



進行森林碳含量調查的闊葉林地。

英國田野學習協會碳相關課程

## 奧瑞爾頓田野中心溫帶森林及 馬爾漢湖田野中心集水區高位沼澤 之碳匯課程體驗

文、圖 | 孫婉菁 | 中華民國環境教育學會專案研究員（通訊作者）

吳欣瑾 | 林務局屏東林區管理處育樂課技士

李詩雯 | 羅東自然教育中心環境教育教師

吳雅詩 | 雙流自然教育中心環境教育教師

「水循環與碳循環」為英國地理課綱的四大核心主題之一。FSC以環境中的「碳匯」為主題設計地理田野調查實驗，讓學生實地測量環境中的碳含量，在3-4天的訓練中，學生經由引導練習實地操作，到最後能設計自己的實驗，並蒐集證據驗證假說，學習成果呼應課綱要求，也在親自取得野外第一手資料的過程中，真切感受到碳匯存在於現實環境的連結。本次參訪參與奧瑞爾頓田野中心（Orierton Centre）與馬爾漢湖田野中心（Malham Tarn Centre）碳循環與碳匯的課程，分別在溫帶針/闊葉森林與高位沼澤中測量碳匯，截然不同的環境中需運用不同的調查工具與方法。

「水循環與碳循環」為英國地理課綱的四大核心主題之一，課程目標如下：「學生能快樂地學習地理課程，並從中獲得成就感。學習內容除了能啟發學生對於地理的理解，還要能和真實世界、議題與地區連結，了解自身周圍環境的地理知識、理論和相關應用技巧。學生要成為能獨立思考的公民，理解世界運行的規則，擁有改變人類、地區和環境的重要性。」

除了必須學習水循環及碳循環的知識內容外，課綱中更強調這些知識的實際運用能力及科學素養。其中GCSE和A-Level的學生<sup>註1</sup>能運用所學，系統化地觀察與記錄自然現象，並能提出自己的問題與假說，針對定性或定量資料進行分析、推論，以驗證自己的想法；A-Level的學生更必須獨立設計並完成一個人文或物理地理的調查研究，其成果將作為申請大學的入學成績項目之一。

英國田野學習協會（Field Studies Council，以下簡稱FSC）以成為學校教師的教學夥伴為經營策略，提供課堂中延伸學習的場域與課程，補足學生應學習之技能，長年建立的口碑使中心的地理與生物課程成為熱門預約項目。

評估中心場域擁有的自然資源，FSC以環境中的「碳匯<sup>註2</sup>」為主題設計地理田野調查實驗，讓學生實地測量環境中的碳含量，在3-4天的訓練中，學生從一開始需引導操作到最後能設計自己的實驗並蒐集證據驗證假說，學習成果呼應課綱要求，也在親自取得野外第一手資料的過程中，真切感受到碳匯存在於現實環

境的連結，而不再只是課本上碳循環中的一個名詞。

本次參訪參與奧瑞爾頓田野中心（Orierton Centre）與馬爾漢湖田野中心（Malham Tarn Centre）碳循環與碳匯的課程，分別在溫帶針/闊葉森林與高位沼澤中測量碳匯，截然不同的環境中需運用不同的調查工具與方法，但課程共同特點如下：

- 運用碳循環作為開頭，連結學生在學校所學的背景知識，有助於學生建立現實環境與碳循環概念的抽象連結。
- 教學過程中大量以問題引導的方式，協助學生利用背景知識收斂科學問題、建立田野調查的步驟、分析數據並推導結論，培養學生獨立思考的能力。
- 不斷討論研究方法的限制與精進，使學生思考科學知識產生的歷程，建立其科學素養。

以下將兩中心課程依據課程目標、單元、調查工具與方法、實驗成果與討論以及體驗心得的大綱做整理報導，以利環境教育相關人員及對議題關注者參考。

## 奧瑞爾頓田野中心溫帶森林碳匯課程

森林生態系吸存的碳匯已被認為是減緩氣候變遷的重要因素，並為各國所重視。奧瑞爾頓田野中心座落在英國威爾斯的Castlemartin半島，場域內的森林資源相當適合進行森林的碳含量調查課程，本次參訪體驗的課程為該中心以A-Level學生為對象，針對碳相關之議題所設計，內容包括碳循環系統的體驗與瞭解、測量並比較探討針葉林及闊葉林的林木生物量、碳含量及土壤碳含量之差異等訓練。

註1：GCSE約當臺灣8-9年級，地理和生物是學生主修7-10門課中通常會修習的學門；Advanced level（簡稱A-Level）相當於10-11年級，中學生根據自己將來想在大學攻讀的學門，選修3門指定科目，並參加A-Level的考試取得大學入學申請所需的成績證明。

註2：臺灣對於「碳匯」一詞尚無固定解釋，本文所提到的「碳匯」以環境中儲存的碳（Carbon pool）為主。

- 課程目標：

1. 瞭解碳在全球循環系統中流動的歷程及內部系統彼此間的關係。
2. 能熟悉操作樹木與土壤碳儲存量之調查方法與技巧。
3. 能分析數據驗證假說，並探究比較針、闊葉林之樹木及土壤碳含量存在差異的原因。
4. 透過實務調查建構科學思考邏輯及問題解決的能力。

- 課程時間：約半天完成所有碳調查課程。

- 課程單元內容與操作：

## 內容

### 一、單元

- (一) 碳循環遊戲（室內課）：暖身活動。
- (二) 調查前準備（室內課）：擬定調查主題及進行場域風險評估。
- (三) 針、闊葉林的碳含量調查（室內講解及戶外操作）：實地操作調查實驗、整理並分析數據。
- (四) 總結與討論（室內課）：問題討論、實驗方法檢討及收斂總結。

### 二、教具

- (一) 室內課：電腦、骰子、碳護照學習單、碳循環學習單、風險評估表、樹木生物量對照表（含樹冠、樹根及樹幹之生物量資料）、微波爐、烘箱、坩鍋、坩鍋鉗、電子秤、計算機。
- (二) 室外課：碳含量學習單、紀錄板、筆、捲尺、傾斜儀、土壤採樣鐵管、土壤樣品罐、圓鋤、雨衣、雨鞋。

## 操作

### 一、碳循環遊戲

- (一) 進行碳循環遊戲：學生化身為碳原子

（活動的起始點可自行選擇），擲骰子決定碳流動的方式與去向，並將過程記錄於碳護照學習單，藉以瞭解碳原子在循環中固定、釋放與流動的歷程，並對碳循環的時間與空間尺度有所感受。學生會發現碳可能一瞬間就經由呼吸作用從動物體釋放到大氣中，也有可能封存於深海岩層中好幾萬年。

- (二) 建構碳循環系統整體概念：透過碳循環遊戲協助學生探索及瞭解整個碳循環系統內的路徑，依據遊戲結果完成碳護照學習單。並藉由碳循環學習單詳細探討碳在循環中流動的路線，建構碳循環發生在地球上各種生態系統間的概念圖。

- (三) 瞭解森林生態系碳循環系統運作的方式：以碳循環遊戲為基礎，分組思考及討論森林生態系裡的碳可以透過什麼方式儲存？儲存在什麼地方？森林的碳循環系統如何進行？透過分組討論的過程中，逐步建構出森林生態系中碳儲存的位置及循環的方式。

### 二、調查前準備

- (一) 擬定調查主題：課程目標為調查森林中的碳含量，如何將目標收斂成好的地理實察問題非常重要。學員必須從知識與現象中釐清欲研究之問題，並考慮時間與環境的可行性，方能設定研究主題。在設定調查題目時，須注意三要點：
  1. 與背景知識連結：清楚且聚焦地對應到曾經學習過的地理理論、概念或調查步驟上。
  2. 評估可達成性：設定的調查題目及所需收集的資料能否在有限的時間內完成。
  3. 設定調查尺度範圍：由學員評估調查的



規模、所需的調查資料是否在園區範圍裡能夠尋得，以及提出的問題能否在調查區域內實作。

根據以上三點，教師會透過不斷地提問引導學生朝向現場最容易執行的題目：「針葉林與闊葉林碳含量之比較」，並訓練學生根據背景知識設立假說。

(二) 預估完成調查所需的時間。

(三) 評估戶外實察地點的易達性及可行性。

(四) 戶外實察安全性評估：學生必須於出發之前進行場域風險評估，列出危險因子的可能性和嚴重性，對照兩者相乘後的數值可以獲得風險層級，依照風險層

級，請學生提出控制措施。

### 三、針、闊葉林碳含量調查

#### (一) 樹木碳含量測量

1. 利用捲尺於林地中拉出10m×10m大小的樣區，計算樣區內樹木株數，並隨機選取樣區中胸徑大於7cm的樣木4棵，分別記錄樹種、樹圍（約樣木1.3m處）及樹高於碳含量學習單。
2. 利用公式及樹木生物量對照表，分別計算4棵樣木之生物量、碳含量及每株樣木之平均碳含量，再乘上樣區內之樹木株數，即得該樣區之樹木總碳含量。

#### (二) 土壤碳含量

1. 於調查樣區內使用圓鋤挖出一個四方格，並將方格中約10cm厚度的土壤移



透過擲骰子遊戲瞭解碳循環系統的歷程與特性。

The Carbon Cycle and Woodland Ecosystems				
How will we stay safe while in the field? 在田野中我們如何確保安全？				
1 = low 2 = medium 3 = high Risk Level = Likelihood可能性 x Severity嚴重性				
Hazard 危險因子	Likelihood 可能性	Severity 嚴重性	Risk Level 風險層級	Control Measure 控制措施

在戶外實察調查前，進行場域的安全評估及提出控制措施。



森林含碳量之調查器材。



將土壤盛裝於坩鍋內，以微波去除水分，得到土壤乾重。



利用傾斜儀量測樣木的樹高。



利用胸徑尺測量樹木的胸徑。



運用土壤採樣鐵管收集表層及下層土壤。

至旁邊放置。

2. 以土壤採樣管於四方格中，分別挖取表層土壤及下層土壤，盛裝至土壤樣品罐內。取完土壤需覆土回填，降低調查過程中對樣區的破壞。
3. 土壤碳含量測量程序：
  - (1) 將土壤樣本分別盛裝於坩鍋內，進行編號及秤重記錄。
  - (2) 微波處理（去除水分）：以微波爐加熱15分鐘後秤重並記錄。
  - (3) 烘箱處理（去除有機質）：以550℃烘乾4-6小時後秤重並記錄。
  - (4) 計算土壤有機質重量，依公式換算土壤中的含碳量。

#### 四、總結與討論

- (一) 整合比較針、闊葉林，樹木及土壤的碳含量，藉以瞭解不同樹種碳含量（樹木及土壤）的差異，以及林下表層與底層土壤碳

含量的不同，並根據結果驗證假說。教師必須引導學生探究實驗結果能證實或推翻假說的原因，這是學生能深化背景知識並加以活用、獨立思考的關鍵學習。

- (二) 和學生討論此調查方法可能產生的誤差或限制，並接著請學生提出降低誤差的改良方法。
- (三) 透過調查結果累積森林碳含量數據資料，藉由歷年資料及其他區域資料的比對，分析與探究森林生態系碳含量與環境變遷之議題。

#### ■體驗心得討論：

1. 趣味遊戲解構複雜課題，有效促進學習：全球的碳循環系統龐大而複雜，透過遊戲設計讓學生親身融入其中，瞭解碳循環系統內的歷程，包括碳流動的路

徑、位置與停留時間等，藉由遊戲更能引起學生注意與體會細節，易將生硬的知識融會貫通。

2. 訓練學生自我安全管理：讓學生自行操作場域風險評估，列出危險因子，計算危險係數，並提出風險管理策略，此作法會比直接列出安全注意事項要求學生遵守更具效益。
3. 科學素養培力：透過引導及提問與學生共同討論調查實驗的設計，一來一往的思辯過程，建構學生科學思考的邏輯，扎實地訓練了問題解決的能力。

## 馬爾漢湖田野中心集水區高位沼澤碳匯課程體驗紀錄

位於英國英格蘭馬爾漢集水區的高位沼澤，又稱為泥炭沼澤或苔原沼澤，屬於貧營養沼澤類型，因泥炭層增厚隆起，地下水源無法供給，只依靠降雨補給水分，植物需要的營養貧乏，泥炭灰分含量低於4%，以泥炭苔等貧營養植物為主。死去的植物在沼澤底層的厭氧條件下，分解速度緩慢，形成泥炭層，每年以穩定的速度增厚，碳因此長年保存於其中，是地球上重要的碳匯。沼澤地的碳吸存能力，對於氣候變遷、調適暖化有著重要的意義，其保育與經營管理的策略，亦是現今全球關注的議題。馬爾漢湖田野中心在這樣珍貴而特殊的场景中設計高位沼澤碳儲存量的課程，將調查結果結合影片等教學媒材，延伸討論溫室氣體在四季間的變化，以及人類活動增強某些碳循環的途徑在地球生態系造成的影響及問題。

### • 課程目標：

1. 瞭解碳在全球循環系統中流動的歷程及內部系統彼此間的關係。
2. 學習泥炭沼澤碳含量的調查方法與技巧。

3. 計算比較兩個不同生態系統中的碳含量。
4. 能將小尺度的調查連結背景知識，應用至更廣大的範疇中加以思考討論。

- 課程時間：約半天完成所有碳調查課程。（註3）
- 課程單元內容與操作：

## 內容

### 一、單元

- （一）碳循環（室內課）：暖身及瞭解參與學生知識背景經驗。
- （二）高位沼澤的碳含量調查（室內講解及戶外操作）：實地操作調查實驗、整理並分析數據。
- （三）總結與討論（室內課）：問題討論、實驗方法檢討及收斂總結。

### 二、教具

- （一）室內課：電腦、二氧化碳及一氧化碳一年變化量影片、問題引導與討論學習單、碳循環學習單、ArcGIS軟體、碳含量計算學習單。
- （二）室外課：深度測量竿、捲尺、手套、平版電腦、雨鞋、雨衣。

## 操作

### 一、碳循環

- （一）碳循環遊戲：同奧瑞爾頓田野中心，操作內容詳見第一大點說明。
- （二）溫室氣體濃度變化影片探討：透過影片觀看二氧化碳與一氧化碳在大氣中的四季濃度變化，討論為何冬季濃度高於夏季的原因，強化碳循環的尺度及其對全球的影響。後續加入基林曲線

註3：學生為A-LEVEL學生，已於學校課堂建立碳循環及相關概念，行前並請學校教師說明泥炭沼澤固碳相關背景知識，故在中心碳課程的執行，無論是僅操作一項泥炭沼澤調查，或是搭配樹木調查一同進行，皆於半天內可完成所有課程內容。



(Keeling Curve)，從幾個問題方向探究二氧化碳濃度從1965年至今的變化趨勢，瞭解氣候變遷議題。

- 被森林覆蓋的集水區是？
- 被泥炭覆蓋的集水區是？
- 森林和泥炭沼澤是重要的生態系統，因為……

## 二、高位沼澤碳儲存量調查

(一) 調查前說明：利用ArcGIS系統介紹馬爾漢湖中心所在的區域—馬爾漢集水區，依據不同土地覆蓋情形分成幾個不同的碳儲存區塊，地圖上用不同的顏色做識別，透過幾個問題的引導，找出進行碳調查的區塊並在地圖中指出，接著利用ArcGIS系統計算面積並予以記錄。

### 問題：

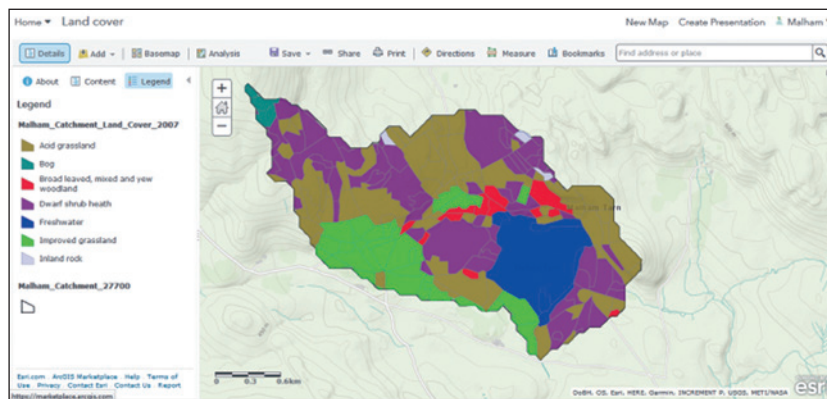
- 你認為哪兩個地區容納了最多的碳？
- 你為什麼這麼認為？

(二) 實地調查：將學生分組(4人1組)攜帶調查用具，帶領學生至高位沼澤樣區進行調查。

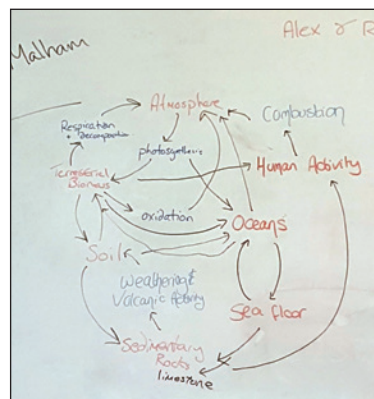
1. 簡單說明泥炭的形成原因及固碳特性，泥炭層每年約增長1mm，是很重要的碳匯系統，其覆蓋之植被以蘚苔類為主。透過ArcGIS得知其區域面積後，再量測沼澤深度，計算後即可得知高位沼澤的整體碳含量。

2. 說明調查安全注意事項及方法。

(1) 因沼澤地容易陷入，踩點以植被覆蓋較堅硬處為主，若不慎陷入，切勿掙



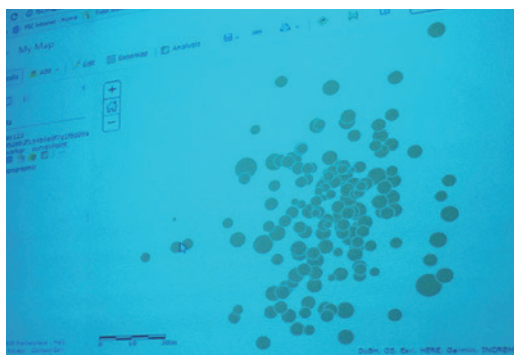
高位沼澤碳儲存量調查問題。



碳循環的路徑，完整探討碳在該系統中儲存與排放的路徑。



教師利用二氧化碳與一氧化氮的四季濃度變化紀錄影片，引導學員討論大氣組成有季節上的變動，強化碳循環的尺度及其對全球的影響。



學員現地以平板電腦記錄的資料，可即刻彙整並標示於地圖，上圖中越大的圓圈表示該處沼澤的深度越深。



插入與拔出深度測量桿時非常耗費力氣，可戴手套輔助，並需注意施力姿勢，慎防拉傷腰背肌肉。



沼澤的泥炭土顏色深黑，有濃厚的泥碳味。



進入沼澤調查前，教師提醒學員勿踩踏到珍貴稀有的食蟲植物。

扎，保持肢體放鬆後仰並呼救。且因地點位於自然保留區，需謹慎小心，勿踩踏到珍稀植物。

- (2) 以小組為單位選定3-5處調查位置，逐一將深度測量竿垂直插入土中，直至無法再深入為止（過程依據插入深度，連接深度測量竿以延伸長度）。手握住深度測量竿與地表交界處以做為深度標記，慢慢將插入之深度測量竿拔出，並以捲尺量測插入的總深度，並記錄於平版電腦中Survey123行動應用程式中，貢獻於此調查之大數據料庫。  
（插入與拔出深度測量竿時需耗費相當大之力氣，可戴手套輔助，並需注意施力姿勢，慎防拉傷腰背肌肉）

用程式計算高位沼澤的平均深度，再乘以面積換算出泥炭量總體積，接著帶入泥炭之生物量與碳含量，換算出泥炭土的總碳含量及每公頃之碳含量。

- (二) 教師透過問題引導和學生共同討論此調查方法可能產生的誤差或限制，及如何降低誤差。例如：深度的調查可能因為人為力量不足或是受植被的限制，無法量測到真正的泥炭層底部，但可藉由大數據降低此部分的誤差；另最後以手握住最終測量竿與土壤交界處作為深度標記的方式，易受植被高度影響而產生誤差，但因所有植被高度相當，誤差影響度可降低。

### 三、總結與討論

- (一) 透過匯入大數據中之調查結果，使用應

- (三) 若同時進行泥炭地及森林的碳含量，則可從單位面積進行不同環境類別碳含量



的差異比較，由此可顯示出泥炭沼澤在固碳上的重要與珍貴。

(四) 經由調查結果的討論，引導學生瞭解高位沼澤碳匯的重要性。英國沼澤地不多，因其特性被拿來做為園藝、燃料等材料，尤其在一些私有的土地更是經常做為經濟上運用，這些人類活動導致儲存的碳重新被釋放出來。在了解到泥炭沼澤的重要性後，英國政府也開始介入保育，在一些沼澤私有地與地主或農夫合作，鼓勵及教導他們如何保育這片土地，調節其排水水利及灌溉系統，讓這樣的地景得以保存。藉由課程讓學生意識泥炭沼澤碳匯價值，引用保育案例，啟發學生的環境意識，是課程中最重要的結尾。

#### ■ 體驗心得討論：

1. 科技軟體運用及大數據資料建置的便利與價值：藉由軟體輔助，快速取得並瞭解基礎資訊；運用於後端之調查資料庫建立，累積大數據，有助於消弭誤差，其結果可直覺、直觀地切入議題探討，或有助於經營管理的規劃等，值得思考如何轉化至環境學習中心各項課程中，提昇及優化教學。
2. 課程知識概念建構邏輯及脈絡清楚有條理：課程安排與設計，各單元間知識概念建構由廣泛收斂至深入探討。讓學生在基礎知識建構後，透過實作調查，由結果聚焦於議題探討，清晰的脈絡讓學生更容易掌握欲傳達的重要資訊。
3. 學習經驗的提昇架構於問題的互動討論：同奧瑞爾頓中心，馬爾漢湖的教師透過實地調查，以及引導學生思考分析調查方法上的誤差與限制，這些來回討

論的過程所習得的經驗，能夠幫助學生獲得獨立思考的能力，其在科學素養的培力比得到調查結果更加重要。

## 結語

實際體驗與參與奧瑞爾頓及馬爾漢湖兩個中心的碳匯課程，過程中感受課程的安排與設計，建構在整體知識概念的進程，由大方向通論進入到細部實作調查，並利用科技軟體進行大數據的累積，藉以引導學生的思考由淺到深、到廣，對於環境議題的探討更加全面，且具全球化思維。實驗設計多著重於讓學生透過問題的擬定、實際調查，來得到與發現問題的結果，進一步地探究數據，解決問題。中心環境教育教師於實驗過程中扮演引導的角色，提供學生思考機會，共同研討問題，並在各項細節中釐清實驗設計觀念與限制，修正改良以提出更佳的實驗方式，此方法對於培養學生科學邏輯思考的能力相對重要。十分值得國內各自然教育中心借鏡。

英國將碳循環列於地理課綱中，並透過實察課程，讓學生將課本中的知識藉由戶外經驗轉化且深化在學習中。反觀臺灣的碳相關課程列於生物學科，僅利用簡單的圖片與文字介紹碳循環概念，並無相應的操作課程，學生不容易理解也很難與真實世界連結，流於知識灌輸。臺灣其實具備實察的環境條件，林務局自然教育中心已有相應的課程，值得融入轉化英國課程操作方法，提供各級碳相關課程，作為學校課程的延伸與深化，將大大提升學習層次。鼓勵並邀請學校教師帶領學生參與，提供更多與課堂知識連結之戶外學習機會，共同探討全球性的環境變遷議題，提昇臺灣學生學習力，成為能思考且負責任的環境公民。🌱