

出國報告（出國類別：考察）

114 年度農田水利人員遙測人才培訓 計畫出國研習成果報告

服務機關：農業部農田水利署苗栗管理處

姓名職稱：李坤穎組長、吳志剛站長、陳峰琨三等助理工程師、
王智宏三等助理管理師

派赴國家/地區：美國/佛羅里達州

出國期間：中華民國 114 年 5 月 17 日至 5 月 25 日

報告日期：中華民國 114 年 7 月 2 日

摘 要

本次研習報告記載農田水利人員赴美國佛羅里達州參與遙測技術培訓計畫。研習內容涵蓋遙測、地理資訊系統(GIS)及人工智慧(AI)在農業水資源管理、精準灌溉與水質保護等領域的應用。透過佛羅里達大學安排的講座課程與參訪該校實驗室、當地水資源管理機關及溼地公園等，學習佛羅里達州在 AI 技術大規模投入、整合遙測與地面感測器數據、以及濕地多功能利用等經驗。此計畫為台美雙方長期合作推動水利遙測技術人才培訓的成果，旨在提升水利人員應用高科技解決實際水資源管理問題的能力。

目 錄

摘要-----	1
目錄-----	2
圖目錄-----	3
表目錄-----	5
壹、緣起與目的-----	6
貳、代表團團員名單-----	7
參、整體行程表與課表-----	8
肆、課程摘要與心得-----	9
伍、參訪摘要與心得-----	33
陸、結論與建議-----	73
柒、誌謝-----	76

圖 目 錄

圖 1-1 Dr. Vivek Sharma 精準灌溉講座-----	12
圖 2-1 UF 實驗室無人機設備展示 -----	14
圖 2-2 UF 實驗室聲納船艇設備展示-----	14
圖 2-3 無人機與聲納船艇聯合演示 -----	15
圖 2-4 UF 實驗室展示研究成果 -----	16
圖 2-5 雙方團隊合照 -----	17
圖 3-1 Dr. Jasmeet Judge 介紹人工智慧概念 -----	23
圖 3-2 課程中介紹衛星的類別與應用-----	24
圖 3-3 學員上課照片-----	24
圖 4-1 佛羅里達大學食品與農業科學研究所介紹簡報 -----	28
圖 4-2 佛羅里達大學介紹簡報 -----	29
圖 4-3 Dr. Gbola Adesogan 上課 照片 -----	29
圖 5-1 GEE 系統實作課程講解 -----	31
圖 5-2 不同解析度衛星影像說明-----	31
圖 5-3 GEE 實作習題成果簡報 -----	32
圖 6-1 蘇萬尼谷(農場)中心樞軸與橫向灌溉系統-----	33
圖 6-2 Dr. Vivek Sharma 講解農場運作-----	35
圖 6-3 參訪農場溫室(1) -----	36
圖 6-4 參訪農場溫室(2) -----	36
圖 6-5 搭車進行農場現場參訪-----	38
圖 6-6 灌溉實驗站設備講解 -----	38
圖 6-7 大型移動式滴灌設備 -----	39
圖 6-8 太陽能土壤感測設備 -----	39
圖 6-9 北佛羅里達研究與教育中心-蘇萬尼谷(農場)參訪合照-----	40
圖 7-1 Kimberli Ponzio 介紹佛羅里達州的緯度與台灣相當，兩者具相似氣候特性-----	46
圖 7-2 Ed Carter 介紹聖約翰水管理局的四個核心任務-----	46
圖 7-3 Kimberli Ponzio 介紹佛羅里達州的水資源供應來源-----	47

圖 7-4 Lou Donnangelo 介紹濕地的多重效益-----	47
圖 7-5 Suzanne Archer 說明藉由專案推動改善設備減少用水損失-----	48
圖 8-1 Sweetwater 濕地公園衛星影像圖 -----	49
圖 8-2 Sweetwater 濕地公園區配置圖 -----	49
圖 8-3 Sweetwater 濕地公園沉澱池 -----	50
圖 8-4 Sweetwater 濕地公園導覽解說 -----	50
圖 8-5 Sweetwater 濕地建設後保護含水層並使草原生態系統恢復 -----	52
圖 9-1 Rafael minoth karpana 博士介紹水文建模-----	54
圖 9-2 Dr. Rafael Munoz-Carpend 介紹實驗室環境及設備-----	56
圖 9-3 Dr. Rafael Munoz-Carpend 解說實驗室設備及運作邏輯 -----	57
圖 9-4 Dr. Dengjun Wang 說明研究目標及如何設計實驗 -----	61
圖 9-5 實驗室使用不同材料製作生物炭 -----	62
圖 9-6 參訪團隊合影 -----	62
圖 9-7 Piyush Agade, Ph.D. 分享得獎的研究成果 -----	67
圖 9-8 GatorByte Lagrangian monitoring system 運作原理說明-----	68
圖 9-9 參訪團與 Piyush Agade, Ph.D. 合影留念 -----	68
圖 9-10 Daly, Sarah H. 與 Laura 共同介紹研究工作-----	72
圖 9-11 Daly, Sarah H. 說明實驗室器材及如何操作-----	72

表 目 錄

表 1-1 代表團團員名單-----	7
表 2-1 整體行程與課表-----	8

壹、緣起與目的

為培訓優秀人才應用遙測技術於水資源管理，美國佛羅里達大學施孫富博士於民國 85 年策劃推動台美合作之水利遙測技術人才培訓計畫，並促成國際灌溉排水協會中華民國國家委員會（ICID-Chinese Taipei Committee, CTCID）與佛羅里達大學糧食及農業科學研究所（Institute of Food and Agricultural Sciences, UF/IFAS）於民國 86 年簽訂協議並成立「中華民國基金」，開始台美雙方遙測應用及人才培訓工作。該基金係由經濟部水資源局（現為經濟部水利署）、桃園農田水利會（現為農業部農田水利署桃園管理處）、台中農田水利會（現為農業部農田水利署台中管理處）、高雄農田水利會（現為農業部農田水利署高雄管理處）及台北市七星農田水利會（現為農業部農田水利署七星管理處）等出資壹佰萬零壹美元，並獲佛羅里達州政府信託基金提供柒拾伍萬美元之配合款，共同成立壹佰柒拾伍萬零壹美元之永久性基金。水利遙測技術人才培訓計畫係運用基金投資收益及孳息，配合佛羅里達大學專業師資及設備，培訓我國水利人才應用遙測及其相關技術之能力，厚植高科技在水利上之深耕與發展。該培訓計畫分為單位首長、業務主管與技術人員等類別，每年由各單位推薦人選，經委員會議遴選認可後，前往佛羅里達大學遙測中心進行研習訓練課程。

本次研習目的旨在透過赴美國佛羅里達州研習美國目前遙感探測（Remote Sensing, RS）技術及地理資訊系統（Geographic Information System, GIS），提升學員在遙測及相關高科技領域的專業知能。考量近年氣候變遷對水資源的影響，以及農業面臨的灌溉用水量與肥料入滲等污染問題，有效利用水資源成為重要課題。遙測技術能夠迅速獲取大範圍地理資訊，且衛星影像成本相對較低，在水資源領域的應用潛力巨大。透過實地學習佛羅里達州在水資源管理，特別是與農業用水、生態保護及先進技術應用方面的經驗，期能為臺灣水資源保育、調配及排水等工作提供寶貴借鑑與應用可能性。

本次研習代表團赴美國佛羅里達參加為期9天的研習課程（114年5月17日至5月25日），研習內容包含佛羅里達大學在遙測技術及智慧灌溉應用等方面的研究內容、成果展示及業務介紹外，也包含佛羅里達州水資源管理及應用等相關單位的現地參訪，以了解當地水資源管理方面的各項議題及施行措施，本次參訪單位為佛羅里達州的聖約翰水管理局、斯威特沃特濕地及佛羅里達大學實驗室。

貳、代表團團員名單

表1-1 代表團團員名單

姓名	單位	職稱
吳宜家	國際灌排協會	副秘書長
吳至剛	農業部農田水利署 瑠公管理處	工作站站長
李坤穎	農業部農田水利署 苗栗管理處	管理組長
陳峰琨	農業部農田水利署 雲林管理處	三等助理工程師
王智宏	農業部農田水利署 嘉南管理處	三等助理管理師
洪若彬	財團法人農業工程研究中心	副研究員
陳嘉村	國立臺灣大學 生物環境系統工程學系	學生(研究生)
葉豐維	國立臺灣大學 生物環境系統工程學系	學生(研究生)
吳承勳	國立臺灣大學 生物環境系統工程學系	學生(大學生)
徐 顥	財團法人台灣水資源 與農業研究院	研究專員

參、整體行程與課表

出國日期：2025年5月17日（六）至5月25日（日），計9天。

課程日期：2025年5月19日（一）至5月22日（四），計4天。

表2-1 整體行程與課表

5/17（六）	上午	飛往美國
	下午	抵達美國・奧蘭多
5/18（日）	上午	前往美國・佛羅里達・蓋恩斯維爾
	下午	
5/19（一）	上午	講座：精準灌溉
	下午	參訪: Ichetucknee River公園
5/20（二）	上午	參訪：聖約翰水管理局
	午餐	交流餐敘
	下午	參訪：Sweetwater濕地公園
5/21（三）	上午	講座：UAV展示、遙測應用簡介、佛大推廣合作計畫介紹
	下午	參訪：佛羅里達大學實驗室
5/22（四）	上午	講座：Google地球引擎實作
	午餐	交流餐敘
5/23（五）	上午	自選當地主題觀摩
	下午	自選當地主題觀摩
5/24（六）	上午	飛往台灣
	下午	
5/25（日）	上午	抵達台灣
	下午	

肆、課程摘要與心得

一、精準灌溉課程摘要與心得

佛羅里達州農業水資源管理現況與挑戰

本次課程由佛羅里達大學的Dr. Vivek Sharma詳細介紹了佛羅里達大學食物與農業科學研究所 (UF/IFAS) 在北佛羅里達研究與教育中心-蘇萬尼谷(農場), North Florida Research and Education Center - Suwannee Valley(Farm)站點進行的農業水資源管理工作,並簡要介紹該研究站的地理環境及其所屬機構的架構。。作為佛羅里達大學(UF)的一員,Dr. Vivek Sharma負責該站點的水資源管理計畫,該計畫隸屬於農業與生物工程系的精準水資源管理實驗室,研究主題為水資源管理及其對農業和生態系統的影響,其肩負著大學在研究與推廣服務的使命。

(一)佛羅里達州目前的農業現況

Dr. Vivek Sharma指出,佛羅里達州是一個重要的農業生產區,灌溉面積約有132萬英畝。雖然佛羅里達州每年降水量可達40到50英寸,但由於種植了約300種不同的特殊作物(如黃瓜、彩椒、番茄、草莓、水果、柑橘類、甘蔗、馬鈴薯、藍莓等),以及該地區沙質土壤的特性(土壤淺、粗糙、排水不易且水分保持能力低),使得大規模灌溉成為實現可持續生產的必要手段。值得注意的是,上述灌溉面積統計不包含草皮,而草皮(如高爾夫球場、住宅草地)實際上是世界上灌溉最廣泛的植物表面。隨著農業的持續發展,對水的需求也在提高。

(二)水資源運用面臨的挑戰

佛羅里達州在水資源利用上面臨多重挑戰。首先,雖然降水豐富,但特殊的作物需求和土壤條件使得對灌溉的依賴性很高。展望未來,預計到2040年,灌溉面積將顯著增加,部分區域甚至可能增加80%,這將導致總用水量增加約4%。佛羅里達州的農業受到其獨特氣候和地質條件的影響。儘管該州年降水量相對豐富,但由於沙質土壤的水分保持能力較差,使得農民在生產過程中必須高度仰賴灌溉技術來補充水分需求。此外,佛羅里達州的水源以河流地表水為主,其中許多水源因氣候變遷和人類活動而遭受污染或枯竭,這使得水資源的有效管理變得至關重要。農業生產需要穩定的水資源來保證作物的產量與質量,因此,確保水資源有效利用之精準灌溉管理是目前非常重要的課題。

然而,最大的挑戰是水質問題。簡報顯示,佛羅里達州許多水體因水中的硝

酸鹽濃度過高而受損或受到污染。特別是在的斯瓦尼河流域，擁有世界上最大的淡水泉密度，而目前約有90%的泉水顯示出較高的硝酸鹽濃度。這嚴峻的水質問題是該研究計畫在此區域大量關注灌溉和養分管理的主要原因。

(三)現行的灌溉方式介紹

Dr. Vivek Sharma介紹了佛羅里達州常見的幾種灌溉系統：

- 1、 地面灌溉(Subirrigation/Water Table Control)：這是佛州常見的一種方式，約有50萬英畝使用。它通過水溝來提高地下水位，使其與作物根部相互作用以提供水分。簡報明確指出，這不是一種高效的灌溉方式。
- 2、 微灌溉(Microirrigation)：包括滴灌或低流量微灌溉。這種方式常用於水果、蔬菜等特種作物，例如草莓和西瓜會採用滴灌。在特種作物區域，微灌溉的應用非常廣泛。
- 3、 噴灌系統 (Spray Irrigation)：簡報中特別提到了中心樞轉灌溉系統 (Center Pivot Irrigation System)。這是一種從中心點進行旋轉式噴灑灌溉的系統。

Dr. Vivek Sharma也提及了灌溉技術的發展歷程，從早期引河水入運河，到 1950年代利用引擎和水泵抽取地下水，再到1970年代後因中心樞轉系統等技術進步而實現灌溉面積的穩定增加。現今21世紀則利用物聯網和無線技術實現灌溉系統的自動化，例如變速灌溉系統。

(四)針對問題展開的研究及推廣內容

為了解決佛羅里達州面臨的水資源挑戰，特別是提高用水效率和改善水質，UF/IFAS的精準水資源管理實驗室展開了一系列研究與推廣工作。

該計畫的目標是：開發最佳管理策略，以提升水資源利用的有效性，減少用水量，並著重於改善水質參數，同時整合水資源利用效率與農業廢物管理。

具體的研究領域包括：

- 1、 地面灌溉系統
- 2、 微灌溉系統
- 3、 利用遙感估算蒸散量(Evapotranspiration,ET)
- 4、 針對不同作物(如玉米、棉花、西瓜等)的精準灌溉與氮管理策略研究。

除了研究，該計畫也肩負著推廣服務的使命。推廣工作旨在將研究成果帶給社會大眾和利益相關者，包括農民、州政府機構和相關產業人士。

另外Dr. Vivek Sharma也談到水資源管理計劃旨在引進更精準的管理技術，這些技術不僅包括灌溉的合理安排，還涵蓋了農作物生長所需氮及其他營養素的高效利用，以實現精準農業的目標。Dr. Vivek Sharma介紹了一項競賽計畫，談到他們在小範圍實驗農田內引進企業提供的灌溉系統，共有20支隊伍在不同的農田坵塊上進行實驗，利用變數灌溉技術(Variable Rate Irrigation Technology)系統調整每塊地之用水需求，從而提高灌溉效率。參賽者透過收集作物生長資料及運用無人機技術，來評估管理技術的效果，並從中汲取成功經驗，以提供農民在未來生產中的科學決策參考。在該研究計劃中，無人機和感測器被廣泛應用於監測作物的健康情況。透過感測器測量土壤溫度、濕度及利用高解析度之無人機影像分析等，進而根據不同氣候狀況進行灌溉排程，並藉由成像感測器、物聯網設備及人工智慧(AI)/機器學習(MC)等先進技術提供之科學數據，研析農作物之可變灌溉指數(VRI)及可變灌溉反應器(VRF)，並提出綜合解決方案，以提高灌溉用水和養分利用之效率，從而提高農場盈利能力並減少農業活動對環境的影響。講者還強調，這種研究設計不僅能幫助參賽者評估新技術是否適合他們的農場，還為農業技術的創新提供了一個安全的實踐環境。參賽者可以在不擔心失敗影響自身經濟的情況下，嘗試新方法和技術。

總結而言，課程清晰地呈現了佛羅里達州農業對灌溉的高度依賴性，以及日益嚴峻的硝酸鹽污染對水質造成的威脅。UF/IFAS透過在精準水資源管理領域的研究與推廣，致力於開發更有效、更環保的灌溉和養分管理策略，以應對這些挑戰，確保農業的可持續發展與水資源的保護。此外，Dr. Vivek Sharma強調了水資源管理在提升農業產量及可持續性方面的關鍵作用。全球範圍內，農業用水佔據了水資源消耗的主要部分，因此在當前全球人口增長和食物需求上升的情況下，合理有效之水資源管理及水質控管顯得尤為重要。課程也提到水質的重要性，水質問題不僅影響作物的生長，還可能對人類健康和生態系統造成潛在威脅。隨著農業現今面對日益嚴峻的大環境污染問題，如何在保證產量的同時，減少水資源的過度開發和水質污染，亦成為農業技術永續發展的重要課題。

(五)心得：

- 1、 本次講座增進了我們對國外先進灌溉技術的認識，也讓我們深刻認知農業生產力與水資源管理的重要性，利用精準的管理技術，這些技術不僅包括灌溉的合理安排，還涵蓋了農作物生長所需氮及其他營養素的高效利

用，在提升農業產量及可持續性方面具有關鍵作用。

- 2、透過國外專家學者介紹，了解到精準的智慧灌溉系統可以適用於多種作物的生長，包括胡蘿蔔、西瓜、玉米和棉花，並透過精密儀器測量，搭配 UAV 無人機遙測與 AI 人工智慧的演算結果，可以根據農作物的不同灌溉需求調整灌溉方式，實現更大的水資源調配和灌溉精準度。
- 3、北佛羅里達研究與教育中心每年有大量的研究專案，並且這些研究成果能夠直接應用於實際農業生產中。這告訴我們需要加強產學合作，促進研究成果的轉化，讓科技更好地服務於農業生產與水資源管理，研究與實踐相結合的作法值得借鑒。



圖 1-1. Dr. Vivek Sharma 精準灌溉講座

二、UAV展示內容課程摘要與心得

為向學員展示佛羅里達大學（UF）實驗室開發的無人機搭載聲納船艇研究設備及其在水下測繪方面的應用。除於現場展示了其獨特的技術特點和操作方式，並藉由說團隊已完成的專案成果說明來呈現這些創新技術在水下地形測繪、環境監測等領域的應用潛力。

（一）無人機搭載水下測繪平台(The Bathy-Drone)

這個平台被稱為「水下後方」（意指水下聲納裝置），是整個專案中技術挑戰較高的部分。它主要利用聲納進行水下探測，可偵測魚類等物體，但核心是一個體積較大的設備，能夠放入海中執行任務。這項技術讓無人機得以搭載船艇移

動，並在約十分鐘內完成兩個足球場範圍的水下調查。

該系統具備以下主要特點與優勢：

- 1、 高效能測繪：能在約10至12分鐘內覆蓋兩個足球場大小的區域。整個水底地圖的繪製過程，從任務規劃到數據產出，大約只需15至20分鐘，速度非常快。
- 2、 操作靈活性：無人機可將船艇運送至海邊或其他水域，直接進行掃描作業後再飛離，完全無需人員下水。這種操作模式極大地提升了作業的便利性、安全性，同時也降低了成本。
- 3、 全防水設計：船艇具備完整的防水功能，可完全浸入水中並進行水下操作。團隊已多次在水下進行測試，即使翻轉也能正常運作。
- 4、 結構輕巧與可擴展性：船艇約1到1.2公尺長（約40英吋），具備延展性且結構穩定。它能夠快速放置兩個輪椅，亦可搭載漂浮植被和沙洲。
- 5、 載重與續航：無人機在無載重狀態下可飛行超過一小時。若搭載約七到八公斤的船艇，最長飛行時間約為兩分鐘。由於飛機載運此設備需要較長時間，故船隻本身的飛行時間相對較短。
- 6、 高精度定位：平台配備了RTK GPS和IMU（慣性測量單元）。這些自動駕駛系統能有效修正海浪等環境因素造成的影響，確保測繪數據的精準度。
- 7、 耐腐蝕材質：所有組件均採用不鏽鋼製造，因此不會腐蝕，適用於淡水和鹽水環境。
- 8、 成本效益：整個系統的總成本估計在20,000至25,000美元之間，其中無人機約10,000美元，船艇本身也約10,000美元。
- 9、 模組化設計：這個小型容器設計靈活，腿部可摺疊，方便運輸與設置。上方可依需求加裝電池、相機、雲台、測影儀和LiDAR等各式設備。所有這些組件都由實驗室以碳纖維手工打造。此平台最多可攜帶約18磅（約10公斤）的重量，短時間內甚至可推至20磅。

此外，它還內建了兩個GPS以及所有自動駕駛儀，電池也巧妙地放置於此，使得整體飛行時間可超過一小時。



圖 2-1 UF 實驗室無人機設備展示



圖 2-2 UF 實驗室聲納船艇設備展示

(二)展示內容 (Demonstrated Content):

- 1、 無人機部署與收回:系統的核心展示了如何利用一架無人機攜帶並部署這個大型浮動平台到水面上。這特別適用於傳統船隻難以進入的區域,例如岸邊有太多樹木,沒有方便的下水空間時。完成作業後,無人機也可以將平台飛離水面,無需人員進水,提供了極大的便利性。
- 2、 水域探測與測繪:部署到水面後,這個浮動平台作為一個感測器載具,可以在水面上進行探測作業。透過平台上搭載的設備,系統能夠掃描並快速獲得水域底部的地圖或調查數據。
- 3、 快速作業:展示中強調了該系統的作業速度,聲稱可以在大約10到12分鐘內覆蓋兩個足球場大小的區域進行探測,而生成地圖大約需要15到20分鐘,速度非常快。
- 4、 適用不同水域:系統被展示為可以在淡水和鹽水環境中操作,而不會像某些金屬一樣腐蝕。
- 5、 水下操作能力:來源提到平台設計上是完全防水的,並且已經多次在水下操作過,即使翻轉也能工作。



圖 2-3 無人機與聲納船艇聯合演示

(三) 已完成專案與應用

該無人機搭載水下測繪平台已成功應用於多個水域調查專案，並展現了其快速且精確的測繪能力。

- 1、 聖奧古斯丁運河調查 (St. Augustine Canal Survey)：該系統在該區域進行了水底地圖測繪，如圖所示，清晰呈現了水底地形與潛在的泥沙堆積情況。
- 2、 Kissimmee River運河 S65A Lock SFRWMD：此平台也用於該河段的水底地形測繪，包括對水下植被和沙洲的檢測。
- 3、 Matanzas入口 (Matanzas Inlet)：在沿海入口處，該系統成功進行了水底地形調查，顯示了水底的深度和形狀。



圖 2-4 UF 實驗室分享研究成果

總體而言，這次展示突顯了一個創新且實用的水域探測與測繪技術方案。它利用無人機的靈活性克服了傳統船隻的限制，並透過搭載高精度感測器和導航系統的防水浮動平台，實現了快速、精確且安全的水域環境數據採集。這種結合空中部署與水面探測的模式，展現了其在環境監測、測繪或研究等領域的應用潛力。

(四)心得：

佛羅里達大學開發的Bathy-Drone系統，結合無人機與聲納船艇進行水下測繪，其高效率、高靈活性、全防水設計及RTK GPS高精度定位等特性，在農田水利設施管理上具有高度應用價值。其模組化設計亦方便運輸與依需求搭載不同設備。

- 1、 渠道及埤塘清淤評估與水利設施安全檢測：雲林管理處水源取自濁水溪，轄內眾多灌溉渠道常面臨淤積問題，影響輸水效率，此技術可快速、安全地測繪水下地形，精確評估淤積量及分佈，作為清淤工程規劃、經費估算及效益評估的依據。同時，對於較大型的取水工設施、溢洪道等水下結構物或大型渠道閘門、暗管等設施，可利用此技術進行定期安全檢測，及早發現損壞或潛在風險。
- 2、 生態環境監測與應急勘災：系統亦可偵測魚類等水下物體，或搭配水質傳感器，應用於農田排水對周邊生態環境影響的初步調查，颱風豪雨過後，部分渠道或滯洪池可能因洪水挾帶泥沙導致地形改變，此技術亦可快速進行災後勘查，掌握災損情況。

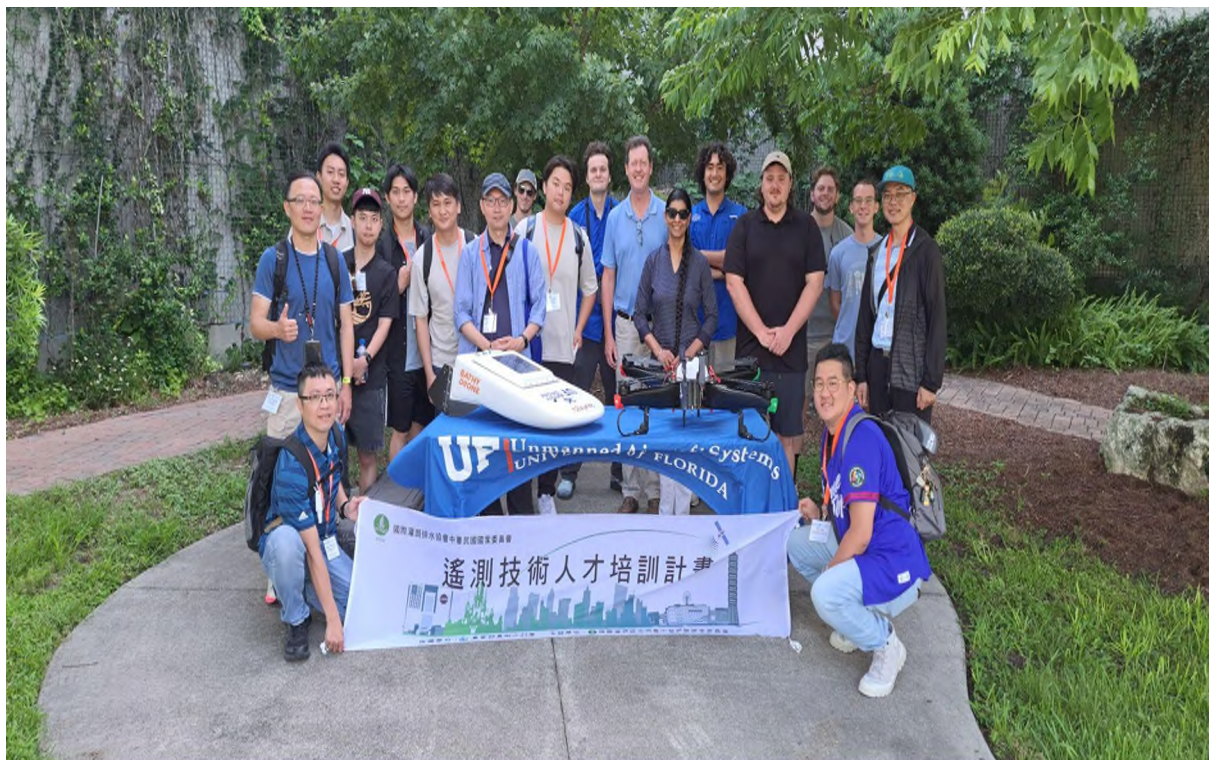


圖 2-5 雙方團隊合影留念

三、佛羅里達大學生物工程學系遙測技術與全球合作應用課程

摘要與心得

本次課程內容簡要介紹學系概況、研究領域、教學規劃、AI發展，以及其獨特的推廣模式與全球合作成果，特別著重於微波遙測技術在農業水文學中的應用。

主講人 Dr. Justmeet Judge是佛羅里達大學農業與生物工程系的教授，同時也是佛羅里達大學遙感中心的負責人。

(一) 佛羅里達大學生物工程學系概覽與研究重點

佛羅里達大學生物工程學系的目標是培養專業人才、創造並傳播知識，以及促進整個科學和管理的應用。

- 1、 排名與雙學院隸屬：該學系在本科生和研究生項目中均屬頂尖。生物工程學系與兩個學院合作，這在美國大學中是少見的。學系隸屬於工程學院和農業與科學學院，這意味著學位可以透過這兩個學院取得，取決於學生的興趣，在本科項目中，學系排名第七，在研究生項目中排名第五，具體排名依據調查機構不同而有所差異。
- 2、 師資與教職員：學系規模龐大，擁有43名教職員。所有教職員都有研究、教學或推廣職責的安排。
- 3、 研究領域多元：學系的研究非常多樣化，研究內容包括：
 - (1) 太空項目中的植物研究。
 - (2) 水質、土地和水文建模。
 - (3) 遙感技術。
 - (4) 作物建模與作物生長。
 - (5) 氣候變遷影響。
 - (6) 從生物系統到生態系統再到邏輯系統的研究。
 - (7) 包裝科學，例如海鮮等材料的特殊包裝方法。
- 4、 教職員背景：教職員的背景非常多元，包括機械工程師、電氣工程師（簡報人背景為電氣工程）和土木工程師。

(二) 教學與人才培養

學系提供多樣化的教學計畫與學位選擇：

- 1、 大學部課程：本科教學項目有不同的重點領域，包括生物系統工程、土地與水資源工程、包裝工程和農業生產工程（涉及作物建模和生產），學系

還透過農業科學學院提供農業運營與管理學位，這更偏向農業商業。

- 2、 研究所課程：研究生教學項目提供碩士和博士學位，可透過工程學院和農業科學學院申請。學系也提供研究生證書，學生即使在攻讀博士學位期間也可修讀。這些證書涵蓋生物系統建模、智慧工程和AI等領域。學系也正努力在整個歐洲推動遙感領域的集中化研究。
- 3、 線上學習：學系還提供非論文的線上碩士學位，主要是對於無法親自到校的全職專業人士能有不同的學習方式，使他們也能受益於美國學位。
- 4、 學生規模：目前學系約有60至78名博士生。

(三) 基礎設施與對 AI 的投入

佛羅里達大學在硬體設施和 AI 發展上投入巨大：

- 1、 AI發展與投資：AI在佛羅里達大學是個巨大的推動力，一位共同創辦人是UF的畢業生，他捐贈了大量資金，他希望UF不僅成為AI領域的頂尖機構，同時也將AI在數位農業方面的發展視為一大重點。佛羅里達大學的一個重大舉措是將AI納入所有專業，其他大學也將其作為榜樣。
- 2、 課程改革：校園內成立了工作組和委員會，以重新設計課程，將AI融入其中，學校鼓勵學生利用AI工具進行研究，持正向學習態度而非將其視為作弊手段。
- 3、 高性能運算：佛羅里達大學擁有最先進的高性能運算能力，這得益於大量的捐贈。
- 4、 新建築與AI教授：學系獲得資金興建專用於實驗室空間的教學大樓，位於棒球場對面，過去兩三年內，學校已招聘了約一百名AI領域的新教授。
- 5、 農業AI中心：佛羅里達大學正在建設一個新的中心，該中心預計成為農業領域的「矽谷」，專注於農業中的AI應用。
- 6、 佛羅里達州農業多樣性：佛羅里達州的氣候與台灣相似非常適合各類作物和牲畜的生長，佛羅里達州擁有超過300種農產品，包括藍莓、番茄、玉米、甘蔗、牛和乳製品等。

(四) 遙測技術在農業水文學中的應用

簡報重點介紹了微波遙測在農業水管理中的應用。

- 1、 電磁波譜概覽：電磁波譜從可見光、近紅外到熱紅外，再到微波。微波是波長最長的頻段之一。

- (1) 可見光與紅外光：這些波段主要偵測地表資訊，它們受太陽輻射影響，且易受大氣粒子和陰影干擾，由於波長短，難以穿透植被，無法直接探測土壤；在紅外波段，水體會顯得比乾燥區域涼爽，但敏感度不高，難以進行定量分析。
- (2) 熱紅外：主要偵測物體溫度及其發射的輻射，大氣也會產生部分貢獻。
- (3) 微波：由於波長較長，具有強穿透性，能穿透植被直接探測土壤的水分和溫度。其主要優勢包括：
 - 日夜觀測能力：可進行日夜觀測。
 - 不受天氣限制：在多雲和多雨條件下也能進行測量，尤其適用於熱帶地區，因為不受雲層影響。
 - 對水分敏感：對土壤水分和作物含水量非常敏感。水的反射率高於乾燥土壤，而發射與反射相反，濕潤土壤的主動信號回傳會更高，而被動信號則會低得多，微波遙測能夠提供土壤水分的定量數據。

2、遙測數據來源與處理：

- (1) 豐富的免費數據：NASA 和 ESA 發射了大量衛星，提供全球範圍內各種波長的免費數據，這些數據對於土地利用和農業水文非常重要，能提供降水、水和降雨量數據。
- (2) 關鍵衛星任務：
 - Landsat：常用於土地覆蓋分類。
 - Sentinel-1：歐洲太空總署的任務，波長 5.5 公分，是一種雷達。
 - SMAP (Soil Moisture Active Passive) 和 SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity)：這些是被動傳感器，提供土壤濕度及海洋鹽度等主動與被動數據。
 - Cygnus (GNSS-R)：這是一種雙靜態系統，利用 GPS 信號反射，自 2016 年以來提供數據。
 - NISAR (NASA-ISRO Synthetic Aperture Radar)：NASA 與印度太空研究組織 (ISRO) 合作的任務，預計 2025 年發射，將提供 9 公分和 27 公分波長的數據，並約每六到八天提供全球覆蓋。

(3) 數據處理方法：

- 數據檢索 (Retrieval)：利用反演方法將遙感數據轉換為土壤濕度、作物生長等資訊。這些資訊在數據獲取時即可獲得。
- 降尺度 (Disaggregation)：利用機器學習或時空降尺度方法，將粗糙解析度(如 20-40 公里)的數據提升至更高解析度(如 1 公里以下)。
- 數據同化 (Assimilation)：結合衛星數據與水文學模型、作物模型或微波模型，可提供每日或每小時的數據，填補數據獲取時間點之間的空缺。
- 物理引導機器學習 (Physics-Guided Machine Learning)：這是一種結合物理模型與 AI 方法的方式，能提升數據處理和預測的準確性。

3、 田間實驗與感測器：

- (1) 愛荷華州實驗農場：佛羅里達大學在愛荷華州的一個實驗農場（蓋恩斯維爾 30 分鐘車程處）被選為 NASA 產品的校準和驗證站點之一。團隊定期前往現場收集相關數據（「地面真實數據」），以驗證衛星數據。
- (2) 實驗規模：學系已在不同的玉米和草地進行了 13 或 14 項全面的田間實驗，收集了從微波點到土壤水分、植被含水量等一整季的數據。
- (3) 實驗室傳感器：實驗室配備了被動傳感器（20 公分和 5 公分波長）以及雷達，這些設備可自動每 15 分鐘獲取數據，日夜不間斷。
- (4) AI 與無人機遙測：AI 在無人機遙測方面的應用仍在發展中。由於微波波長長，需要較大的天線系統（例如 1x1 公尺的喇叭狀設備），目前已有基於無人機的雷達系統商業化，價格約為 7 萬至 8 萬美元。

(五) 廣泛的社會影響與國際合作模式

佛羅里達大學的農業研究不僅局限於學術層面，更強調與社會的直接連結與全球影響力。

1、 贈地大學系統 (Land-Grant University System) 的核心價值：

- (1) 該系統約 200 年前建立，旨在為普通民眾提供教育。它透過「教學、研究、推廣 (Extension)」三大支柱同等重要地運作，這種整合模式是美國農業在全球領先的秘密。

- (2) 推廣 (Extension) 的重要性：學系內有教職員將超過 50% 的時間投入推廣工作，他們的晉升標準不僅是學術出版物或經費，更看重對農業社區實踐的實際影響。
- (3) 問題解決機制：農民的問題可透過推廣管道輕鬆傳達至學系，研究人員找到解決方案後，再由推廣人員迅速傳達給農民。
- (4) 地方層級的連結：在佛羅里達州的每個縣，都有一個研究與教育中心或縣推廣辦公室，由大學、州政府和聯邦政府共同資助，為當地居民提供食品、農業、自然資源等相關問題的諮詢服務。
- (5) 經濟影響：農業活動對佛羅里達州的經濟貢獻超過千億美元，農業是佛羅里達州繼旅遊業之後的第二大收入來源。
- (6) 與農民的緊密關係：學校與農民社群關係極佳，約 80% 的農民對學系工作感到滿意，農業產業的捐款支持學校建設，例如大學體育場的部分資金來自牛肉生產商。

(六) 4-H 青年發展組織 (4-H Youth Development Organization)：

- (1) 這是一個重要的青年發展組織，旨在培養兒童對農業的興趣，讓他們從小了解食物的來源。
- (2) 透過讓孩子們種植作物、飼養動物等親身實踐，有助於他們的學校表現和未來職業，並使他們成為農業的終身支持者。
- (3) 歷史上 4-H 計畫曾透過鼓勵兒童種植新品種玉米，成功加速了新農業技術的推廣與應用。

(七) 全球合作與國際推廣：

- (1) 國際合作願景：佛羅里達大學希望透過開發全球夥伴關係，將合作提升到新的層次，例如與教育部、農業部或台灣企業在機構層面進行協作。
- (2) 與台灣的合作展望：佛羅里達大學與台灣已有近三十年的深厚關係。學校將台灣列為優先合作夥伴，期望能與台灣的學術機構、政府部門（教育部、農業部）甚至私營企業建立更深層次的合作，共同開發新技術產品，學校也鼓勵台灣學生申請各類學位或短期課程。

總結而言佛羅里達大學生物工程學系透過其多元的研究領域、完善的教學計畫、先進的基礎設施，以及獨特的贈地大學推廣模式，展現了其在農業科技和社會影響方面的領先地位。特別是在微波遙測技術的應用，以及與國際夥伴（尤

其是台灣)的深度合作，都為解決全球農業挑戰提供了創新方案。佛羅里達大學期待能與台灣建立更緊密的關係，共同推動農業科技的發展。

(八) 心得

在遙測技術，微波能穿透植被直接探測土壤水分和溫度，且不受雲雨影響的特性，對農業水資源管理至關重要。

- 1、 精準灌溉管理與旱情監測：透過遙測技術獲取大範圍農田即時土壤濕度資訊，結合氣象數據與作物需水模型，可更精準地調配灌溉用水，提高水資源利用效率。利用遙測數據監測區域土壤含水量變化，可作為旱情評估與預警的輔助工具。
- 2、 農業推廣與AI技術評估：可借鑒其推廣模式，加強與在地農民的溝通合作，將新的水利技術及節水觀念有效傳達，未來可逐步評估導入AI技術於水利數據分析、灌溉排程優化及設施設備故障預測等方面的可行性。



圖 3-1 Dr. Jasmeet Judge 介紹人工智慧概念



圖 3-2 課程中介紹衛星的類別與應用



圖 3-3 學員上課照片

四、佛羅里達大學全球食物系統與農業推廣倡議摘要與心得

本次講座內容主要介紹了該校在農業研究、教育及全球推廣方面的多面向工作，特別是針對其獨特的贈地大學系統、AI在農業中的應用，以及多項旨在改善全球糧食安全與農村社區發展的國際合作計畫。主講人 Bola Hadishogon 博士是 Global Food Systems Institute 的負責人之一，其角色是促進國際合作。

(一) 佛羅里達大學概覽與學術卓越

佛羅里達大學是美國規模最大、最全面的大學之一，在公立大學中排名介於第一到第七名之間。

- 1、龐大的研究經費與學生規模：大學每年獲得超過10億美元的研究經費，擁有來自近100個國家的62,000名學生。
- 2、農業領域的領先地位：在聯邦農業資金方面，UF已連續五年以上位居全國第一。
- 3、綜合性大學與跨領域合作：UF設有16個學院，涵蓋會計、商業、法律、醫學、藥學、獸醫學等多元領域。這種綜合性為跨學科合作提供了巨大優勢，例如農業法或農業商業領域的學生可以輕易找到相關專家合作。
- 4、AI發展與硬體投資：佛羅里達大學在AI領域投入巨大。NVIDIA的一位共同創辦人是UF校友，他向大學捐贈了大量資金，旨在將UF打造成AI領域的頂尖機構，UF擁有高等教育領域最快的超級電腦，並在過去兩三年內招聘了上百名AI專家教授，學校的目標是在所有專業中融入AI，包括音樂和歷史等，並透過重新設計課程來實現這一目標，此外，UF正斥資3000萬美元在校園南方兩小時車程處建立一個新的農業AI中心，將成為農業領域的「矽谷」。

(二) 贈地大學系統與社會推廣

佛羅里達大學作為一所「贈地大學」，其核心使命建立在教學、研究和推廣(Extension)三大支柱之上，且三者同等重要。這種獨特的模式是美國農業在全球領先的關鍵。

1、推廣服務的特色：

- (1) 直接服務社區：學系內有超過50%時間投入推廣工作的教職員，他們直接與農民合作，其晉升依據在於對農業社區實踐的實際改善，而非僅限於學術出版物或研究經費。

- (2) 整合機制：農民的問題可透過推廣管道輕鬆傳達至學系，研究人員找到解決方案後，再由推廣人員迅速傳達給農民。
 - (3) 縣級辦公室：佛羅里達州每個縣都設有研究與教育中心或縣推廣辦公室，由大學、州政府和聯邦政府共同資助，為當地居民提供食品、農業、自然資源等方面的諮詢服務。
- 2、對佛羅里達州的影響：農業對佛羅里達州的經濟貢獻超過1000億美元，是該州僅次於旅遊業的第二大收入來源，大學與農民社群關係緊密，近80%的農民對學系工作滿意。
 - 3、4-H青年發展組織：這是一個重要的青年發展組織，旨在培養兒童對農業的興趣，讓他們了解食物來源，透過種植作物和飼養動物等活動，兒童在學業表現和未來職業方面受益，並成為農業的終身支持者，該計畫曾透過鼓勵兒童種植新品種玉米來加速新農業技術的推廣。

(三) 國際合作與全球食物系統倡議

佛羅里達大學透過其全球食物系統研究所 (Global Food Systems Institute, GFSI) 積極推動國際合作，旨在強化全球糧食安全。

- 1、跨國合作範疇：GFSI負責支持學院各部門的國際參與，並與農業以外的學院（如健康、公共衛生、工程、獸醫醫學）建立夥伴關係。
- 2、畜牧業與營養改善專案：一項由美國國際開發署 (USAID) 和蓋茲基金會資助的大型畜牧業專案（約4900萬美元來自USAID，1300萬美元來自蓋茲基金會），透過動物性食品（肉、奶、蛋、魚）改善亞洲（如尼泊爾、柬埔寨）和非洲多個國家營養不良的問題。

布吉納法索案例：在西非布吉納法索，團隊成功改變了當地部落社區「兒童食蛋會變小偷」的傳統信仰。透過與社區領袖合作，提供雞隻與家禽生產培訓，鼓勵家庭讓嬰幼兒食用雞蛋，該計畫顯著改善了兒童營養不良問題，並提升了婦女的社會地位，該成果甚至登上了布吉納法索的國家新聞。

- 3、作物模擬與種子系統：
 - (1) D-SAC計畫 (DSSAT)：這是一個由學系長期運行的作物建模與模擬程式，用於分析氣候變遷、施肥、灌溉、土壤健康等因素對超過42種作物生長的影響，該計畫被185個國家超過25,000人使用。

- (2) 種子系統工具箱：於去年啟動，目的是解決作物種子系統中疾病、物流、儲存（如黃曲霉毒素）等問題，提供故障排除和解決方案。
- 4、 應對氣候變遷與資源管理：有教職員致力於開發耐深水稻品種，也有研究開發動物傳感器，用於測量動物生理活動（如胃部運動、步行距離），並預測甲烷排放、飼料攝入量和奶牛產奶量。
- 5、 肯亞旱地專案：該專案旨在改善乾旱地區居民的生活。例如，一位教授在肯亞幫助當地馬賽婦女利用生物消化器（以仙人掌和糞肥為原料）產生沼氣用於烹飪，並利用沼液種植蔬菜，大幅提升了生活條件與安全性。
- 6、 健腦食品倡議 (Brain Food Initiative)：這項新計畫基於動物性食品能預防認知障礙的研究。研究顯示，在兒童飲食中加入少量肉類，可顯著提升其學習表現和考試成績，對大腦發展有終身影響。該倡議旨在推廣含有動物來源食物的均衡飲食，以促進兒童的大腦健康發育。
- 7、 食物系統數位孿生：團隊正嘗試在發展中國家開發食物系統的數位孿生模型。
- 8、 與台灣的合作展望：佛羅里達大學與台灣已有近三十年的深厚關係，學校將台灣列為優先合作夥伴，期望透過與台灣教育部、農業部等政府機構，以及台灣企業在機構層面的合作，共同開發新技術產品，並鼓勵台灣學生申請各類學位或短期課程。

總結而言佛羅里達大學憑藉其卓越的學術研究、創新的教學方法、對 AI 技術的積極整合，以及獨特的贈地大學推廣模式，在全球農業科技與社會發展中扮演著關鍵角色，從多個國際農業發展專案（如非洲營養改善專案）到尖端研究（如全球糧食系統數位孿生），展現了其在應對全球性挑戰方面的承諾與能力，未來佛羅里達大學熱切期待能與台灣建立更緊密的合作關係，共同為全球農業發展和糧食安全貢獻力量。

(四) 心得

佛羅里達大學作為美國頂尖的綜合性公立大學，其龐大的研究經費、國際化的學術社群以及在聯邦農業資金方面的領先地位，均彰顯其強大的科研實力與全球影響力。尤其令人矚目的是，UF 在 AI 領域的巨大投入與明確的發展藍圖：從 NVIDIA 共同創辦人校友的巨額捐贈、建置領先業界的超級電腦、大規模招聘 AI 專家教授，到計劃斥資 3000 萬美元打造專注於農業應用的 AI 中心（農業「矽

谷」)，都揭示了 AI 將成為驅動未來農業變革的核心引擎。

- 1、 AI技術於水利決策與管理之應用潛力：UF致力於將AI融入所有專業並重新設計課程的目標，啟示本處應積極探索並評估AI技術在水文資料智慧分析、灌溉需求精準預測、水資源優化調度等方面的應用潛力，以提升管理效率與決策科學性。
- 2、 跨領域整合提升問題解決能力：UF擁有16個學院，其跨學科合作的成功經驗（如農業法、農業商業）值得借鑒，雲林管理處在推動複雜的農田水利計畫或應對氣候變遷帶來的水資源挑戰時，應更積極地與不同專業領域的專家學者及機構建立合作夥伴關係，以期獲得更全面、更創新的解決方案。



圖 4-1 佛羅里達大學食品與農業科學研究所介紹簡報

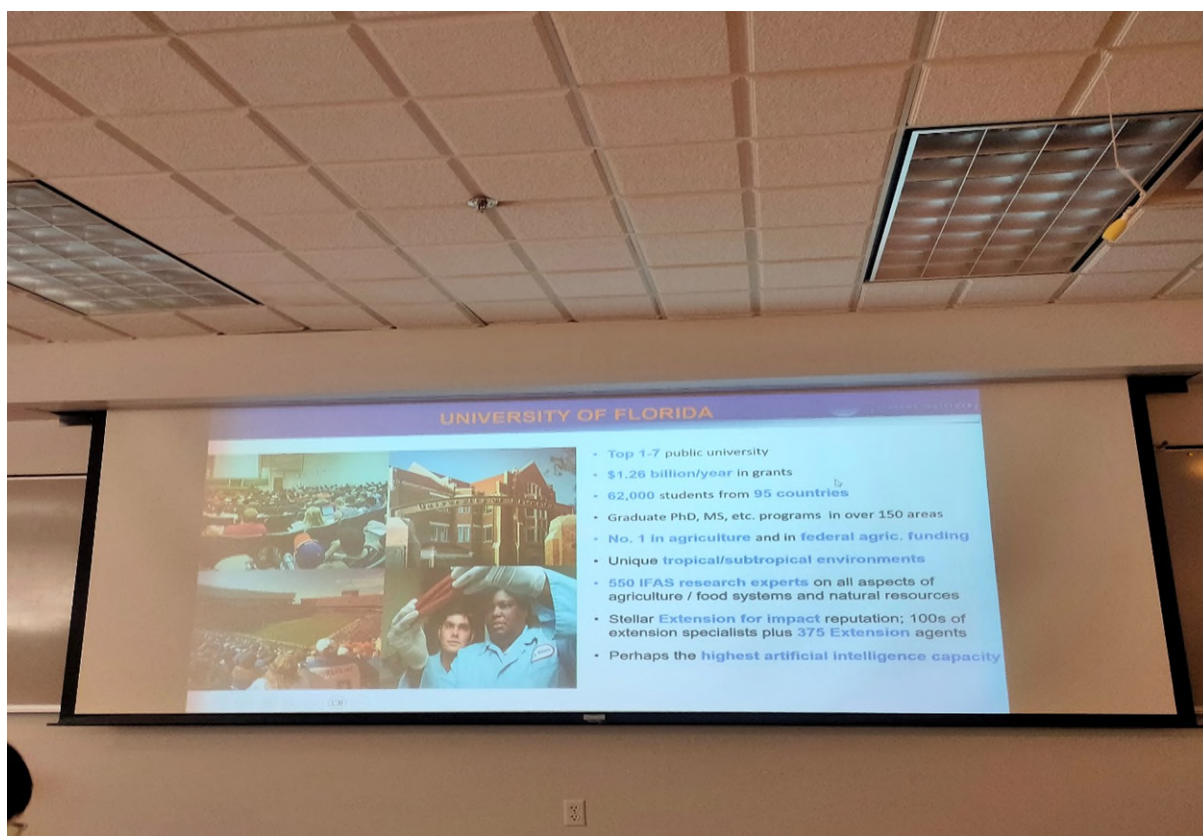


圖 4-2 佛羅里達大學介紹簡報



圖 4-3 Dr. Gbola Adesogan 上課照片

五、Google Earth Engine (GEE) 遙測技術實作摘要與心得

本次實作主要使用 Google Earth Engine (GEE) 平台來操作和分析遙感衛星數據。在過程中，探討不同數據產品的解析度差異、產品可能存在的錯誤，以及如何透過查看原始衛星數據（如亮度幅度/溫度）來驗證產品數據。

透過本次實作及操作成果展示，學員預期將能獲得以下經驗和能力：

- (一)熟悉 Google Earth Engine (GEE) 平台的操作，包括帳號建立、介面使用和資產管理。
- (二)理解不同遙感數據集的特性，特別是光學數據（如 Copernicus 使用的波段）與主動微波數據（iMERGE/GCM, Sentinel-1）的差異。
- (三)掌握不同空間和時間解析度數據的概念，並能理解其對分析結果的影響。
- (四)理解微波遙感的基本原理，例如主動發送和接收信號、反向散射、垂直 (VV) 和水平 (VH) 偏振的概念。
- (五)了解影響微波反向散射的關鍵因素(表面粗糙度、土壤和植被水分含量、植物結構)，並學會如何在衛星影像中觀察這些因素的體現。
- (六)學會計算和應用雷達植被指數 (RVI) 等基於雷達數據的指標來分析植被狀況。
- (七)練習分析和解釋遙感數據所揭示的環境變量，如降水的時間變化、土壤濕度的時空分布，以及植被和地表隨季節或水文條件的變化。
- (八)提升使用 GEE 進行空間數據視覺化和探索性分析的能力，例如調整圖層透明度來比較不同信息。
- (九)學習在 GEE 中進行基本的數據處理，如選擇時間段、修改腳本參數。
- (十)對遙感數據產品的潛在錯誤和局限性有初步認識，並了解可以如何透過原始數據或其他方法進行驗證。
- (十一) 掌握在 GEE 中導出影像和時間序列數據的方法，以便後續分析。
- (十二) 對利用遙感數據結合機器學習等技術處理不同解析度數據的潛力有初步了解。



圖5-1 GEE系統實作課程講解



圖5-2 不同解析度衛星影像說明

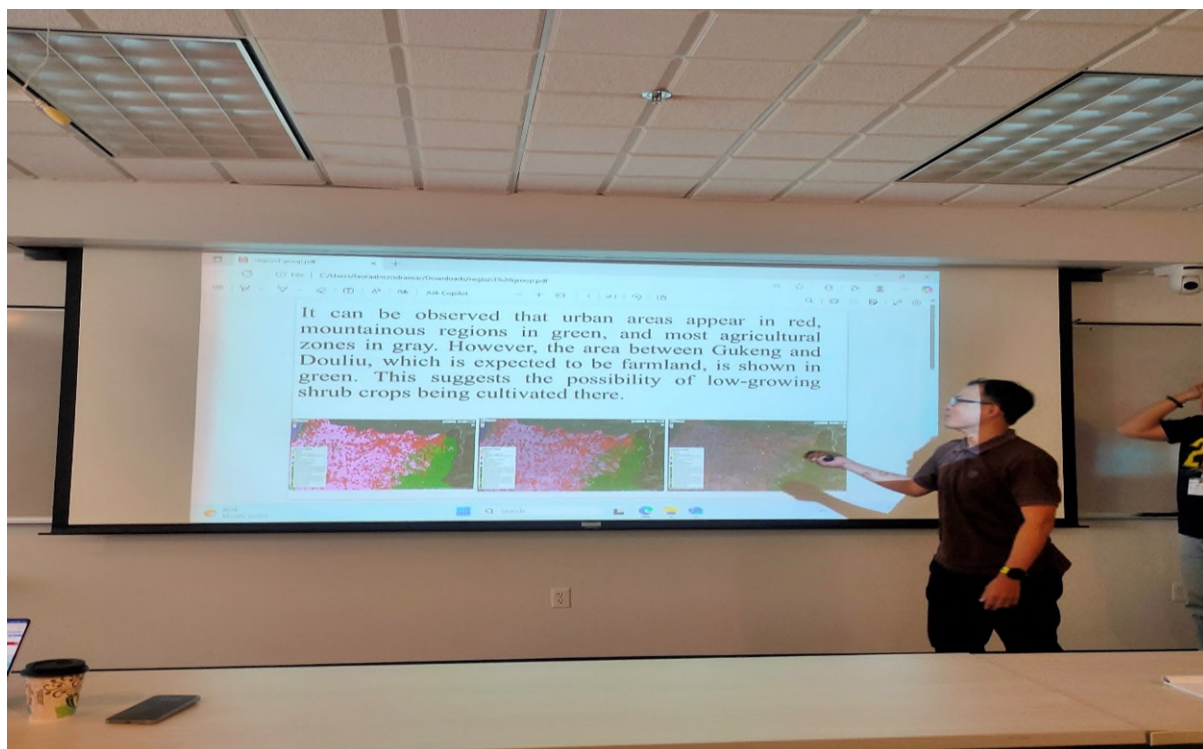


圖5-3 GEE實作習題成果簡報

伍、參訪摘要與心得

一、北佛羅里達教育研究農場蘇旺尼谷農業推廣中心(農場)參訪摘要與心得

北佛羅里達研究與教育中心North Florida Research & Education Center (NFREC)係佛羅里達大學最大、最多元化的單位之一，NFREC的研究和推廣計畫旨在幫助農業和自然資源使用者，在不斷變化的社會經濟和環境意識環境中，可以適應和有效管理資源及農業運營，同時兼顧營運收入。

蘇旺尼谷農業推廣中心(農場)SVAEC Suwannee Valley Farm Center是NFREC的一個單位。SVAEC為農業推廣示範單位，致力農業應用研究及推廣教育，將推廣中心相關研究成果向鄰近的農場農民進行推廣與教育。



圖 6-1 蘇萬尼谷(農場)中心樞軸與橫向灌溉系統(照片取自 Google 航照圖)

Dr. Vivek Sharma介紹在該中心目前在其研究站點進行的精準灌溉相關的研究項目和一個佛羅里達利益相關者參與計畫 (Florida Stakeholder Engagement Program)。

(一)在精準灌溉方面研究團隊正在比較：

- 1、基於應用程式(App-based)的灌溉，其灌溉排程根據氣候進行。
- 2、基於感測器(Sensor-based)的灌溉，主要利用安裝在每個地塊上的土壤濕度感測器來測量土壤濕度。
- 3、基於作物冠層溫度(Canopy Temperature-based)的灌溉排程，利用實地

安裝的冠層溫度感測器或天頂溫度感測器來測量作物頂部溫度。

此外，也在灌溉系統上安裝了溫度感測器以便進行比較。研究中使用了無人機影像來獲取天頂溫度數據，並利用裝有感測器的剖面系統作為驗證，將地面測量、頂部數據、無人機影像和衛星產品在不同解析度和尺度上進行比較。這項研究由博士生 Sushant 和研究生 Baldeep 協助管理和執行。長遠目標是將空氣溫度和移動式滴灌系統整合到灌溉系統中，被認為比目前方法更具現實性。

(二)佛羅里達利益相關者參與計畫(Florida Stakeholder Engagement Program):

這是一個重要的推廣計畫，也被形容為一場「比賽」。計畫有 20 支團隊參與，包括大學團隊、州機構、學習與教學部門，以及農民和產業夥伴。每個團隊被分配四個地塊進行管理。

- 1、 利用具備變速灌溉(Variable Rate Irrigation, VRI)功能的系統，即使相鄰地塊對水需求不同，也可以同時接受團隊設定的不同灌溉量。
- 2、 計畫提供一個平台，讓利益相關者可以測試不同的最佳管理技術(Best Management Practices)和策略，而無需在自己的農場承擔失敗的風險。如果在這裡成功，就可以將該技術或策略引入他們的農場。
- 3、 研究站收集並向團隊提供土壤、植物、生物量等各類數據。
- 4、 團隊通過網站提交他們的管理要求(例如灌溉量)，研究站會在當天執行。
- 5、 計畫中包含控制組地塊，這些地塊沒有施加氮肥也沒有灌溉，用於計算效率指標。
- 6、 比賽鼓勵效益與利潤之間的平衡:各團隊可以選擇自己的作物品種，並有種子產業夥伴免費提供雜交品種。

這是一場「不知名的選手」比賽，團隊之間在過程中不知道彼此的具體管理策略，以保持競爭動力。比賽結束後，將展示所有團隊的成果，並分享獲勝者的策略，以鼓勵其他種植者學習和採用。



圖 6-2 Dr. Vivek Sharma 講解農場運作

(三)現地溫室觀摩：

本次溫室參訪主要展示了溫室如何被運用於實作教學及進行基礎研究項目。溫室空間用於測試不同品種的作物，特別是番茄、辣椒等傳統藤蔓作物，以及不同類型的生菜，例如 Bibb、Romaine 等。研究團隊希望在此觀察這些作物品種在特定氣候條件下，尤其是高溫環境中的表現。溫室的使用具有季節性，約在六月後會進行清理和重置，為下一個季節做準備。

從溫室的用途可以看出，它不僅是教學的場域，也是一個快速測試新作物品種對特定環境（如高溫）適應性的平台。特別是在高溫下，某些作物（如 Romaine 生菜）會面臨特定的問題，例如葉頭不願閉合及葉尖灼傷(tip burn)。這種燒灼感是由於新生長部分隱藏在葉頭內部，導致蒸騰作用不足和鈣吸收受阻所引起。能夠在這種受控環境中找出耐高溫的優良品種，並將這些資訊迅速回饋給種子公司和農民，對於應對氣候變化帶來的挑戰、指導種植者選擇適宜品種具有重要意義。這種「快速周轉」的研究方式，使得新的作物知識能夠快速地從研究端傳遞到產業端。



圖 6-3 參訪農場溫室(1)

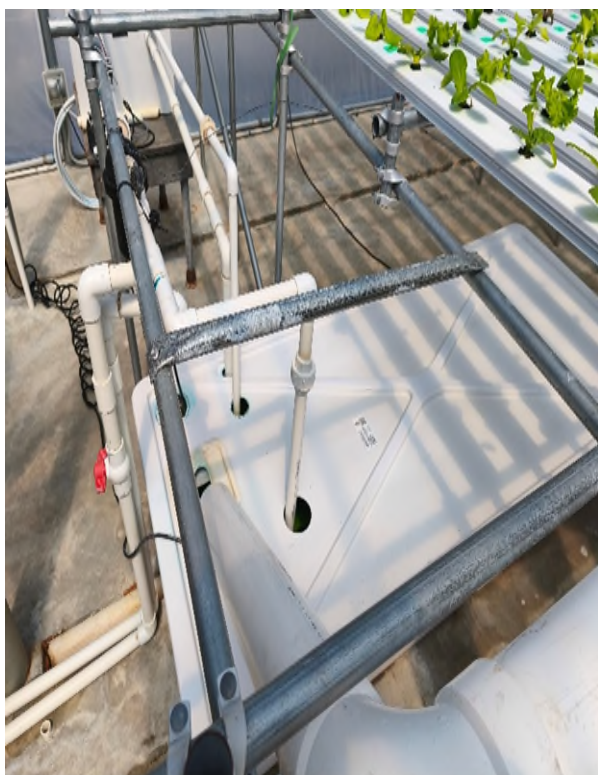


圖 6-4 參訪農場溫室(2)

(四)灌溉實驗站觀摩：

這個實驗站被稱為佛羅里達州第一個獨特的系統。參訪主要介紹了該站點在水與養分管理方面的研究工作。由於該地區的土壤質地相當粗糙，持水能力非常低，水容易將養分帶入地下水，導致水質問題，因此站點的研究特別強調養分的有效管理和水的節約使用。

站點的核心是一個中心樞軸灌溉系統(Center Pivot Irrigation System)，它可以旋轉或側向移動，以適應不同作物的間距和配置。這個系統具備能力可以對不同區域施加不同的水量。實驗站正在比較標準灑水器灌溉與整合了移動滴灌(Moving Drip Irrigation)的系統。移動滴灌系統的滴水器間距約為6英寸(15公分)。此外，該系統也支援施肥功能(fertigation)，可以通過灌溉系統將液體肥料精確施用到作物根系附近。

研究站點部署了大量的感測器，約有100個土壤濕度感測器提供高解析度的地面數據。研究工作也包括估算蒸散量(ET)，並嘗試整合地面感測器、無人機影像和衛星數據來獲取高解析度的ET產品。研究團隊也利用AI和機器學習模型來將ET與土壤濕度預測相關聯。灌溉排程主要基於土壤濕度來決定施水時間，並嘗試避免在一天中最熱的時候進行灌溉。該站點是佛羅里達大學研究中心的一部分，整個中心約有70位教職員工，每年進行近50個不同的研究項目。

從這個實驗站的介紹可以看出，面對佛羅里達州特有的貧瘠沙質土壤和潛在的水質問題，有效的水與養分管理是提高農業效率和環境保護的關鍵。移動滴灌技術是這項研究的一個亮點，相較於傳統灑水器，它能顯著節省用水(約20-35%)，同時更精確地將水和養分直接施用到作物根部，減少風的影響和養分流失，這對提升精準灌溉水平至關重要。

此外，研究工作深入探討了如何利用多種數據來源（地面感測器、無人機、衛星）來估算蒸散量和預測土壤濕度，並嘗試整合這些數據，這顯示了精準農業對數據收集和分析的高度依賴。雖然將不同解析度、來自不同來源的數據進行整合和驗證存在挑戰（特別是遙感數據通常只反映表層土壤水分），但這項研究正是為解決這些問題、開發更精確的土壤水分監測方法而努力。基於土壤濕度來進行灌溉排程是實現精準灌溉的直接應用，有助於避免過度灌溉。總體而言，這個實驗站展示了如何結合先進的灌溉硬體、密集的感測器網絡和前沿的數據分析技術，來應對當地特定的農業和環境挑戰，為發展更高效、更環保的灌溉策略提供

科學依據。

此次參訪美國北佛羅里達州研究與教育中心-蘇萬尼谷(農場)，不僅增進了我們對國外先進灌溉技術的認識，也讓我們深刻認知農業生產力與水資源管理的重要性。透過國外專家學者介紹，了解到精準的智慧灌溉系統可以適用於多種作物的生長，包括胡蘿蔔、西瓜、玉米和棉花，並透過精密儀器測量，搭配UAV無人機遙測與AI人工智慧的演算結果，可以根據農作物的不同灌溉需求調整灌溉方式，實現更大的水資源調配和灌溉精準度。



圖 6-5 搭車進行農場現場參訪



圖 6-6 灌溉實驗站設備講解



圖 6-7 大型移動式滴灌設備



圖 6-8 太陽能土壤感測設備

(五)心得：

身為臺灣農田水利事業的一份子，此次參訪美國北佛羅里達研究與教育中心

-蘇萬尼谷(農場)的經驗讓我們深感啟發和反思。這對我們臺灣的農田水利事業甚至農業發展尤其具有借鑑意義，以下是幾點心得：

- 1、 土壤及水管理的重要性：學者強調了當地粗糙土壤的水分保持能力不足，導致了對養分管理的高要求。在臺灣，雖然降水量豐富，但土壤質地和地形多變，依然需要針對不同區域改善水管理，以確保農作物有持續的水分供應。
- 2、 研究多樣性與土地利用：北佛羅里達研究與教育中心-蘇萬尼谷(農場)的研究設施不僅展示了不同作物的生長情況，還向居民傳授如何有效利用土地的知識。這提醒我們應加強對農民的教育與培訓，促進多樣性農業發展，使其能根據自身環境條件靈活調整種植策略。
- 3、 先進灌溉技術的應用：中心樞軸和橫向灌溉系統的應用，展示如何透過科技提高灌溉效率。這讓我們意識到，臺灣也應該引入更先進的灌溉技術，提升水資源的運用效率，同時減少水浪費，以達到可持續發展的目標。
- 4、 研究與實踐相結合：北佛羅里達研究與教育中心每年有大量的研究專案，並且這些研究成果能夠直接應用於實際農業生產中。這告訴我們需要加強產學合作，促進研究成果的轉化，讓科技更好地服務於農業生產與水資源管理。
- 5、 水質管理的挑戰：在講者的介紹中提到水質問題，臺灣也面臨類似的挑戰。我們應更重視農業用水之水質監測與管理，並尋找解決方案以確保灌溉用水的安全性，與產業、學界的合作也是至關重要。

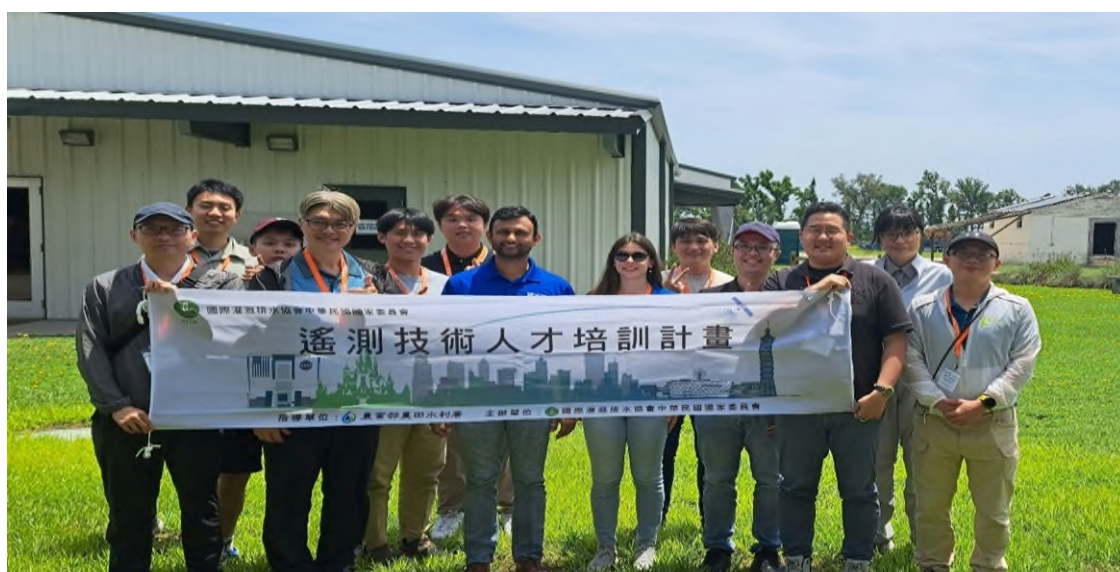


圖 6-9 北佛羅里達研究與教育中心-蘇萬尼谷(農場)參訪合照

二、聖約翰水資源管理局參訪摘要與心得

聖約翰水資源管理局由Kimberli Ponzio(環境工程師),Lou Donnangelo(成本分攤專案經理),Suzanne Archer(技術專案經理),Deirdra Irwin(節水協調員),Ed Carter(地理資訊系統分析師),Samantha Russo(環境科學家),Randy Fink(環境科學家)分別介紹「水管理局的任務與計畫」、「成本分攤計畫」、「農業成本分攤」、「節約用水」、「遙測與視覺化資料」、「植物聚落製圖的機器學習」及「聖約翰河上游盆地的鯛魚收穫」等專題。

透過各位講者的說明,可得知聖約翰河水資源管理局是美國佛羅里達州五個地區性水資源管理局之一,負責管理位於佛羅里達州東北部和中東部的18個縣的地表水和地下水資源,該地區的主要水體為向北流動的聖約翰河,是佛羅里達州最長的河流,涵蓋約31,813平方公里的面積,擁有約650萬人口。

SJRWMD 的使命是「保護自然資源,並透過確保佛羅里達州水資源的永續利用,來支持佛羅里達州的發展,造福地區和整個州的人民。」為了實現這一使命,該局有四個核心任務:

(一)SJRWMD 的核心任務(稱為「使命輪」)包括四個主要面向:

1、洪水防護 (Flood Protection):

目標:防止洪水增加並維持防洪流程。

措施:

- (1) 營運和維護水資源控制設施,如堤防、運河、水壩和溢洪道。
- (2) 與其他機構合作,最大限度地減少颶風等風暴帶來的異常大量降雨所導致的洪水影響,保護財產和生命。

2、水資源供應 (Water Supply):

目標:實施區域策略以提供足夠的水資源。

措施:

- (1) 規劃過程是公開的,水資源供應計劃每五年更新一次,並有20年的規劃視野。
- (2) 開發補充水源,例如處理鹹水、地表水和海水。
- (3) 推廣再生水的使用,佛羅里達州在美國領先,但仍需減少人們使用飲用水澆灌草坪和景觀。

(4) 與另一個水資源管理區合作管理共享的水資源。

3、水質保護與改善 (Water Quality Protection and Improvement)：

目標：保護和改善地表水水質。

措施：

- (1) 建立水質監測和報告網絡，包括超過400個地表水長期取樣站和超過450個地下水站。
- (2) 每年發布狀態和趨勢報告，以了解水質是改善、惡化還是穩定。
- (3) 識別和減少污染物，特別是磷和氮，這些污染物來自點源和非點源（如景觀、草坪、街道、農藥、化肥、油和動物排泄物）。
- (4) 自1990年代以來，通過捕撈魚類來移除湖泊中的養分。
- (5) 在特定識別或設計的區域處理水，包括利用自然濕地和人工設計的水塘。
- (6) 解決因沿海地區開發導致水流不暢，造成營養物質滯留引發藻華的問題，並需重建海灣和河流之間的流動。

4、自然生態系統保護與恢復 (Natural Ecosystem Protection and Restoration)：

目標：保護和恢復區內的自然生態系統。

措施：

- (1) 重視濕地等豐富而重要的自然資源，這些是生物多樣性的熱點。定義濕地為有足夠水分、生長適應濕地的植物和發展適應濕地的土壤的區域。
- (2) 恢復曾經用於農業的洪泛平原濕地，已恢復超過400平方公里的功能濕地，關鍵在於恢復水文。
- (3) 實施監管計劃以保護濕地，並要求對被破壞或退化的濕地進行補救。
- (4) 每年積極管理數千平方公里的區域計劃。

(二)濕地的多重效益: SJRWMD 強調濕地的存在提供了所有這四個核心任務的功能

- 1、 防洪：濕地能儲存過量的洪水，防止對農場和住宅區的損害。
- 2、 水質淨化：濕地擔任生態系統的腎臟，去除地表水中的污染物。
- 3、 提供棲息地：濕地為包括受威脅和瀕危的稀有物種提供棲息地，例如台灣的黑面琵鷺。

- 4、氣候變遷緩解：濕地提供降溫效果，有助於隨著海平面上升而建立地面層次，並有助於包含氣候變遷的影響。
- 5、其他效益：提供家庭食物、人類與自然的聯繫、休閒和旅遊。

(三)為達成聖約翰水管理局的核心任務採行的支持性措施和技術：

- 1、所有決策都基於可靠的科學證據。
- 2、整合地方政府和州資金來推動專案。
- 3、實施成本分攤計劃，幫助農民採用精準農業技術（如GPS、遙感技術）來提高灌溉效率和減少肥料使用。例如，精準土地平整、精準施肥（節省高達85%的肥料）和改進灌溉系統。推動農民從效率較低的滲透灌溉轉向次級灌溉排水系統。
- 4、實施水資源保護項目，例如封閉老舊的自噴井（已封閉632口，節省每日7800萬加侖水）。
- 5、與建商合作建造節水型住宅，包括室內和戶外（灌溉）效率，並通過認證流程。
- 6、推廣使用智能灌溉控制器，利用氣象數據來節水。
- 7、實施戶外灌溉規則，限制澆水頻率（夏季每週兩天，冬季每週一天）和時間（下午4點至早上10點），並對水量有所限制。與房主協會合作推廣這些規則。
- 8、廣泛應用數據收集和分析技術，包括雷達、激光雷達、聲納、IFSAR等。數據視覺化非常重要，收集雷達降雨量數據（54年歷史）及監測蒸散。
- 9、建立水文模型，例如聖約翰河中下游的3D模型，分析潮汐運動、水流速度和方向（包括部分區域向上游流動）。模型用於實時洪水預測。
- 10、分析地下水模型，例如不同層的含水層和鹽水入侵問題。使用蓋根-赫茲比（Ghyben-Herzberg）原理評估地下水位對鹽水入侵的影響。
- 11、利用衛星影像和機器學習自動化或半自動化濕地區域地圖繪製，提高效率和準確性。
- 12、管理入侵物種，通過直接移除和捕魚來控制（例如羅非魚、琵琶鼠）。移除入侵魚類有助於移除系統中的磷，改善水質。

(四)可供台灣水資源管理借鏡之處：

- 1、相似的氣候條件與生態系統：佛羅里達州和台灣都靠近北回歸線，氣候系

統非常相似，都有夏季大雨和颱風/颶風。沿海生態系統也彼此相似（除了台灣有更多山脈）。這意味著SJRWMD許多基於氣候和生態條件的管理策略和技術（如洪水防護、濕地管理、水質改善）可能適用於台灣，或是可以經過調整後應用。

- 2、濕地在水資源管理中的核心地位：SJRWMD將濕地視為提供所有四個核心任務功能的關鍵，包括防洪、水質淨化、提供棲息地和緩解氣候變遷。台灣也擁有重要的濕地生態系統，可參考SJRWMD 的經驗，進一步強化濕地的保護、恢復與多功能利用，將其納入整體水資源管理框架中，特別是恢復因農業或其他用途而退化的濕地水文。
- 3、先進的數據收集、分析與建模：SJRWMD大量使用雷達、激光雷達、聲納、衛星影像等技術進行監測、建模和分析，例如雷達降雨監測、水流動態、地下水模型、鹽水入侵評估和濕地繪製。特別提到佛羅里達評估鹽水入侵的方法（基於地下水位和蓋根-赫茲比原理）與台灣面臨類似風險的含水層情況相似，可以互相參考。台灣可借鏡其數據整合、視覺化和建模能力，提升水資源管理的科學性與預測能力。利用衛星影像和機器學習自動化濕地繪製的方法，也能提高效率和準確性。
- 4、針對性的水質改善措施：SJRWMD識別主要污染物（磷和氮）並採取多因素方法，包括監測網絡、控制點源和非點源污染、通過生物措施（如捕魚移除養分）和人工濕地處理水。台灣同樣面臨面源污染和水體優養化問題，SJRWMD綜合性的水質管理策略值得參考。另外，沿海開發導致沖刷不足引起營養物滯留和藻華的問題，可能也是台灣部分沿海地區需要注意並加以改善的。
- 5、全面性的水資源節約計劃：SJRWMD通過多種方式鼓勵和強制節水，包括補助地方政府和農業實施節水措施、封閉漏水井、推廣節水住宅、智能灌溉技術以及實施強制性灌溉規則。雖然台灣的總降雨量高於佛羅里達，但也存在區域和季節性缺水問題。SJRWMD在農業和城市生活用水方面的節水經驗，特別是成本分攤計劃鼓勵農民採用高效率技術以及住宅節水認證和灌溉規定，對於提高用水效率具有借鏡意義。
- 6、基於水文邊界的管理：SJRWMD的管理區劃分是基於水文邊界，這對於整合地表水和地下水管理、實現流域尺度的有效管理具有重要意義。台灣的水

資源管理也可持續朝這個方向精進。

- 7、 入侵物種管理對生態和水質的影響：SJRWMD積極移除入侵物種，特別是會影響水質和原生魚類的入侵魚類。來源中提到台灣也有入侵物種問題，SJRWMD通過捕撈移除入侵魚類來改善水質（移除磷）的經驗，可為台灣在處理類似問題時提供參考，儘管具體的入侵物種可能不同。

需要注意的是台灣與佛羅里達最大的差異在於台灣有比較多的山區，這會影響整體環境並需要使用不同的方式。因此，在借鏡 SJRWMD的經驗時，需要充分考慮台灣多山地地形對水文、生態和管理方式的影響。

總體而言，SJRWMD在核心任務規劃、濕地功能利用、數據技術應用、水質污染防治、水資源節約以及入侵物種管理等方面的經驗，都能為台灣的水資源管理提供有價值的參考與啟發。

(五)心得：

約翰河水管理局管理之流域範圍廣大，僅略小於臺灣總面積，其單一機關便需負責區域內的所有水資源管理，包含河川、堰壩、地下水、濕地、水質、防洪、外來種移除、灌溉設施補助…等，業務範疇相當多元且複雜，相對於臺灣，這些業務可能分別屬於經濟部、環境部、內政部、農業部等多個中央機關主管，同時也有部分權責屬地方政府不同局、處，所以如何達到縱向、橫向的良好溝通與整合，將是臺灣整體水資源規劃、利用與保護的重要課題。

在臺灣，農業用水佔總用水量的大宗，平均約60%至70%。然而，這並不代表這些水都被農作物完全「消耗」掉。特別是水稻田的灌溉水，有相當大一部分會滲入土壤，成為寶貴的地下水補注來源，或在逕流後被下游的農田或其他用水者重複利用。因此，除了加強灌溉用水的調配與管理外，提高農民的參與度是提升水資源利用效率的一大關鍵。為了更有效率地利用水資源並促進生態永續，可以朝以下方向進行：

- 1、 深化農民教育：積極向農民推廣節約用水和生態保護的重要性，讓他們了解每一滴水的價值及其在整體生態系統中的作用。
- 2、 輔導科技化設備導入：協助農民導入現代科技設備，例如精準灌溉系統（如土壤濕度感測器、自動化灌溉控制）、物聯網（IoT）應用等。這些技術能實現精準灌溉，確保作物在正確的時間獲得適量的水，從而顯著節省水資源。

- 3、推廣精準施肥與施藥：鼓勵農民採用精準施肥和施藥技術。這不僅能減少資材（肥料、農藥）的浪費，降低生產成本，更能有效減少這些化學物質對下游水源水質的影響。水質的改善，進一步提高了農業回歸水的可利用性，形成良性循環，同時也對整體生態環境保護產生積極作用。

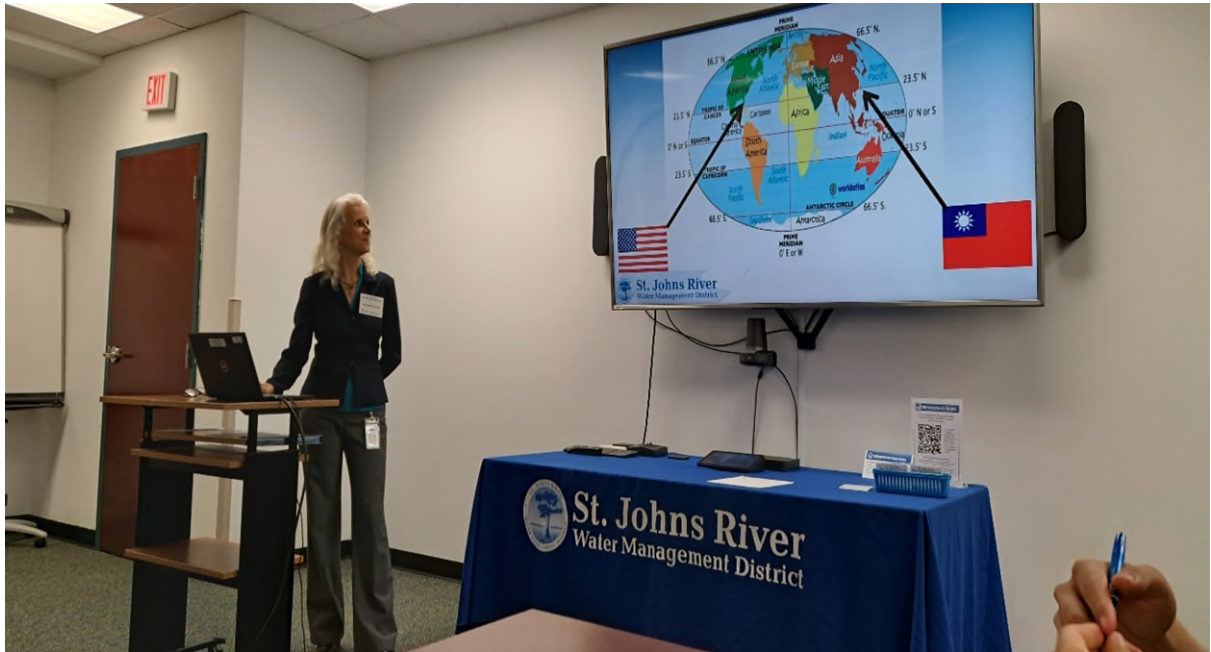


圖7-1 Kimberli Ponzio介紹佛羅里達州的緯度與台灣相當，兩者具相似氣候特性



圖7-2 Kimberli Ponzio介紹佛羅里達州的水資源供應來源



圖7-3 Ed Carter介紹聖約翰水管理局的四個核心任務



圖7-4 Lou Donnangelo 介紹濕地的多重效益

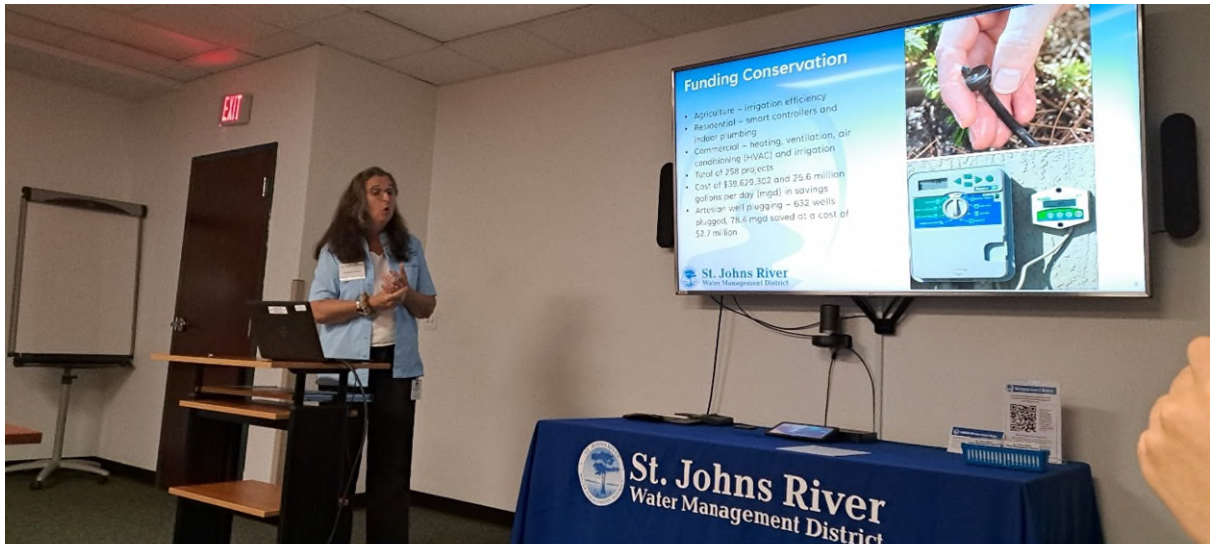


圖7-5 Suzanne Archer說明藉由專案推動改善設備減少用水損失

三、Sweetwater濕地公園參訪摘要與心得

(一) Sweetwater 濕地公園建設由來：

這個公園不僅是一個美麗的自然景觀，更是一個經過精心設計的生態工程系統，其主要目標是解決過去的環境問題，並利用自然力量淨化水源和提供生態棲息地。

Sweetwater 濕地公園所在處是佛羅里達州北部的一片天然濕地，早在原住民時代就是重要的自然資源，隨著 19 世紀歐裔移民進入，該地區曾被用於放牧、農業和排水工程，到了 20 世紀，蓋恩斯維爾（Gainesville）城市化擴張，城市的雨水與廢水排放量大幅增加。在建立公園之前，該區域主要是「Sweetwater Branch」溪流的下流，這條溪流長期承載來自蓋恩斯維爾的雨水、肥料與油污，及處理過的城市污水，這些排放物長年流入造成水體內營養物（如氮與磷）過多，導致藻類滋生、水質惡化，也造成濕地生態系統失衡、鳥類與野生動物棲地縮減。

為了解決上述問題，2006 年間蓋恩斯維爾市政府及多個機構開始規劃設計一個創新的「人工濕地淨水系統」，並於 2012 年開始動工，於 2015 年完成 Sweetwater 濕地公園。完工後的濕地公園每天可處理超過百萬加侖的水，顯著降低氮、磷污染，同時吸引大量候鳥與觀鳥者，成為生物多樣性熱點，更成為全州環境教育與綠色基礎建設的典範，提供社區休閒、學術研究與導覽體驗，也激勵了佛州與全美其他地區進行類似的人造濕地解決方案，應對城市發展下的環境退化問題。



圖 8-1 Sweetwater 濕地公園衛星影像圖



圖 8-2 Sweetwater 濕地公園園區配置圖

濕地公園內部水文系統分為三大區塊：

- 1、沉澱池：去除水中的沉積物與垃圾。
- 2、前池：進一步去除細粒沉積物。
- 3、加強濕地(Enhancement Wetlands)：種植原生濕地植物如香蒲 (cattail)、蘆葦(*Phragmites australis*)等，這些植物可吸收水中營養物並穩定水質，也提供野生動物多元的棲息地。

淨化後的水通過分流通道(Distribution Channel)以片流(sheet flow)的形式排放到沛恩斯草原(Paynes Prairie)濕地中。

Sweetwater 濕地公園透過減慢流速，以分級沉澱及緩慢滲流的方式使水不再直接排放，同時透過種植特定的植物吸收及去除水中營養物質。



圖 8-3 Sweetwater 濕地公園沉澱池



圖 8-4 Sweetwater 濕地公園導覽解說

(二)這個公園展示了濕地在水資源管理上的幾個核心功能：

1、 水質淨化 (Water Purification)：

這是 Sweetwater Wetlands Park 最主要且最重要的功能；水從流入處開始淨化旅程，首先會通過一個垃圾攔截裝置，專門捕捉水中漂浮的大型垃圾和碎片，防止它們進入後續的處理區域。接著水進入沉積池，

這個區域設計較淺且水流緩慢，目的是讓水中攜帶的泥沙、泥土等沉積物得以沉降。這不僅清除了水中的懸浮物，也避免了這些沉積物在濕地內部淤積，影響水流和植被生長，有趣的是，這個淺水區域也為小鱷魚提供了一個安全的避難所，因為較大的鱷魚不會進入。沉積池需要定期挖掘清理沉積物，以維持其功能，水從沉積池流向公園系統中最深的前池(Forebay)，然後透過稱為堰(weirs)的設施被導引入不同的濕地單元(Cells)，真正的生物過濾主要發生在這些濕地單元內，公園的設計依賴於濕地中的植物和微生物來吸收或分解水中的污染物，透過這樣的自然過程，水中的硝酸鹽和磷酸鹽等主要的污染物被有效地去除，從公園流出的水，其清潔度比進入時提高了97%。許多污染物，如硝酸鹽和磷酸鹽，在出水時已經達到無法檢測的水平，這使得流入Alachua Sink 的水質達到了超過百年來的最高清潔度，其淨化效果令人驚豔。

2、洪水管理(Flood Management)：

公園設計也考慮到了處理大量水流的能力。它平均每天處理6000萬加侖的水，但在強降雨如颱風或熱帶風暴期間，可以處理三倍的水量。公園內設有洪泛平原或溢流區，在水量過大時，部分水流會從公園的外圍通過，這既能保護核心的過濾單元，同時也能為這些額外水量提供一定程度的過濾。

3、生態棲息地提供與恢復 (Habitat Provision and Restoration)：

Sweetwater Wetlands Park 本身就是一個將被破壞的濕地生態系統恢復的成功案例，它為多種多樣的野生動物提供了重要的棲息地，公園內的濕地單元、水域以及周邊區域，吸引了大量的鳥類，其種類和數量遠高於一般同等大小的公園。這裡也生活著包括美洲鱷在內的多種動物，例如沉積池就為幼年鱷魚提供了安全的成長空間。其他如海龜、各種小型哺乳動物甚至大型動物（如鹿）也會到水邊飲水或在公園內活動。透過人工種植特定的濕地植物，不僅增強了水的過濾效果，也為許多鳥類和昆蟲提供了食物來源和築巢地點。

總結來說，參訪 Sweetwater Wetlands Park 是一次極具啟發性的經驗。它生動地展示了人工濕地如何作為一種有效且具有成本效益的解決方案，來應對現代社會面臨的水質污染挑戰，同時也成功地重建和豐富了生態環境。這是一個結

合了環境修復、水資源管理和生態保育的典範。

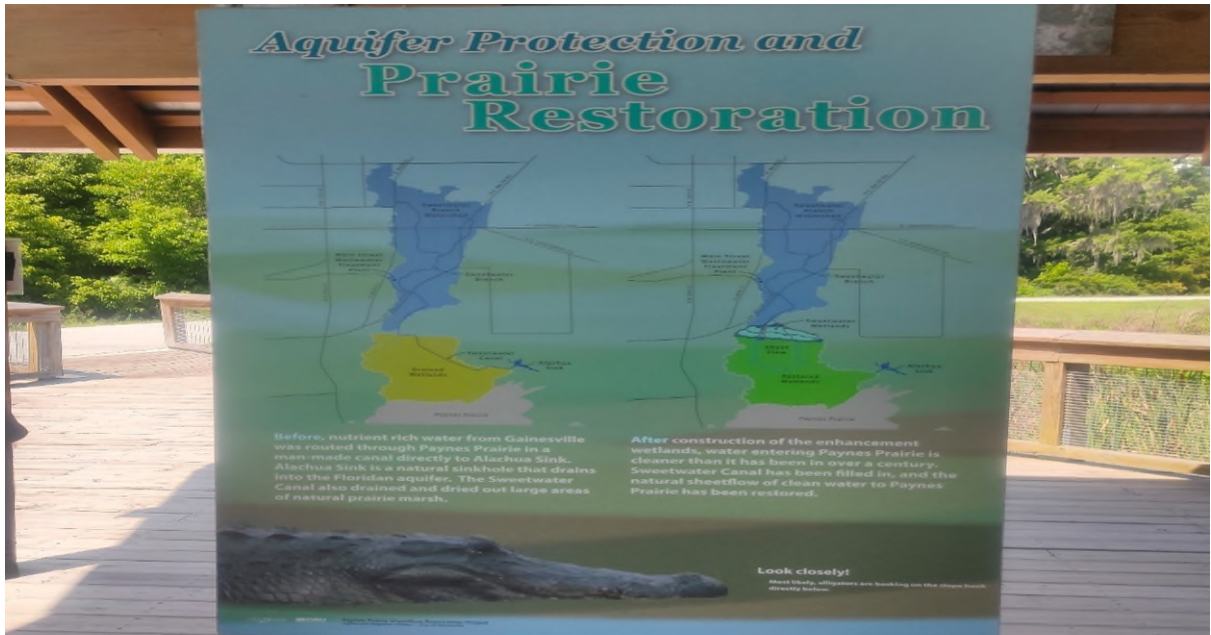


圖8-5 Sweetwater濕地建設後保護含水層並使草原生態系統恢復

(三)心得：

臺灣在 102 年制訂施行濕地保育法（104 年開始施行）後，為濕地保育提供完整的法律框架，確立濕地分級分類管理原則（國際級、國家級與地方級重要濕地），並規範了濕地的明智利用、生態補償、濕地標章等制度，至目前為止濕地公告的種類：包含國際級濕地 2 處、國家級濕地 40 處、地方級濕地 17 處，合計 59 處。

以嘉南埤圳重要濕地（國家級）為例，係以水資源調節與灌溉蓄水為主要功能，雖然不像專門的人工濕地那樣以淨化都市污水為主要目的，但作為自然濕地，仍具備一定的水質淨化能力，同時也提供了生物多樣性的良好棲地，近年農田水利署嘉南管理處也持續引進新觀念推動埤池（濕地）更新改善與功能強化，如「林初埤活化活化調度設施強化工程」以灌溉提升、水質改善、生態保育、濕地永續、在地意見為 5 大設計目標理念，透過工程設計解決上游淹水、水質不佳、夏季乾涸、供灌受限及設施老舊等 5 大問題，除增加灌溉蓄水利用功能外，更營造蜿蜒流路及種植水生植物達到水質自然淨化，同時建構分散式複層棲地、生物通道、緩衝生態林帶等生態友善措施保護重要關注物種（彩鷸及斑龜），更透過食農教育、世界溼地日及工作坊等方式，辦理水資源、濕地及生態的教育宣導，除了水資源調度及濕地生態保育提升，亦讓民眾一同守護濕地；此外，嘉南管理處近年

也與農業部林業及自然保育署嘉義分署合作，由嘉義分署認養九芎埤，推動公私協力種植浮葉植物及維護水域環境，為水雉創造更好的棲息環境，有助於水雉的復育。

以上 2 處案例嘉南管理處透過工程面、管理面手段及提高社會參與，確實達到濕地有效利用與保育，與 Sweetwater 濕地公園的概念與功能不謀而合，證實臺灣對於濕地保育的技術與概念已逐漸成熟，但仍應持續推動跨機關、跨公私部門間的合作，落實維護管理，讓濕地能真正永續的發揮功能。

四、羅里達大學實驗室參訪摘要與心得

本次參訪參訪佛羅里達大學（UF）數個實驗室，參訪的目的是了解各實驗室的最新研究方向、方法及其在實際應用中的潛力。

（一）水文與水資源建模實驗室（Hydrological Science Club）

本次參訪的第一站是水文與水資源建模實驗室，由 Rafael Minoth Karpana 博士介紹研究環境，向學員介紹了他們在水文建模方面的工作。

- 1、研究目標：該實驗室主要利用計算機模型預測水體的行為、水量及分佈，並預測特定地點水量的多寡，最終目標是為水資源規劃提供依據，例如評估興建水壩所需的水庫規模。
- 2、建模哲學：建模的目標是建立一個既有用又能盡可能代表真實世界的模型，儘管深知無法達到百分之百完美，模型的建立過程涉及數據收集（如測量、速度、顏色等），但這些數據僅是現實世界的部分資訊，無法完全呈現真實世界的複雜性，因此建模的挑戰在於如何提升模型的代表性和實用性。
- 3、數據挑戰與在地知識：在水文建模中，儘管有大量數據，但許多農村地區或國家開發未充分的區域（例如美國原住民保留區）缺乏足夠的氣象站、長期數據收集和河流流量監測等結構化數據。
 - （1）面對此數據空白，研究人員嘗試與當地居民（如Blackfeet Nation，他們在當地生活了10,000至20,000年）合作，這些居民對當地地貌的理解，遠超過單純的測量數據。
 - （2）然而，這些在地知識多以「非結構化數據」形式存在，如口述歷史、紀錄或檔案，難以直接整合到傳統的計算機模型中。

- 4、 AI與自然語言處理的應用：研究團隊正利用自然語言處理(Natural Language Processing, NLP)和新興的AI技術（如ChatGPT等）來處理這些非結構化數據，目標是將口述歷史等資訊轉化為電腦可識別、可分析的格式，使其能與結構化工程數據融合，從而更全面地反映景觀的傳統理解。
- 5、 數據整合與夥伴關係：研究團隊的工作聚焦於結合非結構化數據（如訪談內容）和現有的結構化數據，這項工作的最重要部分是與像Blackfeet Nation這樣的原住民夥伴合作，他們對當地環境的深刻理解對研究至關重要。
- 6、 數據獲取方式：透過訪談當地長者（他們在文化中扮演著知識傳承的重要角色）獲取資訊，並利用他們的政府系統與水資源管理部門對話，此外研究團隊也嘗試分析他們的Facebook(或是相關社群軟體)內容，因為Facebook是當地重要的溝通工具，其中可能包含早期留下來的資訊。

在水資源管理中的應用：這些研究透過建立更準確的水模型，有助於預測未來水資源的可用性與分布，支援水利基礎設施建設的決策。同時，整合傳統知識和非結構化數據，能提升對數據不足地區水系統的理解，使管理策略更具包容性和有效性。

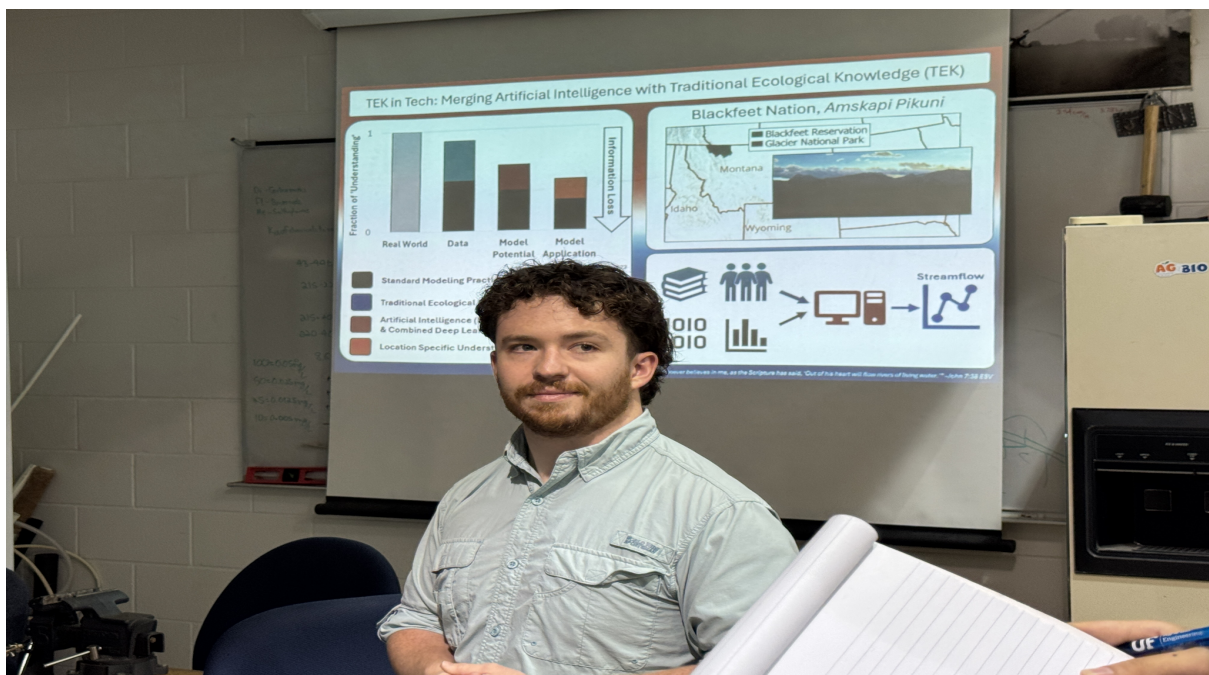


圖 9-1 Dr. Rafael minoth karpana 介紹水文建模

(二)新興水質現象實驗室 (Emerging Phenomena in Water Quality Lab)

第二站參訪的是由Dr.Rafael Munoz-Carpent經營的水質實驗室，該實驗室主要關注如何控制農藥和其他化學物質在環境中的遷移與污染。

- 1、 研究問題：農田和城市(包括道路和鐵路等交通幹線)都會使用化學物質。這些化學物質一旦施用，可能會因溶解於水或附著於土壤而遷移，進而進入水體，造成污染，實驗室希望探討如何有效控制化學物質的遷移，防止其進入河流或運河等水體。
- 2、 解決方案：植被緩衝區(Vegetation Buffers)：一種非常經濟有效的方法是在化學物質施用區域與接收水體之間，設置密植的植被(如草)，這些緩衝區的工作原理是，當水流經植被時，流速會減慢，導致水中攜帶的沉積物沉澱下來，從而有效阻止化學物質進入水體。植被本身也能改善土壤的入滲能力，進一步減少徑流。
- 3、 影響緩衝區效率的因素：緩衝區的效率受多種因素影響，包括：
 - (1) 土壤特性：如侵蝕性和滲透性。
 - (2) 植被特性：如草的類型和健康狀況。
 - (3) 化學物質特性：化學物質本身的特性。
 - (4) 徑流特性：水的流速和土壤與水的相互作用。
- 4、 實驗設計與監測：實驗室透過精密的實驗設備模擬真實環境，以研究化學物質的遷移。
 - (1) 受控實驗箱：實驗室設有帶有透明側邊的箱子，可精確控制降雨量、土壤類型(常使用沙土，但也有其他類型土壤)和植被類型，這使得研究人員能控制化學物質的施用量和施用方式。
 - (2) 多層傳感器：每個箱子內部都安裝了多達12個傳感器，分佈在不同深度(如5公分、10公分、20公分、30公分)，每15秒自動測量土壤濕度、溫度、電導率和化學物質濃度，這些傳感器能提供高時間解析度的數據。
 - (3) 自動化排水與水質採樣：箱子底部設有排水點，自動將收集的水排出，透過自動採樣系統將水樣導入光譜儀進行分析，以確定化學物質的濃度。
 - (4) 二維遷移監測：實驗室能夠進行二維圖像分析，監測化學物質在土壤中的橫向和縱向移動模式，研究發現，在沙質土壤中，大部分化學物質會

垂直向下移動，而較細的土壤則可能出現更多橫向移動。

(5) 長期實驗：實驗通常持續數週，期間會模擬多次降雨事件，以觀察化學物質的降解、吸附解吸和再活化等過程。

5、 模型驗證：所有計算機模型都必須透過實地數據進行測試和驗證。實驗室也在田間進行了大量研究，透過在地面設置金屬片和集水區，收集並測量流出的水，以驗證實驗室結果的準確性。

6、 水質與地下水關聯：佛羅里達州的農業約90%或更高比例使用地下水。因此，化學物質向下游遷移至地下水層是一個重要的問題，研究指出雖然化學物質最終可能進入地下水，但土壤中的自然過程（如降解、吸附）會限制其快速轉移。

在水資源管理中的應用：這項研究直接貢獻於保護地表水體的水質，透過科學評估和推廣有效的植被緩衝帶技術。這有助於減少農業和城市活動對水環境造成的污染，保障生態系統健康和水源安全。



圖 9-2 Dr. Rafael Munoz-Carpend 介紹實驗室環境及設備



圖 9-3 Dr. Rafael Munoz-Carpend 解說實驗室設備及運作邏輯

總結第一及第二個實驗室參訪深入了解了佛羅里達大學在水文建模和水質管理領域的尖端研究，從利用AI整合在地知識來改進水資源模型，到透過受控實驗和實地驗證來評估化學物質的環境行為，這些研究都在替更有效的環境管理及農業實務提供科學依據，這些工作強調跨學科合作、數據整合和實際應用在解決環境挑戰中的重要性。

佛羅里達大學水文建模實驗室利用AI與自然語言處理技術，整合在地知識等非結構化數據，以彌補傳統水文模型在數據缺乏地區的不足，水質實驗室則專注於化學物質在環境中的遷移與污染控制，特別是利用植被緩衝區此種低成本高效的方式來攔截污染物，經過參訪有以下心得：

- 1、灌溉水質保護與在地知識整合：可參考其研究，評估在灌排系統中設置生態緩衝帶或人工濕地，以攔截潛在的農業面源污染。在進行水利工程規劃或水資源調配時，應重視並設法納入地方耆老、資深農民對於區域水文的經驗與觀察。

- 2、 水利工程生態考量：在工程設計階段，參考其對化學物質遷移路徑的研究，更全面地評估工程措施對周邊水敏區域的潛在影響。

(三)水質與環境修復實驗室

第三站參訪的實驗室為佛羅里達大學水質與環境修復實驗室，簡報由Dr. Dengjun Wang主講，參訪重點於了解實驗室在水質研究方面的最新進展，特別是針對新興污染物的處理技術。

該實驗室是UF污染物歸趨與傳輸領域的重要研究單位，實驗室主要研究水中的新興污染物，例如自1950年代以來廣泛使用的全氟及多氟烷基物質(PFAS)，這些「永久化學品」已對水和土壤造成長達數十年的污染，研究範疇涵蓋農業系統中的常見污染源，如肥料（養分）和農藥以及多種新興污染物，例如工程奈米材料、全氟及多氟烷基物質(PFAS)、微塑膠和奈米塑膠等。

- 1、 研究目的：實驗室的工作目標是量化受污染水體與土壤中的這些化學物質，並尋找有效方法將其從水中去除以淨化水質，特別是提供安全的飲用水和地下水，研究團隊會整合野外採樣、實驗室實驗、野外示範和數學建模，以表徵和預測污染物在環境中的傳輸、轉化和歸趨。同時，也運用經濟高效的材料（例如生物炭）來去除污染物，從環境修復和清理的廣泛角度提供工程解決方案。
- 2、 作用機制：理解污染物如何透過不同過程和途徑進入土壤與水體是研究的重點，一旦確定了這些污染物在土壤和地下水中的濃度，下一步便是開發去除方案，以獲取潔淨的水源。
- 3、 目前研究重點包括：
 - (1) PFAS在環境中的非生物/生物轉化與修復。
 - (2) 農業中養分相關的水質問題與緩解策略。
 - (3) 用於農藥去除、感測和破壞的奈米技術。
 - (4) 利用奈米肥料和奈米農藥實現永續農業。
- 4、 實驗室核心研究方向與採用精密實驗系統之發展及應用:
 - (1) 生物炭作為水處理材料：

■ 生物炭的特性與生產:

實驗室的核心研究方向之一是利用「生物炭」(Biochar)處理水中的污染物。生物炭的特性與生產：生物炭是一種類似木炭的材料，透過

在限氧氣條件下（與燒烤時有氧氣不同）燃燒各種生物質（如雜草、木材、甚至香蕉皮等農業、林業、工業廢棄物）生產而成，透過改變燒製溫度（例如500°C或900°C），可以生產出具有不同特性（如表面積）的生物炭材料，這些特性對於去除污染物扮演重要的腳色。

■ 優勢與應用潛力：

- 生物炭的生產成本相對較低，尤其當利用農業廢棄物作為原料時，這有助於實現循環經濟。
- 實驗室的目標是開發出性能與商業活性碳相似甚至更優的生物炭產品。
- 研究不僅限於實驗室規模，也尋求將生物炭的生產和應用擴展到大規模商業化，實驗室會將生產配方提供給供應商，使其能大規模生產生物炭。
- 處理機制：生物炭就像海綿或載體，能從水中吸附污染物。當受污染的水通過填充生物炭的柱子時，生物炭會吸附髒物質，使潔淨的水流出。

(2) 實驗設計與數據分析：實驗室採用精密的實驗系統來評估不同生物炭的性能。

■ 實驗裝置：實驗室設有帶有泵的柱狀裝置，可將水注入其中，柱子內填充生物炭，用於模擬實際的水過濾過程，實驗室擁有約八種不同的生物炭樣品，並儲存更多樣品以供測試。

■ 性能評估：

- 污染物去除效率：實驗首要目標是檢測水中污染物的濃度，並確保至少99%或100%的污染物能被去除，以達到安全飲用水標準。
- 生物炭選擇標準：選擇最佳生物炭的關鍵在於其去除污染物的高效性，這與生物炭的孔隙率（表面積）和官能團有關，因為更大的表面積提供更多的吸附機會，而不同的官能團則能與污染物產生不同的交互作用。
- 性能與特性關聯：實驗室會將生物炭的性能數據與其物理化學特性（如表面積、官能團）進行關聯分析，以深入理解哪些特性對污染物去除最重要。這有助於未來開發和量產特定用途的生物炭，

甚至進行專利申請。

- 生物炭壽命與水質關係：生物炭的處理壽命取決於水中污染物的濃度和水質。污染物濃度越高，生物炭耗盡速度越快。例如，處理非常髒的水可能只能持續幾個月，而處理高品質的水則可維持一兩年。

- 監測與量化：

- 傳感器監測：實驗中研究人員利用傳感器測量污染物濃度，因為許多污染物無法用肉眼識別（如農藥），傳感器如分光光度計用於量化營養物質，液相層析儀(Liquid Chromatography)則用於分析有機化合物。

- 數據比對：透過比較處理前後的污染物濃度差異，評估生物炭的去除效果。例如，如果初始濃度為10毫克/升，處理後未檢測到污染物，則表明生物炭效果良好。

- 規模化考量：

- 從小規模到大規模：實驗室從小型柱子（如直徑約1公分，長度約20公分，填充約5克生物炭）開始測試，以篩選出最佳性能的生物炭。

- 模型預測：一旦確定最佳生物炭，研究團隊會利用計算機模型（例如Rafael博士實驗室的模型）來預測其在大規模應用中的行為，從而避免直接進行昂貴且耗時的大規模實驗。

- 持續性生產：實驗室與供應商合作，可以大規模生產最佳生物炭，以滿足實際應用的需求。

(3) 數據使用與非結構化數據的挑戰

實驗室的研究也凸顯了當今數據的利用現狀，目前約80%的現有資訊（包括人們的在地知識、社交媒體內容、口述歷史等非結構化數據）並未被有效利用，因為它們不是以數字或表格形式存在，難以直接用於傳統的數值模型。這正是研究團隊嘗試透過自然語言處理和AI技術來解決的挑戰。在水資源管理中的角色中，這項研究直接處理當代水污染的重大挑戰——新興化學品污染。開發有效的污染物移除技術，對於確保飲用水安全和地下水修復至關重要。生物炭作為一種潛在的低成本、高效能吸附材料，為解決特定

污染問題提供了可行的解決方案。

總結來說佛羅里達大學的水質與環境修復實驗室透過對生物炭材料的深入研究，致力於解決水體新興污染物問題，從生物炭的生產、特性評估到實驗室規模的性能測試，再到利用模型預測大規模應用，該實驗室的工作展現了將基礎研究轉化為實際環境解決方案的潛力，特別是Dr. Dengjun Wang 團隊在新型污染物處理方面的綜合性研究，以及將實驗室成果推向實際應用的努力，都強調了跨學科合作、數據整合和實際應用在解決環境挑戰中的重要性。

該實驗室利用低成本的生物炭作為吸附材料，處理水中的新興污染物（如PFAS）及常見農業污染物，具有環保與經濟效益，生物炭原料來源廣泛（如農業廢棄物），有助於實現循環經濟，其實驗設計從材料特性分析、小規模測試到模型預測大規模應用流程完整，經過參訪有以下心得：

- 1、 農田排水淨化與農業廢棄物再利用：可評估在特定農田排水口或迴歸水利用點設置簡易生物炭過濾設施的可行性，雲林地區農業副產品豐富，可研究推廣將農業廢棄物轉化為生物炭。
- 2、 污染場址初步處理：農田水利相關渠道，常被周遭民眾排放受污染水源，爰此對於受輕微污染的土壤或小型水體，生物炭可作為一種具潛力的初步修復或控制手段。



圖 9-4 Dr. Dengjun Wang 說明研究目標及如何設計實驗



圖 9-5 實驗室使用不同材料製作生物炭



圖 9-6 參訪團隊與 Dr. Dengjun Wang 合影留念

(四) 水質監測實驗室

第四站參訪的實驗室為佛羅里達大學（UF）水質監測實驗室，此處簡報由 Piyush Agade, Ph.D. 進行，研究領域專注於水質監測方面。參訪的重點是了解其開發的創新水質監測設備——GatorByte，以及其在識別水質變化和污染源方面的應用。

1、 GatorByte：建立於物聯網的低成本、緊湊型實時水資源監測浮標

GatorByte 是一種基於物聯網（IoT）的低成本、小體積且資訊回收立即的水資源監測浮標，可以運用於河流、溪流或其他水體中，隨水流漂浮並實時收集數據。

- (1) 系統概述：傳統水資源監測系統通常價格昂貴、時間分辨率低且缺乏空間維度，且多以固定站點或手持設備形式存在，難以精確定位污染源。GatorByte 旨在解決這些問題，開發出一種高分辨率的自由漂浮監測浮標，能夠在流動水體環境中記錄時空水質數據。
- (2) 設備功能：GatorByte 能夠收集以下水質參數：pH 值、溫度、溶氧 (Dissolved Oxygen, DO)、電導率 (Electrical Conductivity, EC)，並使用 GPS 模組記錄浮標的當前位置。它還內建微型 SD 卡用於本地數據儲存，以及藍牙模組用於現場診斷。
- (3) 硬體設計：GatorByte 採用模組化設計，其硬體由浮標外殼、印刷電路板 (PCB) 和數據生成器（傳感器探頭、RTC 和 GPS 模組）組成。

■ 浮標外殼：外殼是可 3D 打印的，直徑 140 毫米，高 115 毫米，成本約 17 美元。它由 ASA（丙烯酸腈苯乙烯丙烯酸酯）長絲打印而成，這種材料對紫外線、水和其他環境因素具有高彈性，外殼設計為浮力大且自定向，方便在淺水區移動，並保護傳感器免受撞擊並採用 O 型環和聚氨酯塗料來防止漏水。

■ 印刷電路板 (PCB)：GatorByte 浮標有三塊模組化電路板，透過通用介面相互連接。

● 微控制器帽 (Microcontroller hat)：包含微控制器板和數據記錄器功能的必要電子元件，如實時時鐘 (RTC)、電可擦除可程式只讀存儲器 (EEPROM)、內部溫濕度傳感器模組、I/O 擴展器和電壓升壓器。

●傳感器基板 (Sensor baseboard)：用於連接溫度、pH、溶氧和電導率傳感器探頭。它還包含一個SD卡模組用於本地數據存儲、一個鋰聚合物 (Li-Po) 電池充電模組、一個藍牙模組和一個GPS模組。

●柄部電路 (Stalk circuit)：包含兩個磁簧開關，允許使用磁鐵開啟或關閉數據記錄器，從而最大程度地減少開啟外殼防水密封的次數。此外，此PCB還包含一個多色LED燈，用於指示浮標狀態和診斷。

■傳感器：浮標使用 Atlas Scientific 生產的低成本、緊湊型實驗室級環境傳感器。這些傳感器壽命為 1 到 2 年，需要定期校準和適當儲存才能達到所需精度。

- (4) 成本效益：GatorByte的總成本低於1,000美元。相比之下，傳統監測儀器成本高達數千甚至數萬美元。這使其對許多水資源管理者來說更具經濟可行性。
- (5) 開放源碼：GatorByte的軟硬體設計均為開源，允許用戶根據自身需求輕鬆客製化和擴展。

2、研究目標：識別水質變化點

該研究的核心目標是利用GatorByte收集的數據，識別水質發生「劇烈變化」的地點和時間點。

- (1) 變更點分析 (Change Point Analysis)：研究員開發並應用了一種變更點分析演算法。該演算法能在數據中標識出水質發生顯著變化的位置（如海報中垂直虛線和大圓圈所示）和時間點。
- (2) 實例分析：在一項案例研究中，GatorByte偵測到一個排水口將水排入溪流，導致該區域水溫升高，電導率下降。這種監測有助於識別問題區域。
- (3) 傳統監測的限制：傳統的水質監測站通常是固定地點的「歐拉監測 (Eulerian monitoring)」，GatorByte的浮動特性使其成為一種「拉格朗日監測 (Lagrangian monitoring)」系統，能夠隨水流動更有效地捕捉水質沿途的變化。

3、監測策略與污染源類型

研究還探討了不同部署策略對污染源識別的影響，並區分了污染源類型。

- (1) 部署策略

- 多設備部署：為提高發現問題區域的概率，研究建議部署多個 GatorByte。這類似於部署多輛警車以提高抓捕超速車輛的概率。部署的設備越多，捕捉到污染者的機會就越大。
- 多流徑監測：研究的另一個策略是並排部署多個 GatorByte，以同時監測水體中的多條流徑（類似高速公路的多車道），從而捕捉不同路徑上的污染。
- 序列部署：也可依序部署多個設備（一個接一個），以追蹤污染物隨時間和空間的變化。

(2) 污染源類型

- 點源污染 (Point Source Pollution)：指來自特定、可識別地點的污染源，如支流、非法傾倒點或雨水排水口。GatorByte 的數據能夠清晰顯示這些點源造成的急劇變化。
- 非點源污染 (Non-Point Source Pollution)：指來自廣泛區域且難以追溯到單一排放口的污染，例如地下水緩慢滲入溪流。這類污染通常導致水質參數（如溫度）緩慢變化，而非急劇跳變。

4、實地驗證與性能評估

GatorByte浮標已在佛羅里達州蓋恩斯維爾的兩個城市淡水水體進行了兩次水質調查，以評估其性能。

(1) 部署場景：

- 水生與入侵植物中心 (CAIP) 池塘調查：2022 年 7 月進行了為期 37 小時的調查，採樣頻率為 5 分鐘。該池塘植被茂盛，生物多樣。由於現場蜂窩網路覆蓋不穩定，GatorByte 從實時模式切換到離線模式，數據從板載微型 SD 卡手動提取。
- Sweetwater Branch Creek (SWB) 溪流調查：調查持續約 90 分鐘，浮標覆蓋超過 750 米。該溪流位於蓋恩斯維爾水處理廠下游，水深數公分至一米不等，底部為沙質並有植被。

(2) 數據與分析：

- GPS 數據：在 SWB 調查中，GatorByte 的 GPS 數據與溪流路徑高度重疊，表明定位準確。
- 傳感器讀數：

●溫度與電導率：GatorByte的溫度和電導率讀數與參考設備OTT Hydrolab HL4略有差異但趨勢一致，GatorByte的溫度讀數在調查開始時有較大差異（高達2°C），隨後穩定在1°C差異。

●pH值：pH讀數差異顯著，經查證是由於EC傳感器和DO傳感器與pH傳感器之間的電氣干擾所致。該問題在調查後透過使用MOSFETs完全隔離探頭而解決。

- (3) 水質變化檢測：在SWB調查中數據顯示水質參數沒有重大變化，CAIP調查中，所有傳感器數據均顯示預期的晝夜週期和天氣變化引起的波動，高頻變化歸因於雲層覆蓋的變化。
- (4) 功耗與續航：GatorByte浮標在5分鐘採樣頻率下，配備4500 mAh電池可持續運行約45小時。設備具備多種節能功能，如深度睡眠模式、LED電源控制和蜂窩模組電源控制，適用於電源受限和長期部署。
- (5) 數據儲存與傳輸：GatorByte以CSV格式實時將數據上傳至AWS後端伺服器，並同時儲存到本地微型SD卡，它使用MQTT協議進行傳輸，相較於HTTP，具有更小的網路開銷和更快的數據傳輸速度，若蜂窩網路斷線，設備會將數據排隊到SD卡，待恢復連線後自動上傳，設備也可在「離線」模式下運行，僅將數據儲存到SD卡，待後續手動上傳。

在水資源管理中的應用：這項研究提供了即時、高效率的水質監測手段。透過自動識別水質變化點，能快速定位污染源，特別是難以追蹤的點源污染或非法排放。這對於快速應對水質危機、執法監管以及針對性地部署更精密的調查設備具有重要價值。多設備部署策略則提高了污染偵測的覆蓋率和機率。

總結來說GatorByte Lagrangian monitoring system代表了水質監測領域的一項重要進展，擁有低成本、高時空分辨率、模組化設計和實時數據傳輸能力，使其能有效辨識水質的時空變化和污染源，儘管在早期試驗中發現了傳感器干擾問題，但已成功解決，並透過定期校準可確保數據準確性，該系統尤其適用於捕捉傳統固定站點難以偵測到的間歇性或移動性污染，為環境保護和水資源管理提供重要的工具。

GatorByte系統作為一種低成本、小體積、即時回傳的漂浮式水質監測浮標，能進行拉格朗日式的移動監測，有效捕捉水質的時空變化並輔助識別污染源，其模組化、開源的軟硬體設計，便於客製化與擴展，經過參訪有以下心得：

- 1、灌溉渠道水質異常追蹤與動態監測：當特定灌溉區段回報水質異常時，可利用類似GatorByte的移動式監測設備追蹤污染來源。對於面積較大的埤塘或滯洪池，可佈放此類設備進行長時間、多點位的動態水質監測。
- 2、水質監測網絡的擴充：其低成本特性，使其適合作為現有固定監測站的補充，以較低的預算擴大監測範圍及密度。

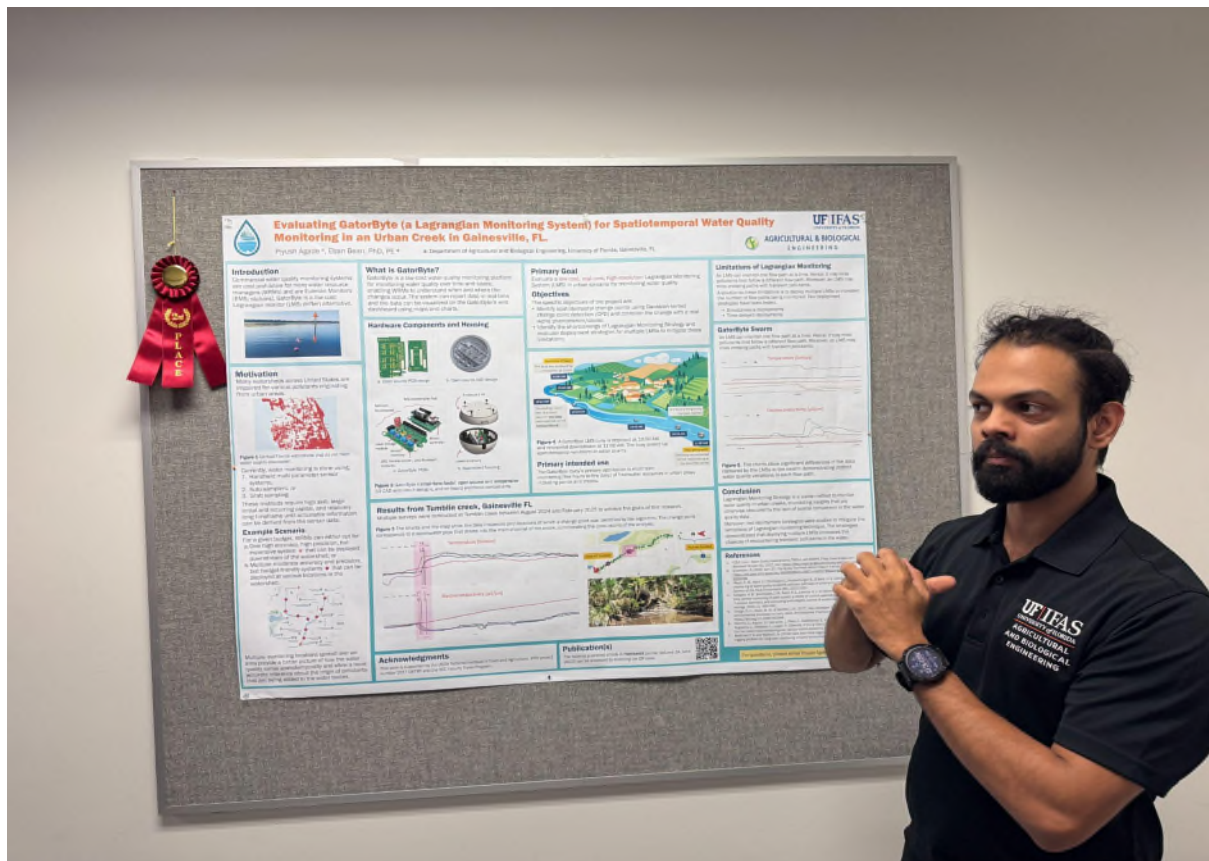


圖 9-7 Piyush Agade, Ph.D.分享得獎的研究成果



圖 9-8 Piyush Agade, Ph.D.說明
GatorByte Lagrangian monitoring system 運作原理



圖 9-9 參訪團與 Piyush Agade, Ph.D.合影留念

(五)遙測技術與農業應用研究室

最後一個行程的實驗室行程。由博士生Daly, Sarah H.與Laura共同介紹研究工作，參訪的重點是了解遙測技術在農業和自然資源管理中的應用，特別是地面數據的收集、校準，以及其與衛星遙感數據的整合。

1、地面數據在遙測中的重要性

遙測技術涉及從遠距離收集地球表面的資訊，而地面數據（或稱「地面真實數據」）對於校準和驗證這些遙感觀測至關重要。

(1) 地面數據的特性：與衛星遙感數據覆蓋廣闊區域不同，地面數據是在單一特定點位收集的，能提供高精度的局部資訊。

(2) 地面數據的作用：

■ 模型訓練與驗證：地面數據是訓練遙感模型（例如用於土壤水分估算的模型）的關鍵訓練數據集，同時也用於這些模型的校準與驗證。

■ 產品精度比較：透過將衛星遙感產品（如土壤水分）與同一地點的地面數據進行比較，可以評估遙感產品的準確性。

■ 補足衛星數據不足：衛星數據通常有特定的時間分辨率（如每兩到三天一次），在這些採集間隔之間，地面數據可以提供更連續的資訊。

2、地面數據收集與實驗設計

(1) 實驗地點：該實驗在UF的農業田塊中進行。由於UF是「贈地大學」，擁有廣闊的農業試驗田，這為實地研究提供了獨特的優勢，這些田塊（例如10x10米）代表著衛星數據中的單一像素。

(2) 測量參數：實驗主要關注土壤水分和土壤溫度這兩個關鍵參數。

(3) 傳感器部署：

■ 多深度測量：傳感器被部署在不同深度（如 5 公分、10 公分、20 公分、30 公分），這是因為衛星遙感（特別是微波遙測）通常只能穿透地表約 5 公分，而更深層的土壤水分對於水文模型和作物生長也很重要。

■ 傳感器類型：

● 土壤溫度傳感器：該傳感器設計用於戶外使用，能將測量

到的溫度數據傳輸到電腦進行分析。

- 時域反射計 (Time Domain Reflectometry, TDR)：用於測量土壤水分。TDR的工作原理是發射電脈衝並測量其返回時間。由於水具有電介質特性，土壤中的水分含量會影響電脈衝的傳播速度，從而推斷土壤濕度。

- 部署細節：傳感器通常水平埋入土壤中，以避免地表不平整或植物根系對測量的干擾，在部署時，需要確保避免石頭、小石塊和植物根系，因為它們會嚴重影響測量結果。

(4) 數據處理與校準：

- 數據傳輸：這些無線傳感器會將測量到的數據傳送到一個網關 (Gateway)，網關再直接連接到雲端系統 (如 Amazon Web Services, AWS) 進行數據收集和共享。

- 精確校準：由於地面數據將作為衛星數據的基準，因此傳感器必須經過非常精確的校準。不同土壤類型會影響傳感器與土壤的相互作用，因此需要針對特定的土壤類型進行校準。

- 數據分析：研究會比較不同傳感器所收集數據的差異，並分析降雨事件如何影響土壤溫度和土壤濕度 (例如，降雨導致土壤濕度達到峰值)。報告中展示了電池電壓、參考溫度、土壤溫度和土壤濕度隨時間變化的圖表。

3、遙感數據與地面數據的整合

研究目標之一是將低成本的地面傳感器數據與衛星遙感數據 (如 NASA 的 NISAR、SMAP 等) 結合，以提高數據的時空分辨率和準確性。

- (1) 衛星數據特性：衛星數據通常涵蓋大範圍區域，但其時間分辨率 (採集頻率) 和空間分辨率 (精細程度) 可能無法滿足所有農業應用需求。

- (2) 數據同化與機器學習：研究團隊正在利用數據同化和物理引導機器學習等技術，將粗糙的衛星數據與高精度的地面數據結合，以生成更精細、更頻繁的數據產品。這對於精準農業中的作物水管理至關重要。

- (3) 作物植被影響：對於微波遙感，植被的結構 (如葉片數量、植物

形態)對信號的影響至關重要，因此研究需要收集植物含水量和形態的相關數據。

- (4) 數據可用性：目前有許多免費的全球衛星數據可用，但它們的頻率和解析度有所不同。例如，SMAP可能提供每3天的數據，而NISAR預計每6-8天提供數據。

在水資源管理中的應用：這項研究是大規模、區域性水資源監測的基礎。透過提供精確的地面真實數據，他們校準和驗證遙感衛星的水文產品（如土壤濕度）。這使得科學家和管理者能夠更可靠地利用衛星數據來監測大範圍的土壤濕度變化、評估乾旱狀況、改進水文模型和支持區域水資源分配決策。測試和比較不同感測器則有助於選擇最適合特定監測需求的設備。

總結來說佛羅里達大學遙測中心的研究展示了地面數據在校準和驗證衛星遙感觀測中的關鍵作用，透過精密的傳感器部署、數據收集和分析，並結合先進的數據同化和機器學習方法，研究團隊正致力於克服遙感數據在時空分辨率上的挑戰，這項工作不僅能提供精確的土壤水分和溫度資訊，也為精準農業和水資源管理的未來發展奠定了堅實基礎。

佛羅里達大學遙測中心的研究強調地面真實數據對於遙測觀測校準與驗證的關鍵作用。透過在田間佈設多深度傳感器，收集高精度局部資訊，以彌補衛星數據在時空解析度上的不足結合地面傳感器數據與衛星遙測數據，利用數據同化和機器學習等技術，生成更精細的數據產品，是精準農業的重要發展方向，經過參訪有以下心得：

- 1、 灌溉管理決策輔助與節水效益評估：應持續關注相關研究機構或商業公司提供的遙測數據產品（如高解析度土壤濕度圖資），並結合各管理處既有監測數據進行在地化校驗，以提升灌溉管理決策的科學性。在推廣節水灌溉技術的示範區，可小規模佈設土壤水分傳感器，量化節水成效。
- 2、 跨領域合作：可與學術單位或研究機構合作，針對台灣各地區的特定作物或土壤類型，共同進行遙測數據的在地化應用研究。



圖 9-10 Daly, Sarah H.與 Laura 共同介紹研究工作



圖 9-11 Daly, Sarah H.說明實驗室器材及如何操作

陸、結論與建議

一、結論：

本次「114年度農田水利人員遙測人才培訓計畫」赴美國佛羅里達州之研習，讓學員能有機會學習到遙測、地理資訊系統（GIS）及人工智慧（AI）等先進技術在農業與水資源管理上的應用。透過佛羅里達大學（UF）及相關水資源管理機構（聖約翰水管理局、斯威特沃特濕地）的課程與實地參訪，對佛羅里達州在這些領域的做法和成果有了具體的認識。以下彙整六點研習所獲得的佛羅里達州在遙測技術、AI、精準灌溉和水資源管理等方面的主要做法和成果：

（一）將 AI 視為核心推動力並大規模投入：

佛羅里達大學正進行跨領域的 AI 大規模投入，透過巨額捐贈、建置領先的高性能運算設施、大規模招聘 AI 專家教授，並計畫將 AI 融入所有專業。他們更計畫設立一個專注於農業 AI 的中心，目標是成為農業領域的「矽谷」。這顯示 AI 不僅是技術工具，更是策略發展的核心。

（二）整合遙測與 AI 技術實現精準農業與水管理：

佛州在精準灌溉研究上，結合了先進的遙測技術（尤其是微波遙感對土壤水分敏感且不受天氣影響的特性、地面感測器、無人機影像與 AI/機器學習模型。這些技術用於精準估算作物需水、優化灌溉排程，並進行土壤濕度、植被健康等的監測與預測。地面真實數據對於遙感觀測的校準與驗證至關重要。

（三）推動濕地的多功能利用：

佛羅里達州認識到濕地的多重功能性，將其視為兼具防洪、水質淨化、生態棲地提供及氣候緩解等多重功能的關鍵資源。斯威特沃特濕地公園即是利用人工濕地淨化城市廢水和雨水，補充地下水並恢復生態的成功範例，其水質淨化成本效益顯著。聖約翰水管理局也運用遙測結合機器學習自動化濕地繪製以強化管理。

（四）基於水文邊界進行全面的水資源管理：

佛羅里達州將水資源管理區域依據水文邊界劃分，水管理局（如聖約翰水管理局）擁有涵蓋防洪、水資源供應、水質保護與改善、自然生態系統保護與恢復等廣泛權責。其決策基於可靠的科學證據和先進的水文模型進行預測與管理。

(五) 積極推廣節水技術並透過產官學研連結農民：

水管理機構透過成本分攤計畫鼓勵農民及居民採用精準農業技術（如 GPS、遙測）提高灌溉效率、使用智慧灌溉控制器及實施強制性戶外灌溉規則等節水措施。佛羅里達大學獨特的「教學、研究、推廣」三位一體贈地大學模式，透過縣級推廣辦公室將研究成果快速傳達給農民，促進技術轉化。

(六) 創新研發低成本監測與處理技術：

研究機構致力於解決實際問題，例如開發低成本、即時、可移動的水質監測浮標（GatorByte），有效識別水質變化點和污染源。同時也研究利用農業廢棄物製造低成本的生物炭，用於水質淨化，展現循環經濟與環境修復的潛力。

此次研習不僅讓學員對佛羅里達州在遙測、AI及水資源管理上的成就留下深刻印象，也對如何將這些先進理念與技術應用於臺灣農田水利事業有了更清晰的想像與方向。

二、建議：

借鏡本次研習所學及佛羅里達州的成功經驗，並考量臺灣的地理水文條件與農田水利事業現況，針對未來在農業灌溉及水資源管理等領域結合遙測和AI技術的運用，提出以下六點建議：

(一) 策略性導入 AI 技術於核心業務流程：

建議農田水利署及各管理處，參考 UF 將 AI 融入各專業的做法，評估並選擇具潛力業務（如水資源供需預測、灌溉排程優化、設施損壞預警、水質異常偵測）進行 AI 模型建置與試點應用。需投入資源於 AI 人才培育及相關基礎建設（如數據平台建置）。

(二) 建立多層次整合性監測體系：

發展結合衛星遙測（優先關注微波遙感數據應用於土壤水分監測）、無人機（用於精準田區監測、設施巡檢）、地面感測器（土壤水分、氣象、低成本水質監測如 GatorByte）的整合性監測網絡。特別應強化地面真實數據的收集與在地化校驗，以提升遙測數據應用的精準度。

(三) 積極推廣高效節水灌溉技術：

針對臺灣不同地區的作物特性與土壤條件，借鏡佛州的精準灌溉研究（如感測器基於、UAV 影像基於的灌溉策略）及技術（如移動式滴灌），選擇試點區域進行示範推廣。透過類似農民比賽或補助等方式，鼓勵農民採用精準灌溉及智慧灌溉控制器，並量化節水效益。

(四) 強化水質管理與推動生態基礎設施：

借鏡佛州濕地淨化水質的經驗，評估在農田排水系統尾端設置人工濕地或生態緩衝帶的可能性。研究並推廣利用在地農業廢棄物製造生物炭作為低成本的水質處理材料。運用低成本移動式監測設備（如 GatorByte）進行渠道水質動態監測及污染源追蹤。在水利工程規劃中納入生態考量。

(五) 促進跨機關、跨領域及產學研農合作：

鑑於臺灣水資源管理權責分散，應加強內部及跨部會機關間的溝通與協調，建立合作機制。參考 UF 的推廣模式，與學術研究機構、科技產業及農民建立更緊密的合作夥伴關係，共同研發適用臺灣環境的遙測 AI 技術並推動落地應用，同時整合地方知識與農民經驗於水利管理決策。

(六) 加速數據整合平台建置與人才培育：

建立整合氣象、土壤、作物、灌溉、水庫、渠道、水質等多元數據的統一平台。持續投資於人才培育，選派人員接受遙測、GIS、AI、數據科學等領域的專業訓練。鼓勵利用開源平台工具（如 GEE58）提升數據自主分析能力，並探索非結構化數據的應用。

此次研習使我們深切體認到科技進步為農田水利事業帶來的巨大潛力。期許能將本次所學轉化為實際行動，積極推動相關技術在各管理處乃至全署的應用，為提升水資源管理效率、促進農業永續發展貢獻一份力量。

柒、誌謝

本次「114年度農田水利人員遙測人才培訓計畫」出國研習得以順利完成並圓滿落幕，首先要誠摯感謝國際灌溉排水協會中華民國國家委員會的精心策劃與安排，從計畫的肇始（可追溯至民國85年台美合作的水利遙測技術人才培訓計畫）到本次研習的具體執行，都展現了其在推動國際交流與人才培育上的卓越努力。

同時，我們也要衷心感謝農業部農田水利署及各相關單位的鼎力支持，由於各單位對本計畫的重視與持續投入，才使得這項重要的遙測人才培訓計畫得以延續，讓臺灣農田水利領域的人員有機會赴美學習最新技術與經驗，厚植高科技應用能力。唯本次研習安排天數較短，使得課程安排及參訪行程過於緊湊而不夠全面，建議未來可以增加研習天數，相信可以帶來更加豐碩的成果。

在美國佛羅里達大學方面，特別感謝農業及生物工程學系遙測中心主任Dr.Jasmeet Judge。Dr.Judge不僅用心安排了內容豐富且實用的課程，涵蓋遙測、GIS、AI等領域，更細心規劃了參訪行程，帶領我們深入了解佛羅里達州在水資源管理、精準農業及環境保護等方面的實際應用與成果。其專業導引與熱情接待，讓本次研習獲益良多。另外，感謝施孫富教授夫人—彭文富女士，親自參與開、結訓典禮，並分享培訓計畫的由來及歷程，讓我們可以對培訓計畫有更深刻的體認。

此外，本次研習的順利進行，亦歸功於過程中一直陪伴與帶領我們的各位助教，及所有為本次活動提供協助的工作人員。他們耐心細緻的服務與支援，確保了我們在異地研習期間能夠專心學習，無後顧之憂。

透過本次研習，所有學員都增長了見聞，獲得了寶貴的知識與啟發。我們將懷抱著這份學習成果，期盼能將所學應用於未來的農田水利實務工作中，為臺灣的水資源管理與永續農業發展貢獻心力。最後，謹向所有曾經協助本次研習的單位及個人，再次致上最深的謝意。