

氣候變遷應用能力發展計畫(103-106)成果簡述

柳再明 程家平 沈里音 盧孟明 卓盈旻 鄭琇嫻
中央氣象局

摘 要

本文整理氣候變遷應用能力發展計畫(103-106)4年的成果供參。進行紙本資料數位化工作(自民國99年起)，已完成西元1897年測站設立以來之雨量、溫度、氣壓、風向、風速、相對濕度等小時觀測資料、日資料以及月資料，已達4,975餘萬筆資料，28萬幅天氣圖。完成紙本天氣圖集資料盤點工作，圖像共計1,084,091張影幅。微縮影片計5662片、119卷(16mm)、1818卷(35mm)總計1,188,666片幅。完成1998年之後溫度、雨量與氣壓等氣象變數網格化的工作。

不同未來推估情境都顯示2100年臺灣溫度會比目前增加，以RCP8.5情境的暖化最嚴重，全年增溫3.5°C左右，RCP2.6升溫最少，為1.0°C。臺灣未來雨量變化的差異相當大，顯示雨量變化問題較為複雜，無法僅根據溫室氣體濃度或暖化程度加以推測，在2100年濕季雨量都有增多的情形。大部分模式顯示遠未來(2081-2100)雨季開始時間將會提早，雨季持續時間將會延長，雨季雨量和最大降雨將增多，但由於模式表現都不相同，因此信心度偏低。

在氣象資訊的價值分析方面，我國農糧作物應用氣象資訊所產生的經濟價值區間為8.83億 ~ 14.32億元/每年。全國養殖漁業約為2.40~2.66億/每年。全國近海漁業約為5.16~5.76億/每年。我國水資源約為1.32億 ~ 4.98億元/每年(視豐枯狀況、不同水庫而定)。另依「災防成本之避免程度」來模擬評估總體層次的氣象資訊價值的評估，在氣象局資訊貢獻比例為文獻值(25%)之設定下，氣象資訊價值平均約為0.76億元~7.6億元/每年；在氣象局資訊貢獻比例為氣象局災防預算占比(11%)之設定下，氣象資訊價值平均約為0.3億元~3.4億元/每年。完成125份畜牧業者的親訪問卷，以假設市場價值評估法，得出受訪之畜牧業者每月願付價格平均值488.63元，進一步配合全國畜牧業者總戶數，推估我國畜牧業之氣象資訊應用總和經濟價值約為0.97億~1.10億/每年。利用均衡分析法透過台灣動態一般均衡模型電力子模型，以一個價格方程式及五個份額方程式估算氣象資訊運用之價值。在發電成本極小化，且以每度電成本2.1元估算，加入氣象變數冷房度日之下，潛在節省金額約40.4億元至42.2億元/年。生命統計價值為新台幣0.96億元。可以得出臺灣地區在極端溫度下生命損失之可能貨幣化價值：熱季時，在升高一個標準差溫度變化下，可能貨幣化價值為3.62~7.33億元，在升高二個標準差之溫度變化下，可能貨幣化價值為16.09~32.60億元。冷季時，在下降一個標準差溫度變化下，可能貨幣化價值為81.38~134.06億元，在下降二個標準差之溫度變化下，可能貨幣化價值為126.60~206.89億元。

於北、中、南3區分年舉辦「氣候變遷調適推廣暨影音錄製」。與邦交國索羅門群島，進行亞太地區氣候變遷調適與氣候應用國際氣象交流。進行氣候知識短片的製作。本局網頁氣候專區更新建置。進行氣候宣導品製作，包括宣導摺頁(共11主題)及氣候變遷Q&A知識冊(共22題)。對國小高年級學生舉辦氣候變遷調適宣導活動。

關鍵字：氣候變遷

一、前言

中央氣象局職掌我國氣象業務，其範圍涵蓋了氣象、海象、地震以及和氣象有關的天文業務，並長期致力於「提昇氣象預報能力」、「加強人力培育及國際交流合作」、「強化為民服務，提升氣象服務品質」等工作。由於氣象局過去在氣候，方面所投入相關工作重點主要是在短期氣候(月、季、半年)預報技術與作業系統之建置及資訊之提供。而為配合國家氣候變遷調適政策及行動計畫，各應用領域對氣候測報資訊於相關領域決策的殷切需求，氣象局經檢討認為過去在氣候變遷的分析、推估與實際調適決策應用能力方面仍缺少適當的資源以投入發展，因此尚無法達到充分支援政府建立氣候變遷風險管理與調適運作的目標。本計畫於4年(103-106年)間，透過「發展臺灣氣候變遷分析與推估之技術能力」及「開拓氣候資訊應用服務」2個方面，拓展氣候科研及應用能力，綜整本土氣候變遷分析及區域氣候變遷推估資訊，以達到強化氣象

災防，支援國家氣象風險管理與氣候變遷調適應用之計畫目標，可避免或減少因氣候導致之天然災害所造成的損失，進而創造氣候資訊應用的經濟效益。

本4年計畫有「發展臺灣氣候變遷分析與推估技術能力」及「開拓氣候資訊應用服務價值」2個面向，並分「臺灣長期氣候資料整集、處理及分析」、「發展臺灣氣候變遷分析與推估技術」、「建立氣候資訊應用服務基礎」、「推廣氣候知識與資訊應用服務」4大項目執行，工作內容包括：

- (一)、臺灣長期氣候資料整集、處理及分析
 - 1、臺灣歷史氣候資料數位化。
 - 2、臺灣長期氣候資料均一化與網格化。
 - 3、強化臺灣長期氣候資料查詢功能。
 - 4、建立臺灣本地氣候長期監測系統。
- (二)、發展臺灣氣候變遷分析與推估技術
 - 1、發展臺灣與全球氣候變遷關聯性之分析方法。
 - 2、運用IPCC 與科技部氣候變遷大型計畫成果建立在地化氣候變遷推估資訊。
 - 3、發展各應用領域之氣候風險評估方法。
- (三)、建立氣候資訊服務基礎
 - 1、收集與分析先進國家氣象機構之氣候資訊應用服務相關作為。
 - 2、建立臺灣之氣候資訊連應用服務架構及機制。
 - 3、建立氣候資訊應用服務系統。
- (四)、推廣氣候知識與資訊應用服務
 - 1、支持政府各機關氣候變遷調適行動。
 - 2、推動跨領域合作，提供應用導向的氣候資訊服務。
 - 3、推廣氣候通識、變遷認知及應用知識。

本計畫可提供政府各機關氣候變遷調適所需的應用資訊，以降低氣候變遷之衝擊程度，期能有助於國內民間產業與政府單位建立氣候風險評估及管理的機制。

二、成果說明

(一)、臺灣長期氣候資料整集、處理及分析

進行紙本資料數位化工作(自民國99年起)，已完成西元1897年測站設立以來之雨量、溫度、氣壓、風向、風速、相對濕度等小時觀測資料、日資料以及月資料，已達4,975餘萬筆資料，28萬幅天氣圖。完成紙本天氣圖集資料盤點工作，圖像共計1,084,091張影幅。微縮影片計5662片、119卷(16mm)、1818卷(35mm)總計1,188,666片幅。完成1998年之後溫度、雨量與氣壓等氣象變數網格化的工作。

詳細來說計畫執行在臺灣長期氣候資料方面，針對歷史長期氣候資料進行數位化、均一化及網格化處理，提昇臺灣氣候資料之品質技術成果有以下幾點：1.發展氣溫、雨量、氣壓資料偵錯、補遺及網格化技術，建立結構化模組及資料處理作業流程。2.擴增網格化觀測要素，包含氣溫、雨量、氣壓等。3.完成分析雨量及溫度、氣壓目標測站，並針對所選目標站完成站況整理及資料量齊整率分析。4.處理雨量特殊碼問題及對應資料處理程序，並改進累積雨量計算模組。5.完成包含時、候、旬、月尺度的氣候值計算模組，利用氣候離群值分析工具檢覈觀測資料。6.強化網格化方法分析程式模組。7.以克利金法估計氣溫可信度在日夜及季節的差異分析，未來可運用在補足觀測欠缺資料部分。8.完成克利金法網格化測站溫度、雨量、氣壓資料作業化流程。9.針對零星降雨和大面積降雨判定合適的網格化分析做法。10.改進氣溫、雨量資料品質檢測技術，完成迴歸離群值檢測法，引入刪除式殘差的應用來量化觀測值的離群異常程度。11.發展動力數值模式(NWP)溫度預測值動態修正系統性偏差方法(Decaying average)，可提供氣溫觀測資料偵錯所需參考值。12.完成發展動力數值模式(NWP)雨量預測值動態修正系統性偏差方法(Frequency Matching Method)，未來可提供雨量觀測資料偵錯所需參考值。13.開發輔助分析網頁平台，完成資料到齊量分析、氣候值圖示、特定日期資料時間序列及氣溫資料品質檢測等展示功能。

(二)、發展臺灣氣候變遷分析與推估技術

不同未來推估情境都顯示2100年臺灣溫度會比目前增加，以RCP8.5情境的暖化最嚴重，全年增溫3.5°C左右，RCP2.6升溫最少，為1.0°C。臺灣未來雨量變化的差異相當大，顯示雨量變化問題較為複雜，無法僅根據溫室氣體濃度或暖化程度加以推測，在2100年濕季雨量都有增多的情形。大部分模式顯示遠未來(2081-2100)雨季開始時間將會提早，雨季持續時間將會延長，雨季雨量和最大降雨將增多，但由於模式表現都不相同，因此信心度偏低。

詳細來說本計畫1.發展臺灣與全球氣候變遷關聯性之分析方法，完成臺灣梅雨季極端降兩大尺度環流指數的建立，完成臺灣梅雨季極端降雨統計推估方法的發展。2.運用IPCC氣候模式提出臺灣氣候分析與推估看法，完成適用於推估臺灣未來氣候變遷模式的篩選，完成四種不同溫室氣體排放減量情境下，臺灣未來溫度和雨量的變化趨勢推估，完成寬鬆溫室氣體排放減量情境(RCP8.5)下，臺灣梅雨季極端降雨的變化趨勢推估。3.加強與科技部氣候變遷大型計畫連結，運用TCCIP計畫使用的MRI模式完成臺灣梅雨季極端降雨的變化趨勢推估，運用CCliCS計畫使用的HiRAM模式完成臺灣梅雨季極端降雨的變化趨勢推估。4. 東亞及西北太平洋季風與海溫對臺灣的關係分析。

(三)、建立氣候資訊服務基礎

1. 與邦交國索羅門群島，進行亞太地區氣候變遷調適與氣候應用國際氣象交流

(1) 為執行計畫「索羅門群島氣象與地震早期預警研究」多次赴索國進行測站位址履勘、通訊測試與資料收集。除訪察索國氣象觀測儀器設施、天氣預報作業及氣候服務等現況與相關需求之外，亦與該國國家病媒傳播疾病控制計畫商討如何運用氣象資料進行登革熱早期預警之研究。在索國氣象局SIMS、金嶺金礦山區GoldRidge及農技團ICDF完成安裝氣象及地震觀測設備與建置IT資訊系統。

(2) 於106年8月赴索國以觀察員的身分參與第4屆太平洋氣象理事會議(PMC4)及第2屆太平洋部長級氣象會議(PMMM2)。協助索國於會議中報告我國協助索國進行的「氣象與地震早期預警系統」設置的初步成果外；也期望透過此會議瞭解太平洋各國氣象單位對天氣及氣候的監測、預報與服務能力；以及南太平洋氣象與氣候變遷相關區域合作計劃；並尋求氣候變遷調適跨領域應用研發的國際合作機會。

(3) 計畫提供索國預報產品網址http://61.60.103.5/sosafe/products_display/，含模式預報與衛星雲圖等。

2. 氣象資訊的價值分析方面

在氣象資訊的價值分析方面，我國農糧作物應用氣象資訊所產生的經濟價值區間為8.83億 ~ 14.32億元/每年。全國養殖漁業約為2.40~2.66億/每年。全國近海漁業約為5.16~5.76億/每年。我國水資源約為1.32億 ~ 4.98億元/每年(視豐枯狀況、不同水庫而定)。

另依「災防成本之避免程度」來模擬評估總體層次的氣象資訊價值的評估，在氣象局資訊貢獻比例為文獻值(25%)之設定下，氣象資訊價值平均約為0.76億元~7.6億元/每年；在氣象局資訊貢獻比例為氣象局災防預算占比(11%)之設定下，氣象資訊價值平均約為0.3億元~3.4億元/每年。完成125份畜牧業者的親訪問卷，以假設市場價值評估法，得出受訪之畜牧業者每月願付價格平均值488.63元，進一步配合全國畜牧業者總戶數，推估我國畜牧業之氣象資訊應用總和經濟價值約為0.97億~1.10億/每年。

利用均衡分析法透過台灣動態一般均衡模型電力子模型，以一個價格方程式及五個份額方程式估算氣象資訊運用之價值。在發電成本極小化，且以每度電成本2.1元估算，加入氣象變數冷房度日之下，潛在節省金額約40.4億元至42.2億元/年。生命統計價值為新台幣0.96億元。可以得出臺灣地區在極端溫度下生命損失之可能貨幣化價值：熱季時，在升高一個標準差溫度變化下，可能貨幣化價值為3.62~7.33億元，在升高二個標準差之溫度變化下，可能貨幣化價值為16.09~32.60億元。冷季時，在下降一個標準差溫度變化下，可能貨幣化價值為81.38~134.06億元，在下降二個標準差之溫度變化下，可能貨幣化價值為126.60~206.89億元。

3. 105年舉辦「氣候服務與健康國際研討會(CWB-APCC Workshop on Climate Service for Health)」(衛生福利部協辦)，並與共同主辦單位亞太經合會氣候中心(APEC Climate Center;APCC)於大會開幕式簽訂合作意向書(MOU)。會中邀請韓國、日本、印度新加坡、香港、所羅門群島、美國及本國等16個公衛領域單位，逾200人次專家學者與會，會中就氣候變遷調適、健康知識傳遞、弱勢社

群關懷，氣候服務與傳染性疾病管理與氣候服務與非傳染性疾病管理等議題深入討論。舉辦此研討會將能加強國際交流及國內跨單位橫向聯繫，共同推展氣候風險調適應用服務。

(四)、推廣氣候知識與資訊應用服務

1. 於北、中、南3區分年舉辦「氣候變遷調適推廣暨影音錄製」

104年於臺北舉行「氣象資訊與環境應用論壇」，活動內容為氣候變遷調適教育宣導及影音錄製，現場約108位民眾參與。演講主題從貼近民眾生活的議題切入，從氣象的過去現在與未來和氣象局所提供的各類氣象資訊介紹，延伸到氣候資訊於各領域（包括在公共衛生、交通、防災、農業、生態及能源等）的應用。本次論壇除讓民眾瞭解如何在生活中應用氣象資訊，並推廣氣候風險的認知與因應、氣候資訊的跨領域應用及災害預防相關知識。錄製之影音產品亦可提供日後教育宣導之用。105年於臺南舉行「氣候調適與環境論壇」，活動內容為氣候變遷調適教育宣導及影音錄製，現場約170位民眾參與。演講主題從貼近民眾生活的議題切入，從日常生活中可以感受到的氣候變遷談起，延伸到各領域（包括在農業、漁業、水資源、能源、生態、健康及建築等）的氣候調適策略及氣候資訊於各領域的應用，最後談到氣候變遷對於海洋的影響。本次論壇除讓民眾瞭解氣候變遷不是空談且正在發生，並告訴民眾氣候變遷不僅是科學家的問題，更與每個人生活息息相關，需要大家一起關心，而面對氣候變遷帶來的衝擊有什麼因應方式，及氣象資訊在生活中許多不同面向的應用可以幫助氣候變遷調適策略的訂定。論壇錄製之影音，將上傳至網路媒體，提供民眾隨時觀看，達到教育宣導作用。106年於臺中市舉行「氣候變遷調適與應用論壇」，推廣氣候變遷調適、氣候風險認知及氣候變遷常識。論壇為精華短講形式，共分為9個講題，現場約70餘位觀眾參與，從典籍裡的氣候變遷談起，再由地質學研究來談從古至今、由全球至臺灣的氣候變遷，繼而延伸至氣候變遷下的災害風險、生態衝擊、植物保種、空氣品質、氣候教育及應用氣象資訊防災等議題，演講活動同步錄影，並於會後製作為影音產品置於網路供民眾隨時觀看，亦可於日後之教育宣導活動使用。本次論壇除讓民眾瞭解氣候變遷正在發生，可能造成的衝擊及有什麼因應方式，同時也宣導應用氣象資訊的正確觀念。

2. 編撰氣候變遷問答知識冊，包含全球及臺灣兩部分，從氣候變遷的現象、原因及影響到臺灣的氣候變化，讓讀者瞭解氣候變遷不可忽視，必須採取因應的行動。完成氣候宣導摺頁製作，內容涵括基礎氣候常識及氣候變遷與調適的概念，共包含11項主題，分別為：地球氣候系統、氣候變遷與全球暖化、臺灣的氣候特徵、臺灣百年溫度和降雨變化、臺灣分區溫度變化、臺灣分區降雨變化、極端降雨與颱風數變化、氣候變遷衝擊與調適、氣候與生活、氣候諺語及氣候資訊與應用服務等。

3. 完成氣候知識短片的製作，主題為溫室效應，內容包括簡介溫室效應與溫室氣體、氣候變遷的證據有哪些及氣候變遷可能造成的影響等。除宣導氣候變遷科學常識，並提醒民眾氣候變遷已經是進行式，應該一起努力減緩氣候變遷，有助於提升民眾的氣候變遷意識及必須採取因應作為的認知。完成氣候知識短片的製作，主題為臺灣四季的天氣系統及當夏天來敲門，內容為簡介臺灣四季常見的天氣系統及夏天開始前東亞夏季季風環流的建立過程。可應用於氣候教育宣導，幫助民眾更瞭解臺灣氣候、建立正確氣候認知，並為推廣氣候資訊應用於各領域調適行動之基礎。

4. 完成本局網站氣候專區改版，新增統計資料圖形產品、增加50站自動氣象站的資料提供查詢、更多氣候相關常識資訊、加強資訊圖像化及增進友善瀏覽介面。

5. 進行氣候宣導品製作，包括宣導摺頁(共11主題)及氣候變遷Q&A知識冊(共22題)。11主題：基礎氣候常識(地球氣候系統、氣候與生活、氣候諺語)，氣候變遷常識(氣候變遷與全球暖化、氣候變遷衝擊與調適)，臺灣氣候(臺灣的氣候特徵、臺灣百年氣溫和降雨變化、全臺分區氣溫變化、全臺分區降雨變化、極端降雨與颱風數變化)，氣候資訊與應用服務簡介。22題：全球(歷史的氣候、氣候變遷的嚴重性、對氣候變遷的疑問、對氣候模式預報的疑問、我們如何因應、什麼是 IPCC AR5)，臺灣(臺灣的長期溫度、雨量趨勢和季節變化、氣候變遷會不會增加熱浪和乾旱的頻率、侵臺颱風會不會變多變強、臺灣對氣候變遷的因應)。

6. 編撰氣候知識及應用服務推廣輔助教材，包含氣候資訊應用服務推廣輔助教材及氣候相關常識輔助教材兩部分，內容從天氣觀測及預報產品簡介、氣候監測預報產品說明、氣候資訊應用服務介紹、臺灣的氣候簡介、臺灣氣候的變化及影響臺灣氣候變化的因素等輔助教材，共有13份單張或海報宣導品，此項教材可讓民眾瞭解臺灣的氣候概況及變化情形，氣象局有哪些資訊可以提供民眾使用，及舉例告訴民眾氣象資訊可以用在哪裡，並宣導氣候資訊的應用服務，亦可幫助學生學習氣候知識。
7. 編撰氣候科普問答集，此項教材內容為問答方式之氣候科普常識，以淺顯易懂的文字及圖片來解說氣候常識，除著重於本地氣候資訊的相關知識，亦讓讀者由了解臺灣氣候開始，漸次擴大視野，進而瞭解全球氣候系統及氣候的變遷。透過此教材可瞭解臺灣一年四季的溫度雨量特性、臺灣常見的氣候現象，並可以知道臺灣和世界的極端溫度雨量比較、長期的氣候變化情形、近代的氣候變遷現象，以及長期天氣預報及氣候分析常用語辭等等。所包含的常識解說及氣候統計資訊可提供學生學習、教師教學及一般民眾參考，有利於氣候常識及變遷認知之推廣。
8. 對國小高年級學生舉辦氣候變遷調適宣導活動，於臺灣中南部及花東地區36所國民小學舉辦「國小氣候變遷調適教育巡迴」，共有2,273名學童參加。

三、結語

「氣候變遷應用服務能力發展計畫」目的為，建立我國氣候變遷資訊推廣與應用服務能力，計畫分別從整備臺灣長期氣候資料、開發氣候變遷資訊應用能力及推廣氣候應用服務等方面著手，成果能廣泛提供在地化氣候變遷分析與推估資訊，提昇國內民眾對氣候變遷之瞭解與認知。另外也提供政府各機關氣候變遷調適所需的應用資訊，以降低氣候變遷之衝擊程度，將有助於國內民間產業及政府單位建立氣候風險評估的機制。藉由執行成效，本計畫辦理委辦案，尋求學者專家民間公司協助，提供跨域專業知識，發展資訊查詢等相關系統，舉辦論壇與座談會等，進行跨域氣候資訊應用服務架構的建置，及進行氣候知識的宣導與推廣等重要任務。本計畫的成果，可提升國內對氣候變遷推估與氣候應用服務之相關研究，及推動跨領域整合應用，並藉由主辦或參與科學研討活動與發表論文的方式，提高臺灣於氣候議題的科學認知及作業技術之水準，同時對學術領域及服務應用均有相當的助益。