

出國報告(出國類別：協商)

臺美氣象預報系統發展技術  
合作協定  
113 年度計畫期中審查會議

服務機關：交通部中央氣象署

姓名職稱：沈里音副組長、陳冠儒科長

派赴國家/地區：美國

出國期間：民國 113 年 6 月 10 日至 6 月 17 日

報告日期：民國 113 年 9 月 17 日

# 目錄

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 壹、 摘要.....                          | 2  |
| 貳、 會議目的.....                        | 3  |
| 參、 審查會議行程 .....                     | 4  |
| 肆、 本年度審查會議重點與合作項目 .....             | 5  |
| 一、 發展 AWIPS-II 天氣預報產品顯示系統及輔助工具..... | 5  |
| 二、 雷達定量降水估計技術與品質控管 .....            | 9  |
| 三、 同步衛星用於蒸發散量反演與空氣品質偵測.....         | 12 |
| 四、 全球至區域整合模式預測系統之發展 .....           | 15 |
| 五、 氣象同步衛星之降水估計技術發展 .....            | 17 |
| 伍、 拜訪未來的合作夥伴.....                   | 20 |
| 一、 再生能源議題之國際參與.....                 | 20 |
| 二、 強化大尺度氣候預報與技術交流 .....             | 22 |
| 陸、 心得與建議 .....                      | 23 |

# 壹、摘要

中央氣象署（以下簡稱本署）派員赴美國 NOAA 多個重要氣象機構執行期中審查及技術交流會議，並進行年度合作內容的協商與討論，確立共同發展的目標。

本次前往美國，首先與美國國家再生能源實驗室（NREL）人員會面，了解美方再生能源資料庫的應用及探討潛在的合作機會。接著，前往科羅拉多州大學，拜訪專注於發展衛星降水之 AI 技術團隊，了解最新的 AI 降水估計技術與本署合作進展。隔日與美國劇烈風暴實驗室（NSSL）進行線上會議，討論臺灣雷達降水估計技術發展之困難點，及最新改進方法的成果。接著在 NOAA 全球系統實驗室（GSL）的會議中，瞭解了 AWIPS-II 系統合作開發的現況，討論了下半年的工作進程，以及 AI 在颱風定位技術與強度估計的前景。隨後飛往馬里蘭州，在美國國家環境衛星資訊局（NESDIS）進行空氣品質監測和蒸發散量推導技術交流，並與美國國家環境模式中心（EMC）交流中分享並學習最新的技術和研究成果。最後，與美國氣候預測中心（CPC）人員會晤，探討未來的合作方向和交流機會。

本次行程廣泛涵蓋了多個重要的技術合作領域，通過與美國 NOAA 長期技術交流，本署增強了氣象測報技術能力，提升了國際合作的水平。建議本署持續與美方在氣象技術發展交換經驗，強化本署氣象測報技術量能。

## 貳、會議目的

本署致力於強化氣象作業所需相關的監測、預報系統，並積極發展各種先進的氣象資料處理與應用技術能力。與美國商業部國家海洋暨大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）及其他重要單位合作，是本署長期以來在氣象科技技術發展的重要策略之一。該合作涵蓋了多項長期的氣象測報系統發展與改進計畫，旨在引進並整合美方先進的氣象系統技術，以提升臺灣在氣象科學領域的技術水準和應用能力。

在各項合作計畫中，本署每年安排數位氣象專業人員前往美方合作機構，進行技術轉移和合作發展事項。此外，雙方亦定期進行專業人員短期互訪，以促進技術交流與深化合作，同時進行工作計畫的擬定、協商及進度審議。各項跨國合作計畫不僅有助於引進美方先進且成熟的氣象科學技術，更著眼於建立本土化的氣象監測預報作業系統，以更有效地滿足國內的氣象服務需求。

本協定合作對象涵蓋了多個重要單位，包括科羅拉多州大學（Colorado State University, UCS）、劇烈風暴實驗室（NOAA National Severe Storms Laboratory, NSSL）、美國國家海洋大氣研究院-全球系統實驗室（Global Systems Laboratory, GSL）、美國國家環境衛星資訊局（National Environmental Satellite, Data, and Information Service, NESDIS）、美國國家環境模式中心（Environmental Modeling Center, EMC）。此外，本署除了與 NOAA 的合作外，還積極與美國其他單位研擬合作的可能性，例如美國國家再生能源實驗室（National Renewable Energy Laboratory, NREL）和氣候預測中心（Climate Prediction Center, CPC）等，延伸氣象技術交流的廣度。

本次本署派遣代表赴美參與的年度工作協商會議，旨在深入探討並確定雙方合作的重點方向及其技術執行的實際內容，並針對可能出現的問題進行深入討論和分析。會議也將專注於各項系統技術的實際應用與發展，同時進行主要合作事項的具體協商，以確保合作計畫的順利推動與研究發展的落實成效。



## 參、 審查會議行程

此次協商會議於 113 年 6 月 9 日至 113 年 6 月 17 日期間，分別在美國科羅拉多州波德和馬里蘭州大學公園市舉行。6 月 9 日，從臺北出發前往美國科羅拉多州波德。6 月 10 日至 11 日期間，與國家再生能源實驗室 (NREL) 人員會面，並前往美國國家海洋大氣研究院-全球系統實驗室(GSL)進行期中審查與會談，隔日與劇烈風暴實驗室(NSSL)研究員透過視訊方式進行會議。

6 月 12 日，從波德前往華盛頓特區與馬里蘭州大學公園市。6 月 13 日至 15 日，進行美國國家環境衛星資訊局(NESDIS)與美國國家環境模式中心(EMC)的期中審查與工作協商，並與氣候預測中心 (CPC) 代表會面，共同尋求未來合作的機會。6 月 16 日從美國華盛頓特區返回臺北，行程表如表 1。

表 1、審查會議行程表

| 日期                | 地點            | 工作摘要  |
|-------------------|---------------|---|
| 113 年 6 月 9 日     | 臺北-美國科羅拉多州波德  | 赴美國   |
| 113 年 6 月 10 日    | 科羅拉多州波德       | 美國國家海洋大氣研究院-全球系統實驗室 (GSL)期中審查<br>參訪國家再生能源實驗室 (NREL) |
| 113 年 6 月 11 日    | 科羅拉多州波德       | 劇烈風暴實驗室(NSSL)期中審查<br>美國國家海洋大氣研究院-全球系統實驗室 (GSL)期中審查  |
| 113 年 6 月 12 日    | 科羅拉多州波德-華盛頓特區 | 前往華盛頓特區   |
| 113 年 6 月 13 日    | 華盛頓特區         | 美國國家環境衛星資訊局(NESDIS)期中審查                             |
| 113 年 6 月 14 日    | 華盛頓特區         | 美國國家環境預報中心(EMC)期中審查<br>參訪美國台北經濟文化代表處(TECRO)         |
| 113 年 6 月 15 日    | 華盛頓特區         | 拜訪美國國家環境衛星資訊局(NESDIS)<br>Changyong Cao 博士           |
| 113 年 6 月 16-17 日 | 美國華盛頓特區-臺北    | 自美國返回臺  |

## 肆、本年度審查會議重點與合作項目

### 一、發展 AWIPS-II 天氣預報產品顯示系統及輔助工具

與美國國家海洋暨大氣總署全球系統實驗室（GSL）的會議中，討論了幾個主要工作項目，首先是關於第二代先進天氣交談式處理系統(The 2rd Gen Advanced Weather Interactive Processing System, AWIPS-II)工作的討論。

AWIPS（Advanced Weather Interactive Processing System）是美國國家氣象局（National Weather Service, NWS）與雷神(Raytheon)公司共同開發，為預報員設計的互動電腦系統，用來整合氣象、水文、衛星和雷達資料，讓預報員可以更有效地查看、分析、和操作各種天氣資訊。這個系統不僅能處理大量圖形和文字數據，還透過廣域網路實現站點之間的雙向通訊，方便預報員準確且快速地準備和發布預報與警示。在 2023 年，美國國家氣象局對本署 AWIPS-II 於預報作業的應用提供一系列的技術轉移與諮詢工作，虛擬實驗室（VLab）的使用授權，也讓本署可通過該平台取得 AWIPS-II 系統的相關資源，提供本署日常的分析 and 預報整合的預報顯示界面。

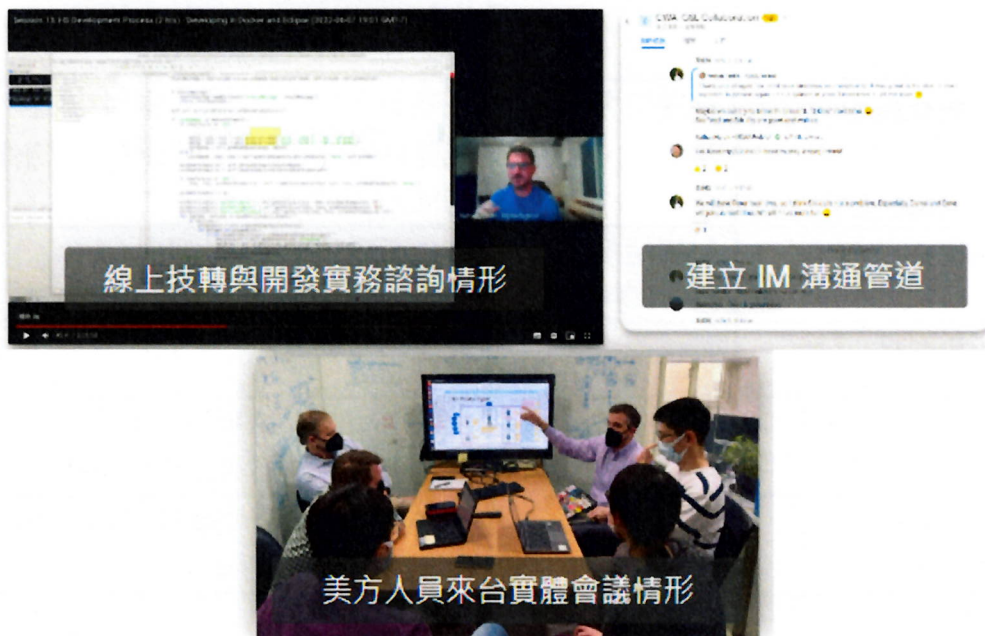


圖1、透過頻繁交流與即時通訊工具，促進了高效合作和關係建立。

在建立合作關係方面，我們強調了「互惠」的合作模式，尤其是在技術轉移後，本署能夠自行開發相關系統，而美方則轉變為顧問角色。2023 年共舉行了 5 次實體會議及超過 72 小時的線上會議（圖 1），頻繁的互動交流有利於凝聚共識及建立關係，電子郵件和即時通訊工具也隨時保持聯繫，確保了雙方的高效合作。

GSL 團隊目前正在協助本署將環境資料交換（Environmental Data Exchange, EDEX）系統從 20.2.3 升級至最新的 23.2.1 版本，並為 AWIPS-II 系統建立 Docker 映像檔，以便更順利地將 EDEX 系統移植至本署持續開發。AWIPS-II 的 Docker 映像檔並非提供給終端用戶使用，而是針對 AWIPS-II 維護開發小組而建製的，為的是讓 AWIPS 團隊能在不同的作業環境進行開發或調整，這有利於降低開發時的複雜度，提高工作效率。本年 4 月份 GSL 團隊已派 Dr. Darrel Kingfield and Dave Tomalak 2 位專家至本署，協助進行 AWIPS-II 版本升級作業，解決許多網路設定的問題，並成功於伺服器中安裝 23.2.1 版本，本署同仁亦持續調整、修正軟體，以符合本署實際需求。

目前新版 AWIPS-II 的程式碼已經上傳至本署的版本控制平台（GitLab），方便本署團隊管理或分享，GSL 團隊也已經完成了可在 RedHat 系統上使用的 AWIPS-RPM 安裝檔，並且完成了新版的災害性天氣服務(Hazard Services, HS)功能模組，整合了即時警示產製功能，作為圖形化災害天氣警示工具。為此，本署安排了多次訓練課程。這些課程由 GSL 系統的發展人員主導，專門針對本署的本土化開發需求，提供實務指導，特別是在開發特報指引工具，這不僅加速了特報的產製與發布，還提升了本署應對災害天氣的能力。

本年度原訂的合作重點有 3 項，分別包含災害性天氣服務、AWIPS-II 諮詢與技術服務、與 CAT+或 PGEN（圖 2），至於本署未來天氣圖使用哪一個程式，尚待最後評估確定，因此 CAT+或 PGEN 的工項尚在討論階段。





圖2、 2024 年 GSL 與本署在 AWIPS 工作項目的三大重要工作。

除了 AWIPS 之外，AI 技術的發展也是本署關注的工作項目。儘管目前存在的定量降水預報模型可以準確估計鋒面等線性系統，但對於颱風等降雨估計卻仍是個挑戰。團隊的目標是用 AI 技術來校正 1-3 小時的定量降水預報，並估計颱風登陸後的可能帶來的降雨量，但我們正面面臨資料不足和臺灣地形複雜的問題。團隊正持續收集資料並改善程式碼，以縮短訓練和數據處理時間。美方團隊目前先以美國的資料進行模型訓練，期能避開臺灣複雜地形的影響，先行理解資料驅動訓練的模型是否具備一定的效能。

目前利用校正高解析快速更新模式（The High-Resolution Rapid Refresh Model, HRRR）在美國東南部地區的預測結果（HRRR 模式是 NOAA 發展的 3 公里解析度氣象模式，其特色是每個小時都更新預報資訊，並且會即時同化雷達資料，以提高模式的準確度），開發出預測模型並持續調校。

基於衛星數據開發 AI 算法的部份，預測熱帶性低氣壓發展成颱風的可能性的工作自 2021 年開始啟動，旨在預測熱帶性低氣壓在未來 6 至 168 小時之內是否會持續增強並達到輕度颱風等級，以及其機率的大小。如今已使用日本向日葵 8/9 號衛星之先進向日葵輻射成像儀(Advanced Himawari Imager, AHI)第 14 頻道亮溫資料，開發出利用卷積神經網絡（Convolutional Neural Network, CNN）的 AI 預測模型，能夠針對已存在的熱帶性低氣壓初步預測其增強至颱風等級可能性，團隊預計可在年底前開發出可上線例行作業之版本。

## AI Corrected QPF for Landfalling Typhoons

Existing model QPF predictions handle linear type systems (ie Fronts) fairly well. Radial precipitation bands however are a challenge.

Goal:

Use AI to correct 1-3 hour (nowcast) QPF predictions for landfalling typhoons and hurricanes.

Challenging problem and may take multiple years

Risks: Verification data is sparse, Terrain effects in Taiwan

Relevant papers:

- Bias in HRRR QPF due to extreme precipitation events: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/ab9002/pdf>
- Deep learning for QPF (training data over a full year, not for extreme precipitation events): <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3429309.3429311>

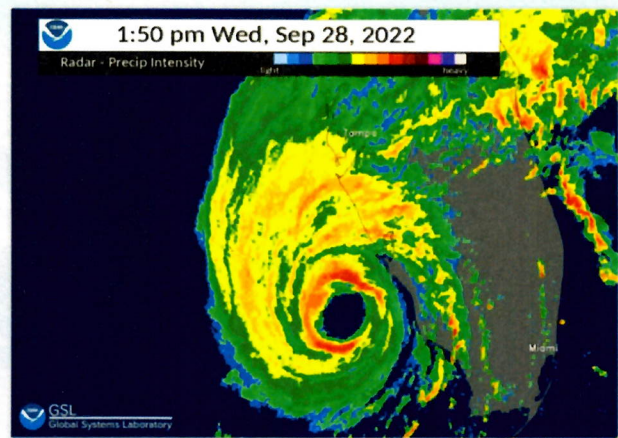


圖3、使用 AI 技術估計颱風登陸後的定量降水。

在深度學習領域中，團隊正在嘗試將 AI 技術用於颱風中心定位工作(圖 3)。儘管強烈颱風的中心定位工作相對比較容易，但是對於強度較弱颱風而言，它們缺乏明顯的眼牆結構和颱風眼，使得中心定位工作變得極具挑戰性。GSL 團隊採用了機器學習技術，目標是在颱風尚未增強之前，便可準確判定其經度和緯度。初步成果顯示該技術具有潛力，目前團隊正進行深入的個案分析，並準備將技術移轉至本署。

Pure-AI Data Driven Models 是指完全依賴人工智慧技術及其相關的數據驅動建模方法所創建的模型。這些模型主要依賴於大量的訓練數據，透過機器學習算法和深度學習技術進行訓練和優化。其中，包含 FourCastNet、Pangu、GraphCast 等 AI 氣象模型的出現，在氣象數值模式領域引起了巨大的震撼，GSL 團隊也在積極探索和 research 資料驅動氣象模式 (Data-Driven Weather Prediction, DWP) 的潛力和可能性，持續評估最新的 DWP 技術進展，並尋求更多的外部合作機會，特別是與各地的氣象機構分享專業知識和經驗，以推動氣象預測和預警系統的創新和提升。

該團隊亦對於本署與 NVIDIA 合作的 CorrDiff 模型相當有興趣，與本署人員進行廣泛討論。



## 二、 雷達定量降水估計技術與品質控管

本署持續關注雷達降水估計的準確度，並致力於提升雷達系統硬體設備的妥善率。隨著氣候變遷帶來的極端天氣事件日益頻繁，雷達降水估計技術的重要性愈發顯著。為了確保預測的準確性，氣象署與水利署、農村水保署等及美國國家劇烈天氣實驗室（NSSL）合作，不斷進行技術更新與優化，並針對現有設備進行評估與改進，以確保雷達系統的穩定運作和數據的準確性。

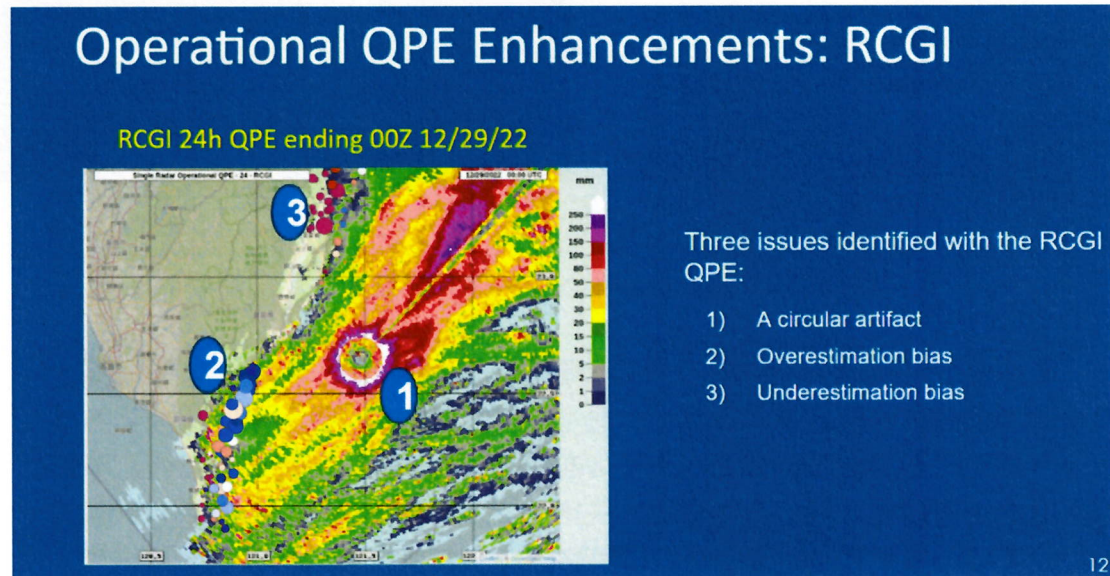


圖4、 因綠島雷達硬體元件老化，產生的環狀異常訊。

本次行程並未安排前往奧克荷馬州，因此本署人員以線上會議方式，與美國國家劇烈天氣實驗室研究員檢視了本年度幾個重點項目的研究成果。

本年度針對綠島雷達進行了詳細評估。由於硬體老化，在接近雷達站區域的雙偏極化參數經常出現環狀錯誤訊號（圖 4），導致了雷達定量降水預報（Quantitative Precipitation Estimation, QPE）估計異常。為了改善這一問題，雷達團隊藉由調整 QPE 降雨關係式，有效地緩和了異常現象。同樣地，針對林園雷達的情況，通過調整資料選取條件，成功減少了降雨量高估的現象。此外，墾丁雷達則透過優化資料選取條件，顯著改善了 QPE 的不連續問題。這些技術上的突破為雷達降水估計的精準度提供了可靠保障。

另外關於五分山雷達受地形遮蔽問題的討論。五分山雷達站西南方存在高山，雖並未直接阻擋雷達觀測，但一定程度的降低山脈後方的回波訊號。儘管傳統 R(Z)關係式方法在地形遮蔽前的降雨估計不會受到影響，但 R(A) 雷達降雨估計方法在面對地形阻擋時會存在明顯的問題，不論是在山脈阻擋前或阻擋後的降水

估計都會受到影響，導致在阻擋前高估降雨、在阻擋後低估降雨。NSSL 團隊通過研發出新方法，能顯著降低降水估計的偏差（圖 5）。

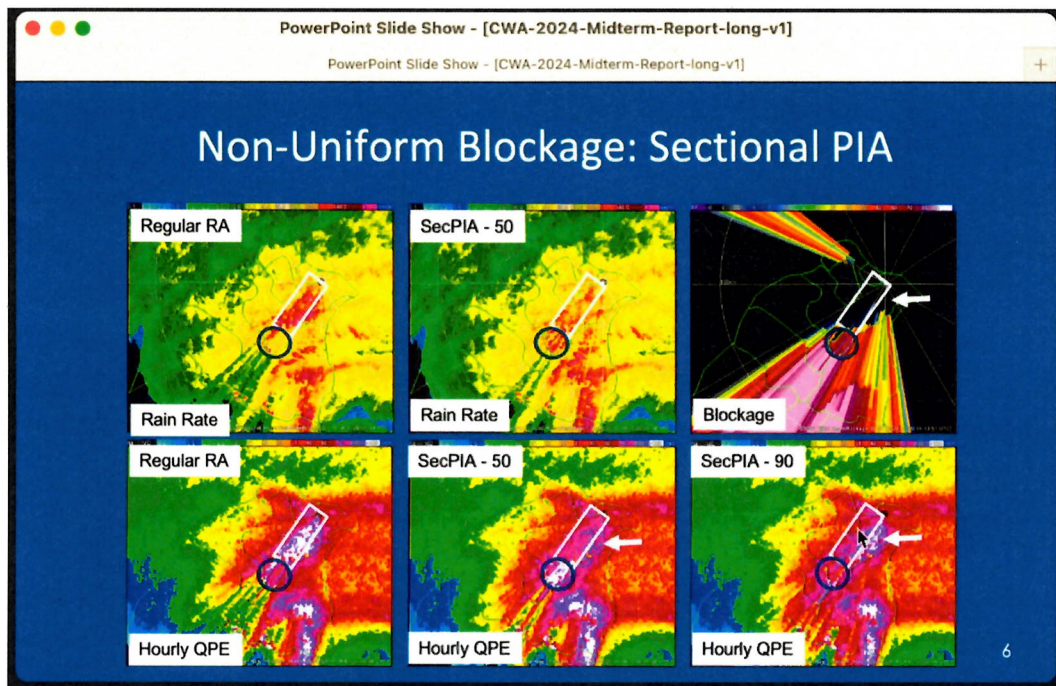


圖5、本署五分山雷達站地形遮蔽效應及其修正結果。

其次是 S 波段雷達之資料品質控制的討論，NSSL 團隊透過物理方法搭配雷達雙偏極化參數  $\text{RhoHV}$ ，改善雷達訊號的品質流程，針對距離雷達較遠的微弱回波，舊方法（QC4.1）很容易將該氣象訊號視為雜訊而濾除，而因七股雷達週邊低層地形雜訊影響，該雜訊容易被當作氣象回波保留下來，並與附近的積雲對流胞混淆，影響 QPE 的計算這些問題，在新方法（QC4.2）中已經得到了明顯的改善。

最後是 C 波段的定量降水估計技術之優化。最新降水估算程式的版本為 `dualpolQPE_Cband_v5.0`，與前一版相比，有六項重要的更新項目。這些修改包括將無雨率區域的數值從「缺失」改為「零」、改進  $\text{PhiDP}$  變量的預處理方法、引入條件最大率邏輯式、修正數據高度處理方法、增加降水標示的輸出、以及擴展綠島雷達之  $R(Z)$  應用於處理 KDP 數據質量問題，提高不同氣象條件下雷達降水估計準確性和可靠性。為了更方便地進行成果驗證，本年度團隊為定量降水估計驗證系統（QPE Verification System, QVS）增加新的功能，讓發展中的新方法與例行作業所產生的降水估計產品可以進行比較及定量檢驗，有助於加速技術轉移至例行作業的速度。

技術報告結束後，雙方討論了利用人工智慧方法，結合地面測站的降水資料來建立雷達降水估計模型的可能性。NSSL 表示類似技術已在美國西岸開始使用，雖然在大尺度降水估計表現良好，但對於尺度較小的降水估計仍有許多改善空間。

最後，雙方針對臺灣雷達資料品質及應用方面進行意見交換。臺灣雷達建置密度高，同一區域上空可能會同時被多顆雷達觀測，此時如何選擇出較高品質的觀測資料便是重要的課題。NSSL 未來的研究方向之一，是考量雷達本身硬體特性與觀測距離等因素，標記每個雷達網格的觀測資料品質，以便在特定區域選擇最適合的數據。

綜合以上成果顯示，S 波段雷達在複雜地形中的衰減修正技術已顯著優化，進一步提升了降水估計的準確度，隨著並量降水估計技術的更新，能夠顯著降低地表雜訊與降水訊號的混淆，提升了降水估計產品的品質。這些技術的突破為我國的防災預警能力提供了強有力的支持，也為未來的臺美於雷達降水合作奠定了堅實基礎。



### 三、 同步衛星用於蒸發散量反演與空氣品質偵測

在臺灣，發展蒸發散量反演與空氣品質偵測具有重要意義。臺灣氣象現象複雜，蒸發散量是水資源循環的重要指標，對於水資源管理、農業灌溉及因應氣候變遷具有重大意義。利用同步衛星提供高頻率的觀測資料，能夠在不同時間點獲取關於地面蒸發散的詳細信息，有助於更好地管理水資源。而臺灣城市化進程迅速，境內與境外之空氣污染問題日益嚴重。同步衛星能夠提供廣泛且連續的空氣品質監測數據，包括氣溶膠光學厚度、污染物分佈資訊等，有助於了解污染源和擴散路徑並即時預警。

本署與美國國家環境衛星資訊局(NESDIS)有 2 項重要合作項目，第一項是乾旱蒸發散量反演與演算法引進，隸屬於衛星應用及研究中心（Center for Satellite Applications & Research, STAR）的曹長勇博士介紹了美國已成熟的蒸發散量監測系統(NESDIS Geostationary Evapotranspiration and Drought, GEF-D)，該系統由 NESDIS 開發，通過 NOAA 地球同步衛星資料來估算地表蒸散量(Evapotranspiration, ET)數據，這些產品被用於數值天氣預報模型的驗證、校正和資料同化(圖 6)。原本該系統輸入資料為 GOES-13/15，為因應更先進氣象同步衛星資料的出現，於 2018 年 1 月 8 日將系統升級，使其能使用更高品質的 GOES-R 同步衛星資料產製蒸發散量。本署引進該系統後進行在地化( GEF-D4CWA )，並導入日本氣象同步衛星：向日葵 8 號/9 號先進向日葵輻射成像儀的資料。



圖6、 NESDIS 團隊進行蒸發散量監測系統與空氣品質監測的工作成果簡報。

目前 GEF-D4CWA 系統已使用了過去 5 年的 AHI 觀測數據建立資料庫，為達到更高的準確度，未來計畫將數據資料擴展至 9 年，也就是自 AHI 運作以來的所有資料均會納入。曹博士團隊展示了臺灣乾旱壓力指數 (Evaporative Stress Index, ESI) 分佈，並與搭載於繞極軌道衛星 Aqua、Terra 上的中解析度成像分光輻射計 (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) 所反演之結果進行比較，結果發現趨勢相近且高度相關。

曹博士的團隊也展示了 2023 年臺灣乾旱的個案分析，並指出臺灣地區有許多成雲致雨的天氣現象，例如東北季風、梅雨鋒面等，由於使用了日本向日葵衛星輻射儀的紅外線頻道反演地表蒸發散量，當有雲層覆蓋時，僅能觀察雲頂的特徵，使得無法得到地表特徵，進而導致資料量下降，尤其是北部及東北部地區，在冬季受東北季風的影響下，幾乎都受雲層覆蓋。為此，團隊嘗試將微波頻道的資訊一併納入使用，由於微波能量可以穿過雲層，因此不受雲層遮蔽的影響，根據統計，使用微波頻道約能增加約 230% 的資料量，但相對的由於微波能量較低，儀器設計上有先天限制，空間解析度遠不如紅外線頻道，這類型的資料解析度會從一般紅外線的 2 公里降至 9 公里。



圖7、 NESDIS 團隊高雄架設了自製的輕便光譜儀 PODAS。

空氣品質方面的工作項目中，NESDIS 團隊介紹了自製的輕便光譜儀 PODAS (Portable ODAS, 圖 7)，用於檢測 O<sub>3</sub>、O<sub>4</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 等氣體，且非常方便攜帶。今年出團隊前往高雄實驗站並取得了可觀的觀測資料，並將資料與搭載於韓國 GK2B 衛星上的同步環境監測光譜儀 (GEMS) 進行比較。報告指出，GEMS 儀器在偵測 NO<sub>2</sub> 時相關係數為 0.6，而 AHI 的相關係數則高達 0.94，顯示出其較高

的準確性。此外，團隊還比較了成功大學空氣品質觀測站資料與 GEMS、AHI 的 AOD 資料，發現在 SO<sub>2</sub> 方面，GEMS 的相關係數僅有 0.4。報告中提到 GEMS 的圖表僅有 1 天的基準資料，未來可以增加觀測頻率，以提升空氣品質產品的例行性。

這些討論表明 NESDIS 與本署在衛星估算蒸發散量和空氣品質監測方面保持著技術交流和合作，展示了未來在臺灣應用這些技術的潛力。



#### 四、 全球至區域整合模式預測系統之發展

對於全球任何一個氣象預報作業單位而言，全球及區域數值模式是非常重要的且不可缺少的技術，是現代氣象預報作業的核心技術。當今氣象預報高度依賴數值模式，這些模式透過複雜的數學方程式模擬大氣行為，並利用大量觀測數據進行資料同化。然而，隨著氣候變遷的加劇，臺灣地區面臨更加頻繁且劇烈的氣象災害。為了應對這些挑戰，本署必須持續發展數值天氣預測技術，以提升預報的準確度與時效性，增強氣象災害應變能力，保障人民生命財產安全。

本署與美國國家環境模式中心(EMC)合作議題主要在模式的發展及相關的預測技術。2023年，本署在數值天氣預測(NWP)方面取得了顯著進展，特別是在基於FV3GFS的全球預測系統開發工作上。本署成功開發並於2023年9月正式上線了新一代的氣象署全球模式(Taiwan Global Forecast System, TGFS, 圖8)。該系統的預測性能優於前一代全球預測系統，顯著提升了本署預測表現，此外，本署於7月25日的統合氣象預測能力創新研討會(Unifying Innovations in Forecasting Capabilities Workshop, UICFW)研討會上，以視訊方式發表了TGFS系統的發展成果。在全球模式即時作業中，缺少部分飛機與衛星輻射觀測資料可能影響預報準確度。為了解決這一問題，美方提供了2022年10月至11月的完整歷史觀測資料，供本署進行回溯性同化實驗，以評估這些觀測資料對預報精度的影響。

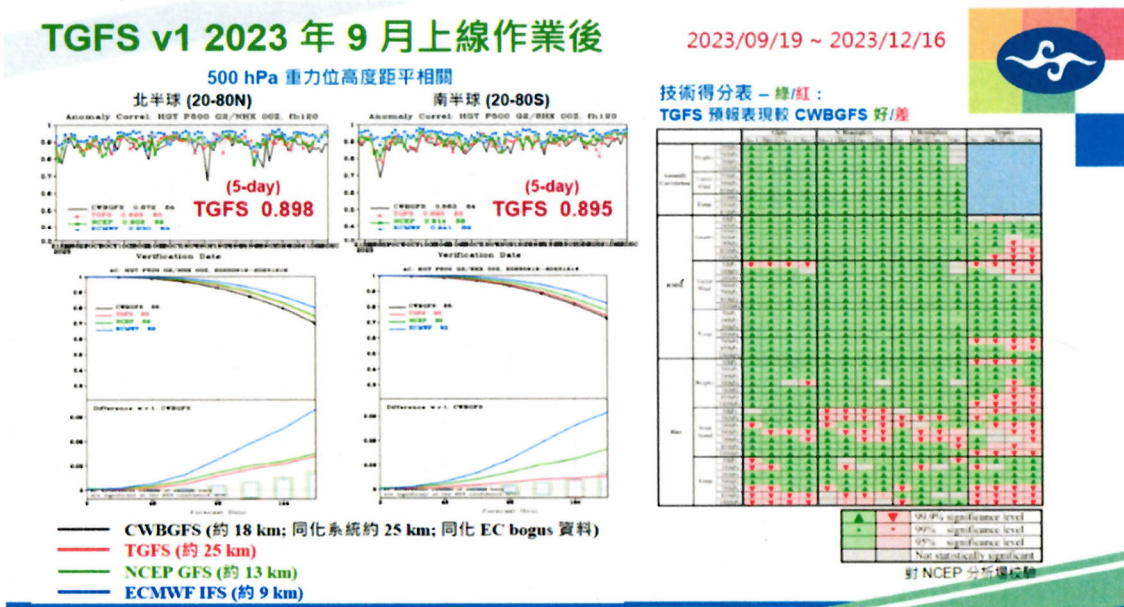


圖8、 TGFS v1 於 2023 年 9 月上線作業後之表現評估。

本署同仁一直以來與 EMC 員工保持著電子郵件交流，著重於模式的物理參數化及相關技術的發展，內容包括地形資料庫的處理及相關工具、植被資訊的導入、海洋表面效應的考量等。下一步的合作將聚焦於重力波機制、雲微物理以及氣膠與雲的輻射交互作用等方面。

本署與 EMC 持續進行的合作，包括多項重要的全球和區域氣象模型及數據同化研究工作，例如物理參數化、全球和區域的數據同化、集合預報的開發、海洋模型同化等，這些工作旨在提升天氣預報的準確性和可靠性，促進國際間的技術合作與數據共享。未來雙方的合作展望包括各項大氣海洋模型數據同化技術的開發，預計在 2025 年舉辦實體研討會以促進更多的交流與合作、引入人工智慧/機器學習 (AI/ML) 應用於數值天氣預報的可能性、以及促進跨領域的合作和應用。

## 五、 氣象同步衛星之降水估計技術發展

在氣象同步衛星降水估計技術的研發中，主要致力於提升降水估計的準確度與可靠性。這些技術旨在利用衛星數據，來改進降水估計模型，通過整合先進的數據科學和機器學習技術，提供更精確的降水預報，從而支持更有效的氣象預測和災害預警。這些技術的發展將有助於提升臺灣地區及其他亞太地區的降水監測和預報能力，以應對不斷變化的氣候挑戰。本署於氣象衛星降水估計技術方面，在「導入前瞻科技，接軌國際科研」的目標指引下，專注於「運用資料科學與監測技術改善產品監測與應用服務」，並在 113 年第一季度中取得了顯著進展。

首先是臺灣區域 AIQPE-2023 版本的初步成效分析，圖 9 顯示，本署使用日本氣象同步衛星：向日葵 8 號/9 號的先進向日葵輻射成像儀之觀測資料，發現利用同步衛星多頻道資料進行 AI 定量降水估計（Artificial Intelligence Quantitative Precipitation Estimation, AIQPE），其表現優於現有的單頻道紅外線定量降水估計（Infrared Quantitative Precipitation Estimation, IRQPE）。為了進一步分享此項成果，本署已向 CGMS-IPWG 研討會提交了兩份摘要並報名參加。

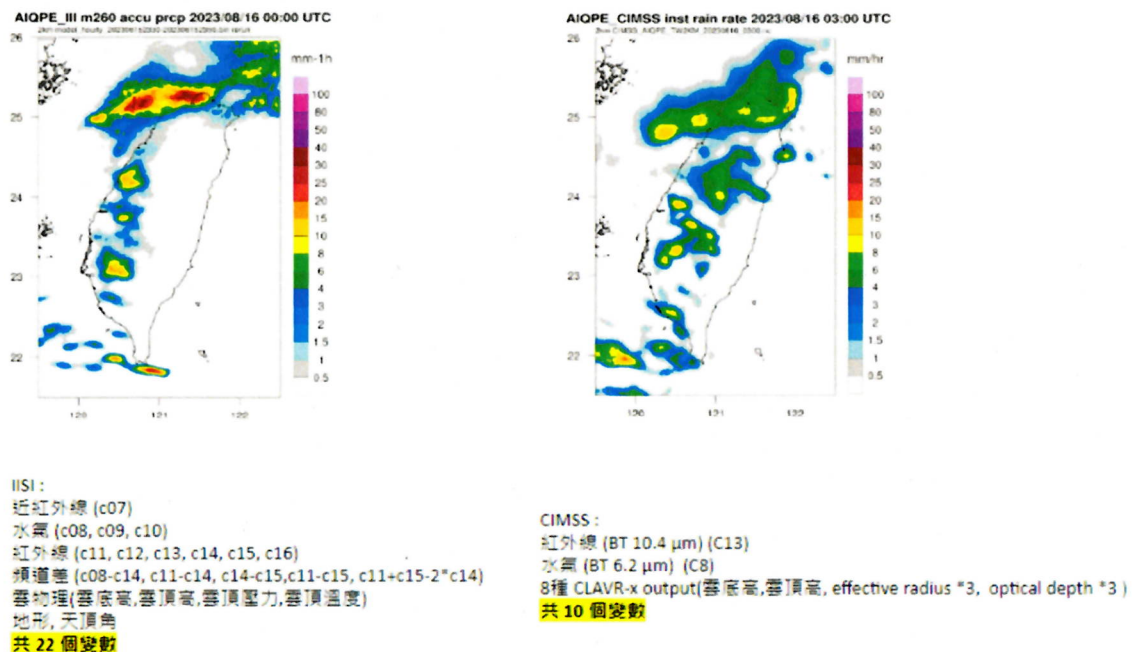


圖9、 本署（左）及美國 CIMSS(右)所開發之衛星 AI 定量降水估計之產品比較。

在 AIQPE 技術的轉移與精進方面，本署積極與外部組織合作，包含國內廠商、科羅拉多州大學及氣象衛星合作研究所（Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, CIMSS）等單位合作，不僅在技術上取得進展，還安排了技術轉移和培訓課程，以確保衛星降水估計技術的廣泛應用。同時，在 IRQPE 應用於氣



候監測業務方面也取得了進展，設計了 ENSO/ISO 監測輔助圖集，為後續的應用評估奠定了基礎。

在科羅拉多州大學的會議中，本署人員與電氣與計算機工程系陳浩南教授進行了會面（圖 10），陳教授與本署技術團隊每 2 周舉行 1 次視訊交流會議，這些會議有助於加深彼此對於最新科學進展的理解。陳教授與本署科技發展技術團隊專注於使用日本氣象同步衛星：向日葵 8 號/9 號的先進向日葵輻射成像儀之觀測資料，研發以深度學習（Deep Learning, DL）進行衛星定量降水估計的技術，地面觀測值則選用劇烈天氣監測系統（Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors, QPESUMS）所產生的定量降水估計，該資料經過地面雨量站校正，具有很高的可靠性。

陳教授的團隊深入分析同步衛星各頻道之亮度、反射率數值、及不同頻道之間的亮溫差、懸浮微粒光學厚度(Aerosol Optical Depth, AOD)等各式衛星衍生產品，建立其數據與地面降水的關係序列，藉此找出相關性最高的變數。結果顯示，即便衛星所觀測的亮度溫度分佈與各頻道的溫度差的空間分佈，與實際上的降雨觀測資料相比相差甚遠，但深度學習的模型仍可以大致掌握降雨分佈，並且為洋面的區域提供降雨資訊。未來陳教授團隊將與本署持續訓練並調整模型，增加海面與陸地間的識別，同時嘗試其他 AI 方法以增進準確度。



圖10、科羅拉多州大學陳教授解說同步衛星影像與降水估計之 DL 模型的技術細節。

本項合作的願景並不止於臺灣地區，而是將 DL 模型延伸至日本向日葵衛星所有能涵蓋到的觀測範圍，將定量降水的估算方程式推廣至整個東半球。

在 113 年度的後續規劃中，本署將繼續致力於亞太版 IRQPE 產製作業流程的建置及其在氣候業務應用中的發展，預計在第 3 季度完成至少兩項氣候監測業務的示範應用，並在第 4 季度完成相關的作業流程及說明文件。同時，本署也將對臺灣區域 AI 衛星估計降水研發產品的成效進行評析與精進，計劃在第 4 季度完成夏季成效評析報告，並發表或投稿相關論文。此外，本署還將發展全年各季節適用的 AIQPE 方案，並在南海季風區拓展 AI 技術的應用，預計在第 2 季度完成初步成效評析，並在第 4 季度完成技術報告及應用評估。



## 伍、 拜訪未來的合作夥伴

在本次行程除了與既有的合作夥伴進行交流外，還特別走訪了 2 個新單位，積極展開合作關係的可能性。這些新的接觸為我們走出國際並展開跨領域合作開啟了更多潛在機會。

### 一、 再生能源議題之國際參與

美國國家再生能源實驗室（National Renewable Energy Laboratory, NREL）是美國能源部的研究機構，專注於開發和推廣再生能源技術，包括太陽能、風能、生質資源等，以促進全球能源轉型。通過創新科技和科學解決方案，NREL 致力於加速清潔能源的應用和商業化，推動全球能源系統的環境友好性和可持續性。

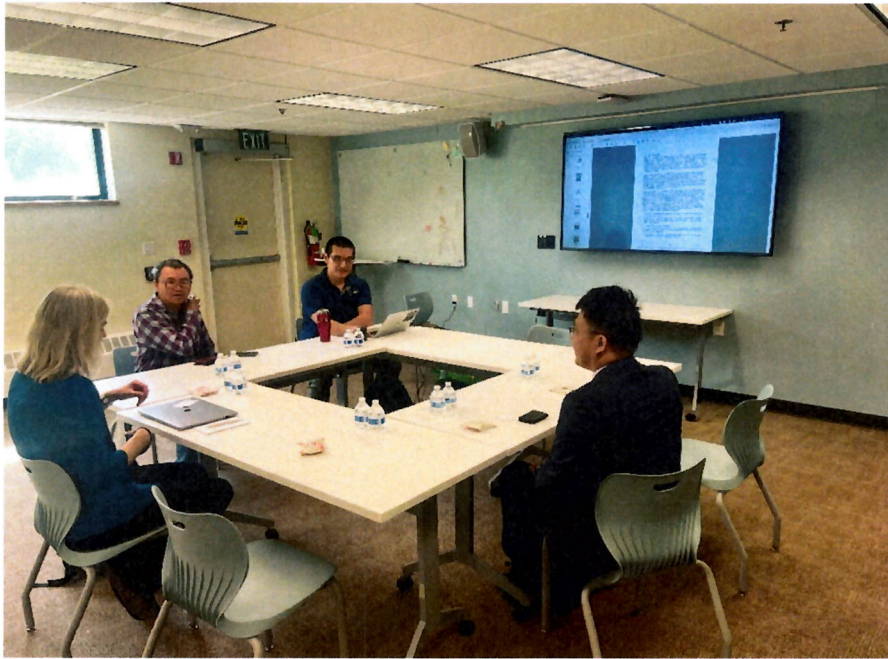


圖11、 本署與 NREL 人員對全球再生能源的願景與臺灣可提供的技術進行討論與發想。

與 NREL 人員的會面中，聚焦於展示 NREL 的全球風場資料庫（圖 11）。該資料庫範圍覆蓋北美、印尼、菲律賓及南亞等地區，可作為發覺全球潛在風力電廠的參考資料，但目前該資料庫未納入臺灣及其鄰近海域。會中本署表達共同合作的興趣，並分享了本署 WRF 模式風場的相關資訊，該模式在模擬大氣風場相當可靠，適合作為臺灣地區風場資料庫的基礎數據。

此外，NREL 人員也介紹了其 HPC (High-Performance Computing) 機房設備及創新的冷卻系統。該系統能夠將機房產生的廢熱透過頂樓冷卻管道排放至室外，在夏季有效降低機房空調的負荷；而在冬季，則能將伺服器廢熱轉化為室內暖氣使用，以減少能源消耗，其創新想法充分展示了 NREL 在能源效率方面的前瞻性。

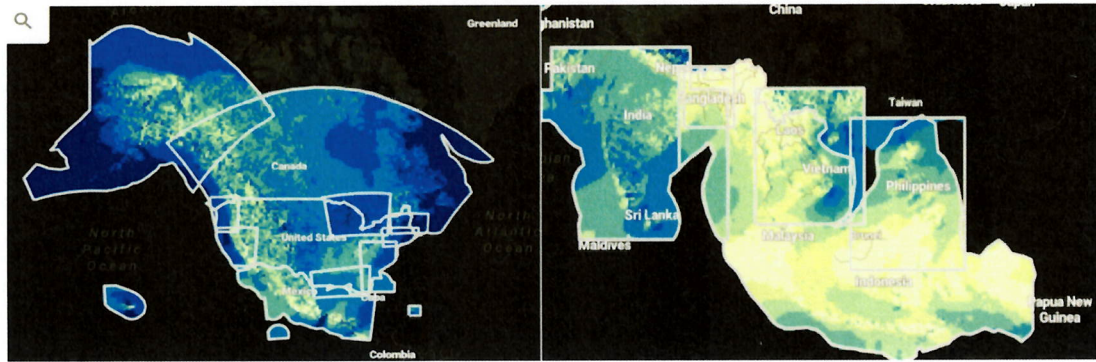


圖12、 NREL 所建置之全球潛在風電資料庫，臺灣地區尚無相關資料。

## 二、 強化大尺度氣候預報與技術交流

過去本署與氣候預測中心（CPC）曾有過長期且密切的交流活動，但近年雙方中斷了這些互訪。本次拜訪中，本署努力希望恢復與 CPC 的長期合作，議題著重於大尺度氣候預報及相關人員技術之培訓與發展，希望藉此提昇本署在大尺度氣候的預報技術，CPC 人員則表示美國由於幅員廣闊，較少有資源被投入在小尺度或小範圍的天氣預報，因此對於本署的降尺度技術非常有興趣，並希望制定具體計劃互相學習成長，並建立長遠的合作關係。

另外雙方也交換了彼此對於天氣現象守視業務的優先度，以及氣候資訊對外發布的管道。CPC 在美國氣象服務中，為了更好地服務公眾與政府單位，對外發布的預測資訊強調簡單易懂，且專注於對公眾利益相關的議題。具體的預測方法和工具包括大範圍的氣候預測、短期的極端天氣預測（如極端高溫和乾旱），以及通過臉書、Twitter 等社交媒體或其他渠道傳達這些信息（圖 13）。本署也分享的國內傳播氣象訊息的管道，除了同樣會透過新聞媒體、臉書、官網等管道之外，也會在本署官方網站或手機 App 上發布各式各樣的氣象資訊。

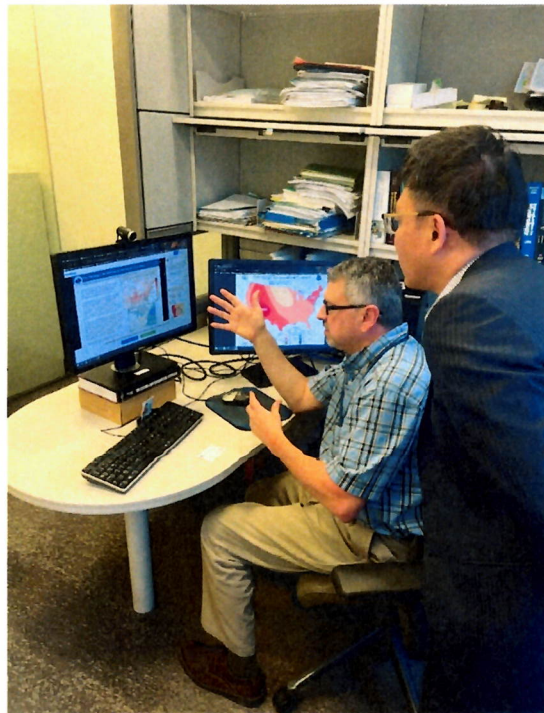


圖13、 CPC 人員介紹極端氣候資訊發布的網頁與效益。

## 陸、心得與建議

這次出國的經歷令我獲益良多，不僅拓展了視野，更深化了我對國際氣象技術發展合作的理解。訪美期間，我深刻感受到 NOAA 各氣象單位在氣象技術領域的快速進展，這激發了我對提升本署運作效率與專業技術發展的思考。

在接觸國外先進氣象技術與研究方法的同時，NOAA 高效、專業且有條不紊的工作環境也給我留下了深刻印象。這種環境不僅是硬體設施進步的體現，更展示了專業分工帶來的巨大優勢。本署在處理氣象業務的同時，也展現了高度的靈活性與適應力。我們能進一步優化工作流程，通過合理分工與資源分配，讓專業人員更加專注於核心業務與技術創新，從而提升整體工作效率與成效。

這次經歷讓我更加堅信，通過積極的變革，我們能夠進一步提高技術創新能力，推動更長遠的發展。我期待在未來，能夠將這些寶貴經驗應用於實際工作中，協助本署在國際氣象技術領域取得更多卓越成就。