

發展小區域災害性天氣即時預報系統

Development of Small-scale Nowcasting Operation System

主管單位：交通部 計畫編號：107-1502-02-17-03

呂國臣

Kuo-Chen Lu

中央氣象局預報中心

為提升災害性天氣預報技術，精進災害性即時天氣監測，並針對鄉鎮尺度研發新的小區域災害性天氣及即時天氣預報技術，以發展本土化之機率型預報指引，建置災害性天氣警特報的作業機制。因此本計畫規劃三個分項目標進行重點研發，包括「整集小區域氣象監測資料」、「發展小區域災害性天氣預報作業技術」及「發展小區域災害天氣應用系統」，期以現有的氣象監測網及鄉鎮預報技術為基礎，強化氣象預報技術能力，整合防災氣象資訊系統，並拓展新的大氣科研領域，亦精進小區域即時劇烈天氣相關應用之預報技術，以達到增進小區域災害性天氣即時預報能力之目標。

關鍵詞：災害性天氣即時預報、鄉鎮預報。

Abstract

To improve hazard weather forecasting technique and optimize hazard weather monitoring aimed at township scale, localized probability forecast guidance and the establishment of hazard weather warning operation mechanism is required. Therefore, FIFOW maps out three objectives as focal points including “integrate township-scale weather monitoring data”, “develop township-scale hazard weather forecasting operation technique”, and “develop township-scale hazard weather application system.” Based on the existing weather monitor network and township forecasting technique, the escalation of weather forecasting technique and the integration of disaster-prevention meteorological information systems, as well as the related application of severe weather nowcasting, are expected to achieve the goal of improving township hazard weather nowcasting.

Keywords : Hazard weather; nowcasting; township

一、前言

近十幾年來，不論世界氣象單位或本局在觀測技術、觀測資料品質和數值模式預報表現等方面皆有進展，然而，對於劇烈天氣的即時預報能力仍是相當有限，尤其是與臺灣防災息息相關的定量降水預報能力更顯嚴重不足。隨著國內對於天氣預報服務及防災需求日增，再加上未來可能的氣候暖化導致極端天氣事件出現頻率增加之衝擊，因此，強化氣象即時監測、發展新興預報技術和指引、及進行本土化預報作業整合是未來因應災害性天氣事件必須調適和思考的作為，有其迫切需求。

不論從民眾需求面、防災救災面、未來氣候變遷影響上來說，將災害性天氣預報拓展至小區域範圍是不可避免的趨勢，因此本計畫訂定總目標為「達到建立本局發布小區域之災害性天氣警特報的作業能力和建置符合全國各鄉鎮尺度災害性天氣預報的作業化需求之預報指引」。同時針對擬解決的衍生問題，由資料處理、技術發展和作業應用層面分別訂定三項目標：整集小區域氣象監測資料、發展小區域災害性天氣預報作業技術，及發展小區域災害天氣應用系統，期望能對小區域災害性即時天氣預報有所改善，並將鄉鎮之劇烈天氣警特報的發布落實於作業化流程中。

二、計畫主要內容

本計畫規劃以4年(104-107)的時間，強化現有之大氣監測網及預報技術，蒐集強降雨及閃電即時監測資料加以應用分析，開發新的鄉鎮尺度即時劇烈天氣相關應用之預報技術，並建置相關的作業輔助系統，以達到增進小區域災害性天氣即時預報能力。計畫架構如圖2-1所示，藉由整集監測資料和地面分析場資料來作為技術發展的基礎，以回饋至程式系統的應用開發，並以應用系統輔助資料整集和技術研發，透過資料處理、技術發展和應用程式的相輔相成來建置本局發布鄉鎮尺度之災害性天氣警特報的作業化流程。

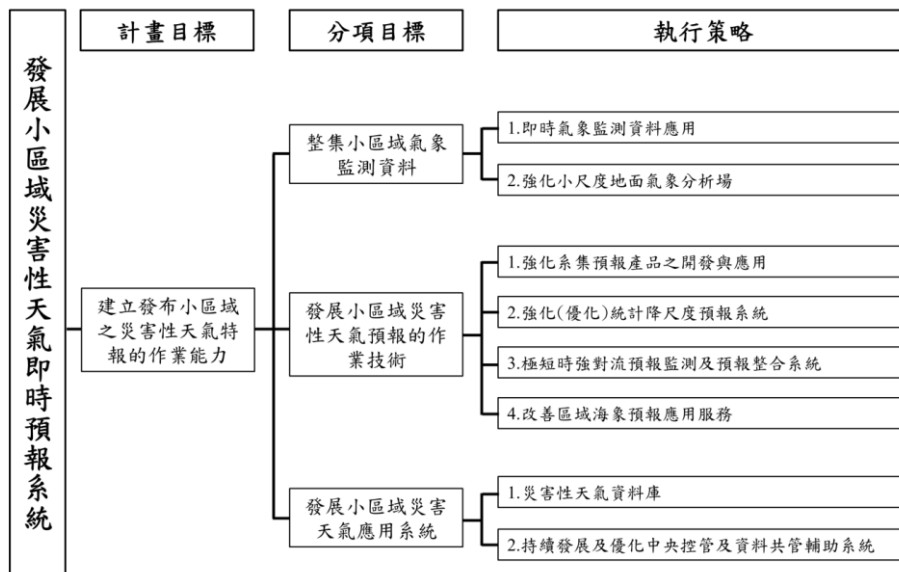


圖 2-1 「發展小區域災害性天氣即時預報系統」計畫架構圖。

2.1 整集小區域氣象監測資料

著重在氣象觀測資料的蒐集與分析，規劃以「即時氣象監測資料應用」及「強化小尺度地面氣象分析場」兩個工作策略來落實。藉由閃電即時監測資料與相關觀測資料的應用，分析各類閃電類型在時空上發生和分布的特性，開發閃電落雷發生的潛勢預報指引，以強化劇烈天氣即時預警能力。優化及發展小尺度地面氣象分析技術，以建置完整的災害性天氣資料庫，作為日後歷史個案查詢和預報校驗之重要依據及參考。

2.2 發展小區域災害性天氣預報作業技術

針對鄉鎮尺度研發新的預報技術及客觀預報指引，強化即時監測和預報整合系統，及提升區域海象預報能力。規劃以「強化系集預報產品之開發與應用」、「強化(優化)統計降尺度預報系統」、「極短時強對流預報監測及預報整合系統」及「改善區域海象預報應用服務」四個工作策略來落實。此部分的工作重點為針對小區域災害性天氣研發新的預報技術和客觀指引，包括系集預報技術、統計降尺度法及機率型指引等，並發展雷達外延推估和數值模擬最佳擬合技術，以高階辨識方法自動化過濾系集資訊，作為極短時劇烈天氣定量降水預報之重要參考。此外，將整合現有的海象預報作業系統與即時海面觀測資料進行資料同化，提升海象預報精細度及強化區域性警示資訊。

2.3 發展小區域災害天氣應用系統

建置災害性天氣查詢和決策輔助系統，改善運算效能及海量資料控管系統，提升氣象資料加值應用，以提供下游客製化服務。規劃以「災害性天氣資料庫」及「持續發展及優化中央控管及資料共管輔助系統」兩個工作策略來落實。此部分規劃建置能輔助小區域災害性天氣預報決策的應用系統，建立災害性天氣歷史個案的分類標準及相關的資料庫查詢整合系統。另一方面，導入海量資料處理的概念，以加速運算效能，完備資料蒐集、品質控管、流程派送、校驗系統等機制與功能，建立發布鄉鎮災害性天氣警特報之作業能力，以提升氣象預報精密度和服務品質

三、計畫主要成果

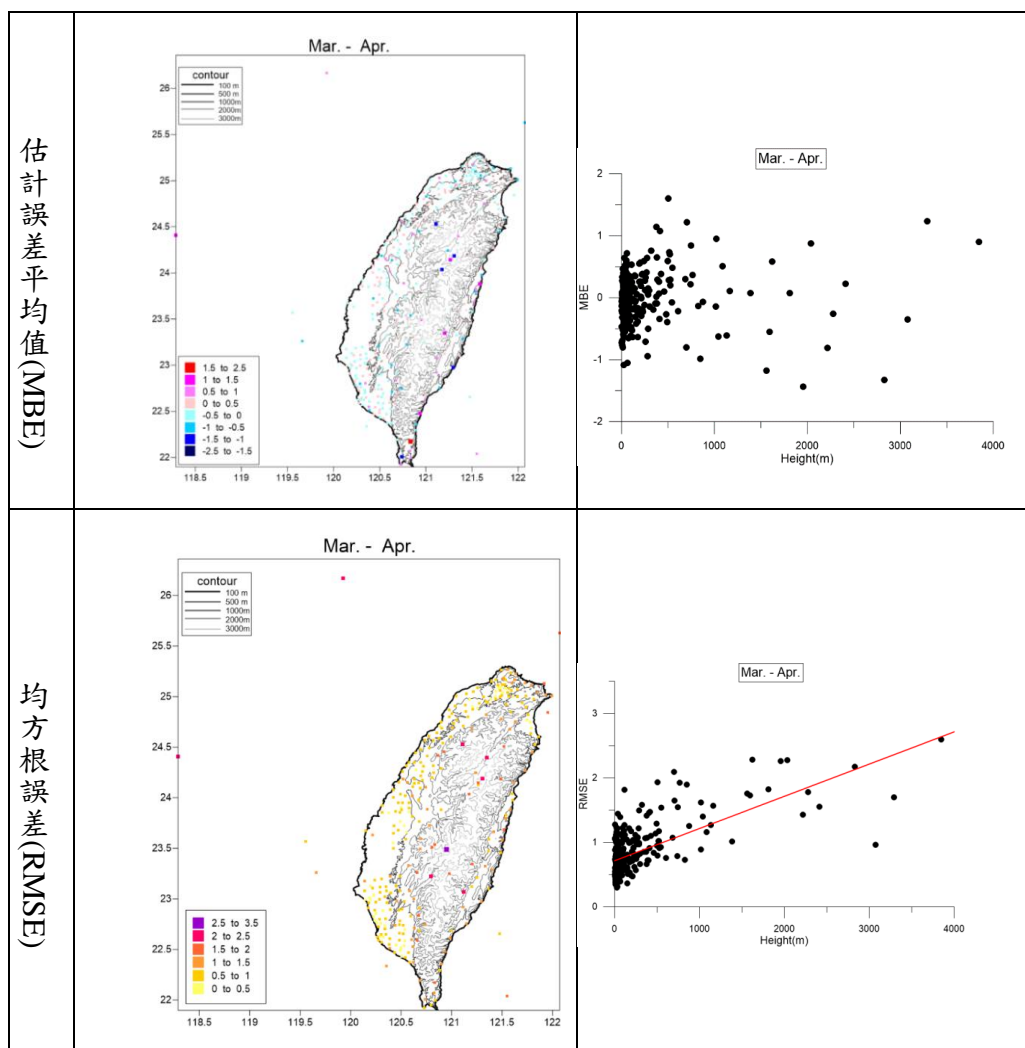
3.1 學術研究

本計畫致力於提升災害性天氣預報技術，以達到建立本局發布小區域之災害性天氣警特報的作業能力和建置符合全國各鄉鎮尺度災害性天氣預報的作業化需求之預報指引。107 年度完成國內重要期刊論文 1 篇、國內研討會論文 6 篇、國外研討會論文 2 篇、研究報告 2 件、技術報告 13 件、主辦 1 場國際論壇。主要研究成果摘述如下：

- (1) 完成 1 篇國內期刊論文「應用貝氏模型平均法發展颱風路徑機率預報指引」(陳等，2018 大氣科學期刊)，本研究嘗試將颱風路徑分為經度預報與緯度預報，再分別應用貝氏模型平均法(BMA)整合不同模式預報資訊得到經度與緯度上的

預報機率密度函數，除可依此建構完整的颱風路徑機率預報指引外，亦可利用期望值作為路徑預報指引

- (2) 完成「地面溫度場可靠度評估指標」研究。目前地面溫度分析場所採用之通用克利金法內插技術，在部份高山、谷地等地形較複雜區域可能出現較大估計誤差，或是因特殊氣象條件(如焚風)致使統計內插方法無法擬合，因此有必要建立地面分析場可靠度評估指標，提供使用者判讀資訊。研究統計 2015 至 2017 年通過檢覈之溫度資料，使用遮蔽測站試驗產生溫度估計值，並選用估計誤差平均值(Mean Bias Error, MBE)、均方根誤差(Root-Mean-Square Error, RMSE)及相關係數(Correlation Coefficient, r)作為溫度可靠度評估指標，進行各測站分期可靠度評估。圖 1 為全臺第二期(3-4 月)各評估指標的統計值分布圖，MBE 在高山、離島較大，可能是受限於鄰近站數量較少且高程落差大，RMSE 和 r 有隨高程增加而變大的趨勢，顯示高山區域誤差較大，可靠度相對較低。由各期的統計值分布圖，相關係數幾乎皆高於 0.7，顯示透過通用克利金內插方法可掌握觀測時間之變化；MBE 在第一、二期(12-4 月)偏大之測站較多，顯示冬、春二季溫度估計值之可靠度較低。由此可靠度評估指標，後續可定期檢視歷史資料的評估結果，運用調整預報網格高程的方式修正高山區域的偏估情形。



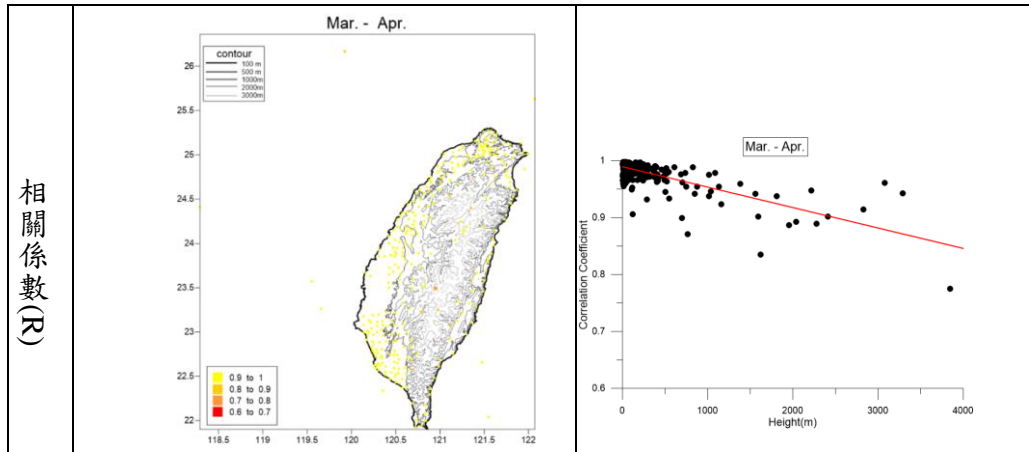


圖 1.第二期(3-4 月)MBE、RMSE 及 r 計算；左行為測站統計值分布圖，右行為統計值高程變化之散布圖。

(3) 對 2017 年依不同天氣系統和季節，分析五分山雙偏極化雷達定量降水估計 (quantitative precipitation estimation, QPE) 和北部地區測站觀測時雨量之間的相關係數。對依天氣系統區分的結果而言 (圖 2)，相關係數中位數呈現最高的天氣系統為鋒面，且變異分布範圍也相對集中，最低則為其他天氣系統事件。午後對流的相關係數最大值和最小值的範圍差異為最大，約介於 0.3 至 0.95，同時上下四分位數圍成的盒寬也相對較寬，表示午後對流事件中雙偏極化 QPE 和測站雨量在空間分布的變異性較大。在不同季節的結果 (圖 3) 呈現以秋季的相關係數變異範圍最大，而春、夏兩季分布範圍相對集中，中位數則以夏季為最大、冬季為最小。應用五分山雙偏極化雷達定量降水估計與地面雨量觀測的相關性分析，進行閃電活動與降雨延滯性關係研究，可用於進一步擬定降雨預警門檻值，並提出閃電預測降雨之可靠度評估可做為日後產製預報指引。

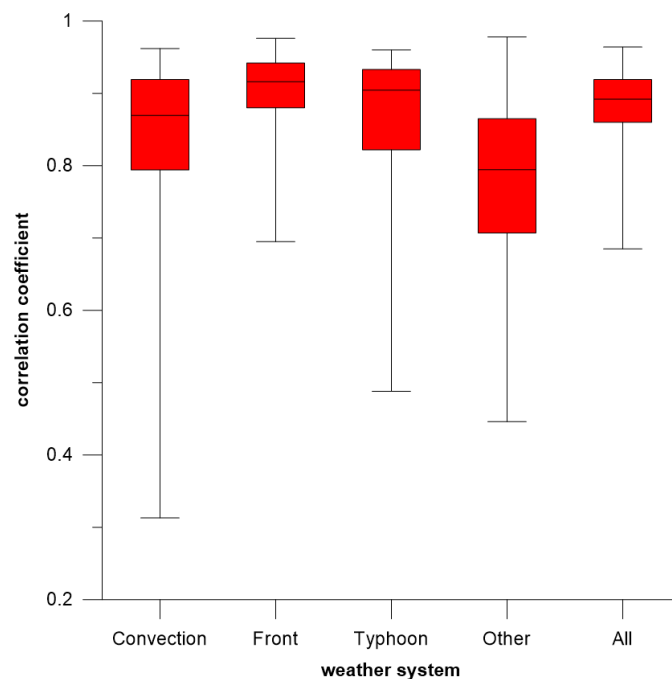


圖 2. 針對 2017 年不同天氣系統 (橫軸依序為午後對流、鋒面、颱風、其他和所有

不區分天氣系統)，五分山雙偏極化雷達 QPE 與北部測站觀測時雨量之間的相關係數盒鬚圖。

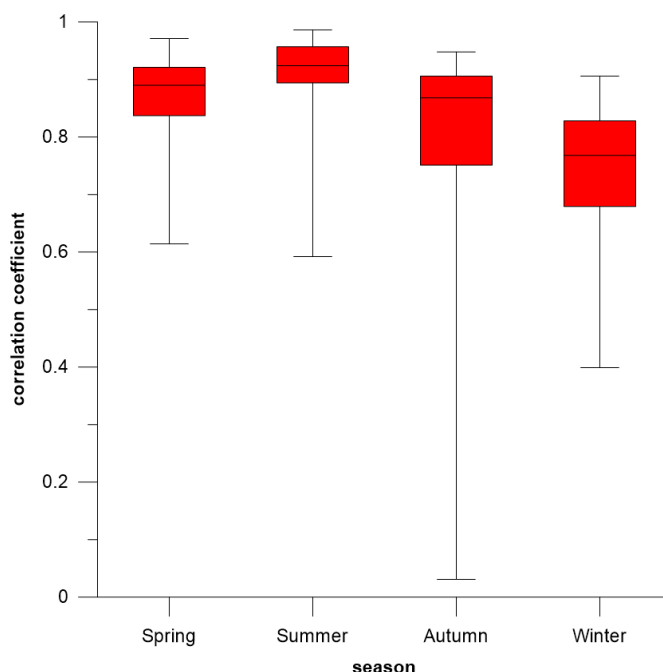


圖 3. 同圖 2，但為針對 2017 年的不同季節（橫軸依序為春季、夏季、秋季和冬季）。

(4) 於 107 年 4 月 11 日舉辦「氣象 A2O(From Academia to Operation in Meteorology) — 氣象培訓者研討會」，推廣應用氣象預報培訓平台，增進國內外氣象作業單位之預報培訓交流，提升預報科研的國際能見度。MetET (Meteorological Education and Training, 中文為「氣象預報培訓平台」) 是由交通部中央氣象局 - 氣象預報中心所建置的線上學習平台。針對有氣象預報實務培訓需求的使用者，提供高品質的線上學習教材，透過教育訓練方式與教材的精進，不但能提升專業預報員的養成過程，同時亦可與相關作業單位及學界共享學習資源，帶動及展現臺灣氣象科研成果。

3.2 技術創新

為提昇本局小區域災害性天氣即時預報技術，強化科技研發能力，以增進災害性天氣系統之監測及預報能力，規劃以「小區域氣象監測資料」、「發展小區域災害性天氣預報作業技術」及「發展小區域災害天氣應用系統」三大層面進行重點研發，在技術創新方面主要成果摘述如下：

(1) 強化小尺度地面氣象分析場空間解析度產品，發展輻射地面分析場，做為高溫及紫外線預報參考應用。107 年度完成晴空條件全天輻射模型建立、測站與數值模式輻照資料之分析比對和測站晴空離群值篩選作業，並建立地面輻射量分析場推估流程(圖 4)以及與衛星反演值之分析比對作業(圖 5)。

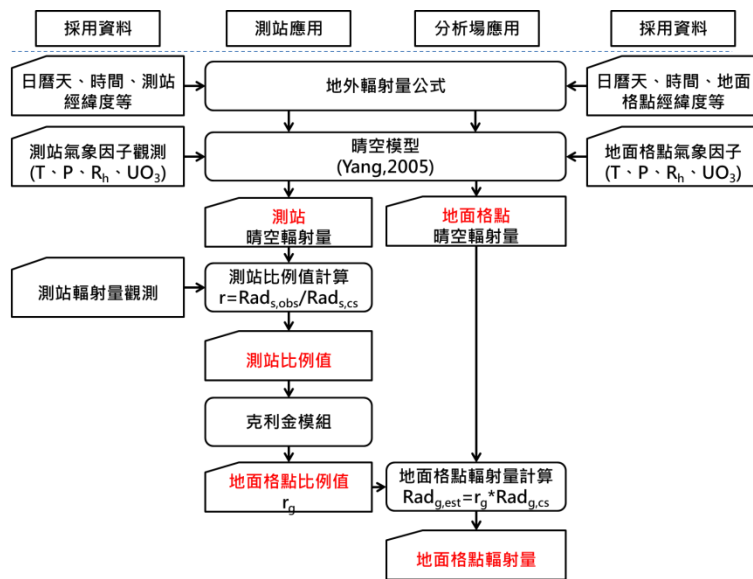


圖 4.地面格點輻射量推估流程圖。

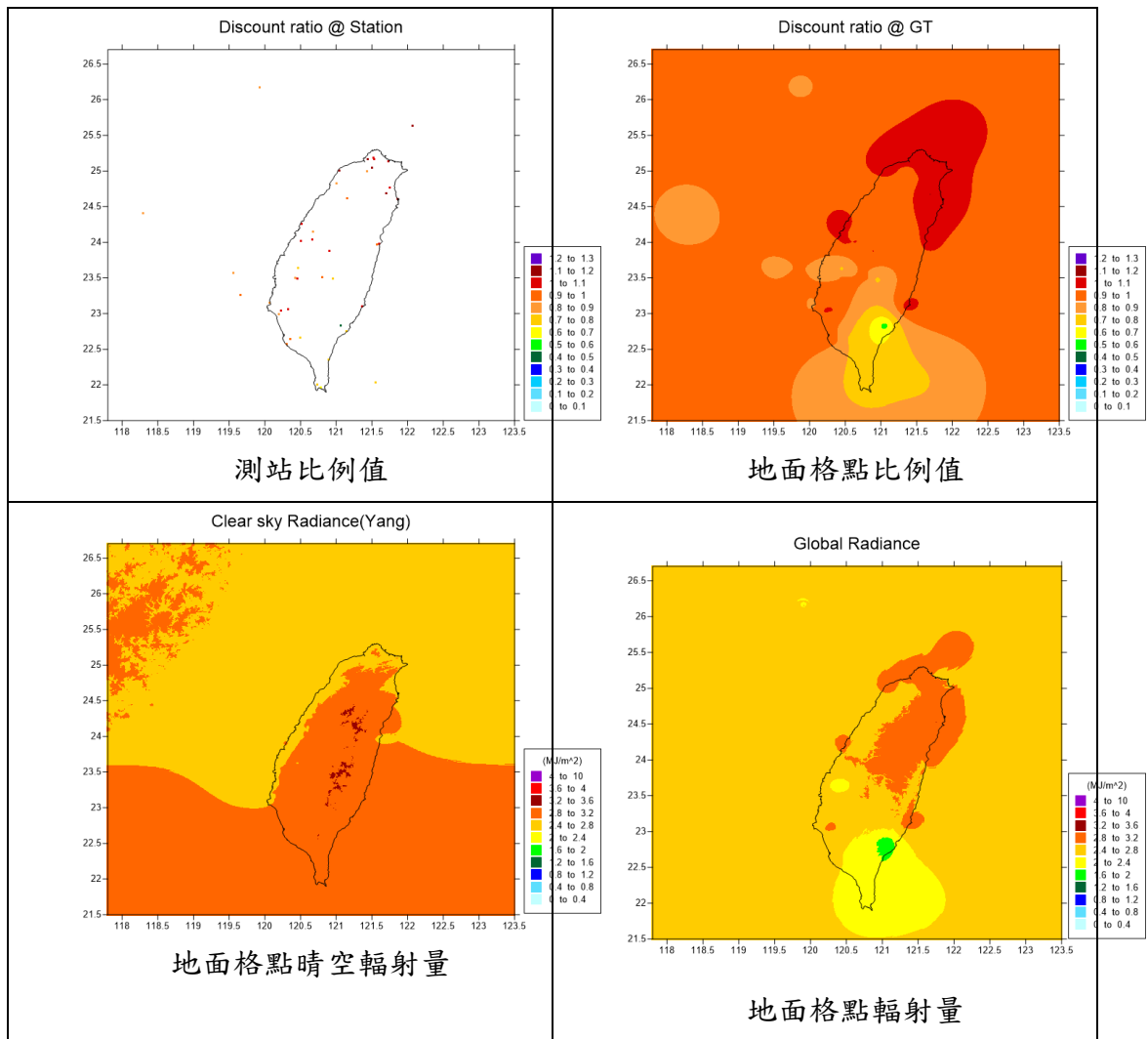


圖 5. 地面格點輻射量推估流程面化圖。

- (2) 配合本局預報作業系統規劃提升空間解析度，建置解析度 1 公里之小尺度地面氣象場完整自動化流程。本系統在現行作業環境和南區皆建立 1 公里解析度之完整模組，包括資料檢覈、分析場產製、下游產品產製、轉檔各階段工作，並在叢集系統上設定自動化流程，啟動即時作業，藉由作業產出的檢視適時修正模組。高時空解析度的地面氣象分析可以作為相關預報技術發展或校驗的基礎，亦能作為日後劇烈天氣個案查詢和天氣分析診斷之用。
- (3) 完成閃電躍升測報模組於本局 Docker 機器環境的建置，模組整體架構如圖 6 所示，由 Linux 系統內建的 crontab 工作排程、Python 程式語言撰寫控制模組整體執行流程、及 Fortran 程式語言的閃電躍升計算核心程式的三層架構所組成。且於 107 年 8 月 22 日正式上線作業，以每分鐘更新頻率在氣象局 WINS 系統即時顯示過去 10 分鐘內每分鐘具閃電躍升的累積次數結果，供即時預報作業參考。此外，亦強化即時運算過程中的 log 檔紀錄，能快速協助維護人員立即或事後排除異常問題。

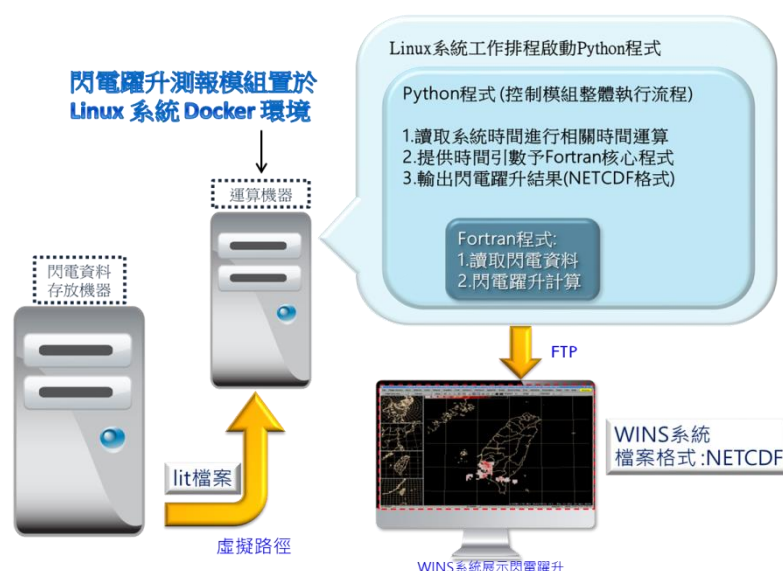


圖 6：閃電躍升測報模組建置架構圖。

- (4) 調整模式輸出統計法(MOS)啟動程序，進行動態模式輸出統計法(DMOS)風場預報上線流程測試，完成 DMOS 風場預報資料之上下游串接作業、風場二維繪圖作業顯示介面及風場面化程序，並持續建置風場校驗圖繪圖流程架構。以 DMOS 運行 5 月中到 7 月中的風場預報成效測試，風速整體以平均絕對誤差指標而言，確實能藉由 DMOS 方法降低預報誤差。
- (5) 完成 MOS/DMOS 統計預報系統之程式模組進行 Docker 容器化，並配合新版格點預報作業需求，輸出產品之網格解析度提升至 1 公里解析度(圖 7)，提供高時空之解析度產品。

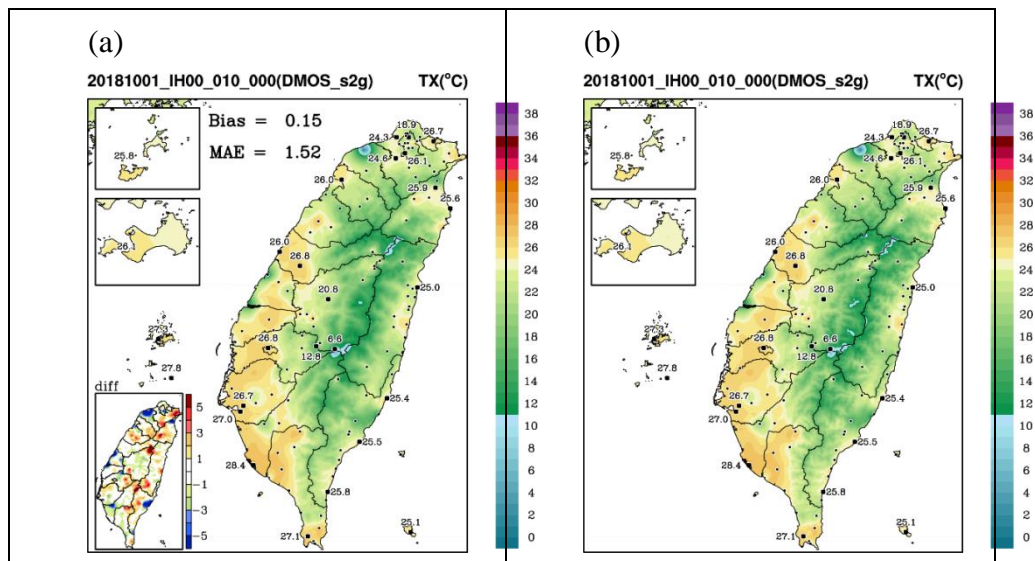


圖 7. DMOS 預報二維圖(a)2.5 公里解析度及(b)1 公里解析度之比較，明顯可於臺灣山脈地形有更佳之解析效果。

- (6) 配合預報作業需求，107 年度將溫度機率預報由測站點預報提升為格點預報，並應用 CPU 與 GPU 平行運算技術於溫度機率格點預報，大幅縮減計算時間，約可在 6 分鐘完成一次作業運算。
- (7) 發展 BMA 颱風路徑預報指引，配合數值模式定期改版及不同季節颱風特性，調整在 BMA 建模過程，將挑選資料機制優化，在優先挑選近期模式時，也能採用相似季節之氣候特性。同時在使用需求上設計了三組不同指引：(a)BMAexp，整合 4 組預報指引，包含 EC、NCEP、JMA 及 WRF，並有較短作業延遲時間特性。(b)BMAEC，整合 3 組 EC 系列指引及(c)BMATEN，整合 10 組預報作業常用指引，包含 EC、NCEP 及 WRF 系列。BMA 颱風路徑預報指引是參考預報作業流程及預報員思維而設計，建立客觀預報指引，使預報員能有更為便利的指引工具使用，進而提升預報準確度。

| BMA_TEN整合成員 | 說明 | 每日報數 | 水平解析度 | 其他備註 |
|-------------|-----------------------|------|-------|--------|
| EC_D | ECMWF決定性預報 | 2 | 9km | |
| EC_M | ECMWF系集模式_平均 | 2 | 13km | 51成員 |
| ECES | OBEST法-ECMWF系集模式 | 4 | 13km | 51成員 |
| NC_C | NCEP系集模式_Control Run | 4 | 34km | |
| NC_M | NCEP系集模式_平均 | 4 | 34km | 21成員 |
| ENES | OBEST法-ECMWF+NCEP系集模式 | 4 | | 72成員 |
| WRF403slp | CWB區域模式，地面氣壓場定位 | 4 | 3km | |
| WRF415slp | | 4 | 15km | |
| TWRF203slp | | 4 | 3km | 針對颱風處理 |
| TWRF215slp | | 4 | 15km | 針對颱風處理 |

表 1. BMATEN 整合之 10 個常用颱風路徑預報指引資訊。

- (8) 發展鄉鎮尺度能見度預報技術，初步建模發現，預報因子僅使用能見度作為單一預報因子來進行，結果顯示機器學習可以產生合理的未來 1 至 6 小時預報。這代表機器學習是有能力學習大氣資料的特性，當我們提供有價值的資料，機器學習

- 則有機會連結更多的特性，從中找到影響能見度預報的關鍵因子。未來將嘗試加入數值模式的預報輸出，如水象粒子作為預報因子，來改善能見度的預報模型。
- (9) 進行數值模式地面風場預報校正與分析作業，持續進行 EC(歐洲數值預報中心)風場資料集整。進行地面真場場風場校正 WRF 模式風場，新增測試 13~48 小時預報，以純風速(WS)進行校驗，校正效果良好，能順利降低均方根誤差近 20%。
- (10) 建置客觀融合雷達觀測外延與數值動力模式定量降水預報作業(圖 8)，進行以 6 小時平均 MEA 建置之客觀融合預報，研究結果顯示融合效果佳。完成新增 0 小時預報後續圖形產出部分功能及修正第 1 小時預報圖形產出問題，可做為預報作業決策參考。

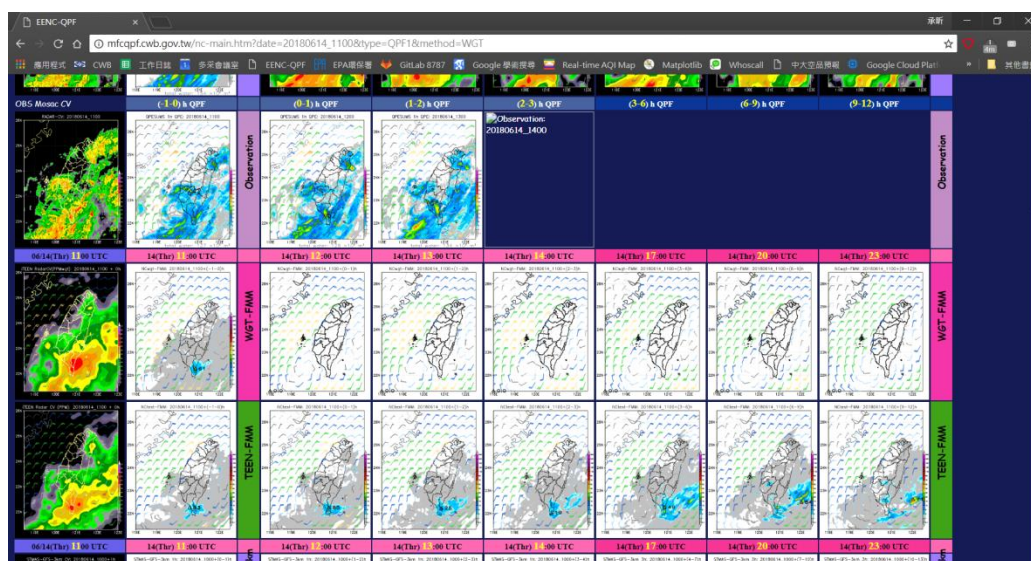


圖 8. 預報結果圖形化產品展示於預報校驗網頁成果

- (11) 精進鄉鎮潮汐預報作業系統，進行每年度之潮汐預報作業程序，使用年中作業前兩年的潮位觀測資料進行調和分析，然後以此調和常數預報下一年度之潮位。利用預報資料與後來觀測的潮位資料進行比對，探討潮汐預報誤差的情況。107 年度已達成降低鄉鎮潮汐預報誤差 20%之目標，提升濱海遊憩、交通航運、漁港所需潮汐預報準確度。
- (12) 擴增災害性天氣資料庫，優化歷史天氣線上查詢系統，提供使用者更方便且實用的查詢介面(圖 9.1~9.2)。完成天氣現象變化之呈現及實況天氣之氣象要素排序值功能;擴充特殊天氣查詢項目，增加白天/晚上的天氣判讀轉變邏輯，貼近當日真實的天氣變化。並於實況天氣下顯示日最高溫、日最低溫的觀測排序，俾利於預報員進行天氣個案分析判。

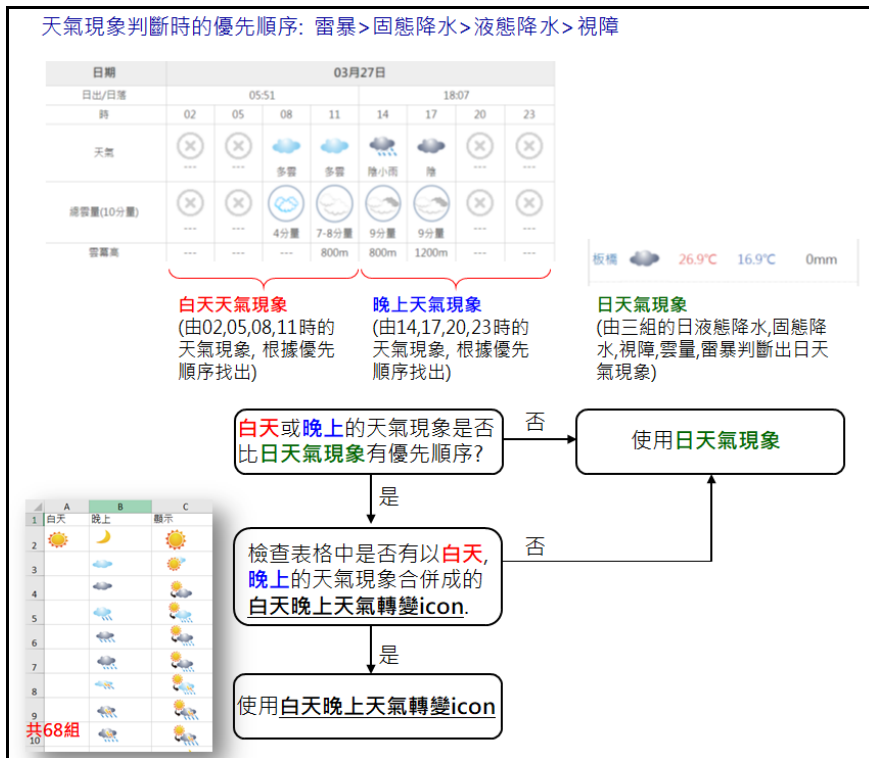


圖 9.1 歷史天氣線上查詢系統天氣現象判讀優化程序。



圖 9.2 歷史天氣線上查詢系統氣溫觀排序。

(13) 開發客製化氣象情資整合平台(MetWatch)系統(圖 10)，提供客戶所需預報資訊之客製化網頁如「海巡署客化製氣象情資整合網」、「桃園農博客化製氣象情資整合網」及「漁廣客化製氣象情資整合網」供相關單位參考使用。

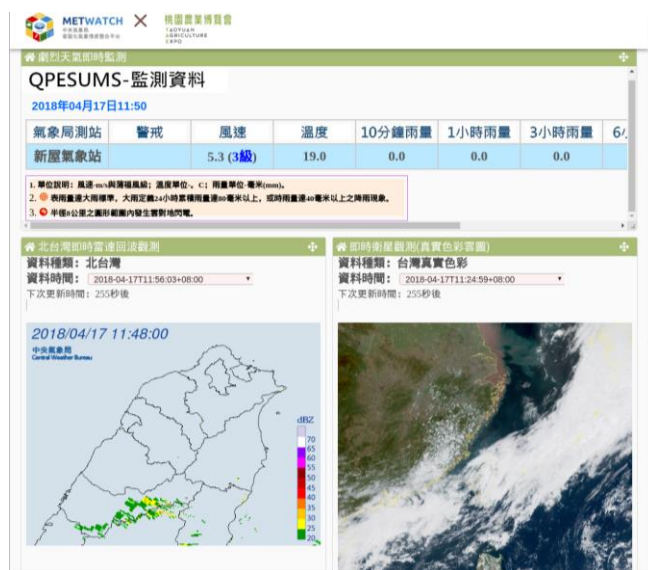


圖 10. 氣象情資整合平台。

(14) 建置颱風預報系統的多語系機制，以方便未來需要擴充之功能，將來本系統可提供不同語系之操作介面，未來與其他國家之介接與合作。現階段完成多語系模組的設計與建置，語文轉換部分則將先專注於建置較多人使用的英文語系的操作介面，中英文介面切換可由右上角的「中文」、「English」切換(圖 11)。

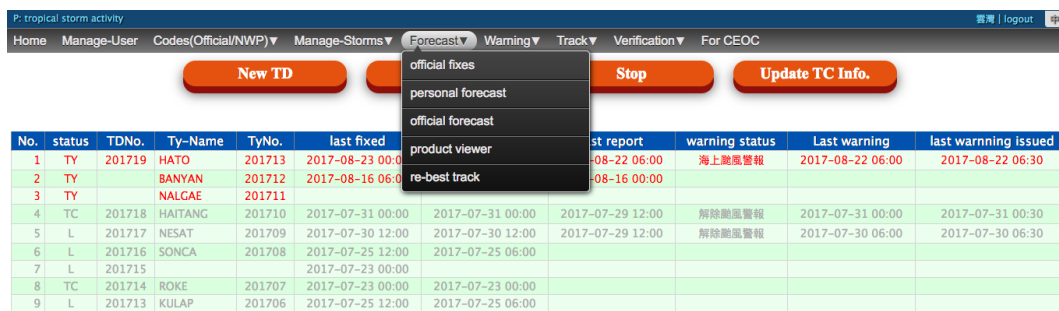


圖 11. 颱風預報系統 - 英文介面。

(15) 完成設計圖像化的多象限暴風圈編輯系統(圖 12)。提供預報員可手動編輯多象限暴風圈半徑、以及風速等。另為加快預報人員編輯多象限暴風圈資訊之速度，建置多象限暴風圈初始預報資料計算模組，提供預報人員快速方便之多象限暴風圈參考資料。

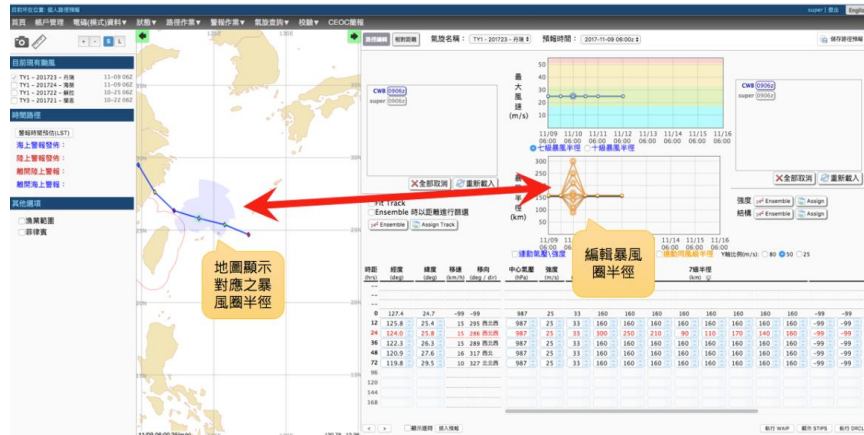


圖 12. 拖曳圖右之小圓點可以編輯七級風與十級風暴風圈半徑，並顯示在圖左之地圖上，暴風圈半徑顯示如淺灰色區塊。七級風與十級風暴風圈半徑編輯區塊各有 8 個點可以拖曳

3.3 經濟效益

本計畫發展的預報技術雖然無法直接增加經濟的產值，但可間接減少巨大的經濟損失，降低天氣災害帶來的影響，尤其是與短期劇烈降雨天氣相關的產業，最直接相關的例如農業、漁業及養殖業，其他大多數產業亦會間接因劇烈降雨天氣預報技術改進而減少經濟損失，並能保障國家、社會及人民的生命財產安全。

3.4 社會影響

本計畫主要為提供預報指引，並針對防救災需求，開發預報產品，提供民眾及政府單位預警資訊並因應災變天氣做好防救災之準備工作，對社會發展及環境安全永續發展皆具正面貢獻，重要成果摘述如下：

- (1) 由於全球暖化及都市化的環境變遷背景下，近年溫度屢創新高，經常造成國民健康、勞動條件、學生活動、農漁業災害與能源調度困難等重大影響。氣象局為了因應高溫事件造成社會的影響，應用本計畫科研技術，規劃發布「高溫資訊」分黃燈、橙燈、紅燈 3 等級。「高溫資訊」服務於 107 年 6 月 15 日起正式上線作業，並於 6 月 21 日首次發布第一報「高溫資訊」，提醒政府與民眾及早因應高溫事件造成社會的影響。
- (2) 為減少氣象資訊解讀落差，加強與地方政府建立橫向聯繫管道，協助縣市首長獲得最新資訊，做為防颱決策參考，本局於 107 年起於颱風直接侵襲之前一日，啟動與各縣市召開視訊連線會議新作法，期能即時地說明颱風動態、颱風影響時程及颱風風雨預估等重要資訊，降低地方政府因颱風資訊傳遞及解讀之落差。107 年 7 月 10 日瑪莉亞颱風侵襲期間，氣象局首次辦理縣市颱風視訊連線各縣市皆踴躍與會，並向預報中心提出問題以進一步了解颱風現況與預報。在瑪莉亞颱風侵襲過後，氣象局針對視訊連線向地方政府進行問卷調查，結果顯示各縣市對於會議中所提供之資訊研判、答覆內容等之滿意度達 9 成以上，9 成 5 肯定氣象局辦理颱風視訊會議。

四、結論與建議

重大氣象災變常造成臺灣巨大的經濟損失，加之未來可能的氣候暖化導致極端天氣事件出現頻率增加之衝擊，對社會、經濟及民生等影響甚鉅，因此強化氣象即時監測、提升氣象預報技術以因應日益嚴峻的氣象災變一直為本局致力的目標。為落實災害性天氣預報，本計畫規劃以氣象局現有的氣象監測及預報技術為基礎，研發災害性天氣預報系統，建置災害性天氣警特報作業機制，以因應未來民眾服務和防災應變需求。

參考文獻

1. 陳昱聰、馮智勇、張博雄、許乃寧、賈愛玫，2018：應用貝氏模型平均法發展颱風路徑機率預報指引。大氣科學，46，2，P172-197。
2. 賈愛玫、許乃寧、多采科技公司，2018：107 年度「統計降尺度天氣預報系統」期中/期末報告，交通部中央氣象局。
3. 陳新淦、多采科技公司，2018：107 年度「即時氣象監測資料應用」期中/期末報告，交通部中央氣象局。
4. 黃椿喜、多采科技公司，2018：107 年度「極時強對流預報監測及預報整合系統」期中/期末報告，交通部中央氣象局。
5. 黃于盈、多采科技公司，2018：107 年度「強化小尺度地面氣象分析場」期中/期末報告，交通部中央氣象局。