

出國報告（出國類別：其他）

參加 2025 歐洲地球科學聯盟大會

服務機關：農業部農業試驗所

姓名職稱：許健輝副研究員

派赴國家：奧地利

出國期間：114年4月25日至114年5月3日

報告日期：114年5月26日

摘要

2025 年歐洲地球科學聯盟大會(2025 European Geosciences Union General Assembly, EGU 2025)於奧地利維也納舉辦，該會議是地球科學領域年度重要會議，會議主題包括氣候變遷、大氣科學、生物地球科學、地球化學、水文學、海洋科學、土壤科學等。今年度超過 2 萬名參與者(來自 120 個國家)發表研究成果，並透過現場交流及討論，建立未來合作關係。會議時間從 114 年 4 月 27 日至 5 月 2 日，共有 1102 場不同研究主題之論文發表。許健輝副研究員於會議期間進行壁報論文發表，發表題目為「Digital mapping of soil particle size fractions across Taiwan」，呈現農業試驗所(農試所)應用數位土壤繪圖產製重要土壤基本圖資之成果。於會議期間，除了聽取有關數位土壤繪圖相關研究成果外，也關注農業溫室氣體及水稻監測(遙測)、土壤健康指標、生態系服務價值、土壤碳匯等研究發表。此外，也特別聽取有關如何利用多源資料及人工智慧進行重要農業議題之研究。EGU 會議的領域涵蓋多元，主要關注在大尺度的地球科學研究，透過本次會議除了蒐集農業重要議題的研究成果外，同時也能夠認識專業領域及研究主題相近的學者，可作為未來建立研究合作關係的基礎。

目錄

| | |
|---------------|----|
| 摘要..... | 2 |
| 本文..... | 4 |
| 一、 目的..... | 4 |
| 二、 過程..... | 5 |
| 三、 心得與建議..... | 9 |
| 附錄..... | 11 |

本文

一、 目的

本次參加 2025 歐洲地球科學聯盟大會(2025 European Geosciences Union General Assembly)，該會議每年舉辦，會議地點皆為奧地利維也納，今年度舉辦時間為 4 月 27 至 5 月 2 日。EGU 是全世界地球科學相關領域重要的會議之一，全球相關領域的學者藉此機會發表研究成果，並藉此機會相互交流。參加本會議主要關注土壤科學及農業監測相關的研究成果，除了能夠得知與業務相關的研究發展(土壤資訊、土壤碳匯等)外，也可以發掘其他未來可以參考的研究方法及可投入的研究議題，讓農試所建置的土壤資訊及農業空間資料在政策及學術發展上有更多的應用價值。

二、過程

1. 會議行程表

| 日期 | 地點 | 行程 |
|-------------------------|--------------------|--|
| 114 年 4 月 25-26 日 | 臺灣-奧地利維也納 | 由臺灣出發至奧地利維也納，4/26 抵達維也納。 |
| 114 年 4 月 27 日至 5 月 2 日 | 奧地利維也納 | 參加研討會，搜尋和研究相關的議題，到會議廳聽取相關研究學者之簡報，並且於壁報討論時間(5/2 8:30-10:15)與各國學者進行學術討論。 |
| 114 年 5 月 2-3 日 | 奧地利維也納-泰國曼谷(轉機)-臺灣 | 5/2 下午由奧地利維也納返回臺灣，5/3 抵達臺灣。 |

2. 會議經過概述

2025 年 4 月 25-26 日

4 月 25 日由桃園機場出發，奧地利當地時間 4 月 26 日抵達維也納國際機場。

2025 年 4 月 27 日

4 月 27 日至會場報到，領取會議名牌，並於住處準備會議資料。

2025 年 4 月 28 日至 5 月 2 日

4 月 28 日至 5 月 2 日為口頭及壁報發表時間，5 天的會議內容主要都是由各國參與學者對於不同主題(1102 個)的研究成果進行發表和討論。有關這 5 天會議期間發表內容，記錄與農業監測(溫室氣體、農作物時空分布)、數位土壤繪圖、土壤健康指標、土壤碳匯等研究有關的研究成果，摘述如下：

- (1) 紐西蘭氣候變遷研究所(Climate Change Research Institute)學者 Martin Manning 口頭發表主題為「New advances and new questions for atmospheric methane」，該學者利用碳同位素結合衛星遙測數據來推估大氣中甲烷濃度變化及來源。該研究指出隨著衛星數據的可獲得性提高，能夠更精確的判釋甲烷來源(化石燃料或生物來源)及其空間分布，2006 年以前大氣中化石燃料排放為主的甲烷來源；但自 2006 年後，大氣中甲烷主要由濕地和農業等生物來源所驅動。若進一步考慮 OH 濃度，該結果顯示熱帶非洲地區北部的濕地排放有增長的趨勢。該學者最後也指出，考量到為了達成攝氏 2 度目標必須急速減少大氣甲烷，近期甲烷碳同位素($\delta^{13}\text{CCH}_4$)的變化顯示，大氣甲烷正處於極為動態的轉變期，未來全球甲烷收支的變化可能更不易預測。
- (2) 英國艾希特大學(University of Exeter) Yung-Chieh Wang 教授口頭發表主題為「Uncertainties in carbon emissions from land use and land cover change in Indonesia」，該學者指出印尼是全球因土地利用變化排放碳最多的國家之一，但過去缺乏可靠數據導致二氧化碳排估算高度不確定。該研究比較衛星資料與統計資料發現，兩者在主要島嶼的耕地變化估算差異大，導致碳排推估值落差大。即使使用相同資料，不同模型之間也有高達 0.12 PgC/年的差距。作者推估官方未納入泥炭地火災與排水導致的碳排，因此低估碳

排量。此外，該作者也發現碳排高峰多出現在聖嬰年。為降低不確定性，建議結合不同數據來源，納入泥炭地與棕櫚油(印尼主要作物)栽種資訊，另有建議防止森林砍伐與火災仍是降低碳排的關鍵。

- (3) 新加坡大學學者 Chao Zhang 壁報發表主題為「A GNN-RNN Framework for Rice Yield Prediction in South Asia」，該學者指出，氣候變遷對農業造成前所未有的風險，特別是在南亞稻米生產區，準確的稻米產量預測對糧食安全至關重要。該研究提出一種圖像化神經網路與循環神經網路結合的模型 (graph-based recurrent neural network, GNN-RNN)，利用多源資料包括氣候、衛星、土壤與歷史產量等，預測南亞稻米產量。結果指出透過 CNN 提取時間序列特徵和捕捉地理關聯，RNN 則掌握時間依賴性，與其他五種機器學習模型比較，GNN-RNN 具有最佳的預測表現(平均 R^2 達 0.75)，RMSE 為 288 公斤/公頃。即使在極端天氣之年度，其預測誤差也較穩定。因此，作者認為該模型具備高解析度產量預測的潛力，未來可進一步整合遙測資訊來提高預測能力。
- (4) 韓國 National Agricultural Satellite Center 學者 Jae-Hyun Ryu 壁報發表主題為「Machine Learning-Based Rice Disease Diagnosis Through Joint Utilization of Satellite, Drone, and Weather Data」，作者結合遙測(無人機、衛星光學/雷達影像)與機器學習技術，針對稻米病害進行即時監測與診斷，以降低病害帶來的產量損失並促進永續農業管理。該研究利用 Sentinel-1(VV 極化波)與 Sentinel-2(植生指數)衛星資料判別灌溉稻田分布，根據氣溫、濕度與降雨推估病害風險，當風險升高時，透過無人機監測稻作異常生長情況，最後運用隨機森林模型，以多波段反射率偵測病害區域。該作者指出該方法具備提升病害應對效率與田間管理潛力。
- (5) 美國 Sandia National Laboratories 學者 Umakant Mishra 口頭發表主題為「Global Soil Organic Carbon Storage and Dynamics: Current knowledge and Machine Learning Potentials」，該研究整合全球土壤剖面資料、環境數據與機器學習模型，量化 SOC 儲量與不確定性，分析 CMIP6 情境下的未來變化，並探索機器學習在提升預測能力上的潛力。結果顯示，土壤有機碳(SOC)儲量在不同深度與生態區間差異大；在高碳排情境下，全球土壤碳儲量可能上升。該作者指出，在氣候變遷與土地利用變化的背景下仍存在知識缺口，解決這問題必須跨域合作，包括統一 SOC 觀測資料與補足代表性不足生態區的樣本；改善地球系統模型中對成土過程的代表性；運用先進資料驅動方法提升預測能力，這有助於更準確地掌握 SOC 儲量的規模與變化趨勢，進而為全球土壤資源的永續管理提供科學依據。
- (6) 荷蘭 Wageningen University 學者 Gabriel Moinet 口頭發表主題為「Rethinking soil carbon research: beyond the mitigation-centric narrative」，該學者指出土壤 SOC 封存被視為解決氣候變遷與糧食安全這兩大全球關鍵挑戰的「雙贏」方案。然而，透過詳細的文獻分析顯示，現有的知識並不能證明目前對 SOC 封存的關注是合理的。作者擔憂當前迅速發展且缺乏監管的自願性碳市場，例如以每公噸封存 CO_2 支付農民，未必能實現公平且有效的永續土

壤管理。作者主張土壤碳的研究與政策應回歸已有豐富證據所支持的方向，即發展能因地制宜的管理實踐，兼顧多重環境成果，並重視社會接受度與經濟可行性。雖然以氣候變遷緩解作為永續土壤管理的主軸，確實引起了對土壤的重視，但這種做法並不適合推動實現長期永續目標所需的研究與政策。因此，作者呼籲改變土壤碳科學的敘事焦點，從僅關注氣候變遷緩解，轉向促進跨學科與跨領域對土壤的整體理解。

- (7) 澳洲 University of New South Wales 學者 Lingfei Wang 口頭發表主題為「Why mechanistic models perform poorly in global soil organic carbon prediction」，作者指出機制型模型在模擬全球土壤 SOC 儲量及其空間變異性方面，表現明顯不如機器學習模型。為改善對 SOC 轉變(turnover)過程的理解並改善未來模型發展，該研究使用約 37,000 筆全球 SOC 觀測資料，訓練機制型與機器學習模型，結果顯示機器學習模型整體預測表現較佳。此外，結果也發現機制模型對各變數的敏感度明顯較弱，特別是土壤濕度與 pH 在機制模型中的影響力被嚴重低估，說明 SOC 對這些關鍵環境因子的依賴性仍需深入研究。
- (8) 德國 University of Goettingen 學者 Yakov Kuzyakov 口頭發表主題為「Soil health: Critical evaluation and approaches」，該學者指出土壤功能主要由過程和通量（動態參數）定義，而不是由它們的總量定義。然而，大多數研究使用營養庫或靜態屬性，這些都很難與功能連結。過去已有許多土壤品質指數（SQI）來評估特定群體的土壤功能，但由於這些 SQI 基於每種土壤具有特定的組合，因此無法進行比較。為了避免這個問題，該學者建議採用 SQI-area 方法，該方法將化學、生物與物理性質繪製為雷達圖並比較圖形面積。新方法獨立於 SQI 原理，可進行不同土壤或退化/恢復階段之間的可視化比較。此外，該研究也提出另一種方法，透過土壤性質對退化的「抗性與敏感度」進行評估，並以土壤有機碳（SOC）作為統一指標。該學者認為前述方法有助於基礎與應用研究，並協助決策者評估土壤退化程度。
- (9) 荷蘭 Wageningen University & Research 學者 Paolo Di Lonardo 口頭發表主題為「Soil Health BENCHMARKS: Monitoring approaches for evaluating soil health through indicator measurements」，該學者介紹 Soil Health BENCHMARKS 是一項由 Horizon Europe 資助的計畫，目的在建立一套透明、統一且具成本效益的歐洲土壤健康評估框架。該計畫運用歐洲 29 個地景案例研究，與多元使用者共同開發一套多尺度運作的監測系統。BENCHMARKS 與土地管理者、政策制定者、立法者、產業鏈企業及非政府組織等利害關係人合作，目標是設計一套可依據特定評估目標進行調整、適用於不同土地利用情境且具實用性的系統(土壤健康評估指標)。
- (10) 德國 Thünen Institute 學者 Marcus Schiedung 口頭發表主題為「Changes in soil organic carbon stocks and quality on a national scale-Decadal trends of the German Agricultural Soil Inventory」，該學者指出了解土壤 SOC 變化，對於評估土壤是碳排放吸收庫(sink)或排放源(sources)的角色至關重要。農業使用已導致大量的土壤有機碳損失，而最近的預測顯示，歐洲地區的 SOC 仍將持續減

少，但其主要驅動因素仍不明確。該學者提到，德國農業土壤調查目前正在重新採樣約 3,000 個樣點，以測定十年間 SOC 的變化。報告中展示目前已完成的 800 個分析樣點 SOC 儲量趨勢，結果指出 0-50 公分耕地和草地土壤的 SOC 儲量大約損失了 4%，尤其在碳含量較高的土壤中最為明顯。該學者未來將進一步探討過去土地利用變化及管理方式在 SOC 動態中的影響，以釐清關鍵驅動因素。此外，該學者使用中紅外光譜技術來研究 SOC 的品質與組成(脂肪族與芳香族化合物的相對比例)，來判斷土地利用變化區位 SOC 變化的方向。該作者正在建立一個大型光譜資料庫，以將此方法擴展應用至全國性的土壤調查中，從而建立新的指標來進行 SOC 變化的評估。

(11) 匈牙利 HUN-REN Centre for Agricultural Research 學者 Brigitta Szabó 口頭發表主題為「Aggregating 3D soil hydraulic properties for large-scale environmental modelling」，該學者指出土壤水管理特性對農業、水文及環境建模非常重要，為了更精確地描述土壤水力過程，因此開發匈牙利全國性的三維土壤水力地圖 (HU-SoilHydroGrids)，解析度 100 公尺，涵蓋六層土壤，深度達 2 公尺。該研究利用 k-means 聚類法對 HU-SoilHydroGrids 資料庫中六層土壤的八項水力參數進行分析，包括 van Genuchten 參數、飽和含水量、田間含水量、萎凋點、有效水容量及水力傳導度，此分析依據水力特性將土壤分成十二個水管理類別。此外，為確保涵蓋所有水管理條件，該研究也結合專家知識進一步細分這些分類，考慮土壤剖面深度、成土類型、電導度與可交換鈉含量，最終建立了 68 種土壤水管理類別，該結果有助於將土壤水力數據整合應用於環境模式建立。

(12) 美國 Duke University 學者 Chengcheng (Emma) Xu 口頭發表主題為「Development of a new 30-m soil properties map over the CONUS using pruned hierarchical Random Forests and iterative bias-correction」，該學者提出提出創新的方法，製作涵蓋美國本土地區的 30 公尺解析度數位土壤圖，能有效降低土壤性質分布預測的不確定性。預測的土壤性質包括土壤質地、體積密度、水力性質、pH 值與有機質含量，涵蓋從地表到 2 米深的六個標準土層。該方法包含兩個主要步驟。第一步是開發「pruned hierarchical Random Forest」(pHRF) 方法，該方法特點包括可有效的選取模式建立時使用的環境共變數(environmental covariates)；透過「moving polygon algorithm」演算法保留自然地景邊界；降低預測不確定性。第二步為該研究在後處理中加入偏差修正程序，該分析方法無須假設土壤性質的分布型態，並運用非參數統計模型(non-parametric statistical models)處理空間相關性。圖資驗證結果顯示預測不確定性有所降低，並指出土壤圖成果具可重現性。因此，該學者認為利用前述方法產製的土壤圖有助於土地管理與建模應用。

2025 年 5 月 2-3 日

5 月 2 日於奧地利維也納搭機返國，臺灣時間 5 月 3 日上午抵達桃園機場。

3. 論文發表

論文題目為 Digital mapping of soil particle size fractions across Taiwan (5/2 壁報發表)，發表內容摘述如下：土壤粒徑分析(PSF)直接影響土壤中的水分、

養分及空氣移動和滯留，該性質對作物生長的最佳條件至關重要。本研究應用三種組成數據的對數比(log-ratio)轉換技術：加乘對數比（additive log-ratio, ALR）、中心對數比（centered log-ratio, CLR）和等距對數比（isometric log-ratio, ILR）。數位土壤繪圖（DSM）結合環境共變數（衛星影像、地形特徵和氣候數據）與機器學習（ML）模型（Cubist 和隨機森林），繪製臺灣土壤粒徑分佈的預測圖。本研究使用 R^2 、均方根誤差（RMSE）、Aitchison 距離（AD）評估模型準確性，並且預測土壤質地類型的正確比率（RR）。分析結果顯示，與隨機森林（RF）結合的 CLR 轉換（RF_CLR）表現最佳，具有最高的 R^2 值（砂粒：0.59，粉粒：0.29，黏粒：0.51），以及最低的 RMSE（砂粒：16.51%，粉粒：10.65%，黏粒：8.45%）和 AD（0.08）。不同的取樣密度會影響數據的計算效率，因此測試了不同的取樣密度以找出最佳的組合（RF_CLR）。當取樣密度小於原始採樣數（ $N = 22,000$ ）的 50% 時，PSF 的預測表現顯著下降。本研究結果可作為臺灣土壤管理、田間灌溉用水估算和作物種植規劃的重要參考。

三、心得與建議

1. 歐洲地球科學聯盟大會(European Geosciences Union General Assembly, EGU)為地球科學重要的會議，發表的主題相當廣泛且多元，多達 1102 個主題及 18,834 場發表，發表的方式包含口頭發表、壁報發表及兩分鐘口頭發表(PICO presentation)，大會統計參與人數為 20,984 人(包含 2338 人線上參與)，參與人員來自 120 個國家。該會議規模雖然大且複雜，但會場的動線清楚及提供會議資訊查詢的 APP 相當便利，整體規劃非常值得學習。
2. EGU 的論文發表議題相當多元，在會議前必須先規劃要聽哪些研究主題的論文發表，以及依據時間和會議室地點安排路線。會議前的相關安排都可透過主辦單位提供的 APP 來規劃，這可提供會議參與的效率，也可在會議期間儘可能蒐集到寶貴的資訊，並且與學者和研究人員進行交流。
3. 農業區作物監測為農試所重要的研究工作之一，本次會議安排一些時間參加利用遙測技術判釋農作物分布和產量估算之論文發表，包括如何導入 AI 演算法(機器學習、深度學習等)來提高判釋準確度，以及降低人工作業時間，提高圖資產製效率。此外，也有研究整合遙測(無人機、衛星光學/雷達影像)與機器學習技術，建立稻米病害即時監測和診斷技術，並且透過氣溫、降雨、灌水頻率資訊推估病害風險，作為病害防治之參考基礎。該研究整合了作物病害、農業氣象、遙測技術及空間分析等專業，由此可知，跨域合作才能提出具有全面性的解決方案。
4. 淨零碳排為國家重要的政策，如何快速且大面積的監測農業區溫室氣體排放，有助於掌握農業區的碳排動態。因此，今年度會議有許多有關利用衛星影像監測國家及區域尺度溫室氣體(如甲烷、氧化亞氮、二氧化碳等)的排放，並且有研究結合同位素資訊，判斷溫室氣體源自於石化燃料或農業活動。此外也有研究團隊對於如何降低大尺度甲烷排放不確定度進行探討。目前為止，國內利用衛星遙測技術監測大尺度農業區溫室氣體排放的研究仍相當有限，發展該技術有利於農業部門即時掌握碳排風險區，對於碳排熱區可透過栽培技術輔導或其

他措施降低大範圍溫室氣體排放，以達農業淨零的目標。此外，發展遙測技術監測溫室氣體排放也有助於農業區溫室氣體排放係數的建立，該技術可客觀地界定不同區域碳排係數適用的範圍，進而提升溫室氣體排放清冊中農業部門排放資料之準確度。

5. 本會議中，土壤碳匯研究仍是相當熱門的主題，包括「Soils and Environmental Change」、「Soil carbon and global change」、「Dissolved and particulate organic matter - Linking terrestrial and aquatic ecosystems」、「Opening the black box of natural organic matter」等超過 10 以上與土壤碳相關的主題名稱，研究內容從分子層次的有機碳轉變機制到全球尺度有機碳變化影響因子探討。此外，也有學者提出應該重新思考土壤有機碳的研究方向，以及何種做法適合推動永續目標所需的研究與政策。此外，也有研究發展不同的有機碳變化評估指標(如脂肪族與芳香族化合物的相對比例、源自微生物產製的碳等)，用來推斷土地利用變化對土壤有機碳轉變的影響。透過會議期間蒐集土壤碳匯研究的資訊和瞭解其發展，對於規劃未來土壤碳匯計畫的方向非常有幫助。
6. 如何評估及量化土壤健康(Soil health)是土壤科學領域一直被探討的議題，它是土壤物理、化學、生物特性的綜合表現。在本次的會議中有關土壤健康討論的主題包括探討土地利用或氣候變遷對其的影響、監測方法的開發、土壤退化恢復策略、新的評估指標等，也有學者分享土壤健康與生態系服務價值的關係，如何將土壤健康指標轉為行動方案(如政策制定)。參加土壤健康相關的論文發表後，體認到它是全球性的議題，它不僅影響農業生產，也與氣候變遷和生物多樣性等議題關係緊密，因此，如何將國內豐富的土壤資訊建立符合國內環境條件的土壤健康指標，發展具有可持續性的監測方法及空間化技術，產製具有代表性的評估資訊，進而作為農業及環境保護政策的依據，這是需要被重視的研究議題。
7. 利用數位土壤繪圖(digital soil mapping)來探討土壤性質的空間分布為農試所近年的研究重點，因此，在數位土壤繪圖的場次發表全台土壤粒徑分布研究成果，在壁報發表期間和相關領域的學者進行交流及交換聯絡資訊，建立未來研究合作的基礎。相較於其它國家，我國土壤調查的密度及數量都非常高，許多相關領域的學者認為這些資料可以做許多研究及實際應用，因此，在現場有許多的意見交換及討論，這樣的交流機會相當寶貴。
8. 本次參與的 EGU 會議，涵蓋了許多目前國內重視的農業研究議題，包括淨零碳排、韌性農業、土壤健康與退化、農業遙測監測、水資源管理等，也包含了如何將研究成果轉化成實際應用和政策制定等論文發表。然而，國內農業領域參與會議的人較少，因此，建議國內農業研究單位可考慮派員或鼓勵研究人員參與和 EGU 會議性質相似的研討會。

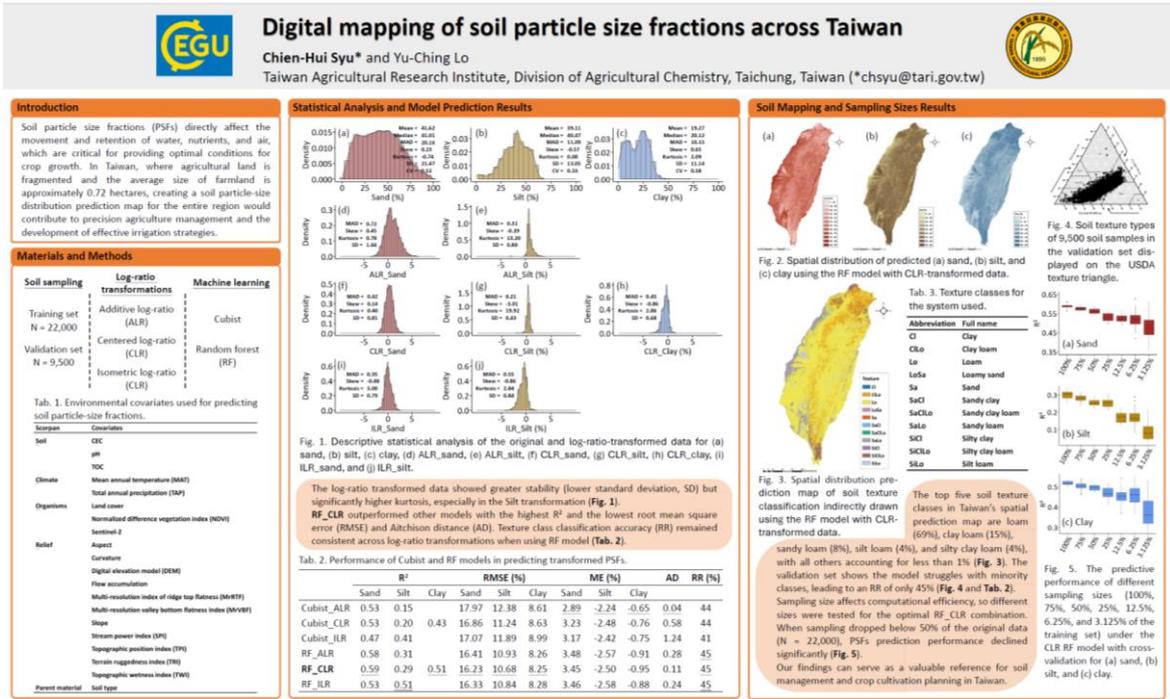


圖 1. 許健輝副研究員發表壁報

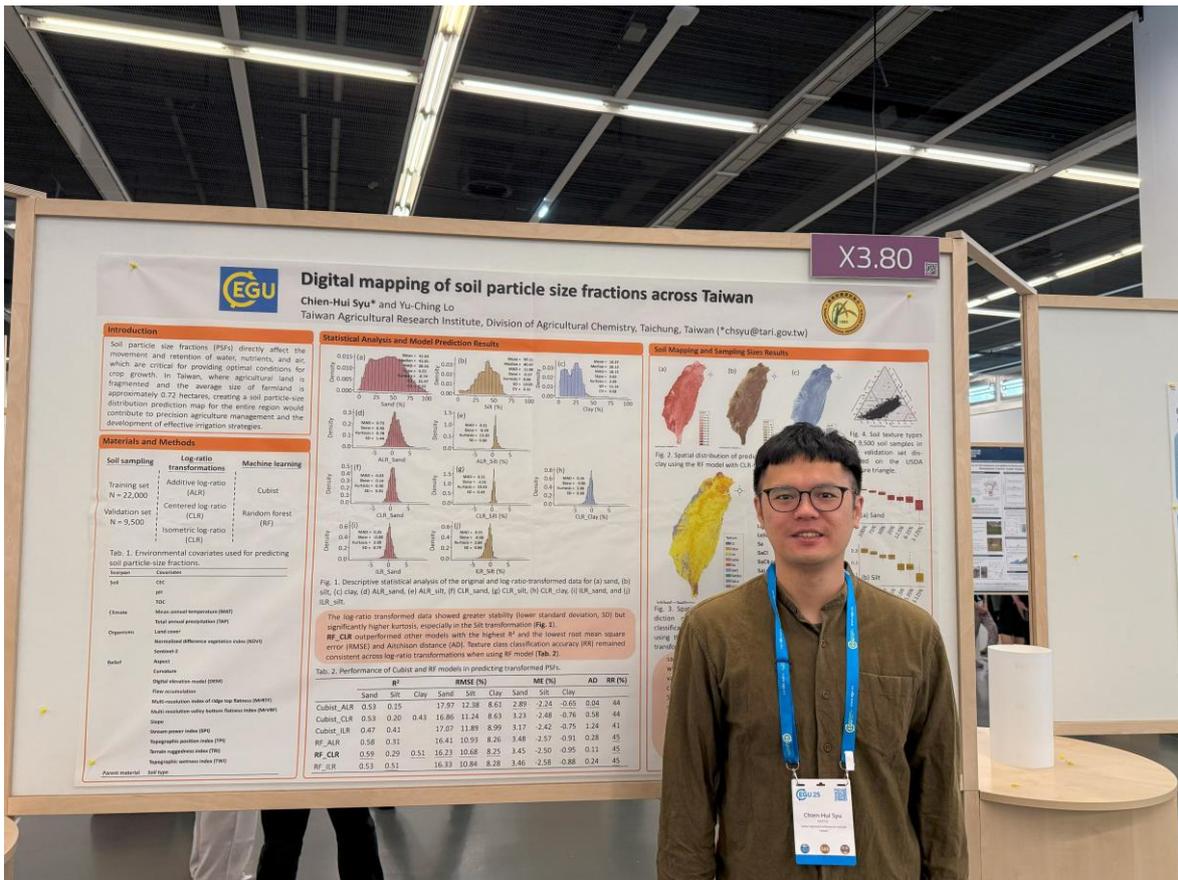


圖 2. 許健輝副研究員與發表壁報合照



圖 3. 會場儀器廠商展示攤位