

出國報告（出國類別：研究）

112 年度農業高科技人才培育計畫- 研習農業溫室氣體排放量測技術

服務機關：農業部臺南區農業改良場

姓名職稱：江汶錦 助理研究員

派赴國家：日本

出國期間：2023 年 8 月 14 日 至 8 月 28 日

報告日期：2023 年 11 月 28 日

摘要

農業部門在 2040 年將完成淨零排放目標，而國內溫室氣體排放清冊報告，農業部門溫室氣體排放計算，多數仍使用 2006 IPCC 指南的參數，缺乏國內的本土係數，為評估不同措施的減排增匯效果，對現地的溫室氣體量測都是不可缺少，日本使用連續式密閉室方法(chamber)來量測溫室氣體，以評估土壤呼吸與土壤碳循環相關研究，有長期且重要成果，並發表多篇的國際期刊。本次研習過第一周前往各實驗林場 3 處(青森的白神實驗林、富士山麓、研究所內試驗林)，學習各現場有關於碳排放量測的相關設備，多腔室密罩的現場維護與數據下載等。第二周學習設備組裝與溫室氣體大數據分析整理與判讀，也完成 R 語言程式編寫。除了得到專業知識外，也看見日本人對試驗細節的處理、議題的堅持與執行力，令我佩服，日本從京都議定書開始，就持續不斷的進行環境溫室氣體排放量測，20 多年長期的資料累積變化具有非常重要寶貴的價值，不只是對日本也是對全球氣候變遷的推估，幾十年期間研究人力投入與經費支持，終在如今全球淨零碳排的風潮中得到回饋與肯定。雖然台灣在 20 多年前曾經由環保署發起全國性的溫室氣體調查，可惜後來中斷了，但為了 2050 年的淨零目標，必須花費更多的人力、物力與經費，連結各種資源，才能急起直追，本次研習正是連結與開始，或許溫室氣體監測數據無法直接提供農業部門的增產效益，但卻有機會間接協助其他部門的碳抵換，形成跨部會的合作模式。

目次

章節	頁次
目的.....	1
問題分析.....	1
擬解決問題.....	2
先前研究概況.....	2
過程.....	4
日本進行農業碳排技術交流.....	4
R 語言程式撰寫.....	6
心得及建議.....	8
相關圖表與紀錄.....	9

目的

1 問題分析：

- 1.1 農業部門在 2040 年將完成淨零排放目標，在「減量」、「增匯」、「循環」及「綠趨勢」等四大主軸下具體提出 19 項策略與對應的 59 項措施。人為因素導致全球氣候迅速變化，溫室氣體 (GHG) 排放增加導致極端天氣事件增加，例如乾旱、洪水和熱浪。主要溫室氣體排放量以二氧化碳 (CO₂)、甲烷 (CH₄) 和氧化亞氮 (N₂O) 為主，全球農業活動和土地利用變化約佔溫室氣體排放總量的 25%，主要是由於耕作不善包括化肥使用效率低下、農場不當使用污水和糞便、過度放牧和砍伐森林。雖然農業可以因為光合作用減少空氣中二氧化碳 (CO₂) 濃度，但農業操作過程中也會排放溫室氣體。因此如何透過精確測量不同農業生態系統的溫室氣體排放和土壤碳匯，找到一個綜合性的解決方案來減少溫室氣體排放，將是一個巨大的挑戰。
- 1.1 臺灣已於 104 年完成「臺灣溫室氣體減量及管理法(溫管法)」的立法，設定階段性減排目標，並預計 2025 年前啟動總量管制與碳排放交易制度。目前農業部門占全臺溫室氣體總排放量約 2%，在第二階段(2021-2025) 2025 年減排目標為由 2018 年的 5.8 百萬公噸 CO₂ eq 減至 5 百萬公噸 CO₂ eq 排放量，較基準年 (2005 年) 減量 30%。由於臺灣並非聯合國會員，因此國際上歐盟碳交易體系 (Emissions Trading System, ETS) 並不適用於臺灣，目前農業部門碳排放交易制度以自願性機制所形成的碳權較為可行。
- 1.2 依據國內溫室氣體排放清冊報告，農業部門溫室氣體排放計算，多數仍使用 2006IPCC 指南的參數，缺乏國內的本土係數，尤其在國內溫室氣體排放清冊報告章節的 3.D 農業土壤、3.F 作物殘體燃燒、3.G 石灰處理、3.H 尿素施用與 3.I 其他含碳肥料等地方，至於國內研究較多的水田，在 3.C 水稻種植篇章雖有方法等級二(Tier2)的本土排放係數，但仍缺乏不同的情境模式等設定的方法等級三(Tier3)參數。
- 1.3 為積極因應國家 2050 年淨零排放政策，農糧部門溫室氣體以農地土壤排放與水稻種植排放為大宗，根據國外研究已發出多種評估模型與方法學，用以推估模擬農業土壤環境的長期肥力變化與溫室氣體排放情況，然而模型的模擬精確程度取決於現地各種參數的提供，參數越詳細越真實，則模擬的結果越精確越趨近現實狀況，能更有效計算農業部門溫室氣體的排放與碳匯效果，因台灣氣候條件、土壤環境、作物種類繁多、栽培模式複雜，且國內缺乏本土性的溫室氣體排放監測資料與對應的土壤碳匯變化資料，故無法精確計算農業部門溫室氣體的排放與碳匯效果，從而不易取得國際認可。
- 1.4 根據國外研究已總結出數種可能有效地減少溫室氣體排放與增加碳匯的方法技術，但多屬於溫帶氣候條件與國內現況不同，這些減碳增匯方法實際的成

效，會因著氣候條件、土壤環境、栽培模式而有差異，國內的栽培環境特殊迥異於國外，例如：國內擁從有副熱帶到溫帶的多變性氣候條件，有全世界 12 種土綱除永凍土外的 11 種土綱的多樣化土壤樣態，劇烈的地形變化與複雜的耕作模式，因此國內在這些特殊環境下各種減排與增碳技術，相關的碳吸排能力與效果數據資訊仍非常缺乏，故無法精確有效計算各處理的效能，為利於未來台灣農業碳權認證交易與世界同步接軌，本次出國學習多腔室溫室氣體連續偵測使用與數據分析，比對密罩法量測農業部門溫室氣體的排放數據。

2 擬解決問題

- 2.1 本場被賦予優先針對國內大面積作物玉米、高粱、大豆、花生、水稻等作物品項，研擬低碳排放農耕技術解決方案，以合理化施肥、低耕犁、間歇性灌排、品種改良、接種根瘤菌等技術，以減少碳排放，以建立不同作物慣行栽培模式及低碳排栽培技術之碳排放量數據，並評估低碳栽培模式之減碳效益，提出建議之溫室氣體低排放栽培管理技術，期以獲得預定量化指標與實際績效，有利建立作物碳收支預測模式，提供農地減碳之農耕栽培體系，協助達到 2050 台灣農業淨零排放之目標。
- 2.2 本場今年已積極執行大豆、玉米、水稻等 3 作物的慣行栽培模式及低碳排栽培技術之碳排放量測數據，因考量時間急迫性與作物代表性多，選擇使用批次式密罩法量測，但其數據如何還原成作物生長期每日不同時刻的溫室氣體排放量，需透過真實的現地長期連續性量測數據的比對並建立相關模式。今年也耗資 530 萬採購多腔室微量溫室氣體連續式偵測器一套，所收集的溫室數據龐大且複雜，需要透過此次研習計畫進一步學習後端大數據模式分析利用。

3 先前研究概況

- 3.1 溫室氣體排放計算方式有不同的方法學，IPCC 方法等級二、三(Tier 2 與 Tier 3)皆需使用本土係數，目前國家溫室氣體排放清冊僅有 3.C 項目水稻種植的溫室氣體排放使用方法等級二(Tier 2)，其他農地項目皆未使用本土係數。
- 3.2 在臺灣嘉義溪口農試所之慣行農法 (Conventional Agriculture)與永續農法 (Sustainable Agriculture)耕作的水稻田，監測水稻不同的生長期程之甲烷與二氧化碳排放量以及相關環境因子(土壤溫度、含水量、有機質、密度，氧化還原電位及淹水高度)。結果顯示，水稻田自施肥至分蘖期間，因灌溉用水注入田中，土壤形成了厭氧環境，產生了大量的甲烷。在收穫前，由於水稻田進行排水，有大量的二氧化碳從土壤中釋出。
- 3.3 土壤氧化還原電位與甲烷排放呈負相關，而與二氧化碳排放呈正相關，顯示土壤氧化還原電位是調節水稻田溫室氣體排放的主要因素。慣行農法的平均二氧化碳總通量($39259 \pm 8190 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ season}^{-1}$)遠大於永續農法($19235 \pm 3386 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ season}^{-1}$)，表示減少施肥量的永續農法能夠降低溫室氣體排放。
- 3.4 比較各地區(宜蘭、苗栗、嘉義及屏東)慣行與永續農法的溫室氣體排放量，發

現各地區特性影響較大，慣行與永續農法之間的溫室氣體排放量並沒有顯著差異。整體而言，CH₄ 的排放量與土壤含水量和有機質有正相關，CO₂ 的排放量則與土溫有顯著正相關，但與淹水高度呈負相關。

- 3.5 台灣水田溫室氣體排放的研究多，但對旱田作物的研究較少，已知旱田作物或蔬菜作物的溫室氣體排放主要以氧化亞氮為主，主要受到土壤水分與氮肥施用影響，有機肥的施用與耕犁會增加土壤有機質分解，造成溫室氣體二氧化碳的排放。
- 3.6 國際上針對土壤永續管理與耕作制度對土壤碳匯速率的研究，以減少耕犁、合理化施肥、有機友善耕作、畜牧糞尿水施灌與農業副產物循環再利用等方法為主。
- 3.7 不論導入何種減排增匯的策略方法，對其溫室氣體的量測都是不可或缺的，國際上溫室氣體的量測有許多方式，包含通量塔、光譜分析、衛星影像、同位素分析、土壤剖面氣體分析、密閉室方法(chamber)等，各種方法都有其優缺與使用上限制。本場試驗選擇使用密罩方法，因它具備便宜、易於使用的技術且規模容易擴散，適用於測定各種農業生態系統中土壤和大氣之間的溫室氣體通量。然而在使用密閉室方法時，仍需考慮採樣的代表性、密閉罩的設計、採樣的策略與頻率等。
- 3.8 為將批次式密罩採樣數據延伸至連續型釋放狀況，需同時收集比對批次式密罩採樣數據與多腔室微量溫室氣體連續式數據，進行大數據比較與程式分析。
- 3.9 本次研習對象 Dr. LIANG Naishen(梁乃申 - マイポータル -)是日本國立環境研究所-地球系統部-全球碳循環研究科的高級研究員，其環境專業領域，包含全球變暖，土壤生態系統，森林碳循環等，更詳細資料可由日本國立環境研究所網站取得 <https://www.nies.go.jp/researchers-e/200604.html#tab1>。
- 3.10 本場用於農業溫室氣體量測儀器有批次式與連續式 2 大類，其中多腔室微量溫室氣體連續式偵測器，就是由梁博士開始研發應用，梁博士團隊(含臺灣大學生物資源暨農學院)透過該系統收集的溫室氣體資料已發表多篇論文，包含土壤呼吸動力學、土壤二氧化碳與甲烷通量探討、土壤微生物和有機物分解與全球暖化的回饋、不同量測方法(自動化腔室技術與渦度協方差法和生物測定法)估算森林生態系統碳平衡的比較等，雖然梁博士研究的植物對象主要是森林與草原，但只要將調查對象更換成農業作物並透過相同的設備與分析邏輯，就可以收集長期連續性的農業溫室氣體排放資料。

過程

研習行程如表一，8月14日開始研習，8月28日返抵臺灣，住宿地點在筑波市二宮，每日走路、騎自行車3公里到環境研究所。第一周搭車前往各實驗林場3處，學習現場設備維護設置與數據下載。第二周學習設備組裝與溫室氣體大數據分析整理與判讀。研究討論受訓內容如下：

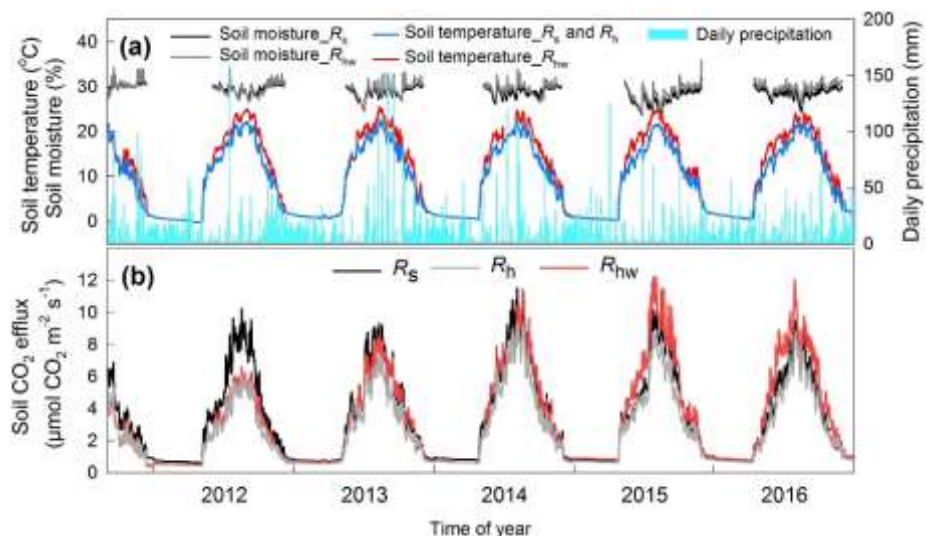
1 日本進行農業碳排技術交流：

第一周前往各實驗林場3處(青森的白神實驗林、富士山麓、研究所內試驗林)，學習各現場有關於碳排放量測的相關設備，多腔室密罩的現場維護與數據下載等，期間也訪談日本環境研究所人員關於農業溫室氣體排放的看法。

1.1 白神實驗林：圖二-圖八

此試驗點為70年的森林實驗林，主要學習在闊葉季風森林土壤的現地設備維護，包含風扇更換、線路檢查維修、遠端連線建立等，有助於未來本場的現場設備多腔室微量溫室氣體連續式偵測器的維護運作。

另一個特別的研究重要的是，本試驗點為季風區環境，現地利用電熱加溫設備，將深度5cm的土壤維持加溫 $+2.5^{\circ}\text{C}$ 的情形，用來模擬未來全球暖化後，土壤呼吸的 Q_{10} 值變化，Teramoto, Munemasa, et al. (2018)作者利用此試驗點的五年實際監測資料如下圖，發現土壤暖化實驗證實了連續五年對Rh(土壤斷根異養呼吸)的刺激暖化效應，年增溫效應年間的變化大，範圍為 $6.2\% \sim 17.7\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。其 Q_{10} 平均值($10.9\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)與Rh的年度 $Q_{10}=2.66$ 的估計值($10.2\% \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)相似，因此推測闊葉季風森林的土壤 $Q_{10}=2.66$ 是高於大多數全球陸地模型使用相對較低的 Q_{10} 值(常低於2.0)，換言之，未來全球暖化的強度在闊葉季風森林的土壤呼吸會高於目前模擬結果，全球暖化程度會比預估的更為嚴峻。



1.2 富士山麓：圖九-圖二十二

富士山麓實驗林觀測站是一個大型長期的國際觀測站，訓練期間巧遇法國研究團隊正設置新的觀測項目(地面光度、環境參數等)，因此也一起參與安裝(圖十七)。觀測站內設有 GC 氣體分析站，因此需要定期更新標準氣體鋼瓶(圖十)，配合通量塔量測不同高度大氣的 CO₂ 變化，也調查土壤生態環境、環境參數、森林植物參數、土壤 Biomass 的變化、水分、光合作用、土壤呼吸等。

日本研究員對環境的維持非常注重，本觀測站為減少調查過程的人為干擾，而影響自然生態，尤其是土壤環境，甚至搭設半固定式木板棧道(圖十三)，要求研究人員行走其上以減少土壤干擾，執行的細節令人訝異。這次學習有非常難得的機會可以攀登通量觀測塔，當然請求 Munemasa Teramoto 先生讓我們登塔，一路攀爬的過程雖有安全裝置保護，但仍爬得膽顫心驚，搖晃與恐高的害怕緊緊抓住我們的心。登頂後 Munemasa Teramoto 解釋觀測塔上各種儀器的功能(圖十五)，並介紹周遭環境風景，在林上遠眺感受大自然的壯闊，身心靈有極大的提升，恐懼害怕也突然消失。安全下塔後 Munemasa Teramoto 先生又陸續帶著各種設備儀器多次上下觀測塔，真的佩服他的體力、勇氣與研究熱誠。

在此觀測站主要學習不同形式密罩的差異，有加高側窗型(圖十九)，為了增加罩內氣體循環與減少累積溫度；單開小型密罩(圖二十一)，是學校為降低設備成本而縮小，但誤差較大。因密罩主要量測 CO₂、CH₄，因此需要常常剪除密罩內植物(圖二十) 減少光合作用所造成的土壤呼吸低估，過程不能用拔除方式，避免土壤擾動，因此每一段時間就需要進行人工剪除。

1.3 研究所內試驗林：圖二十三-圖二十八

本試驗點主要學習攜帶型 CO₂ 通量分析設備(圖二十三)的操作使用，量測運作邏輯為 1 臺攜帶型分析主機(分析 CO₂、CH₄)，對應 2 組自動開閉的密罩，密罩須配合事先安裝於現場的底座使用(圖二十八)，啟動時分析設備會輪流分析通路 1 與 2 的數據，因此研究人員可以輪流移動 2 個密罩，達到分析多點目標持續不斷的成果，惟因配合管線長度(約 3 公尺)，各底座調查距離須維持 5 公尺內，導致各點採樣位置不能太遠，研究人員欲移動 1 號密罩，需先等主機正在分析 2 號密罩時，將 1 號密罩移至 2 號密罩旁，再將主機往 3 號與 2 號中間位置移動，再將 1 號密罩安置在 3 號位置並放置土壤感應器，因此每量測一個位置，需在 5 分鐘內進行 3 次的設備移動(密罩、主機、密罩)，步驟較為繁瑣(圖二十六)。

攜帶型與白神實驗林、富士山麓使用的現地連續量測密罩的差異，優點：價格較低、方便攜帶移動可用於多個試驗點。缺點：密罩較小誤差較大、量測期間人力須不停搬運密罩、無法整日長期監測。

2 R 語言程式撰寫：圖二十九-圖三十二

因多腔室微量溫室氣體連續式偵測器約每 3-4 分鐘量測一個密罩，每小時可以量測 15 個密罩以上，24 小時不間斷，可以同時觀察日間與夜間的通量變化，期間每秒偵測溫室氣體一次，同時亦收集環境參數，例如氣溫、濕度、土溫、土壤水分含量等，因多腔室微量溫室氣體連續式偵測器非常靈敏，所以當灰塵、氣泡突然排放等意外狀況發生時，都會影響溫室氣體的量測，進而影響排放計算，由於數據量非常龐大(圖二十九)，如何找出意外狀況的數據，就需要透過 R 程式進行篩選，無法單靠人力處理。相關 R 語言程式主要如下，但仍需要依實際密罩的數量與欄位做修改，將 2022 資料處理完畢後即可繪製圖三十、單一密罩連續半年通量圖(CO₂ umol/m²/S)。進一步將各個密罩的資料統整合理後可繪製，如圖三十一、圖三十二。

2.1 Step1 delete 一些列中小於 0 的值 (如-99999)，delete 無用列，deleteCO2_R 小於 0.9 的值。

```
#ch01-Step1 #
data<-read.csv("/Raw/ Y2022ch01-a.csv") #讀取 csv 原始檔，注意路徑，其中
不要包含中文#
data<-subset(data,c(4,11:14,19)>0) #選擇留下 1-14 列和 17-19 列中大於 0 的
值#
data<-subset(data,select = c(1:4,11:14,16:17,19:20)) #選擇留下 1-2 列，4，7，
9，11，13，15-16，18-19 列#
data<-subset(data,CO2_R>0.9) #選擇留下 CO2_R 列中大於 0.9 的值#
write.csv(data,file = " /Step01/Y2021ch01-1.csv",row.names = FALSE) #輸出新的
csv 檔，不帶 123 行號列#
```

```
#ch02-Step1 #
data<-read.csv("/Raw/ Y2022ch02-a.csv") #讀取 csv 原始檔，注意路徑，其中
不要包含中文#
data<-subset(data,c(4,11:14,19)>0) #選擇留下 1-14 列和 17-19 列中大於 0 的
值#
data<-subset(data,select = c(1:4,11:14,16:17,19:20)) #選擇留下 1-2 列，4，7，
9，11，13，15-16，18-19 列#
data<-subset(data,CO2_R>0.9) #選擇留下 CO2_R 列中大於 0.9 的值#
write.csv(data,file = "/Step01/Y2021ch02-1.csv",row.names = FALSE) #輸出新的
csv 檔，不帶 123 行號列#
```

2.2 Step2 剔除不同密罩之溫室氣體的極值，以平均值±3SD 為判斷依據，以上動作重複做 2 次，以提升 R 值。

```
data <-read.csv("/step02/Y2022.csv")
z1 <-data$x
z2 <-data$Chamber
```

```

z3 <-data$CO2
z4 <-data$pCO2_Flux
z5 <-data$pCH4_Flux
z6 <-data$CO2_R
z7 <-data$pCH4_R
x1 <-data$Li820_M1
x2 <-data$Li820_M2
mean1 <-mean(x1,na.rm=TRUE) #計算平均值#
mean2 <-mean(x2,na.rm=TRUE)
sd1 <-sd(x1,na.rm=TRUE) #標準差 SD#
sd2 <-sd(x2,na.rm=TRUE)
sd1m <-mean1-3*sd1 #Li820_M1 平均值減去 3 倍 SD#
sd1M <-mean1+3*sd1 #Li820_M1 平均值加上 3 倍 SD#
sd2m <-mean2-3*sd2 #Li820_M2 平均值減去 3 倍 SD#
sd2M <-mean2+3*sd2 #Li820_M2 平均值加上 3 倍 SD#
sd1m
sd1M
sd2m
sd2M
x1[x1<sd1m] <-NA
x1[x1>sd1M] <-NA
x2[x2<sd2m] <-NA
x2[x2>sd2M] <-NA
data=data.frame(z1,z2,z3,x1,x2,z4,z5,z6,z7)
names(data) <-
c("SampleTime","Chamber","CO2","Li820_M1","Li820_M2","pCO2_Flux","pCH
4_Flux',"CO2_R',"pCH4_R")
write.csv(data,file="/step03/Y2023.csv",row = FALSE)
#以上動作重複做 2 次，剔除極值+3SD，以提升 R 值#

ch01 <-ch01$Li820_M2
ch02 <-ch02$Li820_M2
ch03 <-ch03$Li820_M2
ch04 <-ch04$Li820_M2
ch05 <-ch05$Li820_M2
ch06 <-ch06$Li820_M2
ch07 <-ch07$Li820_M2
ch08 <-ch08$Li820_M2

```

```

ch09 <-ch09$Li820_M2
ch10 <-ch10$Li820_M2
ch11 <-ch11$Li820_M2
ch12 <-ch12$Li820_M2
ch13 <-ch13$Li820_M2
ch14 <-ch14$Li820_M2
ch15 <-ch15$Li820_M2
ch16 <-ch16$Li820_M2
data=data.frame(SampleTime,ch01,ch02,ch03,ch04,ch05,ch06,ch07,ch08,ch09,ch10
,ch11,ch12,ch13,ch14,ch15,ch16)
write.csv(data,file="/step03/CO2summary.csv",row.names = FALSE)

data <-read.csv("/2023xitou_Env.csv")
ncol(data)
library(dplyr)
library(lubridate)
data <-read.csv("/2023xitou_Env.csv")
time <-as.POSIXct(data$TIMESTAMP)
TIMESTAMP <-floor_date(time,unit="1 hour")
b <-data[,2:53]
data <-data.frame(Timestamp,b)
new_data <-data %>%
group_by(Timestamp) %>%
summaries_all(mean,na.rm=TURE)
wrire.csv(new_data,file="/2020xitou_Env1hour.csv",row.names = FALSE)#

```

心得及建議

感謝農業部的支持、臺南場長官的鼓勵與臺大實驗林江博能博士的協調安排，才能完成這一次 2 周的短期研究，雖然研習時間短但結果是令人興奮的，不僅完成在日本溫室氣體量測評估國家級最專業的環境研究所，進行農業碳排技術交流計畫的目標，也學習相關溫室氣體數據分析邏輯，並撰寫 R 語言程式協助實際樣本資料的整理。假日時間也考察了當地水稻生長狀況，筑波附近土地原屬沼澤地，所以土色黑有機質豐富，土壤蓬鬆有彈性且團粒構造良好，即便土壤環境優良也有發現水稻倒伏現象發生。實地訪視了多家小農直賣所(類似國內的農夫市集)與大型超商，觀察比較農產品價格品質與台灣的差異。

研習過程除了學習到專業的溫室氣體設備操作與大數據分析外，對日本人在試驗過程的細節處理(例如的地面土壤的保護)，也令我印象深刻，但最讓我佩服的是，他們

對一個議題的堅持與執行力，例如本次的溫室氣體研究，他們從 20 多年前的京都議定書開始前，就持續不斷的進行環境的溫室氣體排放量測，長期的資料累積變化具有非常重要的價值，不只是對日本政府也是對全球氣候變遷的評估提供寶貴的資訊，讓幾十年期間研究人力投入與經費支持，在現在全球淨零碳排的風潮中得到回饋與肯定。

反觀我們國家，全國性的溫室氣體調查發生在 20 多年前的京都議定書時，由環保署發起，但經過短短幾年後就停止了，或許經費有限或許有其他更重要目標，以至於溫室氣體的調查中斷了十多年，其中研究人員的能力與檢驗設備都已陸續消失，但為了 2050 年的淨零目標，必須在短暫的時間內重新建立大規模的分析資料，則需要花費更多的人力、物力與經費。諺語說：現在開始猶未太晚，讓重要的事成為重要的事。期待國家計畫持續挹注經費支持溫室氣體的調查，或許研究數據無法直接提供農業部門的增產效益，但卻有機會間接協助其他部門的碳抵換，形成跨部會的合作模式。

相關圖表與紀錄

表一、出國行程表

日期	地點	行程與工作內容
8 月 14 日(一) ~ 8 月 14 日(一)	臺南-桃園-成田-茨城縣筑波市	由桃園國際機場出發，直達成田國際機場，搭車到茨城縣筑波市
8 月 14 日(一)~ 8 月 28 日(一)	日本國立環境研究所、青森(實驗林)、富士山(實驗林)	住宿地點在筑波市二宮，每日走路、騎自行車 3 公里到環境研究所。 第一周前往各實驗林場 3 處，學習現場設備維護設置與數據下載。 第二周學習設備組裝與溫室氣體大數據分析整理與判讀。
8 月 28 日(一)~ 8 月 28 日(一)	茨城縣筑波市-成田-桃園-臺南	由成田國際機場出發，搭機到桃園國際機場



圖一、日本國立環境研究所



圖二、地球溫暖化研究大樓



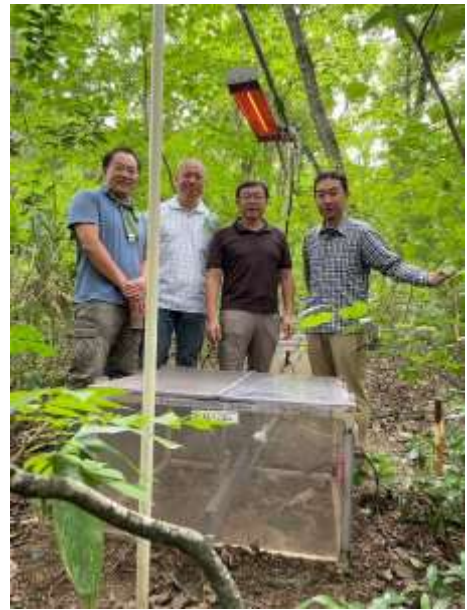
圖三、青森(白神實驗林)



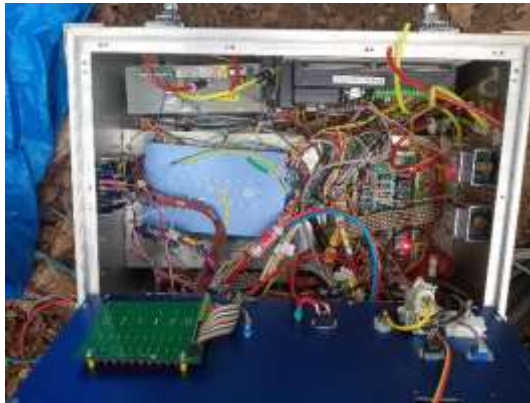
圖四、白神實驗林土壤剖面



圖五、現場溫室氣體分析紀錄器



圖六、模擬土壤升溫的土壤呼吸情況



圖七、現場溫室氣體分析儀



圖八、開閉式溫室氣體密罩



圖九、富士山麓實驗林觀測站



圖十、工作站使用標準氣體鋼瓶



圖十一、觀測站任務說明標示



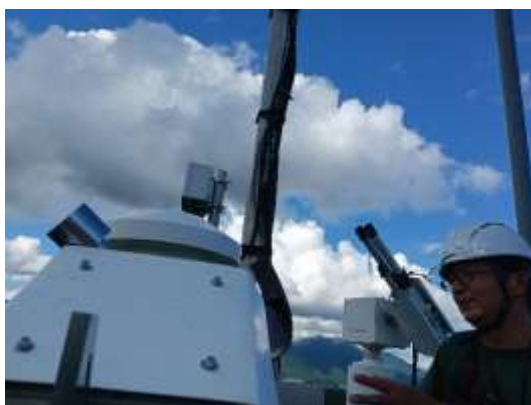
圖十二、工作站内一角



圖十三、鋪設木板行走，減少干擾



圖十四、安全著裝預備登塔



圖十五、Munemasa Teramoto 解釋觀測塔



圖十六、林上遠眺



圖十七、協助法國研究人員安裝設備



圖十八、富士山麓溫室氣體設備



圖十九、另一款密罩-側窗開閉



圖二十、剪除植物減少光合影響



圖二十一、另一款小型密罩，誤差較大



圖二十二、樹木胸徑量測尺



圖二十三、攜帶型 CO₂ 通量分析設備



圖二十四、1 對 2 連續分批偵測各點



圖二十五、現場觀測數據變化



圖二十六、5 分鐘內須完成密罩、主機、管線與感應器移動 5 公尺。



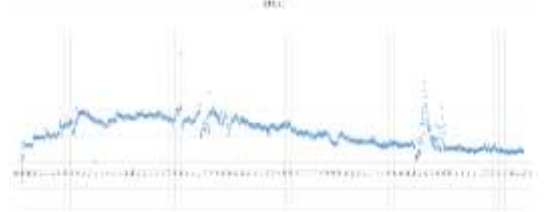
圖二十七、攜帶型密罩內部結構。



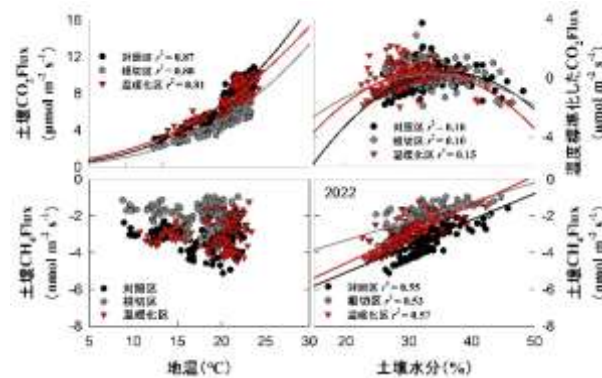
圖二十八、攜帶型密罩尺寸與底座。



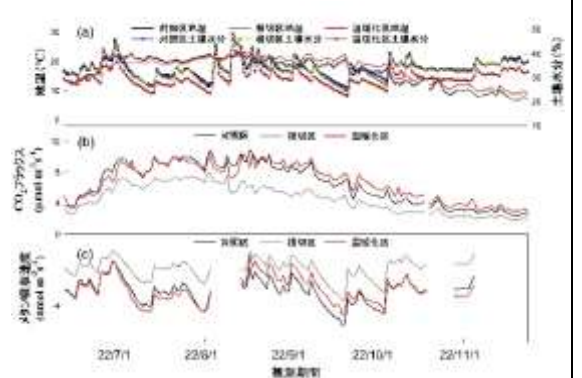
圖二十九、多腔室微量溫室氣體連續式偵測器原始資料，每4分鐘1筆



圖三十、單一密罩連續半年通量圖 (CO₂_umol/m²/S)



圖三十一、利用 R 擷取 2022 年資料繪製。



圖三十二、利用 R 擷取 2022 年資料繪製。



工作車間一角



採樣工具組裝



主指導員梁老師



樹苗期積雪導致樹幹彎曲



水稻灌排試驗



水稻灌排控制裝置



所內土壤大樓



田間水稻倒伏



大型液態氮槽，遠洋船副產物，很便宜



水稻黑色土壤，有機質豐富



環境研究所內觀測塔



小農直營站



小農直賣所西瓜



小農直賣所洋香瓜



小農直賣所水蜜桃



生鮮超市洋香瓜