

農漁健康環境形塑計畫(II)-

極端天氣預警與精緻多元服務及應用(1/4)

Create a Better Environment for Agriculture and Fisheries (II)

- Applications on Extreme Weather Warning System and Delicate Multi-disciplinary Services

主管單位：交通部中央氣象局

洪景山

Hong, Jing-Shan

摘要

全國農業之天然災害年損失過去 25 年(85 至 109 年)平均為新臺幣 109 億元，近 15 年(95 至 109 年)平均為 112 億元，近 5 年(105 至 109 年)上升至平均 135 億元。損失金額雖有週期性波動，惟高峰值越來越高。有鑑於此，中央氣象局(以下簡稱氣象局)於執行「農漁業健康環境形塑-運用客製化天氣與氣候資訊」計畫(107 至 110 年)後，接續執行「農漁健康環境形塑計畫(II)-極端天氣預警與精緻多元服務及應用」計畫(111 年)。本計畫含 2 大主軸工作：

1、高解析度衛星與預報模式在農、漁業災害性極端氣候事件預警之應用

以農、林、漁業需求為導向，利用高解析度預報模式產製寒害、熱浪及乾旱等災害性極端氣候指標，並結合高解析度衛星資料研發海洋葉綠素預報，透過氣候資料供應系統提供客製化預報資訊。

2、精進農、漁業氣象應用效益與氣候服務推廣機制

依循全球氣候服務框架 (Global Framework for Climate Services, GFCS)，推動氣候服務在農業領域的跨域合作，從上層的技術研發到第一線的氣候服務推動，落實氣象資訊的傳遞，以符合世界氣象服務趨勢，凸顯氣候服務創造之社會經濟價值。

本計畫配合政府新農業施政理念執行，除著重於避免或減少因短期天氣與長期氣候變化導致之災害損失，亦聚焦於氣象及氣候資訊智慧化應用，以提升農漁業之收益，創造更高的經濟價值。

關鍵詞：極端天氣預警、高解析度衛星與預報模式、災害性極端氣候指標、海洋葉綠素預報、全球氣候服務框架 (GFCS)

Abstract

In the last 25 years (from year 1996 to 2020), the average annual loss by natural disaster in agriculture is NTD \$10.9 billion, while the average annual loss in the last 15 years (from 2006 to 2020) is around NTD \$11.2 billion, and the number increases to an average of NTD \$13.5 billion in recent 5 years (from 2016 to 2020). Although we can tell that amount of loss in each year can have fluctuations in a certain period, the peak loss value is getting higher. Therefore, after the first-phase period (2018-2021) of the implementation of the project - Create a Better Environment for Agriculture and Fisheries, Central Weather Bureau (CWB) switches the focus on using customized weather and climate information to the applications on extreme weather warning system and delicate multi-disciplinary services in the second-phase(2022~). This project is consisted of two main tasks:

1. *Using High-Resolution Satellite Image Technology and Forecast System in the Early Warning Applications in the Extreme Weather Event for Agriculture and Fishery*

For the demands from agriculture, forestry, and fishery, we using high- resolution satellite image technology and forecast system to produce the Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) for the chilling damage, heatwave and drought events. This study also utilizes the High-Resolution Satellite Image Technology to invent the Marine Chlorophyll Forecast, and provides the tailored forecast information with the climate information supply system.

2. *Improving the Mechanism of Increasing Benefits with Better Weather Information Applications on Agriculture and Fishery and the Climate Services Extension*

To follow the concept and recent development of the Global Framework for Climate Services (GFCS), we promote the multi-disciplinary cooperation and climate services in agriculture. From the origins of producing technologies to the bottoms for reaching out the users and promoting climate services, we implement the effective dissemination of weather information to create more societal economic values by better use in climate services.

This project is to follow the government's new agricultural policy concept. In addition to avoiding or reducing the losses from the disasters caused by short-term weather changes and long-term climate changes, we also focus on smart applications of weather/climate information. By implementing this project, we expect to help increase the income of the users in agriculture and fishery, and create higher societal economic values.

Keywords : Warning System for Extreme Weather, High Resolution Satellite imagery and Forecast System, Expert Team on Climate Change Detection and Indices, Marine Chlorophyll Forecast, Global Framework for Climate Services(GFCS)

一、前言

近年來全球極端與異常氣候事件逐漸增加，如何有效地應對並降低異常氣候事件所造成的損失，成為人類迫切需要面對的問題。我國因氣象災害所致之農業損失過去25年(85至109年)平均為109億元，近15年(95至109年)平均為112億元，近5年(105至109年)平均上升至135億元。損失金額雖有週期性波動，惟高峰值越來越高。

有鑑於此，氣象局於107年開始執行「農漁業健康環境形塑-運用客製化天氣與氣候資訊」計畫(107-110年)，透過「強化臺灣天氣與氣候資訊在農、漁業應用創新服務技術能力」及「建構連結農、漁業需求與經濟效益之國家層級氣象資訊應用創新服務架構」兩大構面，進行天氣與氣候資訊在農、漁業跨領域應用之技術開發、建立臺灣長期氣候資料應用平臺與農、漁業氣候經濟效益評估及決策系統等工作。

延續前期計畫之豐碩成果，氣象局接續於111年執行「農漁健康環境形塑計畫(II)-極端天氣預警與精緻多元服務及應用」計畫(以下簡稱本計畫)，透過提供農、漁業極端天氣事件預警資訊(熱浪、乾旱、寒害)及氣候資料服務，使其在面對極端天氣事件等氣候環境變遷帶來的挑戰時，能夠積極面對以降低災損。並期待藉由本計畫之推動，強化與行政院農業委員會的跨領域合作，除達成減災效益，進而創造更高的經濟價值。

二、執行方法

本計畫透由執行「高解析度衛星與預報模式在農、漁業災害性極端氣候事件預警之應用」及「精進農、漁業氣象應用效益與氣候服務推廣機制」兩大工作項目，以期達到下列4項目標：

- (一) 提供更準確且更精緻多樣的客製化氣象資訊，提升跨域應用價值。
- (二) 提前致災性極端天氣事件預警時間至月與季時間尺度，提升防災與減災的效能。
- (三) 透過更多元與更廣泛的農業領域氣象服務及資訊經濟價值評估，提供政府部門未來相關決策與資源配置之指引。
- (四) 建立國家層級農業領域氣候服務合作架構，以及氣候服務推廣。

三、執行成果

本計畫於111年之各項執行成果分述如下：

(一) 高解析度衛星與預報模式在農漁業災害性極端氣候預警之應用

1. 建立衛星觀測海洋環境與氣象資訊對養殖漁業致災及漁獲量分析預報模型

臺灣受極端氣候影響顯著，主要天然災害如颱風、寒害及強降雨等會造成溫度、水質及鹽度劇烈變化，造成對養殖漁業之嚴重影響。在105至110年，臺灣便發生多起需政府提供救助之天然災害，但政府對於災害發生後救助的金額，遠不及養殖業者已投入之養殖成本，因此若能在事先提出預警，讓養殖業者有充足的時間對魚塭進行防災與減災措施，將可有效降低養殖業者的損失。

本項工作首先著重於基礎資料之蒐集，針對105至110年臺灣地區天然災害受災面

積及救助金額進行資料蒐集(圖1);另為分析111年2月澎湖寒害事件造成海鱷凍傷死亡，養殖漁業發生嚴重損失之事件，蒐集之相關圖資，包含圖2(左)為當時的衛星遙測海表溫資料及氣象站觀測資料；圖2(右上)為105年1月與111年2月寒害對澎湖地區養殖漁業之災損資料，圖2(右下)為海溫影響東北角九孔養殖產業之分析資料，結果顯示水溫劇烈的變化會影響九孔之生長速度及活存率。

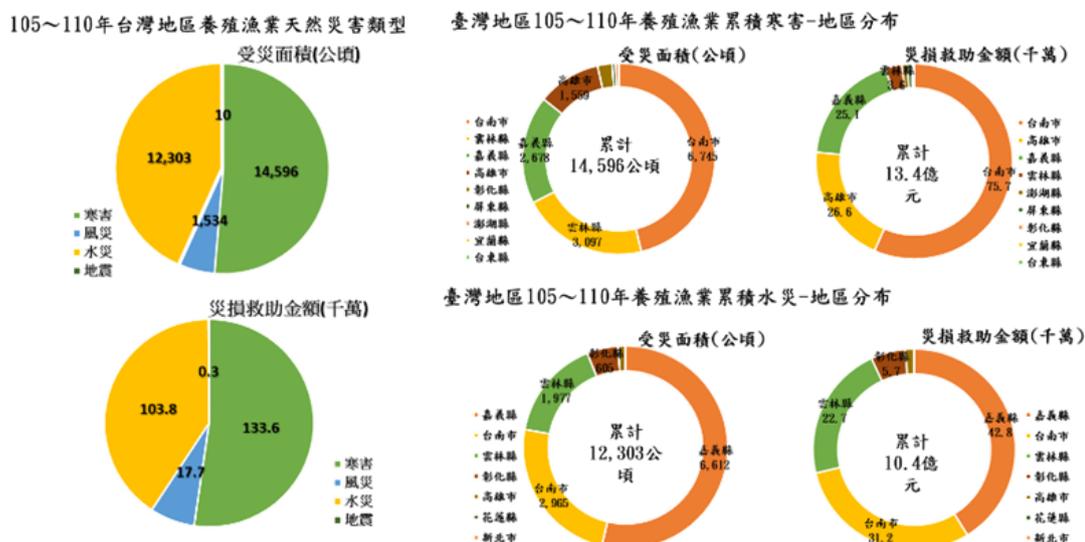


圖1：105至110年臺灣地區天然災害受災面積及救助金額資料。

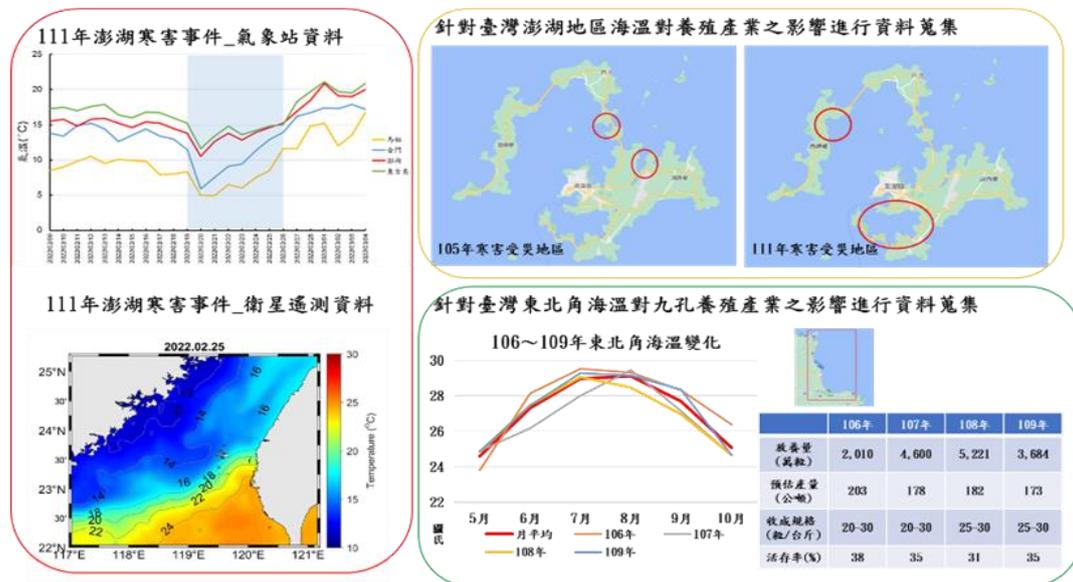


圖2：左上圖為111年2月澎湖寒害事件之氣象站觀測資料；左下圖為衛星海溫資料；右上圖為不同年份寒害對澎湖地區養殖業災損分布，右下圖則為海溫對東北角九孔養殖業活存率之影響。

2. 利用海氣耦合模式結合衛星反演發展海水葉綠素含量預報技術

本項工作係使用氣象局接收的日本向日葵八號衛星觀測資料，發展海洋上葉綠素濃度算法，提供快速即時、觀測範圍廣的海表葉綠素濃度數據，可彌補沿岸區域或海洋

船隻量測海表葉綠素濃度樣本之不足，提供即時監測及預測資訊，有利於應用在海洋生物研究、經濟魚類產量、海洋污染、氣候變遷等研究。

本計畫的前段工作為發展葉綠素濃度推估方法，藉由衛星可見光頻道反射率與繞極軌道衛星的葉綠素濃度產品之關聯性，建立兩者間的經驗式，進行驗證及評估準確度，考慮區域的差異性並依據海底深度，針對5種海域分別建立海洋水色演算法，以 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 為區域劃分，比較各區域不同演算法之差異(圖3)，另以 R^2 、RMSE、MAPE等方法進行評估，確立估算方程式之最佳係數。後段工作則運用氣象局海流模式之資料，搭配衛星近即時觀測推估的海表葉綠素濃度數據，鏈結氣象局海洋預報模式後，再透過人工智慧的機器學習法，分析海洋多重變數資訊如逐時表層場海流、海表面溫度、潮位、鹽度等，嘗試進行葉綠素濃度預報模型的初步開發。

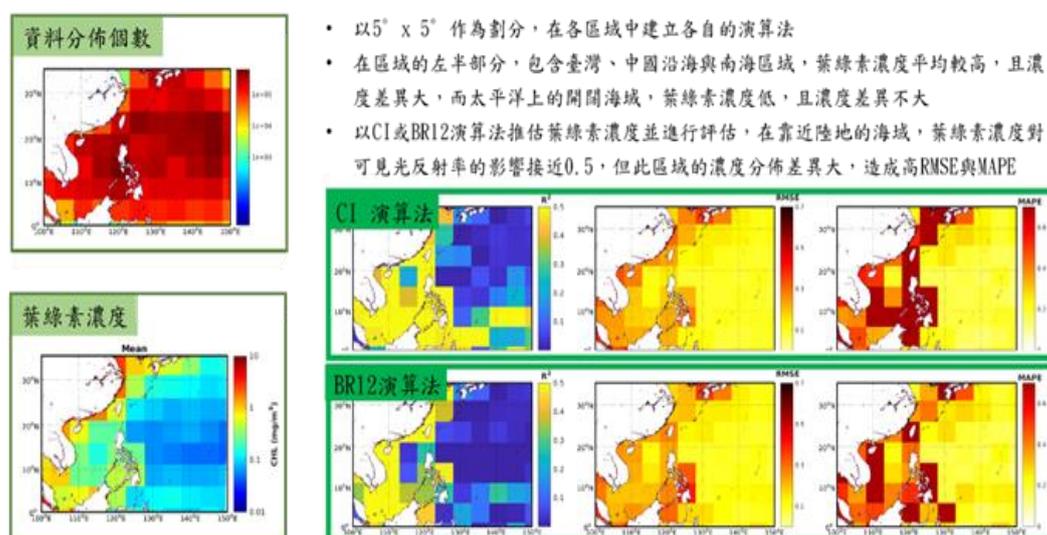


圖3：以 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 為區域劃分，比較各區域不同演算法之差異。

3. 提供即時監測與未來1至3個月之月尺度臺灣地區高溫預警預報資訊

結合氣象局各測站溫度資料(圖4，臺北站)與氣象局全球海氣耦合氣候模式(TCWB1T1.1)，發展臺灣地區極端高溫監測與預報預警系統，於1個月前提供未來1至3個月之月尺度極端高溫預報資訊(圖5)，供防災單位提早擬訂相關因應策略。

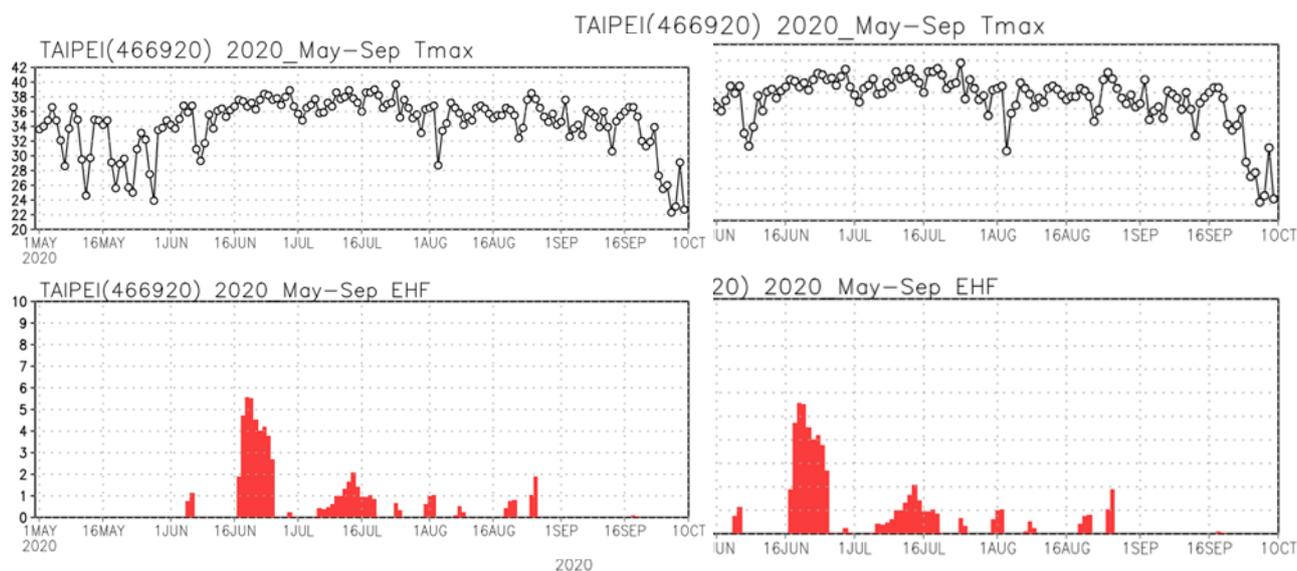


圖4：臺北站109年5至9月期間之監測每日最高溫度(上圖)以及極端高溫指標(EHF, 下圖)的逐日變化時間序列圖，可以發現EHF值在6/17至19日之間有明顯偏高，在7/8至12日之間也有EHF值偏高，但比前一次略低；由於此EHF可代表極端高溫的強度與持續時間的意義，結果顯示第二波的極端高溫雖然當日最高溫度仍超過38度，但強度遠比第一波的現象較弱，可以解釋成民眾已有適應高溫的能力，所以感受到高溫的衝擊也偏低。

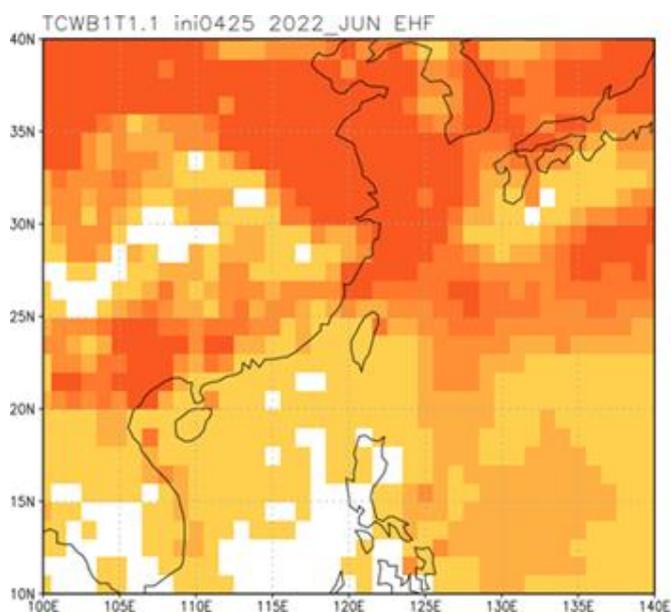


圖5：氣候模式TCWB1T1.1(初始時間為2022年4月25日)預報第1個月(6月)之東亞地區極端高溫指標(EHF)預報圖，可見臺灣北部EHF明顯偏高，此預報資訊代表北部地區需要提早準備相關防旱措施來面對可能因高溫受害的各種農作物損失。

4. 利用展期預報模式及貝氏系集處理器發展高解析度格點1至14日(極端)溫度機率預報技術

貝氏系集處理器(Bayesian Processor of Ensemble, BPE)(Krzysztofowicz and Evans, 2008)以氣候分布作為先驗函數，即模式與觀測之相依結構作為概似函數，透過完全貝氏融合產生機率預報。Chu et al. (2022) 透過敏感性實驗及校驗過程，證明BPE(在次季節至季節(subseasonal to seasonal, S2S)時間尺度預報極端溫度具有兩大優勢：(1)在後預報資料數量有限的情形下，BPE比其他現行常用的統計後處理方法有更佳的預報表現(2)在預報變數完全沒有提供訊號時，自動將預報機率分布趨近於氣候機率分布，客觀地提供預報的不確定性與信心程度(圖6)。

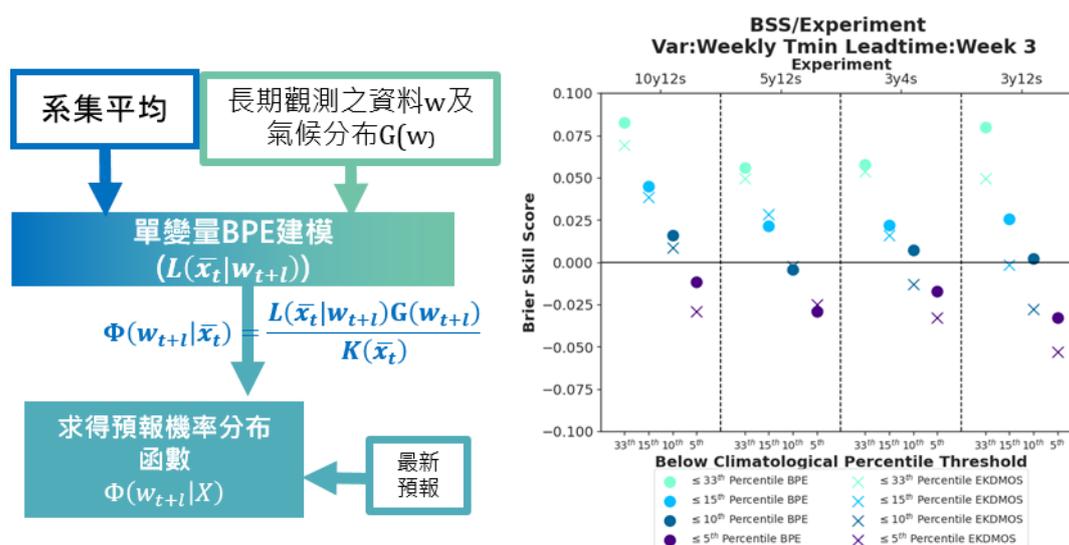


圖6：BPE預報流程簡述(左)，BPE相對於其他方法在小樣本、極端溫度之機率預報分數BSS(右，節錄至Chu et al. 2022)。

本項工作成果如下：

- (1) 完成SP-BPE未來1至14日臺灣地區1公里解析度網格點之夏季高溫、冬季低溫機率預報建模，相較於前期計畫提供週預報、部分點位，現在可提供時間、空間更精細，更多樣化之客製化氣候服務產品(圖7)。
- (2) 分析極端低溫百分位門檻(氣候門檻15、10、5百分位)機率預報技術，相較於未處理之原始模式皆無預報技術(BSS<0, Brier Skill Score)，透過SP-BPE校正後具有機率預報技術(圖8)。
- (3) 分析日最低溫機率預報連續準確度指標(CRPSS)，處理之原始模式幾乎無預報技術(CRPSS<0)，透過SP-BPE校正後在預報1至14日具有機率預報技術(CRPSS>0)，其中位數得分介於0.11(預報第14天)至0.6(預報第1天)(圖9左)。
- (4) 分析日最高溫機率預報連續準確度指標(CRPSS)，處理之原始模式幾乎無預報技術(CRPSS<0)，透過SP-BPE校正後在預報1至14日具有機率預報技術(CRPSS>0)，其中位數得分介於0.05(預報第14天)至0.33(預報第1天)(圖9右)。

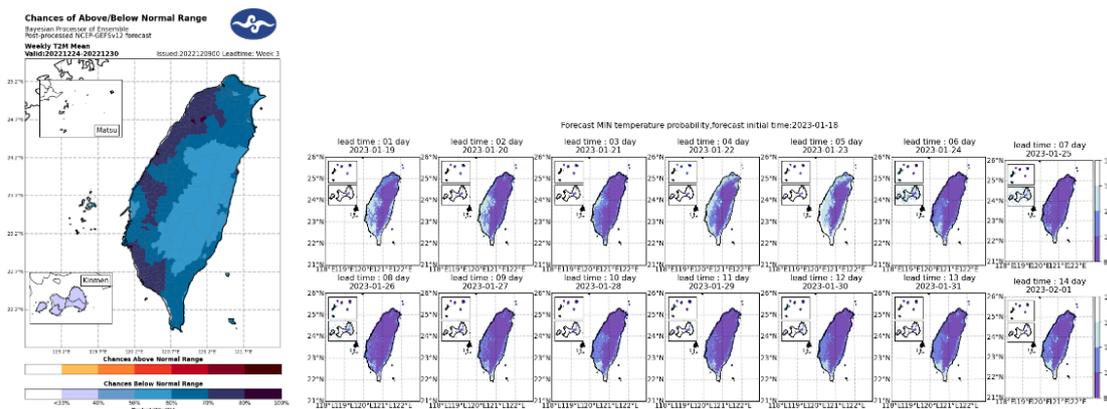


圖 7：利用貝氏系集處理器產出(1)2022 年年底寒流個案臺灣鄉鎮溫度三分類機率預報(左)及(2)2023 年農曆年寒流個案 1 至 14 天高解析網格點日最低溫度期望值預報(右)。

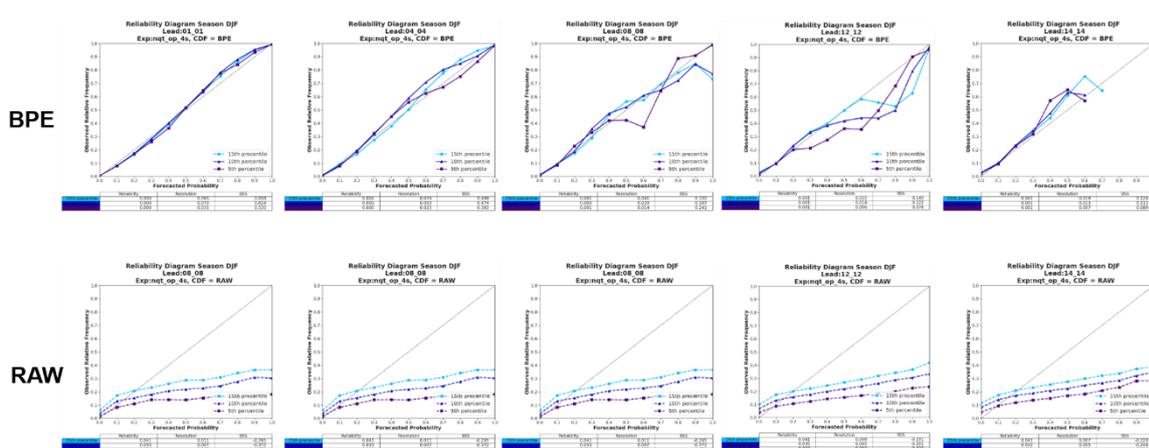


圖 8：BPE 校正後預報(上排)、原始預報(下排)預報 1、4、8、12、14 日極端低溫門檻值靠度圖，曲線越接近對角線越好。

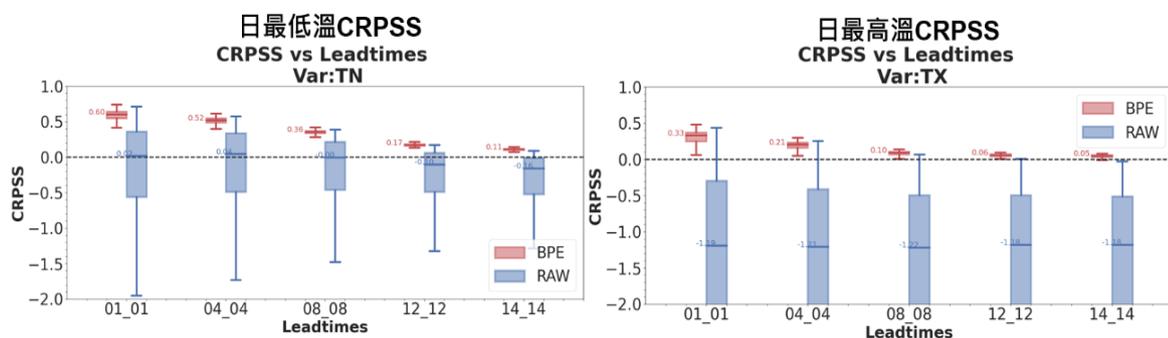


圖 9：預報 1、4、8、12、14 日最低溫(左)、最高 CRPSS(右)，紅色為 BPE 校正後預報，藍色為原始預報。

5. 建置農、林、漁業客製化臺灣長期氣候資料整集與應用系統

氣候網格資料可提供各領域使用者進行各種時間空間尺度分析，研判可能造成的衝擊並適時應變。農林漁業客製化的臺灣長期氣候資料庫包含一般網格觀測資料，以及各式積溫、水汽量、相對濕度、最高溫及最低溫等網格資料，保存臺灣在地歷史觀測資料，並提升臺灣參與全球共同解決氣候變異問題的能力及氣候資訊服務效能。本期計畫以動力分析方法精進歷史觀測資料網格化之技術，以解決統計方法無法突破風場網格化之困境，並產製水平高解析1公里網格之氣候背景資料，如溫度、氣壓、風、水汽、相對濕度之小時氣象資料，以及農、林、漁業所需之氣候衍生資料，以協助農、林、漁業評估最適產區、森林多樣性統計分析，進而建立預測模型。此外，亦強化氣候資料供應平臺，提供更有效的開放與查詢網頁，提升農、林及漁業跨領域資訊連結與應用。本項工作成果如下：

- (1) 優化高解析氣候網格資料產製作業流程，以歐洲中期天氣預報中心再分析資料(ERA5)運用本氣象局中尺度動力分析系統(MDAS)多重尺度三維連續變分策略，建置臺灣地區高解析度地面歷史風場網格資料(圖10)，將成果提供氣候資料服務系統網及農林漁作業防災參考使用。
- (2) 以克利金法建置臺灣地區1公里高解析度網格化作業流程，產製110年地面溫度、雨量、氣壓、相對溼度、積溫等分析資料，擴充農林漁業客製化高解析度長期氣候資料庫資料量(圖11)。

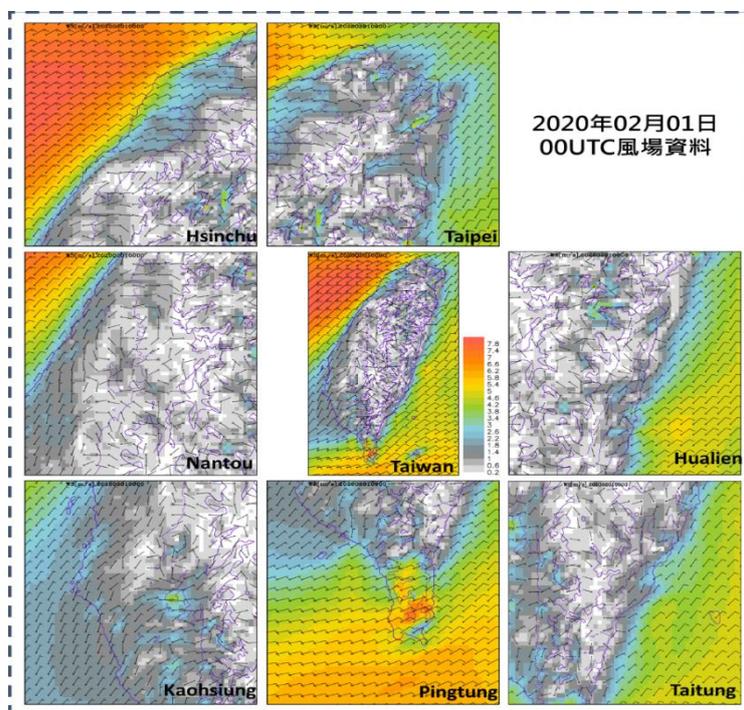


圖10：利用歐洲中期天氣預報中心再分析資料以中央氣象局中尺度動力分析系統(MDAS)產製歷史網格風場資料(2020年2月1日00Z)。

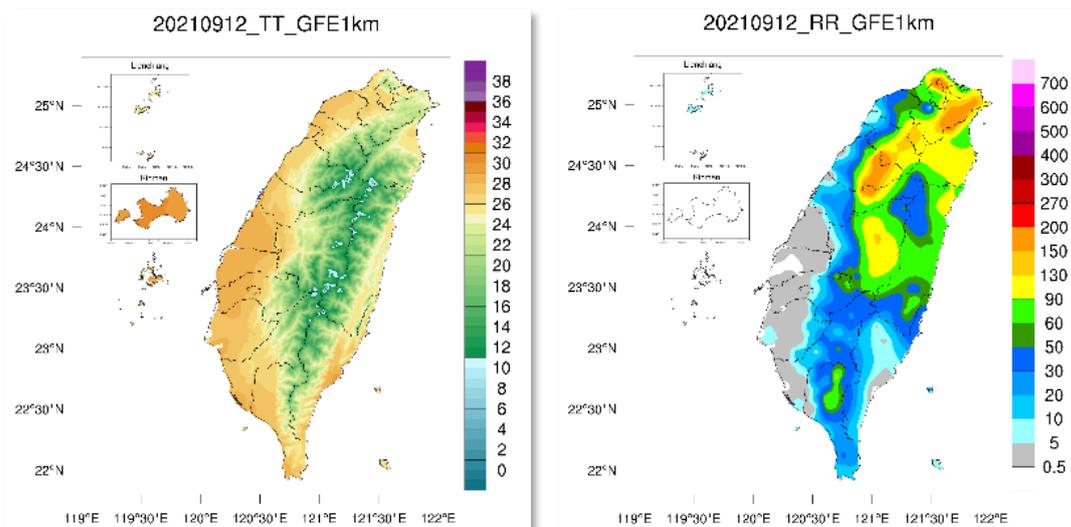


圖11：臺灣地區高解析度每日最高溫度(左)及累積雨量(右)網格資料分析圖。

(二) 建構我國農漁業氣候服務框架方案及跨域應用服務

為推動我國農業氣候服務，以邁向「制定國家氣候服務框架與行動計畫」的目標，本項工作分別以「全國農業氣象資訊應用服務經濟價值評估」、「參與式農業氣象應用示範平臺機制架構」、「農漁業氣候服務發展交流座談會」、「提出符合我國農漁業實情之建構方案及相關氣候服務應用推廣策略」及「舉辦農業領域氣候服務研討會」等面向，進行農漁業經濟效益分析與農業氣候服務行動方案之研擬，成果如下：

1. 全國農業氣象資訊應用服務經濟價值評估

111 年度完成全國主力農家抽樣電訪問卷共計 1,068 份，結果顯示，主力農家平均每月氣象資訊應用價值約為 372 元。經由模型推估，111 年度全國主力農家之氣象資訊應用服務效益的經濟價值約為 6.95 億元。

此外，本研究使用效益移轉方法完成調查，針對影響農民對氣候服務願付價值之顯著變數進行分析，並與過去 107 年的田野調查結果做交叉分析比較後發現：

- (1) 111 年受訪農民的平均主觀滿意度約增加 2.9 分。假設其他調查變數不變，以 111 年度農民對氣象資訊服務的願付價格推估，相較於 107 年額外增加約 1 億元的效益。
- (2) 111 年受訪農民的平均教育程度增加約 1.85 年。假設其他調查變數不變，以 111 年度農民對氣候服務的願付價格推估，相較於 107 年增加約 1.26 億元的願付總價值。
- (3) 111 年受訪農民的平均種植面積減少約 3.64 公頃。由於 111 年的願付價格函數裡，種植面積對於出價的估計係數為負值，即表示當種植面積越小，對氣象資訊的出價就越高。假設其他調查變數不變，本研究發現以 111 年度農民的種植面積相較於 107 年的數據更低，現今農民對氣象資訊服務的願付總價值可能上升約 1.08 億元的效益。
- (4) 111 年受訪農民的氣象資訊獲取來源相較於 107 年，手機 APP 使用比例提高到 47.3%，增加 14%。此使用者之變化趨勢資訊，將納入氣候服務推廣策略研擬之參考。

2. 參與式農業氣象應用示範平臺機制架構專家諮詢會議

於 111 年 6 月 27 日召開「參與式農業綜合氣候服務與氣象產業公私合作模式專家諮詢會議」，研議垂直整合氣象局、農委會、地方政府農業局、農會及相關產業等利害關係人，構思整合相關資源，運用精準、在地化的氣候資訊，直接促進終端農漁使用者進行農漁事務決策及提高受益。在會議中，藉由參考國外參與式農業氣象服務之成功案例，諮詢專家意見，彙整如表 1 所示。此外，透過本次會議的討論，初步繪製出臺灣示範區 PICSA 測試平臺示意圖（如圖 12）。

部門	專家建議
公部門	高雄市政府輔導氣象公司和美濃農會合作，解決農民水稻收割下雨及產量預測、進倉問題。
	期望透過 PICSA 改善美濃水稻病害、及提高白玉蘿蔔播種成功率。
	分享農業防災經驗、病蟲害預測研究，提供完善 PICSA 功能之建議。
	應先建立 PICSA 成功示範案例，吸引農民加入，以持續發展 PICSA。
	建議 PICSA 機制可納入蜂農產業。
私部門	臺灣氣象產業聯盟可以維持私部門同業的良性競爭，促進預報及決策服務發展。
	建議請氣象局降低氣象資料取得門檻和代價。
	希望氣象局能夠幫助氣象數據格式標準化。

表 1 專家諮詢會議專家建議。

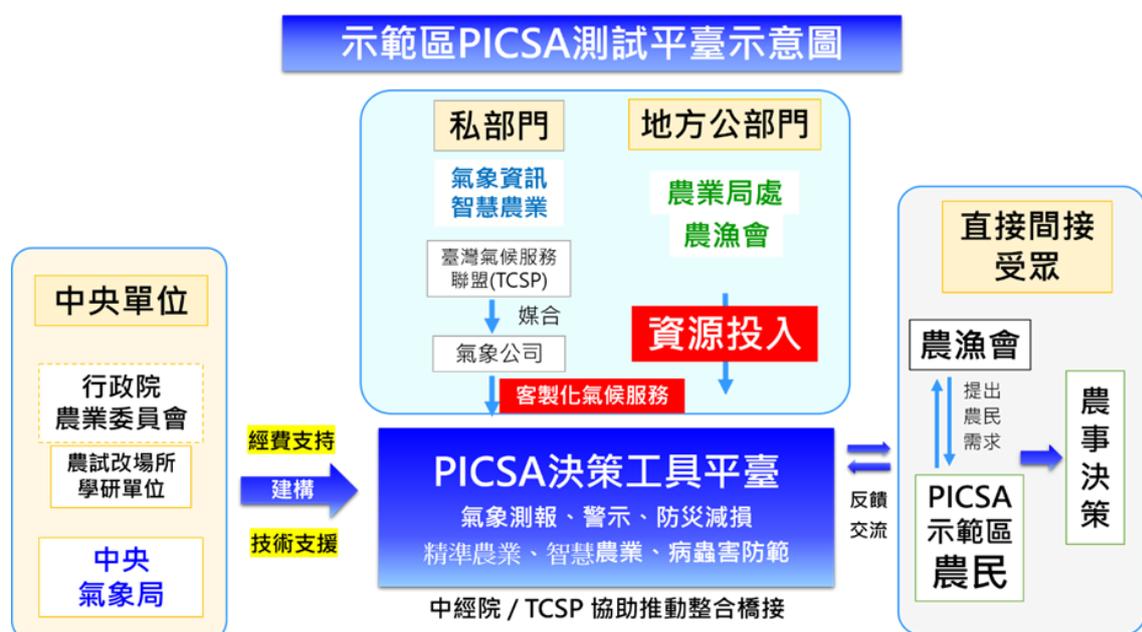


圖 12：臺灣 PICSA 平臺機制示意圖。

3. 農漁業氣候服務發展交流座談會

於 111 年舉辦 4 場氣象應用服務推廣講習座談會，包含於農業委員會(以下簡稱農委會)農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所、茶業改良場魚池分場、水產試驗所沿近海資源研究中心及七股海水繁養殖研究中心，共計 132 人參加。

本座談會著重於氣象局與農業試驗所與水產試驗所專業研究人員的交流，了解需求，以強化 NFCS 建構方案規劃之內容。亦介紹氣象局最新的農漁業氣象應用產品，及推廣國家層級農漁業氣候服務概念，促進未來農漁業領域氣候服務發展的可能方向與合作模式。

4. 提出符合我國農漁業實情之建構方案及相關氣候服務應用推廣策略

在過去 4 年執行農漁業現況調查的基礎上，111 年依循 WMO 提出的國家氣候服務框架 (NFCS)，以邁向「制定國家氣候服務框架和行動計畫」為目標，透過盤點過去的研究成果以及 111 年公私部門的專家建議，歸納出影響農業氣候服務發展的 3 大障礙，分別為：(1) 民間參與的障礙偏高，氣象資料的利用效率不足；(2) 氣候服務的社區化程度不夠，專業人力資源不足；(3) 跨部會/跨領域合作關係仍有罅隙。

為了排除這些障礙，本研究研擬建構農業氣候服務框架、活絡農業領域氣候服務發展之三大行動方案，分別為：(1) 擴大開放氣候服務的民間參與機會，以刺激民間參與的意願、提高資源分配的效率、並促進氣候服務的客製化創新；(2) 推動多點化、社區化、在地化的氣候服務，以促進氣候服務的普及化程度、並提升氣象資料的使用價值；(3) 增強公部門之間和公私部門之間的合作夥伴關係，以增進氣候服務的普及化程度。其具體作法包括：(1) 提升氣象局與農委會旗下各部會之間，資料使用效率的資料庫連結；增強氣象局與縣市政府的合作；(2) 推動氣候服務相關的人才訓練課程及認證，以此培養出更多推廣訓練的種子人員，增進氣候服務知識傳播量能，深化社區經營；(3) 氣象資料資產擴大開放訂閱的沙盒實驗。在各項行動方案中，氣象資料資產的擴大開放活化利用，是提升氣候服務之效率、增進客製化創新、甚至促進氣候服務普及的最重要方向。

5. 舉辦農業領域氣候服務研討會

於 111 年 10 月 26 日召開「農業領域氣候服務研討會」(圖 13)，研擬農業領域氣候服務框架之行動方案，包括「增進部會夥伴關係」、「促進在地化經營」及「開放與推廣」3 大方案，偕同相關部會共同研擬整合施政計畫，發展整體解決方案，以支援農漁領域之氣象防災、智慧應用、營運管理等作為，落實農業領域氣候服務。



圖 13：農業領域氣候服務研討會與會嘉賓合照。

四、結論與建議

111年度各項工作如期啓動並依規劃的時程完成，計畫執行尚屬順利，工作進度與成果符合預期及績效指標的設定。氣象局配合國家科學與技術委員會112年總體說明書中計畫管理項下之整合協作規劃，經審慎評估後，將另一「太陽能電網整合的創新天氣和電力預測」計畫(原訂110-113年)及本計畫(原訂111-114年)進行整併，接續提出新興計畫「建構無縫隙氣象服務價值鏈-橋接農、漁、光電領域」計畫(112-115年)，並擴大思考農、漁、光電領域之需求，以整合式的跨域合作構想，推動氣象加值應用服務。