

出國報告（出國類別：其他）

赴日研習植物表型體學研究與應用

服務機關：農業部農業試驗所

姓名/職稱：杜元凱/副研究員

派赴國家/地區：日本/東京

出國期間：114 年 8 月 03 日至 8 月 13 日

報告日期：114 年 10 月 17 日

摘要

全球暖化所導致的氣候變遷衝擊日益顯著，臺灣屬海島型氣候，季節性缺水、突發性豪雨、極端高溫頻率增加，對於作物生長與品質造成負面影響，各國公、私部門皆積極從事韌性作物選育，以穩定作物生產波動。鑑於加速作物育種需求，「植物表型體學」(plant phenomics)，其為針對特定生物體進行系統性外表型調查、分析的研究領域，世界各國農業研究單位與國際種子公司，已建置各種作物表型體學相關之軟、硬體設施，藉由透過感測器或鏡頭等進行作物溫度、高光譜、葉綠素螢光、二維影像等相關生物資料擷取等，進而對複雜的作物性狀進行調查與探討，並串聯基因體學研究，加速作物韌性育種工作。

目前我國在植物表型體學領域的發展現況，計有世界蔬菜中心、國立台灣大學、中央研究院、國立屏東科技大學等單位，近年已投入相當人力、經費進行相關研究與硬體設施建置，農業試驗所獲中長程公共建設計畫支持，建構國家級之植物表型體中心，作為我國植物表型體學之研究、應用樞紐，並連結各單位人力、硬體資源，建構植物種苗產業發展研究需求之網絡。國家植物表型體中心已於 113 年開啟相關先期試驗與試營運規劃，然而表型體學相關技術如何結合先進人工智慧 (artificial intelligence, AI)、智慧農業以及大數據分析並進一步實際應用於農業研究，目前國內無任何類似先例可觀摩、參考。

本次出國行程以東京大學 Professor Wei Kuo 所主持的田間表型體學研究室為主要研習、參訪單位，同時亦受 Professor Wei Kuo 邀請擔任 MLCAS (Machine Learning for Cyber-Agricultural Systems) 國際研討會 Panelist。另外，本次研習活動同時有幸至 RCAIT/NARO: The Research Center for Agricultural Information Technology/National Agriculture and Food Research Organization 進行參訪與交流，了解 NARO 如何應用資訊科技在農業研究發展。個人於本次相關心得與建議包含如何應用 AI 結合於表型研究能力建構，並分享各國於 MLCAS 研討會所展示各項表型體學研究案例，期望對於我國未來植物表型體學之研究、發展與應用，能有所實質助益。

目錄

摘要	2
壹、目的	4
貳、行程概要	5
參、東京大學田間表型體學研究室	6
肆、MLCAS 2025	10
伍、RCAIT/NARO	13
陸、心得與建議事項	15
柒、總結	16
捌、照片	17

壹、目的

農業部農業試驗所規劃、建置「國家植物表型體分析系統」，於 113 年落成並開啟相關先期試驗與營運規劃，該中心同時具有溫室輸送帶式及田間天車式表型體分析設施，為我國首座大型之表型體研究場域。表型體設施功能多元、應用廣泛，未來希望能應用於植物學、植物生理、重要性狀基因探勘、種原篩選、育種選拔、建立作物模式、植物與病原菌或動物間交互作用等研究。然而，有關於表型體學技術的研究應用以及與物聯網、人工智慧、大數據等各領域串聯應用，目前國內無任何類似先例可觀摩與參考。

為增進我國植物表型體學研究能力並瞭解先進國家表型體中心研究發展、規劃，本出國計畫本計畫派遣相關研究人員前往日本東京大學 Professor Wei Kuo 實驗室進行參訪，就植物表型體學研究應用以及如何與物聯網、人工智慧、大數據等跨領域合作進行討論、交流，另外並前往 RCAIT/NARO 了解 NARO 如何應用資訊科技在農業研究發展，藉以增進研究人員表型體分析、研究專業職能。另一目標與日本東京大學表型體學研究團隊以及 NARO 建立合作夥伴關係。

貳、行程概要

本計畫行程概要如下表 1，8 月 3 日出發至日本，8 月 4 日參訪日本東京大學 Professor Wei Kuo 田間表型實驗室，8 月 5 日至 6 日參加 MLCAS 國際研討會，8 月 5 日至 RCAIT/NARO 參訪，其餘時間至 8 月 13 日搭機返台皆於日本進行田間表型體學相關研習與討論。

表 1、出國計畫行程概要說明表。

2025年08月03日 週日 10:40 TPE 臺灣桃園國際機場 航廈 1							2025年08月13日 週三 14:10 NRT 成田國際機場 航廈 2			
去程班機: 桃園→東京 							回程班機: 東京→桃園 			
08/03	08/04	08/05	08/06	08/07	08/08	08/09	08/10	08/11	08/12	08/13
日	一	二	三	四	五	六	日	一	二	三
搭機前往東京	田間表型分析研究室研習	參加MLCAS 2025 ^a 國際研討會		參訪 RCAIT/NARO ^b	田間表型分析研究室研習	-	-	田間表型分析研究室研習	田間表型分析研究室研習	搭機返回台灣

^aMLCAS 2025: Seventh International Workshop on Machine Learning for Cyber-Agricultural Systems

^bRCAIT/NARO: The Research Center for Agricultural Information Technology/National Agriculture and Food Research Organization

參、東京大學田間表型體學研究室

東京大學田間表型體學研究室成立於 2021 年 11 月，該研究室利用影像辨識、機器學習及感測技術，開發用於從細胞層級至群體層級之生物生長與表現性狀進行高通量、高精度評估的演算法與應用程式，致力於加速表型分析技術在實際農業領域的落地應用。為推動田間表型體學、物聯網、人工智慧及大數據等領域的尖端研究，近年在西東京市校區田無本館建立研究與教育並行的田間研究場域，並發揮在地位置的優勢與日本當地農民、相關企業等進行聯合研究，加速植物表型體學的落地應用。本次短期參訪由 Professor Wei Kuo 介紹東京大學田間表型體學研究室近年執行研究計畫 (圖 1)，並說明近期進行研究項目，以下條列本次參訪、研究所學習重要表型相關研究、內容。

一、高通量 3D 重建與應用

馬鈴薯產量是農民改進耕作方式的一項重要評估指標，目前較為廉價、可行的方法是利用 RGB-D (red-green-blue depth) 相機掛載於收穫機 (圖 2)，再由影像估計單個薯球的三維 (3 dimension, 3D) 體積，然而，從 RGB-D 影像輸出的 3D 形狀僅為部分完整，導致薯球實際體積被低估。為解決此產業所遭遇問題，東京大學田間表型體學研究室開發 CoRe++ 的 3D 結構補全網路，得根據 RGB-D 影像補全 3D 結構。CoRe++ 由一個卷積編碼器 (convolutional encoder) 和一個解碼器 (decoder) 組成。編碼器將 RGB-D 影像透過逐層卷積與壓縮為潛在向量 (latent vectors)，解碼器則利用這些向量，通過深度符號距離場網路 (signed distance fields, SDF) 完成 3D 結構補全。為評估與驗證 CoRe++ 網路的可使用性，該研究室使用來自聯合收穫機所收集的 339 RGB-D 馬鈴薯薯球影像以及完整 3D 點雲數據，由 CoRe++ 所重建之 3D 結構與完整 3D 點雲數據比對下，平均可達 2.8 mm 的補全精度，體積估算均方根誤差 (root mean square error, RMSE) 為 18.2-22.6 ml，每薯球 3D 重建時間僅需 10 ms，由前述數據推知 CoRe++ 兼具速度與準確度，足以實際架設於收穫機用於高通量的馬鈴薯產量估算。

另一個應用表型 3D 重建分析技術案例則是應用在葡萄，新鮮葡萄的表型參數測量，尤其是在單顆果實的表型數據取得，對於產量估算及品質控制至關重要。目前測量工作仍由人工執行，導致其成本高昂、勞力密集且往往缺乏準確性，儘管 3D 重建和點雲分析的已有大幅度進展，但是田間解取果實數據由於遮擋 (occlusion) 而產生的不完整點雲問題，顯著降低單顆果實的表型數據的準確度。據此，東京大學田間表型體學研究室提出一個專門處理 3D 點雲數據而設計的新型深度學習表型分析流程，該流程首先使用 SoftGroup 深度學習網路由葡萄串中分割 (segmented) 單顆果實，隨後使用 GrapeCPNet 的自監督點雲補全網路 (self-supervised point cloud completion network) (圖 3) 通過補全遺失區域來解決遮擋問題。最後，應用形態學分析以擷取果實的半徑和體積。驗證深度學習表型分析流程的數據包含 4 種新鮮葡萄品種，由分析流程所得果實半徑和果實體積估值與實際值之 R^2 (coefficient of determination) 值分別達到 85.5% 和

96.9%，證明所提出的方法在葡萄栽培中，具備快速且實用地擷取 3D 表型性狀的能力。

二、合成數據的應用

在農業田間影像中進行不同品種的作物與雜草語義分割 (semantic segmentation)，對於植物辨識並提升精準雜草管理的效率。然而，收集與標註農業影像數據通常需要耗費大量人力與時間成本，農業影像數據的稀缺性對於分割模型開發，是為目前最大的限制因子。東京大學田間表型體學研究室提出一種區塊層級 (patch-level) 的合成數據生成流程 (synthetic data generation pipeline)，建立一種像素等級的資料合成方法 (pixel level data augmentation)，其透過將已分割的植物區塊貼附於土壤背景上，創造出近似實際影像資料的訓練樣本，從而改善模型在農業場景中的語義分割模型效能。使用此方法所合成的數據進行訓練，其語義分割性能優於僅使用真實數據進行訓練的結果，平均交集聯集比 (mean intersection over union, mIoU) 約提升 1.1%。如將合成數據與真實數據結合，建立混合數據集，透過將混合數據集中合成影像的數量從增加至 15 倍，可觀察到性能有實質性的改善，此時 mIoU 提升約 15%。

雜草是導致作物產量下降、農業操作成本提升的重要生物因素。施用除草劑以及伴隨土壤擾動的非選擇性除草措施所帶來的負面環境影響，已引起高度關注，特定地點雜草管理 (site-specific weed management, SSWM) 是近年新興適用於數位農業的雜草管理策略，其透過雜草品種辨識後再施與精確雜草移除策略，降低除草劑使用。發展 SSWM 的關鍵技術在於能夠有效率地區分作物與雜草並識別雜草物種。然而，這項技術需要大量的標註數據，而標註工作則要求具備雜草科學和農學的專業知識，東京大學田間表型體學研究室提出了一種由通道注意力機制驅動的生成對抗網路 (channel attention mechanism-driven generative adversarial network, CA-GAN)，由 CA-GAN 可生成近似各種雜草影像數據。所提出的 CA-GAN 生成的合成數據集在 sPSD 上達到了 82.63% 的識別準確度，在 ISAS 數據集上達到了 93.46%。Fréchet 起始距離 (Fréchet Inception Distance, FID) 分數測試用於衡量合成數據集與真實數據集之間的相似性，並已證實與人類對合成樣本品質的判斷高度相關。該合成數據集取得了較低的 FID 分數 (sPSD 為 20.95，ISAS 數據集為 24.31)。

三、物件分割與資料集建立

高 (多) 光譜相關技術為近年常應用於農業研究的非破壞檢測、檢量方法，常見研究光譜範圍為 400-2,500 nm，常見應用在農業研究領域探索光譜資料與特定植物生理特性關係的應用為使用植生指數 (vegetation index, VI)，VI 是由多個光譜波長或波段藉由特定公式計算所得，在遙測感應 (remote sensing) 領域的應用已相當久遠，常見 VI 包含常態化差值植生指標 (normalized difference

vegetation index, NDVI) 許多 VI 數值的變化與植物的生長特性與生理反應具高度相關性。

在遙感 (remote sensing) 影像使用光譜資訊可進行植被分割而將背景干擾降至最低，從而實現植被資訊的有效監測與分析，但由於環境條件的複雜性，植被分割構成一項重大挑戰，主要有兩大主要限制，其一是收集田間光譜資料所需的設備成本高昂，另外則是缺乏田間資料集，且資料標註耗時費力。鑑此，東京大學田間表型體學研究室提出了一基於光譜重建 (spectral reconstruction, SR) 技術，同時使用 VI 的弱監督方法，達成有效率的田間植被分割。另外，為降低收集資料成本，在本項研究建立兩個基於卷積 (convolution) 和注意力 (attention) 結構的深度學習模型 (SRCNet 和 SRANet)，用於重建田間多光譜影像，隨後再結合 VI 資訊，建立光譜波段間的關聯性，從而獲得更顯著的植被資訊。最後，該研究採用自適應策略，利用弱監督方法對融合後的特徵圖進行分割，該方法無需人工標註即可獲得田間植被分割結果。本項植被分割方法在真實田間數據集上，平均交集聯集比 (mean intersection over union, MIoU) 達 0.853。同時，東京大學田間表型體學研究室也將多光譜影像數據集 (2358 張影像) 進行開源、共用，提高遙感農業數據的豐富度，並為植物表型體學研究社群提供更多可使用的訓練資料集。

建立各項重要表型特徵，了解不同基因型植株之間生長和發育差異，從而擷取各基因型在不同環境條件下的生理反應過程，AI 模型結合表型體學分析，已成為近年重要農業研究課題，而最關鍵也最耗人力、時間成本的工作為高品質資料集的建立。東京大學田間表型體學研究室參與跨國水稻訓練數據集建立計畫，該跨國計畫創建首個綜合性多類別水稻語義分割數據集 (RiceSEG)，RiceSEG 由五個主要水稻種植國家（中國、日本、印度、菲律賓和坦尚尼亞）收集了約 50,000 張高解析度地面影像，涵蓋約 6000 個基因型在生長階段的影像，6 個類別的標註物件包含背景、綠色植被、衰老植被、稻穗、雜草和浮萍。

四、簡易表型數據分析軟體開發與育種應用

植物表型體學相當大的部分需要仰賴影像分析、程式語言進行資料前處理、分析與結果詮釋，大部分農學、植物科學研究人員並無具備相關先備知識，因此，開發實用、友善操作的分析軟體，也為植物表型體學重要的研究項目。東京大學田間表型體學研究室開發一基於 Window.NET 的田間植物表型分析開源軟體，稱精準區塊分析軟體 (precision plots analyzer, PREPs)，該軟體可於一般常見 64 位元 Windows 電腦安裝、運作，PREPs 使用運動重建/多視角立體視覺 (structure-from-motion/multi-view-stereo, SfM-MVS) 演算法，輸入影像資料為 UAV 空拍圖，輸出資料包含生成正射影像(orthomosaic) 和數位表面模型 (Digital Surface Model, DSM) 影像，並以每個指定區塊為基礎進行表型性狀數據提取，表型性狀包含株高、冠層覆蓋度 (canopy coverage, CC)、冠層高度 (canopy

height, CH) 與冠層體積 (canopy volume, CV) 等 (圖 4)，使用者無需具備地理資訊系統 (GIS) 或程式設計語言方面的影像分析技能。

甜菜育種使用 UAV 所收集 RGB 影像，包含每季 20 個基因型的小區塊 (plot) 育種田區，在連續三個生長季進行 CC 和 CH 的數據收集。透過複迴歸模型擬合單個時間點的 CC 和 CH 數據，預測根重 (root weight, RW)，在三個生長季中的相關係數 r 分別為 0.89、0.89 和 0.92，預測含糖量 (sugar content, SC)，在三個生長季中的 r 分別為 0.79、0.83 和 0.77)。同時，在六月下旬的 CC 和 CH 對於 RW 和 SC 皆有高度變異解釋能力，說明甜菜生育初期的生長勢高低對於高 RW 和 SC 特性具有正向影響。此外，利用 UAV 估算的表型性狀可觀察到馬鈴薯品種間的差異，傳統方式測量的馬鈴薯高度與 PREPs 輸出地的作物高度具備高度相關性。

肆、MLCAS 2025

MLCAS2025 旨在匯集機器學習、資料科學與工程、植物科學和農業領域的學術界和產業界研究人員及從業人員，共同探討和探討與機器學習方法相關的主要技術挑戰和最新成果，會議中特邀各國學者進行研究案例報告、研究論文的口頭/海報展示以及農業機器學習 (agriculture machine learning, Ag-ML) 競賽結果等。本次研討會聚焦主題為:「多模式感知、多體學整合和多平台分析在下一代網路農業系統中的融合」。關鍵議題包含:

一、異質資料的整合

探索如何整合來自不同來源的異質數據流，包括光譜成像、物聯網、感測器、基因組和環境數據集，以徹底改變精準農業。

二、機器學習與多尺度數據的結合

透過將機器學習的最新進展與多尺度的生物、環境和操作數據相結合，探討如何解決作物韌性、資源優化和氣候智慧型農業中的關鍵挑戰。

三、計算框架與數位分身

研討會將著重強調能夠協調跨空間、時間和生物尺度數據的計算框架，從而實現整合植物生理學、田間條件和管理實踐的預測性數位分身 (digital twin)。

以下摘要重要講題主講者與內容:

1. Alexander Bucksch (Associate Professor, College of Agriculture, Life and Environmental Sciences, University of Arizona)

演講主題: Root Phenomics - Unraveling unknown functional phenotypes from cells to populations

內容重點: Alexander Bucksch 副教授專精於開發跨生物和生態尺度的植物表型分析方法，特別強調植物根系及其與環境的相互作用，他所開發的植物形態分析計算方法，透過 CyVerse 網路基礎設施中的 PlantIT 平台，在全球範圍內被廣泛應用。本次演講揭示由細胞層級到族群層級的功能性表型分析的概念，藉此理解植物形態功能、協同作用以及植物結構發展過程的理解。Bucksch 博士曾榮獲 NSF CAREER 獎等多項殊榮，並於 2023 年被選為國際植物表型網絡 (International Plant Phenotyping Network, IPPN) 的學術主席。

2. Haiyan Cen (Professor, College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University)

演講主題: Artificial Intelligence Organ-Level Identification of Greenhouse-Growth

Cucumis melo using Visible images and Near-infrared Hyperspectral Images

內容重點：Haiyan Cen 教授的研究重點是植物的智能感測和光學成像，致力於開發高通量植物表型技術和系統，並應用於作物設計育種和精準農業，目前擔任 ASABE-ITSC (American Society of Agricultural and Biological Engineers- Information Technology, Sensors, and Control Systems) 前瞻規劃主席、Plant Phenomics 期刊副主編等職務。Haiyan Cen 教授本次演講介紹該研究團隊利用可見 RGB 影像以及不可見近紅外光高光譜影像等兩種異質資料進行融合並重建甜瓜植株 3D 結構，進一步結合 AI 演算法，實現果實、花等器官層級的分割。於該演講 Haiyan Cen 教授同時介紹目前 Zhejiang University 目前自行開發建構的設施型高通量表型分析系統。

3. Hiroyoshi Iwata (Professor, Graduate School of Agricultural and Life Sciences University of Tokyo)

演講主題: Harnessing Data-Driven Breeding for Climate-Resilient Agriculture

內容重點：Hiroyoshi Iwata 教授專長於整合數量遺傳學、統計基因體學和數據科學，以推動植物育種和表型體學的發展，Hiroyoshi Iwata 教授並開發基因組選擇、表型預測和複雜生物數據分析的新穎統計和計算方法。本次演講主要為闡述基因體數據、表型體數據等多尺度、異源資料融合對於植物遺傳、育種的影響，並預期未來的研究發展方向。

4. Yan-Fu Kou (Professor, Department of Biomechatronics Engineering National Taiwan University)

演講主題: AI in agriculture-from disease identification to question answering-using tomato as an example

內容重點：Yan-Fu Kou 教授專精於機器視覺與人工智慧應用，並領導台灣大學機器學習與機器視覺實驗室。Yan-Fu Kou 教授研究主軸在於將人工智慧和感測器整合到智能農業系統中。Yan-Fu Kou 教授曾獲得多項榮譽，包括 2021 年中鼎集團工程師基金會人工智慧創新競賽第一名，以及台灣大學優良教學獎 (2013、2014、2015、2021)，曾擔任 Computers and Electronics in Agriculture 期刊的副主編。本次演講主題是以生成式 AI 應用為主，說明如何使用大型語言模型 (large language model, LLM) 建立番茄 (*Solanum lycopersicum*) 串接病害辨識與實現智慧問答系統。除了應用在番茄以外，Yan-Fu Kou 教授同時也演將中也展示如何使用深度學習結合影像辨識，應用於家禽農場管理以及雞隻異常狀態偵測，協助農主有效率地進行健康養殖與管理。

5. Shouyang Li (Professor, Academy for Advanced Interdisciplinary Studies, Nanjing Agricultural University)

演講主題: FOMO4Wheat: Foundation Model for Multi-Task wheat phenotyping

內容重點：Shouyang Liu 教授在田間植物表型算法開發方面擁有十年經驗，在法國國家農業、食品與環境研究院 (National Research Institute for Agriculture, Food and Environment, INRAE)，參與國家級植物表型分析基礎設施 Phenome-Emphasis 開發專案。Shouyang Liu 教授開發 3D 結構結合輻射傳輸模型，數位植物表型分析平台 (digital plant phenotyping platform, D3P)，本次演講主題是以 Wheat Foundational Model 為主，目的在於儘可能收集各國不同物候環境種植下的小麥影像資料，據此訓練出具備可分析小麥目標表型特徵並進行分類、檢測、計數、分割的功能，目前訓練資料及總共由 9 個國家提供，包含 2,000 個基因型和 500 個環境實驗條件，總計 300 萬張影像。

6. Do-Soon Kim (Professor, Department of Agriculture, Forestry and Bioresources, Seoul National University)

演講主題: Plant Phenomics to Plant Image Science

內容重點：Do-Soon Kim 教授是雜草科學的專家，其研究重點為雜草生態學與生理學，著重在稗屬 (Echinochloa) 植物的研究以及植物影像科學的應用。Do-Soon Kim 教授領導作物與雜草相互作用、除草劑抗性及其生態適應機制的研究，旨在推動更安全永續的雜草管理。目前植物表型學已應用在理解水稻耕作系統過程中與雜草生物學方面的交互作用。金教授目前擔任國際雜草科學學會 (International Weed Science Society, IWSS) 副主席和韓國植物表型網絡 (Korean Plant Phenotyping Network, KPPN) 主席，積極為國內外植物表型和雜草科學社群做出貢獻。除草劑篩選需要耗費大量的時間、精力和成本，現有已開發出各種篩選方法，但大多數方法為破壞性分析，且需要花費大量時間和精力才能識別除草劑的活性。在本此演講，Do-Soon Kim 教授說明如何應用光譜影像分析對除草劑活性和作用機制並進行進行早期快速診斷，並說明如何透過分析光譜影像結合機器學習來診斷除草劑活性和作用機制，從而建立利用植物影像分析對除草劑活性的高通量篩選。

伍、RCAIT/NARO

農業資訊科技研究中心/農業與食品產業技術總合研究機構 (Research Center for Agricultural Information Technology, National Agriculture and Food Research Organization NARO, RCAIT/NARO) 的主要任務為致力於利用 AI 與農業數據協作平台進行研究，以促進智慧農業的實現，並在農業與食品領域為未來智慧社會型態「社會 5.0」(Society 5.0) 的實現做出貢獻。本次前往參訪的 RCAIT 位於東京的核心技術研究總部，與村上則之 (Noriyuki Murakami) 博士進行訪談與研究案例交流，村上則之博士為 NARO 的執行總監 (Executive Director)，專長農業機器人以及農業領域的資訊與通訊技術 (information and communication technology, ICT)，並在 1997 年開發出世界上首台高麗菜收穫機，現服務於 RCAIT 致力於農業資訊系統的開發與管理工作。以下摘要說明本次參訪、研習重點。

一、WAGRI 農業數據整合平台

WAGRI 於 2018 年 4 月開始由 NARO 正式營運主要具備取得資料、預測服務、共同開發技術等 3 個功能，WAGRI 整合公家機關與私人公司提供的資料，如肥培、田區資訊、氣象資訊等 (圖 5)，並統一使用 JSON 格式。WAGRI 提供應用服務包含作物的生長階段、產量預測、格天氣資訊等，並允許多個使用者可以互相聯繫、共享彼此的數據來開發各式農業潛在所需服務。2020 年 4 月起，WAGRI 由免費轉為會員收費制度，月費 4 萬日圓。NARO、法政大學與 Northern System Service 公司三方透過 WAGRI 平台，向私人農業資訊服務業者提供一套基於 AI 的病蟲害影像診斷系統，該系統將使每個業者能夠建構其自身的病蟲害影像診斷服務，並將其提供給生產者與一般使用者，目前針對 4 種蔬果 (番茄、小黃瓜、草莓和茄子) 的病蟲害診斷建立 AI 模型，診斷準確度介於 72.6% 至 89.2%。

二、AI 應用於果樹水分管理

本項目由資深研究員 Harshana Habaragamuwa 博士介紹深度學習模型在果樹乾旱逆境的早期預測應用。蜜柑 (*Satsuma mandarins*) 可透過夏季和秋季的有效水分脅迫管理 (water stress management) 來生產高糖度果實，然而過度的水分缺乏所造成果樹生長障礙將嚴重影響果實品質與產量，因此早期估算乾旱逆境方法的開發，實現精準灌溉管理，將直接影響果實品質與產量。RCAIT 研究團隊提出一種基於智慧型手機的果實尺寸估算方法 (圖 6)，該方法利用果實生長與樹體水分逆境之間的相關性，透過 Mask R-CNN 模型與迴歸模型以預測乾旱逆境。研究結果發現實際與估算果實直徑、果實生長與乾旱逆境、以及測量直徑與乾旱逆境之間的決定係數 (coefficients of determination, R^2) 分別為 0.988、0.7789 和 0.7349。該研究的技術能夠利用智慧型手機準確估算果實直徑，且可與灌溉系統整合，能根據果實發育和乾旱逆境的即時評估來優化水資源利用。

目前 Harshana Habaragamuwa 博士正將此早期乾旱逆境預測應用在桃樹水分管
理。

陸、心得與建議事項

農業數據取得、分析和決策是長期且重要存在的農業研究題目，現今高效、具成本效益的感測器和高性能計算技術正將傳統的作物農業耕作系統轉變為由數據所驅動的農業操作制度，尤以廉價、可部署且互聯的感測器技術的普及，研究人員得以實現在不同空間和時間尺度下收集大量數據，而能否有效率地同化異質數據並提供自動化、可操作資訊的離線和即時農業分析方法，進一步整合、應用先進的 AI 與機器學習 (machine learning, ML) 方法，更是農業領域的前瞻性研究，將徹底改變現行農業操作面貌。本次在東京大學田間表型體學研究室短期研習與參訪期間，除了學習表型分析技術、應用以及資料分析以外，得以觀察到 AI 已成為農業研究常用的工具。另一部分，研究室主持人是否了解農業 (包含農民與農企業) 當下亟待解決的問題，並據此形成研究題目投入人力、經費開發解決方案，兼顧在地產業服務與學術發表兩者之間的平衡，也相當值得作為未來發想計畫內容參考。

AI 對於農業研究所帶來變革，將徹底改變研究人員與電腦、數據的互動模式，另一方面也再再揭示農業資料的價值與重要性。當前研究人員與電腦、機器仍僅能由命令提示或各種程式語言 (Python、C++) 透過指令來溝通、執行，學習 AI 成本與障礙仍是存在。近年生成式 AI 的出現，讓研究人員使用自然語言就能與電腦、機器互動，另一方面各類應用 AI 工具也逐漸朝 Low code 甚至 No-code 方向開發，意味著農業研究人員可以使用更簡單的方式應用各項 AI 演算法、工具，可以更切合地與 AI 協作。而當使用 AI 的技術門檻逐漸下調，預期將有相當比例的農業研究樣態將逐漸轉型為，如何善用 AI 工具洞察農業資料的價值，並進一步整合兩者提供農業問題的解決方案，因此，基於農業領域知識並切中了解農業問題為何，將會引領 AI 如何被應用在農業研究，而不是為了 AI 而 AI。本次於東京大學田間表型體學研究室短期研習以及 MLCAS 2025 研討會期間，大部分參與者背景為電腦科學、生物機電、資訊工程等，故由他們的視角所描述的農業問題與農業背景研究者有相當大的不同，雖然在植物表型體學技術層面相當仰賴理工背景專業知識，然由隨者 AI 工具逐漸普及且友善使用，在植物表型體學的應用階段，將再轉向為以使用者需求及作物特性為主，跨領域的合作與溝通，將為必然發展趨勢。

因應勢不可擋的 AI 發展，未來農業的競爭力會建立於如何善用 AI 來解決農業所面臨問題，其中又以如何持續更新、維持「兼具質、量的農業資料、數據」為重要關鍵。因應 AI 快速發展，應培育農業研究人員具備農業資料治理以及 AI 知能。農業資料治理包含資料收集、標準格式制定、資料清理、資料標示以及資料保全等，本部轄下各試驗改良場所過去經年累積各項作物的病害、蟲害、雜草、農業氣象、栽培管理、防治策略、種原性狀、基因型、表型、育種決策、土壤等寶貴影像與文本資料，以及未來將更新的影像與文本資料，上述農業資料治理，將會是我國善用 AI 工具的基石。

柒、總結

本次出國至東京大學田間表型體學研究室短期研習、參訪 RCAIT/NARO 以及參加 MLCAS 2025 研討會，了解日本與國際間發展植物表型體學的內容與方向，並與日本表型體學研究人員以及 NARO 建立聯繫關係，除了在技術與知識以及人脈方面的增進，對於未來我國規劃表型體學研究與發展，也多一些不同的想法。首先是必須確立農業問題並規劃合適的解決方案 (研究計畫)，未必所有農業問題都需要使用高科技或先進 AI 架構解決。第二是團隊合作，以東京大學田間表型體學研究室為例，是由數位研究室主持人共同運作，主持人背景不同 (資訊科學、遺傳學、統計學、影像分析等) 切入問題的視角與解決方案皆不同，透過合作分工、共享資源，方得有效率推展各項研究進度。最後則是須考量將研究成果落地應用的方式，以 WAGRI 為例，開發數據共享的資訊共享平台，包含通用數據格式制定、商業模式建立等，方有機會將植物表型體學開始落實於研究發展、產業應用。

捌、照片



圖 1. Professor Wei Kuo 介紹東京大學田間表型體學研究市近年執行研究計畫。



圖 2. 架設於收穫機上的 RGB-D 相機與機構 (Blok et al., 2025)。

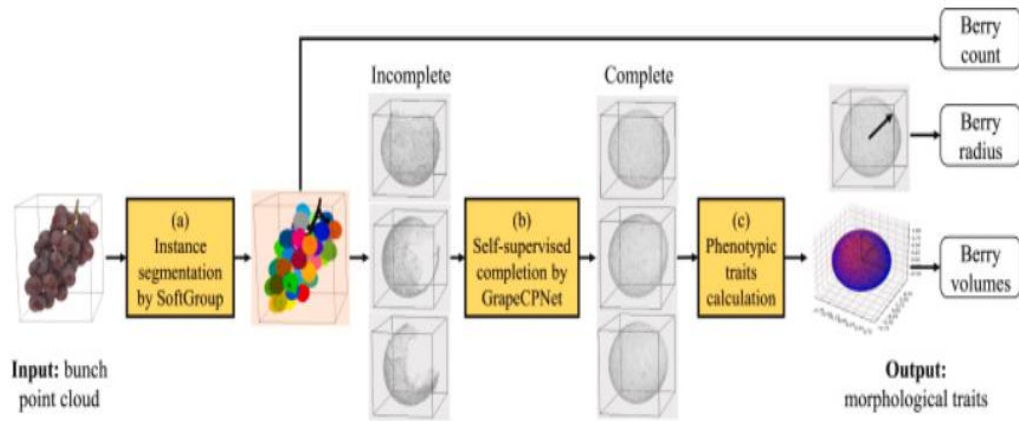


圖 3. 分析葡萄串中單顆葡萄數量、半徑以及體積深度學習表型分析流程 (Zhang et al., 2025)。

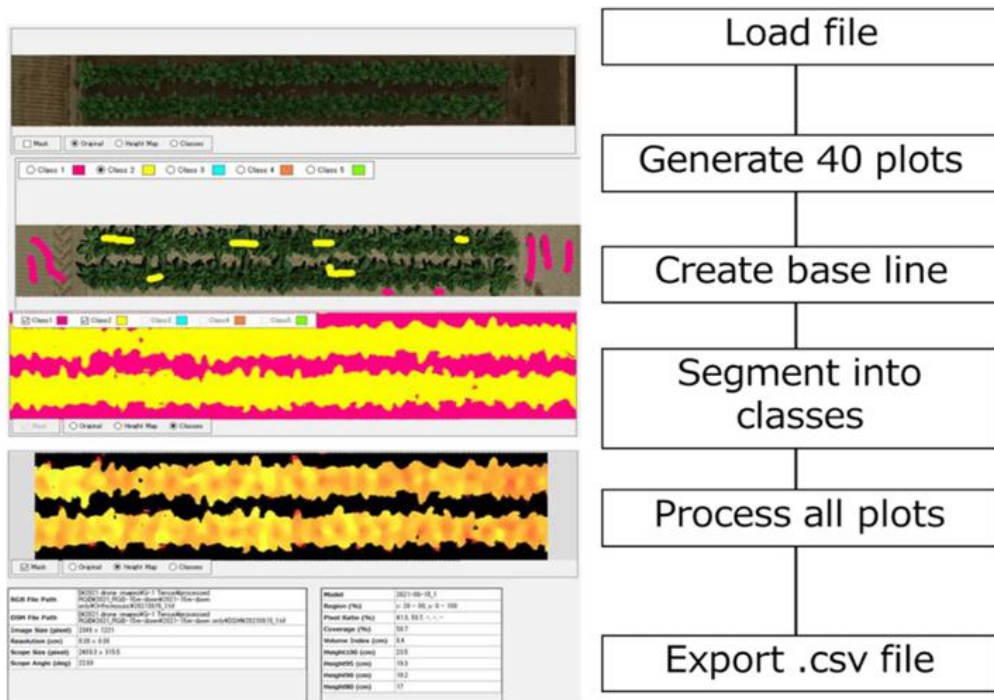


圖 4. 精準區塊分析軟體 (precision plots analyzer, PREPs) 使用 UAV 空拍影像資料作為輸入，每個指定區塊為基礎進行表型性狀數據提取，表型性狀包含株高、冠層覆蓋度 (canopy coverage, CC)、冠層高度 (canopy height, CH) 與冠層體積 (canopy volume, CV) 等。



圖 5. WAGRI 農業數據整合平台所提供的服務以及開放資料
(<https://wagri.naro.go.jp/>)。



圖 6. 利用智慧型手機準確估算果實直徑的影像辨識與量測方法 (Komiya et al., 2025)。