

**國家環境研究院**  
**National Environmental Research Academy**

**氣候變遷研究中心**  
**2025 年度報告**  
**Climate Change Research Center**  
**2025 Annual Report**



2026 年 1 月



# 目 錄

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 壹、前言.....                                                                                                                                                                             | 1  |
| 貳、人員組織.....                                                                                                                                                                           | 2  |
| 參、業務方向與預算.....                                                                                                                                                                        | 3  |
| 一、業務方向.....                                                                                                                                                                           | 3  |
| 二、業務預算.....                                                                                                                                                                           | 4  |
| 肆、重要成果.....                                                                                                                                                                           | 6  |
| 一、氣候變遷調適與風險跨域協作策略規劃與專業培力研究.....                                                                                                                                                       | 8  |
| 二、114 年國家氣候變遷智能服務平台服務計畫—調適能力方法學建構研究.....                                                                                                                                              | 13 |
| 三、114 年國家氣候變遷智能服務平台服務計畫—數據整合、系統開發及圖台建置.....                                                                                                                                           | 19 |
| 四、淨零政策之環境風險評估(3/4).....                                                                                                                                                               | 25 |
| 五、資源循環及減碳效益驗證技術(3/4).....                                                                                                                                                             | 29 |
| 六、擴展國際交流合作.....                                                                                                                                                                       | 33 |
| 伍、論文發表.....                                                                                                                                                                           | 45 |
| 一、期刊論文.....                                                                                                                                                                           | 45 |
| (一) Spatiotemporal variations and risks assessment of PAH-bound suspended particles across different Asian countries: Insights from multi-city sampling and source apportionment..... | 45 |
| (二) Thermal decomposition behavior of self-catalyzed and fire-retardant phosphorus-nitrogen Vitrimers material.....                                                                   | 46 |
| (三) Unraveling the Role of Bimetal Oxide CuO/MnO <sub>2</sub> on Modified Catalyst from Solid Waste Incineration Fly Ash to Enhance NO <sub>x</sub> Remove.....                       | 47 |

|                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| (四) Tracing chemical weathering dynamics during seasonal variability and storm in the Gaoping (Kaoping) and Choushui Rivers, Western Taiwan: Insight from Li isotope.....            | 48 |
| (五) Pollutant Emissions, Characteristics, and Ecological Risk Assessment in the Vicinity of Incineration Plants Using Solid-Recovered Fuel (SRF) in Taiwan.....                      | 49 |
| (六) The first fossil loggerhead sea turtle (Cheloniidae: Caretta) from the North Pacific and its nannofossil biostratigraphy.....                                                    | 50 |
| (七) Establishment of Methods to Identify Pollution Sources in a River Reach through Receptor Models.....                                                                             | 51 |
| (八) Optimizing Adhesion and Thermal Properties of PBAT-Based Hot-Melt Adhesives via Tailored Side-Chain Architectures...                                                             | 52 |
| (九) Recyclable Thermoset-Like Polyurethanes From Renewable Epoxidized Soybean Oil via Dynamic Ester Bond Exchange..                                                                  | 53 |
| (十) Enhancing Poly (butylene terephthalate)(PBT) fiber orientation and tenacity via controlled recycling of composition-tuned vitrimers.....                                         | 54 |
| (十一) Tensile and Crystallization Behavior of Melt-Spun Fibers Derived From Poly (Butylene Terephthalate-Co-2, 6-Naphthalate) Copolyester.....                                        | 55 |
| (十二) Air Gap Membrane Distillation for Nutrient and Water Recovery from Marine Culture Wastewater for Improved Water Reclamation.....                                                | 56 |
| (十三) Biological safety assessment of dissolved aluminum ions in coastal seawater: acute toxicity effects on Pacific whiteleg shrimp ( <i>Litopenaeus vannamei</i> ) Post-larvae..... | 57 |
| (十四) Baseline zinc levels and monitoring implications in sediments of the Changhua offshore wind farm region.....                                                                    | 58 |
| (十五) Mechanism of Dynamic Triggering for Slab-Related Fluid-Induced Tremors Occurred in Nanao, Taiwan.....                                                                           | 59 |
| (十六) Influence of Branch Side-Chains on the Foaming Properties of Thermoplastic Polyether Ester Elastomers in Supercritical CO <sub>2</sub> .....                                    | 60 |
| 二、非科學引文索引期刊論文.....                                                                                                                                                                   | 61 |
| 三、國內外研討會論文.....                                                                                                                                                                      | 62 |

|           |    |
|-----------|----|
| 陸、結語..... | 65 |
|-----------|----|

附錄一、國際研討會論文

附錄二、國內研討會論文

## 圖目錄

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 圖 2-1 氣候變遷研究中心組織架構.....              | 2  |
| 圖 3-1 氣變中心未來研究方向架構.....              | 4  |
| 圖 3-2 氣變中心重點業務工作項目.....              | 4  |
| 圖 3-3 氣變中心 114 年預算來源占比.....          | 5  |
| 圖 4-1 計畫之緣起及目的.....                  | 9  |
| 圖 4-2 先導計畫與後續相關計畫之關連性.....           | 9  |
| 圖 4-3 計畫現場訪談結果分析.....                | 11 |
| 圖 4-4 分析國際政府間調適與協商機制.....            | 11 |
| 圖 4-5 氣候變遷調適水旱災風險跨域資訊分享座談會.....      | 12 |
| 圖 4-6 公務人員氣候變遷調適人力需求之教材與課程涵蓋範疇.....  | 12 |
| 圖 4-7 氣候變遷調適培力教材內容節錄.....            | 12 |
| 圖 4-8 數據到決策實踐價值關鍵與流程規劃.....          | 14 |
| 圖 4-9 氣候韌性調適資源庫-支援氣候變遷實體風險模板.....    | 16 |
| 圖 4-10 跨領域風險評估-根據衝擊鏈轉成風險模板.....      | 16 |
| 圖 4-11 氣候變遷衝擊之重大性議題矩陣分析.....         | 17 |
| 圖 4-12 氣候變遷衝擊關鍵議題→風險模板→危害、保全對象.....  | 17 |
| 圖 4-13 氣候變遷韌性調適數位模擬系統發展路徑.....       | 18 |
| 圖 4-14 整合 DIKW 架構擘劃數位孿生概念的國家級發展..... | 18 |
| 圖 4-15 科研協作及國環院各計畫定位.....            | 20 |
| 圖 4-16 科研協作平台定位說明.....               | 21 |
| 圖 4-17 科研協作平台機制與國家氣候變遷智能服務平台整合.....  | 21 |
| 圖 4-18 科研協作平台科-結合軟體及硬體之一站式服務平台.....  | 22 |
| 圖 4-19 計畫產出運用方式.....                 | 23 |
| 圖 4-20 圖資套疊初步辨識易受災害影響之區域範圍.....      | 23 |
| 圖 4-21 強化與擴充氣候變遷調適圖台與應用工具(1).....    | 23 |
| 圖 4-22 強化與擴充氣候變遷調適圖台與應用工具(2).....    | 24 |
| 圖 4-23 強化與擴充氣候變遷調適圖台與應用工具(3).....    | 24 |
| 圖 4-24 平台、資料維護及資訊安全管理.....           | 24 |
| 圖 4-25 2025 年淨零政策之環境風險評估計畫執行架構.....  | 27 |

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| 圖 4-26 SRF 使用廠污染物生成與排放調查.....               | 27 |
| 圖 4-27 污染物質環境風險評估流程.....                    | 28 |
| 圖 4-28 蒐集國內環境介質暴露參數.....                    | 28 |
| 圖 4-29 資源循環及減碳效益驗證技術計畫執行架構.....             | 31 |
| 圖 4-30 循環項目驗證需求盤點流程.....                    | 32 |
| 圖 4-31 「凝聚共識、邁向未來」國際論壇主視覺.....              | 33 |
| 圖 4-32 論壇第一日上午開幕議程.....                     | 34 |
| 圖 4-33 環境部彭部長致詞.....                        | 34 |
| 圖 4-34 國環院與韓國氣候變遷中心展示簽署合作備忘錄.....           | 34 |
| 圖 4-35 國環院與韓國氣候變遷中心交換合作備忘錄.....             | 35 |
| 圖 4-36 國際論壇簽署合作備忘錄大合照.....                  | 35 |
| 圖 4-37 論壇第一日主場下午氣候變遷領域議程.....               | 36 |
| 圖 4-38 論壇第一日主場下午資源循環領域議程.....               | 36 |
| 圖 4-39 論壇第一日副場下午環境治理領域議程.....               | 37 |
| 圖 4-40 論壇第二日主場上午環境治理領域議程(1).....            | 37 |
| 圖 4-41 論壇第二日主場上午環境治理領域議程(2).....            | 38 |
| 圖 4-42 國外專家與談交流.....                        | 38 |
| 圖 4-43 國內外專家學者及中央部會發表學術研究及政策推動成果.....       | 38 |
| 圖 4-44 國外專家學者參訪國家環境研究院交流.....               | 39 |
| 圖 4-45 國環院(NERA)與日本國立環境研究所(NIES)團隊合影.....   | 39 |
| 圖 4-46 與 NIES 團隊交流座談.....                   | 40 |
| 圖 4-47 川崎環保生活未來館展示.....                     | 41 |
| 圖 4-48 國環院與亞洲航測公司團隊合影.....                  | 41 |
| 圖 4-49 國環院與亞洲航測公司團隊交流座談.....                | 42 |
| 圖 4-50 國環院與三峰川電力公司團隊交流座談.....               | 42 |
| 圖 4-51 紐西蘭國際議場外觀(左)與毛利族傳統儀式開場(右).....       | 43 |
| 圖 4-52 奧地利維也納國際中心 EGU 會場(左)與研究員成果發表(右)..... | 44 |

## 壹、前言

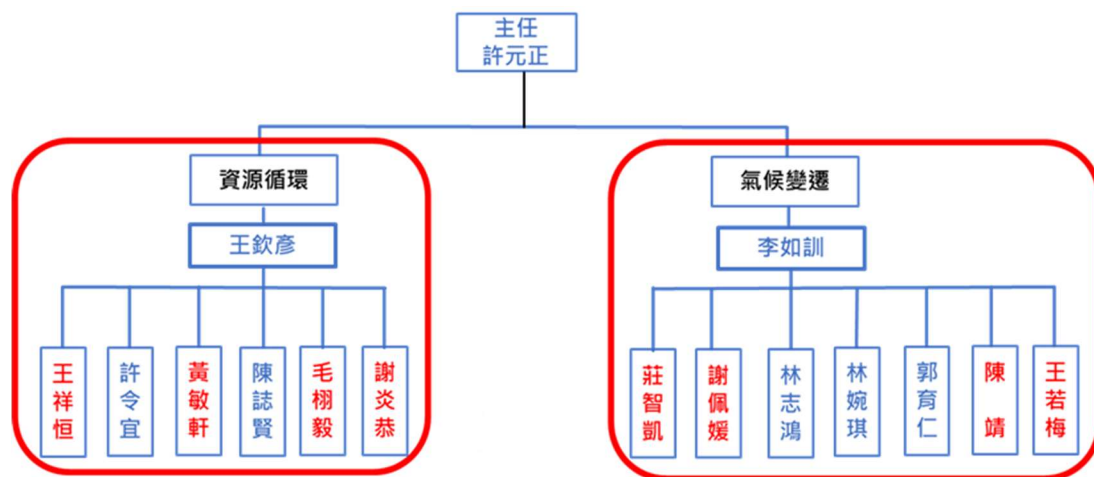
2025 正值《聯合國氣候變化綱要公約》第三十次締約方會議 (Conference of the Parties 30, COP 30) 在巴西舉行。會議聚焦各國提出的國家自定貢獻 (Nationally Determined Contributions, NDCs)，並依據「全球盤點 (Global Stocktake)」研議後續行動與支援機制。主題以「行動加速 (Implementation)」、「包容參與 (Inclusion)」及「創新轉型 (Innovation)」為核心，凸顯生態保育與氣候治理的緊密連結。尤以氣候融資、能源轉型、森林再生、糧食安全及社會公正轉型等備受關注。

時值國家環境研究院氣候變遷研究中心成立兩周年，在長官擘畫與國科會等單位的支持下，組織運作與發展方向已漸入佳境。年初透過國科會支持的「氣候變遷調適科研協作先導計畫」正式開啟本中心對於氣候變遷調適科研協作的盤點與規劃，並銜接 115-118「氣候變遷調適資訊整合平台建構及推動計畫」藉以規劃推動跨部會的資料整合。承水利署、氣象署、國土署及國家災害防救科技中心等，共同執行跨域研究之示範議題開啟合作契機，更延伸中心的研究觸角。眾所皆知氣候變遷議題幾乎包含政府各個部會與地方單位，然千里之行始於足下，相信這一年是我們對於國家氣候變遷跨域科研的起步，未來必定有更多的合作單位與共同研究空間。而科研成果的落地應用更是「循證治理」的重要關鍵，後續我們也將積極構思與地方區域特性調適需求的結合，強化調適韌性示範區研究的擴散與深化，提供科研應用的資源需求，結合更廣泛的學研單位，建構具有廣度與民眾有感的研究量能。除了調適韌性之外，中心也致力於資源循環的加值應用研究，尤其是廢棄聚酯塑料之高值化再利用更有重大的進展，同時也將此技術延伸擴展應用領域，並與循環署 115-118「淨零排放-資源循環綠色設計計畫」合作「廢棄尼龍塑膠/纖維織綠色循環再生技術開發」，從資源循環的途徑達到減碳永續目的。

「2025 氣候變遷研究中心年報」內容延續涵蓋組織架構、研究方向與研究計畫等，系統性呈現氣變中心在建構國家氣候調適能力的努力成果。透過環境部與國科會構建之「國家氣候變遷調適科研生態圈」，擔任「國家氣候變遷調適科研協作平台」之重要幕僚，並與氣候署合作將科研成果橋接於「國家氣候變遷調適治理平台」，共同朝向完成「循政治理」政策目標而努力。

## 貳、人員組織

國環院(National Environmental Research Academy, NERA)為環境部(原環境保護署)組織改制，將原環境檢驗所及環境保護人員訓練所整合改組為國環院研究機構而新設置，人員組成採行公務人員與教育人員雙軌制。氣變中心目前現有人力包含進用 8 名教育人員共為 16 人，其中主任 1 人負責氣變中心業務之規劃，下設簡任研究員 1 人及特約高級環境技術師 1 人襄助主任推動中心研究與庶務工作，成員包括副研究員 5 人、專員 1 人、助理研究員 7 人進行氣候變遷、淨零排放、資源循環與前瞻科研等研究工作。自 114 年 1 月至 114 年 12 月共調入 2 名人員與調出 2 名人員。氣變中心新進人員其中吳怡萱助理研究員及游雯琪助理研究員依本院教育人員任用加入氣變中心；另 2 名人員黃敏軒助理研究員及許令宜副研究員調離氣變中心。氣變中心依組織架構並未分設科別，係依據業務主題臨編為「淨零減緩風險調適小組」(下稱氣變組)與「資源循環前瞻科研小組」(下稱循環組)，氣變中心組織架構如圖 2-1 所示。



註：藍色字體為原檢驗所公務人員；紅色字體為新增進用之教育人員

圖 2-1 氣候變遷研究中心組織架構(截至 114 年 7 月為止)

## 參、業務方向與預算

### 一、業務方向

依據國環院處務規程第 6 條規定，氣變中心掌理事項如下：

- (一) 氣候變遷調適與溫室氣體減量政策之評估、分析及研究。
- (二) 氣候變遷調適及溫室氣體減量科學技術發展之研究。
- (三) 淨零排放、資源循環與回收處理利用政策之評估、分析及研究。
- (四) 淨零排放、資源循環及回收處理利用技術發展之研究。
- (五) 環境風險與衝擊影響評估、控制及溝通技術之研究。
- (六) 國內氣候變遷學術機構與相關組織交流合作之規劃、推動及執行。
- (七) 其他有關氣候變遷研究事項。

氣變中心為達成國環院賦予之任務，以「智慧調適韌性新里程，循環低碳技術再創新」中心願景，構思規劃未來研究方向與架構（圖 3-1 所示）如下：

- (一) 氣候變遷調適策略跨域研究：
  - 1. 氣候風險辨識與調適策略路徑工具開發。
  - 2. 氣候變遷氣候韌性跨域調適能力建構研究。
  - 3. 國家氣候變遷智能服務平台。
  - 4. 氣候調適數位孿生跨領域模擬系統。
- (二) 低負碳技術環境衝擊研究
  - 1. 低碳技術布局管理策略研究。
  - 2. 新興低碳技術環境衝擊研究。
  - 3. 新興綠能技術環境衝擊研究。
  - 4. 低碳轉型及調適策略之環境經濟效益影響研究。
- (三) 資源循環驗證技術管理精進
  - 1. 資源循環及減碳效益驗證技術。
  - 2. 循環再利用技術環境風險評估。
  - 3. 循環再利用查驗證與技術研究。

#### (四) 暖化情境與環境碳收支研究

1. 環境碳收支檢監測技術研究。
2. 環境碳收支資料庫建置。
3. 暖化情境下環境碳收支影響研究。

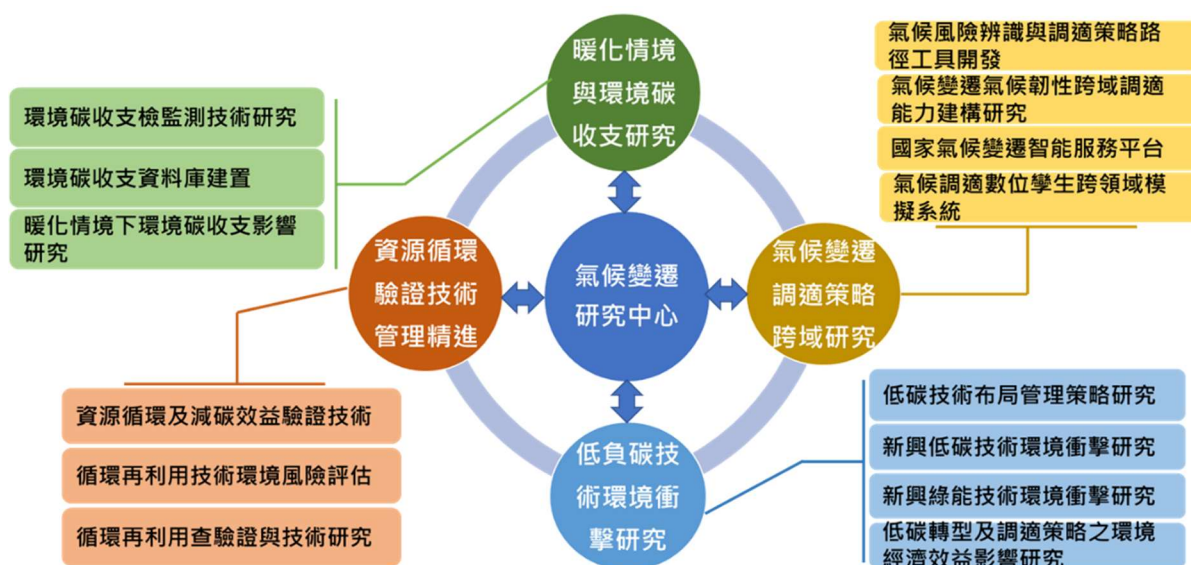


圖 3-1 氣變中心未來研究方向架構

## 二、業務預算

114 年氣變中心重點業務工作項目如圖 3-2 所示

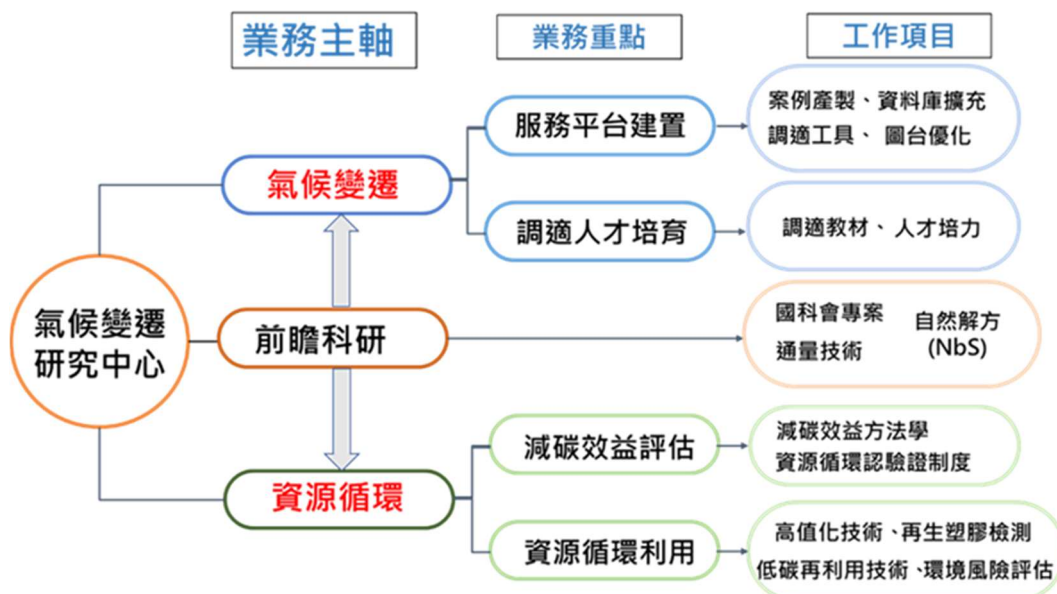


圖 3-2 氣變中心重點業務工作項目

氣變中心 114 年預算總經費為 7,140.1 萬元整，其中公務預算 205.1 萬元、淨零科技 2,950 萬元、國科會專題研究補助 296 萬元及

科技發展基金 2490 萬元等，各項經費占比如圖 3-3 所示。

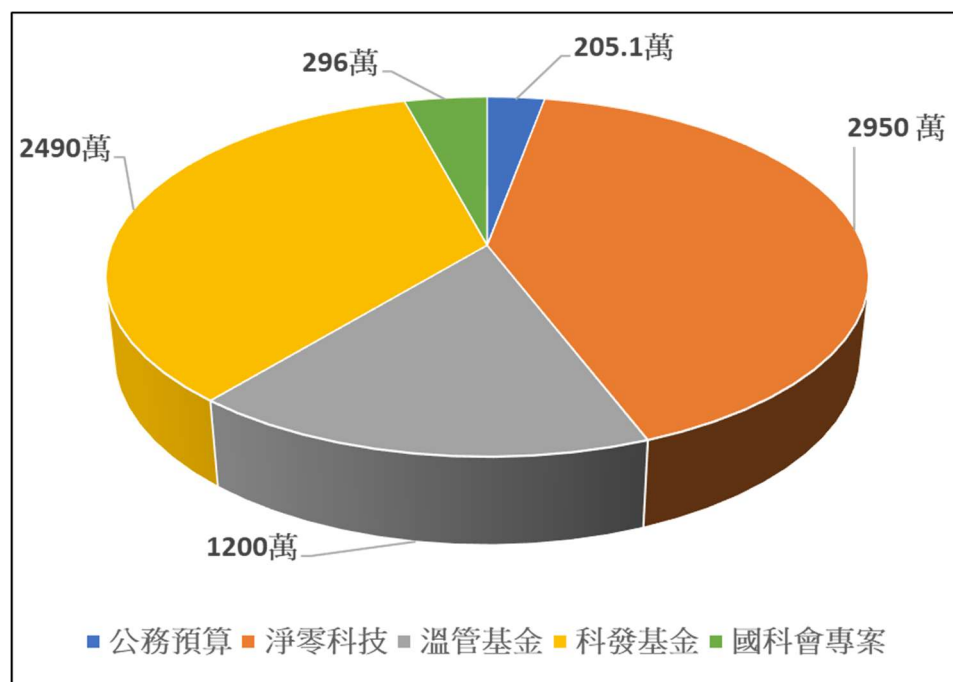


圖 3-3 氣變中心 114 年預算來源占比

## 肆、重要成果

氣變中心自成立以來，持續以科學研究支撐政策決策，致力推動臺灣氣候變遷調適、減碳轉型與資源循環，協助政府、產業與社會共同因應氣候風險，邁向淨零永續發展。2025 年氣變中心聚焦國家淨零政策與氣候治理需求，整合研究量能與跨域合作資源，推動多項重點計畫，涵蓋淨零政策環境風險評估、氣候調適與風險跨域協作、智能服務平台建構，以及資源循環與減碳應用等關鍵領域，具體展現年度研究與政策支援成果。

在淨零政策推動方面，氣變中心執行環境風險評估相關計畫，針對固體再生燃料(Solid Recovered Fuel, SRF)使用場域進行污染物排放調查與風險分析，提出降低環境衝擊之管理與改善建議，協助確保資源循環發展與空氣品質維護能並行推進。於氣候調適與韌性建構層面，則結合數位模擬與智能化工具，發展跨領域應用模式，協助政府與產業提升因應極端氣候事件的風險評估與調適能力。

在調適數位治理與資訊服務方面，於 2025 年完成國科會支持「氣候變遷調適科研協作平台運作先導計畫」啟動之規劃與建置作業，透過調適能力方法學研究，推動氣候資料整合、標準化與跨系統串接，並完成系統架構與圖台功能建置，為政策制定與風險管理提供更即時、精準且具視覺化的決策支援工具，並為後續 115-118「淨零排放-氣候變遷調適資訊整合平台建構及推動計畫」勾勒明確的推動方向。

在資源循環與減碳應用領域，持續推動「資源循環及減碳效益驗證」計畫，精進再生塑膠、底渣、橡膠等循環材料之檢測與驗證技術，強化循環經濟措施的科學基礎與減碳效益可信度；同時透過「資源循環淨零科技擴散應用」計畫，掌握國際循環經濟發展趨勢，促進再生材料驗證技術與低碳科技之擴散應用，加速產業邁向低碳與淨零轉型。

為持續深化跨部門、跨領域及國際合作，首度舉辦「邁向未來：氣候變遷調適與環境治理國際論壇暨座談會」，邀集歐盟、日本、韓國及國內中央政府機關、學研單位與地方環保機關代表，共同交流氣

候調適、資源循環與環境治理之最新政策與研究成果。論壇期間並與韓國氣候變遷中心(Korea Climate Change Center, KCCC)簽署合作備忘錄(MOU)，強化臺韓於氣候科學研究、政策制定及教育推廣等面向之合作。兩日國際論壇共安排 22 場專題演講與政策發表，並展出 20 件研究成果海報，聚焦全球氣候變遷挑戰，透過專題演講、成果分享與跨領域座談，促進國際經驗交流與創新政策、技術及治理模式之探討，展現臺灣在氣候治理與淨零轉型議題上的研究能量與國際連結成果。

此外，5 位氣變中心研究員分別前往日本、紐西蘭及奧地利研習與參加國際研討會。赴日考察目的在於瞭解環境科研技術，期間拜會日本國立環境研究所(National Institute for Environmental Studies, NIES)汲取氣候調適、資源循環及政策支援研究之實務經驗；於紐西蘭參與 Adaptation Futures 2025 國際會議，與來自學術界、政府及在地組織之專家學者，共同探討「加速氣候韌性發展(Accelerating Climate Resilient Development)」相關策略；另於奧地利參加歐洲地球科學聯盟年會(European Geosciences Union General Assembly, EGU)，該會議涵蓋大氣科學、氣候變遷、地球系統建模及永續發展等主題，擴展中心未來研究視野。

回顧 2025 年，各項計畫成果充分展現氣變中心在科學研究、政策支援與技術應用上的整合能力與企圖心，並具體回應國家氣候政策推動方向與社會實際需求。每一項計畫，皆是對臺灣永續發展的具體承諾，也是攜手政府、產業與社會各界，並跨足國際共同邁向淨零未來的重要行動。展望未來，氣變中心將持續精進研究深度，強化科技與政策之間的緊密扣合，並深化跨域與跨部門合作，進一步提升氣候調適與減碳行動的實效。以下將分別說明各項計畫之研究內容與推動重點，期能透過持續累積研究成果與政策實踐經驗，為臺灣邁向淨零與氣候韌性社會奠定更為堅實的基礎。

## 一、氣候變遷調適與風險跨域協作策略規劃與專業培力研究

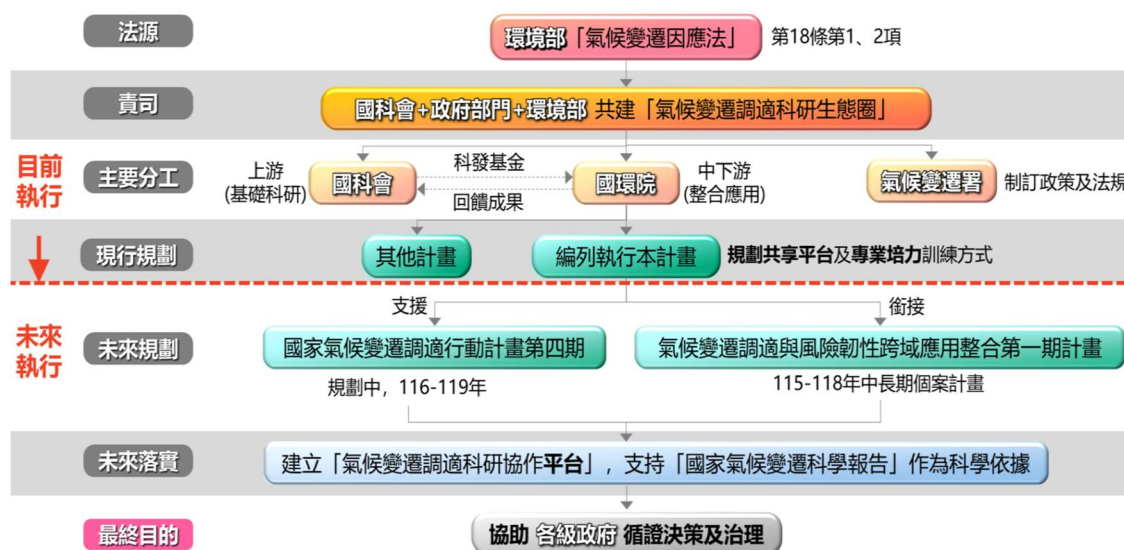
Research Program on Climate Change Adaptation and Cross-Domain Risk Collaboration: Strategic Planning and Professional Capacity Development

### (一) 計畫緣起

面對氣候變遷加劇所帶來的多重衝擊，我國已逐步建構以風險治理為核心的氣候調適政策體系，以提升國家整體韌性並確保永續發展。112 年環境部發布《氣候變遷因應法》，於第 18 條明定中央主管機關與科技主管機關應共同推動氣候科學研究、定期發布氣候變遷科學報告，並輔導各級政府依據科學證據進行氣候變遷風險評估與調適行動之研擬。配合法制推動，環境部已預告「氣候變遷風險評估作業準則」，建立全國一致之評估程序與技術框架，作為各級政府推動氣候調適與政策決策之重要依循。為回應上述制度轉型與政策需求，國環院與國家科學技術委員會(下簡稱國科會)於 112 年共同研商建構「氣候變遷調適科研生態圈」，由國科會負責上游基礎與關鍵科研之推動，國環院則擔任中下游跨部門協調與調適資料應用之橋接角色，整合科研成果、資料分析與政策應用，並推動氣候變遷調適科研協作平台，逐步形成涵蓋資料整備、決策支援與能力建構之整合推動體系。

113 年總統府國家氣候變遷對策委員會及行政院相關會議進一步指出，氣候調適工作須朝向國際化、主流化與在地化發展，並透過跨部會、跨層級與跨領域之協作機制，導入多層級專家參與與複合式風險評估模式，以提升氣候治理整合效能，並強化各級政府之調適決策能力。國環院據此政策指導架構，規劃推動「氣候變遷調適與風險跨域協作策略規劃與專業培力研究」計畫，作為科研平台運作之前導布局，提前部署跨部會之氣候變遷調適、資料綜整解析及未來策略規劃，以作為銜接「國家氣候變遷調適行動計畫第四期(116-119 年)」與「淨零排放-氣候變遷調適資訊整合平台建構及推動計畫(115-118 年)」之關鍵基礎工程，協助各級政府能夠妥適地應用科學資料，依循以氣候科學證據為基礎，

及依氣候變遷因應法第 18 條所定氣候變遷風險評估作業準則研擬調適策略，達成「循證決策」目的。



本計畫屬於初步研析氣候變遷調適相關議題、銜接 115-118 年淨零排放-氣候變遷調適資訊整合平台建構及推動計畫(中長期個案計畫)之先導計畫，部分工作內容可協助支援國家氣候變遷調適行動計畫第四期及氣候變遷調適與風險韌性跨域應用整合第二期計畫。本計畫之差別與銜接方式，係先調查各單位需求，據以調整平台規劃、專業培力之教材與課程內容，俾利後續計畫執行方向可盡量符合各單位需求。

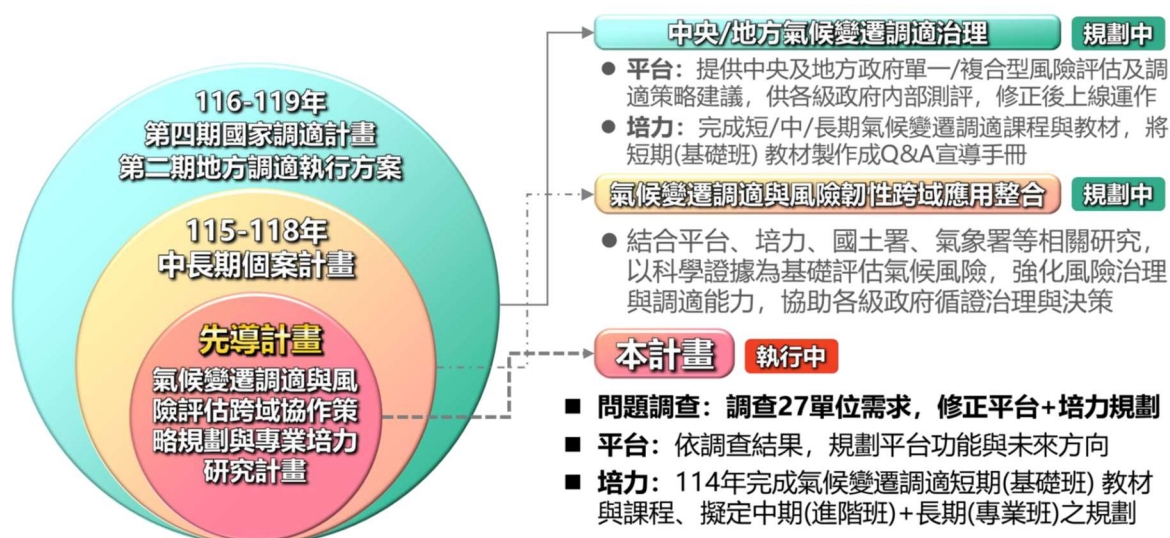


圖 4-2 先導計畫與後續相關計畫之關連性

## (二) 計畫成果摘要

本計畫主要核心工作內容包含研擬跨部門氣候變遷調適資料整合與共享平台建構策略；強化國內調適協作與風險管理能力；建立調適專業人才培育與國際合作架構等。透過計畫執行現場訪視與調適有關之政府部門，調查有關氣候變遷調適各項問題，結果顯示除國科會、氣象署、水利署等已投入調適相關業務多年之單位外，約 8 成單位表示需有關氣候變遷調適之平台(含風險評估工具)、相關課程及教材等資源。平台功能適用性與可行性評估方面，日本 A-PLAT 與我國政府部門體制最為接近，適用性最高；美國 ARC-X 的模組化設計對我國地方政府具高參考價值；歐盟 DestinE 技術門檻高，且受國際合作限制，現階段或可作為長期目標。辦理政府與企業各 1 場次跨域座談會，以促進政府與企業間對於水旱災風險管理資訊、意見交流及協作共識。

計畫整合國際框架與新興策略，包括 UNFCCC 下的全球調適目標、IPCC 最新報告對風險與調適的科學知識，以及各類型多元知識系統的價值(IPCC, 2023；UNFCCC, 2019; UNFCCC, 2023; Cox et al., 2020)，作為專業培力課程與教材開發的依據，以期全面提升公務人員的調適素養與能力，強化政策落實與實務操作的連結。規劃氣候變遷調適專業人才培育架構短期基礎班、中期進階班及長期專業班等三階段，短期以知識普及與素養成長為主，中期著重專業領域強化與實戰演練，長期推動制度化與永續化，建立具認證效力的調適職能培力體系。完成氣候變遷調適短期基礎班課程設計(含 2 日工作坊、1 日研討會及線上微課程)，歸納公務人員調適素養應具備的知識、情意與技能三大構面，完成相應公務人員氣候變遷調適短期培力教材，其分為四大單元，可供 2 日、12 小時課程之用，內容涵蓋八大易受氣候衝擊領域，整合國內外案例、情境模擬工具及風險評估平臺操作指引，可作為各級公務人員調適能力建構的標準化學習資源。

**關鍵詞：**氣候變遷、調適、跨域協作

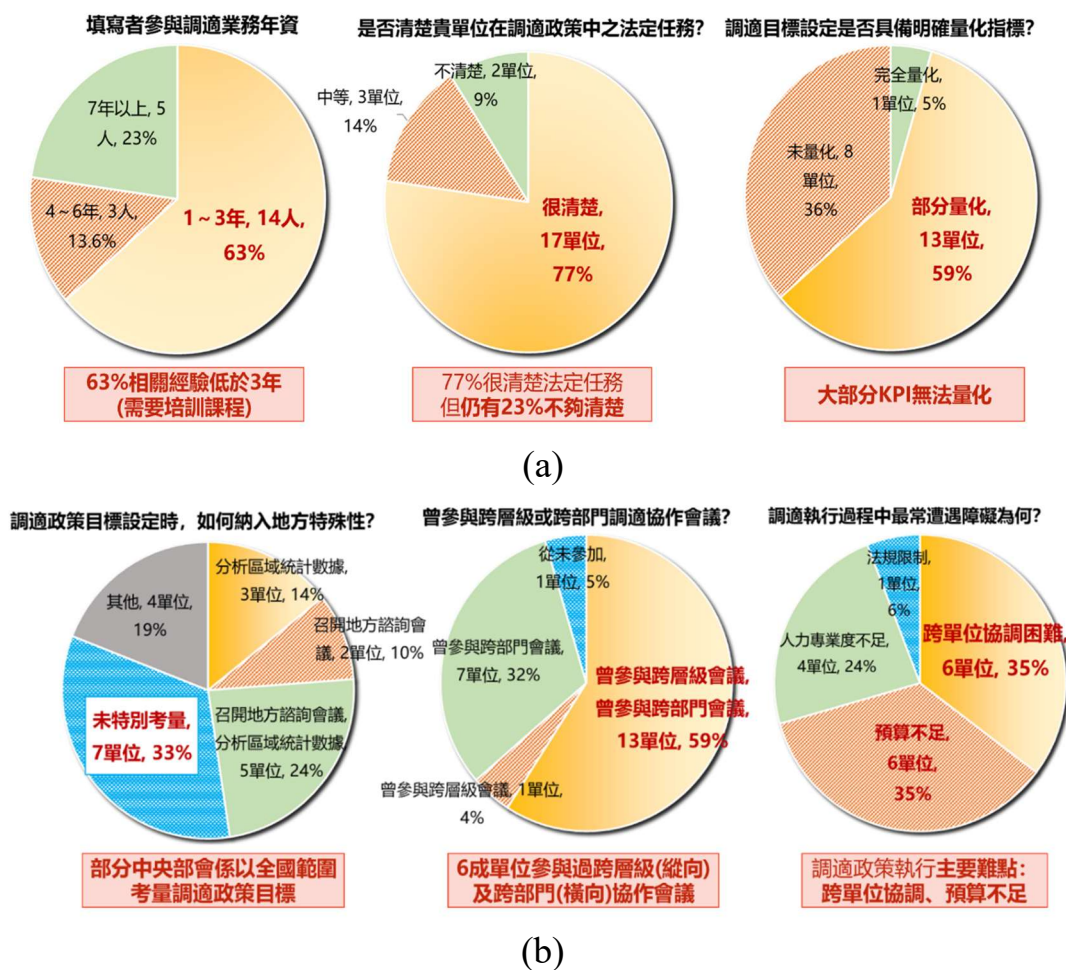


圖 4-3 計畫現場訪談結果分析



圖 4-4 分析國際政府間調適與協商機制

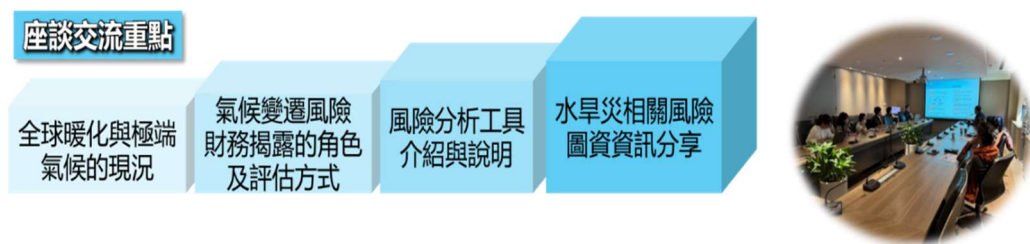


圖 4-5 氣候變遷調適水旱災風險跨域資訊分享座談會

### 八大易受氣候變遷衝擊領域

#### 公部門氣候變遷調適

- ✓ 跨領域整合協作
- ✓ 全面提升社會韌性



- |            |                         |
|------------|-------------------------|
| 1. 維生基礎設施  | 規劃、建設、維護與管理國家重要基礎設施     |
| 2. 水資源     | 水資源規劃、管理、分配與水利工程        |
| 3. 土地利用    | 城鄉規劃、國土利用、環境保育與風險管理     |
| 4. 海岸及海洋   | 海岸防護、海洋生態保育、漁業管理與海洋衝擊應變 |
| 5. 能源供給及產業 | 負責能源政策、產業發展、技術研發與企業永續轉型 |
| 6. 農業生產    | 農業技術、農作物生產與農村發展         |
| 7. 生態系統    | 生物多樣性保育、維持棲地功能、強化生態系服務  |
| 8. 健康      | 公共衛生、醫療照護、疾病預防與緊急醫療救護   |

圖 4-6 公務人員氣候變遷調適人力需求之教材與課程涵蓋範疇



圖 4-7 氣候變遷調適培力教材內容節錄

## 二、114 年國家氣候變遷智能服務平台服務計畫—調適能力方法學建構研究

### Methodological Development of Adaptive Capacity for Taiwan's National Climate Change Smart Service Platform

#### (一)計畫緣起

氣候變遷已成為全球共同面臨的重大挑戰，其影響深遠，涵蓋生態環境、經濟發展與社會公平等多重層面。極端天氣事件日益頻繁且強度升高，對人類生活、生態系統與基礎設施構成實質威脅，部分災害更展現出前所未見的破壞力，加劇社會不平等並阻礙永續發展目標的實現。面對變遷速度超出預期、影響範圍日益擴大的風險，全球各國與相關機構無不積極推動調適行動。然而，現有政策與工具在應對氣候風險的高度複雜性與跨領域性挑戰時，仍略顯窘態。有鑒於此，發展更全面、前瞻且整合性的調適策略乃勢在必行，而支援這些策略所需的資源體系則更顯關鍵。其中包括：具備開放性與時效性的調適資料庫，涵蓋數據、資訊、知識與調適案例等；可支持決策的調適模擬工具；跨領域整合的風險評估架構；以及數位模擬與決策支援系統等。唯有透過系統化整合與持續強化調適資源與治理能力，方能有效提升社會與環境面對氣候衝擊的韌性，邁向真正具備韌性的永續未來。

計畫延續 113 年度「氣候變遷氣候韌性調適能力建構之應用計畫」的基礎成果，進一步深化前期所建構的核心架構與系統雛型，強化應用導向與整合操作的可行性與成熟度。前期計畫已完成多項重要成果，包括初步建構應用氣候實體風險模板、提出調適演算法的流程、整合跨層級應用的調適治理流程、以及建立跨部會參與的調適工作坊模式與教案範型。此外，亦完成調適策略模擬系統之架構設計與操作介面原型，並規劃「國家氣候變遷智能服務平台」的初步輪廓，為資料整合與數位服務奠定基礎。然而，這些成果仍待進一步擴充應用規模、補強跨域串聯能力與提升科技整合成熟度，方能落實於實務操作與決策支援。本計畫在前期成果的基礎上，持續推進並補強尚待強化之環節，特別著重

於調適資源的系統性整備、風險評估邏輯的跨領域延伸、模擬工具的情境靈活性強化、以及數位模擬平台的智慧應用深化。為回應這些挑戰與需求，並確保整體調適行動具備前瞻性、整合性與可操作性，遂規劃本計畫四大核心工作目標，作為支撐我國氣候調適體系深化發展的關鍵基礎。

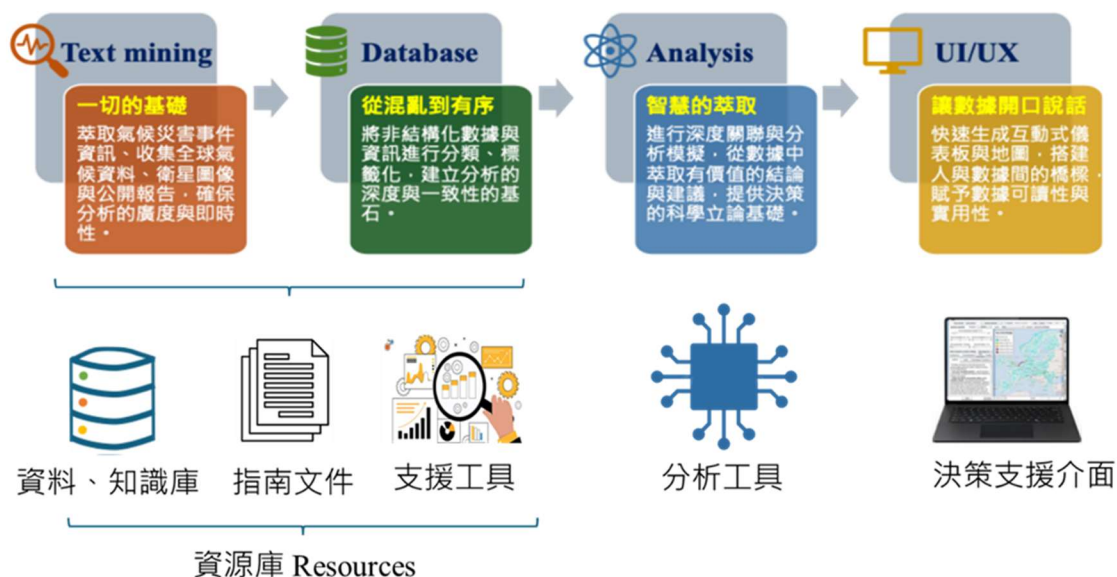


圖 4-8 數據到決策實踐價值關鍵與流程規劃

## (二)計畫成果摘要

本期計畫依循既定研究設計，系統性串連資料、方法、工具與系統藍圖，完成四項核心成果，初步建構一套具科學基礎與政策應用潛力的氣候韌性調適能力體系。在資料與知識治理層面，本計畫完成以 DIKW(資料—資訊—知識—智慧)架構為核心之氣候韌性調適資源庫雛型，確立「災害—風險因子—調適選項」的資料組織邏輯，並透過濁水溪揚塵、杜蘇芮颱風臺東海端崩塌及 109-110 年百年大旱等歷史案例，完成災害事件資料之逆向萃取與建檔，驗證該架構具備良好之可操作性與擴充性。同時，系統性盤點國內外氣象與危害資料來源，建立涵蓋極端事件、慢變現象與複合危害的分類體系，並整合 UNFCCC、仙台減災綱領、歐盟與 OECD 等國際政策脈絡，作為我國調適治理精進的重要參照。在此基礎上，計畫亦完成可與資源庫串接的網頁介面雛形，初步展現以資料驅動決策支援的應用模式。

在方法學與工具發展方面，本計畫建立一套可對接《氣候變遷風險評估作業準則》的跨領域風險評估架構，並將評估流程轉化為具體可操作的表單與視覺化工具，協助使用者由單一部門風險盤點，進階至跨部門、跨領域的系統性診斷。透過 Adapt Risk 系統雛形與雲林河川揚塵示範案例，展示結合多重危害系統 (HIPs) 分析，辨識健康、交通、農業與生態等多元保全對象之風險鏈結。進一步發展之 HIP-Links Atlas，則將複雜的危害關聯轉譯為可互動操作的網路圖，有效降低溝通門檻，強化跨局處與跨專業對話效率。在調適策略模擬與核心技術層面，本計畫完成跨領域模擬工具之關鍵技術建置。在資料面，建構氣候變遷合成氣象資料庫，透過結合 TCCIP 降尺度資訊與歷史觀測特性，產製具自然變異性的未來逐日氣象序列，提升極端事件分析的穩健性；以臺北測站為例，分析結果顯示未來冷房度日需求顯著上升，為能源調適提供量化依據。在模型面，本計畫提出以類神經網路為核心的 AI 詮釋模式標準化架構，並以淹水、水文與作物模式為例，展示於複合情境下快速模擬系統性衝擊的可行性，為跨領域調適策略模擬奠定技術基礎。

整合上述成果，本計畫提出導入數位孿生概念之「韌性調適數位模擬系統」發展路徑圖，以 DIKW 資源庫為核心，結合 AdaptRisk、HIPs/HIP-Links Atlas 與跨領域詮釋模式，規劃三階段發展策略，逐步強化跨系統整合、情境推演與決策支援功能，並以集水區與城市尺度構思未來示範案例，對接我國數位轉型與調適治理需求。

**關鍵詞：**調適能力方法學，跨領域風險評估，策略模擬，數位孿生

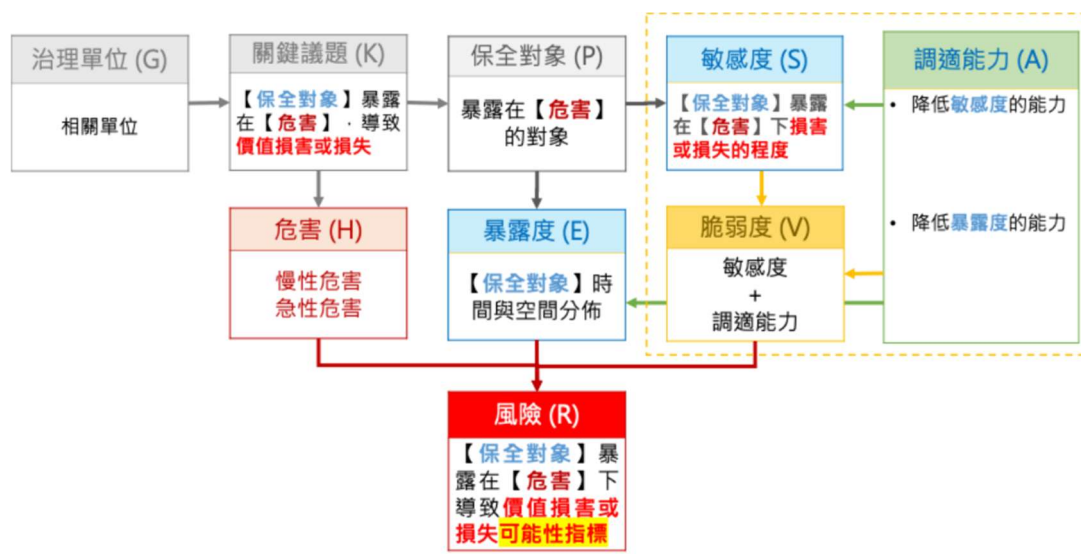


圖 4-9 氣候韌性調適資源庫-支援氣候變遷實體風險模板

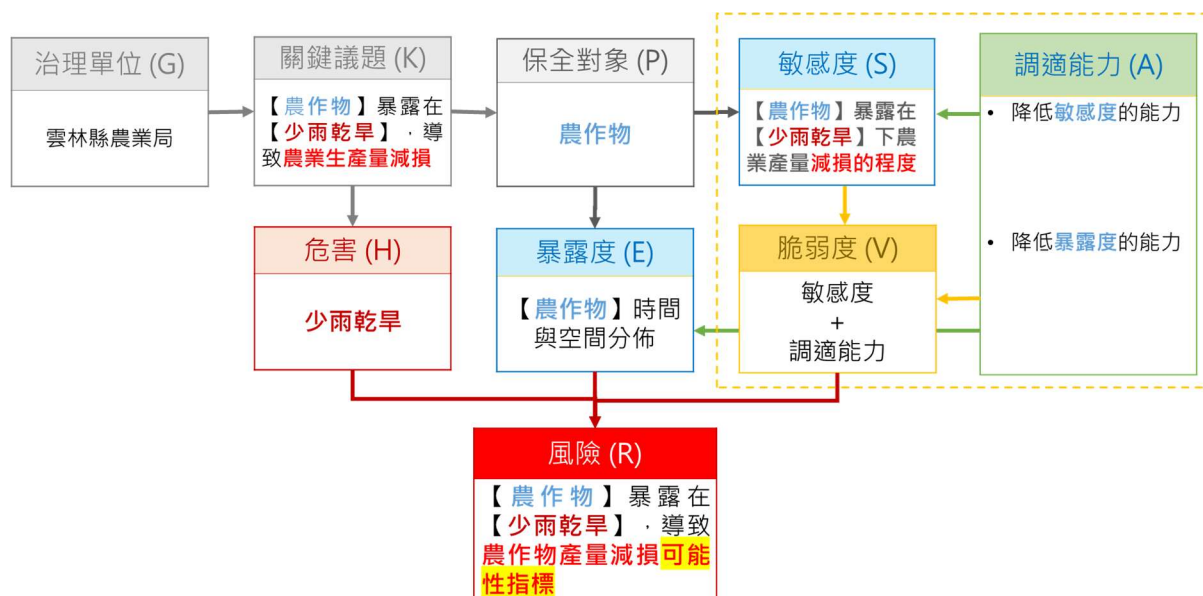


圖 4-10 跨領域風險評估-根據衝擊鏈轉成風險模板

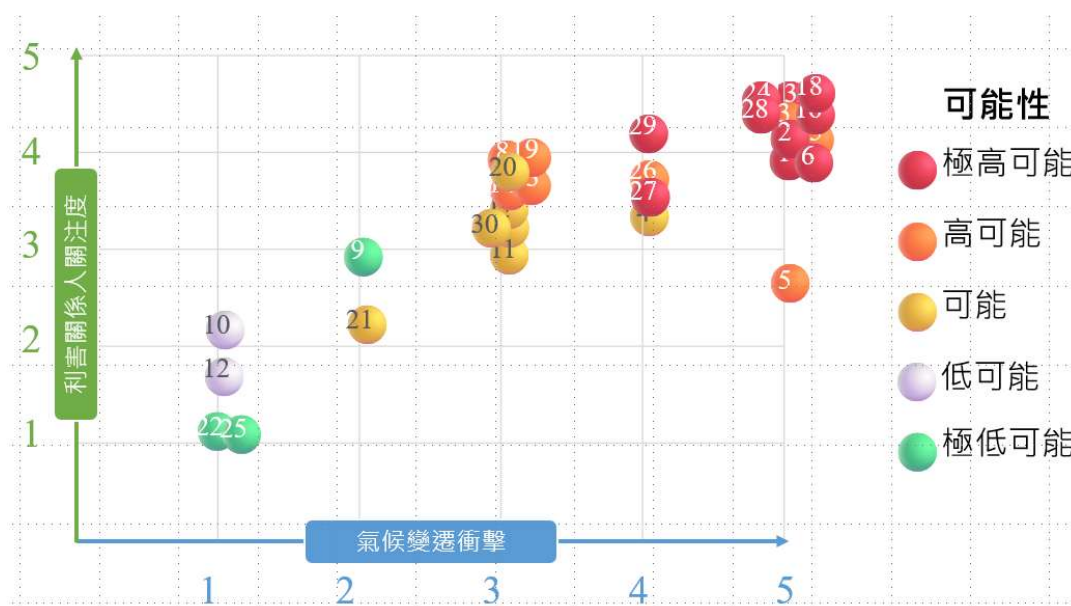


圖 4-11 氣候變遷衝擊之重大性議題矩陣分析

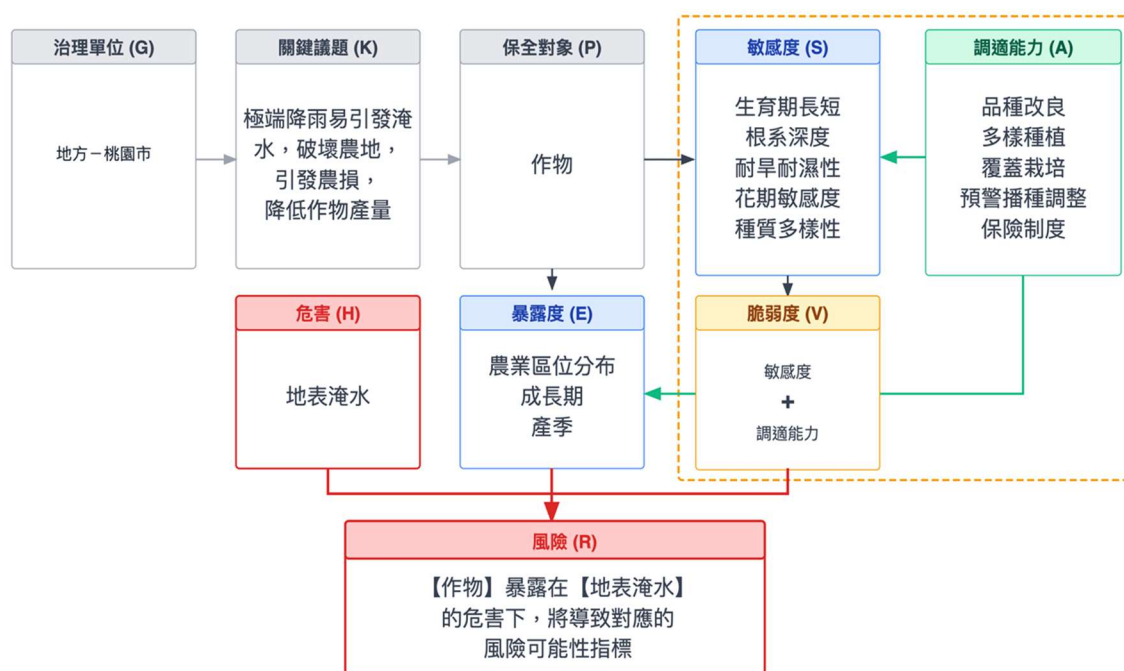


圖 4-12 氣候變遷衝擊關鍵議題→風險模板→危害、保全對象

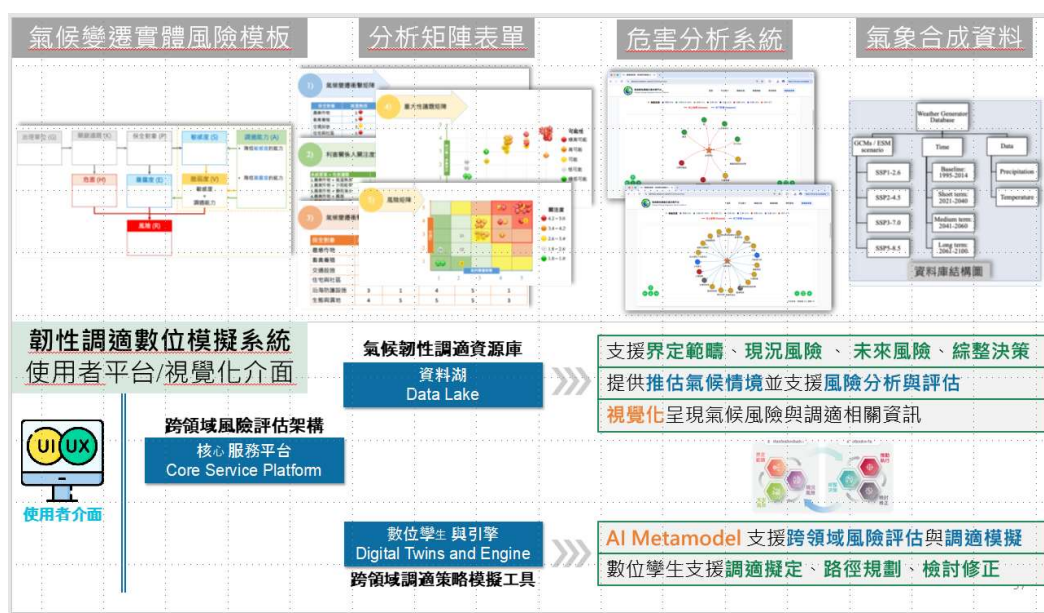


圖 4-13 氣候變遷韌性調適數位模擬系統發展路徑



圖 4-14 整合 DIKW 架構擘劃數位孿生概念的國家級發展

### 三、114 年國家氣候變遷智能服務平台服務計畫—數據整合、系統開發及圖台建置

National Climate Change Intelligent Service Platform Program 2025  
- Data Integration, System Development, and Map Platform Establishment

#### (一) 計畫緣起

面對氣候變遷所帶來的風險與影響範圍與日俱增，我國於 2010 年開始建立國家氣候變遷調適推動機制，成立專案小組以健全我國因應氣候變遷之能力，並於 2012 年通過「國家氣候變遷調適政策綱領」，2014 年展開第一期的「國家氣候變遷調適行動計畫(102-106 年)」，分成 8 個領域進行，由各權責機關協力推動氣候變遷調適工作。2017 年原行政院環境保護署(環境部前身)公布「溫室氣體減量及管理法」，並據以制定「國家因應氣候變遷行動綱領」，成為我國推動氣候變遷調適政策總方針，其後於 2018 年與國家發展委員會等 16 個部會共同研擬「國家氣候變遷調適行動方案(107-111 年)」，持續推動我國調適工作。2023 年修正「溫室氣體減量及管理法」為「氣候變遷因應法」，並新增調適專章，強化氣候變遷調適能力建構、科研接軌及各級政府推動架構，同年即依「氣候變遷因應法」規定，制定發布「國家氣候變遷調適行動計畫(112-115 年)」。

面對氣候風險，各部會與地方政府需落實風險評估與調適規劃執行，鑑此，國科會與國環院氣候變遷研究中心成立「氣候變遷調適科研生態圈」及「氣候變遷調適科研協作平台」，定期透過會議溝通，期待凝聚跨部會需求，規劃後續氣候變遷風險評估與調適的基礎科學研究面及整合應用支援輔導的協助。

氣候變遷調適計畫擬定及推動上，需先辨識氣候變遷風險及調適缺口，並界定關鍵議題、評估其氣候衝擊、風險及既有調適作為是否能因應，據以制定調適目標、策略及措施。而目前氣候變遷風險評估資料散落各單位，且氣候變遷衝擊議題多樣，議題蒐集及關鍵議題界定需綜合考量跨領域及多元潛在影響資訊，這

些因素都增加各單位在氣候變遷風險評估及調適計畫制定的難度。為了發展整合應用支援輔導，國環院分別透過「氣候變遷調適與風險評估跨域協作策略規劃與專業培力研究計畫」、「114 年國家氣候變遷智能服務平台服務計畫—調適能力方法學建構研究」、「114 年國家氣候變遷智能服務平台服務計畫—數據整合、系統開發及圖台建置」等計畫，以盤點氣候變遷風險評估與調適輔助支援需求與量能、相關工具方法學建構，以及資料庫及工具建立(圖 4-19)。

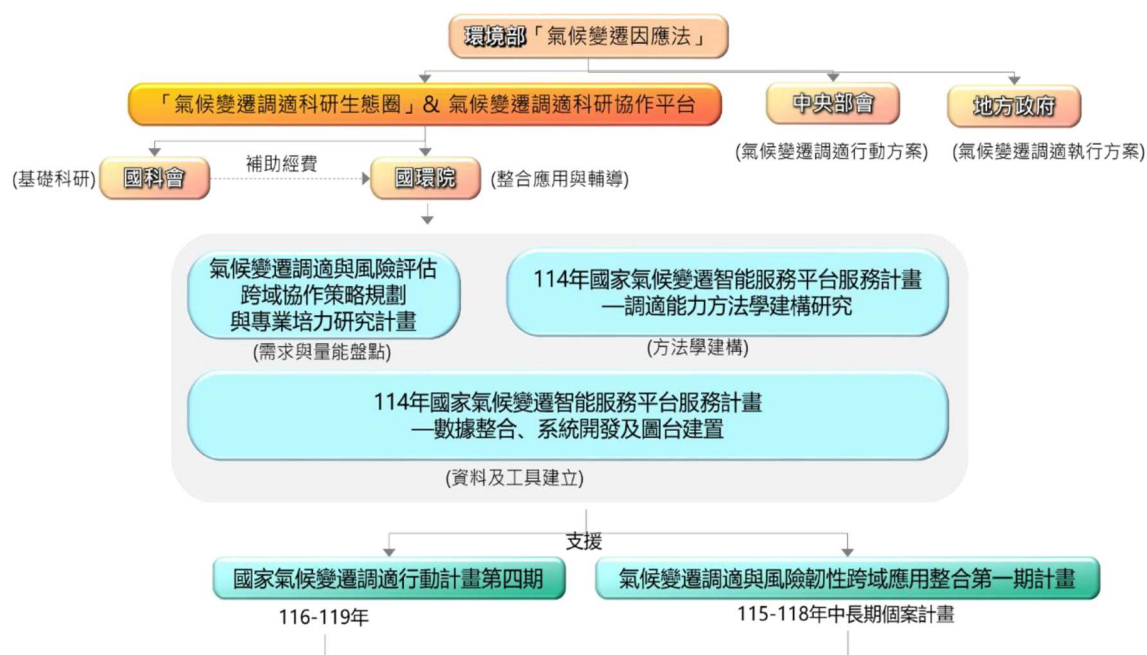


圖 4-15 科研協作及國環院各計畫定位

因此，2024 年起建立「國家氣候變遷智能服務平台」，目的為搭配科研協作平台結合「專業支援 + 氣候變遷調適資料整合平台」完成風險評估與調適策略(圖 4-20 與圖 4-21)，以數據、案例、知識、工具做為核心，整合各單位氣候變遷相關開放數據及資訊，以利使用者了解如何針對自身面臨的調適衝擊領域、議題、保全對象擬定風險評估及調適工作。希望可以幫助各層級更全面地掌握氣候變遷相關議題、衝擊影響及評估未來風險，輔助調適策略缺口評估及調適措施擬定參考。

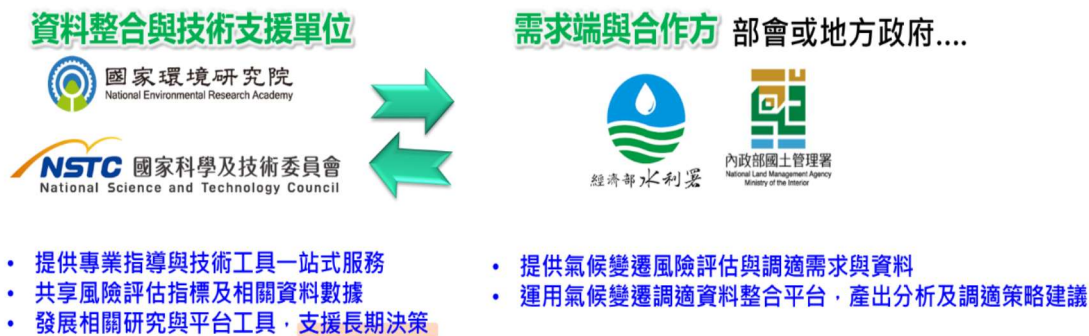


圖 4-16 科研協作平台定位說明



圖 4-17 科研協作平台機制與國家氣候變遷智能服務平台整合

## (二) 計畫成果摘要

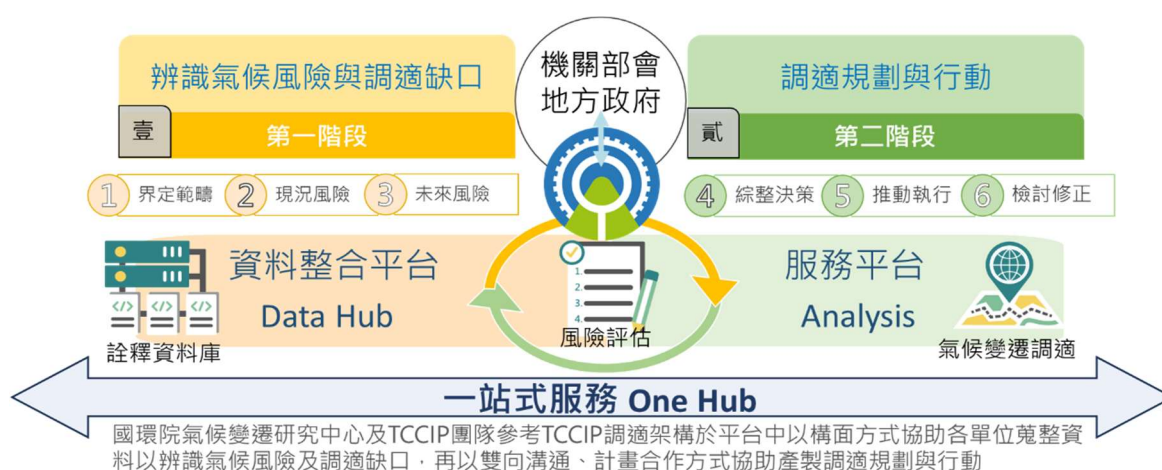
本計畫依據「氣候變遷因應法」及地方政府調適需求，針對國家氣候變遷智能服務平台進行系統化資料盤點、功能建置及策略模板開發，以提升中央與地方在氣候變遷調適工作的資料整合能力、分析支援及決策應用。首先蒐集並整理各單位氣候變遷風險評估所需數據及地理圖資，納入詮釋資料庫、氣候變遷調適圖台、調適知識庫及氣候韌性調適策略工具應用，並依 22 縣市調適執行方案內容盤點風險議題、分析項目、所需資料及調適措施，新增詮釋資料 52 項、圖資 27 項及調適文章 16 篇，提升資料完整性與跨部會、地方政府應用效能。

為支援各界氣候變遷調適工作，計畫依調適工作坊問卷結果

及地方政府調適執行方案，掌握跨部會及縣市政府關注的氣候風險與調適領域，持續精進平台功能，包括使用介面調整、資料擴充與案例庫更新，強化分析與決策支援能力，使平台成為各級政府跨領域調適工作的實務工具。依據「國家氣候變遷調適行動計畫(112-115 年)」及「氣候變遷風險評估作業準則」，將氣候風險評估與調適兩階段六構面整合於平台，建構氣候韌性調適策略模板及系列功能，提供風險評估操作說明、歷史災害事件查詢、範例風險模板檢視及風險模板產製，透過宏觀作業原則及視覺化工具，引導使用者掌握評估程序、方法內涵及輔助資訊，支援中央與地方跨層級、跨領域推動調適策略。

同時，本計畫建置 GIS 圖台作為核心分析工具，整合多面向資料並以可視化方式呈現氣候衝擊、暴露與脆弱度，協助跨部門協調及策略研擬。圖台納入河川揚塵對居民健康影響、高溫臭氧健康風險及降雨對坡地崩塌衝擊三大議題，蒐集環境、氣候及敏感族群資料進行套疊分析，並將分析成果與調適策略模板連結，以視覺化方式呈現各地區衝擊與調適措施，提升資料透明度、分析精準度及政策應用效能，支撐環境部及地方政府調適決策與行動計畫執行。

**關鍵詞：**氣候變遷韌性調適、資訊整合、地理資訊系統



**圖 4-18 科研協作平台科-結合軟體及硬體之一站式服務平台**

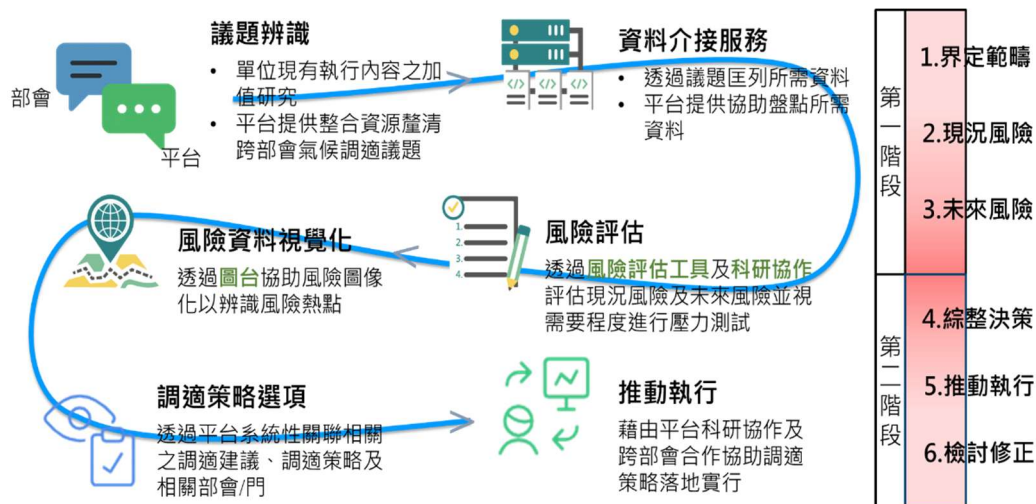


圖 4-19 計畫產出運用方式



圖 4-20 圖資套疊初步辨識易受災害影響之區域範圍

持續高溫會導致空氣中臭氧濃度不斷上升，在氣候變遷影響下可能造成人體危害

蒐整風險因子及對應圖資

| 指標   | 危害度                          | 暴露度      | 脆弱度                                                         |
|------|------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------|
| 風險因子 | 極端高溫、臭氧危害天數                  | 都市熱島暴露指標 | 老年人口、獨居老人比例<br>14歲以下人口、醫療院所病床數、社區關懷照顧據點數、綜合所得稅<br>15歲以上人口統計 |
| 圖資名稱 | 極端高溫持續指數(HWDI) 臭氧大於60ppb累積天數 | 都市熱島暴露指數 | 醫療院所病床數統計<br>社區照顧關懷據點統計<br>低收入戶戶數統計                         |

資料來源：國家環境研究院

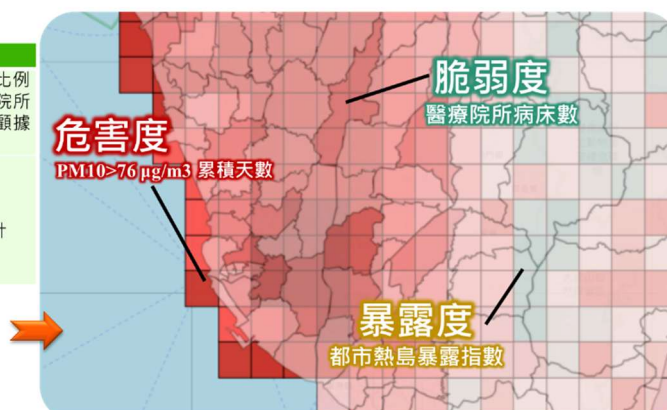


圖 4-21 強化與擴充氣候變遷調適圖台與應用工具(1)

部分地質敏感及潛勢區，可能因氣候變遷導致的極端降雨，造成崩塌地的危害風險

#### 蒐集風險因子及對應圖資

| 指標   | 危害度                                | 暴露度             | 脆弱度                             |
|------|------------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| 風險因子 | 極端降雨與洪水                            | 全國土地利用113年崩塌地面積 | 坡度、土石流、崩塌                       |
| 圖資名稱 | AR6氣候變遷關鍵指標降雨指標：四種排放情境+大雨、豪大雨及降雨強度 | 113年全國崩塌地面積     | 全國坡度網格圖資、土石流潛勢溪流影響範圍、山崩與地滑地質敏感區 |

資料來源：國家環境研究院

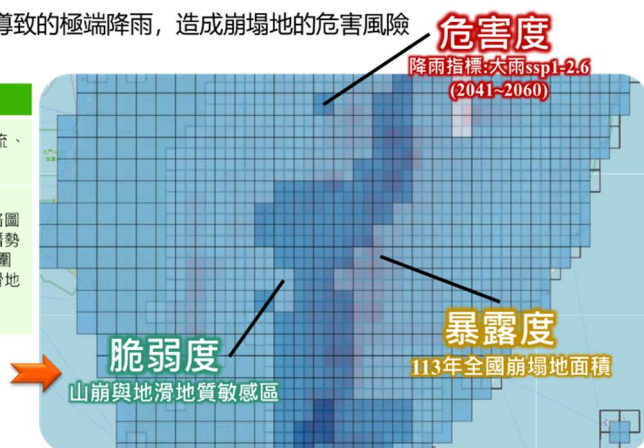


圖 4-22 強化與擴充氣候變遷調適圖台與應用工具(2)

#### GIS結合氣候韌性調適策略模板輔助呈現

- 輔助使用者於後台產製調適策略模板後，可直接依照模板設定之暴露度及危害度，直接連結至GIS查看易受氣候變遷影響範圍。

1.使用者設定完調適策略模板後，可點擊「前往查看指標數值分布與風險圖」



2.系統依照設定之暴露度及脆弱度項目，自動於地理資訊圖台套疊圖資，直接呈現套疊成果

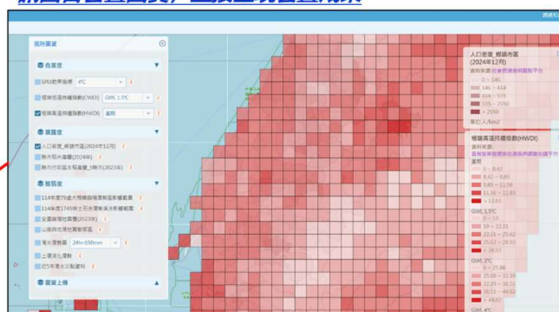


圖 4-23 強化與擴充氣候變遷調適圖台與應用工具(3)

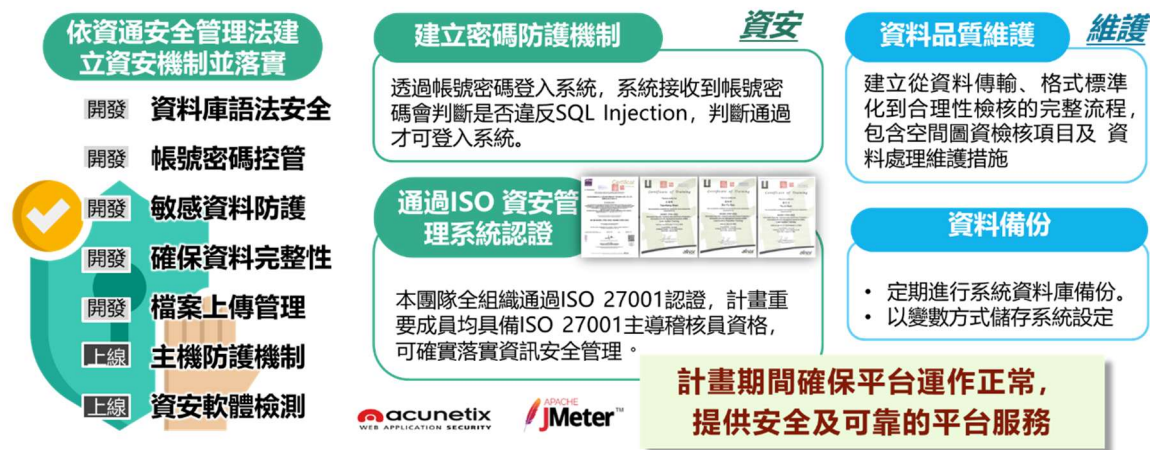


圖 4-24 平台、資料維護及資訊安全管理

#### 四、淨零政策之環境風險評估(3/4)

##### Environmental risk assessment of net zero CO<sub>2</sub> emissions (3/4)

#### (一) 計畫緣起

面對全球氣候變遷衝擊，臺灣於 111 年 3 月發布《臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明》，以能源、產業、生活與社會四大轉型路徑，結合科技研發與氣候法制兩大治理基礎，並透過十二項關鍵戰略，引導各部門推動減碳與循環轉型。其中，「資源循環零廢棄」戰略以提升資源效率與廢棄物加值再生為核心，期建構低物質消耗、高資源生產力之循環經濟體系；其下「能資源化再利用」策略，則透過強化廢棄物分類與分流管理，推動可燃廢棄物燃料化，逐步邁向零廢棄社會之政策目標。透過適當前處理程序，將部分廢棄物轉化為替代燃料(Waste to Fuel, WtF)，並導入廢棄物能源化技術(Waste to Energy, WtE)，不僅可減輕焚化與掩埋設施之處理負荷，亦可回收能源、降低溫室氣體排放，對我國低碳轉型具重要意義。然而，我國早期廢棄物能源回收多以直接焚化為主，缺乏對衍生燃料(RDF)品質之系統性管理，致使污染風險難以掌握。相較之下，歐盟近年積極推動固體再生燃料(SRF)，並建立品質分級與檢測制度，使其得以安全應用於流體化床鍋爐、水泥旋窯等設施，展現減煤降碳與提升能源效率之效益。惟因 SRF 成分複雜，且多數既有設備非為其特性設計，實務操作仍面臨燃燒穩定性與污染控制等挑戰，亟需完善之環境管理指引。

依環境部 113 年「SRF 體檢報告」顯示，國內正常運作之 SRF 製造廠計 48 家，年產量約 29 萬公噸，僅占許可使用量之 18%；具設置與操作許可之使用端廠商共 21 家，其中 16 家正常運作，顯示 SRF 推動仍具發展潛力，惟其污染防制與管理機制有待強化。本研究自 112 年起已完成 15 家 SRF 使用廠之污染物採樣與分析，並針對部分場址執行環境風險評估。114 年度擴大評估範圍至南部與東部地區，並聚焦 SRF 燃燒污染物生成特性、空氣污染防制設備效能及最佳可行控制技術(BACT)之研提，同時納入製造與使用設施逸散源評估，以強化整體環境管理。另鑑於全球

塑膠廢棄物回收率偏低，塑膠回收再生雖有助於減碳與減量，惟其製程中可能釋放添加劑、工業殘留物及微塑膠，對環境與健康造成潛在風險。研究亦針對塑膠回收再生製程之污染特性進行前期分析，作為後續風險評估與政策規劃之科學依據。

## (二) 計畫成果摘要

固體再生燃料(Solid Recovered Fuel, SRF)作為煤的一種替代燃料，不僅有助於減少垃圾掩埋量，亦可降低對石化燃料之依賴，進而達成減緩溫室氣體排放的目標。然而，由於 SRF 原料來源多元且組成複雜，其燃燒過程中可能產生戴奧辛、多環芳香烴及重金屬等有害污染物，對環境與人類健康可能潛藏風險。

計畫持續更新並彙整國內固體再生燃料(SRF)使用廠之調查成果，截至 114 年 11 月，國內取得 SRF/RDF 設置或操作許可之工廠共 21 家，設置流體化床鍋爐 28 座及旋窯系統 10 座，SRF 年最大許可使用量約 160.7 萬公噸，惟實際年產量僅約 29 萬公噸，約占最大許可量 18%，目前正常運作之 SRF 使用廠為 16 家。本年度執行污染物排放診斷作業，綜合考量燃料來源多元性、空氣污染防制設備完備度，分別完成燃料特性與污染物排放檢測，探討 PCDD/Fs 之生成機制與控制特性。結果顯示使用之 SRF 均符合品質標準，且 PCDD/Fs 主要生成機制皆為鍋爐出口至 SCR 入口區段之低溫再合成。整體而言，採用相同類型之污染防制設備，不同煙氣條件下仍會導致處理效能差異。

計畫亦完成 SRF 製造與使用廠之逸散源及污染控制技術評析，並針對混燒 SRF 所產生之 PCDD/Fs 等污染物進行最佳可行控制技術評估，以 SCR+ACI+BF+FGD 或 SCR+觸媒濾袋+FGD 作為 SRF 為替代燃料之鍋爐系統末端防制之最佳技術組合，可有效將 PCDD/Fs 排放控制於 0.1 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup> 以下，並同時符合 PSN 與重金屬排放標準。本研究依政府公開資料完成環境風險評估基礎資料建置，並針對多家 SRF 使用廠進行煙道氣污染物擴散模擬與多介質(空氣、土壤、水體及底泥)污染物濃度與風險比較分析，結果顯示整體風險多低於可接受範圍。計畫完成 11

場次塑膠回收再生製程實地訪視，彙整潛在危害性物質資料，作為後續環境風險評估及污染防制設備建議之重要依據。

**關鍵詞：**環境風險評估，淨零，固體再生燃料

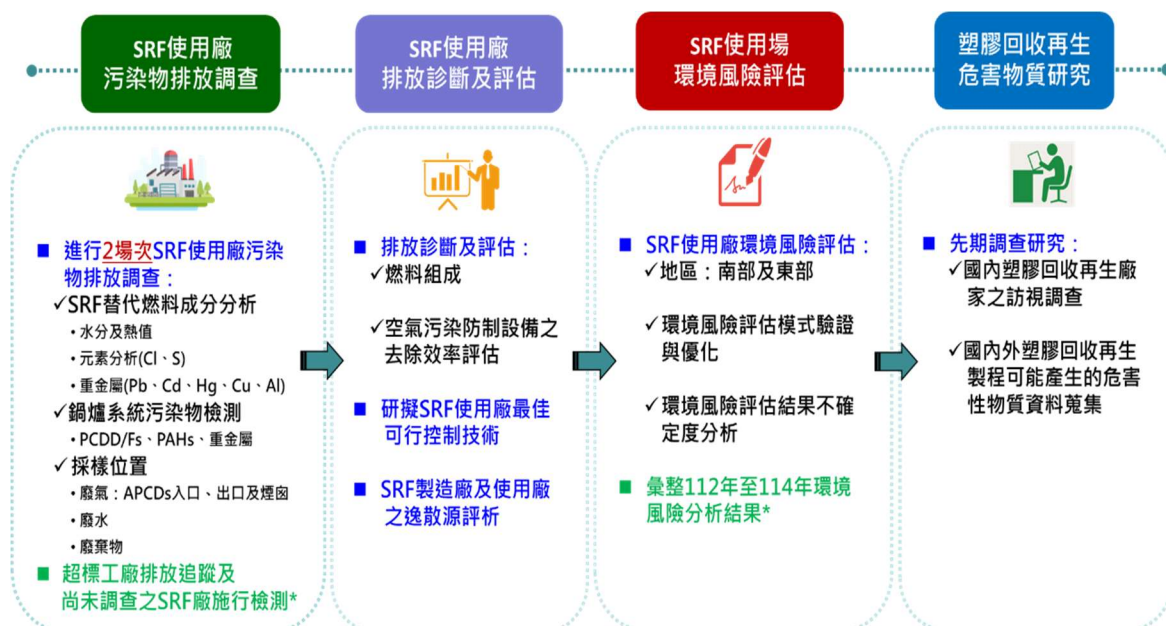
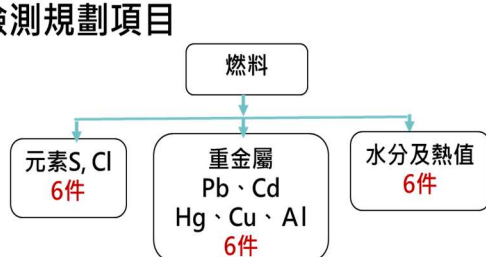
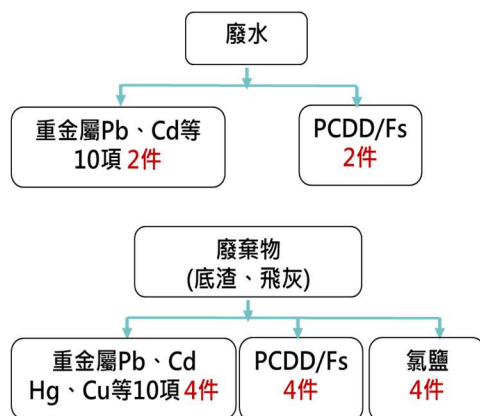
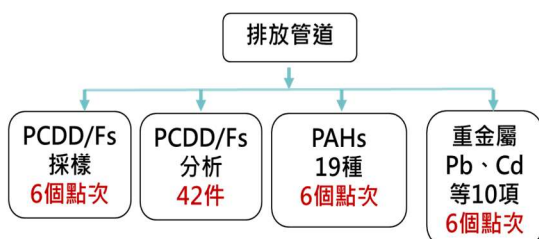


圖 4-25 2025 年淨零政策之環境風險評估計畫執行架構

## 1. 燃料檢測規劃項目



## 2. 污染物排放檢測規劃項目



☆每場次同步執行煙氣污染物採樣3個位置，2場次共計6個點次  
 ☆每個位置PCDD/Fs分析樣品數3件+1件空白  
 ☆每件樣品氣相PCDD/Fs分析+固相PCDD/Fs分析  
 =>故每場次分析21件樣品

圖 4-26 SRF 使用廠污染物生成與排放調查

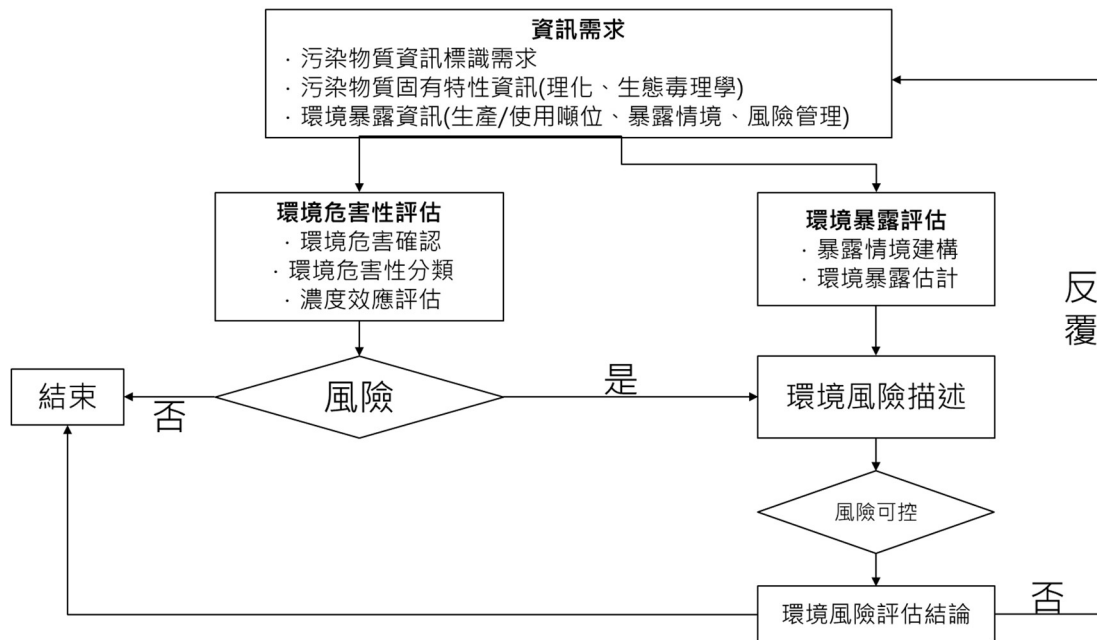


圖 4-27 污染物質環境風險評估流程

多介質傳輸途徑估算: 由空氣進入水體之濃度估算

公式B-1:  $C_w = C_{\text{depw}}$

1.  $C_w$ : 水中平均濃度( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
2.  $C_{\text{depw}}$ : 空氣直接沉降量( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

• 水域體積(WV):

$$SA \times \text{水位} \times 1000$$

註: 水域體積(kg)、水域面積( $\text{m}^2$ )、水位(m)

公式B-2:  $C_{\text{depw}} = \frac{\text{Dep} \times SA \times 365}{WV \times VC}$

1. Dep: 每天於水體之直接沈降量( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$ )
2. SA: 水體表面積( $\text{m}^2$ )
3. WV: 水體體積(kg)
4. VC: 水體每年置換次數

• 水體置換次數(VC):

$$1 / [1000 \times SA \times \text{水位} / (\text{流速} \times SA) / 31536000]$$

註: 一整年的秒數31536000s、水域面積( $\text{m}^2$ )、水位(m)、流速( $\text{m}/\text{s}$ )

圖 4-28 蒐集國內環境介質暴露參數

## 五、資源循環及減碳效益驗證技術(3/4)

Resource circulation and verification technologies for carbon reduction benefits (3/4)

### (一) 計畫緣起

為實現聯合國 2021 年制定之 2050 淨零碳排計畫，許多國內外企業已開始將循環經濟思惟納入發展的藍圖上，各國均認定循環經濟是推動未來經濟發展的新引擎，有別於以往的污染防治、廢棄物管理等環保作為，循環經濟更強調透過資源循環創造新的經濟利益。近幾年，各國紛紛頒布資源循環相關法令，並依此研擬諸多行動方案，我國國家發展委員會亦因應淨零碳排目標，於 2022 年 3 月 30 日公布十二項關鍵戰略，並將資源循環零廢棄納為其一戰略，於國際趨勢與國內關鍵戰略之推動願景下，應盡速完備我國資源循環發展規劃，落實行動方案，並提供多元化之減碳驗證技術以鼓勵各界證明自身減碳成效。

國環院於 112 年度起即於資源循環及減碳效益驗證技術計畫投入燃料及再生塑膠之驗證技術研究，燃料部分分別於 112 年度完成國際標準方法 ISO 21644-2021 固體燃料中生質碳方法適用性評估，依據評估結果於 113 年度完成我國低背景液體閃爍計數器搭配高溫燃燒轉化系統之檢測量能建置；再生塑膠驗證技術則是於 112 年度以英國標準方法 BSI Flex 6228: v2.0 進行聚對苯二甲酸乙二醇酯(Polyethylene Terephthalate, PET)酯粒及再生 PET 商品先期測試，113 年度完成了國內代表性原生、再生 PET 酯粒之特徵建立，由特徵結果顯示我國不同產品應用之原生、再生 PET 酯粒具一定特徵變異，顯示如要以檢測方法研判再生塑膠添加比例確實有其困難度，並建議未來可發展再生塑膠辨識或包裝材是否含 30%再生料添加比例的檢測技術作為未來輔助查驗的科學技術。

本期計畫期能蒐集國際間對於再生塑膠鑑別的驗證機制或執行細節，並綜整再生塑膠技術建置成果提出一技術報告；另將生質碳方法擴大應用至固態生質燃料、固體再生燃料、廢棄物再

利用燃料等，並依據「環境檢測標準方法制訂作業流程指引」之「方法驗證注意事項」完成相關驗證數據，以完善我國燃料中生質碳含量檢測標準方法(B 級)草案。

## (二) 計畫成果摘要

因應「2050 淨零碳排」及「資源循環零廢棄」政策目標，本期計畫延續前期成果，持續進行「資源循環技術發展趨勢蒐研」，並研析國際間「再生 PET 塑膠驗證與管理」及「燃料中生質碳比率檢測方法建置」三大核心工作項目，期能建構我國具科學依據之資源循環與減碳效益驗證體系。首先，於資源循環技術發展趨勢，本計畫每月定期蒐整並分析國內外資源循環相關法規、標準制度、技術研發與產業應用動態，迄今已累計產出十篇新訊彙整與十八篇中文研析報告。整體趨勢顯示，全球資源循環已由傳統回收導向，逐步轉向標準化、高值化與全鏈整合的體系，發展重點聚焦於再生料應用規範、產品循環設計、數位化管理工具及資源循環認證制度之建置，以提升再生產品品質與市場信任度。同時，國際趨勢亦強調以資源循環減量方法作為淨零碳排的重要支撐策略，透過產品設計優化、再生料替代原生料、資源使用效率提升與碳足跡管理，實現從源頭減量到全生命週期的減碳目標。此一發展脈動已廣泛反映於塑膠、紡織、有機與無機資源、金屬及特殊廢棄物(如石綿、光電模組、風力葉片)等領域，為我國未來政策調適與產業轉型提供重要參考依據。

歐盟自 2015 年《循環經濟行動計畫》起，逐步建構涵蓋產品設計至末端處理的全鏈管理體系，透過《塑膠策略》、《一次性塑膠指令》、《塑膠稅》及《包裝與包裝廢棄物規則》等法制，推動 2030 年所有塑膠包裝可回收或再利用之目標。其治理模式以法律規範、財政誘因與技術標準化三軌並行，並以生產者責任延伸制度(Extended Producer Responsibility, EPR)與塑膠包裝稅(Plastic Packaging Tax, PPT)為核心。EPR 採生態調節費率(Eco-modulation)，由生產者責任組織(Producer Responsibility Organizations, PRO)執行與監理；PPT 則針對未回收或非再生包

裝課稅，並要求依 EN 15343 標準進行第三方驗證。歐盟同時建立 RecyClass 與供應鏈稽核機制以確保可追溯性。綜合歐洲經驗與我國「四合一回收制度」現況，本計畫建議導入 Eco-modulation 差異費率、評估建立 PRO 協作架構，並參考 EN 15343 結合再生 PET 等塑膠科學檢測技術，作為質量平衡外的獨立驗證層級，以提升我國再生塑膠管理體系之透明性、可信度，以上結果彙整產出「再生 PET 塑膠鑑別或添加比例檢測方法」技術報告。

在燃料中生質碳比率檢測方法建置部分，計畫以 114 年碳費徵收對象常用之代表性燃料(包括固體生質燃料、固體再生燃料與廢棄物衍生燃料)進行真實樣品分析，並參考 ISO 21644:2021 國際標準，分別以加速器質譜儀檢測碳十四(AMS-14C)、液態閃爍計數器檢測碳十四(LSC-14C)與選擇性溶解法(SDM)等方法進行生質碳比率驗證。以國際生質碳比率標準品驗證結果顯示，AMS-14C、LSC-14C 和 SDM 生質碳比率方法適用範圍分別為 1.5~100%、10~100%及 10~90%；重複樣品之標準差應在 15%以內，而查核樣品差值應在 15%以內。以國內真實燃料樣品驗證結果顯示，以 AMS-14C 測值為基準值進行比較，LSC-14C 於本計畫驗證之燃料基質適用性佳，而 SDM 於部分燃料基質的檢測值與基準值比較差異較大，研判可能與燃料中含有 SDM 方法不適用的材料如聚醯胺、聚氨酯等，綜整以上生質碳比率驗證成果撰寫燃料中生質碳比率標準檢測方法(草案)。

**關鍵詞：**資源循環、再生塑膠、生質碳含量

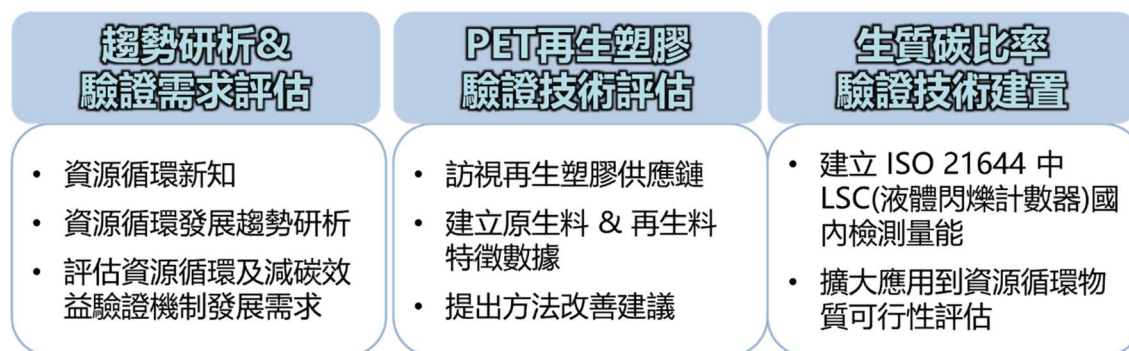


圖 4-29 資源循環及減碳效益驗證技術計畫執行架構



## 六、擴展國際交流合作

### (一)「凝聚共識、邁向未來」氣候變遷調適與環境治理國際論壇暨座談會

#### **Towards the Future: International Forum and Symposium on Climate Change Adaptation and Environmental Governance**

氣變中心持續深化跨部門、跨領域及國際合作，舉辦「邁向未來：氣候變遷調適與環境治理國際論壇暨座談會」，廣邀歐盟、日本、韓國及國內中央政府機關、學研單位與地方環保機關代表參與，促進氣候調適與環境治理之政策與研究交流。論壇期間並與韓國氣候變遷中心(Korea Climate Change Center, KCCC)簽署合作備忘錄(MOU)，未來將於氣候教育與公共參與、氣候政策研究與策略發展、氣候調適與減緩專案，以及能力建構與知識共享等面向深化合作，拓展氣候議題之國際夥伴關係。兩日會議共辦理22場專題演講與政策發表，並展出20件研究成果海報，透過專題演講、成果分享與跨領域座談，展現臺灣在氣候治理與淨零轉型之研究能量，並有效強化國際資訊交流、研究合作與政策連結，擴大臺灣於氣候變遷調適與永續發展領域之國際影響力。



圖 4-31 「凝聚共識、邁向未來」國際論壇主視覺

環境部彭部長致詞時，表示面對日益嚴峻的極端氣候，環境部特別在高溫調適行動展現具體作為，包括透過「涼適地圖(Cool map)」進行城市熱島效應調查與分析，協助地方政府規劃降溫綠基礎建設與韌性社區，並推動跨部會合作，減緩高溫對健康及社會的衝擊。此外，論壇中亦特別強調天氣預報功能與跨域合作之災防支援、能源挑戰與韌性以及在地落實與調適行動等議題，展

現臺灣在氣候變遷調適上的全方位努力。

| Time        | Event title                                             | Speaker                                                                                                                                                                  |
|-------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10:30-11:00 | Guest Registration                                      |                                                                                                                                                                          |
| 11:00-11:15 | Opening remarks                                         | <b>Chi-Ming Peng (彭啓明)</b><br>Minister, Ministry of Environment                                                                                                          |
| 11:15-11:35 | MOU Signing Ceremony                                    | <b>Tsung-Yung Liu (劉宗勇)</b><br>President, National Environmental Research Academy (NERA), M.O.Env.<br><br><b>Jai-Chul Choi</b><br>Chairman, Climate Change Center, Korea |
| 11:35-11:45 | Group Photo                                             |                                                                                                                                                                          |
| 11:45-12:15 | Global Adaption: From Periphery to Center-Korea's Case. | <b>Jai-Chul Choi</b><br>Chairman, Climate Change Center, Korea                                                                                                           |

圖 4-32 論壇第一日上午開幕議程



圖 4-33 環境部彭部長致詞



圖 4-34 國環院與韓國氣候變遷中心展示簽署合作備忘錄



圖 4-35 國環院與韓國氣候變遷中心交換合作備忘錄



圖 4-36 國環院與韓國氣候變遷中心交換合作備忘錄

自環境部成立以來，以氣候變遷調適、環境治理、資源循環為重點政策，國環院積極推動科學研究協作與跨部會合作，成果包括：國家氣候變遷資料整合及資訊服務平台建置、廢聚酯回收升級技術、現地污染溯源技術、新興污染物鑑識與毒物研究等。本次論壇邀請歐盟、日本、韓國及國內領域資深學者共同交流研討，並有環境部氣候變遷署、環境部資源循環署、環境部化學物質管理署、國家科學及技術委員會、經濟部水利署、內政部國土管理署、交通部中央氣象署、中央研究院、工業技術研究院、臺灣大學、中原大學、中央大學、各地方環境保護局及其他專家等

共襄盛舉。透過本次論壇的交流與合作，持續在氣候變遷調適、資源循環與環境治理三大面向上攜手共進，並以實際行動回應全球氣候挑戰。

| Session I   |                                                                                                                    |                                                                                                                  |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 13:30-14:00 | <b>The European Union's Disaster Risk Management and Climate Change Adaptation.</b>                                | <b>Juha-Pekka Jäpölä</b><br>Policy Officer, EU Commission                                                        |
| 14:00-14:20 | <b>From Weather Monitoring to Climate Action: Building National Early Warning Capabilities for Extreme Weather</b> | <b>Kuo-Chen Lu (呂國臣)</b><br>Director General, Central Weather Administration, M.O.T.C.                           |
| 14:20-14:40 | <b>National Land Resilience under Climate Change</b>                                                               | <b>Yen-Hsing Hsu (徐燕興)</b><br>Deputy Director-General, National Land Management Agency, Ministry of the Interior |
| 14:40-15:00 | <b>Climate Adaptation Governance and Action in Taiwan.</b>                                                         | <b>Hsu-Cheng Hsu (徐旭誠)</b><br>Deputy Director General, Climate Change Administration, M.O.Env.                   |
| 15:00-15:20 | <b>Comprehensive Discussion Session</b>                                                                            |                                                                                                                  |

圖 4-37 論壇第一日主場下午氣候變遷領域議程

| Session II  |                                                                                                                     |                                                                                                                                              |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Time        | Event title                                                                                                         | Speaker                                                                                                                                      |
| 15:30-16:00 | <b>Circular economy and environmental reliability in Japan's construction industry</b>                              | <b>Hirofumi Sakanakura</b><br>Section Head, Material Cycles Assessment Research Section, National Institute for Environmental Studies, Japan |
| 16:00-16:20 | <b>Circular Economy in the Face of Climate Change</b>                                                               | <b>Ying-Ying Lai (賴瑩瑩)</b><br>Director General, Resource Circulation Administration, M.O.Env.                                                |
| 16:20-16:40 | <b>From Waste to Recycled Resources: Key Technologies and Innovative Applications in Taiwan's Circular Economy.</b> | <b>Ya-Fen Wang (王雅玢)</b><br>Professor, Department of Environmental Engineering, Chung Yuan Christian University                              |
| 16:40-17:00 | <b>Development and Rethinking of Waste-to-Energy Technologies.</b>                                                  | <b>Kung-Yuh Chiang (江康鈺)</b><br>Distinguished Professor, Graduate Institute of Environmental Engineering, National Central University        |
| 17:00-17:20 | <b>A Practical Approach to Upcycling Technology for Waste Polyester Recycling</b>                                   | <b>Hsu-I. Mao (毛栩毅)</b><br>Associate Research Fellow, Climate Change Research Center, NERA, M.O.Env.                                         |
| 17:20-17:40 | <b>Comprehensive Discussion Session</b>                                                                             |                                                                                                                                              |

圖 4-38 論壇第一日主場下午資源循環領域議程

| Session III |                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                 |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14:00-14:20 | Sluggish mitigation makes adaptation more pressing.                                                             | <b>Huang-Hsiung Hsu (許晃雄)</b><br>Distinguished Research Fellow,<br>Research Center for Environmental<br>Changes, Academia Sinica                                                |
| 14:20-14:40 | Practical Paths for High Temperature Adaptation Actions under Climate Change.                                   | <b>Shu-Ling Lin (林淑鈴)</b><br>Division Chief, Climate Change<br>Administration, M.O.Env.                                                                                         |
| 14:40-15:00 | Real-Time PM2.5 Chemical Composition Analysis for On-Site Source Apportionment.                                 | <b>Po-Chao Wu (吳栢兆)</b><br>Associate Research Fellow,<br>Environmental Governance Research<br>Center, NERA, M.O.Env.                                                            |
| 15:00-15:20 | Comprehensive Discussion Session                                                                                |                                                                                                                                                                                 |
| Session IV  |                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                 |
| Time        | Event title                                                                                                     | Speaker                                                                                                                                                                         |
| 15:30-15:50 | Climate risk assessment: method development and application.                                                    | <b>Chang-Fu Wu (吳章甫)</b><br>Distinguished Professor, Institute of<br>Environmental and Occupational Health<br>Sciences, College of Public Health,<br>National Taiwan University |
| 15:50-16:10 | Development and Application of High-Resolution Flood Potential Maps as a Climate Adaptation Strategy in Taiwan. | <b>Kuang-Chih Chang (張廣智)</b><br>Director, Water Resources Planning<br>Branch, Water Resources Agency,<br>M.O.E.A.                                                              |
| 16:10-16:30 | From Vision to Action: Developing a National Platform for Integrated Climate Change Data and Services.          | <b>Pei-Yuan Hsieh (謝佩媛)</b><br>Associate Research Fellow, Climate<br>Change Research Center, NERA,<br>M.O.Env.                                                                  |
| 16:30-16:50 | Comprehensive Discussion Session                                                                                |                                                                                                                                                                                 |

圖 4-39 論壇第一日副場下午環境治理領域議程

| Session V   |                                                                                                                                 |                                                                                                                            |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 09:00-09:30 | Restrictions and Effects on the Environments for Renewable Energy Development - An Observation of REPOS in Japan                | <b>Hisashi Kobayashi</b><br>Professor Emeritus, Ibaraki<br>National University, Japan                                      |
| 09:30-09:50 | Designing Institutions and Policy Instruments for the Inevitable Negative Carbon Economy: A Call to Action                      | <b>Dai-Gee Shaw (蕭代基)</b><br>Adjunct Research Fellow, Institute<br>of Economics, Academia Sinica                           |
| 09:50-10:10 | Shaping the Future of Environmental Governance: Integrating Carrying Capacity, Data Intelligence, and Smart Decision Platforms. | <b>Pei-Te Chiueh (闕蓓德)</b><br>Professor, Graduate Institute of<br>Environmental Engineering,<br>National Taiwan University |
| 10:10-10:30 | Comprehensive Discussion Session                                                                                                |                                                                                                                            |

圖 4-40 論壇第二日主場上午環境治理領域議程(1)

| Session VI  |                                                                                                                         |                                                                                                                                          |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10:40-11:00 | Challenges and Solutions for Water Resources Management under Climate Change                                            | <b>Yeng-Fung Wang (王藝峰)</b><br>Deputy Director General, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs.                            |
| 11:00-11:20 | Applications and challenges of HRMS-based nontarget analysis in the investigation of environmental toxicants.           | <b>Pao-Chi Liao(廖寶琦)</b><br>Distinguished Professor, Department of Environmental and Occupational Health, National Cheng Kung University |
| 11:20-11:40 | Development and Application of Environmental Forensic Techniques for Emerging Per-and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) | <b>Yi-Ju Chen (陳怡如)</b><br>Section Chief, Environmental Governance Research Center, NERA, M.O.Env.                                       |
| 11:40-12:00 | Comprehensive Discussion Session                                                                                        |                                                                                                                                          |

圖 4-41 論壇第二日主場上午環境治理領域議程(2)



圖 4-42 國外專家與談交流



圖 4-43 國內外專家學者及中央部會發表學術研究及政策推動成果



圖 4-44 國外專家學者參訪國家環境研究院交流

## (二) 赴日研習資源循環再利用及氣候變遷調適社會溝通經驗

因應全球氣候變遷衝擊日益加劇及資源永續利用需求持續提升，臺灣與日本皆將氣候變遷調適與資源循環視為國家環境治理的核心戰略。我國已公布「2050 淨零排放路徑」，將資源循環零廢棄及碳捕捉、利用與封存(Carbon Capture, Utilisation and Storage, CCUS)列為關鍵措施，並同步推動《氣候變遷因應法》及相關調適計畫。國環院(NERA)長期投入氣候變遷與資源循環等研究工作，本次赴日研習旨在深入瞭解日本環境科研與技術發展現況，並汲取日本國立環境研究所(National Institute for Environmental Studies, NIES)於研究推動與政策實踐之經驗，作為強化我國氣候調適與資源循環研究，並深化臺日長期合作的重要基礎。



圖 4-45 國環院(NERA)與日本國立環境研究所(NIES)團隊合影



圖 4-46 與 NIES 團隊交流座談

本次研習亦安排參訪川崎環保生活未來館、亞洲航測公司及三峰川電力公司等環保相關場域，藉由實地觀摩與交流，深入瞭解日本在環境監測、能源利用及環境教育推廣等面向之實務經驗，進一步強化我國環保科研與政策支援之整體量能。

川崎環保生活未來館位於日本川崎市浮島廢棄物處理中心旁，以「地球暖化」、「再生能源」、「資源循環」三個主題為中心，可提供市民學習環境保護相關議題，係鄰避設施附屬的睦鄰設施，免費參觀。館內提供多樣化的眼看、耳聽、手觸的體驗活動，讓環境教育變得生動有趣。亞洲航測公司(Asia Air Survey Co., Ltd.)是日本歷史悠久的航空測量與地球觀測專業公司，本次參訪包含環境能源、環境評估資料庫(EADAS)及可再生能源潛勢系統(REPOS)等。在環境能源領域提供多元且專業之地理空間資訊服務(GIS)，以支援再生能源開發、土地管理與基礎建設安全。EADAS 將自然環境、社會環境與防災相關資料系統化整合，作為支援政策與工程規劃的重要基盤。REPOS 以科學化、空間化方式評估可再生能源之導入潛力，協助政府與企業於能源轉型過程中進行合理選址與政策規劃。三峰川電力公司是日本丸紅株式會社的子公司，專注於小型水力發電(Small Hydropower)，是日本最大規模的小水力發電公司，透過利用河流落差，以對環境衝擊較

小的工法進行發電，具豐富經驗和創新技術的日本電力公司。



圖 4-47 川崎環保生活未來館展示



圖 4-48 國環院與亞洲航測公司團隊合影



圖 4-49 國環院與亞洲航測公司團隊交流座談

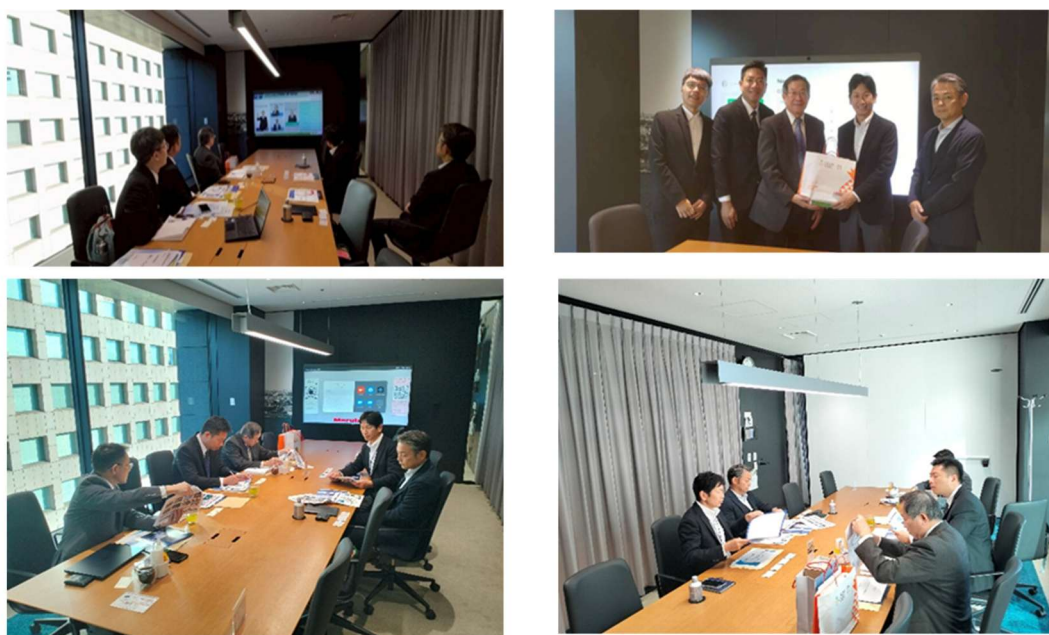


圖 4-50 國環院與三峰川電力公司團隊交流座談

### (三) 紐西蘭參與 Adaptation Futures 2025 國際會議

Adaptation Futures 2025 為全球氣候變遷調適領域具指標性的國際會議之一，匯集逾千名來自學術界、政府部門與在地組織的專家，共同探討「加速氣候韌性發展(Accelerating Climate

Resilient Development)」之策略與實踐。會議聚焦於公正轉型、社區參與、原住民族知識融入、氣候金融與多層級治理等核心議題，並集結聯合國氣候變遷綱要公約(UNFCCC)及各國政府、研究機構與民間組織代表。透過互動式分組討論(panel)與實地導覽(field trip)等多元議程設計，與會者得以深入理解國際間如何以跨部門、跨尺度且以社區為核心的方式推動實質調適行動，並觀察各國將調適目標具體融入都市規劃、生態修復與公正轉型等政策與實務案例，作為在地應用與制度設計的重要參考。

我國於 2023 年公布《氣候變遷因應法》，正式將氣候調適納入法定治理架構，並要求中央與地方政府分階段推動調適行動計畫。然而，相較於溫室氣體減量政策，國內在調適相關的資料基礎、指標體系及跨機關協作機制仍有精進空間。透過參與 Adaptation Futures 2025，不僅有助於強化研究人員對國際最新調適理論、研究重點與政策趨勢的掌握，也可進一步與亞太地區重要研究機構(如日本 NIES、韓國 KEI 等)建立交流合作關係。會議所關注的議題，包括以社會創新強化地方韌性、以自然為本解方(Nature-based Solutions, NbS)作為城市調適工具、建構調適決策支援平台(Adaptation Platform)，以及透過氣候金融促進跨部門協作，皆與研究院目前推動之「氣候變遷調適知識平台」、「環境影響評估調適因子建構」及「地方調適行動輔導機制」高度契合，可作為未來研究規劃、政策諮詢與跨國合作計畫的重要依據。

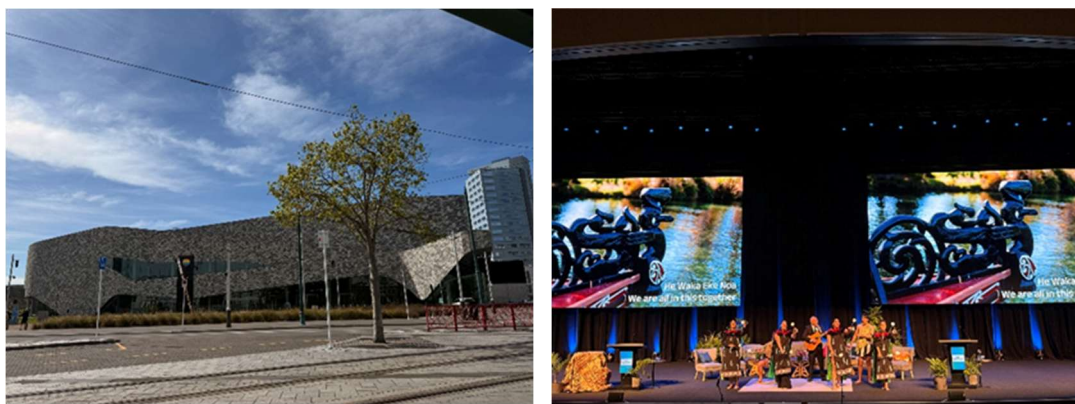


圖 4-51 紐西蘭國際議場外觀(左)與毛利族傳統儀式開場(右)

#### (四) 奧地利參加歐洲地球科學聯盟年會(European Geosciences Union General Assembly, EGU)

歐洲地球科學聯盟年會(European Geosciences Union General Assembly, EGU)為地球科學領域規模最大、跨領域最廣泛的國際學術會議之一，涵蓋大氣科學、氣候變遷、地球系統建模、永續發展等多個主題領域。此次參加會議亦特別關注近年在氣候調適與智慧決策輔助中備受重視的「數位孿生(Digital Twin)」技術，觀摩多項將環境監測、模擬與決策平台整合的實務應用案例，對氣變中心未來推動國家氣候變遷資料整合平台、建構可視化模擬系統具有高度參考價值。同時亦參與多場自然解方(NbS)相關議程，了解綠基礎設施、水文調適與生態工程等措施於強化地方氣候韌性方面的應用潛力，為未來地方政府調適策略研擬提供新的工具與視角。另此次參會亦為中心尋求國際合作契機的重要機會，與多個研究機構及專家進行初步接觸與技術交流，期望未來能深化合作，結合國際經驗共同推進本地氣候調適與環境風險評估之能力。



圖 4-52 奧地利維也納國際中心 EGU 會場(左)與研究員成果發表(右)

## 伍、論文發表

### 一、期刊論文

- (一) Chi, K. H., **Hsu, Y. S.**, Lin, S. L., Chou, C. C. K., Chantara, S., Sereeter, L., ... & Pan, S. Y. (2025). Spatiotemporal variations and risks assessment of PAH-bound suspended particles across different Asian countries: Insights from multi-city sampling and source apportionment. *Environmental Research*, 122313. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.122313> [SCI, Q1, IF 7.7]

#### **Abstract:**

Air pollution caused by particulate matter (PM) poses serious health risks globally, particularly in rapidly urbanizing Asian cities, where extreme pollution episodes exhibit distinct chemical profiles and sources due to diverse local anthropogenic activities. This study aims to assess the toxicity and mutagenic characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) originating from particulate matter (PM) in different anthropogenic actives in Asian cities. High-volume samplers were used for ambient PM collection in various Asian cities from 2019 to 2023, and subsequent analyses included PAHs, heavy metals, and water-soluble ions (WSIs). Ecological and inhalation cancer risk assessments were computed by multiplying concentrations of individual PAH compounds in Taipei, Chiang Mai, Hanoi, Ulaanbaatar, and Beijing, respectively. The average concentrations of PM<sub>2.5</sub> and PAH BaP-TEQ levels were  $132 \pm 45.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $23.0 \pm 24.8 \text{ ng}/\text{m}^3$  in Chiang Mai and  $63.3 \pm 11.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $2.81 \pm 2.64 \text{ ng}/\text{m}^3$  in Hanoi, while  $12.6 \pm 6.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $4.75 \pm 8.88 \text{ ng}/\text{m}^3$  in Taipei. In Ulaanbaatar, total suspended particles (TSP) and PAH levels during dust storm events were 2.08–8.13 times higher (TSP:  $601 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PAH:  $91.0 \text{ ng}/\text{m}^3$ ). Similarly, in Beijing, TSP and PAHs levels were 2.49–10.4 times higher during dust storm events (TSP:  $701\text{--}1135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , PAHs:  $27.8 \pm 24.6 \text{ ng}/\text{m}^3$ ). PMF results revealed 47.5–79.8 % contributions from vehicles in Ulaanbaatar, Chiang Mai, and Hanoi. While ecological risk assessments indicated generally low toxicity ( $\text{RI} < 150$ ), lifetime inhalation cancer risk (LICR) values exceeded the acceptable threshold (10<sup>−6</sup>) in several cities, highlighting the urgent need for targeted pollution control strategies.

**Keywords:** Total suspended particles, PM<sub>2.5</sub>, Polycyclic aromatic hydrocarbons, Dust storm, Traffic, Health impact

- (二) Chu, R. J., **Mao, H. I.**, & Chen, C. W. (2025). Thermal decomposition behavior of self-catalyzed and fire-retardant phosphorus-nitrogen Vitrimer material. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 188, 107029. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2025.107029> [SCI, Q1, IF 6.2]

**Abstract:**

Epoxy resin (EP) encountered dual challenges of flammability and non-recyclability, prompting the proposal of covalent adaptable networks to enhance its sustainability. However, achieving strong flame-retardant performance remained a significant hurdle. In this study, diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA), DOPO derivatives (DDP), glutamic acid (GA), and itaconic acid (IA) were employed as raw materials to synthesize a phosphorus-nitrogen synergistic flame-retardant covalent adaptable network epoxy resin. This synthesis, which involved the introduction of secondary amines and self-catalysis, resulted in a novel material with excellent thermal stability at 349 °C, and superior flame-retardant properties, including a limiting oxygen index of 32 % and a V-0 flammability rating. Comprehensive analysis of the material's thermal decomposition and gas-phase products was conducted using techniques such as residual carbon morphology and structure, TGA-FTIR, and TGA-GC/MS, providing deeper insights into the thermal decomposition mechanism of the material.

**Keywords:** Flame-retardant Vitrimer, Dynamic covalent bond exchange, Phosphorus-nitrogen, Flame retardancy

- (三) Darmansyah, D., Tsai D.W., **Hsieh, Y.K.**, You, S.J., Wang, Y.F.\*, (2025) "Unraveling the Role of Bimetal Oxide CuO/MnO<sub>2</sub> on Modified Catalyst from Solid Waste Incineration Fly Ash to Enhance NO<sub>x</sub> Remove." Journal of Environmental Chemical Engineering Vol.13, 114988. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.114988> [SCI, Q1, IF 7.4]

**Abstract:**

A novel catalytic system employing a modified fly ash catalyst doped with bimetal oxides has been investigated for its efficacy in selective catalytic reduction (SCR) with ammonia (NH<sub>3</sub>) to reduce NO<sub>x</sub> pollutants. The study reveals the synergistic interaction between two activate agents, copper (Cu) and manganese (Mn), on fly ash (FA), achieving impressive NO<sub>x</sub> removal efficiency. The best-performing catalyst, FA/Cu/Mn-5, is composed of 90 % fly ash, 5 % copper, and 5 % manganese. It removes 98.5 % of NO<sub>x</sub> at 200°C. Copper oxide (CuO) helps speed the reaction by converting nitrogen monoxide (NO) into nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), an important part of the SCR process. Manganese oxide (MnO<sub>2</sub>), an enhancer of oxygen availability, can promote NH<sub>3</sub> oxidation, effectively lowering the operational temperature and mitigating the formation of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O). This contrasts with previous research, which reported significant N<sub>2</sub>O generation, a major greenhouse gas. Therefore, this current study offers a more sustainable approach to emission control. This study also highlights the critical role of reactive intermediates, such as NO<sub>2</sub>, in driving the SCR mechanism, underscoring the potential of modified fly ash catalysts to combat air pollution effectively.

**Keywords:** Catalyst, Fly ash, Selective catalytic reduction (SCR), NO<sub>x</sub> removal, Oxidation, Reaction mechanism

- (四) Huang, H. W., **Wang, R. M.**, Chen, W. C., Chen, Y. H., Chung, C. H., & You, C. F. (2025). Tracing chemical weathering dynamics during seasonal variability and storm in the Gaoping (Kaoping) and Choushui Rivers, Western Taiwan: Insight from Li isotope. *Science of The Total Environment*, 1001, 180519. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180519> [SCI, Q1, IF 8.0]

**Abstract:**

Elemental compositions and lithium isotopes were analyzed in river water collected from two catchments—Gaoping River (GPR) during seasonal changes in 2016–2017 and an intense rainfall event (IRE), and Choushui River (CSR) during a storm in 2004—to evaluate weathering intensity and water-rock (W/R) interaction time in small mountainous rivers (SMRs) under varying climatic and hydrological conditions. Both catchments exhibited a kinetically limited weathering regime, but the degree of limitation intensifies during extreme discharge events due to the shortened W/R interaction time, which restricts the extent of chemical reactions. By integrating elemental compositions with Li isotopes, we further constrain the sources of weathering-derived solutes. In addition to upstream flow and groundwater, soil pore water stored in the wet season, characterized by prolonged water–rock interaction and elevated  $\delta^{7}\text{Li}$ , emerges as a potential contributor to weathering fluxes in both the GPR and CSR catchments. The influence of pore water is particularly evident in the CSR, where storm-driven discharge mobilized silicate-rich (older) solutes, as indicated by high  $\delta^{7}\text{Li}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios in river water.

Riverine Li isotopic compositions, together with weathering indices, indicate that both the CSR and GPR systems undergo incongruent weathering with moderate to high intensity. The lack of a direct correlation between Li isotopes and CWR suggests that silicate weathering is not the sole contributor to riverine solutes. Therefore, it remains essential to disentangle the relative contributions of silicate weathering and other potential end-members (e.g., carbonate and sulfide dissolution) in shaping riverine elemental compositions. A more comprehensive source apportionment of weathering solutes is necessary to evaluate the implications of the substantial weathering fluxes from SMRs for the carbon cycle and long-term climate regulation.

**Keywords:** Li isotope, Silicate weathering, Weathering intensity, Small mountainous river, Storm

- (五) Khan, K., **Lin, C. H.**, Hsu, Y. J., Chi, K. H., Room, S. A., & Chang, J. W. (2025). Pollutant Emissions, Characteristics, and Ecological Risk Assessment in the Vicinity of Incineration Plants Using Solid-Recovered Fuel (SRF) in Taiwan. *Aerosol and Air Quality Research*, 25(6), 27. <https://doi.org/10.1007/s44408-025-00034-w> [SCI, Q2, IF 2.5]

**Abstract:**

This study focused on two incineration plants in Taiwan, plant Z and plant CD, utilizing solid recovered fuel (SRF). We assessed emissions of nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDD/Fs), and heavy metals (HMs) e.g., (Hg, As, Pb, Cr, Be, and Cd) across various environmental media. We found that co-firing SRF with coal achieved significant reductions: NO<sub>x</sub> by 25%, PCDD/Fs by 70%, and Hg by 29%. Additionally, particulate emissions decreased from 5 mg Nm<sup>-3</sup> with coal alone to 2 mg Nm<sup>-3</sup> using the coal-SRF mixture, and PCDD/Fs emissions declined to 0.003 ng-TEQ g<sup>-1</sup>. Plant CD showed higher air concentrations of As and Pb in sediments ( $7.32 \times 10^{-1} \mu\text{g kg}^{-1}$ ,  $2.24 \times 10^{-7} \mu\text{g kg}^{-1}$ ) compared to plant Z, which had lower Pb but higher Cr. In water environment, plant CD showed higher levels of As, Be, Hg, and Cr ( $3.36 \times 10^{-7} \mu\text{g kg}^{-1}$ ,  $1.79 \times 10^{-7} \mu\text{g kg}^{-1}$ ,  $1.75 \times 10^{-9} \mu\text{g kg}^{-1}$ ,  $1.74 \times 10^{-7} \mu\text{g kg}^{-1}$ ). Regarding soil, plant CD had higher concentrations of As, Be, and Cr ( $7.32 \times 10^{-1} \mu\text{g kg}^{-1}$ ,  $3.90 \times 10^{-1} \mu\text{g kg}^{-1}$ ,  $3.79 \times 10^{-1} \mu\text{g kg}^{-1}$ ), while plant Z showed elevated Pb ( $3.01 \times 10^{-1} \mu\text{g kg}^{-1}$ ). In sediments, plant CD showed higher levels of Cr, Be, and Pb ( $3.28 \times 10^{-6} \mu\text{g kg}^{-1}$ ,  $2.92 \times 10^{-6} \mu\text{g kg}^{-1}$ ,  $2.24 \times 10^{-7} \mu\text{g kg}^{-1}$ ) along with increased low molecular weight (LMW) and high molecular weight (HMW) PAHs ( $7.54 \times 10^{-2} \mu\text{g kg}^{-1}$ ,  $1.68 \times 10^{-4} \mu\text{g kg}^{-1}$ ) than plant Z. The hazard quotient (HQ) values (< 1) showed lower ecological risks. However higher levels of HMs, PCDD/Fs, and PAHs from plant CD suggest potential environmental impacts that warrant further investigation.

**Keywords:** SRF, Coal, Incineration plants, Risk assessment

- (六) Liaw, Y. L.<sup>1</sup>, **Chuang, C. K.**<sup>1</sup>, & Tsai, C. H.\* (2025). The first fossil loggerhead sea turtle (Cheloniidae: *Caretta*) from the North Pacific and its nannofossil biostratigraphy. *Swiss Journal of Palaeontology*, 144(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s13358-025-00392-3> [SCI, Q1, IF 2.2] **(Co-first author)**

**Abstract:**

The Taiwan waters (western North Pacific) include five sea turtle species without an associated fossil record. Here, we describe the first fossil sea turtle from Taiwan. This fossil material is a partial hypoplastron from the uppermost Yuching Shale in Tainan. The preserved morphology of this partial hypoplastron shows a slightly curved medial margin, a deep lateral notch, and a wide sutural anterior margin, indicating a taxonomic affinity to the genus *Caretta*. In comparison with extant *Caretta*, the preserved hypoplastral width at the sutural level (130.85 mm) suggests that this fossil belongs to an old subadult cf. *Caretta*. In addition, we also analyzed fossil foraminifera from the matrix of this hypoplastron, suggesting that the depositional environment was a continental shelf no more than 100 m deep. We further examined the nannofossils and found more than 200 calcareous nannofossils, including index fossils, such as *Pseudoemiliania lacunosa*, *Helicosphaera sellii*, and large *Gephyrocapsa* sp. (> 5.5 µm), corresponding to NN19a nannofossil biozone (Early Pleistocene in age). Given the first occurrence of the large *Gephyrocapsa* sp. and the last occurrence of *Helicosphaera sellii*, we narrowed down the age of this Pleistocene sea turtle from Taiwan to 1.57 to 1.28 million years ago. Our discovery of this Pleistocene sea turtle fossil represents not only the first cheloniid fossil in Taiwan but also the first well-dated fossil sea turtle from the global Pleistocene. The Taiwan waters during the Early Pleistocene may be a paleo-foraging ground for cf. *Caretta*, and future fieldwork and analysis should reveal a more detailed evolutionary history of sea turtles in the North Pacific. Our results also highlight the potential for more paleontological progress from Taiwan.

**Keywords:** Calcareous nannofossil, Early Pleistocene, Foraminifera, Fossil record, Taiwan

- (七) Lin, H. C., **Hsieh, P. Y.**, Wang, G. S., Wang, D. W., Wang, T. H., Hsu, Y. C., & Wu, C. F. (2025). Establishment of Methods to Identify Pollution Sources in a River Reach through Receptor Models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 151(3), 04024072. <https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-6320> [SCI, Q1, IF 2.7]

**Abstract:**

Given scientific and technological advances, the proportion of industrialization has increased, making industrial wastewater pollution more harmful to the environment and human health. Identifying sources of pollution in specific areas helps clarify and facilitate water quality management. This study established a method to identify sources of pollution in a river reach. River water sample collection was conducted twice a day for 30 days in a polluted river in southern Taiwan at sampling sites upstream and downstream of the river reach. Wastewater samples from potential sources of pollution were also taken during the monitoring period. The pollutant concentration data for the river reach was calculated based on the mass flow rate at two sites divided by the volume flow rate. Positive matrix factorization was applied to the 31 elements measured in the river to resolve source profiles and contributions. The results revealed that the contributors to pollution were sewage treatment (37%), metal finishing (8%), and a detention pond (39%). Furthermore, by comparing the results of the single- and multiple-site analyses, the difficulty of identifying sources of pollution due to the mixed-source profiles obtained was reduced. Consequently, the applicability and effectiveness of the proposed pretreatment method of pollutant concentration calculations from two sites were demonstrated. The novelty of the study lies in the establishment of a pollution source identification method that can assist in identifying the main polluting industry categories in river reaches.

**Keywords:** River water pollution, Source apportionment, Source identification, River reach; Industrial wastewater, Positive matrix factorization.

- (八) **Mao, H. I.**, Chan, T. H., Yen, H. C., Tsai, W. C., Lin, S. Y., Wang, C. Y., ... & Chen, C. W. (2025). Optimizing Adhesion and Thermal Properties of PBAT-Based Hot-Melt Adhesives via Tailored Side-Chain Architectures. *Journal of Applied Polymer Science*, e57447. <https://doi.org/10.1002/app.57447> [SCI, Q2, IF 2.8]

**Abstract:**

This study explores the optimization of adhesion and thermal properties of poly (butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT)-based hot-melt adhesives through tailored side-chain architectures. PBAT copolymers were synthesized via melt polycondensation with 2-methyl-1,3-propanediol (MPO) and neopentyl glycol (NPG) as comonomers to enhance adhesion performance for polyester fabric lamination. Structural characterization by <sup>1</sup>H-NMR and FT-IR confirmed successful incorporation, while DSC revealed a reduction in melting temperature (*T<sub>m</sub>*) from 134.3°C to 95.4°C and a decrease in crystallization temperature (*T<sub>c</sub>*) with increasing MPO/NPG content. TGA demonstrated high thermal stability, with *T<sub>d-5%</sub>* ranging from 350.5°C to 362.5°C. Mechanical testing showed enhanced flexibility, decreasing Shore D hardness from 24.7 to 17.3 at 30 mol% modification. Rheological analysis indicated improved melt flow and shear-thinning behavior, facilitating processing. T-peel strength tests significantly increased, reaching 101.20 N/25 mm for PBAT-N20 at *T<sub>m</sub>* + 15°C, compared to 35.64 N/25 mm for neat PBAT. Water contact angle measurements confirmed increased hydrophobicity, rising from 62.89° to 74.80°, contributing to improved hydrolysis resistance. These findings highlight the effectiveness of side-chain engineering in fine-tuning PBAT-based adhesives, achieving an optimal balance of adhesion strength, flexibility, and durability for high-performance textile applications.

**Keywords:** adhesives, polyesters, textiles

- (九) **Mao, H. I.**, Chen, Y. Z., Chu, R. J., Lin, S. Y., & Chen, C. W. (2025). Recyclable Thermoset-Like Polyurethanes From Renewable Epoxidized Soybean Oil via Dynamic Ester Bond Exchange. *Journal of Polymer Science*, 63(11), 2379-2390. <https://doi.org/10.1002/pol.20250378> [SCI, Q1, IF 3.6]

**Abstract:**

A bio-based and recyclable polyurethane (PU) network was developed via dynamic ester bond exchange using triblock polyether diol (EO-PO-EO), pyromellitic dianhydride (PMDA), and epoxidized soybean oil (ESO) as the renewable crosslinker. Varying ESO content (20–100 mol%) enabled control over the crosslinking density and mechanical performance. The 50 mol% ESO formulation exhibited the best overall properties: tensile strength of 202.2 kPa, Young's modulus of 1003.2 kPa, Shore 00 hardness of 90, and crosslinking density of  $0.2 \text{ mol cm}^{-3}$ . Thermal degradation began above  $300^{\circ}\text{C}$  for all samples. Excessive ESO ( $> 50\%$ ) led to reduced mechanical strength due to steric hindrance and incomplete crosslinking. Chemical recyclability was demonstrated using ethylene glycol at  $180^{\circ}\text{C}$ . After two recycling cycles, the  $T_g$  remained stable around  $-30.3^{\circ}\text{C}$ , while the crosslinking density slightly decreased to  $0.1684 \text{ mol cm}^{-3}$ . Stress relaxation time was reduced from 1262 to 825 s, confirming efficient dynamic bond reformation. These findings highlight the potential of integrating renewable feedstocks and reversible chemistry to create sustainable, high-performance, and recyclable PU thermoset-like materials.

**Keywords:** bio-based, epoxidized soybean oil, polyurethane, reversible crosslinking polymer, transesterification

- (+) **Mao, H. I.**, Chou, J. Y., Lin, S. Y., Wang, C. Y., Chen, C. H., & Chen, C. W. (2025). Enhancing Poly (butylene terephthalate)(PBT) fiber orientation and tenacity via controlled recycling of composition-tuned vitrimers. *Polymer*, 329, 128491. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2025.128491> [SCI, Q1, IF 4.5]

**Abstract:**

This study developed a series of polybutylene terephthalate (PBT)-based copolymers incorporating varying amounts of vitrimers for fiber production via melt-spinning. Among the tested samples, the copolymer containing 0.3 mol% of the vitrimer exhibited significantly improved fiber strength, increasing from 0.87 gf den<sup>-1</sup> for pure PBT fibers to 1.80 gf den<sup>-1</sup>, marking a 105 % improvement. Following thermal stretching, the strength of the monofilament further increased to 4.33 gf den<sup>-1</sup>, representing an 82 % increase compared to pure PBT fibers. In addition to improved strength, fibers with added vitrimer also showed better molecular alignment. The study further investigated how different vitrimer compositions affect the mechanical properties of copolymer fibers. Results suggest that replacing the rigid diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA) with the softer poly(propylene glycol) diglycidyl ether (PPGDGE) can lead to further improvements in strength. This effect is likely due to the flexible chain structure of PPGDGE promoting molecular chain stacking, significantly enhancing fiber strength.

**Keywords:** Poly(butylene terephthalate), Melt-spinning, Crystallization, Copolyester, Vitrimer

- (十一) **Mao, H. I.**, Wu, W. T., Chou, J. Y., & Chen, C. W. (2025). Tensile and Crystallization Behavior of Melt-Spun Fibers Derived From Poly (Butylene Terephthalate-Co-2, 6-Naphthalate) Copolyester. *Journal of Polymer Science*, 63(3), 554-565. <https://doi.org/10.1002/pol.20240912> [SCI, Q1, IF 3.6]

**Abstract:**

In this study, a series of poly(butylene terephthalate-co-2,6-naphthalate) (PBTN) copolymers was synthesized via a one-step polycondensation process. These PBTN copolymers demonstrate excellent thermal stability and semi-crystalline behavior, with the enthalpy of melting values exceeding  $17 \text{ J g}^{-1}$ . Crystallization kinetics analysis revealed that the copolymers exhibit significantly higher crystallization rates than neat poly(butylene terephthalate) (PBT) and poly(butylene naphthalate) (PBN), making them well-suited for fiber production. The copolymers were melt-spun, followed by a post-drawing process at a ratio of 2.0, to enhance fiber strength. By adjusting the 2,6-naphthalene dicarboxylate (NDC) content, the mechanical properties and crystallinity of the PBTN fibers were fine-tuned. Tensile testing revealed that the copolymer fiber containing 50 mol% NDC, post-drawn at a ratio of 2.0, exhibits superior toughness, with maximum tenacity and elongation values of 3.13 g den<sup>-1</sup> and 69.3%, respectively.

**Keywords:** Poly(butylene terephthalate-co-2,6-naphthalate), melt spinning, crystallization, copolyester

- (十二) Qoriati, D., **Hsieh, Y.K.**, You, S.J., Wang, Y.F.\*, (2025) "Air Gap Membrane Distillation for Nutrient and Water Recovery from Marine Culture Wastewater for Improved Water Reclamation." Environmental Research Vol.266, 120578. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120578> [SCI, Q1, IF 7.7]

**Abstract:**

Valuable nutrients such as ammonium and phosphate exist in teensy concentrations in marine-culture wastewater (MCW), causing their recovery challenging with inefficient conventional methods. Air gap membrane distillation (AGMD) is systematically explored for the first time to recover nutrients and pure water from low-nutrient MCW. This study assessed the AGMD performance in resource recovery by conducting a thorough investigation and optimization of various parameter conditions. Concerning the findings, AGMD satisfactorily inhibits ammonia transfer from the feed stream to the permeate stream by optimizing operating parameters specifically feed temperature and pH. A higher feed temperature improves water recovery, and feed pH is critical in nutrient recovery. In particular, high pH promotes the transformation and transport of ammonia through the membrane, whereas low pH inhibits ammonia transport, encouraging the creation of pure water. Maintaining an acidic feed solution decreases membrane fouling by increasing the solubility of calcium phosphate, hence boosting water recovery. Nevertheless, higher pH levels encourage fouling by allowing solid phosphate particles to form more readily. While at lower pH, ammonium phosphate fertilizers might be generated in the retentate solution by improving  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  recovery under optimal conditions. The findings reveal that the AGMD system provides a novel method for treating MCW while also improving nutrient and pure water recovery.

**Keywords:** Air gap membrane distillation, Marine-culture wastewater, Ammonia recovery, Phosphate recovery

- (十三) Wu, P. H.<sup>1</sup>, **Hsieh, Y. K.<sup>1</sup>**, Hung, T. H., Chou, W. S., Wu, Y. R., Chen, P., ... & Kang, C. K.\* (2026). Biological safety assessment of dissolved aluminum ions in coastal seawater: acute toxicity effects on Pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Post-larvae. *Ecotoxicology*, 35(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s10646-025-02998-2> [SCI, Q2, IF 2.7] **(Co-first author)**

**Abstract:**

Offshore wind turbine foundation piles commonly use anti-corrosion methods that result in trace amounts of aluminum (Al) ions dissolving into seawater. Therefore, this study aimed to evaluate the impact of seawater Al ions on marine organisms. First, acute toxicity tests were conducted on four types of Al compounds using pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) post-larvae in seawater at designed concentrations. Additionally, seawater samples were collected from offshore wind farm (OWF) areas from Miaoli, Changhua, and Yunlin to determine Al concentrations and assess acute toxicity on whiteleg shrimp. Our results showed that the average Al concentrations in the water samples of Miaoli, Changhua and Yunlin wind farms were  $0.0041 \pm 0.0022$ ,  $0.0036 \pm 0.0018$ , and  $0.0031 \pm 0.0016$  mg/L, respectively. The 48-hours LC<sub>50</sub> range of Al ions for seawater shrimp post-larvae was 27.9 to 43.2 mg/L. Furthermore, no mortalities were observed in any of the OWF seawater sample groups. These easy to use platforms indicated that the LC<sub>50</sub> tolerance concentration (15.8 mg/L) of the Al compounds for shrimp post-larvae was significantly higher than the Al concentration in OWF seawater. Therefore, the Al released from anti-corrosion methods would pose a low acute risk to marine organisms in Taiwan OWFs.

**Keywords:** Offshore wind farm, *Litopenaeus vannamei*, LC<sub>50</sub>, Acute toxicity effect, Aluminum compounds

- (十四) Wu, P. H.<sup>1</sup>, **Hsieh, Y. K.<sup>1</sup>**, Chou, W. S., Chen, P., Yu, J. L., & Kang, C. K.\* (2025). Baseline zinc levels and monitoring implications in sediments of the Changhua offshore wind farm region. *Journal of Sea Research*, 102596. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2025.102596> [SCI, Q1, IF 2.9] (Co-first author)

**Abstract:**

This study integrates data on the content of zinc (Zn) in the sediment during the construction of wind farms in the Changhua coastal area, and conducted two seasons of sediment surveys surrounding the Changhua offshore wind farms (OWFs). The survey results were compared with historical data from previous monitoring efforts in the Changhua offshore wind farm region. From 6 environmental impact assessments of Changhua OWFs, sedimentary Zn contents were below the effects range-median (ERM; 410 mg/kg) of the US National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) standards. Our results showed that the Zn concentration in the sediment of the two sampling stations in this study was lower than the effect range low (ERL; 150 mg/kg) threshold. Compared among the sediments of CH-1 and CH-2 sites and other OWFs, the Zn concentrations were significantly lower than those of the Zhong Neng offshore wind farm, Zhang Fang offshore wind farm, and Haixia I/II offshore wind farm. In the spatial background, the distribution of Zn concentration in the southern area along the Changhua coastal sediments was higher than that in the northern area. The Mann-Kendall trend test analysis indicated a decreasing trend in the time series. Results of Geo-accumulation index ( $I_{geo}$ ) and potential ecological risk (PERI) demonstrated that the sediment has low ecological potential risk. This study established baseline data on Zn concentrations in the sediment of the Changhua coastal area. The proposed alert value for Zn concentration in the Changhua coastal area environment monitoring in sediment is 83.6 mg/kg.

**Keywords:** Changhua coastal area, Offshore wind farm, Sedimentary Zn concentration, Geo-accumulation index ( $I_{geo}$ ), Potential ecological risk (PERI)

- (十五) **Wu, Y. H.**, Chi, W. C., Chai, L., Toh, A., Megawati, M., & Lin, C. J. (2025). Mechanism of Dynamic Triggering for Slab-Related Fluid-Induced Tremors Occurred in Nanao, Taiwan. *Bulletin of the Seismological Society of America*. <https://doi.org/10.1785/0120240256> [SCI, Q1, IF 2.9]

**Abstract:**

The origin of nonvolcanic tremors has been linked to different ways the crust slips on a fault in the presence of fluids. We collected the tremors recorded by a seismic array in Nanao, Taiwan, and found a class of high-frequency tremors among ambient tremors and triggered tremors. The f-k analysis results and the large moveout implied that the triggered tremors originated from moving sources beneath the array. With seismogeodetic inversion, the triggered tremors occurred when dilation was larger than  $10^{-8}$ , similar to the deep low-frequency fluid-related seismic tremors in the Nankai trough. Based on previous tomographic studies, the partial melting due to the dehydration of the subducting Ryukyu slab is distributed along the slab edge and migrates upward near Nanao. Such a partial melting at shallow depth can potentially elevate the pore-fluid temperature and the pressure. According to these findings, we proposed a scenario analogous to fluid-related acoustic emission lab experiments. Dehydration near the edge of a subducting slab provides fluid and heat, and the dilational strains from the teleseismic waves cause decompression and therefore the fluid motions. Teleseismically perturbed fluids helped create at least some of the triggered tremors. This could be among the first field examples of dynamically triggered tremors associated with moving fluids from a slab and its edge.

**Keywords:** Dynamic Triggering, Fluid-induced Tremors, High-Frequency Tremors (HFTs), Fluid-Rock interaction, Dilatational Strain, Slab Subduction, Dehydration.

- (十六) Yen H.C., **Mao H.I.**, Chang Y.Y., Chan, T.H., Lin W.H., Chen C.W.\*, (2025) "Influence of Branch Side-Chains on the Foaming Properties of Thermoplastic Polyether Ester Elastomers in Supercritical CO<sub>2</sub>." Journal Of Applied Polymer Science Vol.142, 56828. <https://doi.org/10.1002/app.56828> [SCI, Q2, IF 2.8]

**Abstract:**

Ester-based polymers are widely used in numerous applications today. However, thermoplastic polyether ester elastomer (TPEE), despite being an ester-based elastomer, is typically unsuitable for lightweight applications due to its limited foamability, caused by low melt strength and a narrow molecular weight distribution. This study performed a series of TPEE modifications using a methyl-branched diol (neopentyl glycol) as the monomer and a tri-block polymer (ENHOL BE-3520) as the soft segment. Adjustments to the methyl-branched diol content notably impacted the thermal properties of the TPEE. All modified samples demonstrated decomposition temperatures exceeding 300°C at 5% weight loss, and melting temperatures ranging from 159°C to 219°C. Tensile strengths varied between 14.66 and 22.96 MPa, while the foam samples achieved expansion rates of 1.50% to 2.45% at temperatures 5°C below the melting point, and 2.19% to 3.88% at 10°C below the melting point. These modifications resulted in TPEE foams with enhanced mechanical properties and stable structures, significantly expanding their potential applications.

**Keywords:** elastomers, foams, polyesters, thermal properties, thermoplastics

## 二、非科學引文索引期刊論文

(一) 毛栩毅、陳錦文\*、王欽彥、許元正 (2025) "聚酯塑膠高值化回收技術先期研究"，第 32 期環境調查研究年報，中壢。

### 摘要：

本研究聚焦於聚酯塑膠高值化回收技術的先期研究開發，透過微量交聯機制改善回收材料的力學性能，同時確保其與原生聚酯的相容性，以提升回收效能與應用價值。研究中設計了一種多官能基增韌單元，在低改質條件下顯著提升了聚對苯二甲酸乙二酯(PET)的韌性與抗衝擊能力，並透過材料結構微調與配方優化，實現高功能性與環境友善的目標。實驗結果顯示，適量增韌單元(0.25 wt%)可使 PET 的斷裂伸長率提升 8 倍，衝擊強度提升 2 倍，同時維持優異的熱穩定性( $T_d-5\% > 390^{\circ}\text{C}$ )與剛性(Shore D 硬度維持 80)。此外，透過廣角 X 光繞射(WAXD)與差示掃描量熱分析(DSC)測試，證實增韌單元能有效調控 PET 的結晶行為，提升加工適性，確保回收材料在再利用過程中的穩定性。此技術不僅為聚酯材料的性能優化提供了新途徑，亦為高值化回收與循環經濟的發展奠定了重要基礎。

**關鍵詞：**聚酯塑膠、增韌、高值化、循環回收

### 三、國內外研討會論文

#### (一) 國際研討會

1. **Chen, C.**, Liang, B. & Liu, C.L., (2025) "The Environmental Stability of Biochar: A Key to Enhancing Carbon Sequestration and Climate Change Mitigation." Towards the Future: International Forum and Symposium on Climate Change Adaptation and Environmental Governance, Taipei, Taiwan. (Poster)
2. Liaw, Y.L., **Chuang, C.K.**, Tsai, C.H., (2025) "The first fossil loggerhead sea turtle from the North Pacific and its nannofossil biostratigraphy." The 2025 Annual Meeting, The Palaeontological Society of Japan, June 27-29, 2025, Sapporo, Japan. (Oral)
3. Lin, C.Y., Mujiyanti, D.R., Prasetya, K.D., **Hsieh, Y.K.**, You, S.J., Wang, Y.F. (2025) "Investigations of syngas and biochar production from pineapple and banana waste using atmospheric pressure microwave plasma jet (APMPJ)." Towards the Future: International Forum and Symposium on Climate Change Adaptation and Environmental Governance, Taipei, Taiwan. (Poster)
4. **Mao H.I.** (2025) "A Practical Approach to Upcycling Technology for Waste Polyester Recycling." Towards the Future: International Forum and Symposium on Climate Change Adaptation and Environmental Governance, Taipei, Taiwan. (Oral)
5. **Hsieh P.Y.\*** and Wu C.F. (2025) " Integrating Weather Patterns with PMF Modeling: Insights into PM<sub>2.5</sub> Pollution Sources and Future Applications to Ozone." *EGU General Assembly 2025*, Vienna, Austria. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-4893>. (Oral)
6. Qoriati, D., **Hsieh, Y.K.**, You, S.J., Wang, Y.F. (2025) " Concurrent ammonia and phosphate recovery through air gap membrane distillation for marine-culture wastewater." 11th IWA Membrane Technology Conference & Exhibition for Water and Wastewater Treatment Technology Participation, Kyungpook National University in Daegu, Korea. (Oral)
7. **Wang, R. M.** (2025) "The impacts of weathering processes in

small subtropical mountainous rivers: perspective on carbon and water chemistry." Towards the Future: International Forum and Symposium on Climate Change Adaptation and Environmental Governance, Taipei, Taiwan. (Poster)

8. **Wang, S. H.** (2025) "The Spatial Distribution of Heat and PM<sub>2.5</sub> in the Urban Area With Green Spaces." American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting 2025, New Orleans, Louisiana. (Poster)
9. **Wu, Y. H.** (2025) "Working Together with Nature for Adaptation: A Collaborative Path for Land and Climate Resilience." Towards the Future: International Forum and Symposium on Climate Change Adaptation and Environmental Governance, Taipei, Taiwan. (Poster)

## (二) 國內研討會

1. **Chuang, C.K.**, Lin A.T., Lo L., Chuang P.C. (2025) " Kaoping slope marine carbon sink variations during the past 150 kyrs. ", 2025 臺灣地球科學聯合學術研討會(2025 TGA), 台北。(Oral)
2. **毛栩毅**、**陳錦文**、**王欽彥**、**許元正** (2025) "聚酯塑膠的高值化回收與纖維性能提升技術開發", 2025 年第 39 屆環境分析研討會, 桃園。(Oral)
3. **林采穎**、**王蒂薇**、**謝炎恭**、**王雅玢**、**游勝傑** (2025) "利用常壓微波電漿轉換香蕉假莖為合成氣及生物炭之研究", 中華民國環境工程學會 2025 廢棄物處理技術研討會, 高雄。(Oral)
4. **林志鴻**、**王厚傳**、**杜敬民**、**紀凱獻**、**吳仲平**、**李如訓**、**許元正** (2025) "SRF 使用廠中持久性有機污染物排放特徵之研究", 2025 年第 39 屆環境分析研討會, 桃園。(Poster)
5. **陳俞瑾**、**陳誌賢**、**許元正**、**許心蘭** (2025) "再生 PET 檢測技術初探", 2025 年第 39 屆環境分析研討會, 桃園。(Poster)
6. **陳婧**、**梁碧清**、**劉振霖** (2025) "生物炭的環境穩定性有利於增匯減排對碳封存及氣候變遷有積極影響", 2025 臺灣地球科學聯合學術研討會(2025 TGA), 台北。(Oral)
7. **揭佻宏**、**謝欣如**、**潘詩諭**、**杜敬民**、**許元正**、**紀凱獻**\* (2025) "臺灣工業鍋爐及水泥窯使用固體再生燃料(SRF)有害空氣污

染物煙道排放特性與周界健康風險評估調查"，2025 年第 39 屆環境分析研討會，桃園。(Oral)

8. 莊智凱、魏國彥、李孟陽、郭美吟、米泓生 (2025) 西菲律賓海加瓜海脊最近 30 萬年來晚第四紀鈣質超微化石生物年代學與碳酸鈣地層之研究。2025 探索海洋研討會，4 月 24-25 日，高雄。(Oral)

## 陸、結語

回顧 114 年歲次乙巳，屬於昇卦，意喻萬物生長具有向上之機，氣候變遷研究中心在 112 年於天時、地利、人和俱足因緣下成立，幸隨 114 年歲之運向前邁進，灼灼展耀充滿生氣與活力。故而氣候變遷研究中心的第二年，雖在學步之初，即能快速成長；雖尚未羽翼豐滿，卻已有翱翔沖天之志。回顧過去一年，感謝外界產官學給予的指導和支持，感謝院內長官同仁的訓勉與鼓勵，更由衷感謝中心同仁為公忘私、團隊協力、共存共榮的投入，才能有如此豐碩的成果。迎接來年，115-118「氣候變遷調適資訊整合平台建構及推動計畫」、115-118「淨零排放-資源循環綠色設計計畫」將是中心兩大業務主軸，全體同仁也必將一秉初衷為國家貢獻心力。於此冀望在得之不易的公務研究單位基礎上，持續與各部會、學術研究單位攜手架構完整且全方位之科研體系，對國家急迫的調適韌性困境提供解方，為社會永續與百姓福祉盡心。最後，為時刻鞭策中心業務持續前進，乃編輯年度報告自勵並供各界指導鼓勵，謹以為勉。

## 附錄一、國際研討會論文

1. Liaw, Y.L., **Chuang, C.K.**, Tsai, C.H., (2025) "The first fossil loggerhead sea turtle from the North Pacific and its nannofossil biostratigraphy." The 2025 Annual Meeting, The Palaeontological Society of Japan, June 27-29, 2025, Sapporo, Japan. (Oral)

**Abstract:**

The Taiwan waters (western North Pacific) include 5 sea turtle species without fossils. Here we describe the first fossil sea turtle from Taiwan, which is a partial hypoplastron from the uppermost Yuching Shale in Tainan. The preserved morphology of this partial hypoplastron shows a slightly curved medial margin, a deep lateral notch, and a wide sutural anterior margin, indicating a taxonomic affinity to the genus *Caretta*. In comparison with extant *Caretta*, the preserved hypoplastral width at the sutural level suggests that this fossil belongs to a subadult *Caretta*. In addition, we also analyzed fossil foraminifera from the matrix associated with this hypoplastron, suggesting that the depositional environment was a continental shelf less than 100 m deep. We further examined the nannofossils and found more than 200 calcareous nannofossils, including index fossils, such as *Pseudoemiliana lacunosa*, *Helicosphaera sellii*, and large *Gephyrocapsa* spp. ( $>5.5\mu\text{m}$ ), corresponding to NN19a nannofossil biozone (Early Pleistocene in age). Given the first occurrence of the large *Gephyrocapsa* spp. and last occurrence of *Helicosphaera sellii*, we narrowed down the age of this Pleistocene sea turtle to 1.57 to 1.28 million years ago. Our discovery of this Pleistocene sea turtle fossil represents not only the first cheloniid fossil in Taiwan but also the first fossil *Caretta* from the North Pacific. Given the abundant fossil invertebrates from the same locality, the Taiwan waters during the Early Pleistocene may be a paleo-foraging ground for *Caretta*, and future fieldwork and analysis should reveal a more detailed evolutionary history of sea turtles in the North Pacific.

**Keywords:** Calcareous nannofossil, Early Pleistocene, Foraminifera, fossil record, Taiwan

2. **Hsieh P.Y.\*** and Wu C.F. (2025) " Integrating Weather Patterns with PMF Modeling: Insights into PM<sub>2.5</sub> Pollution Sources and Future Applications to Ozone." *EGU General Assembly 2025*, Vienna, Austria. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-4893> (Oral)

**Abstract:**

Air quality is significantly influenced by weather patterns, such as wind direction, wind speed, and atmospheric dispersion, which play a direct role in driving fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) concentrations. This study employed three online monitoring instruments to conduct assessments of the chemical species in PM<sub>2.5</sub> during the winter season of 2020–2021. By applying the positive matrix factorization (PMF) model, pollution sources and their contributions were identified within Taipei City. To further explore the relationship between meteorological conditions and pollution, clustering techniques were employed to classify weather patterns associated with PM<sub>2.5</sub> levels exceeding 25 µg/m<sup>3</sup>.

The analysis revealed three distinct high-concentration weather patterns, each linked to specific pollution sources: (1) Low wind speed and poor dispersion conditions were associated with elevated traffic-related emissions, peaking at 7.4 µg/m<sup>3</sup>; (2) Strong northeast monsoon patterns resulted in relatively lower PM<sub>2.5</sub> levels due to reduced pollutant accumulation in the basin; and (3) Northwest wind patterns were characterized by significant contributions from coal and fuel combustion, industrial sources, and secondary aerosols, with PM<sub>2.5</sub> concentrations reaching up to 56 µg/m<sup>3</sup>.

This study is the first to combine source apportionment results from individual receptor sites with nonparametric trajectory analysis (NTA). Under weak wind conditions, traffic-related pollutants were observed to accumulate predominantly south of the receptor site, with maximum concentrations of 14 µg/m<sup>3</sup>. In contrast, northwest wind patterns showed notable accumulation of pollutants from civil construction and metalwork northwest of the receptor site, with concentrations reaching 8 µg/m<sup>3</sup>.

These findings highlight the critical role of weather pattern classification in understanding PM<sub>2.5</sub> pollution sources, offering

valuable guidance for policymakers to implement effective air quality controls. Building on this foundation, future research will adapt these methodologies to explore the pollution sources of ozone and its precursors. Specifically, the new approach will integrate data from multiple monitoring stations with NTA to achieve spatial mapping of pollution source contributions. This advancement aims to provide a more comprehensive understanding of the distribution and impact of ozone and its precursors, deepening insights into the complex interactions between meteorology, atmospheric chemistry, and air quality management.

**Keywords:** source apportionment, ozone, PM<sub>2.5</sub>, non-parametric trajectory analysis, weather patterns

3. Qoriati, D., **Hsieh, Y.K.**, You, S.J., Wang, Y.F. (2025) " Concurrent ammonia and phosphate recovery through air gap membrane distillation for marine-culture wastewater." 11th IWA Membrane Technology Conference & Exhibition for Water and Wastewater Treatment Technology Participation, Kyungpook National University in Daegu, Korea. (Oral)

**Abstract:**

The aquaculture industry has grown rapidly to address global food shortages caused by population growth. However, this expansion has resulted in environmental issues, including nutrient-rich effluents that lead to oxygen depletion and dead zones in aquatic ecosystems. Conventional nutrient recovery methods face low nutrient concentrations, high costs, and secondary waste production. Air gap membrane distillation (AGMD) is systematically investigated for the first time to recover nutrients (e.g., ammonia and phosphate) and pure water from low-nutrient marine-culture wastewater (MCW). Unlike conventional methods, AGMD can simultaneously recover nutrients while purifying water, reducing the need for multiple treatment stages. During the AGMD process, the MCW of 2 L was employed as a feed solution for all experiments. MCW samples were obtained from a marine fish farm that cultured *Mycteroperca tigris*, Pingtung County, Taiwan. The initial concentration of ammonia and phosphate was  $1.510 \text{ mg L}^{-1}$  and  $2.212 \text{ mg L}^{-1}$ , respectively. The investigation was conducted at 40–70°C feed-heating temperatures, with a constant cooling temperature of 20°C. The cooling flow rates remained constant at  $3 \text{ L min}^{-1}$  and the feed flow rates varied by 2, 3, and  $4 \text{ L min}^{-1}$ . The spacer width ranged from 0.6, 0.9, and 1.1 mm. The feed pH was set to 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 8, 9, and 10. Furthermore, the air gap was carried width out at 0.15, 0.3, and 0.45 mm. The flat-sheet membranes employed comprised PTFE with polypropylene (PP) serving as a supporting layer (pore size of  $0.2 \text{ }\mu\text{m}$  and effective membrane area of  $0.0105 \text{ m}^2$ ). The findings indicated that AGMD effectively inhibits ammonia transfer from the feed stream to the permeate stream by optimizing operating parameters, particularly feed temperature and pH. Elevating feed temperature boosts both water and ammonia flux, although it diminishes the rivalry between ammonia and

water flux (Simoni et al., 2021). This occurs because the driving force of water vapor, being a primary component, outweighs that of ammonia. The phosphate concentration factor experiences a notable improvement with increasing feed temperature.

**Keywords:** Air gap membrane distillation; Marine-culture wastewater; Ammonia recovery; Phosphate recovery.

## 附錄二、國內研討會論文

1. **Chuang, C.K.**, Lin A.T., Lo L., Chuang P.C. (2025) Kaoping slope marine carbon sink variations during the past 150 kyrs. 2025 臺灣地球科學聯合學術研討會(2025 TGA)，台北。(Oral)

**摘要：**

This study aims to reconstruct marine carbon sink changes over the past 150 kyrs using sediment cores GeoB23204-1 (Mebo20) and GeoB23216-1 (Mebo23) drilled in the Four-Way Closure Ridge area of the Kaoping Slope, southwestern Taiwan. The study area is influenced by both terrigenous and marine materials and are controlled by multiple factors, including climate change, the East Asian monsoon, and sea-level fluctuations. By analyzing the content of organic carbon, calcium carbonate, total nitrogen, and total sulfur in the core sediments, we intend to understand the changes in these substances during different periods and their relationship with paleoceanography. Preliminary elemental analysis reveals significant variations in the content of organic carbon and calcium carbonate in the sediments, with a C/N ratio ranging from 8.6 to 16.4, indicating a mixed marine and terrigenous origin, with the proportion changing over time. The proportion of terrigenous material may have been slightly higher during the Last Interglacial period (~100 ka) compared to the glacial period. Future research will focus on reconstructing a foraminiferal oxygen isotopic stratigraphy age model and high-resolution marine carbon content records, and exploring the relationship between paleoceanography and carbon sink variabilities on the millennial to orbital timescales.

**關鍵詞：** Kaoping slope, Paleoceanography, Marine carbon sink,

2. 林采穎、王蒂薇、謝炎恭、王雅玢、游勝傑 (2025) "利用常壓微波電漿轉換香蕉假莖為合成氣及生物炭之研究", 中華民國環境工程學會 2025 廢棄物處理技術研討會, 高雄。(Oral)

**摘要：**

為減少香蕉廢棄物造成的浪費，本研究採用常壓微波電漿技術進行處理，並結合田口實驗法，找出最佳操作參數，提升廢棄物資源化效率，促進循環利用。電漿為高能量電離氣體，具高溫特性，能加速熱解反應，促進氣體生成並抑制重焦油產生，有助於提高氣化品質。熱解為生質能轉換的重要步驟，能將廢棄物轉化為合成氣、生物油與生物炭。其中，合成氣可作為再生能源，降低碳排；生物炭則具良好吸附力，應用於污染處理與土壤改良，具環保與經濟價值。綜上所述，本研究期望透過技術優化，提升香蕉廢棄物的再利用效益，為資源循環與永續發展貢獻力量。

本研究採用田口實驗法來優化熱解參數，實驗樣品分為乾香蕉假莖及濕香蕉假莖，參數包括微波功率(800W、1000W、1200W)、處理時間(5、7、9 分鐘)、氣體流速(5、7、9 SLM)及樣品質量(1、1.5、2 g)，並採用 L9 正交陣列設計實驗，以減少實驗次數，同時獲得最多數據。為全面瞭解熱解產物特性，本研究針對生物炭進行傅立葉轉換紅外線光譜(FTIR)、X 光繞射分析(XRD)、比表面積與孔隙度分析(BET)、近似分析與元素分析等測試；同時，亦透過能源效率測量，評估所產生合成氣與生物炭的應用潛力。

研究結果顯示，乾樣品中碳含量較高(為濕樣品之 1.06 倍)，較有利於碳化反應，因此較易生成生物炭。此外，在香蕉假莖廢棄物的熱裂解過程中，有機物質隨著分解與重組，促使其孔隙率與比表面積提升。乾樣品之合成氣的低熱值(LHV)介於 11.26 到 18.17 MJ/m<sup>3</sup> 之間，在特定條件下(800w、7SLM、2g)，能源效率最高可達 53.4%。濕樣品之合成氣的低熱值(LHV)介於 12.18 到 14.47 MJ/m<sup>3</sup> 之間，在特定條件下(1200w、5SLM、7min)，能源效率最高可達 21.83%。

本研究證實，香蕉假莖生物質具備作為合成氣原料的可行性與競爭力。與其他生物質來源及氣化技術相比，其因為揮發分成分較高且在能源效率極低位熱值上展現出明顯優勢，不僅提供農業廢棄物轉化為再生能源的有效途徑，亦有助於降低環境衝擊，促進循環經濟的發展。

**關鍵詞：**合成氣、生物炭、香蕉假莖、電漿、熱裂解、田口法

3. 林志鴻、王厚傳、杜敬民、紀凱獻、吳仲平、李如訓、許元正 (2025)  
"SRF 使用廠中持久性有機污染物排放特徵之研究"，2025 年第 39  
屆環境分析研討會，桃園。(Poster)

**摘要：**

本研究彙整環境部「固定污染源管理資訊公開平台」資料，截至 113 年 11 月為止，國內具有 SRF/RDF 為燃料之固定污染源「設置」或「操作及燃料使用」許可共 22 家，以造紙廠為主。累計 SRF/RDF 之許可最大使用量約 196 萬公噸/年。112 年國內生產 SRF 相關產品申報量約 29 萬公噸，佔最大許可使用量的 15%。

本研究於 113 年完成 11 家 12 場次的污染物排放調查工作，檢測基質包含排放管道、廢棄物(飛灰及底渣)及放流水，以氣相層析儀/高解析質譜儀(HRGC/HRMS)分析持久性有機污染物(PCDD/Fs)。排放污染物的檢測調查工作中，有 3 家 SRF 使用廠排放管道的 PCDD/Fs 濃度超標，這 3 家使用的 SRF 燃料中 Cu 含量皆較其他廠高。另其中 1 家因採樣期間處於啟爐不穩定階段導致排放濃度較高。廢棄物樣品中有 1 家飛灰 PCDD/Fs 濃度超標，因其 SRF 混燒比高(86.2%)且飛灰中 Cu 含量高，加上觸媒分解濾袋操作溫度 $<170^{\circ}\text{C}$ ，分解效果不佳。至於放流水之濃度為 1.27~5.69 pg-TEQ/L，皆符合現行放流水標準( $<10$  pg-TEQ/L)。

探討 PCDD/Fs 的排放因子發現飛灰中之 Cu 含量與排放管道 PCDD/Fs 濃度呈顯著正相關( $R^2=0.8611$ )，而 Cu 為 PCDD/Fs 低溫再合成之觸媒。此外，Cl 亦是 PCDD/Fs 生成的重要因子，SRF 中的氯(Cl)含量與排放管道 PCDD/Fs 濃度亦呈顯著正相關( $R^2=0.8572$ )。若以未來 PCDD/Fs 鍋爐排放濃度 0.1 ng-TEQ/Nm<sup>3</sup> 代入關係式中，可得 SRF 中的 Cl 含量為 0.4%。此值介於 SRF 的 Cl (1)及 Cl (2)標準之間，故若 SRF 中 Cl 含量 $>0.4\%$ ，且無安裝有效之 PCDD/Fs 防制設備，則有可能超過排放標準。

有鑑於此，本研究建議 SRF 混燒比 $>30\%$ 的工廠，應選擇低 Cl、低 Cu、成分單純、高品質的 SRF，同時皆需安裝活性碳吸附或觸媒分解設備，以確保 PCDD/Fs 排放濃度符合現行及未來的加嚴標準。

**關鍵詞：**固體回收燃料、排放管道、飛灰、放流水、戴奧辛

4. **陳靖**、梁碧清、劉振霖 (2025) "生物炭的環境穩定性有利於增匯減排對碳封存及氣候變遷有積極影響"，2025 臺灣地球科學聯合學術研討會(2025 TGA)，台北。(Oral)

**摘要：**

生物炭(Black Carbon or Biochar, BC)是生物質或者石化燃料不完全燃燒產生的顆粒有機碳。生物炭最終可沉降至土壤與水體及沉積物，進入長期碳循環，其環境穩定性與降解機制亟需機理性的理解及研究，以便更準確的評估其對碳循環及封存的貢獻及效能。

本研究透過 X 射線吸收近邊緣光譜(XANES)與高分辨飛行時間質譜(TOF-MS)等先進分析技術，探討不同生物質來源在不同熱裂解條件下形成的生物炭，其分子結構變化、降解產物與環境穩定性。結果發現生物炭熱解後表面的半揮發性有機物(SVOCs)，其中 V 型木質素衍生物(MW166 & 168、 $C_9H_{10}O_3$  &  $C_8H_8O_4$ )可作為關鍵生物標記，用以追蹤生物炭的分解途徑及在環境中的化學性質改變。此外，研究顯示高溫( $700^{\circ}C$ )形成的生物炭比低溫( $300 - 500^{\circ}C$ )生物炭更具有化學穩定性，在厭氧條件降解能維持較長時間的碳封存。

另一方面，結果揭示在土壤中，生物炭表面隨著埋藏時間，其表面官能基會增加，並且可與礦物質產生化學鍵結，加上物理性的保護，將極大增強其環境長期穩定性，及其長期碳封存潛力。這項研究從機理上理解生物炭的長期穩定性，對運用生物炭及其管理增進碳封存及土壤碳匯具有重要意義，顯示生物炭管理可成為增匯減排的重要策略。

**關鍵詞：**生物炭、生物質、氣候變遷、碳封存、半揮發性有機物

5. 莊智凱、魏國彥、李孟陽、郭美吟、米泓生 (2025) 西菲律賓海加瓜海脊最近 30 萬年來晚第四紀鈣質超微化石生物年代學與碳酸鈣地層之研究。2025 探索海洋研討會，4 月 24-25 日，高雄。(Oral) 摘要：

本研究透過西菲律賓海盆之加瓜海脊所鑽取的深海重力岩芯 ORI-892-GR2-2 站位(東經 122°57.04′，北緯 22°9.73′，水深 2777m)來重建與探討過去 30 萬年以來的三個微體化石生物事件與其生物年代學意義。我們透過使用掃描式電子顯微鏡拍攝岩芯樣本中的鈣質超微化石數位照片，本研究對亞熱帶西太平洋之深海岩芯 ORI-892-GR2-2 中的鈣質超微化石物種赫氏艾密利藻(*Emiliania huxleyi*)、橋石藻屬(*Gephyrocapsa* spp.)和其他種類的鈣質超微化石進行了種屬相對豐度的統計分析。此岩芯的年代模型是透過分析該岩芯浮游性有孔蟲殼體的氧同位素( $\delta^{18}\text{O}$ )數值，並與鄰近的南中國海北部深海岩芯 ODP 1146 站位之氧同位素曲線進行精細的對比所建立，後者是根據中國南部石灰岩洞穴三寶洞(Sanbao Cave)與葫蘆洞(Hulu Cave)的氧同位素綜合曲線，並以 41 個放射性同位素絕對定年點進行了年代學校準。根據本研究岩芯的氧同位素年代模式，其鈣質超微化石赫氏艾密利藻(*E. huxleyi*)的生物事件初現面定在 26 萬 4 千年前，此年代結果與前人研究(Thierstein et al., 1977)且國際公認的年代一致，而本研究也發現了赫氏艾密利藻(*E. huxleyi*)與橋石藻屬(*Gephyrocapsa* spp.)之間的豐度優勢逆轉生物事件，並依據岩芯年代模式定在 8 萬 3 千年前。而本岩芯的粉紅色殼體浮游性有孔蟲 *Globigerinoides ruber* (pink)的生物事件末現面定在 12 萬 5 千年前，與前人研究結果一致。

**關鍵詞：**加瓜海脊、超微化石、生物年代學