

從永續觀點談氣象數位發展與資源配置

充分運用數位科技，有效支援氣象作業，提供方便、正確、易懂、即時的氣象服務資訊給各界應用，是國際氣象作業發展的趨勢，而穩定且足夠的資源挹注，則是氣象資訊服務持續精進，進而有效支援社會邁向永續的必要投資。本文從永續觀點，探討氣象作業數位發展與預算資源配置之現況及未來展望。

簡國基、連小瑩、劉志信（交通部中央氣象局主任秘書、交通部中央氣象局主計室主任、氣象科技中心技士）

壹、前言

依據世界經濟論壇 2023 年全球風險報告及 2005 年世界銀行（World Bank）全球天然災害熱點報告，臺灣至少分別有 90% 及 70% 以上的人口位於 2 種及 3 種以上的自然災害（颱風、洪水、地震、土石流……）區域中。臺灣山高水急又位居全球最易遭受氣象災害的區域之一，面對全球暖化，地球氣

候系統加速變化可能導致極端天氣更劇烈與頻繁出現，因此增進我國面對氣候風險的調適能力，強化國家的氣候韌性，是刻不容緩的當務之急。

根據交通部中央氣象局（以下簡稱氣象局）統計（躉售物價指數以民國 105 年為基期），民國 74 至 110 年間，臺灣平均每年氣象災害損失約新臺幣 153.87 億元，如以災害損失分類來看，農業占 53.90%

居首位、水利設施占 22.61% 次之，其餘依序為公路占 14.64%、漁業占 6.99% 及鐵路則占 1.85%（下頁圖 1a）。若就導致災害的天氣系統來看，颱風所造成之損失占 75.40% 居首位（下頁圖 1b），豪雨占 16.72%，其餘依序為寒害 4.84%、旱災 2.59%，其他災害則占 0.45%（含冰雹 0.31% 及焚風 0.01%）。前述颱風及豪雨 2 項即造成臺灣氣象災害

損失達 92.12%，由此可見颱風及豪雨導致之災害對臺灣經濟危害極大。以農業為例，臺灣農業氣象災害損失金額從 85 至 109 年年平均約 109 億元、95 至 109 年年平均約 112 億元，上升至 105 至 109 年年平均約 135 億元，雖有週期性波動，惟高峯值越來越高，其中颱風及豪雨致災占農業氣象災害損失的 96%。

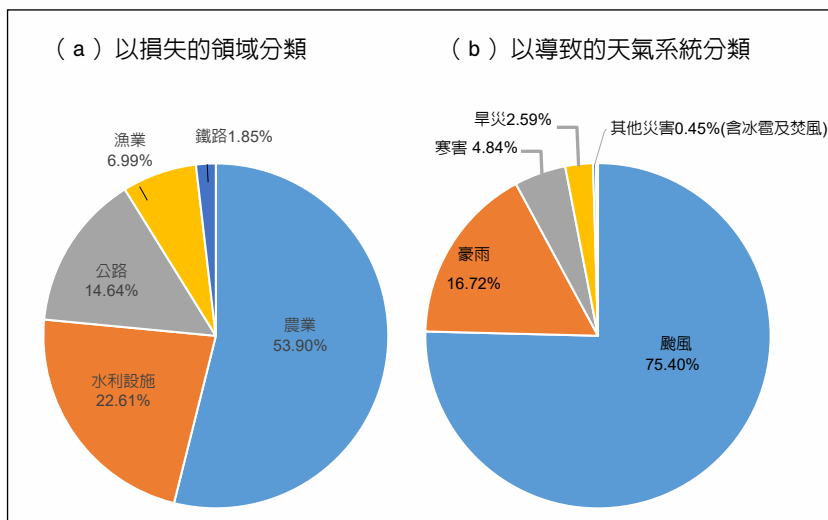
根據世界氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）評估，透過準確的氣象預報配合適當之防災措施，

可以減少 10% 至 30% 氣象災害損失。因此，若能強化對災害性天氣的監測、預報及預警作業能力，並在相關防災機構密切配合下，估計臺灣氣象預報潛在減災效益每年可達 15 億元至 45 億元。另從氣象資訊積極應用面而言，有效應用氣象測報資訊，更可創造經濟效益及提升生活品質，促進永續社會發展。以下從氣象作業數位發展之歷程，探討其發展之資源配置，以及欲有效支援國家及社會永續發展之未來展望。

貳、氣象作業數位化發展之歷程

自 1950 年代以來，電晶體、積體電路及現代通訊系統逐步發展，將氣象觀測過程帶入電子化、小型化以及適於大量製造、佈建及蒐集，成功的將氣象作業由傳統人抄手繪的天氣圖，帶入自動化、電腦化、視覺化的數位世界，不僅大為提高氣象資料蒐集、處理的時空廣度及效率，同時也提升了氣象預報的精度與正確性，其中最重要的技術發展，就是結合科學、數學及電腦的數值模式客觀預報技術。氣象數值模式可謂是人類最早應用的數位雙生（digital twin）系統，其運用電腦加速模擬實際大氣的未來演變，並即時產製超前數小時、數天乃至數週的預測資訊，提供各種應用之預警及決策所需。相關技術持續發展與改善，到 1980 年代已成為中短期天氣預報不可或缺的參考基準，引領預報準

圖 1 臺灣 74 年至 110 年平均每年氣象災害之損失



資料來源：中央氣象局。

專題

確率向前邁進一大步，無論是天氣及氣候預報、氣象服務都仰賴此重要的氣象數值模式應用技術，而其中屬於氣象作業硬體資訊基礎建設的高速運算電腦（High Performance Computer）之發展，更是數值天氣預報技術得以不斷提升的關鍵。

在電腦運算能力持續提高下，數值天氣預報模式才得以持續提升其時間及空間解析度，並引進具有更複雜物理內涵的參數化方案及數值解法，以更精確地掌握區域性的複雜天氣變化。由歷史脈絡可知，世界先進國家在任一時期的數值天氣預報系統發展，幾乎都使用了當時最快速的電腦，由圖 2 可見，氣象局的高速運算電腦若不能跟上國際持續擴充，不僅將限制我國氣象預報作業發展的能力，也將大幅落後亞洲鄰近各國，無法接軌國際間持續提升的氣象模式作業能力。圖 3 所示是我國數值預報作業發展各階段

的高速電腦運算增長與模式預測精度提升的演進，隨著科技發展逐步納入地球自然環

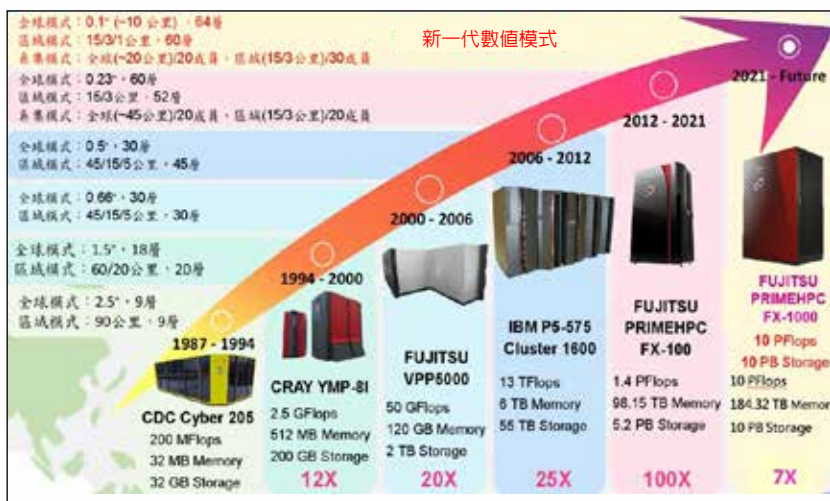
境的各種複雜互動機制，包括更高解析度（小於 1 公里），更長的預報延時（大於 14 天

圖 2 近年各主要數值天氣預報作業國家之高速運算電腦資源比較



資料來源：中央氣象局。

圖 3 氣象局高速運算電腦及數值模式演進



資料來源：中央氣象局。

至數月的預報），更完整的大氣、陸地、海洋、冰圈、空氣品質合為一體的環境預測，達到季節及年際之短期氣候預測，並介接水文、生物、化學等模式以擴及防災與環境應用等永續相關議題。

因國家對氣象資訊的重視，持續挹注相關建置經費，使得氣象局能夠賡續精進數值天氣測報技術的能量，圖 4 所示為氣象局近年來在 3 天內颱風路徑預報誤差持續改善，及第 5 天預測 500hPa 上的高度場距平相關度穩定提升，顯示氣象局對各種天氣系統的未來掌握，皆能有效的改善，未來

氣象局仍將謹慎地運用每一分國家資源，持續精進天氣測報技術。

參、氣象局數位氣象科技的發展計畫

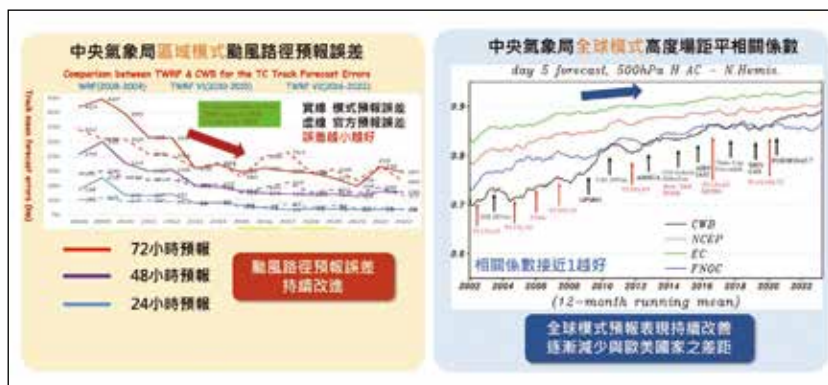
為推動我國氣象科技與應用服務的現代化和持續發展，考量國家及社會各階段發展需求，以及國際氣象科技發展趨勢，氣象局自民國 72 年起接續推動執行一系列以數值預報為主軸之業務現代化發展計畫，由氣象業務電腦化開始，建立現代化的氣象作業能力，至民國 82 年已將日常預報作業完全帶入無紙的電腦化作業境地，

而至民國 101 年，由於氣象監測與預報科技發展及數位化作業技術之持續提升，進一步將預報作業能力由 23 縣市提升至 368 鄉鎮尺度之網格化預報，使整體氣象作業邁入全臺數位化的新里程碑，同時也得以開始實踐多元化的氣象服務，為政府與民衆創造更高的氣象資訊應用價值。

近年氣象局配合智慧政府數位創新發展策略，分 2 階段推動「氣象資訊之智慧應用計畫（I）－智慧應用（105 至 108 年）」及「氣象資訊之智慧應用計畫（II）－數位創新（109 至 112 年）」主軸計畫，以智慧應用及數位創新服務為核心，推動生活化與防災化的氣象資訊服務，將進階的數位創新智慧思維注入氣象應用服務，提供民衆及社會有感的資訊服務。該 2 階段計畫即將於 112 年完成階段性任務，為未來的氣象數位治理及創新應用打下堅實基礎。

隨著國家面對氣候變遷的

圖 4 氣象局 3 天內區域模式颱風路徑預報誤差及全球模式 500hPa 第 5 天預報高度場距平相關係數



資料來源：中央氣象局。

專題

風險日甚，同時為因應氣象產業運用資訊多樣性及精緻性之需求日增，氣象局已擬訂申辦新一階段 6 年（113 至 118 年）

期程的進階主軸計畫「氣象風險數位治理與跨域應用創新計畫」（圖 5）開展以數位治理及產業鏈結為核心，落實人民安

心、應用創新二大願景，實現以數位治理鏈結產業拓展之氣象測報服務新價值，並以導入前瞻科技，接軌國際科研；精進科技創新，實現安心社會；活化資料治理，創造永續價值；打造樂活家園，共創產業發展為目標，圖 6 所示為「氣象風險數位治理與跨域應用創新計畫」的願景目標及策略架構。

搭配「氣象風險數位治理與跨域應用創新計畫」，氣象局亦已擬定申辦新一階段的「數值天氣測報高速運算電腦建設計畫」，此計畫預計執行期程由 113 年至 121 年，進行新世代的高速電腦建置，預期分 3 階段建置總計算能量達 85 至 150PFlops 的高速電腦，以有效提供「氣象風險數位治理與跨域應用創新計畫」內各數值預測模式研發及作業所需的運算量能。

圖 5 氣象局氣象業務現代化發展主軸計畫



資料來源：中央氣象局。

圖 6 「氣象風險數位治理與跨域應用創新計畫」的願景目標及策略架構



資料來源：中央氣象局。

肆、氣象數位發展之資源配置

氣象局屬科技型的公務機

關，預算結構來源包括基本需求預算（一般業務維持）、公共建設預算及科技預算（科技型業務發展與維運）3大部分。

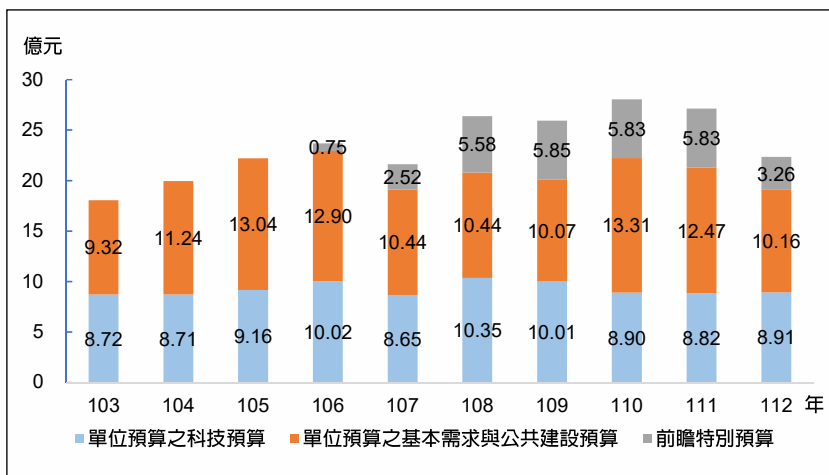
從氣象局近 10 年（103 至 112 年）預算編列情形（圖 7）可看出，氣象局每年單位預算歲出規模約維持在 20 至 25 億元

間，其中 4 成以上支出仰賴科技預算支應，此外，自 106 年度起編列中央政府前瞻基礎建設計畫特別預算共計 31.17 億元，經費類別亦屬科技預算。由此可見，隨著氣象作業數位發展，氣象局仰賴科技預算支應的需求亦與日俱增。

為提供優質氣象資訊，氣象局配合中程施政計畫與目標，針對當前社經情勢變化及未來發展需要，將有限資源挹助於一般政務支出及重要施政計畫，以 112 年度氣象局施政主軸與預算配置為例（圖 8），氣象局預算配置以加強預報技術發展建置預報作業輔助系統為大宗，其中「氣象資訊之智慧應用計畫 (I) - 智慧應用」與「氣象資訊之智慧應用計畫 (II) - 數位創新」即為主軸計畫，以提供更準確氣象預報資訊，奠定氣象數位發展之基礎。

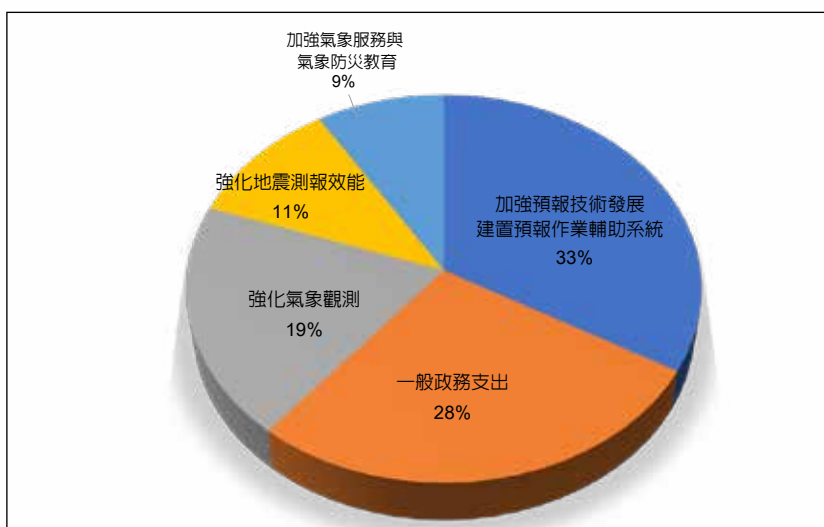
由於氣象局每天提供的氣象服務，仰賴大量先進氣象觀測儀器、設施及預報等作業設

圖 7 氣象局近 10 年（103 至 112 年）預算編列情形



資料來源：作者自行繪製。

圖 8 氣象局 112 年度施政主軸與預算配置



資料來源：作者自行繪製。

專題

備，包含地面氣象、雷達、衛星、海象、地震觀測及高速運算電腦等，而這些硬體設備之正常運作，須有充足的人力及經費支援，才能維持觀測數據之穩定品質及產製社會所需的氣象預報產品。例如前述新一代「數值天氣測報高速運算電腦建設計畫」，氣象局在發展新一代數位科技作業軟體的同時，也將同時進行相關高速電腦的硬體建置計畫，並透過持續維運與更新，逐步建立適合我國複雜地形及天氣型態所需的高解析度地球環境預測系統、發展更小區域劇烈天氣預測及逐時定量預報技術、發布鄉鎮尺度災害天氣特報資訊，以期維持符合國家需求的氣象與防災測報作業能力，進而提升位於東亞極端氣候高風險區域威脅下的國人生命財產安全。

伍、結語

氣象局為全國氣象業務的權責主管機關，自當積極運用

最新的資訊、通訊、及氣象數位科技，致力與國際天氣及氣候先進預報技術接軌，從小尺度到大尺度全面提升我國氣象數值模式的預報能力，強化短期天氣到氣候的無縫隙統合預報模式系統（seamless unify forecast system）的研發，以扣合政府、社會、民衆及產業等全方位的氣象需求。

面對全球暖化導致極端天氣更劇烈頻繁發生，對臺灣經濟發展影響重大，其中農業災害損失年平均值已逾 100 億餘元且仍呈現成長趨勢，穩定而適足的資源挹注將使氣象業務持續發展與精進，將可有效減少每年之氣象災害損失，支援社會及經濟邁向永續。氣象局將持續善用數位科技力量，精進數位創新服務能力及強化數位資訊基礎建設，充分應用數位科技以開發創新智能應用，促進氣象公共服務，滿足民生及經濟發展需求，並持續開發先進氣象科技技術，以強化國家面對氣候變化的調適及防禦

能力，期以建立「更精確、更即時、更全面」的氣象資訊服務能力，提供「環境的生態、人民的生活、社會的生計、群眾的生命」所需的定量數位氣象測報資訊，同時達成「以科技為基礎」、「以人為本」的智慧化數位政府目標。

參考文獻

1. 中央氣象局（2023），氣象業務白皮書。
2. 中央氣象局，「氣象風險數位治理與跨域應用創新計畫」計畫書（草案）。
3. 中央氣象局，「數值天氣測報高速運算電腦建設計畫」計畫書（草案）。❖