

出國報告（出國類別：考察）

臺美林業經營技術協助計畫-
美國應用物聯網 (IoT) 進行智慧森林經
營方式考察

服務機關：行政院農業委員會林務局

姓名職稱：謝小恬技士、林盈秀技士

派赴國家：美國

出國期間：106年9月6日至9月15日

報告日期：106年12月11日

摘要

美國林務局從 2015 年 3 月開始已在 20 處實驗林應用物聯網 (IoT)，透過本次參訪瞭解美國推動 Smart Forest (智慧森林) 之經驗，包含基礎資料 (網路) 傳輸架構、無線感測技術、環境監測機制及物聯網應用技術；並透過監測資料之整合機制及業務面應用範疇，如長期人工林經營、外來入侵植物管理、森林保護等應用方式，以做為後續政策執行之參考。

IoT 物聯網應用為目前資訊發展趨勢，建議採取實驗區的方式試行，並先整合業務應用需求 (甚至跨機關需求)，以應用需求為基礎規劃資料傳輸方式，並可思考其他長距離、低功率的資料傳輸方式 (如 LoRA 通訊技術)，逐步發展臺灣智慧森林之應用。

關鍵字：智慧森林、Smart Forest、物聯網、IoT、環境監測、入侵植物管理

目錄

| | |
|---|----|
| 壹、出國目的..... | 3 |
| 貳、訪團名單及行程表..... | 3 |
| 一、訪團名單..... | 3 |
| 二、行程表..... | 3 |
| 參、行程概述..... | 4 |
| 一、拜訪 USFS Pacific Northwest Research Station | 4 |
| 二、考察 H.J. Andrews Experimental Forest..... | 6 |
| 三、拜訪 USFS Corvallis Forestry Sciences Laboratory | 10 |
| 四、參訪 Portland State University 的 SWEET 實驗室 | 11 |
| 五、參訪 World Forestry Center 及 World Forest Institute | 13 |
| 六、參訪 Magness Tree Farm | 15 |
| 肆、心得與建議..... | 17 |
| 一、心得..... | 17 |
| 二、建議事項..... | 19 |

壹、出國目的

美國林務署 (United States Forest Service) 在美國境內 80 個實驗林，長期進行監測記錄與試驗研究，其中 20 處從 2015 年 3 月開始，陸續加入「智慧森林」(Smart Forest) 計畫，運用物聯網 (Internet of Things, 簡稱 IoT) 及無線感測器等技術，自動化採集森林環境相關的監測數據，並透過網路通訊即時收集與開放相關資料，作為森林管理及變遷預測的重要資訊。臺灣森林覆蓋面積達國土 60%，若能運用 IoT 技術進行資源管理，應可有效提升管理的細緻度與即時性，惟考量兩國森林經營與環境條件差異甚大，期可藉由瞭解美國推動經驗，以評估我國發展智慧森林之可行性 (包含物聯網技術、軟硬體研發及資料整合等議題)，並作為後續發展策略及資訊應用範疇之參考。

研究目的包含：

1. 瞭解美國推動 Smart Forest (智慧森林) 之經驗，包含基礎資料 (網路) 傳輸架構、無線感測技術、環境監測機制及物聯網應用技術等內容。
2. 瞭解監測資料之整合機制及業務面應用範疇，如長期人工林經營、外來入侵植物管理、森林保護等應用方式，以做為後續政策執行之參考。

貳、訪團名單及行程表

一、訪團名單

| 單位 | 職稱 | 姓名 |
|------------------|----|-----|
| 國立臺灣師範大學地理學系 | 教授 | 張國楨 |
| 行政院農業委員會林務局森林企劃組 | 技士 | 謝小恬 |
| 行政院農業委員會林務局造林生產組 | 技士 | 林盈秀 |

二、行程表

| 日期 | 行程 |
|---------------|--|
| 106 年 9 月 6 日 | 台北 - 波特蘭 |
| 106 年 9 月 7 日 | 參訪世界林業中心 (World Forestry Center) |
| 106 年 9 月 8 日 | 拜訪參與 World Forest Institute 計畫之研究員-林業試驗所王巧萍博士 |
| 106 年 9 月 9 日 | 拜訪 Portland State University 的 GIS Programs 計畫主任 Jiunn-Der Duh 教授，交流 GIS 技術發展、最佳化土地利用分 |

| 日期 | 行程 |
|-----------------------------|---|
| | 析、資料整合議題等經驗 |
| 106 年 9 月 10 日 | 參訪 Magness Tree Farm |
| 106 年 9 月 11 日 | 拜訪 USFS Pacific Northwest Research Station 研究員 Jeremy Fried, Robert Deal, Olaf Kuegler 及 Sharon Stanton，交流森林管理、永續生態系經營、資源調查、入侵植物防治及資料整合等經驗 |
| 109 年 9 月 12 日 | 實地考察美國林務署 H.J. Andrews Experimental Forest 林場之 Smart Forest 研究站執行情形及應用方式； 拜訪 USFS Corvallis Forestry Sciences Laboratory 的 Don Henshaw 及 Oregon State University 的 Suzanne Remillard，瞭解 Smart Forest 監測計畫推動方式及策略 |
| 106 年 9 月 13 日 | 拜訪 Portland State University 的 SWEET 實驗室 Evan Thomas 教授，瞭解監測設備及物聯網感測技術應用 |
| 106 年 9 月 13 日 ~9 月 15 日 | 波特蘭 - 台北 |

參、行程概述

一、 拜訪 USFS Pacific Northwest Research Station

(一) 參訪對象：

1. 美國林務署西北太平洋研究站 Resource Monitoring and Assessment (RMA) 的研究員 Dr. Jeremy Fried、Dr. Sharon Stanton 及 Dr. Olaf Kuegler。
2. 美國林務署西北太平洋研究站 The Goods, Services, and Values Program 的研究員 Dr. Robert Deal。

(二) 簡介：

1. 美國林務署西北太平洋研究站：是美國農業部林務署 7 個研究中心之一，自 1925 年以來，持續致力於提供森林管理相關知識及開發創新技術，以改善公、私有森林的健康，並透過國家森林、實驗性森林系統及跨部門的合作關係，以瞭解與氣候變化、物種危機、人類健康和福祉等議題，幫助進行土地管理決策。
2. Resource Monitoring and Assessment (RMA)：主要執行資源監測和評估計畫，透過森林資源調查、監測研究等方式，收集美國太平洋西北部的森林及山脈森林系統的各式森林資料，以進行多尺度評估及趨勢分析，提供土地管理者及決策者進行規劃。
3. The Goods, Services, and Values Program，主要研究生態系統服務與公眾利益的關係，著重於公眾如何看待和重視生態功能、商品及服務，以及這些因素如何影響人們對景觀的使用和管理，目標是提高政府政策、管理、決

策過程和計劃的有效性。

(三) 參訪交流紀要：

1. Resource Monitoring and Assessment 研究團隊：

Resource Monitoring and Assessment 專門從事森林資源調查，本次探討議題涵蓋美國林務署如何進行森林資源調查（包括頻率、方法以及後續應用）、入侵物種的調查與因應策略，以及不同來源資料的統整。

此部門的森林資源調查作業，主要是採取樣區現地調查方式，於各長期樣區進行現地調查作業，收集森林樹種、生長量、蓄積等資料，每 10 年完成一輪全美森林樣區資料更新。但樣區調查資料單純作為土地覆蓋之現況與變化趨勢的記錄，並未與林地經營管理單元結合，因此，土地使用變化並不影響經營管理單位之區界（界線）調整，兩者以相互參照的方式運用，以減少資料複雜性，將資料內容聚焦於土地變遷的變化。

但森林調查資料的整合仍是棘手難題，因早期不同單位採取的資料結構不一，造成資料整合應用困難，但自 1990 年代中期開始執行資料整合計畫，以統一的資料收集標準記錄調查資料，如須變更，則會召集相關部門共同討論並修訂規則，一致性調整作業方式。惟新舊資料目前仍無法整合。

外來入侵植物監測部分，主要業務是由美國農業部負責，林務署只協助進行相關調查及回報作業，並進行監測與統計，但針對蒐集到的資料並沒有建立擴散預估模型，且除非外來種入侵情形已超過可容許標準，不會特別進行相關移除或控制作業。而監測取得的環境因子資料，或許未來可應用於空間分析上。

2. The Goods, Services, and Values Program：

Dr. Robert Deal 研究員主要研究生態系統服務的價值，針對外來種控制議題，建議可從經營管理的角度來探討如何能從生態系統獲得實質的利益。以濕地以及水質保育為例，土地開發勢必影響到濕地保育，如不得不將私有的濕地變更為其他使用時，依規 (Clean Water Acts) 應另取得一塊同樣大小的土地，變更為濕地使用，因此有人專門進行溼地復育的工作，從中獲取利益；另因工廠所排放的廢水溫度高於自然環境中的水溫，為了避免對河川生態造成改變與傷害，在廢水排入天然河道之前必須進行降溫，因而衍生出提供降溫渠道的需求，產生相關市場交易的價值。惟生態系服務衍生的市場價值，則須先有相對應的法規才可辦理，且只適用於私有地，公有地部分則僅強調生態系統的價值，不會加入市場交易，以免影響到市場的供需平衡機制。

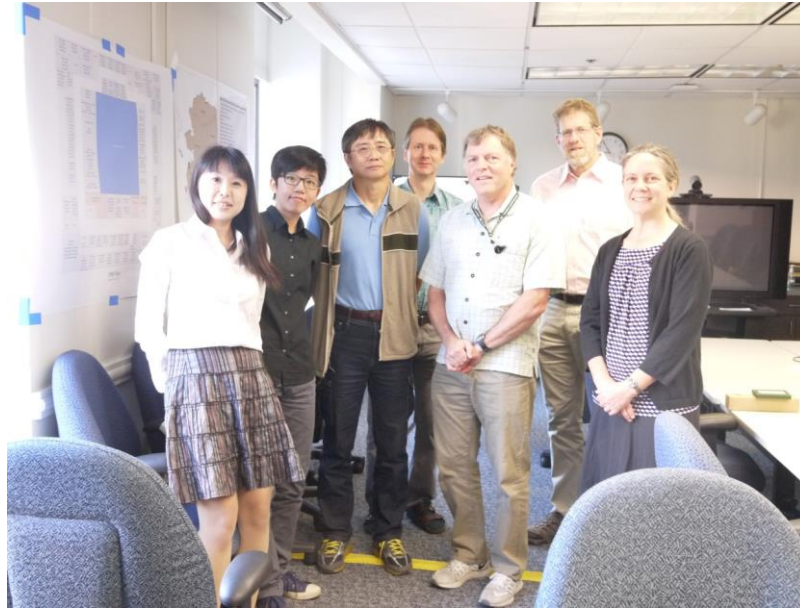


圖 1 美國林務署西北太平洋研究站(Resource Monitoring and Assessment)，右起 Dr. Sharon Stanton、Dr. Jeremy Fried、Dr. Robert Deal、Dr. Olaf Kuegler 及張國楨教授。

二、 考察 H.J. Andrews Experimental Forest

(一) 參訪對象：

1. HJ Andrews Experimental Forest 的研究人員兼主任 Dr. Mark Schulze：是 Oregon State University 長期駐點在 HJ Andrews Experimental Forest，負責整個智慧森林的監測網絡維運。
2. HJ Andrews Experimental Forest 的資料處理人員 Adam Kennedy：是 Oregon State University 的研究人員，主要負責網路規劃、資料前置處理及相關軟硬體管理。

(二) 簡介：

H.J. Andrews Experimental Forest 位於 Oregon 州的 Cascade Mountains 內，佔地約 6,400 公頃，屬於 Lookout Cheek 的流域，海拔 410 至 1,630 公尺，具有多處陡峭山丘和深谷，主要由雪松、鐵杉、花旗松等鬱閉地針葉樹林組成，並由 USFS Research、Oregon State University 和 Willamette 國家森林公司合作管理。

美國林務署於 1948 年設立 H.J. Andrews Experimental Forest，作為太平洋西北部的森林和溪流生態系統研究中心，並在 1980 年成為美國國家科學基金會 (NSF) 的長期生態研究 (LTER) 計畫的一處研究地，是國家長期生態研究網絡的一部分，目前執行 LTER 計畫的期程為 2014 至 2020 年。

該實驗林的主要研究項目為：森林經營與氣候的關係、自然擾動和土地利用與生物多樣性及水文學等項目，透過長期測量監測、實驗研究及跨學科

整合以瞭解其間之關連。

(三) 參訪交流紀要：

由於 H.J. Andrews Experimental Forest 位處山區，資料傳輸的機制是執行智慧森林計畫的最大挑戰，整個 IoT 透過幾種不同的網路傳輸方式（5.8GB 與 900M 無線網路）進行自動化資料蒐集。為了克服地形障礙，全區分成幾個小區，每個小區內的感測器透過 900M 無線網路傳輸到小區的中繼通訊鐵塔，中繼通訊鐵塔再以 5.8GB 無線網路傳回總部辦公室旁的主要通訊鐵塔。資料傳回總部辦公室後，先做 pre-processing, 去除可能的雜訊以及干擾，然後再以一般 100MB 有線網路傳送到位於 Oregon State University 的伺服器做後續處理與分析。而目前傳輸網路並未能涵蓋全部的實驗林場，但考量增加傳輸設備所需投入的成本及效益（亦即取決於經費多寡），某些受地形干擾的地區，則採取人工蒐集的方式，每隔一個月親赴現地取回感測器所蒐集的資料。

Dr. Schulze 與 Adam Kennedy 都強調在選擇感測器的位置時，必須考量不同感測器所需要的設置環境條件不盡相同，這次參觀了三個設置區：總部辦公室旁的主要通訊鐵塔區、中繼通訊鐵塔區及水質監測站。通訊鐵塔區除了一般感測器外，還需要足夠的空域接收來自其他通訊鐵塔的訊號，水質監測站就需要特別的地質構造，岩盤河床才有辦法量到正確的流量。

至於現場所採用的硬體設備，Adam Kennedy 強調必須是一般規格，這樣才有辦法快速取得備品備料，而且必須不需要特殊的技術與工具即可更換，否則可能因為等待維修所需的備料送達時間過長，造成監測作業中斷，失去 IoT 的意義。



圖 2 Dr. Mark Schulze 介紹 H.J. Andrews Experimental Forest 的 IoT 架構。

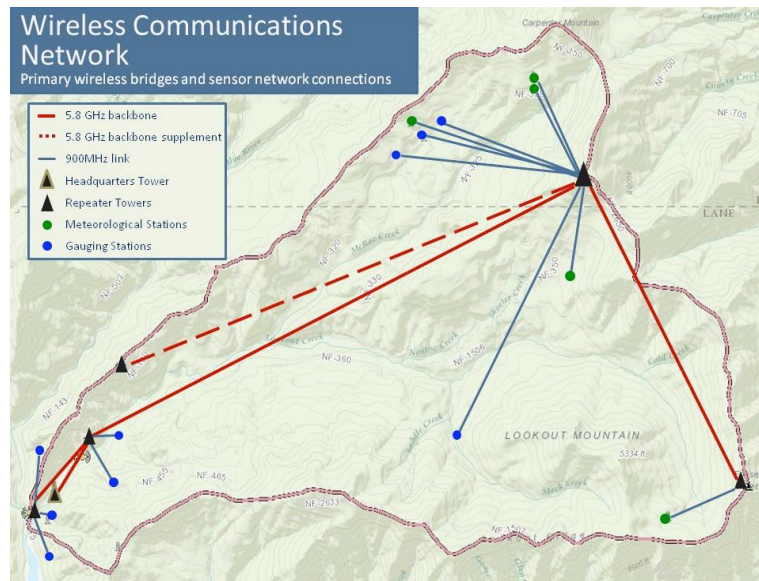


圖 3 H.J. Andrews Experimental Forest 的無線網路傳輸架構。



圖 4 主要通訊電塔區的無線傳輸設備。



圖 5 中繼傳輸電塔之一，主要利用太陽能板充電。



圖 6 自動水質監測站。

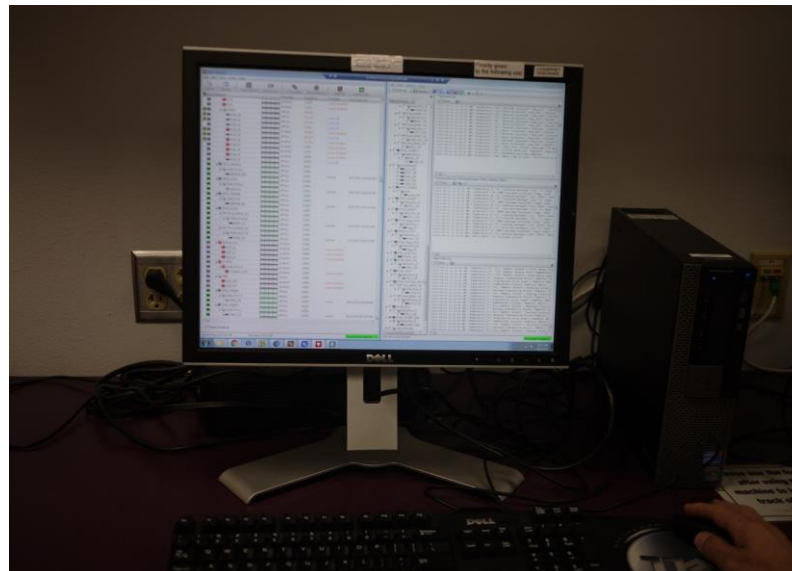


圖 7 Adam Kennedy 介紹資料 pre processing 處理。

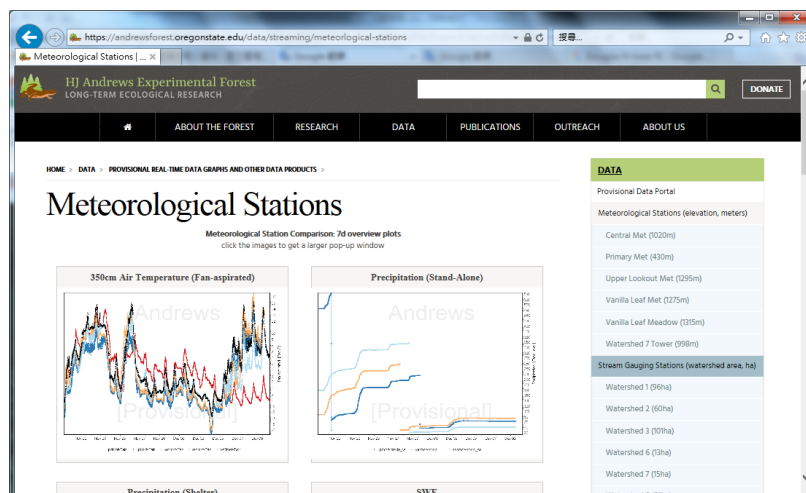


圖 8 H.J. Andrews Experimental Forest 網站提供即時監測資料查詢。

三、 拜訪 USFS Corvallis Forestry Sciences Laboratory

(一) 參訪對象：

拜訪設置於 Oregon State University 內的 USFS Corvallis Forestry Sciences Laboratory，拜會負責 H.J. Andrews Experimental Forest 的 LTER 計畫的 Dr. Don Henshaw 與 Suzanne Remillard 研究員。

(二) 簡介：

USFS Corvallis Forestry Sciences Laboratory 長期執行 H.J. Andrews Experimental Forest 試驗林的長期監測計畫 (The Long Term Ecological Research Network, LTER)，整合多個領域，包含氣候、地理、森林、水文、地形、生物、經營管理等資訊，並透過智慧森林計畫將相關資訊開放使用。

(三) 參訪交流紀要：

本次拜會 USFS Corvallis Forestry Sciences Laboratory，主要目的是了解 H.J. Andrews Experimental Forest 建置 Smart Forest 與 IoT 的過程、推動經驗、營運方式，以及所資料處理與應用情形等，希望就推動策略面進行交流。

H.J. Andrews Experimental Forest 已運作超過 30 年，持續進行監測與資料蒐集，但是 IoT 與 Smart Forest 是近 3、4 年才開始，主要是透過美國林務署與美國國科會支持研究所需經費，整個研究團隊除計畫人員外，亦包含 Oregon State University 部分研究人員。

美國智慧森林所蒐集的資料內容，主要以森林環境之監測為主，包含：溫度、濕度、溪流水溫、水質及熱紅外光影像快照等，該等監測資料都先由研究團隊進行資料分析後，再提供政府單位與學術研究機構使用，研究團隊本身並沒有自行加值應用資料。

討論時也請教他們對於臺灣發展智慧森林的看法與建議，但由於美國計畫智慧森林計畫係以科學研究為主，未參與森林管理之業務，因此在資料應用上，除了純學術研究外，無特別的建議。但針對智慧森林的發展與建置方面，Smart Forest, Don Henshaw 與 Suzanne Remillard，提出一些建議如下：

1. 先確認監測目的：科學研究與森林管理之監測面向不同，應就監測目的發展對應之監測方法與技術，較能滿足需求。
2. 根據目的選定適當測試區：因臺灣森林環境與美國差異甚大，應先設置測試區，以確認執行可行性。
3. 研究基地設置：研究基地為監測資料對外傳輸之重要據點，建議可考量對外通訊網路良好的地方作為基地，減少資料傳輸困難。
4. 感測器位置選定：臺灣的地形遮蔽效應應該比美國還大，可先行分析感測器布設之方法，以確保監測資料之可取得性，並注意電力供應來源之穩定性，不同的電力供應方式可能影響監測可行性。
5. IoT 通訊方式：物聯網傳輸網絡的部設會是計畫執行成功與否的關鍵。
6. 固定經費來源：監測資料需長期執行方能顯現其效益，建議協調多個相關

單位，整合不同來源的經費，以確保監測之穩定性。

7. 固定人力：Dr. Don Henshaw 以他自己為例，找不到可以替代他的適當人選，建議可組織固定執行團隊，減少長期監測計畫執行的變數。
8. 分階段推動：建議第一期以五年為規劃目標期程。

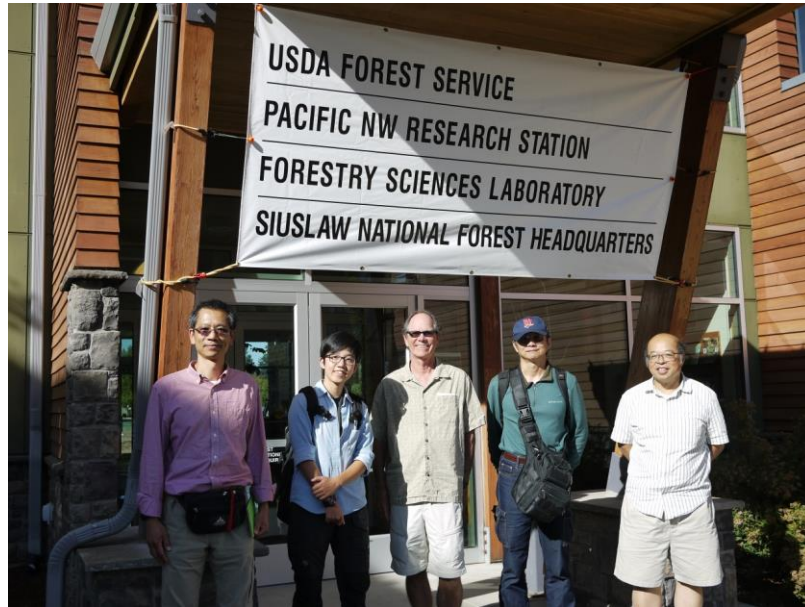


圖 9 拜訪 USFS Corvallis Forestry Sciences Laboratory，中間為 Dr. Don Henshaw，左邊為杜俊德教授。

四、 參訪 Portland State University 的 SWEET 實驗室

(一) 參訪對象：

Portland State University 機械系的 Dr. Evan Thomas，以及他所主持的 SWEET 實驗室 (The Sustainable Water, Energy and Environmental Technologies Lab)。

(二) 簡介：

Portland State University 的 SWEET 實驗室，主要研究領域為：國際可持續發展、地表水處理、發展中國家的可再生能源及遠程監測系統等技術，為了改善發展中國家安全飲水及能源需求等問題，SWEET 研究室投入開發透過行動電話或衛星傳輸的物聯網技術，於印度、尼泊爾、印度尼西亞、菲律賓、盧旺達、肯尼亞、烏干達、埃塞俄比亞及海地等國家部署高效鍋爐、水泵、家用淨水器、衛生系統等設備，並持續監測該等設備運用於開發中國家成效。

(三) 參訪交流紀要：

SWEET 實驗室專注於研發與建置物聯網 (Internet of Things) 感測器與相關科技，針對第三世界國家的偏遠地區，監測飲用水使用狀況、手動抽水井運作情形及二氧化碳濃度變化，據以改善第三世界國家人民的生活品質、環境衛生及健康。

Dr. Evan Thomas 的研究團隊因應偏遠地區電源不足、缺乏網路通訊，以及技術水平低落等特殊條件, Dr. Evan Thomas 透過 3D 列印技術，自行開發簡單易用的感測器，開放原則如下：

1. 安裝與維修技術門檻低：只要插上即可使用。
2. 低耗能感測器：盡量省電，一顆鋰電池可以連續使用 10 年不需更換。
3. 低資料量：因偏鄉必須依賴 GSM 與衛星電話，為簡省傳輸成本，一天傳輸一次資料，每次每筆資料大約 5~8bits 的資料量。
4. 成本低廉：必須當地人負擔得起。

研究團隊所建置出來的 IoT 監測網涵蓋北非幾個落後國家，總數有 3000 多個感測器，監測該地聚落的生活用水品質，其中約有 3 分之 2 的設備透過 GSM 傳輸技術及 3 分之 1 透過衛星電話，每天將感測器所蒐集的資料傳送回 Portland State University，每個感測器每月的通訊費用約為美金 10~20 元，若感測器故障，則由當地人員直接更換備品，減少維護難度。

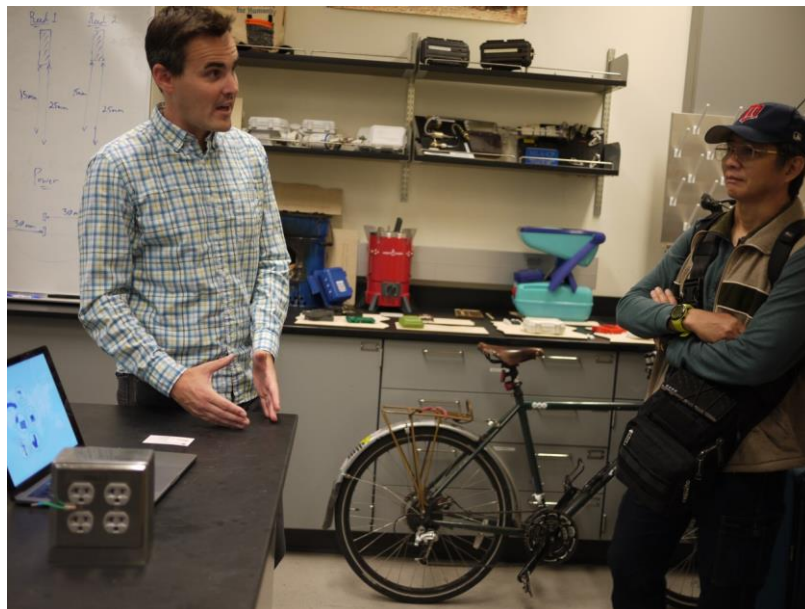


圖 10 參訪 Portland State University 的 SWEET 實驗室，Dr. Evan Thomas 解說在偏鄉通訊的解決方案。

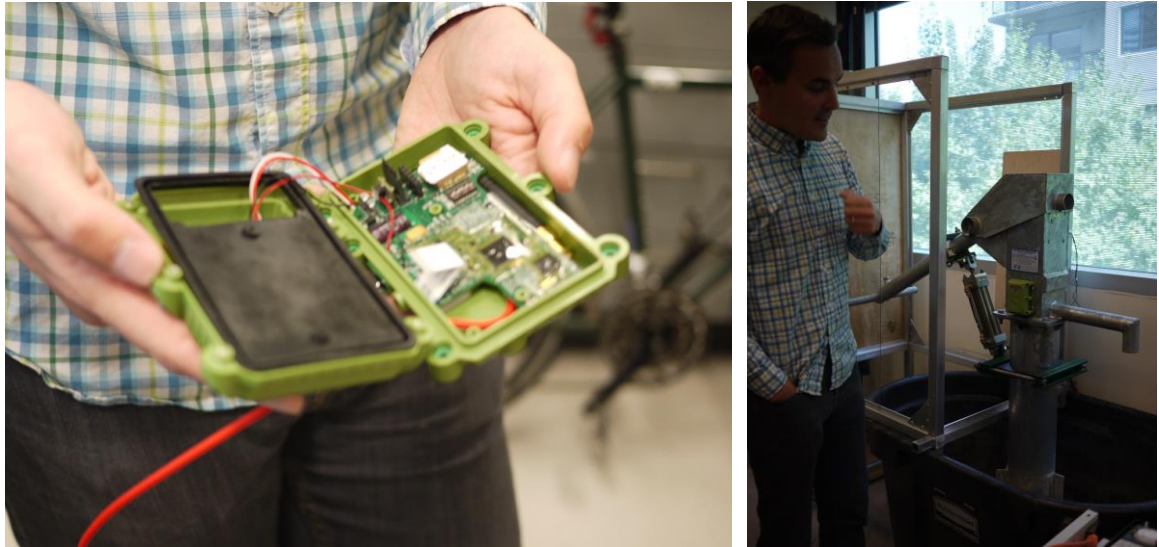


圖 11 Dr. Evan Thomas 介紹 SWEET 研究室研發的監測設備，監測設備內部（左），裝置於抽水機上（右）。

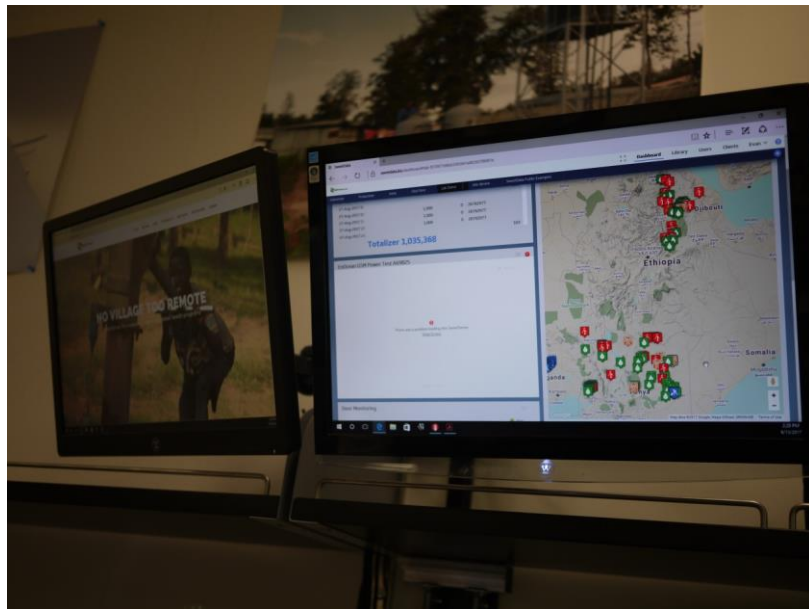


圖 12 非洲各地的感測器通訊狀況。

五、 參訪 World Forestry Center 及 World Forest Institute

(一) 參訪對象：

1. 參觀世界林業中心博物館(World Forestry Center Museum)。
2. 拜訪於世界林業研究所 (World Forest Institute) 實習 6 個月之林業試驗所同仁王巧萍博士及研究所主任 Sara Wu。

(二) 簡介：

1. 世界林業中心博物館：位於波特蘭華盛頓公園及動物園旁，占地 2 萬平方英尺，標榜能讓 3 歲到 103 歲都感到愉悅的地方。成人門票 7 美元，參觀者能因了解森林及樹木的重要性與其經營方式，而同時達到教育與娛樂的

目的。

2. 世界林業研究所：建立了一個名為世界林業研究所 (WFI) 的計劃，讓來自世界各地的專業人士 (如自然資源領域、土地管理者、專家、投資者或木材業者等，一起到研究中心進行持續 6 個月的研究計畫，創建人 (Harry A. Merlo) 認為林業係屬於全球性的事業，藉由與世界各地的學者交流，更能傳遞日益進步的科學資訊，以帶動林業的進步。

(三) 參訪交流紀要：

1. 世界林業中心博物館：

參觀世界林業中心博物館，整個博物館的核心可說是藉由讓民眾了解森及木材於生活的重要性，自然而然導入林業經營之必要。相較於臺灣之普遍民眾心理仍有砍伐森林就是非法的念頭，表示林務局對於環境教育推廣，仍有長遠的路要走，建議基礎教育可從國中、小學甚至學齡前(幼稚園)教育及教材著手。

倘林務局自然教育中心欲建置相關展品或教材，建議可學習該博物館之優點如下：

- (1) 多元互動式教材：因民眾實際參與動手做或是實際體驗時，時常喜歡拍照 (打卡) 於社群網站張貼是很有效的推廣方式，可加深學習印象。臺灣的教育中心多放置多媒體影音、錄音音效或是翻牌、拉抽屜等小活動，已失去新鮮感，且時常音源時間過長，淪為吹冷氣或家長閉目養神的地方。
 - (2) 主體明確而後延伸其餘次要主題：該博物館中央設立直達屋頂之等比例巨樹，從下而上各層皆可參觀並學習各部位及層次之知識，是時間不足或充裕之情況下，皆可依時間長短獲取所需之展覽方式。
 - (3) 從 3 歲到 103 歲皆有收穫：臺灣展覽館 (除動物園老少皆宜外)，其餘展覽館展示多設定國小學生為對象之介紹方式，家長多為陪伴參觀並無參與感，森林及林業係知識寶庫，林業更是值得正反二方參與探討之議題，有時加入成人也感興趣或也能獲得收穫之主題，更能吸引各年齡層參觀之興趣。
 - (4) 展場空間規劃：該展場很大的優點是整體明亮採光極佳，讓人有走入森林中的舒適感，即使展品多、文字多，亦規劃許多座位舒適之休息空間，讓人願意停留參觀。
 - (5) 應有定時更新之展區或資訊：本次參訪同仁曾於 4 年前旅遊時自行前往參觀，本次為第二次參訪，有熟悉之區域，亦多了很多新知，於是 2 次參訪心得仍有不同。搜尋本展館之網路評價發現初次參觀者評價多很高，而有些評價低者是留言，前 1、2 次去都有趣，第 3 次發現已經開始無聊了。此展館竟能吸引民眾去第 3 次已令人感到驚奇。而是否能更新主題，似乎是吸引訪客重覆到訪的因素。
2. 世界林業研究所：

因世界林業研究所非本次參訪之主要目的，且因約定時間太臨時，該所當時正辦理「第 13 屆 Who Will Own the Forest」會議，爰僅短暫與

Sara Wu 主任簡短交流時事（當時加州大火正燒得不可開交），主任替空氣品質很差替我們感到抱歉。

與王博士簡單交流其在美國實習 6 個月之初步心得，王博士提到美國人民對政府多持不信任態度，國有林經營不易（如：反對伐木），但若由 NGO 居中進行相關政策推動或溝通，則可獲得較好的成效，因此美國林業政策的推動（如入侵植物防治等），多由民間發起（如協會、基金會），可能接受政府補助或是募款活動辦理。政府涉入程度不高，只專注於制定政策。



圖 13 拜訪世界林業研究所的研究所主任 Sara Wu（左）及王巧萍博士（中）。



圖 14 世界林業博物館的林業機械區（左）及種樹體驗區（右）。

六、 參訪 Magness Tree Farm

（一） 參訪對象：

Magness Tree Farm 的經營者 Liam Hassett (由 World Forestry Center 聘僱)。

(二) 簡介：

Magness Tree Farm 係由當地居民 Howard 及 Panzy Magness 於 1977 年捐給世界林業中心經營，主要樹種為花旗松及雪松等，主要作為示範性森林經營場域，執行林地經營、造林作業、試驗研究等森林管理作業，並作為良好的戶外教育場所，提供解說步道、露營等遊憩使用。

(三) 參訪交流紀要：

本次參訪 Tree Farm，訪問美國當地的小林農如何依賴經營小面積林業維生，因本次參訪為王博士熱情邀約，事前未準備相關資訊，爰抱持著輕鬆閒聊之心情，得到之隨興心得如下：

1. 小面積之林農，無法仰賴木材生產維持營運，爰該林主必須依靠辦理活動(導覽、解說)，搜尋其 Facebook 粉絲團，亦辦理婚禮場地等，可能可以成為林務局輔導租地造林人或是小面積私有林主之經營方向參考。
2. 該林主接手 Tree Farm 僅 2 年，惟其對於如何經營森林已很有想法，詢問其甚至原本非森林相關科系，可以感受到美國青年對於工作懷抱的熱誠與臺灣的青年較為不同。
3. 美國森林亦有入侵植物之問題，像是本次參觀之森林裡就有 English Ivy 螺旋長春藤 (Hedera helix) 和藍莓等，該林主亦很了解入侵植物無法完全根除，惟其如果發現入侵植物即順手清除，已和當地環境共生，影響造林木並不嚴重。
4. 本次參訪之 Tree Farm 隔壁為一葡萄莊園，經營之園主與我們聊天說明，其改為葡萄園前亦同為林業用地，她們是在木頭價格很好的時候，把木頭賣掉再改成經營葡萄園。我們立刻詢問辦理變更加更用地的程序複雜嗎？其表示程序簡易且快速。她表示美國人很遵守規定，如果必須遵守的法規一定依照正常程序申請，因為她們本來就必須自負投資承擔之風險 (可能這點和臺灣的民情也較不相同，臺灣制定的法規複雜且多，人民容易選擇性遵守，而美國人民法規少且守法)。



圖 15 參訪 Magness Tree Farm，中為 Liam Hassett。



圖 16 在 Magness Tree Farm 的管理木屋內討論，中為 Liam Hassett，右為王巧萍博士。



圖 17 附近私有林地的皆伐區。

肆、心得與建議

一、心得

- (一) Smart Forest 係以應用物聯網 (Internet of Things, IoT) 技術，以無線通訊方式，收集各式環境感測資訊，包含溫度、濕度、降水量、風速、水質、影像等各式森林環境資料，再透過過長距離網路傳輸，將資料匯集到數據中心，並更

新至對外展示平臺，提供研究人員即時掌握森林狀況或瞭解長期變化趨勢。而美國在推動 Smart Forest 計畫時，是以實驗林為推動場域，物聯網的部署考量區域的環境特性架設，如 H.J. Andrews Experimental Forest 須避免冬季大雪干擾資料傳輸問題，各通訊閘的電力供應及訊號透通性亦是關鍵因素，故各林場無線通訊方式各有不同，尚未有一致性的做法及全面性部署。臺灣在推動林業物聯網面臨之挑戰不亞於美國，本局若要規劃物聯網應用時，建議先採取實驗區的方式試行，並可思考其他長距離、低功率的資料傳輸方式（如 LoRA），逐步推動全臺山區之基礎通訊網絡。

- (二) 本次參訪 H.J. Andrews Experimental Forest，其於 1948 年即建立，並累積長期生態研究資料 (The Long Term Ecological Research)，在此背景下，再參與美國林務署智慧森林 (Smart Forest) 計畫，改以無線資料傳輸方式持續收集環境監測資料，做為長期研究資料之提供者。爰此智慧森林非一朝一夕建置而成，本局亦有永久樣區及森林資源調查之基礎資料，可分析其資料成果，列出重要資料項目，並搭配資訊傳輸網絡之建設，建置自動化無線監測設備及即時資料供應機制，逐步實現全面智慧森林監測之構想。
- (三) 物聯網及無線監測技術的發展所須投入的經費相當高昂，且有長期軟硬體維護及更新的必要性，爰在 Smart Forest 計畫推動上，將取決於環境監測的目的，以 H.J. Andrews Experimental Forest 來說，網路通訊閘的設置方式考慮投入成本與使用效益，目前非全區均有網路覆蓋，而監測資料部分，因其提供的資料係以科學研究為主，收集的資料項目多為森林環境資料，如溪流水溫變化影響鮭魚迴流情形，為重要監測項目之一，而森林即時動態影像因無應用需求，則僅以快照影像代之。以本局來說，除環境科學研究需求外，森林管理及保護亦為重要業務，若能先整合業務應用需求（甚至跨機關需求），較有助於規劃物聯網部設方式及評估投入成本。
- (四) 就入侵植物監測資訊方面，其分工係由美國農業部統籌（林務署僅執行），因入侵植物牽涉農作物影響經濟產值較高，以農業部門為主要機關，具有較多之分配資源。另因國情不同，美國森林大多為私有林地，詢問林務署私有林地係交由林農自主管理，並不干涉入侵植物之防治與否。而入侵植物資訊網站，係由美國農業部統整，但州政府可以主導地方之入侵植物管理計畫，因各區域環境氣候差異，此概念可提供本局借鏡。
- (五) 本次參訪 Portland State University 的 SWEET 實驗室，其著名的計畫係希望藉由改善非洲人民之飲水情形，而使數十萬人免於汙水引發之疾病問題。原本訪問該研究室之目的係想參考如何以便宜、微型之監測設備解決本局於林野之環境監測困境。訪問後發現該研究室之發報器，以監測水井運作狀態及監控

發報器位置等資訊為主，未實質監測水源品質，但因資料量小，故可透過衛星訊號傳輸監測資料（傳輸成本較高），於遠端掌控非洲地區水井利用狀態。雖該計畫之監測儀器單純、只提供少量資訊，但針對特定需求發展監測及長距離資料傳輸機制，也是有效解決問題之方法，在森林管理上，或可思考如何藉由長距離發報工具傳遞深山動態，如：於貴重木上放置微型發報設備，倘監測到特殊震動波段，即可透過衛星傳輸少量訊號，應用於盜伐熱點管理。

- (六) 美國林務署在資訊整合議題上，經歷 10 年以上整理資料的陣痛期，目前雖仍有資料整合困擾，但透過資料格式修正，並將整理後資料送回原單位滾動更新的方式（下次以新格式遞送資料），目前已較有改善。且林務署在資料格式標準化的議題上，係組成跨部門資料整合的團隊，共同定義資料格式及資料建置程序，再開始執行，且不輕易更改資料格式，倘有更改亦是團隊人員進行討論後修正，以漸漸解決資訊整合之問題。
- (七) 另外，美國林務署除推動智慧森林計畫，陸續將部分實驗林的監測方式改以無線感測方式傳輸資料，但仍保有現地樣區調查作業，每 10 年完成一輪全美森林樣區資料更新，提供森林樹種、生長量、蓄積等資料，與本局辦理的永久樣區調查方式類似，但美國的樣區調查資料並未直接與林地經營管理單元結合，如此一來，可系統化且有效地持續收集森林土地變化紀錄。若能完成建置臺灣的山區資訊傳輸網絡，除可透過無線感測設備自動傳輸林地環境資料外，也可輔助現地資源調查作業，搭配即有的 RFID 調查方式，應可有效簡化森林調查作業的複雜性，並提升資料收集、彙整之效率。

二、建議事項

- (一) IoT 物聯網應用為目前資訊發展趨勢，森林管理若能搭配無線網絡傳輸資訊，將有助於進行即時資料收集或長期環境監測，惟臺灣山區網路環境不佳，應先規劃建構基礎物聯網絡，建議採取實驗區的方式試行，並先整合業務應用需求（甚至跨機關需求），以應用需求為基礎規劃資料傳輸方式，並可思考其他長距離、低功率的資料傳輸方式（如 LoRA 通訊技術），逐步發展臺灣智慧森林之應用。
- (二) 監測資料或資訊之整合問題為臺美共通性的課題，解決方式不外乎是定義資料標準格式及處理程序，惟在實際執行過程，各相關部門是否能建立共識，甚至組織跨單位資料處理團隊，共同討論標準定義或消弭歧見，可能是整合能否成功之關鍵。問題的處理並非一蹴可幾，建議可先以資料整理開始，每整理一部分即訂定共同資料格式及欄位屬性；中程目標為建立資料標準流程；遠程目標應建立專責資訊部門（或整合團隊）及系統化管理資訊，循序漸進

解決資料整合問題。

- (三) 外來入侵植物管理及監測資訊系統已於本(106)年度開始執行，預計於 108 年 3 月完成，屆時將把歷年來文獻及官方統計之入侵植物監測數據於系統上呈現，再以預測模組分析各種入侵植物之分布熱點，並加入公民科學與民眾參與方式，共同滾動修正全國外來入侵植物之分佈面積。本次參訪後，將提升地方政府參與入侵植物政策訂定之程度，各地方政府亦可訂定其縣市入侵植物管理中長程計畫，讓民眾更了解區域差異性，並加深鄉土之情感連結。