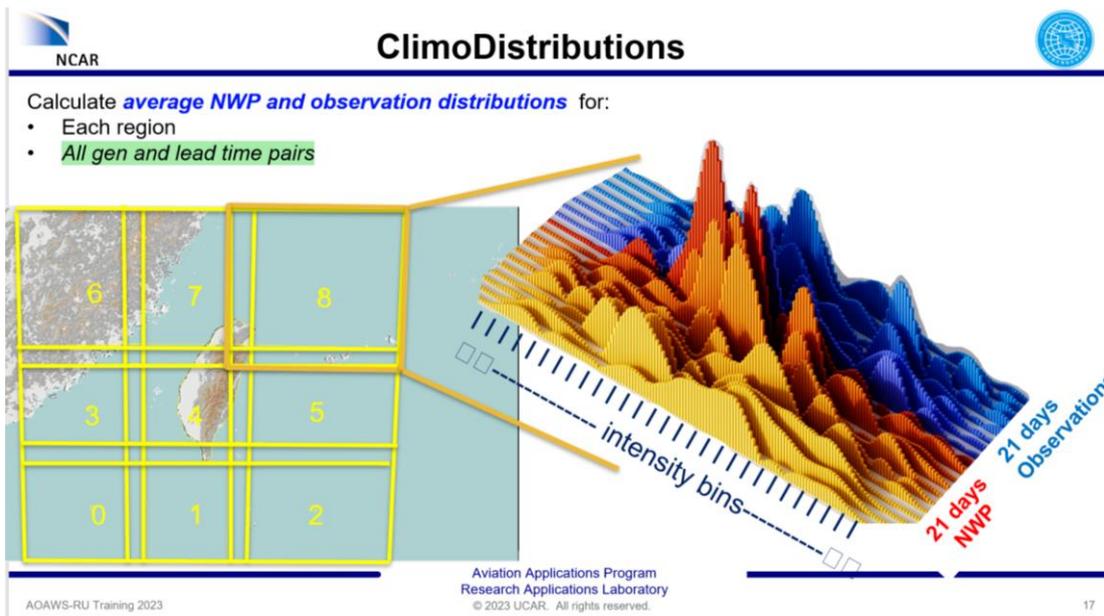


圖 88：平均最近 21 天每一個子區域經 ClimoDistributions 程序計算後得到右上強度機率分布圖，橘色為模式預報，藍色為觀測資料。

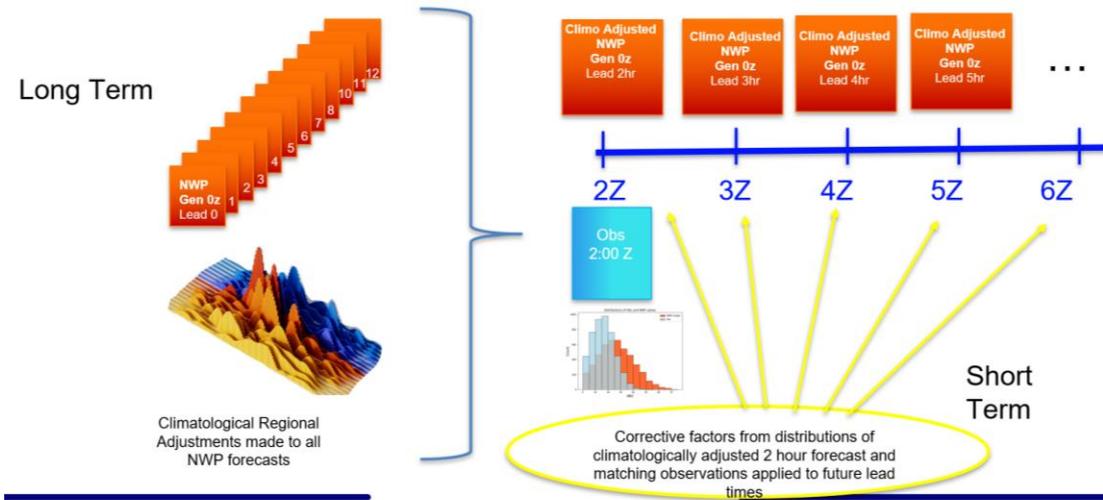


圖 89：長期及短期偏差調整計算方式示意圖。

(五) 相位調整模組 (phase correction) 目的係調整數值模式預報雷達回波空間分布，使其能最佳地符合外延預報雷達回波。雷達回波相位調整模組資料及程序流程圖如圖 90 所示，此模組包含 PcCompute、FcstTsmooth、PcModify、PcApply 等 4 個程序。利用雷達回波相位調整模組計算之相位調整模式預報回波頂及降雨率，調整後之模式預報回波頂及降雨率再用於結合模組。

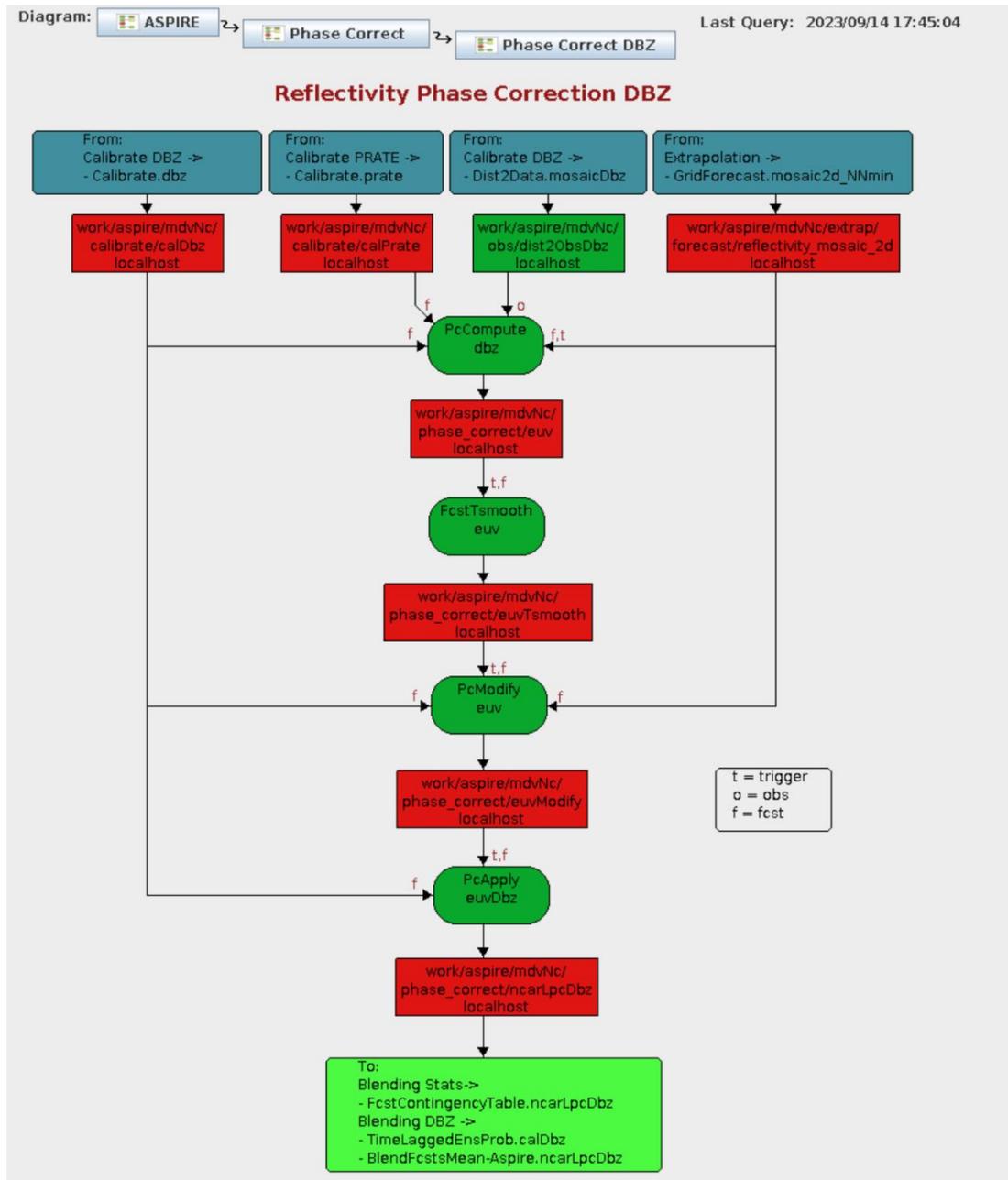


圖 90：相位修正模組資料及程序流程圖。

下為 PcCompute、FcstTsmooth、PcModify、PcApply 等 4 個程序目的及其輸入及輸出資料。

1. PcCompute：

目的是通過調整模式預報雷達回波，使其盡量接近觀測雷達回波，以最小化誤差函數。然後計算每一個網格點之移動方向及速度，結果如圖 91 所示。此方法優點為能保持風暴形狀且改善預報績效分數。

輸入及輸出資料：每一個預報時間點之雷達外延及模式預報資料，每一個網格點每一個預報時間相位調整向量。

重要參數：low_res_gridnpts 為增進效率目前程式採取低解析度進行計

算。對下列 4 個參數數值 volume_size、volume_overlap、phase_shift_res_npt、max_phaseshift 設定，才能找出最佳雷達回波

2. FcstTsmooth :

本程序目的為平滑化相位調整向量，以不同預報長度之預報資料平均得到，RWRF 共有 13 個不同預報長度之預報。

輸入及輸出資料：每一個網格點每一個預報時間相位調整向量，每一個網格點每一個預報時間平滑化相位調整向量。

3. PcModify :

本程序目的為在每一個預報時間點修正相位調整向量大小，透過比較外延雷達預報及數值模式預報，以預報績效來修正相位調整向量，結果如圖 92 所示，顯示相位調整向量大小顯著減少。

輸入及輸出資料：平滑化相位調整向量、外延雷達預報、計算相位調整之模式預報，每一個網格點每一個預報時間修正相位調整向量。

4. PcApply :

本程序係利用 PcModify 結果去調整數值模式資料，結果如圖 93 所示。

輸入及輸出資料：平滑化且修正相位調整向量、計算相位調整之模式預報，每一個預報時間點相位調整後數值模式預報。

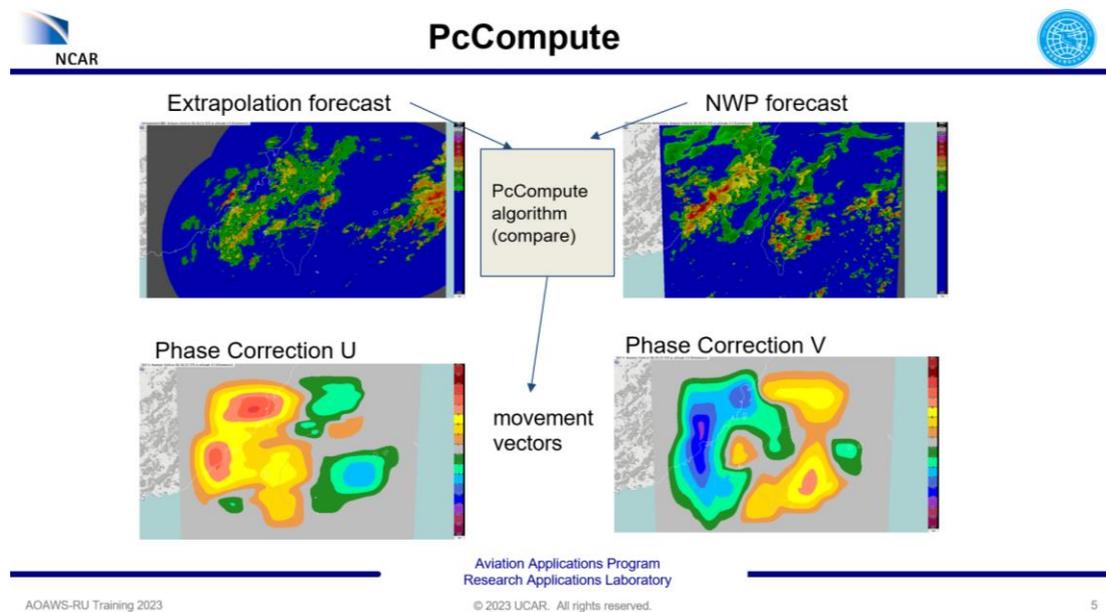


圖 91：PcCompute 程序係比較外延預報及數值模式預報去計算相位調整向量，計算結果如下方 2 張圖。

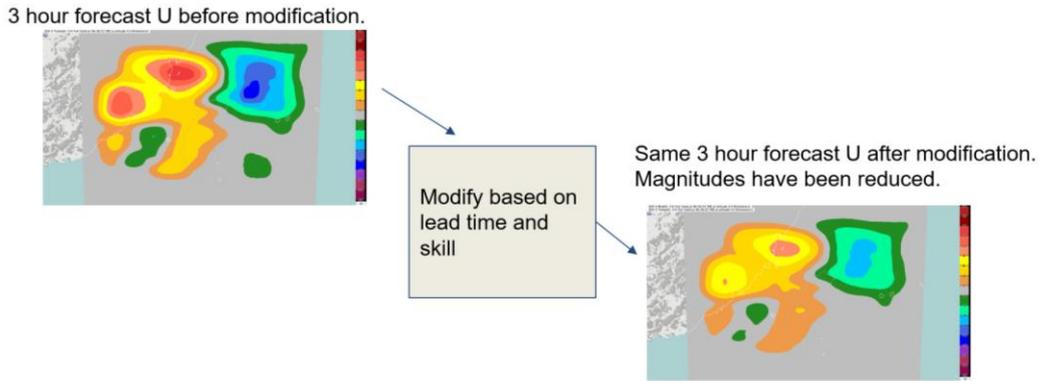


圖 92：PcModify 程序係比較外延預報及數值模式預報去修正相位調整向量，計算結果如右下圖。

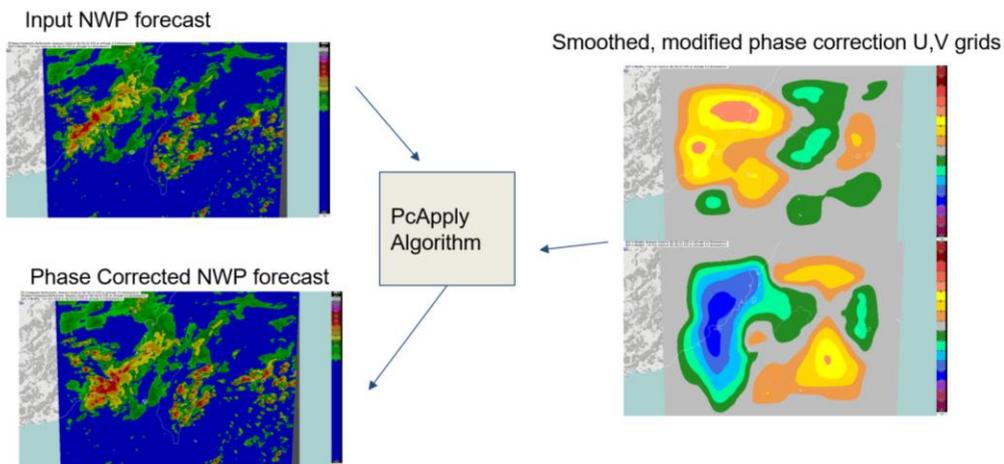


圖 93：PcApply 程序係利用 PcModify 結果去調整數值模式資料，計算結果如左下圖。

(六) ASPIRE 結合統計模組目的係計算外延法預報及模式預報之預報績效表現，以績效表現去產製外延法及模式預報之權重。結合統計模組資料及程序流程圖如圖 94 所示，此模組包含 FstContingencyTable、FSSGRID、FSSClimo、BGWeights 等 4 個程序。產製外延法預報及模式預報權重後，用於結合模組去計算 ASPIRE 雷達回波、回波頂及降雨率預報

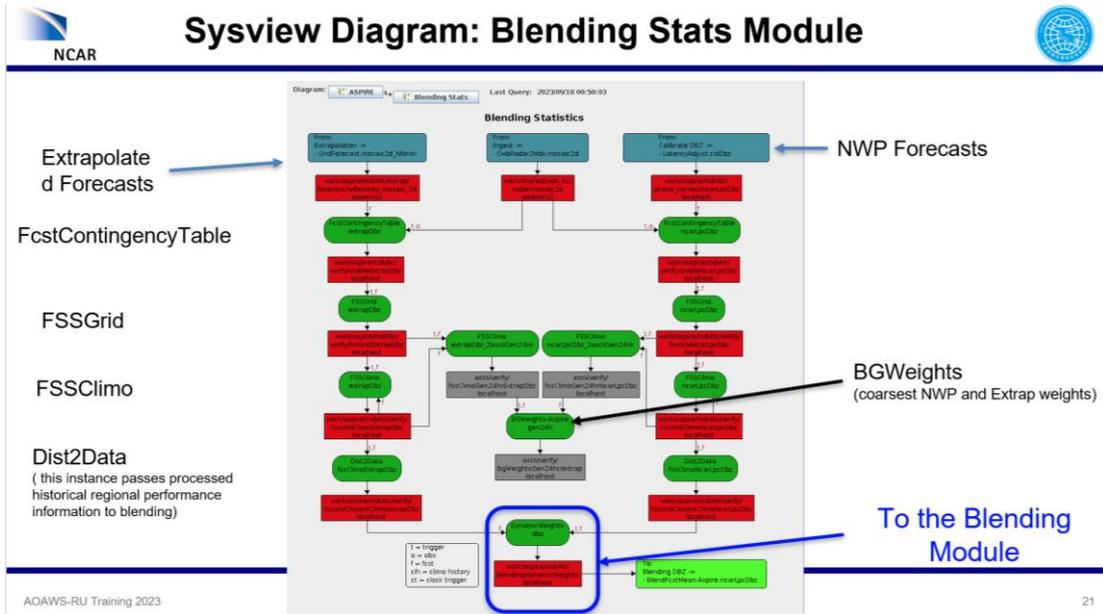


圖 94：ASPIRE 結合統計模組資料及程序流程圖。

下為 FctContingencyTable、FSSGRID、FSSClimo、BGWeights 等 4 個程序目的及其輸入及輸出資料。

1. FctContingencyTable：

本程序目的是紀錄每一個網格點上預報結果，結果分為準確 (hits)、不準 (misses)、誤報 (false alarm) 及正確預報無事件 (correct null)，作為計算臨域空間校驗方法 (Fractions Skill Score, FSS) 預報績效分數。使用者可用 dBz 作為門檻值去篩選想要效驗之範圍，如圖 95 是以 25dBz 作為門檻值，僅計算大於 25dBz 回波之預報結果。

輸入及輸出資料：觀測資料及在觀測時點之所有有效預報 (共 13 個)，每一個網格點之預報結果。

重要參數：thresholds 為門檻值。

2. FSSGRID：

本程序目的為以 FSS 計算 25 個子區域預報績效表現。FSS 是空間校驗方法，值範圍為 0 至 1，1 表示預報完全正確。僅考慮固定範圍內預報準確涵蓋率，不考慮每一個格點預報準確與否。如圖 96 左下所示，每一個格點預報結果均為誤報，而 FSS 分數為 14%。FSS 結果如圖 97 所示，同一個子區域 FSS 分數相同。子區域邊界 FSS 分數為相鄰區域平均，且其分數平滑化。

輸入及輸出資料：每一個網格點每一個預報時間外延預報及模式預報之預報結果，每一個網格點每一個預報時間外延預報及模式預報之 FSS 值。

重要參數：thresholds 表示預報績效計算考慮門檻值。scales 表示子區域個數。

3. FSSClimo：

本程序目的為產製最近 21 天模式預報區域內 FSS 分數，結果如圖 98 所示。

輸入及輸出資料：最近 21 天每一個網格點 FSS 分數，每一個網格點之 FSS 分數。

重要參數：計算平均天數目前為 21。基於時間之權重函數目前為片段線性。時間平均之解析度為每小時。

4. BGWeights：

本程序係根據各種預報時間模式預報及外延預報 FSS 預報分數產製 0-5 小時模式預報及外延預報之背景權重。結果如圖 99 所示。

輸入及輸出資料：所有預報時間模式預報及外延預報之 FSS 分數，不同預報時間模式預報及外延預報之背景權重。

重要參數：時間解析度設定為 1 小時，模式預報及外延預報權重設定 3 小時會一樣，確保 3 小時外延預報權重會低於模式預報。

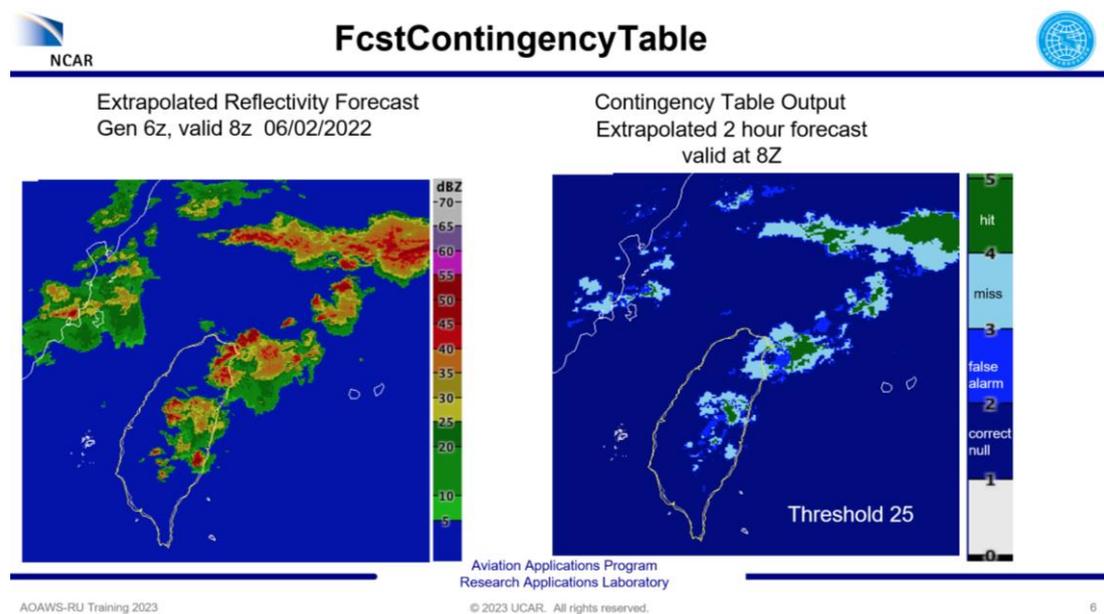
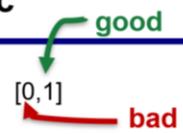


圖 95：FcstContingencyTable 計算結果如右圖。

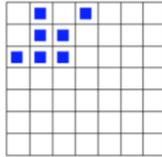
The Fractions Skill Score (FSS) is a **Spatial Verification Method**



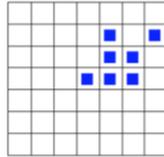
Based on **Percent Area Coverage** of exceedance of threshold of

- forecast values
- valid observations

forecast

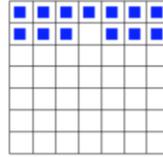


observations

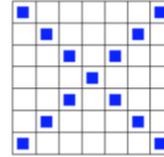


Pixel to pixel comparison score = **0**
FSS Score = **1** % coverage: 7/49

forecast



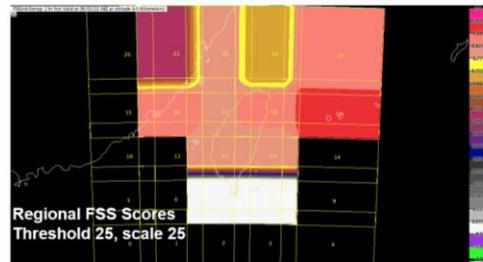
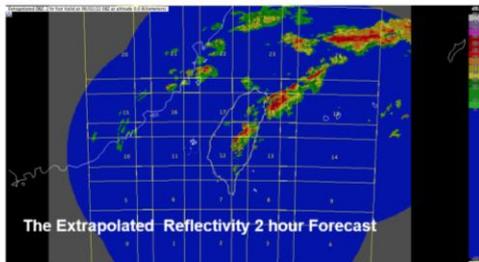
observations



Pixel to pixel comparison score = **.08**
FSS Score = **1** % coverage: 13/49

圖 96：FSSGRID 計算方式示意圖。

- NWP domain is divided into regional overlapping subgrids
- Average FSS values are computed in every subgrid
- Regional data are spatially smoothed



$$FSS = 1 - \frac{(p_f - p_o)^2}{p_f^2 - p_o^2}$$

圖 97：FSSGRID 計算結果圖，同一個子區域內 FSS 分數均相同。

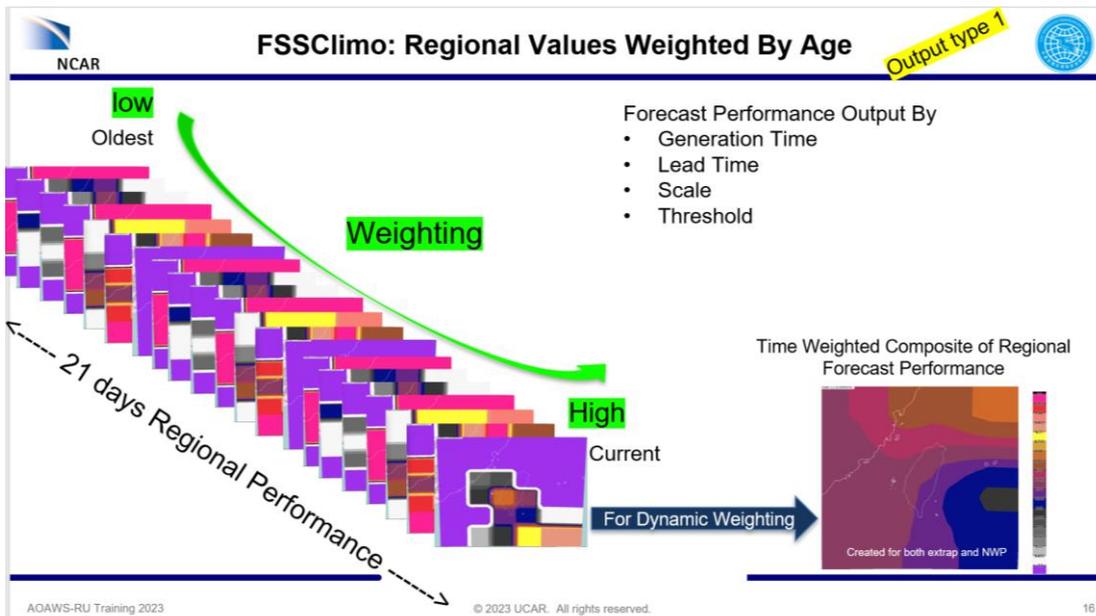


圖 98：FSSClimo 計算結果圖，利用最近 21 天 FSS 分數，並依資料新舊程度給予不同權重。

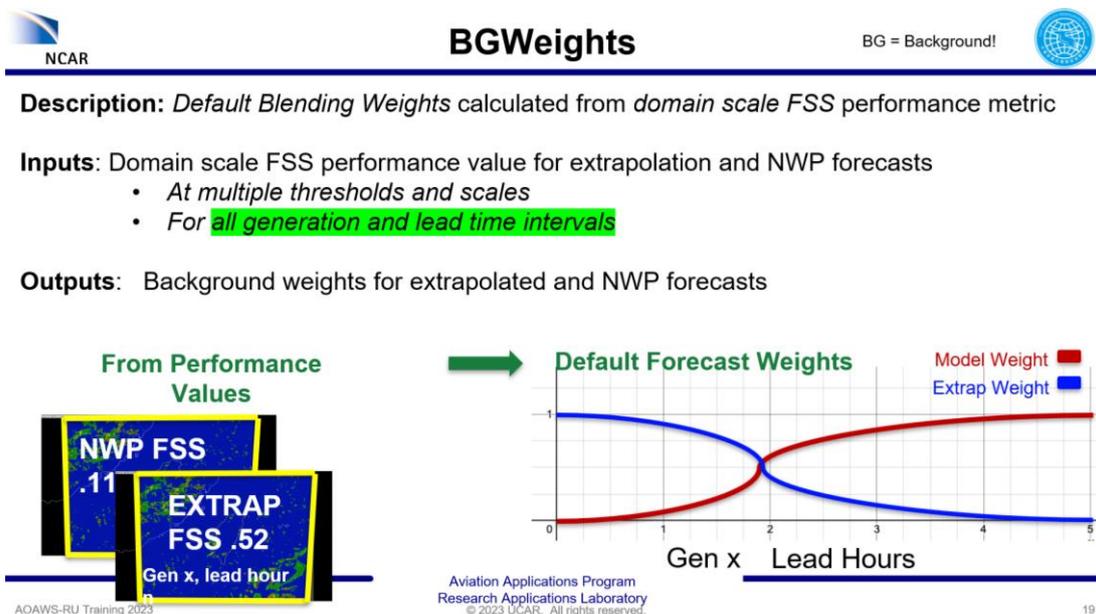


圖 99：BGWeights 計算結果圖，利用不同預報時間模式預報及外延預報 FSS 分數去產製 0-5 小時模式預報及外延預報之背景權重。

(七) ASPIRE 結合模組目的係結合外延預報及數值模式預報以產製最終預報結果。雷達回波、回波頂高度及降雨率結合模組資料及程序流程如圖 100.101.102 所示，結合模組包含 DynamicWeights、TimeLaggedEnsProb、BlendFcstsMeanAspire、ExtendFcsts 等 4 個程序，利用結合統計模組計算外延及數值模式權重，再以最近數值模式預報去估計對流機率，後結合外延及模式預報，超出外延預報時間極限後，直接以模式預報結果作為輸出結果。

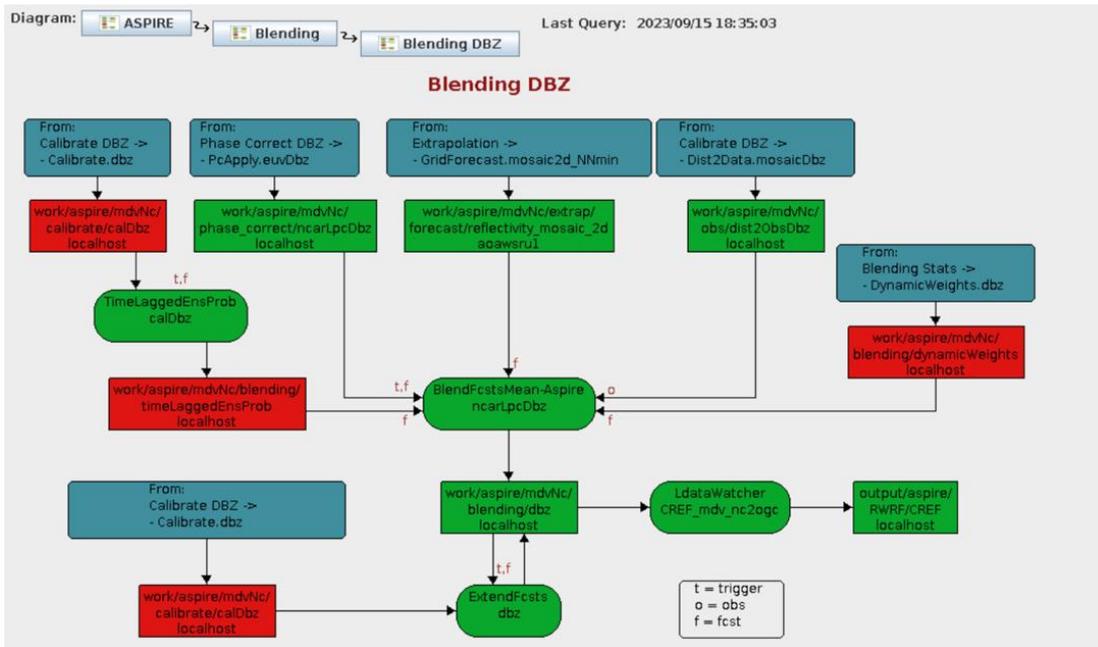


圖 100：雷達回波結合模組資料及程序流程圖。

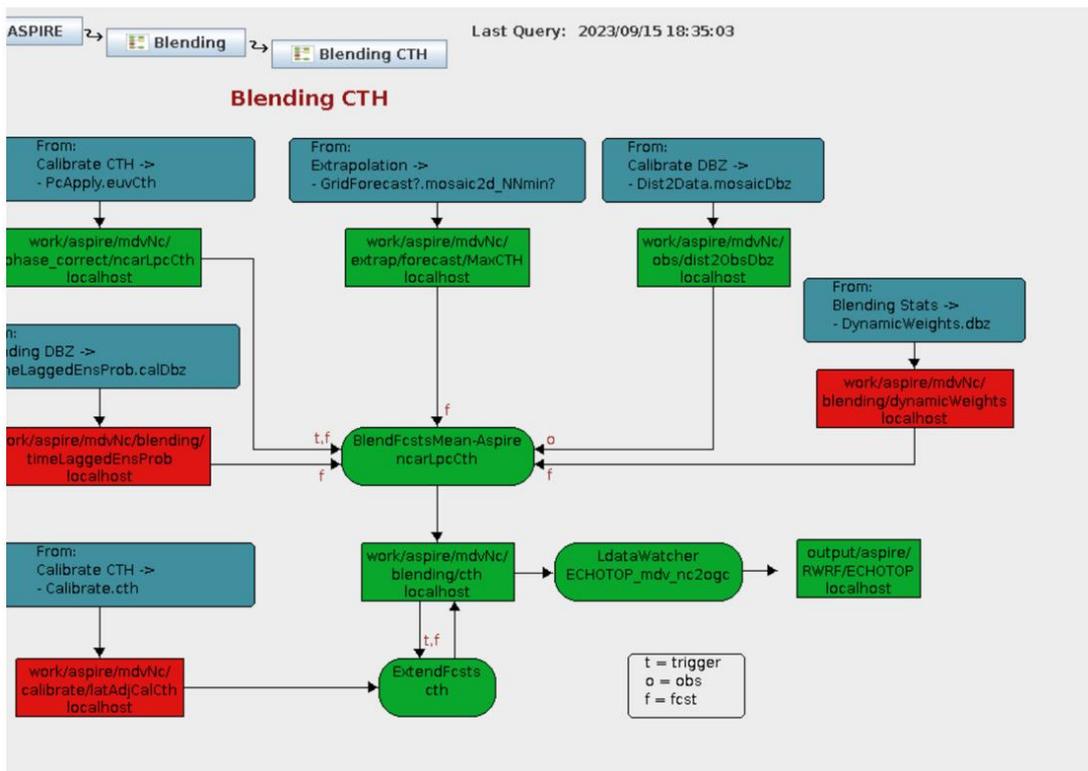


圖 101：回波頂高度結合模組資料及程序流程圖。

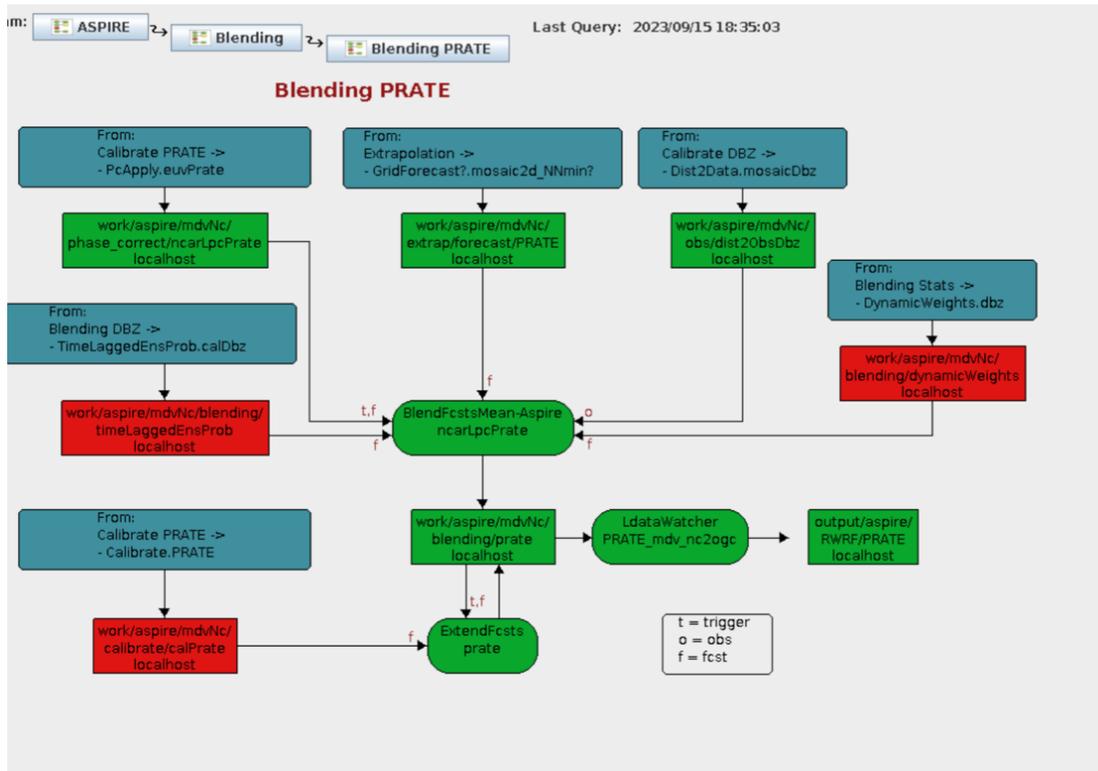


圖 102：降雨率結合模組資料及程序流程圖。

下為 DynamicWeights、TimeLaggedEnsProb、BlendFcstsMeanAspire、ExtendFcsts 等 4 個程序目的及其輸入及輸出資料。

1. DynamicWeights：

本程序目的為利用分層輸入資料來計算每一個格點外延法及模式預報權重，模式權重為模式背景權重乘以 P 加上模式平均權重乘以(1-P)，外延權重為外延背景權重乘以 P 加上外延平均權重乘以(1-P)，產製流程如圖 103。P 是時間函數。模式平均權重為模式 FssClimo 權重平均，外延平均權重為外延 FssClimo 權重平均。

輸入及輸出資料：格點資料為 FSSClimo 輸出外延及模式資料、ASCII 資料為整個區域外延及模式均為單一權重值及設定資料為固定權重，輸出資料為外延及模式權重。

2. TimeLaggedEnsProb：

本程序目的為對所有預報時間並計算雷達回波強度比率，計算方式如圖 104 所示，以預報時間為 22Z 之模式資料去計算對流機率。

輸入及輸出資料：在某一個預報時間模式資料及這個時間過去模式之有效預報資料，在某一個預報時間每一個格點對流機率。

3. BlendFcstsMeanAspire：

本程序為 ASPIRE 演算法中最主要之程序，從外延及模式輸入資料產製結合預報結果，計算流程如圖 105。計算方式為結合預報為外延預報乘以外延權重加上模式預報乘以模式權重。因應不同對流發展過程，會有不同權重。

透過比較不同時間觀測雷達回波，可以將對流發展分成 3 類，初始、消散及發展。依據對流發展階段，程序將調整權重如圖 106。

輸入及輸出資料：DynamicWeights 程序計算模式及外延預報權重、外延及模式預報、Dist2Data 程序計算結果及 TimeLaggedEnsProb 程序計算對流機率，輸出為結合預報結果。

4. ExtendFcsts：

本程序為產製 0-8 小時預報，0-5 小時使用結合預報，6-8 小時則為校驗模式預報。程序運作示意如圖 107。

輸入及輸出資料：結合預報資料及僅經過校驗之模式預報，結合預報資料加上模式預報資料。

重要參數：tendTowardBkgdWt 為時間函數，設定為隨時間增加，權重逐漸遞減至 0。

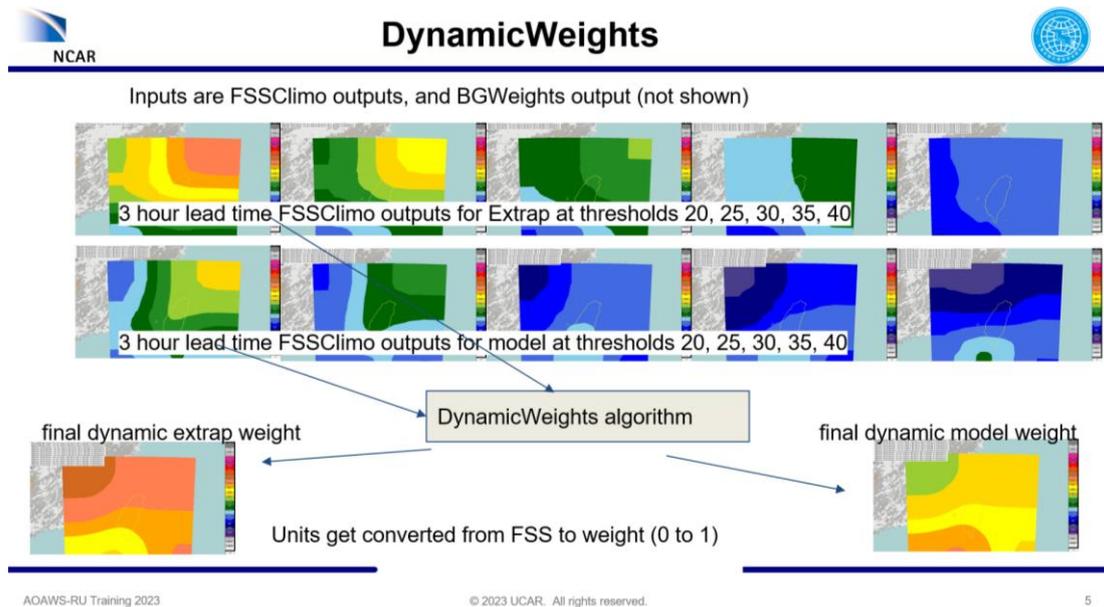


圖 103：DynamicWeights 計算示意圖。

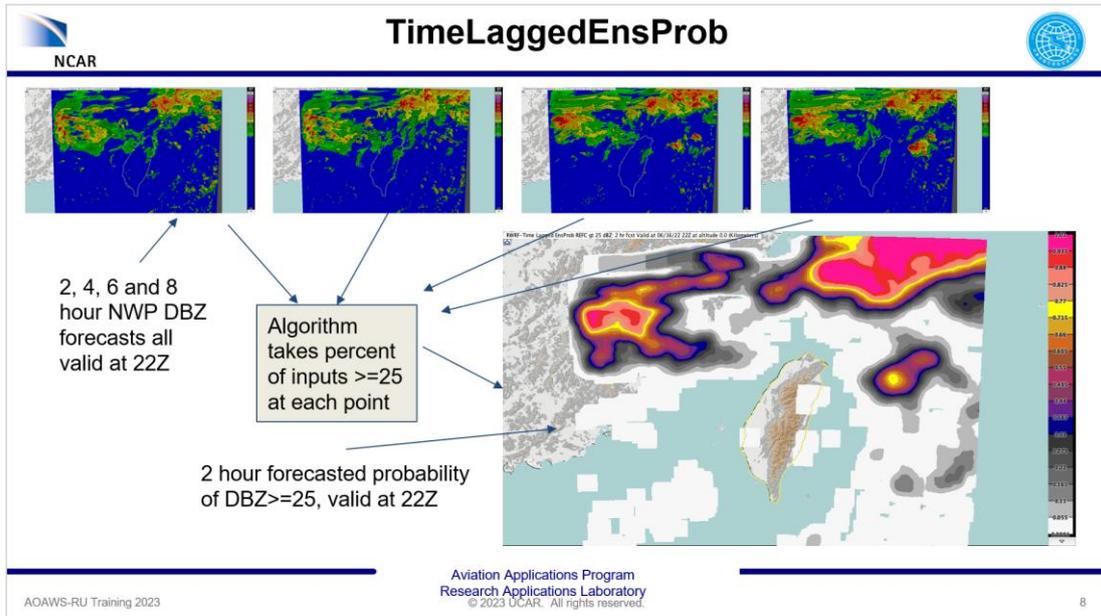


圖 104：TimeLaggedEnsProb 計算示意圖。

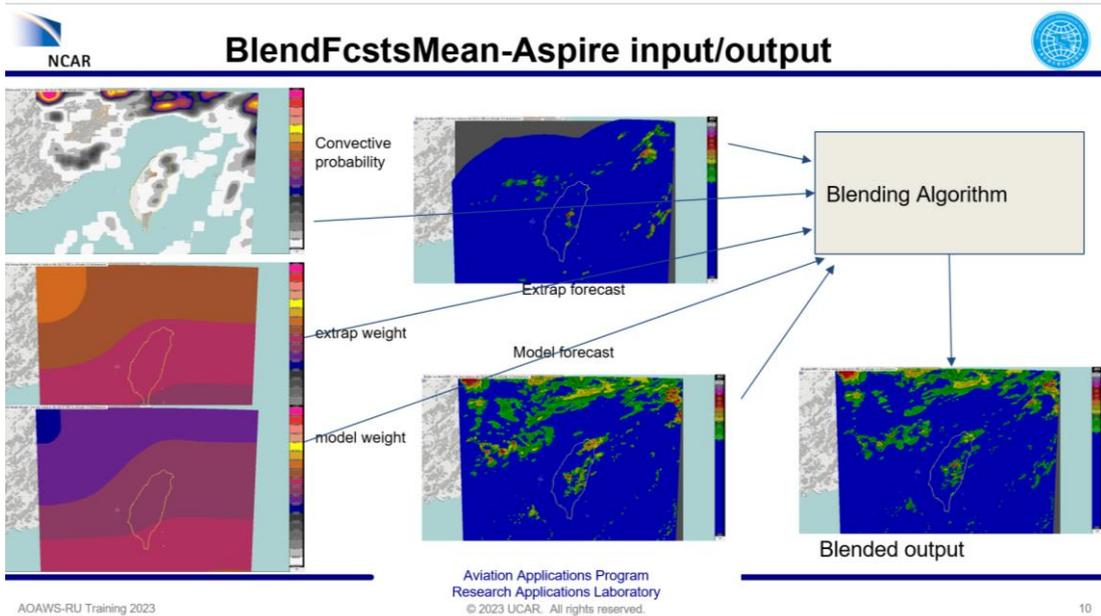


圖 105：BlendFcstsMean-Aspire 計算示意圖。

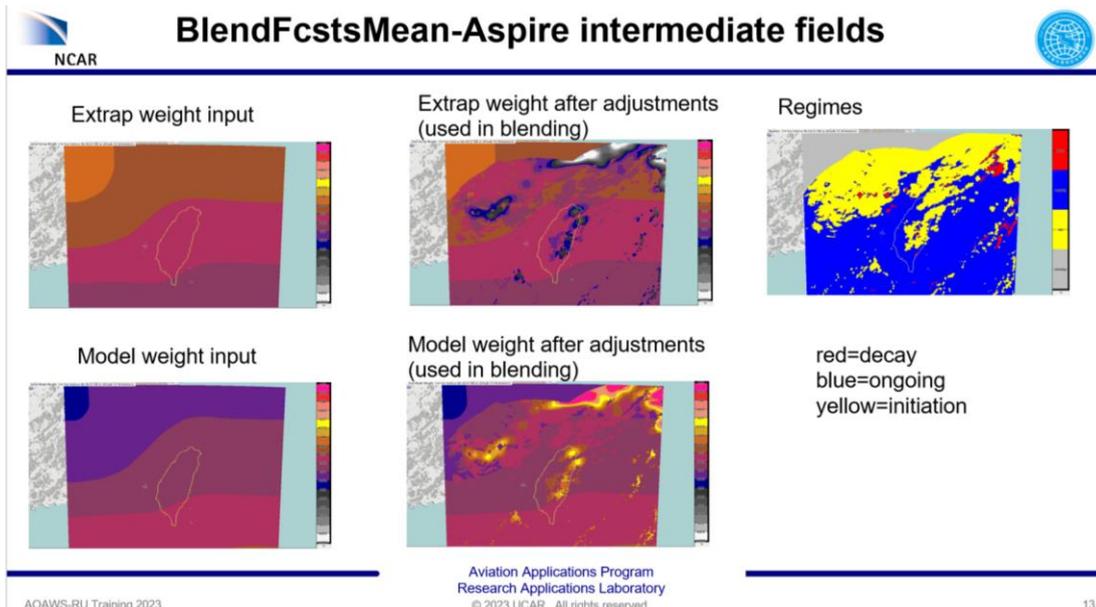


圖 106：BlendFcstsMean-Aspire 區域分類示意圖。

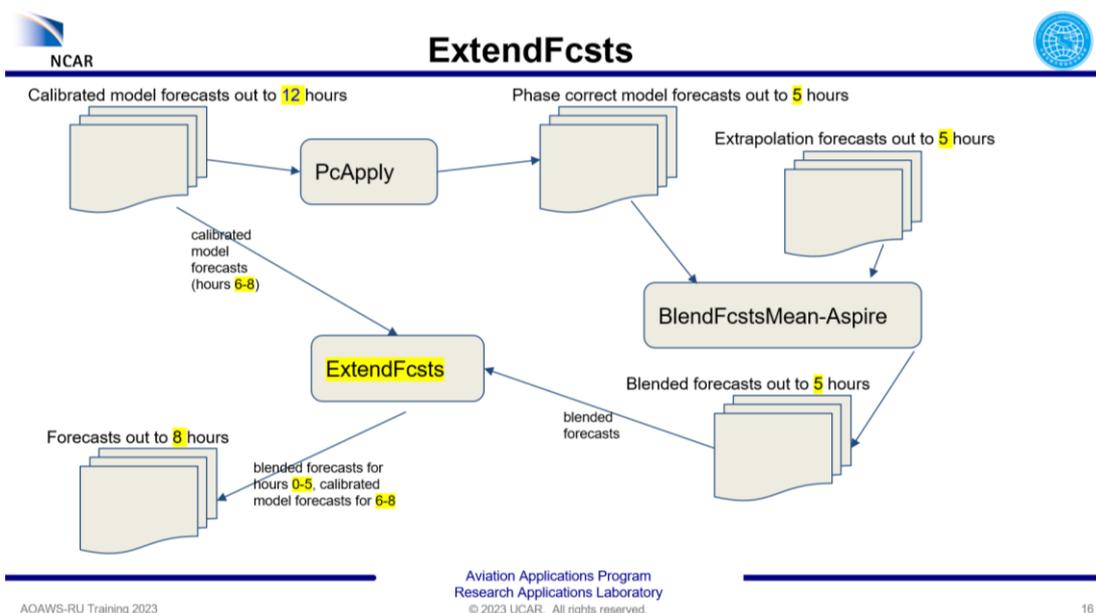


圖 107：ExtendFcsts 計算流程示意圖。

(八) ASPIRE 演算法參數檔案修改練習：

調整 DynamicWeights 參數檔案檢視不同背景權重對結合預報造成的影響，底下為執行步驟：

1. 以歷史檔案模式執行 DynamicWeights 應用程式，使用標準參數設定產製基準資料。
 - (1). 編輯 DynamicWeights.dbz 參數檔案，並調整權重。(參數檔案在 config 資料夾)
 - (2). 將輸出檔案存到輸出資料夾 (已在 Jazz 參數檔案中設定)。

(3). 在歷史檔案模式對任一個預報時間執行應用程式。

程式碼如下:

```
DynamicWeights -params DynamicWeights.dbz -interval 20220616110000  
20220616110000
```

2. 以原本參數檔案去建置一個新參數檔案。編輯此參數檔案，並更改權重數值。

(1). 更改輸出 URL，以將輸出資料存到新資料夾。

(2). 重新執行 DynamicWeights 應用程式。

程式碼如下:

```
DynamicWeights -params DynamicWeights.dbz_test -interval 20220616110000  
20220616110000
```

3. 使用 nview 或 Jazz 顯示軟體，檢視輸出檔案。

(1). 執行 nview 以檢視資料。

(2). 編輯 Jazz 的 XML 檔案並執行 Jazz。

4. 使用 ncdiff，比較兩個檔案結果差異。

十 氣象產品顯示系統(JAZZ)

(一) JAZZ 顯示系統簡介：

氣象產品顯示系統(JAZZ)為 NCAR 開發之顯示系統，包含網格資料(MDV 或 mdv_nc 格式)及非網格資料(SPDB 格式)都可以顯示在系統上面。操作方式與現行 AOAWS 系統的航空氣象多元化產品顯示系統(JMDS)非常接近，使用者可以疊加許多不同變數圖層，進行氣象產品檢視與比對。JAZZ 透過 config.xml 檔做參數設定，包含資料來源，要顯示那些變數等都寫在 XML 檔案裡，使用者可以針對不同自系統設定不同之 XML 檔，在執行 JAZZ 前讀取所需 XML 檔即可。

(二) JAZZ 顯示系統安裝與設定：

如圖 108，先解壓縮 JAZZ 的壓縮安裝檔，切換到目錄下執行 ./runJazz。點選 JAZZ 功能列的 File→Load Configuration file 及可讀取 XML 設定檔。

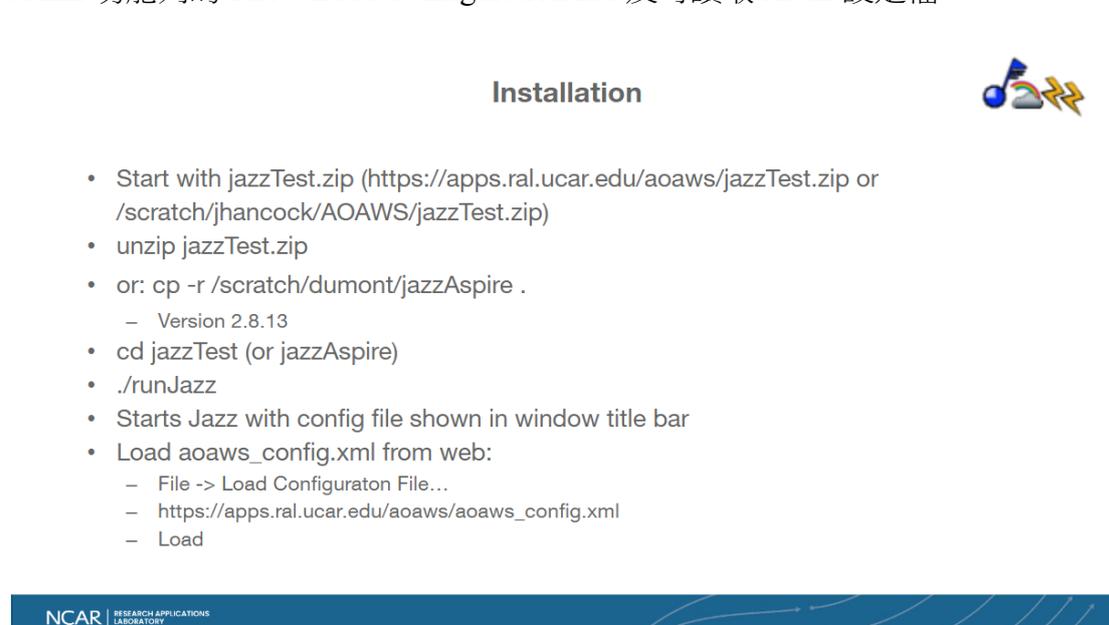


圖 108：JAZZ 安裝與執行流程

XML 設定檔初始設定不包含任何變數場，地圖選項會載入臺灣跟世界各國的國界及海岸線，顯示範圍會選擇 RWRF。當我們點選 File→Reset Application 時就會自動更新 XML 檔設定。(如果使用同一 XML 參數設定檔)

(三) JAZZ 顯示系統操作功能：

JAZZ 顯示系統上有許多的功能選項，以下做一些簡單的介紹。

1. 主畫面：包含上方的功能列跟小工具、右邊的高度尺跟色階、下方的時間軸設定以及中間顯示產品的區域，如圖 109。

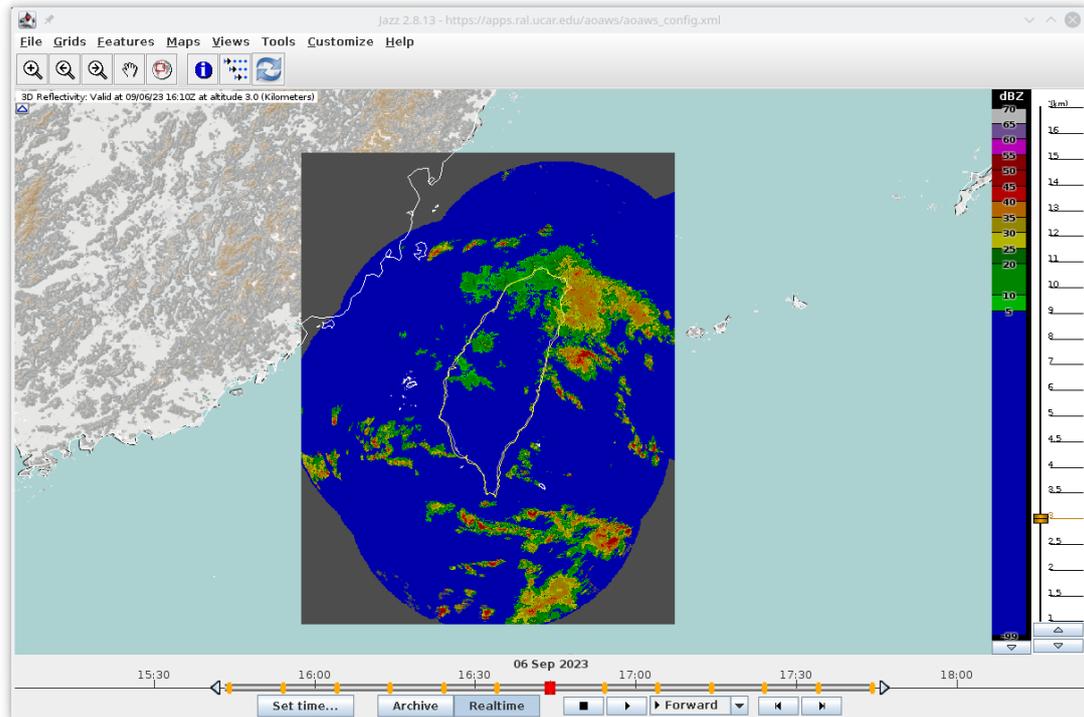


圖 109：JAZZ 主畫面

- 時間軸：如圖 110，用滑鼠點選想看的資料時間，粗紅線表示現在所選取的時間，橘線表示可切換查看的時間點(可以調整)，左右拉動可以改變顯示資料的時間範圍，也可以拉動整個時間軸，就不會改變顯示資料的時間範圍。當選擇“Realtime”模式，點選“Set time”按鈕可以調整至鄰近的日期時間，改變時間間隔與時間範圍；當選擇“Archive”模式，點選“Set time”按鈕可以調整至特定的日期時間；兩個模式都可以改變動畫撥放的延遲時間。下方其他按鈕可以控制動畫開始/停止/順序播放/倒序播放，也可以切換到下一個時間點或上一個時間點檢視資料。



圖 110：JAZZ 時間軸

- 小工具按鈕：包含(1)放大畫面。(2)回到前一畫面。(3)回到後一畫面。(4)移動工具。(5)跳出小視窗顯示目前畫面所在區域範圍。(6)顯示網格資料數值。(7)顯示模式初始時間選擇器。(8)垂直剖面工具。(9)切換至前一圖面。如圖 111。



圖 111：小工具按鈕

4. 功能列：(1)選擇要顯示的氣象網格變數。(2)選擇要顯示的氣象單點變數(例如 SPDB 格式 METAR 資料)(可以複選)。(3)選擇地圖選項(海岸線/國界...)。(4)選擇顯示範圍：世界/美洲大陸/TPE FIR/D1/D2/RWRF/...。(5)Tools→Layer List 可以快速複選想要的氣象圖層。(6)Tools→Grid Table 可以檢視所有可以顯示的氣象變數往格資料。
5. 模式初始時間選擇器：可以針對數值模式輸出產品，選擇不同的模式初始場時間(Gen Time)(左側)與想顯示的預報時間(Valid Time)，藍色點點表示有資料，橘黃色區域表示現在所選的時間，紅色典表示目前顯示的資料。如圖 112。



圖 112：模式初始時間選擇器

6. 垂直剖面工具：在主畫面點選想剖面的路線，點選小工具剖面按鈕後就會另開視窗顯示剖面圖，如圖 113。

Vertical Cross Sections (cont.)

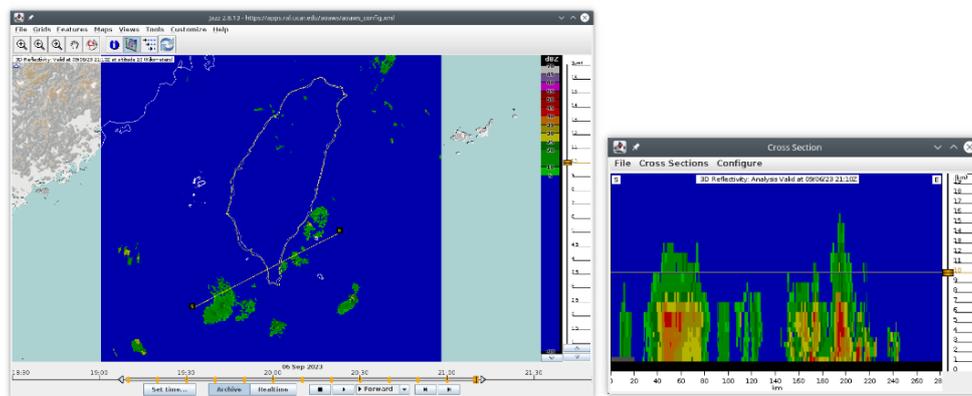


圖 113：垂直剖面工具

7. 客製化顯示工具：可以改變該變數圖層要以什麼方式顯示，包含透明度調整、等值線繪製、等值線顏色寬度等選項。如圖 114。

Main Menu (cont.)



- Customize
 - Grids, Features, Maps
 - Enable / Disable
 - Adjust Transparency
 - Grids
 - Change rendering style (None, normal, contoured)
 - Adjust many facets of Line Contours

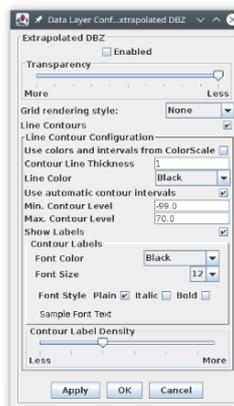
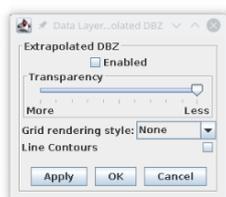


圖 114：客製化顯示工具

8. 圖層順序選擇工具：可以快速調整圖層順序，顯示想看的資料，如圖 115。



圖 115：圖層順序選擇工具

(四) 實際練習

1. 比對亂流演算法 GTG4 與 IATA In-situEDR 亂流觀測資料：開啟 JAZZ→載入設定檔→選擇 GTG_MAX_D2_3KM 圖層與 IATA Reports→切換至有資料時間→檢視資料。(圖 116)

Example: GTG and In-situ Turbulence



- File -> Reset Application
- Tools -> Layer List, expand Grids -> GTG, Features
- Select GTG_MAX_D2_3km, NCAR IATA Turbulence Reports
 - 0-10kFt, 10-20kFt, 20-30kFt, 30-50kFt
- Archive, Set time... 2023 Sep 3 12:00:00, Done, OK
- Zoom in until flight numbers show up
- Symbology (including color) controlled by Edr2Symprod file

```
- <Layer vis="off" type="SYMPROD" name="NCAR IATA Turbulence Reports 0-10kFt"
  location="spdbp:Edr2Symprod:tk_000-100FL//delphi19.rap.ucar.edu:0:/d1/data/InsituTurb/spdb/iata/edr"
-   before="1hrs" after="1hrs" textOff="1.5" request="interval" uniqueMode="off" />
_Edr2Symprod.tk_000-100FL:
  • EdrMaxVals = { 0.0, 0.15, 0.22, 0.34, 0.5, 1.0 };
  • EdrColors = { "gray", "gray", "green", "orange", "red", "magenta" };
- (Not configurable in Jazz)
```

NCAR RESEARCH APPLICATIONS
LABORATORY

圖 116：GTG4 與 IADA EDR 亂流資料比對範例

2. 顯示 ASPIRE 系統中，合併雷達觀測資料及模式預報資料的最大回波高數值與外延運動場：開啟 JAZZ→載入設定檔→選擇資料時間→開啟 ctrec motion vector 圖層與 Blended ECHOTOP 網格圖層→檢視資料。(圖 117)

Example: ASPIRE with ctrec motion vectors



- File -> Reset Application
- Archive, Set time... 2021 Sep 17 20:00:00, Done, OK
- Features -> ctrec motion vectors
 - computed storm motion
- Grids -> ASPIRE -> Blended ECHOTOP

NCAR RESEARCH APPLICATIONS
LABORATORY

圖 117：顯示 ASPIRE 最大回波高搭配 CTREC 外延運動場

十一 AOAWS-RU 演算法監控系統(SysView)

(一)監控系統概述：

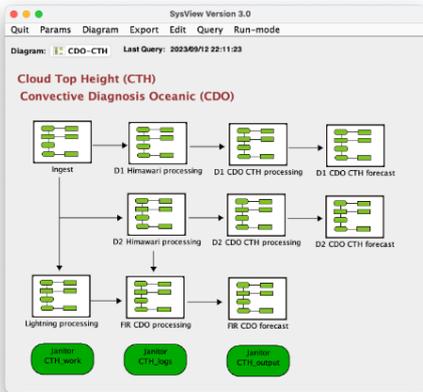
監控系統(SysView)是一個爪哇語言(JAVA)應用程式，可以分為編輯(EDIT)及執行(RUN)兩種模式。SysView 上的流程圖顯示各系統的資料流及目錄結構，透過燈號監控資料傳輸是否正常，也同時監控各應用程序是否正常運行。流程圖主要由三個物件組成：黑色方框點擊之後會進入下一層子流程圖；綠色橢圓框表示應用程序；綠色方框則代表資料目錄。最終產出網頁檔透過各瀏覽器開啟檢視。與現行作業用的 AOAWS 系統監控程式雷同，使用燈號表示狀態：資料類有有三種燈號：綠燈(正常)、黃燈(延遲)、紅燈(嚴重延遲)；程序則有兩種燈號：綠燈(正常)、紅燈(未正常執行)。SysView 主要運作方式是透過前述 procmap 及 DataMapper 兩隻程式查詢程序或是資料的狀態，procmap 上面每 60 秒更新一次程序的監控狀態；DataMapper 則依據不同的資料有不同的更新頻率。(圖 118)



SysView - Overview



- Java application
- Edit and run modes
- Monitors current state of the processes and datasets that are included in the diagrams
- The diagram is a system data flow document
- Active components are sub-diagrams, processes, and datasets
- Can be configured to run at regular intervals and dump html files that can be viewed in a web browser



Aviation Applications Program
Research Applications Laboratory

© 2023 UCAR. All rights reserved.

AOAWS-RU Training 20232

圖 118：SysView 簡介與示意圖

(二)編輯模式基本操作(圖 119)：

在編輯模式下，使用者可以進行以下操作：

1. 選擇編輯目錄新增物件：(1)新增程序；(2)新增資料；(3)新增文字方塊；(4)新增註解；(5)新增流程線；(6)新增折線；(7)新增次流程圖；(8)切換顯示開關。
2. 雙擊滑鼠開啟次流程圖。
3. 物件上按右鍵選擇複製/剪下/編輯。
4. 在空白處按右鍵選擇貼上物件。

5. 按住左鍵不放一動物件。
6. 開始建立線段，滑鼠點一下為轉折點，雙擊滑鼠結束線段。
7. 使用 Diagram 選單可以開新檔案/開啟舊檔/儲存檔案/另存新檔。
8. 使用 RUN-MODE 選單可以切換編輯及執行模式。

SysView - Editing

Adding information to the diagrams:

Edit menu

- Add a new process
- Add a new dataset
- Add a text box
- Add an annotation
- Add a flow line
- Add a polyline
- Add a sub-diagram
- Toggle layout grid on and off

Aviation Applications Program
Research Applications Laboratory

© 2023 UCAR. All rights reserved.

圖 119：編輯模式基本操作

編輯程序範例(圖 120)：雙擊”FIR CDO processing”進入次流程圖，然後在”fuzzy_engine”上按右鍵選擇編輯，即可編輯程序名稱、程序應用範圍、程序所在主機、優先值、圓框在頁面上的位置、其他敘述等。

SysView - Editing

Changing information about a process

right-click on process

Double-click sub-diagram

Aviation Applications Program
Research Applications Laboratory

© 2023 UCAR. All rights reserved.

圖 120：SysView 編輯程序範例

編輯資料範例(圖 121)：雙擊”FIR CDO processing”進入次流程圖，然後

在”work/cth/mdvNc/cdo_detect/FIR/intrest/pc”上按右鍵選擇編輯，即可編輯資料型態、資料夾位置、資料所在主機、資料延遲時間設定、方框在頁面上的位置、其他敘述等。

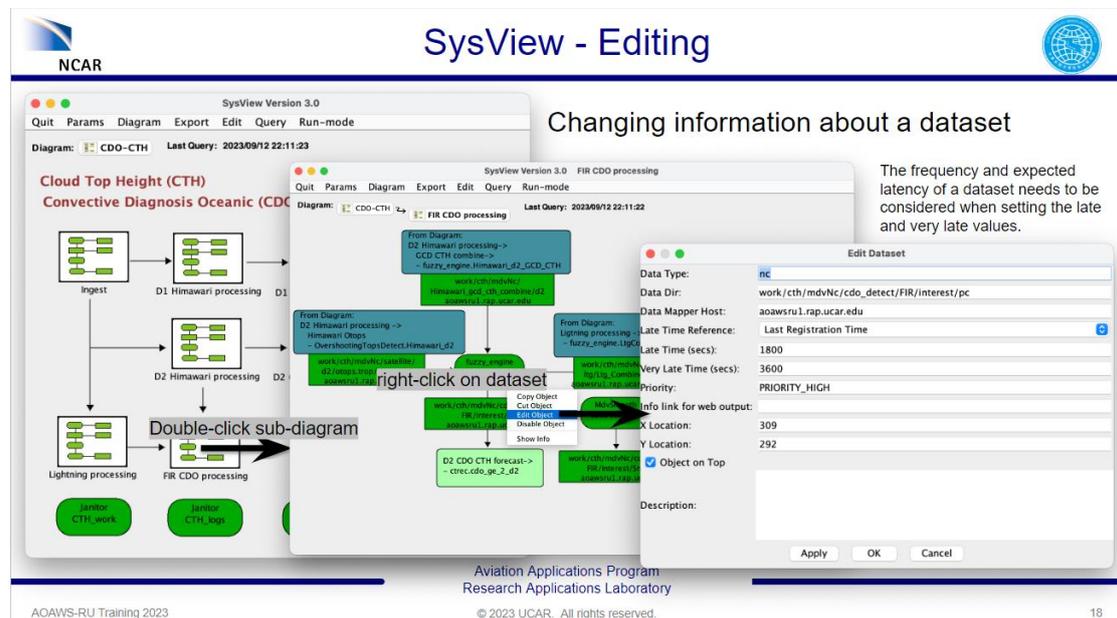


圖 121：SysView 編輯資料範例

(三)SysView 實作練習：

1. 登入測試主機 aoaws9。
2. 使用特定演算法帳號：runas cth。
3. 切換至 SysView 所在目錄：cd /home/cth/SysView/bin
4. 開啟 Sysview 編輯模式：./edit_Sysview
5. 練習新增一組次流程圖”Lightning processing”(圖 122)

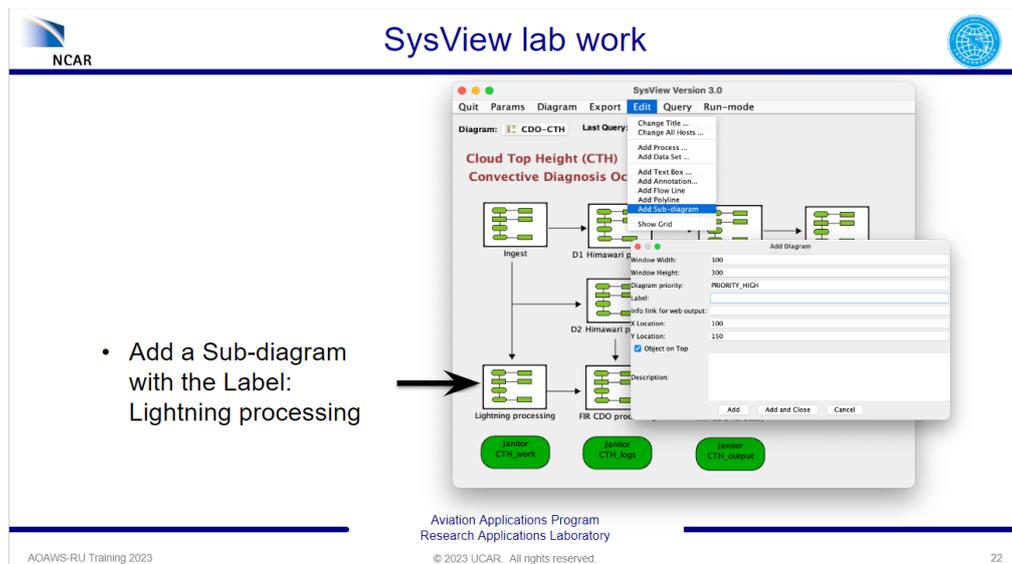


圖 122：新增閃電處理程序次流程圖

6. 練習在次流程圖新增 ”LtgSpdb2Mdv 10mAccum_10mUp_1gp”、

” LtgSpdb2Mdv 30mAccum_10mUp_1gp”、
 ” LtgSpdb2Mdv 60mAccum_10mUp_1gp”、” fuzzy_engine ltgCombine”等四個閃電資料處理程序之監控。(圖 123)

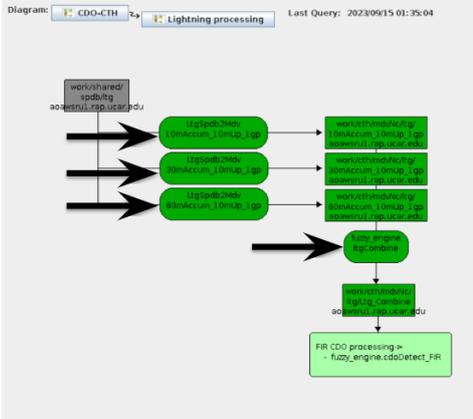


NCAR

SysView lab work



- Open the Sub-diagram by double-clicking on it and add the following processes



AOAWS-RU Training 2023

Aviation Applications Program
 Research Applications Laboratory

© 2023 UCAR. All rights reserved.

23

圖 123：新增閃電資料處理程序

7. 練習新增資料方框(深綠色)。
8. 練習新增文字方框(淺綠色)
9. 練習編輯流程線及箭頭，調整長短及所在位置。
10. 切換至執行模式觀察燈號。

肆. 心得及建議

一. 持續辦理出國教育訓練，並增加實際操作演算法程序訓練課程，以提升訓練成效：

- (一) 出國教育訓練能讓學員及講師有隨時討論之可能性，並有充分時間進行問答討論。
- (二) 實際操作演算法程序訓練，不僅強化學員程式語言能力，亦可讓學員深刻理解演算法程序架構及每個程序扮演的角色。
- (三) 面對面討論有助於講師確實了解飛航服務總臺預報員如何使用演算法進行預報經驗及所需資訊。

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日新月異，需要持續研習美國最新航空氣象科學及技術，並與中央氣象署或國內學界及資訊廠商合作，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、春夏之交有梅雨、夏季有午後熱對流及颱風等不同天氣，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，以提昇預報可用性及信心度。
- (二) 建議 NCAR 透過新增 ASPIRE 演算法情境判斷模組，改善 CWA RWF 模式資料在對流胞生成時間預報有過晚現象。
- (三) 對外辦理使用者說明會及業務交流，使航空公司了解最新航空氣象演算法產品相關應用，回饋使用者意見，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. 相關網站：

(一)GNU MAKE 線上操作文件

https://www.gnu.org/software/make/manual/html_node/index.html

(二)Unidata 提供之線上 NetCDF 檔案說明文件

<https://docs.unidata.ucar.edu/netcdf-c/current/>

(三)NetCDF 操作者(NCO)使用手冊

<https://nco.sourceforge.net/nco.html>

二. 課程內容簡報：2023_AOAWSRU_Training_ASPIRE_Overview 簡報