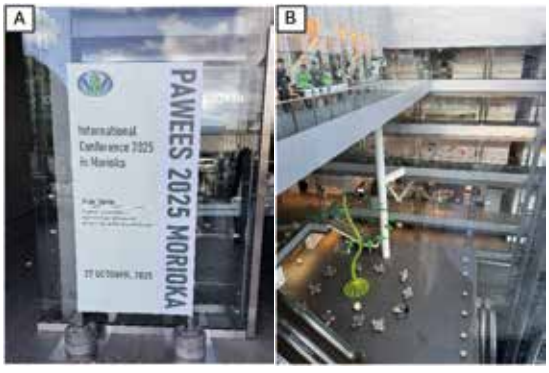
參加 2025 國際水田及水環境學會(PAWEES)研討會見聞

農試所作物組 李欣叡　農試所鳳山分所 高碧霜

一、前言

在全球氣候變遷加劇的背景下，降雨型態趨於極端，農業如何在「穩定糧食生產」與「永續用水」之間取得平衡，已成為各國共同面對的核心課題。國際水田及水環境學會（International Society of Paddy and Water Environment Engineering，PAWEES）於2025年在日本舉辦國際研討會(圖一)，聚集來自亞太地區及多個國家的研究學者，從科學研究、工程技術到治理制度等層面，全面探討未來農業水資源管理技術與研究方向。本次研討會涵蓋的議題相當廣泛，從土壤與水循環、農業水利設施、農村生態治理到智慧農業技術等面向，呈現當前農業水資源管理的最新發展趨勢。本文筆者特別聚焦於氣候變遷下農業水資源治理與灌溉管理的新方向，分享國際研究的重要趨勢。此外，本次研討會亦安排技術參訪活動，前往東北地區岩手縣，實地了解支撐農業生產重要的水利設施。由於日本在氣候環境、稻作耕作型態與臺灣具有相當程度的相似性，其經驗對臺灣未來農業水資源管理，具有高度參考價值。



圖一、研討會歡迎海報(A)，本次舉辦在岩手縣民資訊交流中心aiina(B)，設立多間會議室及海報間，同步分享不同主題研究內容。

二、標竿演講揭示的全球共識

研討會的標竿演講從全球尺度分析氣候變遷對稻作的衝擊，提出一項值得重視的觀點–部分地區灌溉雖能降低乾旱風險，卻無法完全抵銷高溫逆境對水稻產量的傷害(圖二)。該研究指出在溫室氣體高排放情境下，全球主要糧食作物的適宜耕作區正逐漸向高緯度移動，

作　　者：李欣叡助理研究員
連絡電話：04-23317113

DOI：10.30248/TSQBTARI.202606_(146).0006

而傳統稻作集中之熱帶與副熱帶地區，將同時承受「高溫壓力」及「水分限制」的雙重夾擊。即便水分供應充足，水稻在開花期遭遇極端高溫時，仍會因花粉活力下降而導致顯著減產。講者以Log(IR/R) 指標，量化灌溉相對於雨養農業的增產邊際效益，結果顯示灌溉效益最高的區域，反而集中在水資源受限，但溫度仍適宜的半乾旱或溫帶地區。然而在熱帶高溫區，灌溉的產量增益趨近於零。這項研究成果對政策層面具有重要啟示，未來灌溉建設投資，不宜再以單純擴大灌溉面積為目標，應因地制宜精準投資儲水設施在氣候適宜的高回報區域；若灌溉無法有效緩解熱逆境的區域，則需考量品種改良或田間整合管理等多元調適策略。

三、四大研究主軸勾勒農業水資源治理藍圖

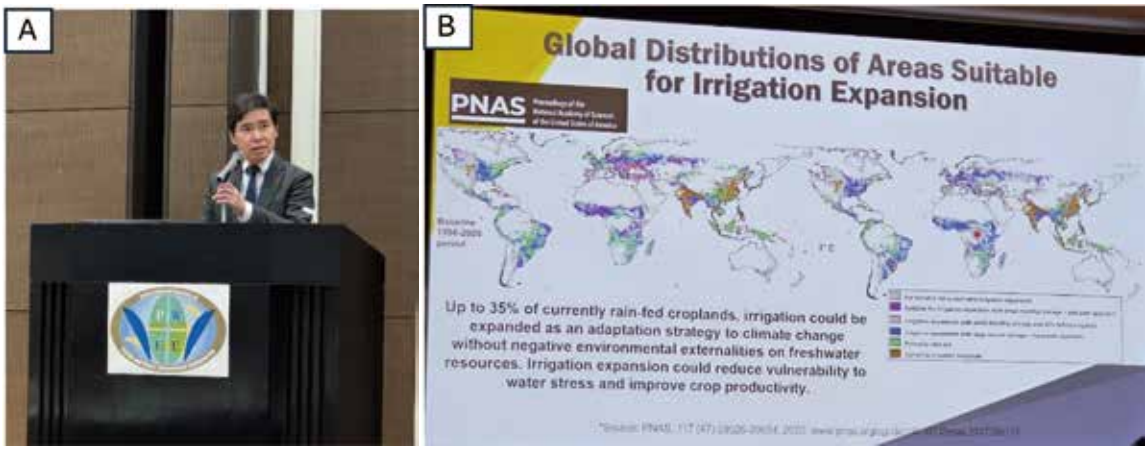
本次研討會共有來自11個國家研究團隊參與，發表約173篇研究論文，整體研究趨勢可歸納為「土壤與水」、「農業設施」、「農村生態」及「智慧技術」四個大主軸。

(一)土壤與水

此主題研究多著重於利用各類數值模型評估氣候變遷對水資源的衝擊，並關注水進入系統後如何影響地下水、溫室氣體與水質。使用 APEX、SWAT、SWAT+ 等模型，模擬流域尺度的逕流、養分流失及水循環，解析田區氮磷養分流失、甲烷排放與地下水補注之間的權衡關係。另有研究利用Sentinel-1、MODIS、PlanetScope等衛星遙測數據，結合乾旱指標(SPI和NDVI)，監測農業乾旱及評估水庫應對能力。針對水稻田作為甲烷主要排放源的議題，提出多元減緩策略，包括間歇灌溉(AWD)、延長曬田期、使用自動除草機器人攪動土壤，以及添加微生物製劑（如乳酸菌）對甲烷排放的抑制效果等。

(二)農業設施

水庫、渠道和管線等農田水利設施



圖二、PAWEES 理事長林裕彬博士提供標竿演講(A)，說明氣候變遷下的灌溉策略，(B)為其一簡報。

DOI：10.30248/TSQBTARI.202606_(146).0006

是農田輸送水分的重要命脈。為解決水利設施日益老化問題，有多個研究團隊提出採用無人機拍攝影像、X射線電腦斷層掃描(X-ray CT)及雷射掃描等技術，結合深度學習(Deep Learning)演算法，自動偵測混凝土結構的裂縫寬度，監測及評估地下管線的腐蝕及洩漏等。另有研究團隊評估極端氣候乾旱或洪水情境，對農業水庫及流域的衝擊，檢討未來農業水資源的脆弱性。以及結合資訊通訊科技(ICT)與人工智慧(AI)技術，提升水利設施的操作效率，建立模型預測灌區配水需求，以取代傳統憑經驗的水庫操作。此類研究結合了感測、診斷與智慧決策，聚焦水利設施的維護管理、災害韌性評估及智慧化操作。為水利設施的管理者提供更多的工具，以達到省工、韌性及智慧化的目標。

(三)農村生態

農村生態討論的議題比較多元，包含生態的多樣化及農村空間治理等議題，本研討會討論的有以下幾個議題：有研究透過魚類及蜻蜓等指標物種的長期監測，評估水路環境品質，並開發環境DNA (eDNA)的檢測技術，快速辨識水路中的外來入侵物種。另有越南、埃及和盧安達研究探討人在水資源管理中的角色，特別是農民組織與制度的運作。韓國透過參與式地方治理 (Participatory Local Governance) ，提升農民參與水管理決策的程度，進而強化制度的永續性。此外也有研究利用數值模型評估氣候變遷對沿海農業營養鹽循環，對流域環境的衝擊，以及針對核電廠除役期間放射性同位素釋放到稻田環境的生命週期評估 (LCA)。此主軸研究顯示農業的價值遠遠超過糧食產值，是維繫生態平衡的網，支持永續的農村規劃，就是在投資我們共同的未來環境。

(四)智慧技術

智慧技術主題展示農業正快速邁向數位轉型，從衛星到地面感測器，全方位介入農業生產。研究利用影像判識辨識害蟲危害或是判斷柿子樹的水分逆境(water stress)，結合街車影像計算高麗菜種植數量。利用高解析度衛星影像解決大範圍監測的難題，監測小區塊農田的乾旱狀況，或評估降雨數據的準確性，繪製水稻種植地圖及結合SAR雷達影像預測水稻產量。此外，設立智慧灌溉設備與物聯網，自動化控制水門在泰國及日本山區灌溉渠道的配水效益，證明能減少人力並穩定水位。部分研究更利用Starlink衛星網路解決偏遠山區農田無訊號的問題，建立獨立的物聯網通訊環境。科技的進展促使農業水管理更即時及省力，在氣候變遷的情況下，也更具備因應災害的能力。

四、現地參訪經驗：從三王海水庫到田間的智慧灌溉設計

本次技術參訪來到日本岩手縣的重要水資源調度設施–三王海水庫。該水庫位於岩手縣紫波町，蓄水能力可達數千萬立方公尺。不同於一般單一水庫供水的模式，三王海水庫屬於多水源整合操

DOI：10.30248/TSQBTARI.202606_(146).0006



圖三、為彌補葛丸水庫蓄水容量不足的問題，在冬季（非灌溉期）期間，流入葛丸水庫的水量會被引導並暫時儲存在容量較大的三王海水庫中；待進入夏季（灌溉期）後，再將這些儲存的水量回送至葛丸水庫，以供應下游農業灌溉用水。



圖四、水稻田的自動供水閥，可以使用智慧型手機遠端控制灌溉水。

作體系的一部分。在降雨分布不均、季節差異明顯的日本東北地區，單靠一座水庫在旱季提供穩定供水往往不足以應對需求。日本的水利部門將多座水庫視為整體水資源系統進行調度，在非灌溉期先行蓄水，於灌溉高峰期再彈性回送至下游水庫（圖三），確保整個灌溉系統的供水穩定性。這種「跨水庫協同管理」的方式，大幅提升了應對乾旱或降雨極端變化的靈活性，成為地區調適氣候變遷的關鍵策略。農民不再完全依賴單一水源，而是透過制度化的水源協調，確保在極端天候下也能拿到所需的灌溉水量。

然而，穩定的水庫供水只是完整灌溉系統的一半。如何將水從水庫安全且有效地輸送到每一塊農田，也是關鍵課題。在本次參訪的日本豐澤川地區，在下游取水，先後經由明渠與高架水槽，再利用自然重力流的方式，透過封閉式管線輸送至各個農田。過去的明渠灌溉方式，因為是開放式渠道，水在流動過程中會有大量滲漏與蒸發損失。相較之下，透過將輸水管線地下化採用暗管灌溉，不僅減少水量損失，也讓灌溉過程更安全、節能。

這套暗管系統並非單純的地下管路，而是結合感測器、中央控制與智慧調度的供水模式(圖四)。透過感測技術掌握土壤濕度、作物需水狀況，以及水源即時供給能力，系統能夠自動調整供水時間與水量。農民可以透過簡便的控制介面即時引入灌溉水，

DOI：10.30248/TSQBTARI.202606_(146).0006

不再受限於固定時段或人力操作。這樣的智能灌溉模式，大幅降低了輸水損失與農村勞動負擔，對於面臨高齡化、人力不足的日本農村而言，具有深遠的意義。此外，即使在乾旱期間、需要實施輪灌等節水措施時，仍可透過供水閥門的定時控制功能，按照計畫且省力的管理配水與供水作業。

本次參訪亦發生一個小插曲，因有熊出沒，原定參觀岩手大學的行程被迫取消，在日本，往年熊進入人類生活區域的新聞並不常見，但在2025年，日本經常性的出現熊害的問題。臺灣也有類似的狀況，近山區域的野生動物(包含野豬及猴子等)侵入農業區所造成的問題越來越多，皆反映了兩國的鄉村人口老化及氣候變遷的問題愈加嚴重，也讓本研討會討論的議題真實的走入現實。

五、結語

綜合 PAWEES 2025 的國際研究趨勢與日本現地經驗可知，未來農業用水管理的核心，不在於追求單一最先進的技術，而在於建立符合在地條件的整體策略。對臺灣而言，農業型態多元、水資源時空分布不均，灌溉系統更應被視為氣候風險管理的重要工具。透過精準的用水時機、穩定的水資源調度，以及與多元的調適措施整合，農業用水才能在氣候變遷下發揮最大的效益。



DOI：10.30248/TSQBTARI.202606_(146).0006