

出國報告（出國類別：其他）

出席「航空氣象業務協調聯繫會議」  
出國報告書

服務機關：交通部民用航空局

姓名職稱：于守良 技正

派赴國家：美國

出國期間：民國 112 年 9 月 16 日~民國 112 年 9 月 22 日

報告日期：民國 112 年 12 月 06 日

## 提要表

系統識別號：	C11202429																	
視訊辦理：	否																	
相關專案：	無																	
計畫名稱：	航空氣象業務協調聯繫會議																	
報告名稱：	出席「航空氣象業務協調聯繫會議」出國報告書																	
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: 10%;">職稱</th> <th style="width: 15%;">官職等</th> <th style="width: 35%;">E-MAIL 信箱</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>于守良</td> <td>交通部 民用航空局</td> <td>飛航管制組</td> <td>技正</td> <td>薦任(派)</td> <td>聯絡人： kevin@ca.gov.tw</td> </tr> </tbody> </table>						姓名	服務機關	服務單位	職稱	官職等	E-MAIL 信箱	于守良	交通部 民用航空局	飛航管制組	技正	薦任(派)	聯絡人： kevin@ca.gov.tw
姓名	服務機關	服務單位	職稱	官職等	E-MAIL 信箱													
于守良	交通部 民用航空局	飛航管制組	技正	薦任(派)	聯絡人： kevin@ca.gov.tw													
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 16 日 至 民國 112 年 09 月 22 日																	
報告日期：	民國 112 年 12 月 06 日																	
關鍵詞：	業務協調聯繫會議，美國國家大氣科學研究中心，NCAR，航空氣象預報演算法，MPAS，航空氣象現代化作業系統汰換及更新計畫，AOAWS-RU，Auto METAR																	
報告書頁數：	29 頁																	
報告內容摘要：	為持續提升臺北飛航情報區(以下簡稱本區)之航空氣象服務品質，提供符合民航業者需求之航空氣象產品，以達成我國為亞太地區飛航服務提供領先者之組織																	

	<p>目標，民航局自 110 年起至 113 年推動「航空氣象現代化作業系統汰換及更新計畫(The Advanced Operational Aviation Weather System Renewal and Update；AOAWS-RU)」，引進美國大氣研究大學聯盟之國家大氣科學研究中心(NCAR)所發展之最新航空氣象預報演算法，使我國之航空氣象預報品質更上一層樓，另為打造符合國際民航組織 (ICAO) 系統廣泛資訊管理 (System Wide Information Management；SWIM) 之航空氣象系統架構，期望透過本計畫取得最新飛航服務規劃。民航局為有效管理及瞭解美方今年度工作執行情形，奉派於 112 年 9 月 16 日至 22 日赴美國科羅拉多州博德市 (Boulder) 之美國國家大氣科學研究中心參加業務協調會議，並藉機了解目前國際間航空氣象資訊服務之發展趨勢，作為規劃未來航空氣象作業之參考。</p>
電子全文檔：	C11202429_01.pdf
附件檔：	
限閱與否：	否
專責人員姓名：	A15060000HA0
專責人員電話：	

## 目 錄

壹、目的.....	2
貳、過程.....	3
參、會議內容及結論摘要.....	6
肆、心得與建議.....	28
伍、附錄	

## 壹、目的

---

為持續提升臺北飛航情報區(以下簡稱本區)之航空氣象服務品質，提供符合民航業者需求之航空氣象產品，及因應氣象科技日新月異，精進本區飛航安全與服務，以達成我國為亞太地區飛航服務提供領先者之組織目標，民航局自 110 年起至 113 年推動「航空氣象現代化作業系統汰換及更新計畫(The Advanced Operational Aviation Weather System Renewal and Update；AOAWS-RU)」，主要目的係在本區原有航空氣象現代化作業基礎上，引進美國大氣研究大學聯盟之國家大氣科學研究中心(NCAR)所發展之最新航空氣象預報演算法，使我國之航空氣象積冰、亂流、機場或航路能見度、雲幕高及雷雨預報品質更上一層樓，提升預報準確率，並一併打造更精緻、貼合飛航用戶需求之新一代航空氣象服務網，另配合「飛航系統區塊式提升(Aviation System Block Upgrades，ASBU)」針對飛航系統整體改善之推動架構，建置符合國際民航組織 (ICAO) 系統廣泛資訊管理 (System Wide Information Management；SWIM) 之航空氣象系統架構，期望透過本計畫取得最新飛航服務規劃。

本局飛航服務總臺係 AOAWS-RU 計畫執行單位，為有效管理及瞭解美方今(112)年度工作進度及執行情形，規劃於 9 月 16 日至 22 日赴美國科羅拉多州博德市(Boulder)之美國國家大氣科學研究中心 (National Center of Atmosphere Research；NCAR) 參加業務協調及發展研討會議，瞭解計畫工作進度並進行航空氣象業務討論，本局考量本計畫建置之作業系統與本區下一代航空氣象作業及服務密切相關，爰隨同總臺出國人員參加是次會議，並藉機瞭解國際間航空氣象最新技術及政策發展，有助將航空氣象相關國際規範與作業實務結合，以利規劃我國航空氣象業務之發展。

## 貳、過程

會議於 9 月 18 日至 9 月 20 日分三天進行，由美方專案主持人許榮祥博士主持，分別就工作進度、協調議題、跨尺度天氣預報模式(MPAS)及自動機場天氣報告(Auto METAR)發展近況進行討論，會議議程如下表：

日期	時間	主題	我方人員	美方人員
9/18(一)	0910~ 1000	Status updates from product development (預報產品進度報告)	于守良 莊清堯(總臺)	許榮祥 Gary Cunning Ken Stone James Pinto Gregory Meymaris Jason Craig Jim Cowie
	1010~1200	General discussion (綜合討論)	于守良 莊清堯(總臺)	許榮祥 Gary Cunning Ken Stone James Pinto Gregory Meymaris Jason Craig Arnaud Dumont Jim Cowie
	1330~1400	Status update from GTG/GTGN (亂流預報產品進度報告)	于守良 莊清堯(總臺)	Wiebke Deierling

9/19(二)	0900~1100	<p>Project coordination meeting with Taiwan participants (臺美計畫團隊業務協調)</p>	<p>于守良 莊清堯(總臺) 總臺同仁 (視訊連線)</p>	<p>許榮祥 Gary Cunning Ken Stone James Pinto Gregory Meymaris Jason Craig Arnaud Dumont Jim Cowie Arnaud Arnaud Dumont</p>
9/20(三)	0900~1000	<p>MPAS development update by MMM (MPAS 模式最新發展進度)</p>	<p>于守良 莊清堯(總臺) 總臺同仁 (視訊連線)</p>	<p>許榮祥 Arnaud Dumont James Pinto</p>
	1000~1200	<p>AOAWS preparation for WRF to MPAS transitioning to be discussed with MMM and CWA(WRF 模式轉換 MPAS 模式相關議題討論)</p>		

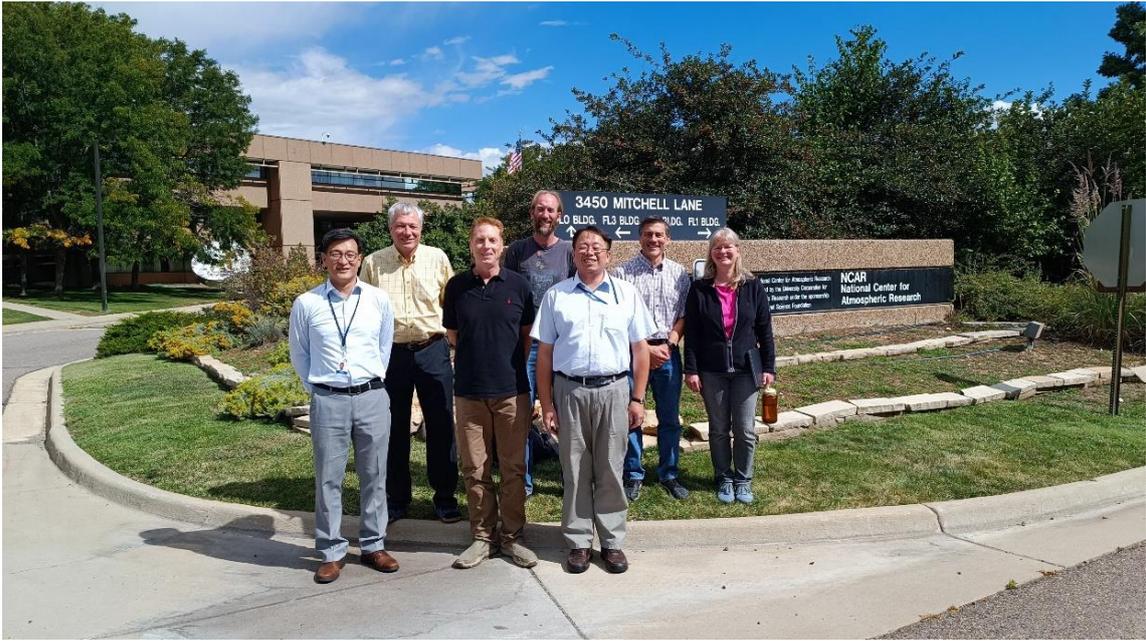


圖 1-臺美會議人員於 NCAR 辦公室大樓前合影

## 叁、會議內容及結論摘要

---

### 一、112 年工作進度報告

本次會議由美方各工作負責人員進行相關工作進度報告，並針對有關工作之後續配合事項進行確認。相關重要工作成果說明如下：

#### (一) 工作項目 1 - 更新飛行中積冰診斷(TCIP)及預報(TFIP)產品

臺灣即時積冰潛勢(TCIP)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(TFIP)則以數值模式資料，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。

目前民航局所使用的是由美方經由過去 AOAWS 計畫所發展的 TCIP 及 TFIP v1.x 版本。基於中央氣象署已將決定性天氣研究與預報模式(WRF-D)之解析度升級至 3 公里，因此透過 AOAWS-RU 計畫，進行演算法調整。除使其使用新模式解析度資料，並就因應模式之雲微物理參數化強化部分進行研究，且納入日本向日葵(Himawari-8/9)衛星資料及中央氣象署新雷達資料進行計算。後續再透過天氣個案研究方式，持續微調演算結果，使演算結果符合臺灣地區氣候特性。

依據 AOAWS-RU 計畫，TCIP2 及 TFIP2(即 TCIP 及 TFIP 之 2.0 版本)將於 112 年 10 月底完成發展，112 年度目前工作成果如下：

1. 完成飛行中積冰診斷及預報產品回饋準備工作，並交由民航局(總臺)進行意見回饋。
2. 確認 TCIP 及 TFIP 產品演算法可順利使用日本向日葵 9 號衛星資料，且無需調整系統規格文件。
3. 經 CIP 測試及評估作業，初步個案研究結果顯示，臺灣地區積冰發生可偵測率較美國地區低約 10%，積冰嚴重程度與美國相似，皆有過度預報情況。

4. 在民航局測試環境安裝完成 TCIP 及 TFIP 程序，並完成測試。
5. 新增 Domain 1 之 TCIP 及 TFIP 程序，並調整相關文件
6. 使用於美國執行之模式資料完成 TCIP 之基線(Baseline)評估工作。
7. 美方已於 9 月 1 日提交測試及評估報告。

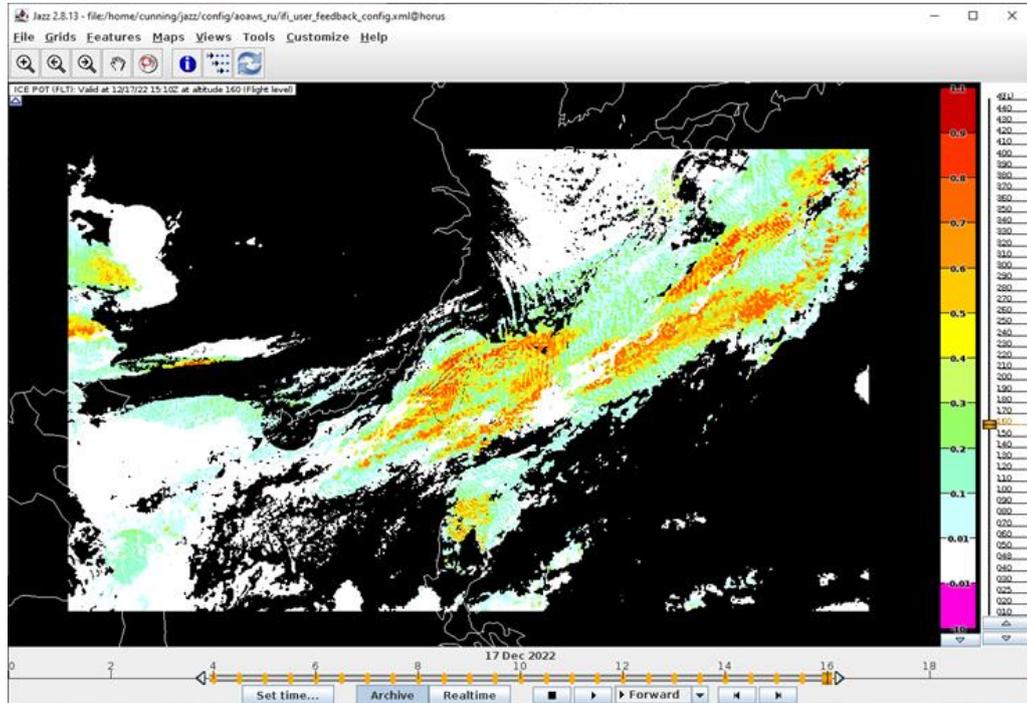


圖 2-積冰產品成果

## (二) 工作項目 2 - 升級亂流圖形化指引至第 4 版(GTG4)，並建置亂流圖形化指引臨近預報(GTGN)

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、飛機報告〈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。

亂流圖形化指引(GTG)係由美方開發並提供予民用航空預測亂流規模之重要演算法產品，目前民航局所使用版本為 GTG 2.5 版，並評估每個網格點之輸出資料(如風、溫度等)，以確定亂流發生的可能性。經計算與亂流相關的幾個指標後，再由不同的檢查方式確認輸出資料正確性，最終結果則是使用輸出資料集合平均值。而 GTG 輸出是以  $m^{2/3} s^{-1}$ (EDR)為單位。EDR 為國際民用航空組織 (ICAO)

所要求報告亂流之度量標準，亦為大氣亂流強度指標，其與飛機的 G loading 成比例，故 EDR 可用以表示航空相關亂流強度的等級分類(例如輕度、中度或重度等)。

而 GTG4 為 GTG 預報演算法之第四個版本，GTG4 納入不同的亂流形態，包括晴空亂流(CAT)、山岳波亂流(MWT)、對流誘導亂流(CIT)和低層邊界層亂流(LLT)，因此可彌補目前民航局版本所缺少海拔低於 10,000 英尺之低層亂流預報及山岳波與低層邊界層亂流預報，並加入比目前版本更為新進之亂流診斷方式，進行資料驗證，確保演算結果品質。

另外，亦將 GTG4 輸出結果用以發展臺灣地區之 GTGN(GTG-Nowcasting)版本，並納入國際航空運輸協會(IATA)之渦流消散資料及 NCAR 亂流偵測演算法(NTDA)進行運算，使原本以模式資料為主的 GTG 資料升級為具即時預報功能之 GTGN 版本。

112 年度目前工作成果如下：

1. 整合 GTG4 演算法之建置、安裝及運作程序，開始使用即時資料進行演算法運算，並於 6 月底提供民航局相關程序安裝文件，並持續評估演算法運作效能。
2. 持續進行校準工作，包含使用實地觀測資料(EDR)及 NCAR 亂流偵測演算產品(NTDA)進行機率分布函數、亂流診斷對應及統計評估等工作。
3. 完成國際航空運輸協會(IATA)之渦流消散資料及機場天氣觀測資料格式轉換程序，轉換後之資料納入演算法使用。
4. 持續蒐集亂流個案，作為個案研究及使用回饋調查之用。
5. 以民航局提供之機場天氣觀測資料進行 GTGN 演算，並進行 925hPa 及 850hPa 之結果診斷。

GTGMAX 2-h forecasts valid at 20 UTC 20220531 FL370  
[in-situ EDR FL360-380  $\pm$ 1-hr 0-min] LGT 6 MOD 1 SEV 2

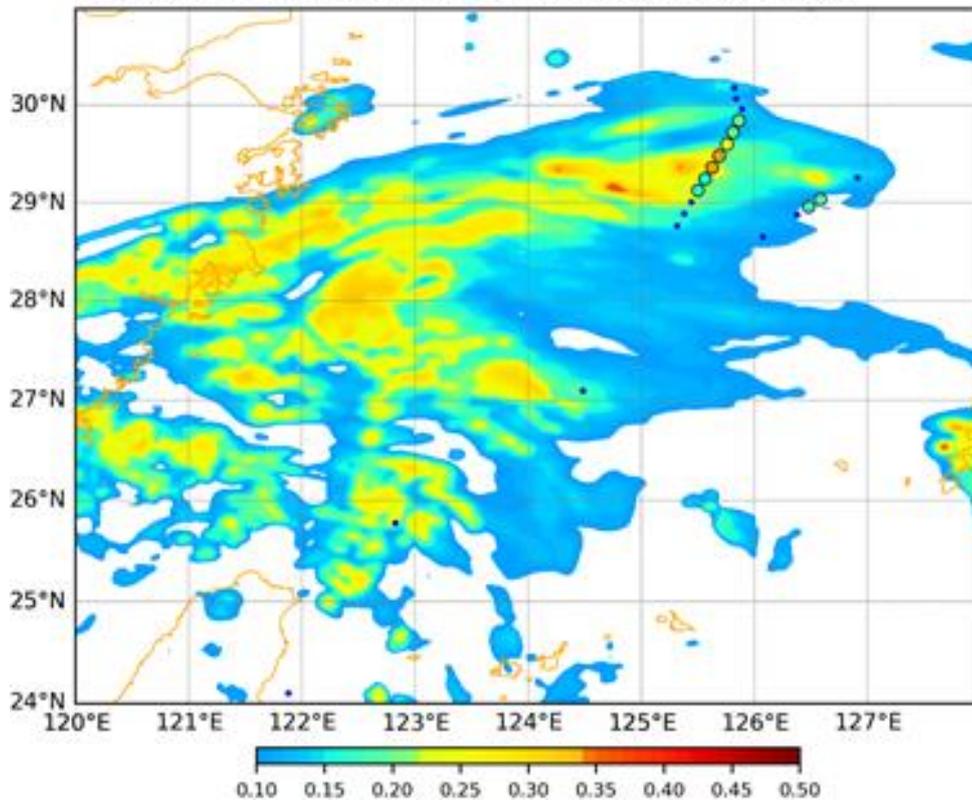


圖 3-GTG4 發展成果

### (三) 工作項目 3 - 更新 NCAR 亂流偵測演算法(NTDA)

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，經過資料品質管制，使用雷達觀測資料中之回波場、徑向速度場及波譜寬度等資料，並處理渦流消散率(EDR)，即為 NTDA 產品。目前民航局之 NTDA 版本業納入中央氣象署之五分山、七股、墾丁及花蓮等 S 波段雷達資料。

為增加現有 NTDA 所使用雷達資料涵蓋率，本計畫納入中央氣象署於樹林、南屯及林園等地建置之 C 波段降雨雷達，以及空軍氣象聯隊於綠島、臺中及澎湖等地建置之 C 波段雙偏極化氣象雷達，並因應中央氣象署雷達汰換現有 S 波段雷達，調整相關資料處理程序，並強化消除人工射頻(RFI)干擾及提升資料處理技術。

112 年度目前工作成果如下：

1. 接收並測試中央氣象署汰新後之墾丁及花蓮雷達資料，並重新評估雷達資料於演算法之應用。另因中央氣象署汰新後之七股雷達資料格式與其他雷達資料相差較大，正進行是否納入演算法之評估作業。
2. 持續配合其他演算法產品進行資料整合及緩解產品本身雜訊問題。
3. 發展演算法之建置、安裝及運作程序，並於民航局之測試環境，以即時資料進行運算。

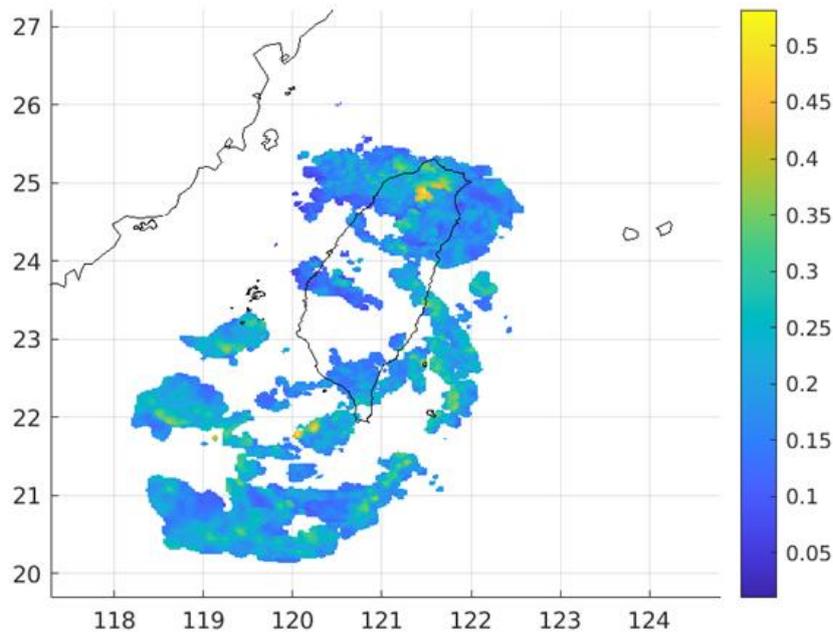


圖 4-NTDA 發展成果

#### (四) 工作項目 4 - 更新雲頂高預測產品(CTH/CDO)

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 ( $11 \mu\text{m}$ , 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 ( $11 \mu\text{m}$ , BAND14) 影像及水氣頻道( $6.2 \mu\text{m}$ , 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，當數值使用靜態之衛星雲圖來描述對流雲是具有挑戰性的，因為衛星儀器只能看到對流雲頂和穹頂外部，無法看到雲內部。因此雲頂高度(CTH)和對流診斷海(CDO)產品，為美方近年發展在跨洋區域內為航空提供策略性輔助的工具。為進一步瞭解對流雲結構特徵，而於本計畫引入對流診斷海洋(CDO)產品。

CTH 演算法結果主要用以描述雲高度，飛行員用以估計在距離風暴距離和/或知道是否可以安全地飛越天氣系統雲層。CDO 算法則是用以檢測與強上升氣流/下沉氣流相關的對流危害區域。

112 年度目前工作成果如下：

1. 完成 CTH/CDO 演算法程式初步整合，並納入程式碼儲存庫，且於民航局測試環境進行演算法安裝及執行。
2. 持續進行演算法驗證工作，以確認民航局測試環境之產品與美國所得產品相同。

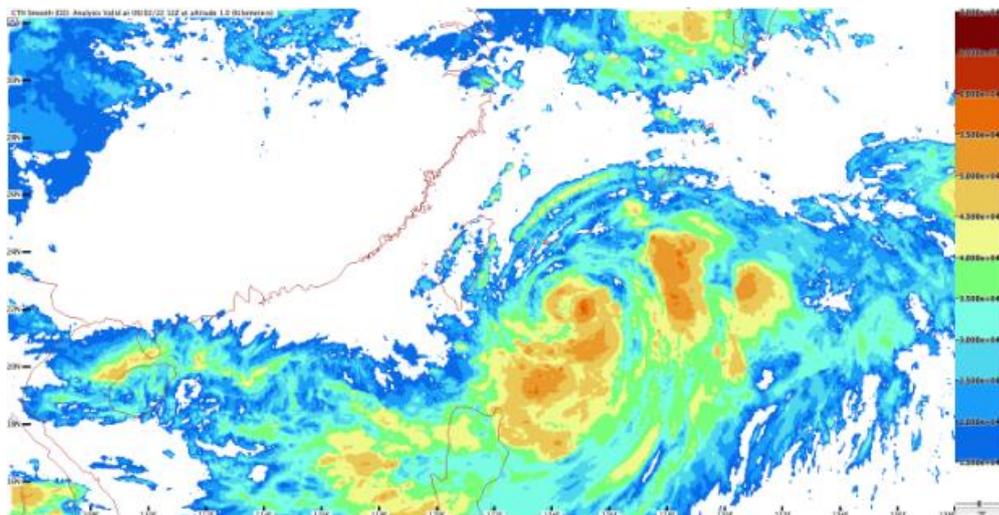


圖 5-軒嵐諾颱風期間 CTH 產品

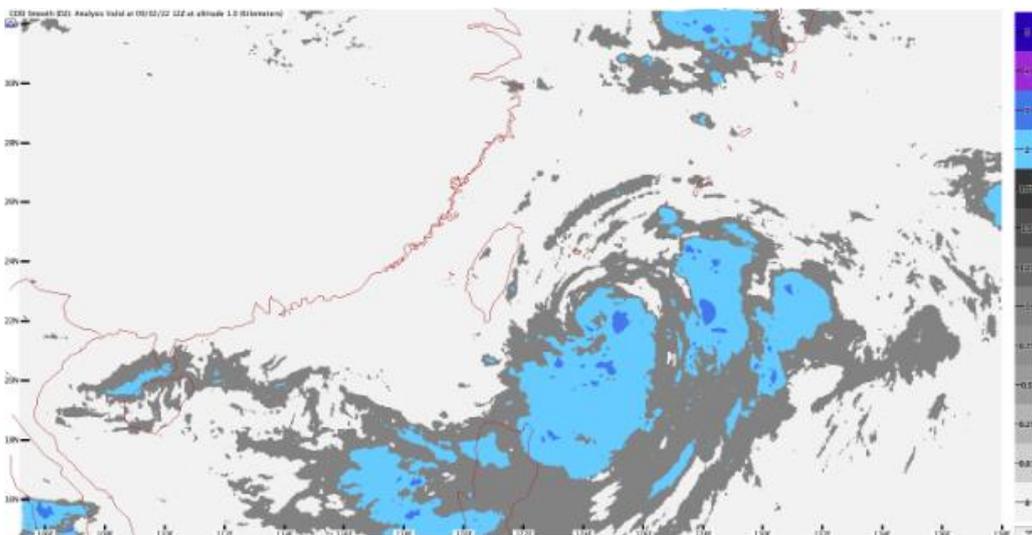


圖 6-軒嵐諾颱風期間 CDO 產品(本圖資訊不納入閃電資料運算)

#### (五) 工作項目 5 - 更新機場雲幕與能見度預測產品(Ceiling and Visibility ; C&V)

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。

目前民航局所使用之 MOS 輸出之機場天氣預報資訊，係亦由美方於過去 AOAWS 計畫期間開發完成，該演算法可提供個別機場單一時間或於時間序內天氣預報資料，此演算方式係採模式資料輸出結果，配合近 60 天之天氣統計情況與實際天氣進行校準後，得到預報結果。在 2019 年，美方對於校準算法進行改進，強化低於目視條件下之天氣情況預報準確度。爰透過本計畫將目前演算法進行調整，並將原本適用於單一機場之預報結果升級為以網格點方式呈現，提升產品可用性。

MOS Forecast Time History for station RCTP:

Time	Wind Direction	Wind Speed	Visibility	Ceiling	Temperature	Dew Point	Pressure	Model Run Time
UTC	Degrees	Knots	Km	Feet	Degrees Deg C	Degrees Deg C	hPa	UTC
2023/11/16 03:00:00	340	10	10	1150	23	21	1023	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 04:00:00	340	10	10	1400	23	21	1023	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 05:00:00	340	10	10	1800	22	20	1022	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 06:00:00	350	10	9.5	1500	22	20	1022	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 07:00:00	210	15	9.5	2450	21	19	1022	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 08:00:00	180	15	10	2350	21	18	1023	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 09:00:00	160	15	10	3750	21	17	1023	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 10:00:00	140	10	9.5	4100	19	17	1023	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 11:00:00	120	10	9.5	4900	19	16	1024	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 12:00:00	090	15	9	4300	19	16	1024	2023/11/15 12:00:00
2023/11/16 13:00:00	050	15	9.5	5450	19	13	1024	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 14:00:00	030	15	10	4850	18	11	1025	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 15:00:00	020	15	10	5750	18	11	1025	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 16:00:00	020	15	10	6200	17	10	1024	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 17:00:00	010	15	9.5	6600	17	10	1023	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 18:00:00	010	15	9.5	6700	17	9	1023	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 19:00:00	020	15	10	> 10000	17	9	1024	2023/11/15 18:00:00
2023/11/16 20:00:00	020	15	10	> 10000	17	9	1024	2023/11/15 18:00:00

圖 7-目前 MOS 輸出產品畫面

112 年度目前工作成果如下：

1. 以季統計資料驗證並評估 C&V 演算法效能。
2. 修正產品輸出之網格資料內偶而出現的圓形偽影情況。
3. 交付 112 年 1 月 1 日至 3 月 31 日與 112 年 4 月 1 日至 6 月 30 日之系統驗證結果報告。
4. 於民航局測試環境安裝更新後之 C&V 演算法程式及設定，以作為後續系統使用即時資料時之用，另安裝資料校準作業所需之程序。

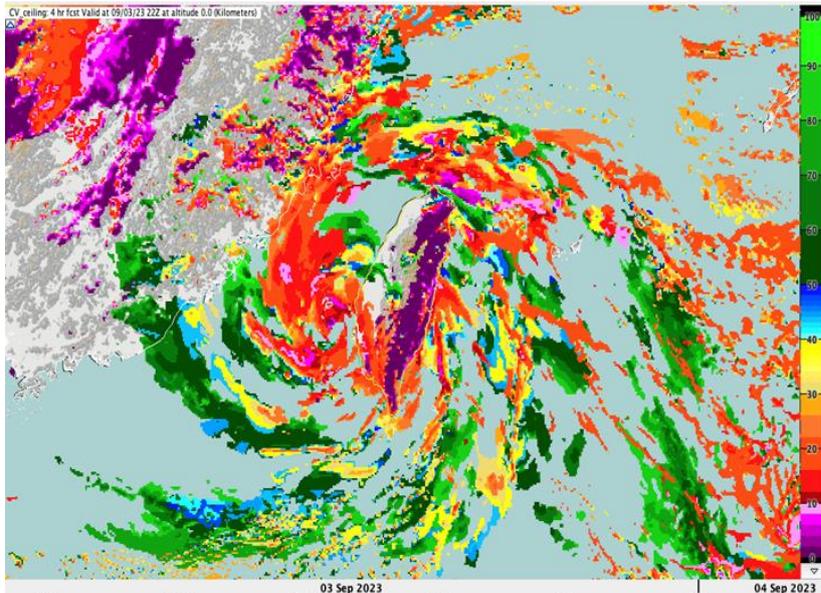


圖 8-網格化之雲幕預報產品

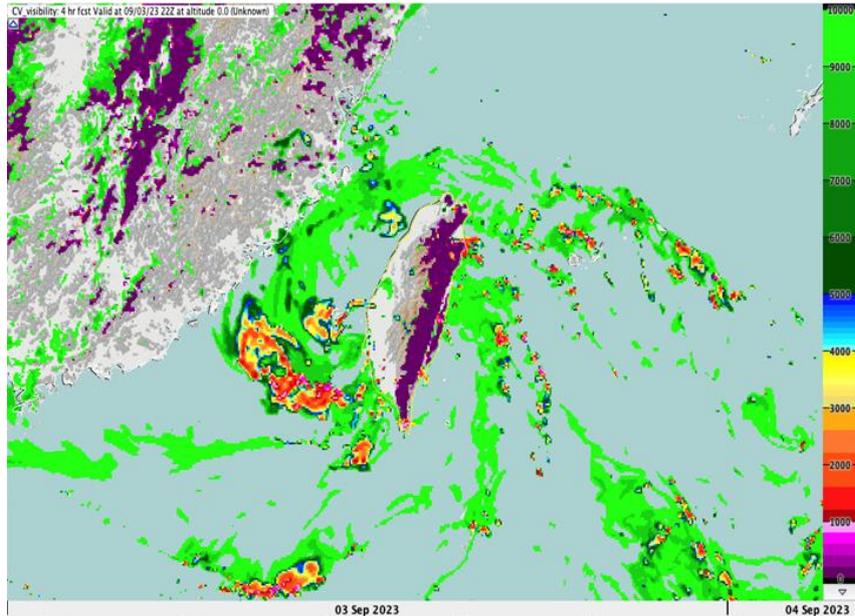


圖 9-網格化後之能見度預報產品

(六) 工作項目 6 - 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~ 5 小時預報 6~8 時則使用校驗過 RWRF 模式預報。

目前民航局業經由 AOAWS 過去計畫取得美方發展之雷雨辨識、路徑追蹤及即時預報(Thunderstorm Identification, Tracking and Nowcasting ; TITAN)演算程序, 該程序係使用中央氣象署提供之三維雷達合成資料, 再由程序自動辨識風暴範圍, 並以一小時外延法來產生風暴短期追蹤預報資料(如圖 10)。

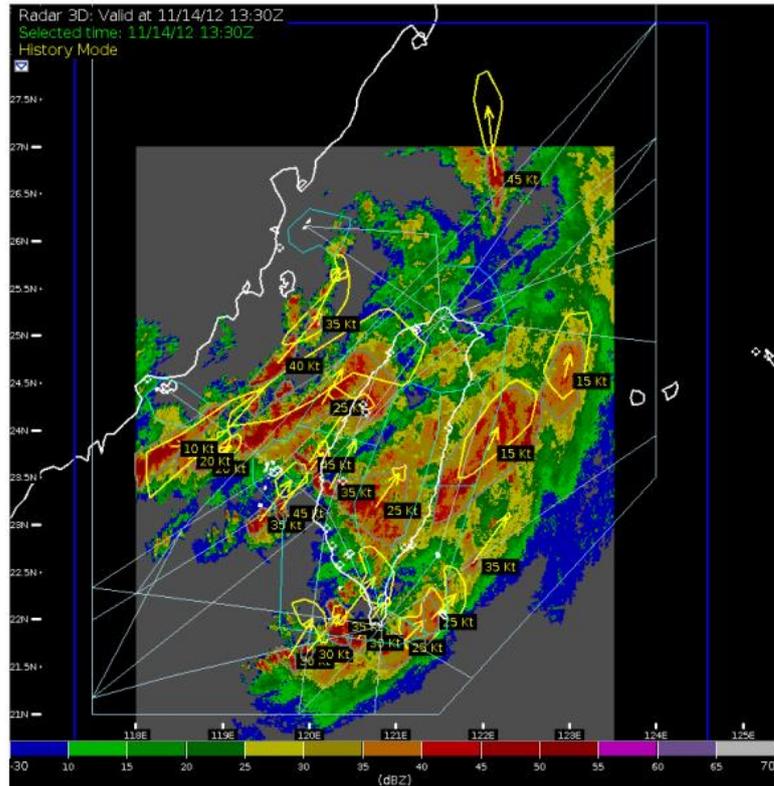


圖 10-TITAN 產品圖

為持續精進風暴短期預報之掌握度，透過本計畫與美方共同研究、開發外推和混合技術，使用中央氣象署提供高更新頻率之模式預報資料，發展提供短期(0至8小時)反射率和回波頂高預報演算法。

本演算法為了於最短時間內產生風暴位置和強度之短期預報，而將目前 TITAN 的外推與模式預報資料結合起來，並以稱為 CoSPA(Consolidated Storm Prediction of Aviation，即目前計畫引入之 ASPIRE)之複雜混合算法，以產生 0 至 8 小時風暴預測結果。期望未來此產品可做為雷雨天氣即時預報及流量管理之參考工具。

112 年度目前工作成果如下：

1. 於民航局測試環境完成 ASPIRE 第 1.2 版發展，並開始進行實際運作。另持續進行演算法之校準、相位校正及混合模組之修改。
2. 開始進行每小時內插輸出作業(每 20 分鐘輸出更新資料一次)，並於 ASPIRE 第 2.0 版本進行實作。
3. 使用 111 年 6 月 17 日至同年月 21 日之個案進行使用回饋意見蒐集。

4. 開發演算法安裝程序、自動檢查機制及即時監控頁面。

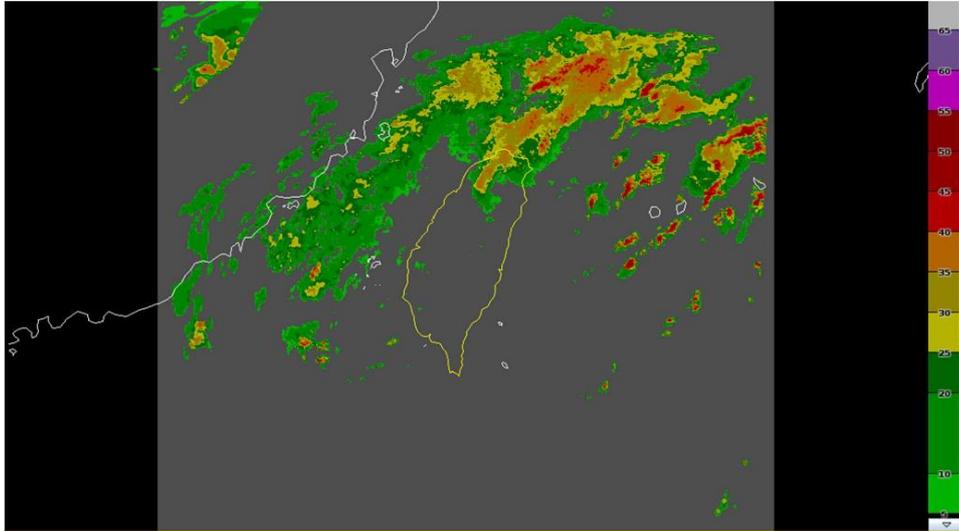


圖 11-ASPIRE 產品

#### (七) 工作項目 7 – 專案管理、行政作業及相關文件準備

112 年度目前工作成果如下：

1. 持續進行民航局測試環境安裝及測試工作之相關協調作業。
2. 依據民航局所提供之積冰產品使用回饋意見、測試環境及使用即時資料部分，進行協調及解決問題之討論。
3. 協調 NCAR 人員預計於 112 年 10 月下半月訪問臺灣事宜，屆時將進行 CTH/CDO、C&V 及 ASPIRE 等演算法產品展示及討論使用回饋意見。
4. 協調 NTDA 演算法使用之中央氣象署新雷達資料及資料解讀與應用問題。

## 二、 協調會議討論事項

由於本次出國計畫係 AOAWS-RU 計畫推動以來首次實際赴美執行，因此討論議題較多，爰分別於 9 月 18 日及 9 月 19 日進行討論，討論議題及內容摘要如下：

### (一) 積冰演算法於最終交付後之驗證方式

新版積冰演算法將於 112 年年底完成發展，屆時 NCAR 將交付相關程式碼及文件，為確保交付版本於民航局環境運作與美國發展版本一致，爰請美方規劃驗證方式。

美方初步規劃將於 NCAR 和民航局測試環境更新最終版本原始碼及應用程式，並同時於 NCAR 及民航局測試環境更新驗證用套件，該套件可用於比對臺灣及美國所產製之積冰預報產品差異，即可了解交付與臺灣運作版本是否存在差異。

### (二) ICAO 第三號附約(ANNEX3)第 81 次修正(AMD81)所涉及的新一代世界區域預報系統(WAFS)資料內容變更及資料提供方式

由於 ICAO 規劃於 ICAO ANNEX3 第 81 次修正版本發布時，公布 WAFS 資料內容及供應方式調整資訊，由於我方目前取得資料較為零散，且相關時程需要確認，因此請美方提供相關資訊。

美方提供資訊如下：

1. 新一代 WAFS 將於 2023 年 11 月上線，不過通常會有新舊系統平行運作時間，供目前資料使用人進行調整。
2. 現行資料內容之改變說明如下：
  - (1) 網格點預報資料：將由現行特定氣壓高度之預報場資料調整為每 1000 呎即有預報場資料，即資料垂直方向之解析度增加；資料水平方向之解析度自 1.25 度提升至 0.25 度；預報長度時間自原本 36 小時提升至 48 小時，其中第 6 至 24 小時改為提供每小時預報資料，其餘時間維持提供現行每 3 小時預報資料。
  - (2) 非網格預報資料：由目前氣象數據的二進制通用表示格式(BUFR)資料格式調整為 ICAO 氣象資訊交換(IWXXM)格式。
  - (3) 顯著天氣預報圖檔資料：目前世界區域預報中心(WAFC)提供有全球 13 個選定區域之高層(FL250 至 FL630)及 4 個選定區域之中層(FL100 至 FL450)

之顯著天氣預報圖，未來將調整為僅 3 個中高層區域中層至高層(FL100 至 FL600)之顯著天氣圖。

3. 有關資料提供部分，將逐漸由現行透過網站或以”wget”程序取得資料的方式，調整為透過應用程式介面(API)和高級訊息佇列協定(AMQP)提供資料。
4. 現行非網格資料及顯著天氣預報圖資料將提供服務到 2027 年。

(三) 由於民航局刻正進行新一代低空風切警報系統汰換規劃，因此請 NCAR 就「X 波段雷達與光達組合及 C 波段雷達與光達組合之效能差異，以及兩種組合的各自優勢？」以及「以 X 波段雷達與光達組合及 C 波段雷達與光達組合，在美國哪種組合居多？」進行說明。

美方說明機場以「X 波段雷達與光達組合」或「C 波段雷達與光達組合」偵測低空風切，主要還是依據機場特性及天氣條件決定，如雷達設置位置與機場間距離，或雨衰影響程度等等，並未有何者性能較好的差異情況。但就目前所知，國際間以 C 波段雷達與光達作為低空風切偵測組合，並未多於 X 波段雷達與光達之組合，其原因在於 X 波段雷達天線本身及設置所需用地較小，所以安裝上明顯容易許多。

就目前 NCAR 所掌握資訊，暫時無法確認哪種組合較為適合用於臺灣機場之低空風切偵測。目前民航局已經委託專業氣象團隊進行新一代低空風切警報系統評估工作，且相關工作將進行至 113 年 10 月底，工作內容包含新一代低空風切警報系統組合方式、掃描策略及站點選址等等，美方表示可以在 AOAWS-RU 計畫下的諮詢工作項目下提供民航局後續所需諮詢資訊，如協助提供系統建議規格及就民航局所委託團隊所做評估內容，提供技術諮詢及建議等工作，惟 NCAR 請民航局需要留意這部分的諮詢工作比例，避免占用大部分諮詢工作項目費用。

(四) 目前 ICAO ASBU 氣象模組最新發展情況以及美國推動系統廣泛資訊管理 (SWIM)情況與計畫

美方說明目前 ICAO ASBU 仍依原定期程推動，爰尚無進一步發展情況。另目前美國已將航空流量管理所需數據，通過 SWIM 概念提供給用戶，並已開始提供資料與其他地區，而使用飛航訊息管理系統(AMHS)之用戶則處於替換舊資料路由系統之過渡期。同時 SWIM 入口網站正在建置中，未來 SWIM 用戶將透過入口網站進行註

冊，以訂閱後續資料之路徑來源，用戶可依作業需求而同時擁有多個資料來源。ICAO 建議可直接洽目前商業外包系統，如 SOLACE，使用其以爪哇(JAVA)程式語言建構之資訊服務，向資料訂閱用戶提供資料。美國目前亦使用 SOLACE 提供資料予用戶，但對於 NCAR 來說，並不清楚美國是如何透過 SOLACE 提供符合 SWIM 概念之完整服務。

我方表示目前民航局也已經完成 SOLACE 軟硬體購置，後續也將規劃透過 SOLACE 進行航空所需資料交換，美方表示 SOLACE 可視為 SWIM 架構的實現，如果民航局建置了符合 SOLACE 架構的服務，其應該才可稱為符合 SWIM 政策。因此仍需要確認 SOLACE 是否提供註冊及允許用戶訂閱資料部分，才能夠確保提供完整的 SWIM 服務。

另因為 SWIM 是新的 ICAO 服務標準，需要留意透過其提供之服務，需能夠使用戶透過檢索並取得數據。為此在美國透過 CSS-Wx 程序完整實現 SWIM 所需要的服務，其允許用戶得以取得更為細緻資料，如請求特定區域中單一模型輸出或特定 METARs 等高級服務。



圖 12-9 月 18 日會議

## (五) 113 年 AOAWS-RU 計畫效益評估報告討論

由於 AOAWS-RU 計畫執行至 113 年年底暫告一段落，為使我方了解計畫期間發展之演算法效益，爰業與美方協調於計畫結束前交付效益評估報告。本議題則是與美方討論該報告內容初步構想，目前規劃該報告將包含「新舊版本演算法差異效益」、「演算法轉移至臺灣地區運作後，與美國本土運作版本是否存在差異」以及「演算法於臺灣地區運作後，如何確保效能穩定」等三部分。為此，美方由本計畫發展之 TCIP/TFIP、GTG/GTGN、NTDA、CTH/CDO、C&V 及 ASPIRE 等演算法負責人員進行說明及討論，以下為各演算法討論內容摘要：

1. **TCIP/TFIP**：由於目前臺灣已經具有 TCIP/TFIP v1.x 版本，所以在比較新舊版本演算法效能上相對比較容易，積冰演算法發展團隊已完成相關驗證方法，並已用在目前計畫之積冰演算法發展說明資料。該方法主要以探空資料作為實際觀測資料，透過訂定當地可能引發結冰的門檻值(如足以引發積冰之相對溼度門檻值)，再分別與新舊版本之 TCIP/TFIP 結果進行比較，即可得知效能差異。但考量到探空資料僅為單點資料，並無法表示全部天空之大氣條件，因此需要蒐集鄰近地區同時間所發布之探空資料，並進行完整分析。評估此方法可用再確認新舊版本演算法效能差異及分別運作於臺灣及美國版之演算法效能比較。
2. **GTG4/GTGN**：由於目前民航局所使用的 GTG 版本為 v.2.5，其運算結果為 0 至 1 的數值，再以數值大小訂定亂流強度，此與本計畫升級的 GTG4 將結果直接以 EDR 數值輸出不同，因此在比較新舊版本差異上將比較困難，因此在新舊版本差異比較上，目前規劃採說明新版演算法所增加之分析技術及功能資訊。另建議就 GTG4 之效能驗證部分，美方計劃與 IATA EDR 觀測資料進行比對，再透過 PODy 及 PODn 資料，可得到大致之驗證結果。由臺灣地區所得之 PODy 及 PODn 資料換算為 ROC 曲線即可與美國地區之運作進行比較，亦可得到演算法與兩地運作之效能比較。
3. **NTDA**：NTDA 演算法於本計劃中重要工作為納入中央氣象署降雨雷達(樹林、南屯及林園)以及空軍氣象雷達(澎湖、臺中及綠島)，並調整資料處理程序以因應中央氣象署七股、花蓮及墾丁雷達汰新後之新資料格式。此外，強化雷達資

料品質控管程序也是本演算法重點工作之一。但新版演算法計算方式與目前民航局版本相近，因此預期新舊版本效能應該差距不大。因此在後續效益評估報告中，NTDA 演算法將以展示更大的雷達涵蓋率及比較新舊版本之資料管控程序對於預報結果差異進行說明。至於在比較透過本計劃轉換至臺灣之新 NTDA 版本與美國本土版本之效能比較部分，因為 NTDA 運算結果可視為觀測資料，且臺美兩地天氣條件及雷達資料存在差異性，故建議不進行此部分之比較。

4. CTH/CDO：目前台灣已有 CTH 舊版資料，但無 CDO 資料，因此美方規劃利用比較新舊版本資料，並以實際衛星雲圖資料及降水觀測資料進行驗證。
5. C&V：由於本計劃之 C&V 預報產品已為網格化資料，如需比較現行民航局版本之 MOS 資料，規劃可由目前 C&V 產品挑選特定網格點進行比對，後續需要由進一步討論將目前運作中資料提供給美方之方式。
6. ASPIRE：經過討論，考量到目前臺灣使用之 TITAN 與 ASPIRE 演算原理不太一樣，因此不建議採用直接比對。後續規劃以氣象數值模式之雷達回波場預報及實際雷達觀測資料進行比對，並進行效益評估。

至於在本計畫與美方合作發展之劇烈天氣演算法轉移至臺灣運作後，美方亦將提供驗證程序(如 Jupyter Notebook)或程式給臺灣，並將相關說明、操作及設定方式內容納入最終技術文件中，未來如臺灣面臨演算法所需之資料來源或格式改變時，可透過該程序進行驗證，確認其對於演算法影響程度，並可透過諮詢管道向 NCAR 討論，確保演算法效能。

#### (六) AOAWS-RU 計畫結束後，未來天氣預報演算法維運方式討論

目前飛航服務總臺將現有使用中之 AOAWS 天氣預報演算法，以委託資訊廠商維護方式，維持其正常運作。惟在面臨所需資料來源或資料格式等重大改變時(如日本 MTSAT2 於 106 年退役，後續改為向日葵 8 號及向日葵 9 號衛星提供衛星雲圖資料，另中央氣象署近年汰新所屬七股、花蓮及墾丁雷達設備)，所涉及資料程序調整及效能驗證作業，仍需由受託之資訊廠商轉請美方提供技術諮詢與支援。為確保本計畫所發展之天氣預報演算法持續保持穩定效能，爰於本次會議與美方討論計畫後之合作方式。

美方表示本計畫結束前會由演算法開發團隊提供驗證程序及程式給臺灣，未來如面臨資料相關之重大變更時，可先行進行評估及驗證作業。若有進一步需要因應調整需求，考量 NCAR 屬於半政府單位，無法直接與臺灣民航局進行合約簽訂，爰建議仍採透過美國在台協會(AIT)及駐美國台北經濟文化辦事處(TECRO)雙方於現有 AOAWS 協議下簽訂執行計畫或比照目前由臺灣民航局委託民間資訊公司辦理系統維護案模式，由民間資訊公司轉洽美方提供協助方式辦理。

### (七) 目前美國發展中之最新天氣預報演算法

美國聯邦航空總署(FAA)為發展更為先進及準確之天氣預報演算法，並提供與美國本土作業單位使用，確保飛航安全。因此投入為數不小的資源予 NCAR 等研發單位進行發展，而 AOAWS 計畫自以往以來即將美國發展完成且納入作業的天氣演算法引入臺灣使用，並由美方協助進行調整，使其符合臺灣作業環境及天氣條件。

另考量目前 AI 人工智慧已為熱門議題，各類工作領域逐漸嘗試與 AI 進行接軌，爰於本次會議詢問目前 NCAR 刻正發展中之其他天氣演算法及是否納入 AI 技術，美方回復目前發展中的天氣演算法如下：

1. High Ice Water Content(HIWC)天氣演算法：經近年研究發現飛機發動機吸入大量冰晶，進而所造成的飛機機組零件故障情況。雖尚未有相關事故發生，但相關現象已陸續在全球各地發現，亦包含熱帶地區。因此 NCAR 已開始著手進行相關調查，並進行 HIWC 天氣演算法發展，目前採用澳洲、法屬圭亞那及英國等地資料進行訓練及驗證。
2. GTG4 升級至 GTG4.5：本升級想法即是將 AI 技術納入原本 GTG4 演算法中，嘗試透過 AI 進行資料分析及判斷，並輸出對應之 EDR 數值。
3. GTGN 升級：同樣透過 AI 技術分析飛機所得 EDR 數值，並進行產出亂流發生機率資料。
4. NTDA：持續發展更佳的資料管控技術，如濾除鳥類及昆蟲移動之偽訊號。
5. Ensemble Prediction of Oceanic Convective Hazards (EPOCH)：由於海洋地區的對流系統對航班亦構成相當程度的安全威脅，係因正在形成和現有的對流風暴系統上方和/或附近可能引發亂流。而跨洋航班飛行時間長，航空公司需要長達

未來 36 小時的相關預報資訊。因此 NCAR 正在開發網格概率預報指南的方法，超越氣象數值模式預報時間長度的海洋對流系統演算法。



圖 13-9 月 19 日會議

### 三、跨尺度天氣預報模式(MPAS)發展

MPAS 英文全名為 Model for Prediction Across Scales，中譯為跨尺度天氣預報模式。跨尺度預測模式(MPAS)是一個合作項目，旨在開發用於氣候、區域氣候和天氣研究的大氣、海洋和其他地球系統模擬組成。主要開發合作夥伴包括洛斯阿拉莫斯國家實驗室(Los Alamos National Laboratory)和 NCAR。這兩個主要合作夥伴負責 MPAS 框架、應用程序共用的運算符和工具；洛斯阿拉莫斯國家實驗室主要負責海洋和陸地冰模型，而 NCAR 主要負責大氣模型。

MPAS 的特點是非結構化 Voronoi 網格和 C-網格離散化，它們被用作許多模型組件的基礎。非結構化的 Voronoi 網格，正式稱為球形中心 Voronoi 剖分(SCVTs)，允許對球進行準均勻離散化和局部細化。C-格離散化，其中單元邊緣上的速度的法向分量被預測，特別適用於更高分辨率的中尺度大氣和海洋模擬。陸地冰模型利用 SCVT 雙網格，這是一種三角形 Delaunay 曲面細分，適合與基於有限元素的離散化一起使用。

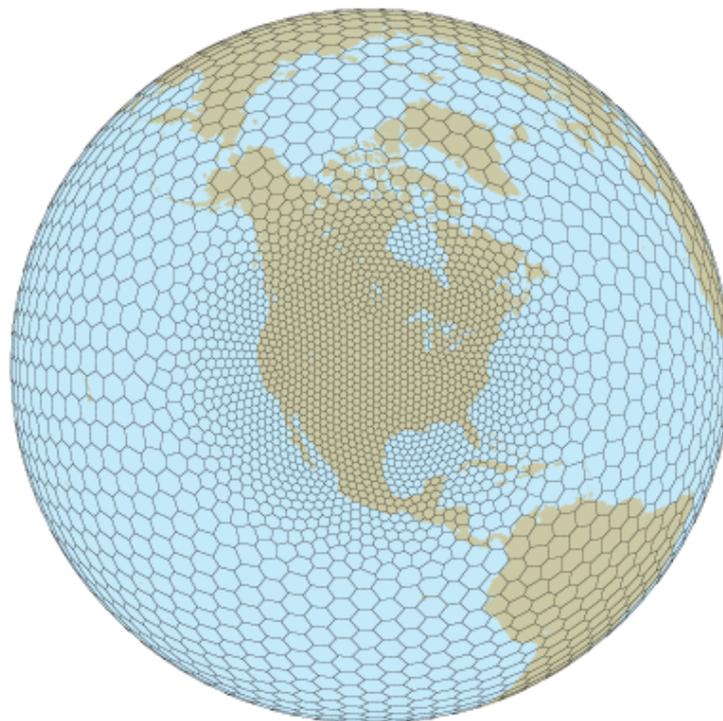


圖 14-MPAS 模式網格點(採非結構化網格)

本討論會議主要由 NCAR 之 Mesoscale & Microscale Meteorology Laboratory 及中央氣象署進行討論，但考量到民航局 AOAWS-RU 計畫各式演算法與氣象數值模式之關聯性，爰邀請民航局及 NCAR 之 Research Applications Laboratory(AOAWS-RU 計畫之預報演算法發展單位)與會。

目前 MPAS 第 8 版本已於 112 年 6 月 16 日釋出，該版本主要為增加新的 I/O 層、為圖形處理設計交換模組、模式初始化更新(以解決模式資料邊界問題及靜態場平行執行)、動態更新及物理化更新等部分。

MPAS 模式後續預計於今(112)年年底起於美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)進行試用，而中央氣象署部分，目前持續由中央氣象署進行相關資訊研究及準備工作，雖已完成 MPAS 測試平臺，持續透過校驗及驗證工具比較 MPAS 及目前運作中之天氣研究及預報模式(WRF)效能，但正式上線取代現行作業的時間尚未明確。但可以預期時間應該是 10 年左右。對於中央氣象署而言，WRF 及 MPAS 是可以共存的，因此無由 WRF 過度至 MPAS 之議題，而目前作業中之天氣研究及預報模式(WRF)亦將持續於資料同化部分進行強化，另規劃於 MPAS 進行後續新的測試及研究部分相關工作。而就民航局而言，現階段因 MPAS 尚在臺灣地區發展中，因此暫對於本計畫所引入之天氣預報演算法無立即性之影響，後續仍需持續與中央氣象署確認發展情況，並適時擬定因應策略。



圖 15、9 月 20 日 MPAS 討論會議

#### 四、美國自動機場天氣報告(Auto METAR)作業現況

在美國已有部分機場依靠自動氣象感測器來發布機場天氣報告，儘管作業自動化，但是這些機場都有觀測員持續注意天氣情況，當自動機場天氣報告被認為不正確時，觀測員將介入，脫離自動觀測模式進行人工修正，然後持續觀察自動觀測數據到再次正確，再重新打開自動化功能，讓系統繼續運行。人工/自動化切換主要發生在主要大型機場，較小的機場可以完全自動報告。

美國各機場從大型機場到小型機場之氣象感測器並不完全相同，美方表示使用什麼感測器並不重要，只要它們滿足航空作業的最低要求，其中儀器有氣壓計、溫度/露點計、風向風速計、雨量計、雲高及覆蓋率計、能見度計、閃電偵測計、降雨型態法則、冰凍降水計。美國氣象感測器通常每分鐘產出一次完整資訊，演算法可以對所有觀測值進行數據品質控制，5、15 或 30 分鐘自動發布 METAR 觀測值，大部分機場為每 1 小時報告一次。如果天氣快速變化，某些條件會觸發報告，該報告即為機場特別天氣報告 SPECI。

將氣象儀器觀測值和人工觀測結果一致，是一項挑戰，尤其是在能見度、雲幕高、天空覆蓋率觀測值上。美方系統中內置了很多演算法。對它們進行了大量研究，整體上還算完善，但仍然有時需要人工來進行修正。建議民航局若要開始進行相關自動觀測研究，可以對儀器數據進行品質控制，通過一些篩檢程式運行相關數據，以確保系統可以濾除錯誤的數據。再從該數據轉換到 Auto METAR 作業。



圖 16- 美國機場 Auto METAR 自動觀測氣象儀器

## 肆、心得與建議

---

### 一、持續關注國際間國際民航組織(ICAO) 廣泛資訊管理(SWIM)計畫發展進程，建置相關資料交換及服務系統

配合「飛航系統區塊式提升(Aviation System Block Upgrades：ASBU)」針對飛航系統整體改善之推動架構，國際民航組織 (ICAO) 刻正推動 SWIM (System Wide Information Management) 計畫，歐美等先進國家已經著手進行相關因應，民航局飛航服務總臺則已透過 AOAWS-RU 計畫購置 SOLACE 公司相關設備，並規劃利用其進行飛航資料交換，經本次會議與美方初步確認，前述設備與美國相同，為符合 SWIM 架構之資料交換管道，使我國航空氣象資訊服務與國際發展期程接軌，建議持續關注並透過鄰近區域及其他國際間合作單位協助取得相關資訊，建立完整資料交換及服務系統。

### 二、關注國際間 AI 人工智慧應用於天氣預報及或與數值天氣預報模式結合之相關預報作業發展，提供未來研議相關航空氣象預報作業參考

近年因為 GPU 運算能力大幅提升，可以短時間進行巨量氣象資料計算，運用 AI 人工智慧或機器學習技術，快速產出預報產品，與各國現今氣象政府部門依賴高 CPU 效能之超級電腦，進行數值模式運算，需 2~3 小時產出預報產品，提供一條嶄新的道路，惟預報須應用於防災、預警作業，僅純粹大量數據計算無結合氣象數值模式基礎之預報產品，通常模擬不出天氣系統應有的強度，但就長期來看，未來 GPU 計算勢必會在天氣預報中佔有一席之地，經這次會議討論瞭解 NCAR 刻正進行高層冰晶天氣演算法(HIWC)、GTGN 及 NTDA 應用 AI 人工智慧升級演算法，總臺 AOAWS-RU 亦與臺大氣象顧問團隊利用 GPU 運算進行颱風風力預報，未來可持續關注國際間 AI 人工智慧應用於天氣預報及或與數值天氣預報模式結合之相關預報作業發展，提供未來研議相關航空氣象預報作業參考。

### 三、持續關注跨尺度天氣預報模式(MPAS)最新發展，就航空氣象現代化作業系統之數值模式更新作業，適時啟動相關合作事項

民航局透過與中央氣象署「氣象資料與預報模式系統作業技術合作協議」取得中央氣象署發展之天氣研究與預報模式(WRF)資料，並納入日常作業及預報演算法運算。依本次會議所得 MPAS 發展趨勢，該模式可能成為下一代氣象數值預報模式之主流，MPAS 可在特定區域以平滑漸變的方式提高解析度，減少因數值方法所產生的誤差，可以使用較少的計算資源，得到該區域較高解析度的預報結果，雖短期本局航空氣象現代作業系統無立即性之影響，長期來看相關作業系統之資料網格、計算、格式及產品等將面臨重新調整，需持續關注相關 MPAS 發展及作業進程，適時與美國 NCAR 洽談或委外方式，啟動後續航空氣象現代化作業系統更新作業合作事項。

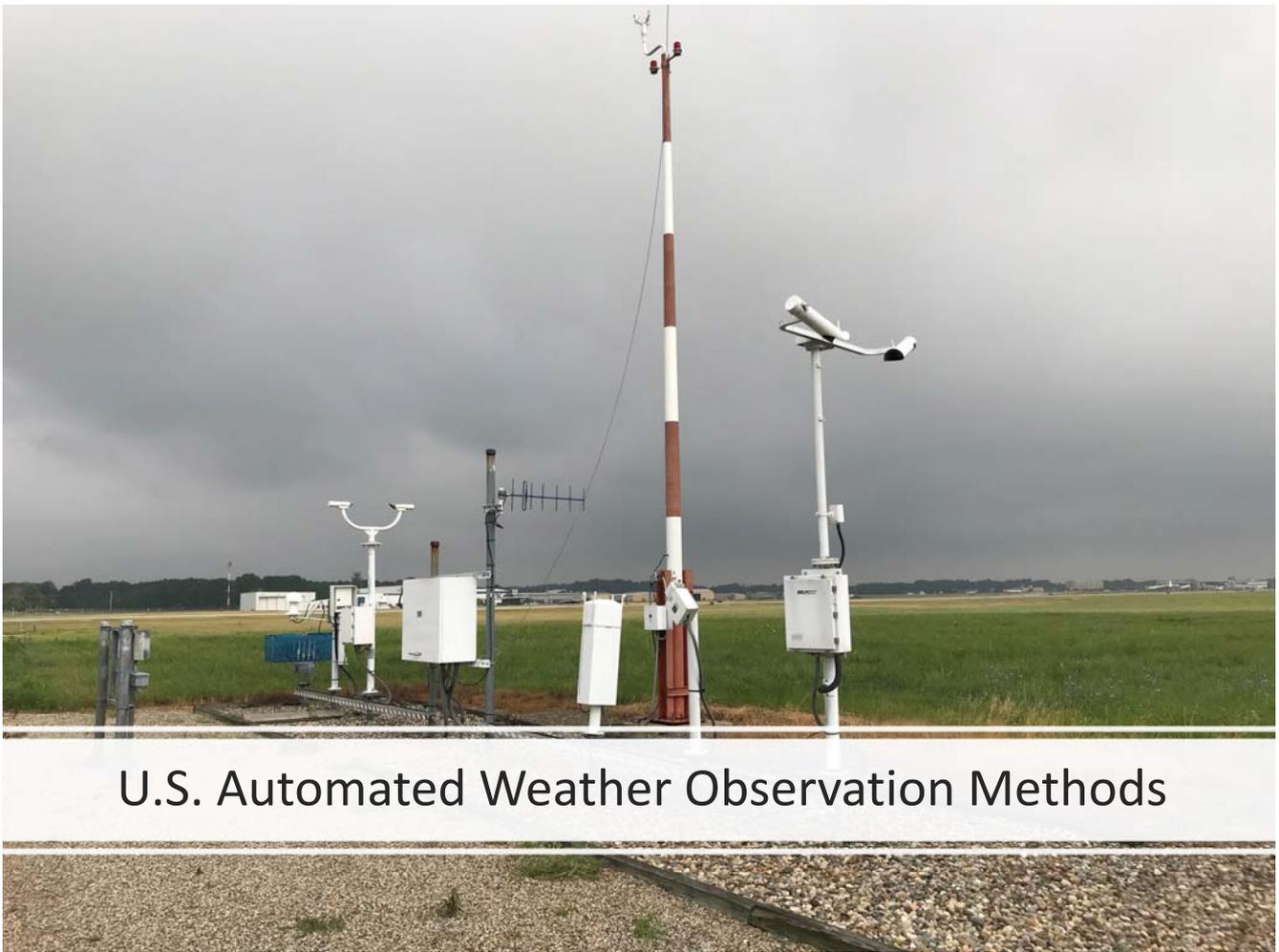
## 伍、附錄

---

會議簡報

U.S. Automated Weather Observation Methods

MAPS Update



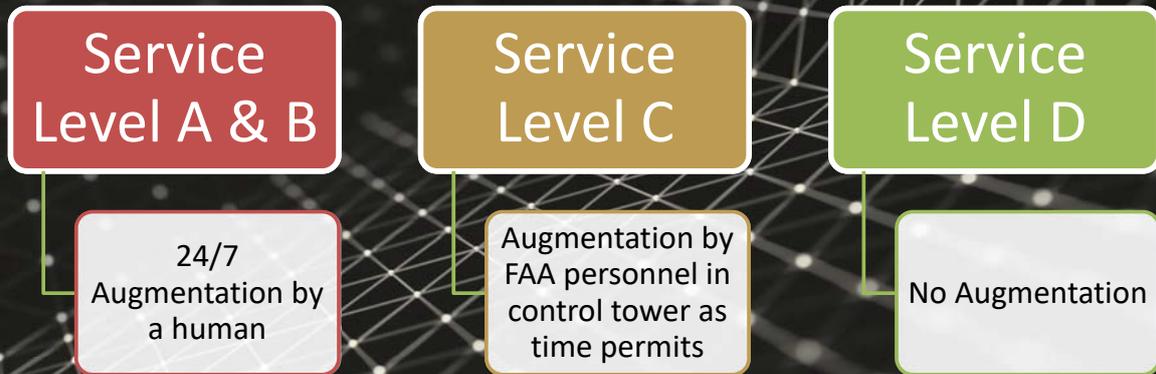
## Surface Observation Sources

Automated Surface Observing System  
ASOS



Automated Weather Observing System  
AWOS

# ASOS



# AWOS

FAA-owned (Fed)  
versus Non-FAA  
owned (Non-Fed): 9  
Levels

- AWOS-A can only report altimeter settings
- AWOS-AV can report altimeter settings and visibility
- AWOS-1 can report, altimeter setting, wind, temperature, dew-point, and density altitude
- AWOS-2 is rather the same as AWOS-1 but adds visibility
- AWOS-3 is the same as AWOS-2 but with clouds and ceilings
- AWOS-3P is the same as AWOS-3 but with a precipitation identification sensor.
- AWOS-3PT is the same as AWOS-3P but with the capability to determine thunderstorms and lightning.
- AWOS-3T is the same as AWOS-3 but with thunderstorm and lightning reporting abilities included.
- AWOS-4 is the same as AWOS-3 but with a precipitation discriminator, type, accumulation, thunderstorms and runway surface sensors.

# Weather Observations

- METAR observations generally used “as reported” for research, model forecasts, etc.
- Sensors generally take observations far more frequently than what is reported in the official observations
- **Lots of processing can happen between raw and reported data!**



# Common Measurements

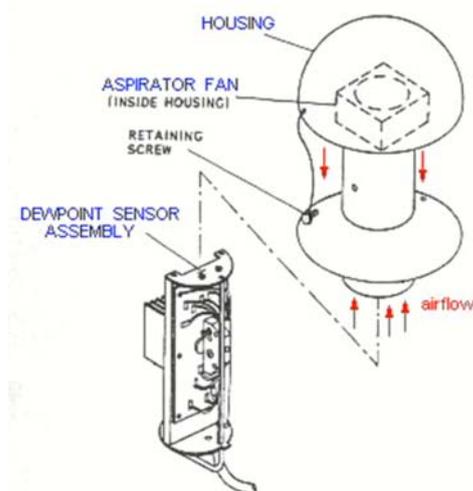
- Temperature/Relative Humidity/Dewpoint
- Pressure
- Wind Velocity
- Precipitation
- Ceiling
- Visibility
- Precipitation Type

# Measurements of Temperature/RH

- Hygrothermometer – “HO-83”
- Uses a platinum wire Resistive Temperature Device (RTD) to measure ambient temperature
- Originally used a chilled mirror to determine dew point temperature
  - Switched to an integrated electric RH sensor
  - Dewpoint is a derived quantity, not a measured quantity

## Hygrothermometer

Aspirated Temperature/Relative Humidity Sensor



Installed at 2 m AGL

# Hygrothermometer

- Measurements taken every 6 seconds
- Data is averaged every minute to produce a one-minute report
- Further averaging is done over 5 minutes, updating every minute, rounded to the nearest degree Fahrenheit and converted to the nearest 0.1 degree Celsius to produce a 5-minute report
- All mid-point temperature values are rounded up for temperatures above freezing (e.g. 40.5F = 41F) and down for temperatures below freezing (-5.5F = -6F)



## Maximum/Minimum Hourly Temperature/Dewpoint Reporting

Once each minute, ASOS uses the running 5-minute average ambient temperature to update the hourly maximum and minimum ambient temperature values

**\*Maximum and minimum hourly temperatures could be several degrees higher/lower than what is reported in the METAR\***



## Temperature/Dewpoint Six-Hour Reporting

At synoptic hour reporting times (00, 06, 12, and 18 UTC), the current six-hour maximum and minimum ambient temperatures are computed from the hourly maximum and minimum ambient temperatures measured to 0.1 degrees Celsius, and included as remarks in the synoptic hourly METAR.

## Temperature/Dewpoint Hourly Reporting

Once each hour (at the hourly METAR report time) the current hourly ambient temperature and dew point temperature are reported in the METAR Remarks section, to the nearest tenth of a degree Celsius\*

These higher resolution temperature/dewpoint values are reported in the "T" field in the remarks

**\*Based on 5-minute averages**

## Temperature/Dewpoint Daily Maximum/Minimum Reporting

Once each minute, ASOS computes the highest and lowest ambient temperatures, to that point for the current calendar day, in tenths of degrees Celsius. The calendar day maximum and minimum ambient temperatures are reported in the midnight, LST hourly METAR remarks (In the "4" field)

## Hygrothermometer Sensor Range/Error/Resolution

Parameter	Range	Max Error	Resolution
Ambient Temp	-80°F to -58°F	± 3.6°F	0.1°F
	-58°F to +122°F	± 1.8°F	0.1°F
	+122°F to +130°F	± 3.6°F	0.1°F
Dewpoint Temp	-80°F to -0.4°F	4.5°F to 13.9°F	0.1°F
	-0.4°F to +32°F	3.4°F to 13.9°F	0.1°F
	+32°F to +86°F	2.0°F to 7.9°F	0.1°F

The low end of the maximum error range is for a Dewpoint Depression (DD) of 0°F

The high end of the error range is for a DD of 63°F

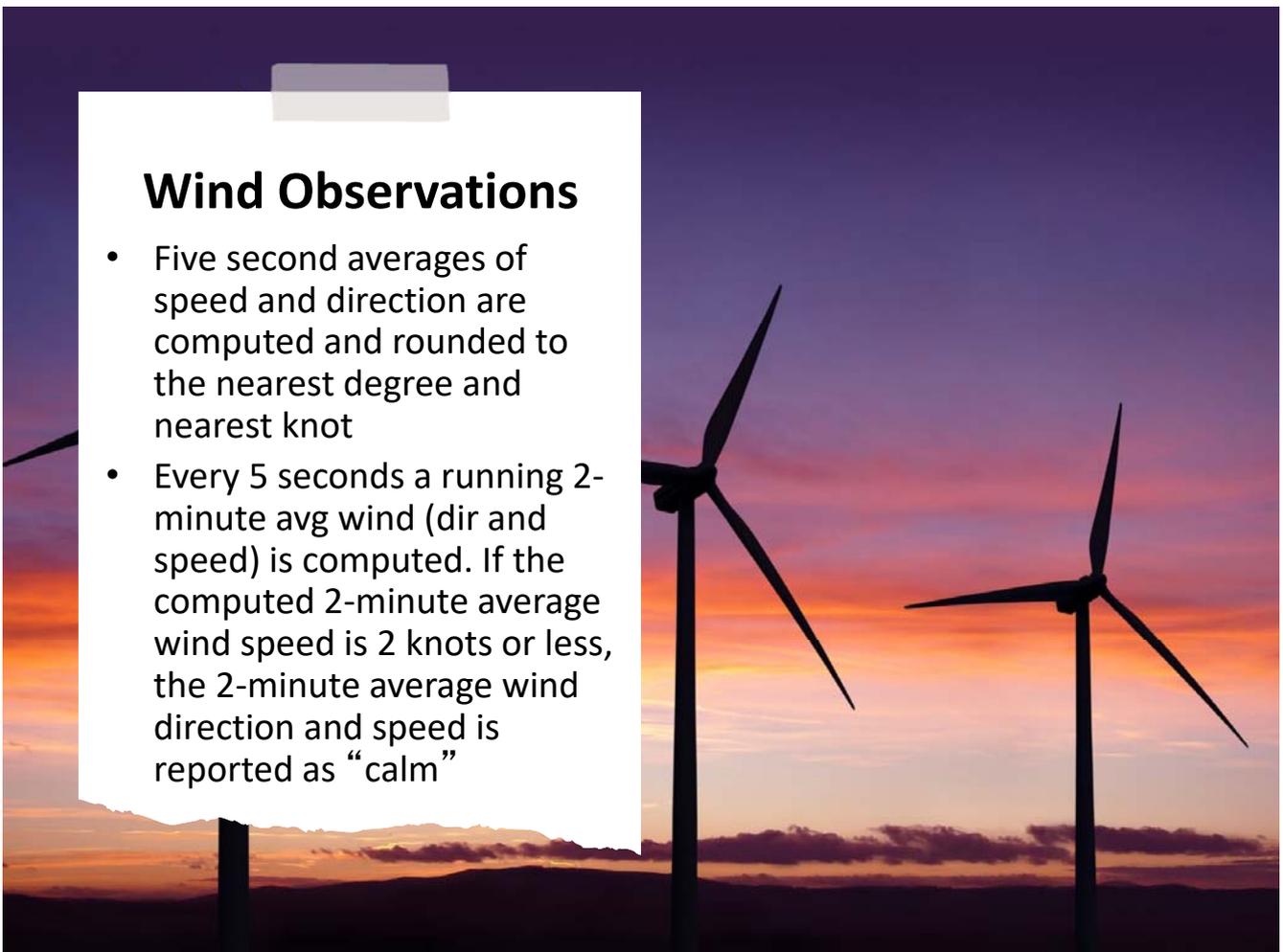
# Wind Measurements

- Originally deployed a Belfort 3-cup anemometer and wind vane
- Began complete replacement of all Bel 3-cups with Vaisala heated sonic anemometer
  - Also known as the ice free wind sensor
- Installed at 30 m height AGL
- Measurements taken every 1 second



## Wind Observations

- Five second averages of speed and direction are computed and rounded to the nearest degree and nearest knot
- Every 5 seconds a running 2-minute avg wind (dir and speed) is computed. If the computed 2-minute average wind speed is 2 knots or less, the 2-minute average wind direction and speed is reported as “calm”





## Wind Speed Reporting

- The 2-minute average wind speed is reported once every minute in the one-minute observations
- The METAR/SPECI reports the latest 2-minute wind speed average



## Wind Direction Reporting

- ASOS reports a 2-minute average of 5-second average wind directions once a minute (i.e., 24 samples each minute) for distribution through the OMO
- The direction from which the wind is blowing is reported to the nearest 10 degree increment (e.g., 274 degrees is reported as 270 degrees)



# Wind Direction Reporting

- Wind direction is reported relative to *true north* in the METAR/SPECI message in the daily/monthly summaries
- Wind direction is reported relative to *magnetic north* in the computer-generated voice messages for pilots

## Wind Gust Determination

- Uses 10-minute observation period
- Every 5-seconds, ASOS computes the greatest 5-second average speed during the past minute
- ASOS computes the current 2-minute average wind speed every 5-seconds and compares it with the greatest 5-second average wind speed during the past minute



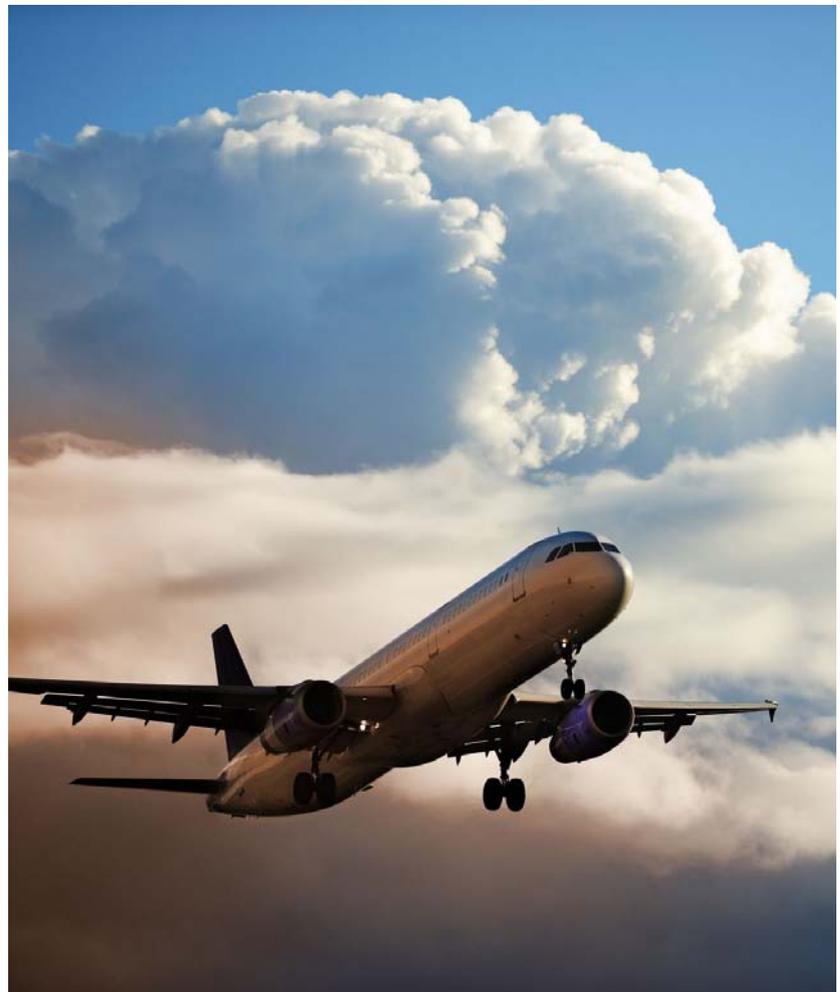


## Wind Gust Reporting

ASOS compares the highest gust stored in memory for the past 10 minutes with the current 2-minute average wind speed. If the difference between the two is 3 knots or more, the current reported wind speed is greater than 2 knots, and the highest gust exceeds the minimum 5-second wind speed in the past 10 minutes by 10 knots or more, then the highest gust stored in memory is designated as the reportable gust.

## Wind Gust Reporting

The minimum gust speed reported by ASOS is 14 knots



## Variable Wind

- A variable wind is reported when the wind direction varies by 60 degrees or more during the 2-minute evaluation period before the observation
- If the 2-minute wind speed is 6 knots or less, then a variable wind direction indicator (VRBWWKT) is included in the METAR report (ex: VRB03KT)
- If the 2-minute wind speed is greater than 6 knots, then a variable wind direction group is appended to the basic wind group in the body of the METAR/SPECI report (DDDVDDD) (ex: 180V220).

## Squall (SQ)

- Defined as the wind speed suddenly increasing by at least 16 kts and remaining sustained at 22 kts or more for at least one minute
- ASOS Algorithm: If the current 2-minute wind speed (measured every five seconds) is greater than or equal to 22 knots and exceeds the 2-minute average wind speed computed two minutes ago by 16-knots or more, then the highest 5-second average wind speed during the last 2-minutes is reported as a squall

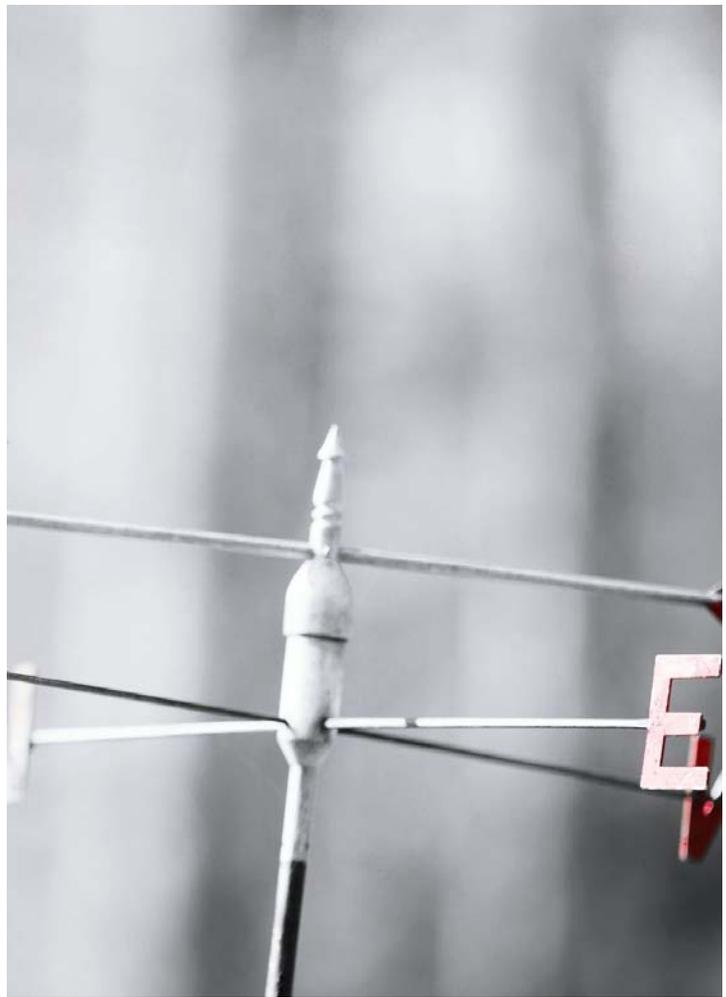


---

## Wind Shifts

A wind shift is indicated by a change in wind direction of 45 degrees or more in less than 15 minutes with sustained winds of 10 knots or more throughout the wind shift

WSHFT HHMM



## Peak Wind

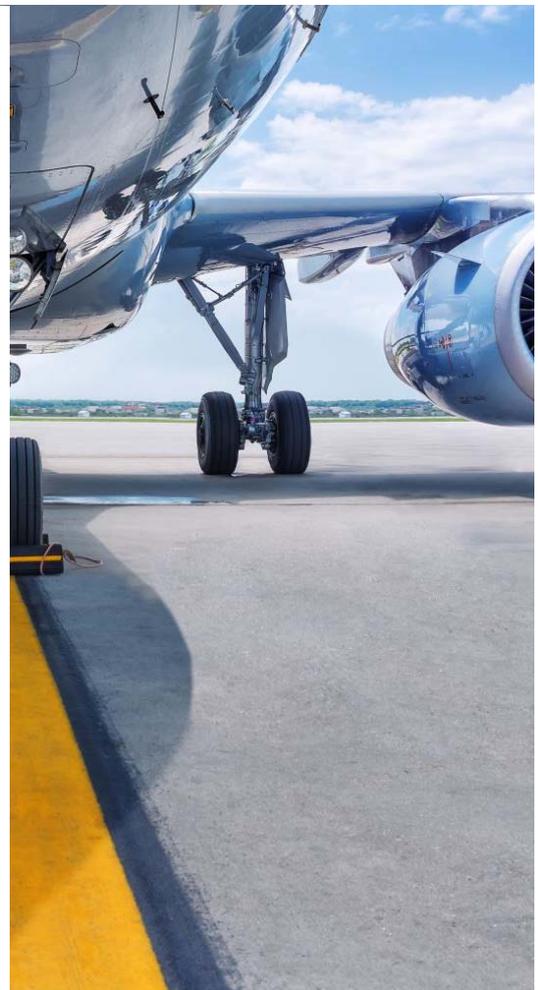
- The highest instantaneous wind speed observed or recorded since the last scheduled hourly observation (METAR)
- On ASOS, Peak Wind is determined from the highest observed 5-second average wind speed which exceeds 25 knots since the last generated METAR
- PK WND DDDSS/MM

# Wind Measurement Range/Error

	Wind Speed	Wind Direction
Range	0-165 knots	0-360 degrees
Resolution	0.1 knots	1
Accuracy	$\pm 0.26$ knots or $\pm 3$ % of reading, whichever is greater	$\pm 2^\circ$

## Pressure

- Atmospheric pressure is the most important surface weather element for aircraft operations since it provides the means of establishing the height of an aircraft above the surface
- Because accurate pressure is critical, three separate and independent pressure sensors are used at towered airport locations
- At other locations, two pressure sensors are used



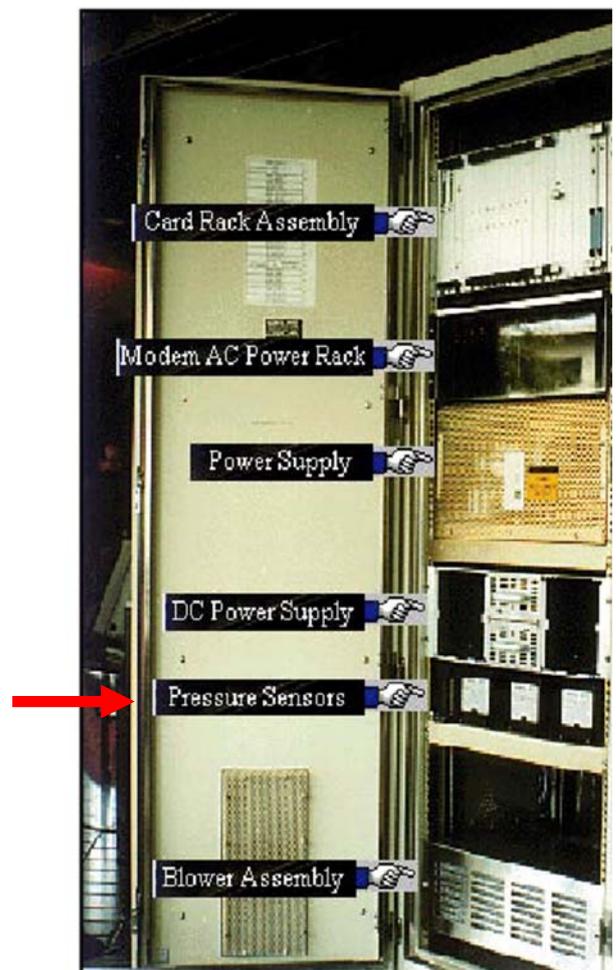
# Reported Pressure Elements

- Altimeter Setting
- Pressure Remarks
- Sea-Level Pressure
- Density Altitude
- Pressure Altitude
- Pressure Change/Tendency
- Station Pressure

## Pressure Sensor

The ASOS pressure sensor consists of redundant digital pressure transducers, which use capacitive sensors, one side of which is permanently evacuated to a vacuum to make it a barometric (aneroid) pressure sensor

Measurements taken every 10 seconds



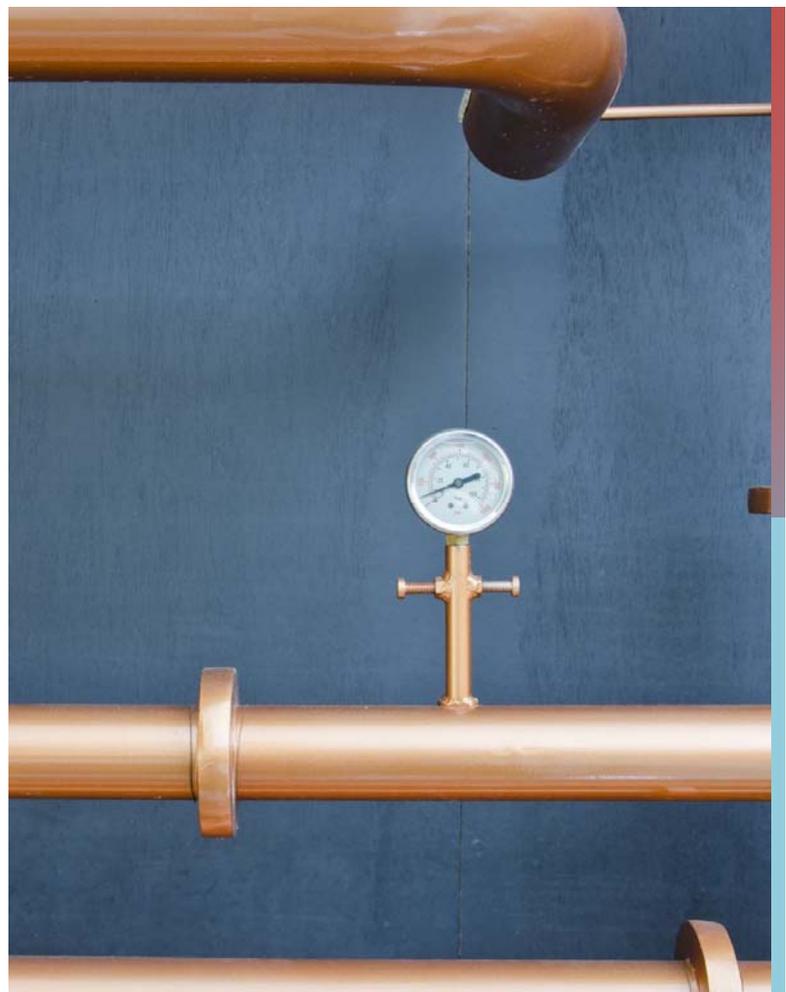


## Pressure Sensor Reporting

- The algorithm routinely computes and updates the pressure report for each pressure sensor once a minute from readings obtained every 10 seconds from each sensor
- The current 1-minute pressure values from each sensor are then compared against each other and absolute differences computed

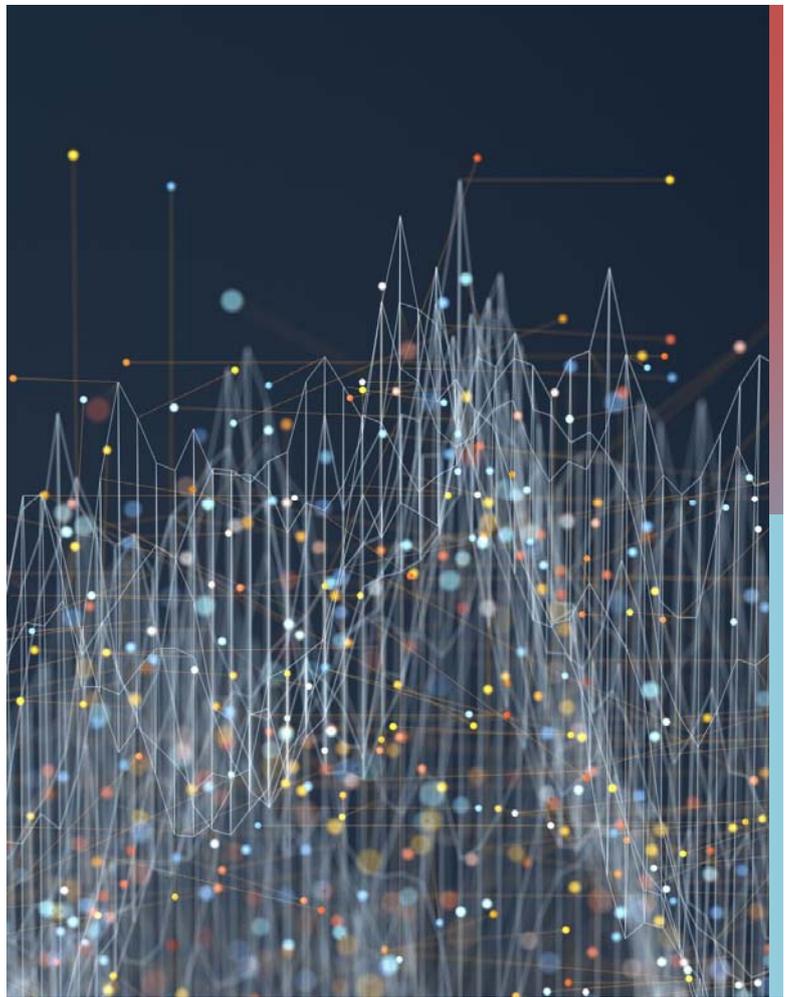
## Pressure Sensor Reporting

- The lowest 1-minute sensor pressure value obtained from a pair of sensors, whose pressure difference is 0.04 inch or less, is the designated ASOS pressure to be reported
- This pressure value is then used to compute an altimeter setting and other derived pressure values
- The pressure sensors are the most reliable and accurate sensor in ASOS



## Pressure Sensor Characteristics

- Range: 16.9 - 31.5 inches of mercury
- Accuracy:  $\pm 0.02$  inches of mercury
- Resolution: 0.003 inches of mercury (measurement); 0.005 inches of mercury (reporting)



## Precipitation Measurement

Two types of gauges are used on ASOS

- NWS-owned stations use a weighing gauge
- FAA-owned stations use a heated tipping bucket

Measurements taken every 1 minute

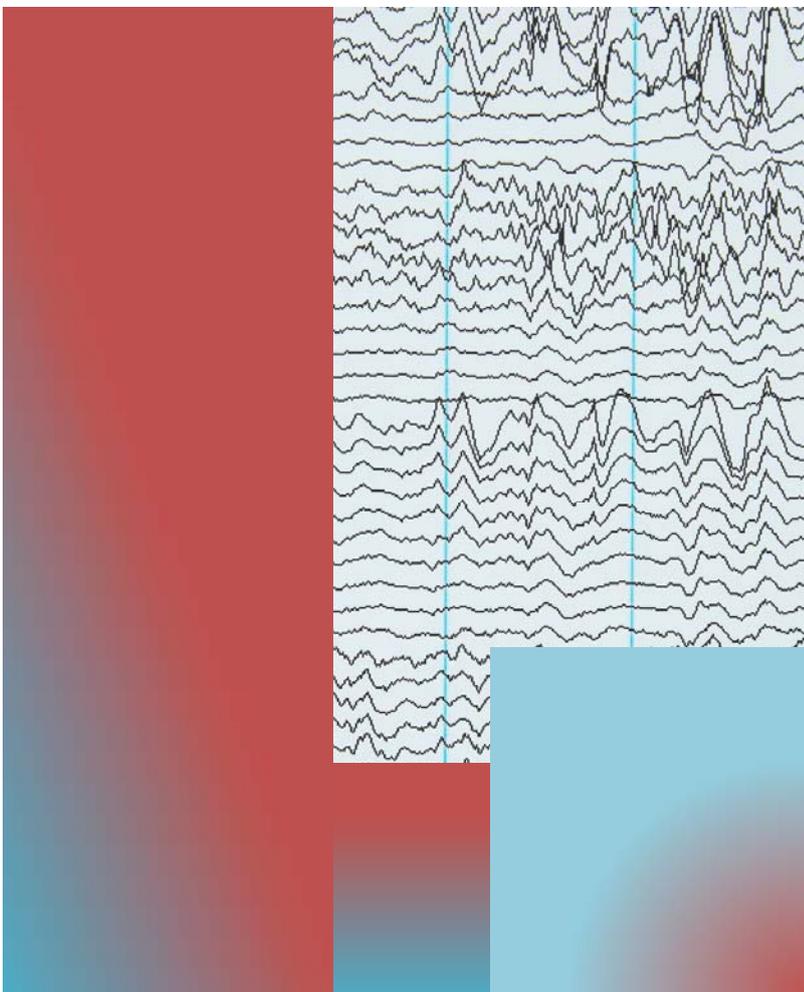
# Precipitation Measurement Changes



Early versions of the heated gauge applied excessive heat creating excessive evaporation and the under-reporting of the liquid-equivalent mass



Weighing gauge initially had a single wind shield



## Precipitation Measurement Range/Errors

- Range of 0 to 10.00 inches per hour
- Resolution of 0.01 inch
- Accuracy of  $\pm 0.02$  inch or 4% of the hourly total (whichever is greater)

## Precipitation Algorithm

- The precipitation accumulation algorithm obtains precipitation accumulation data from the HTB precipitation gauge once each minute
- Each minute the measured rainfall is adjusted using the following equation:

$$\text{Rainfall} = A (1 + 0.6A);$$

A = Measured Rain



## HTB Strengths/Weaknesses

- One weakness involves high rainfall rate events when the tipping bucket cannot keep up with the water flow and under-reports the accumulation
- During freezing conditions, the application of heat to melt snow and prevent gauge icing also induces evaporation or sublimation, especially during light freezing rain or snow events at temperatures near 32F

# HTB Strengths/Weaknesses

“False tips” may be caused by dew, frost, or heavy fog



## Summary

Measurement	Raw Measurement Interval	METAR Report
Temperature/RH	6 seconds	5 minute average
Pressure	10 seconds	1 minute average
Wind Velocity	1 second	2 minute average
Precipitation	1 minute	1 minute
Ceiling Height & Sky Coverage	30 seconds	30 minute average with past 10 minutes double-weighted
Visibility	20 seconds	10 minute harmonic mean
Lightning Sensor	1 minute	15 minute lookback
Precipitation Type	1 minute	10 minute lookback
Freezing Precipitation Sensor	1 minute	15 minute lookback

# MPAS Update

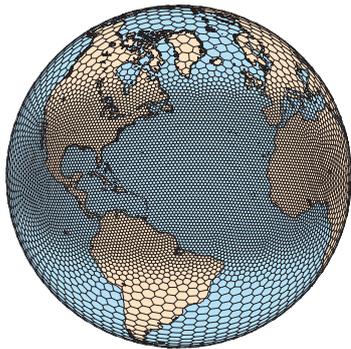
*Bill Skamarock and the MPAS Team*  
*Mesoscale and Microscale Meteorology Laboratory*



CWA – MPAS Update, 20 September 2023



This material is based upon work supported by the National Center for Atmospheric Research, which is a major facility sponsored by the National Science Foundation under Cooperative Agreement No. 1852977.



## Model for Prediction Across Scales (MPAS)

MPAS-Version 8 released on 16 June 2023

Previous releases:

- Version 7.0: 8 June 2019
- Version 7.1: 3 September 2021
- Version 7.2: 14 February 2022
- Version 7.3: 24 March 2022

- Atmosphere and land only
- Open Source: <https://mpas-dev.github.io/>
- Global and regional, variable-resolution capabilities
- GPU-enabled for some configurations (V6.x, October 2020)
- DA – both DART and JEDI

Today:

- Updates
- Current and future development



# MPAS Release Paradigm

New version numbering: MAJOR.MINOR.PATCH

- Beginning with MPAS v8, version numbers will be MAJOR.MINOR.PATCH
- More or less following Semantic Versioning

## MPAS v8.1.3

**MAJOR** - signifies major changes or lack of compatibility with previous versions of MPAS

**MINOR** - new model features with backward compatibility

**PATCH** - bug fixes to MAJOR.MINOR

## MPAS Version 8 – What's New?

### Infrastructure

- SMIOL (Simple MPAS IO Layer)
- Refactored halo communications.

### Initialization updates

- Extrapolations below analyses lower boundary
- Static field parallel execution
- CAM-MPAS grid creation

### Dynamics updates

- Regional MPAS LBCs
- Upper absorbing layer generalization
- Diagnostics
- Vertical interpolation
- Length-scale specification
- CAM-MPAS extensions

### Physics updates

## New I/O Layer: The Simple MPAS I/O Layer (SMIOL)

- Provides an alternative to the Parallel I/O (PIO) library
- SMIOL source code is included in MPAS-Model source tree
- Minimal library dependencies: only MPI and PNetCDF

The use of SMIOL in place of PIO is activated at compile time by not setting the `$PIO` environment variable.

## New I/O Layer: The Simple MPAS I/O Layer (SMIOL)

- Build summary indicates whether SMIOL or PIO was used

```
*****
MPAS was built with default single-precision reals.
Debugging is off.
Parallel version is on.
Papi libraries are off.
TAU Hooks are off.
MPAS was built without OpenMP support.
MPAS was built without OpenMP-offload GPU support.
MPAS was built without OpenACC accelerator support.
Position-dependent code was generated.
MPAS was built with .F files.
The native timer interface is being used
Using the SMIOL library.
*****
```

## New OpenACC-friendly group halo exchange module

- Allows MPI messages to be aggregated across fields whose halos are communicated at the same point in solver
- Specifically designed to be adaptable for direct GPU-to-GPU communication of halos with OpenACC

Example of a group of halo exchanges in MPAS v7:

```
call mpas_dmpar_exch_halo_field(theta_m_field)
call mpas_dmpar_exch_halo_field(scalars_field)
call mpas_dmpar_exch_halo_field(pressure_p_field)
call mpas_dmpar_exch_halo_field(rtheta_p_field)
```

## New OpenACC-friendly group halo exchange module

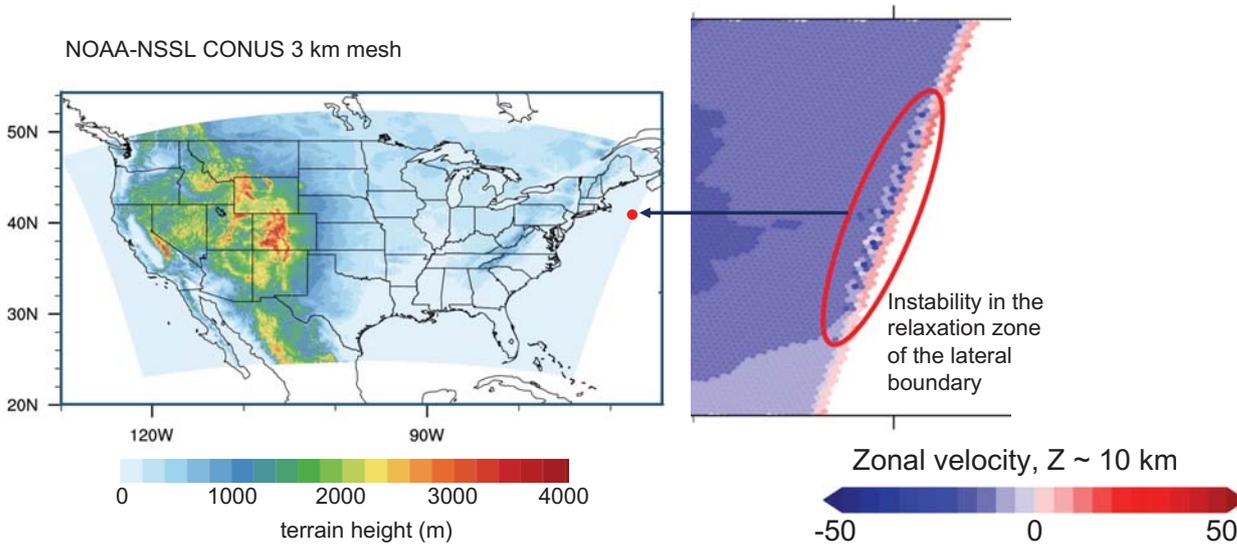
- Allows MPI messages to be aggregated across fields whose halos are communicated at the same point in solver
- Specifically designed to be adaptable for direct GPU-to-GPU communication of halos with OpenACC

Equivalent group halo exchange in MPAS v8.0:

```
call exchange_halo_group(domain, &
                        'dynamics:theta_m,scalars,pressure_p,rtheta_p')
```

# Regional MPAS Lateral Boundary Conditions

Horizontal momentum filter change in the relaxation zone



NCAR  
UCAR

CWA – MPAS Update, 20 September 2023

# Regional MPAS Lateral Boundary Conditions

Horizontal momentum filter change in the relaxation zone

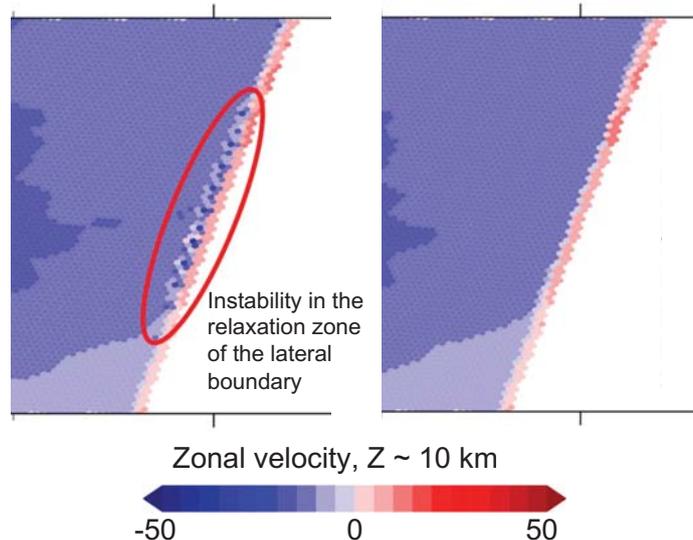
2<sup>nd</sup>-order Laplacian for the horizontal momentum in MPAS

$$K \nabla^2 u_i = K \left( \frac{\partial}{\partial x_i} \nabla_\zeta \cdot \mathbf{v}_h - \frac{\partial \eta}{\partial x_j} \right)$$

We've added a coefficient to scale the divergent component of the Laplacian

$$K \nabla^2 u_i = K \left( \gamma_D \frac{\partial}{\partial x_i} \nabla_\zeta \cdot \mathbf{v}_h - \frac{\partial \eta}{\partial x_j} \right)$$

We are using  $\gamma_D = 6.0$



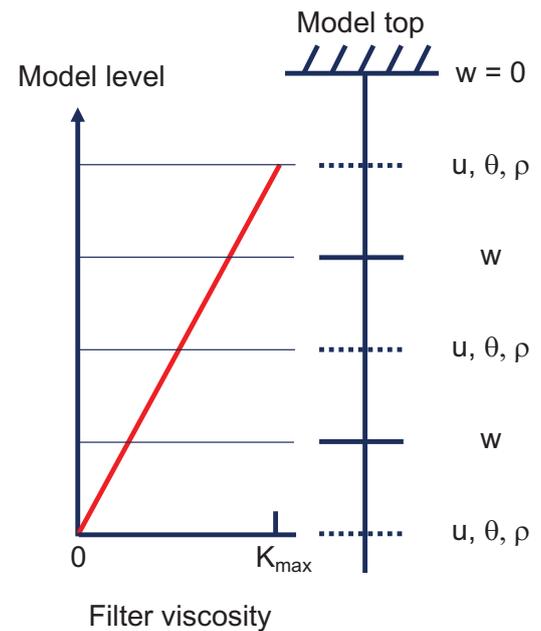
NCAR  
UCAR

CWA – MPAS Update, 20 September 2023

# Upper Absorbing Layer Generalization

There is an option to apply a 2<sup>nd</sup>-order horizontal filter to  $u$ ,  $w$  and  $\theta$  near the model top. We have generalized this formulation so that the damping coefficient linearly varies linearly, with increasing model level, from zero to a user-specified maximum value as a function of model level, beginning at a user-specified model level.

New: User specification of (1) number of levels to apply damping, and the linear dependence of  $K$ .



## Diagnostics: $\ln(p)$ Interpolation for Isobaric Heights

In previous MPAS-A releases, we diagnosed heights on isobaric levels with interpolations using pressure that resulted in a positive bias in heights. We now interpolate using  $\ln(p)$  to remove this bias.

*This has no effect on MPAS-A solutions, just the isobaric heights in the diagnostic output.*

# Layer to Interface Projection

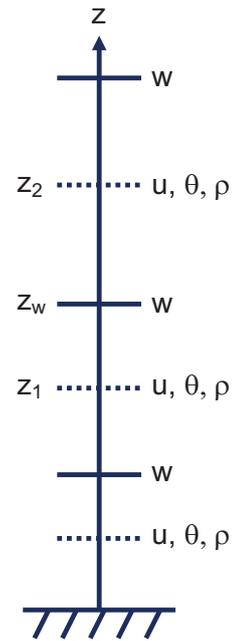
Interface:  $w$  Layer:  $u, \theta, \rho$

In previous MPAS-A releases, to project layer variables ( $u, \theta, \rho$ ) to interfaces we would interpolate linearly in height.

In the new release we integrate over the layers sharing the interface, assuming ( $u, \theta, \rho$ ) are constant in a layer, and take the average value.

Differences in the solutions are small. The new approach is energetically more consistent, and also gives us a consistent hydrostatic relation integrating between layers or interfaces.

$$\begin{aligned}
 \text{Old} \\
 \rho(z_w) &= \frac{(z_2 - z_w)}{(z_2 - z_1)} \rho_1 + \frac{(z_w - z_1)}{(z_2 - z_1)} \rho_2 \\
 \text{New} \\
 \rho(z_w) &= \frac{(z_w - z_1)}{(z_2 - z_1)} \rho_1 + \frac{(z_2 - z_w)}{(z_2 - z_1)} \rho_2
 \end{aligned}$$



## MPAS-A Initialization: Extrapolations

- Reset the default for the lower air-temperature extrapolation (`config_extrap_airtemp`) from "linear" to "lapse-rate" in the namelist. This applies to initializations and to lateral boundary condition generation for MPAS-A.
- Set the condition for the lower extrapolation of the horizontal velocity such that it returns the lowest analysis level value instead of a linear extrapolation when the requested level is below the lowest analysis level. Applies to initializations and LBC generation.

## MPAS-A Initialization: Static Fields Generation

- We have enabled parallel remapping of static fields with arbitrary graph partition files; special CVT partition files are no longer required.

# MPAS Physics Updates in V8

Update the Noah land surface scheme to the WRF 4.5 release.

Update the MM5 surface layer scheme to the WRF 4.5 release.

Implemented the CCPP-compliant version of:

- the revised MM5 surface layer scheme;
- the parameterization of the gravity-wave drag over orography;
- the YSU Planetary Boundary Layer scheme;
- the scale-aware nTiedtke parameterization of convection; and
- the WSM6 cloud microphysics parameterization.

## MPAS Developments: Physics

CCPP-compliant version of moist physics for the convection-permitting suite (using WRF-release 4.5.1).

EDMF version of the MYNN Planetary Boundary Layer scheme.

Option to use the two-moment graupel and hail prognostic variables version of the Thompson cloud microphysics scheme.

CCPP-compliant version of the RRTMG longwave and shortwave radiation codes

Merge the physics and 3D grid analysis nudging Four-Dimensional Data Assimilation (FDDA) codes provided by the EPA developers (summer 2023).

Merge the *refactored* version of the Noahmp land surface scheme

Implementation of physics to run aquaplanet experiments

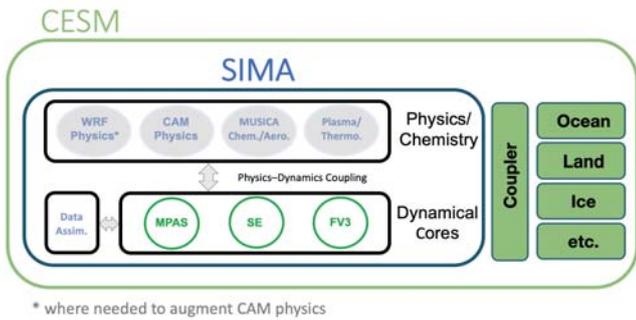
Aerosol-aware option of the Thompson cloud microphysics scheme

To do: Provide physically-based surface emissions of anthropogenic and natural aerosols (linked to chemistry).

# MPAS Developments: SIMA

## System For Integrated Modeling of the Atmosphere (SIMA)

SIMA is the effort to unify NCAR-based community atmospheric modeling across Weather, Climate, Chemistry, and Geospace applications



CESM/SIMA pulls MPAS directly from the MPAS repository in its build.

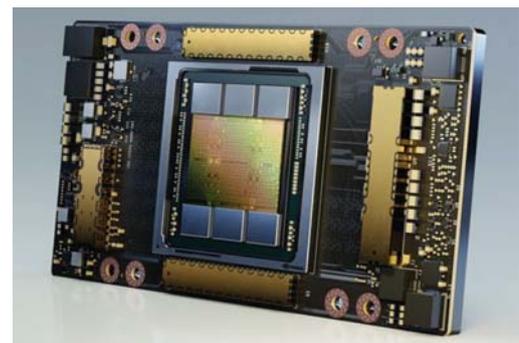
These changes have not changed any user requirements for running MPAS-A.

### Observations:

- MPAS with CAM6 physics in SIMA is much slower than MPAS with MPAS/WRF physics
- MPAS/SIMA takes much more memory than MPAS with MPAS/WRF physics
- MPAS/SIMA has not yet been released
- MPAS/SIMA is not yet capable of efficient high-resolution applications (global, km scale)

# MPAS Developments: GPU capabilities

We released the GPU-enabled MPAS-Atmosphere in October 2020 as a branch from MPAS Version 6.1.



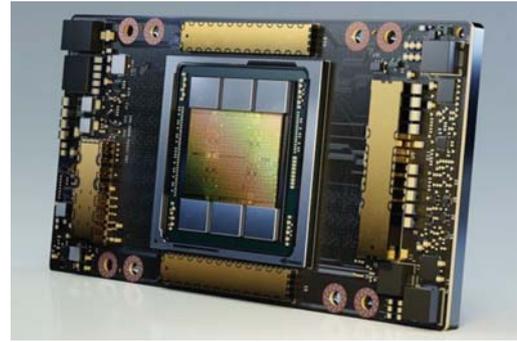
NVIDIA Ampere A100 GPU

What is in current (2020) release:

- GPU-enabled MPAS dynamical core using OpenACC directives.
- Some GPU-enabled physics (e.g. YSU, WSM6, M-O, scale-aware nTiedtke)
- Asynchronous execution capability on heterogenous architectures - currently radiation (lagged) and NOAA land model on CPUs, all else on GPUs

# MPAS Developments: GPU capabilities

We released the GPU-enabled MPAS-Atmosphere in October 2020 as a branch from MPAS Version 6.1.



NVIDIA Ampere A100 GPU

What is *NOT* in this release:

- Regional capability
- Most of the physics options

*We are currently evaluating the MPAS GPU implementation. We are considering re-implementing this capability given what we have learned in this first implementation.*