

出國報告（出國類別：其他）

## 參加 2024 土壤計量學研討會

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：美國

出國期間：113 年 2 月 3 日至 113 年 2 月 12 日

報告日期：113 年 2 月 16 日

## 摘要

2024 年土壤計量學研討會(Pedometrics 2024)於美國新墨西哥州拉斯克魯塞斯(Las Cruces)舉辦，該會議是全世界從事數位土壤繪圖(Digital soil mapping)和近端土壤感測(Proximal soil sensing)研究重要的學術會議，會議主辦單位將今年度論文發表主題區分為土壤計量學於未來研究上遇到的 10 項挑戰，包括三大主軸「如何更了解土壤形成(挑戰 1-3)」、「如何改進方法學(挑戰 4-6)」、「如何符合使用者需求(挑戰 7-10)」，透過研究成果分享讓從事相關研究工作的學者互相交流及討論，並且建立未來研究合作的聯繫管道。會議時間從 113 年 2 月 4 日至 2 月 9 日，來自世界各地的土壤計量學研究學者參與。許健輝副研究員於會議期間進行兩篇口頭論文發表，發表題目分別為「National Scale Mapping of Soil Organic Carbon Stocks in Taiwan」、「Machine Learning Models Do not Provide Higher Accuracy Compared to Ordinary Kriging under High Density Soil Observations」，呈現本所於土壤有機碳空間分析之階段性研究成果。於會議期間，聽取有關土壤性質時空變化預測模式、全球土壤分類系統構想、土壤生成之數據驅動模式、土壤光譜、數位土壤繪圖等論文發表，也透過討論和交流建立聯繫管道，期望未來能夠透過國際合作加速研究進度，進而提供決策參考。此外，資料/資訊共享在全球性和大尺度研究的重要性顯而易見，也是國際合作的趨勢，如何在加速科研進展的同時，能夠主動提升資料的應用價值和我國在國際相關研究領域的影響力，是未來值得努力的方向。

# 目錄

摘要.....	2
本文.....	4
一、 目的.....	4
二、 過程.....	5
三、 心得與建議.....	8
附錄.....	9

# 本文

## 一、 目的

本次參加的研討會為 2024 土壤計量學研討會(Pedometrics 2024)，舉辦國家為美國，舉辦地點為美國新墨西哥州拉斯克魯塞斯，研討會舉辦時間為 113 年 2 月 4 日至 2 月 9 日。該會議是全世界土壤計量學領域重要的會議之一，國際上相關領域的學者都會藉此機會發表研究成果，並且也可藉此機會相互交流。本會議有關土壤計量學發表的主軸為數位土壤繪圖和近端土壤感測，牽涉的農業議題包括土壤碳匯、土壤品質、土壤多功能、生態系服務價值等。藉由本次會議除了可得知與業務相關的研究發展(土壤碳匯、農業水資源)外，也可以瞭解其他我們未來可以投入的研究議題。透過與各國學者的交流及討論，期望可激盪研究想法，提高土壤資料的應用價值。

## 二、 過程

### 1. 會議行程表

日期	地點	行程
113 年 2 月 3 日	臺灣-美國洛杉磯 (轉機)-德州埃爾帕 索機場-新墨西哥 州拉斯克魯塞斯	由臺灣出發至美國，當地時間 2/3 抵達 美國新墨西哥州拉斯克魯塞斯。
113 年 2 月 4 日	新墨西哥州拉斯 克魯塞斯	參加主辦單位舉辦的小型工作坊
113 年 2 月 5 日-2 月 9 日	新墨西哥州拉斯 克魯塞斯	參加研討會，聽取研究學者之簡報。 本人的口頭發表時間為 2/6 下午時段。
113 年 2 月 10-12 日	新墨西哥州拉斯 克魯塞斯-德州埃 爾帕索機場-德州 休士頓(轉機)-臺灣	會議結束後由美國新墨西哥州拉斯克 魯塞斯返回臺灣，2/12 抵達臺灣。

### 2. 會議經過概述

#### 2024 年 2 月 3 日

2 月 3 日上午由桃園機場出發，搭機飛往美國加州洛杉磯機場轉機至德州埃爾帕索機場，接著搭車至新墨西哥州拉斯克魯塞斯之飯店。

#### 2024 年 2 月 4 日

2 月 4 日至研討會辦理地點新墨西哥州立大學(New Mexico State University)參加小型工作坊，工作坊主題為「Containers for reproducible Digital Soil Mapping at different scales」，授課專家來自於荷蘭 ISRIC(International Soil Reference and Information Centre)，講授有關應用於數位土壤繪圖(Digital soil mapping, DSM)的平台，該平台能夠整合執行 DSM 的複雜流程，並且讓執行的流程和成果具有可追溯性。

#### 2024 年 2 月 5 日至 2 月 9 日

2 月 5 日至 2 月 9 日期間為口頭發表的時間，5 天的會議內容主要都是由各國參與學者針對數位土壤繪圖和近端土壤感測研究成果進行發表和討論。此外，主辦單位於 2 月 7-8 日兩天下午辦理田間訪視，2 月 7 日下午於拉斯克魯塞斯鄰近參觀三個代表性土壤剖面，介紹不同地形和土地利用下的旱境土剖面；2 月 8 日下午赴白砂國家公園(White Sands National Park)參訪，主要是介紹沙漠地景下的土壤生成。有關這 5 天會議期間發表內容，記錄與職研究有關的研究成果，摘述如下：

- (1) 澳大利亞雪梨大學(The University of Sydney)學者 Quentin Styc 報告主題為「Continental Monitoring Soil Property Changes Under Human Pressure Using Pedogenon Mapping」，該學者透過 genosoil 和 phenosoil 的概念來說明土壤的變化，genosoil 代表自然條件下生成的土壤，phenosoil 則代表人為活動後所演變的土壤。研究成果顯示土壤特性如 pH 和有機質的變化來自於 genosoil

和 phenosoil 的差異。作者指出，將數位土壤繪圖和 genosoil 及 phenosoil 的概念結合，有利於了解人類活動對土壤性質變化的影響。

- (2) 巴西 Federal University of Technology-Paraná (UTFPR) 學者 Taciara Zborowski Horst 報告主題為「Spatio-temporal soil information based on open science and multidisciplinary collaboration」，該學者的報告指出，儘管數位土壤繪圖在不同尺度的土壤資訊產製發揮重要的作用，但目前對於大範圍動態變化的土壤性質圖仍有限，因為該圖資之產製需要涵蓋空間及時間變異的資料。因此，該報告提到如何透過非政府組織、大學及新創公司組成的網絡建構 MapBiomass 平台，利用開放資料、衛星資料、雲端電腦及機器學習，產製一系列具有時間尺度(1985-2021 年)的土壤有機碳儲量圖資。最後該學者提到，只有透過強大的多學科網絡，將土壤資訊的產生整合到更廣泛的框架中，產出的圖資能夠滿足決策者和科研使用者的需求。
- (3) 美國 Woodwell Climate Research Center 學者 José Lucas Safanelli 報告主題為「How can we be more assertive about soil spectroscopy predictions? The Open Soil Spectral Library study case」，該學者提到利用光譜法預測土壤性質被認為是快速且具經濟效益的技術。但現今仍有許多研究探討如何精進預測能力及品質，因此，該學者以開放土壤光譜資料庫(Open Soil Spectral Library, OSSL)的運作為例，說明如何進行資料確認、前處理、預測模式驗證及不確定度量測等程序，進而建立具有代表性的土壤光譜預測模式。
- (4) 澳大利亞雪梨大學(The University of Sydney)學者 Wartini Ng 報告主題為「Digital mapping of Australian soil carbon stocks from inorganic carbon」，講者提到在澳洲或其他半乾旱地區，土壤無機碳的碳含量可能主導土壤碳的儲量。然而，相較於有機碳，目前對於無機碳的了解及空間分布相當有限。因此，講者說明如何同時利用分類性和迴歸混合模型預測土壤無機碳含量和儲量，並且繪製不同深度(0-200 公分)的土壤無機碳儲量分布圖。研究結果顯示，隨著土壤深度增加，無機碳儲量呈現增加的趨勢，這與土壤有機碳變化趨勢相反。該研究建立澳大利亞土壤無機碳儲量之基線圖。
- (5) 匈牙利 Institute for Soil Sciences, HUN-REN Centre for Agricultural Research 學者 Gábor Szatmári 報告主題為「Modelling soil organic carbon stock in space and time at multiple scales: Case study from Hungary」，該學者報告指出，了解土壤有機碳時空變化資訊有助於探討氣候變遷、土壤退化及糧食安全等議題。因此，該學者分享如何利用匈牙利從 1992 年開始收集的土壤有機碳資料，搭配詳盡且具時空特性的環境共變數來建立土壤有機碳儲量的預測模式，預測模式則是結合機器學習和地理統計，最後展示不同時間下土壤有機碳儲量空間分布之成果。
- (6) 法國 INRAE 學者 Philippe Lagacherie 報告主題為「New evaluation criteria for digital soil mapping products from an user's point of view」，該學者指出數位土壤繪圖產品應考量終端使用者(end-user)的看法，因此，該學者認為應從使用者的角度評估繪圖產品，包括相關性、完整性及可理解性等定性評估基準。最後建議數位土壤繪圖方法學的改進需要納入滿足使用者導向的準則，才

能產製有應用價值的產品。

- (7) 澳大利亞雪梨大學(The University of Sydney)學者 Nicolas Francos 報告主題為「Soil's Hidden Value: Mapping Available Water Capacity as a Component of Natural Capital in Australia」，講者提到土壤有效水容量(AWC)與糧食生產、氣候調節及水資源利用有關，並且透過灌溉水價格將 AWC 轉換成貨幣價值。利用數位土壤繪圖繪製全澳洲土壤 AWC 分布圖，進而估算土壤的自然資本。

2024 年 2 月 10-12 日

2 月 10 日下午搭機返國，於美國德州休士頓轉機，臺灣時間 2 月 12 日上午抵達桃園機場。

### 3. 論文發表

- (1) 論文題目：National Scale Mapping of Soil Organic Carbon Stocks in Taiwan (2/6 口頭發表)

發表內容摘述：土壤有機碳對於土壤的養分保留、團粒結構穩定、保水能力及作物生產非常重要，特別對於生態系服務如氣候變遷的調節扮演重要的角色。因此，準確預測土壤有機碳的空間分布及估算其儲量是必要的。本研究目的為利用數位土壤繪圖(digital soil mapping)產製臺灣表層土壤(0-30 公分)土壤有機碳儲量空間分布基線，並且比較不同土地覆蓋間的差異。本研究使用 2008-2020 年全台土壤調查數據(有機碳含量、總體密度、含石量)計算碳儲量，透過機器學習模式(Cubist、隨機森林)建立土壤有機碳儲量與環境變數間的關係，進而繪製其空間分布圖。結果顯示，隨機森林模式具有較佳的預測表現，海拔和溫度為影響有機碳儲量預測的重要參數。空間分布圖顯示森林土壤有機碳儲量顯著高於其他土地覆蓋類型，另經數值計算得知，全台表土有機碳儲量約為 143 百萬噸。本研究之結果為國內第一個利用數位土壤繪圖繪製國家尺度土壤有機碳儲量基線圖，這可作為農業部門評估未來土壤碳匯變化的基礎。

- (2) 論文題目：Machine Learning Models Do not Provide Higher Accuracy Compared to Ordinary Kriging under High Density Soil Observations (2/6 口頭發表)

發表內容摘述：訓練資料的數量對機器學習模型預測土壤特性的準確性的影響已被廣泛研究。研究結果一致表明，機器學習模型在接受大量資料訓練時往往會產生最佳結果，通常超過普通克里金法的表現。然而，這些研究主要依賴已存在且稀疏的資料集。然而，目前還沒有全面的研究探討高土壤樣本密度觀測值（大於 1 sample/km<sup>2</sup>）對機器學習模型表現的影響，這主要是由於在大部份地區的數據量是稀少的。本研究利用國內土壤調查數據，其中樣本密度相當於每平方公里大約 1.2 個觀測值。研究區域位於台灣中部。數據分為兩組：用於驗證模式的數據集，其餘數據為訓練數據集。我們採用隨機森林以 20 公尺的空間解析度進行了表層土壤有機碳庫之預測，並將利用隨機森林、迴歸克里金(搭配隨機森林)和普通克里金法預測獲得的結果進行比較。本研究有系統地將整個研究區域的訓練資料集從 4164 個樣本縮小到 130 個。測試數據顯示，樣本數量的減少

導致均方根誤差 (RMSE) 呈指數下降。雖然觀察到了邊際差異，但普通克利金法仍優於其他兩種方法，表示土壤觀測的密度比機器學習模型的選擇扮演更關鍵的作用，這意味著目前選擇的環境共變數可能不足以充分呈現局部土壤的變化。

### 三、心得與建議

1. 相較其他大型的國際研討會，本次參與的會議屬於特定領域(土壤計量學)的交流會議，參與人數不到百人。5天的會議都在同一間演講廳內進行，與會人員對於發表內容能夠有更仔細的討論和意見交流，同時，也更能夠認識世界各地進行相同領域研究的學者。
2. 利用數位土壤繪圖來探討土壤性質的空間分布為本人近年的研究重點之一，在本次的會議發表有關國家尺度及區域尺度土壤有機碳儲量預測的階段性成果，除了在報告後與會學者的問題詢答外，也在休息時間和進行類似研究主題的學者進行交流及聯絡資訊交換，這可作為未來建立國際合作的基礎。
3. 在本次會議中，主辦單位將土壤計量學研究面臨的挑戰作為發表主題的依據，我認為是相當有創意的安排，有別於傳統的主題設定方式，這樣的安排能夠讓發表及討論的內容更聚焦，這類型的主題安排對於未來學術活動的規劃是可以參考的想法。
4. 由於目前國家農業淨零排放政策，土壤有機碳時空動態變化和監測方法的相關研究為本人關注的重點，在本次會議的發表中，包括巴西、比利時、匈牙利、澳大利亞等團隊都有報告相關的研究成果，甚至在巴西的研究團隊有將時間序列的有機碳儲量分布圖透過公開網站讓民眾查詢，我認為這是相關計畫可以努力的方向之一。
5. 在這次會議的研究發表中，土壤化學性質的研究佔比明顯高於土壤物理，僅有少數研究土壤物理資料之應用，這表示各國土壤物理資料和研究發展有限。然而，土壤物理性質除了與農業灌溉有關以外(如有效水容量、導水度等)，也與土壤碳匯(如總體密度、粒徑分布等)、農業生態系服務價值(土壤保水、排水等)、糧食安全(土壤通氣、壓實等)等重要農業議題有關。因此，我認為國內土壤物理資料之建立和研究發展必須持續進行，才能夠讓前述重要農業議題之研究成果及其延伸的政策依據更加完整。
6. 本次會議中，也有一部分學者發表有關土壤多功能、土壤健康指標及生態系服務功能的研究成果，目的都是為了能夠讓土壤的功能被量化、價值化及空間化，相關的研究我國也正在進行中，後續建議可透過國際合作的方式建立交流網絡，加速相關研究的進度。
7. 資料共享、數據整合及跨領域合作也為本次會議常被討論的重點，例如巴西團隊提供了公私部門資料整合及建立土壤有機碳時空變化成果的案例，美國 Woodwell Climate Research Center 分享全球土壤光譜資料庫及相關應用案例等，我國過去建置的土壤資料非常豐富，未來如何進行資料共享和國際合作來加速研究進度，進而達到雙贏的目的是值得思考的方向。



8. 土壤計量學的研究在國內投入的研究人員有限，該領域研究及探討的主題都與當今重要的農業政策(淨零排放、生態系服務價值、農業水資源、糧食安全等)有關，研究發展的方法學及成果也符合政策制定參考的需求，因此，建議農業部和國科會能夠持續支持該領域研究的發展，並且提供人員出國交流和訓練的機會。

## 附錄



圖 1. 許健輝副研究員進行兩篇論文發表照片





圖 2. 田間參觀旱境土剖面照片-



圖 3. 參與會議人員合照