

森林碳匯調查與監測手冊

農業部林業試驗所 編印

森林碳匯調查與監測手冊



農業部林業試驗所 編印

目錄

第一章 緒論.....	1
第二章 森林碳匯調查介紹.....	2
第一節 森林專案計畫碳移除量調查.....	2
第二節 調查行前準備事項.....	4
一 選擇調查的碳庫類別.....	4
二 編排調查人員及工作編組.....	5
三 現地調查準備資料及工具.....	6
第三章 邊界測量與土地面積計算.....	8
第四章 森林碳匯調查取樣規劃.....	9
第一節 調查方式之選擇.....	9
第二節 樣區設置.....	10
一 樣區規格.....	10
二 樣區形狀.....	11
三 樣區數量.....	11
第三節 樣區設置作業.....	13
第五章 森林資源調查作業.....	15
第一節 樣木選定與標記.....	15
第二節 林木調查項目.....	17
一 樹種名稱.....	17
二 胸高直徑之量測.....	17
三 樹高之量測.....	20
四 備註.....	21



第六章 森林碳貯存量之計算	22
第一節 森林碳貯存量推估流程	22
第二節 林木材積計算	22
第三節 碳貯存量之推估	28
一 單木層級碳貯存量之計算	28
二 林分層級碳貯存量之計算	29
第七章 調查品質保證與管制	31
第一節 調查資料品質稽核標準	31
第二節 資料不確定性評估	32
第三節 設備儀器及人員之檢驗	34
一 裝備校正	34
二 人員技能校正	34
三 調查紀錄書面化	34
參考文獻	35
附錄	36
縮詞對照表	37
測量單位	37
中英對照表	38



表目錄

表 2-1 森林碳庫之定義.....	4
表 2-2 森林資源調查團隊工作安排說明.....	5
表 2-3 森林資源調查作業工具與裝備.....	7
表 3-1 森林資源調查空間資料介紹.....	8
表 4-1 森林碳匯調查方式.....	9
表 4-2 森林資源調查 常見樣區設置方式.....	10
表 4-3 矩形樣區與正方形樣區之說明.....	11
表 4-4 樣區數量計算準則之說明.....	11
表 4-5 分層取樣樣區數量計算說明.....	12
表 4-6 森林資源調查樣區設置步驟	14
表 5-1 調查作業－選木與標記作業流程	16
表 5-2 胸高直徑測量工具介紹	18
表 5-3 樹高測量工具介紹	20
表 6-1 林木材積推估方式之介紹.....	22
表 6-2 常見針葉樹種之材積式 (林務局，1995)	24
表 6-3 常見闊葉樹種之材積式 (林務局，1995).....	26
表 6-4 不同林型碳貯存量推估之相關係數及年生長量 (環境部，2023a)	29
表 7-1 資料稽核作業之說明.....	31
表 7-2 資料容許偏差與資料品質目標.....	32
表 7-3 不同取樣方式資料不確定性之計算.....	33



圖目錄

圖 2-1 專案淨移除量計算流程.....	2
圖 2-2 森林碳移除量調查作業與專案流程之關係.....	3
圖 2-3 森林碳匯量調查之標準作業程序說明	3
圖 2-4 森林碳庫各類別圖示.....	5
圖 2-5 森林碳匯專案碳貯存量調查流程.....	6
圖 4-1 分層取樣與樣區設置範例 (樣區之間距需計算數目調整).....	9
圖 5-1 邊界木判定說明圖.....	15
圖 5-2 林木觀測項目說明圖.....	17
圖 5-3 常見立木胸高直徑測量位置說明圖.....	19
圖 5-4 樹高測量原理之示意圖.....	21
圖 5-5 林木傾斜之樹高測量示意圖.....	21
圖 6-1 林木二氧化碳當量推估流程之說明.....	22
圖 6-2 林木二氧化碳當量計算流程.....	28
圖 6-3 樣區調查結果推估森林碳貯存量範例.....	30



第一章 緒論

近年各國為因應全球暖化與氣候變遷，2021 年聯合國氣候變化專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 指出，若要達成 2015 年巴黎協定 (Paris agreement) 全球升溫幅度減至 1.5°C 內的目標，需大幅減少溫室氣體排放，並從大氣中移除二氧化碳，以達 2050 淨零排放 (Net Zero) 為目標，盡善保護地球環境，確保國家社會永續發展。

植物可經由光合作用吸收大氣中的二氧化碳，將其轉化為有機碳形式固定在植物體內，成為生物量的一部分。此外，林下的枯枝落葉層及森林土壤也具有貯存碳的能力。因此，森林面積的增減對大氣中二氧化碳濃度變化有著重大影響。由於森林資源具碳吸存 (Carbon Sequestration)、碳保存 (Carbon Conservation) 及碳替代 (Carbon Substitution) 的效益，在各國規劃的 2050 年淨零排放目標中，森林碳匯 (Carbon Sink) 被視為是一項負碳排技術 (Negative Emission Technologies, NETs) 而受各國重視，因此森林碳匯在國家溫室氣體減量行動中扮演關鍵角色。

覆蓋臺灣土地面積超過六成的森林資源，對國家溫室氣體減量具有一定比例的貢獻。在 2050 淨零排放路徑及策略所列十二項關鍵戰略中，森林為自然碳匯之一，藉由「增加森林面積」、「加強森林經營」及「提升國產材利用」等三大策略，達成森林增匯目標。森林碳匯量的估算係依據森林測計學 (Forest Measurements) 原理及取樣技術 (Sampling Technologies)，測計林分蓄積量的年變化量，進而推估森林的碳匯效益。

為提供一套在執行森林碳匯調查與監測時，可量測、可報告及可查驗 (Measurement, Reporting, Verification, MRV) 的方法準則並符合我國《氣候變遷因應法》自願減量專案要求。本手冊主要參考 UNFCCC (2015) 出版《Measurements for Estimation of Carbon Stocks in Afforestation and Reforestation Project Activities Under the Clean Development Mechanism : a Field Manual》一書及清潔發展機制 (Clean Development Mechanism, CDM) 相關工具書，並依我國自願減量方法學進行修正，提出為適合本地操作的調查工具書。本手冊涵蓋主題包括專案土地面積測量、森林取樣設計、林木調查方法及資料品質保證與管制驗證程序。本手冊各章節的編排順序為介紹森林碳匯專案與調查、林地測量、樣區設置規劃、樣區調查與碳貯存量計算及調查資料品質的保證與管制。本手冊標準化的調查程序、技術工具和資料分析方法，可提供從事森林碳量調查的相關人員清晰明確的指引和方法，符合國際規範的準確性和可靠性，以期能提高國內對於森林碳測量調查工作的可信度。

第二章 森林碳匯調查介紹

本手冊介紹的森林碳匯量調查，是依據環境部公告的林業類別方法學編制而成。內容以《氣候變遷因應法》第 25 條及《溫室氣體自願減量專案管理辦法》中規範的計畫型抵換專案為範疇，適用於國內申請林業類型的專案活動。以下逐一說明。

第一節 森林專案計畫碳移除量調查

「森林專案計畫」是指在特定範圍內，為了增加森林碳貯存量 (Carbon Storage) 所進行的森林經營活動計畫，通常會與未進行專案活動的情境 (又稱基線情境) 作區別，並將兩者情境的淨移除量之差異視為專案計畫所獲得的總減量額度。然而，專案活動可能會產生碳洩漏 (Carbon Leakage) 的問題，即在進行專案活動後，原本應該減少的溫室氣體排放活動，轉移到專案以外的區域，導致全球總體排放量並未降低，甚至增加，這樣情形所造成的碳排放量也須納入專案淨移除量之計算內 (圖 2-1)。

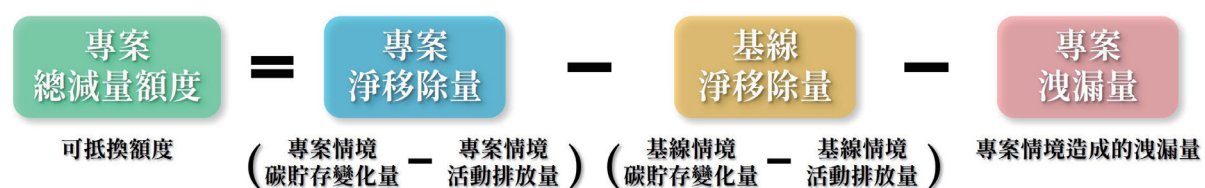


圖 2-1 專案淨移除量計算流程

森林專案計畫須透過現場調查獲得計算總減量額度的資料，一般現場調查可分為專案情境與基線情境兩個部分 (圖 2-2)，需在專案開始前的準備階段著手規劃，其中基線情境常採用的方法包含歷史基線與動態基線兩種，而專案情境常採用的方法為臨時調查與永久監測兩種方式。然而，個方法的適用性需於調查前評估，並經反覆評量，以獲得公信力的抵換額度。

在註冊申請階段及額度申請階段，基線情境與專案情境的調查方式，可能因查驗單位的要求而必須調整監測方式 (eg. 歷史基線無法應用，須改為動態基線監測；森林生長變化太大，需再劃設樣區進行調查等)。因此，建議在進行基線情境與專案情境碳匯調查時，應審慎評估調查計畫，以降低因不符合規格而需要調整的耗費，甚至導致無法評估的風險。

在一般的情形下，基線情境會因執行專案措施而轉變為專案情境，導致基線移除量無法再進行觀測。因此，基線移除量的調查與估算方式必須在專案啟動前決定並展開行動 (圖 2-2)。基線移除量計算的常見調查方式包括歷史基線 (Historical Baseline) 與動態基線 (Dynamic Baseline)，可根據需求選擇其中一種進行。

● 歷史基線：

以過去營林相關紀錄資料做為計算依據。選擇採用歷史基線時，不僅需要標明資料來源的可靠性，同時需要證明基線資料與情境的適用性，最直接的方式為申請時進行現地調查，並與歷史資料對照，以作為適用性的證明。在無法進行歷史基線的方式時，通常會建議採用動態基線。

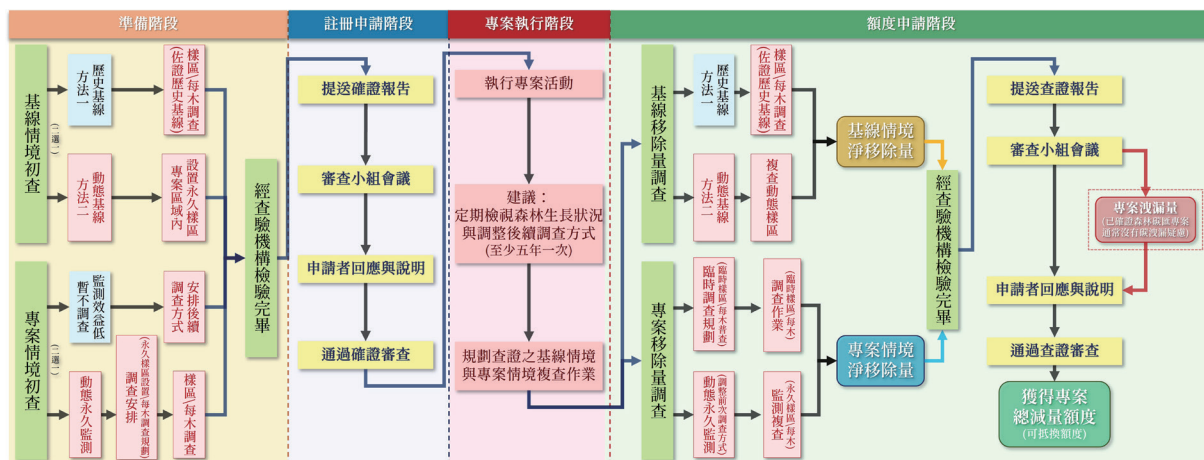


圖 2-2 森林碳移除量調查作業與專案流程之關係

● 動態基線：

通過設置永久樣區進行監測調查來評估基線移除量。樣區需設立在林況與專案相同的區域（依現行方法學，須在專案邊界範圍內），且不得受到專案活動影響。動態基線必須在專案啟動時及後續額度申請時各調查一次，相比歷史基線，動態基線的結果更為可靠，但作業方式也相對複雜。

而在專案情境的調查又可分為兩種狀況，其一是對於某些專案情境於啟動時並無顯著的生物量（例如：空地），此種情形可將專案啟動視為零，然而仍需要規劃後續的調查監測計畫。然而，較為精準的監測方法仍建議規劃永久樣區已進行長期動態監測。

● 動態永久監測：

目前對於森林碳貯存量之變化建議與動態基線相同，採用設置永久樣區之方式監測，因此在專案活動起始時，建議同動態基線之方式設置專案永久樣區，持續追蹤專案情境中的碳貯存量變化，確保數據的準確性。然而對於部分情況下，專案初期無法有效進行林分取樣規劃（例如：造林初期），建議在後續定期檢視樣區的有效性（例如：撰寫森林經營計畫書），調整取樣方式的有效性，以做為追蹤專案情境中的碳貯存量變化，確保數據的準確性（圖 2-2）。

不同調查時段所進行的調查標準作業程序相似，因此可透過驗收各步驟的執行情況來評估調查方式，以維持調查品質及資料可信度。一般的森林碳匯量調查過程可分為六個步驟（圖 2-3），本手冊將依序進行介紹：由本章節說明調查前的準備與規劃事項；第三章介紹森林邊界與面積測量；第四章說明森林碳匯調查取樣規劃；第五章探討森林碳匯現場調查工作；第六章演示森林碳匯量之計算；第七章則為調查品質保證與管制。



圖 2-3 森林碳匯量調查之標準作業程序說明

第二節 調查行前準備事項

行前準備是森林碳匯調查的關鍵環節，對調查成效有直接影響。主要的準備項目包含：碳匯調查類別評估及選擇、工作人員安排及訓練、儀器與器材準備。此外，調查人員在此階段，應盡可能備齊地況及林況等可輔助調查作業的相關資訊 (eg. 造林台帳、林地步道、地理空間資訊等)，以利作業進行，以下進行說明。

一 選擇調查的碳庫類別

首先需要確定調查的碳匯類別，目前森林碳匯主要分為地上部生物量 (生物量 Aboveground 與地下部生物量 Belowground)、死有機質 (Dead Organic Matter) 與土壤有機物 (Soil Organic Matter) 等三大類 (參照表 2-1、圖 2-4)，另外，林產品的碳匯效益亦可納入淨移除量計算。本手冊所介紹森林碳匯調查為碳庫項目中的生物量，涵蓋地上部與地下部生物量之碳匯 (又可稱林木碳貯存量)。其中在地下部碳匯的計算是採用轉換係數所估算，有別於直接測量的方式。

表 2-1 森林碳庫之定義

類別	項目	定義
生物量	地上部生物量	● 土壤以上所有活體，包含莖幹、殘幹、枝條、樹皮、種子及葉子，均屬於此類別。 ● 當灌木層與地被層的生物量在整體生物量中比例較低時，可根據調查目的考量是否排除該部分的調查。
	地下部生物量	● 林木根部的所有活體。 ● 一般建議將直徑小於 2 mm 且無法確切辨識的細根排除在調查範圍之外。
死有機物質	枯死木	● 林木所有無生命之部位，包括橫倒木、枯死木及樹樁 (殘幹) 等，無論何種形式 (站立、倒下或在土壤中) 皆屬此類。 ● 一般林木殘留部分直徑需不小於 10 cm (即直徑 cm)，若另有特殊規定者，則依其直徑標準 (例如：調查最小直徑為 6 cm)。
	枯落物	● 所有位在枯枝落葉、有機物層與腐植質層之無生命林木物質，無論何種形式 (腐朽分解狀態，散布於礦物或有機土壤層上方) 皆屬此類。 ● 直徑小於 10 cm 的枯木、大於 2 mm 的細根與非活生物量包含在此類別中。
土壤	土壤有機物質	■ 所有位於特定深度內 (通常預設 30 cm) 之礦物層或有機土壤 (包括泥炭) 中的有機碳，均屬於此類別。 ■ 包含小於 2 mm 未列入地下部生物量調查的細根。

資料來源：(IPCC，2015；環境部，2023a)

森林碳庫

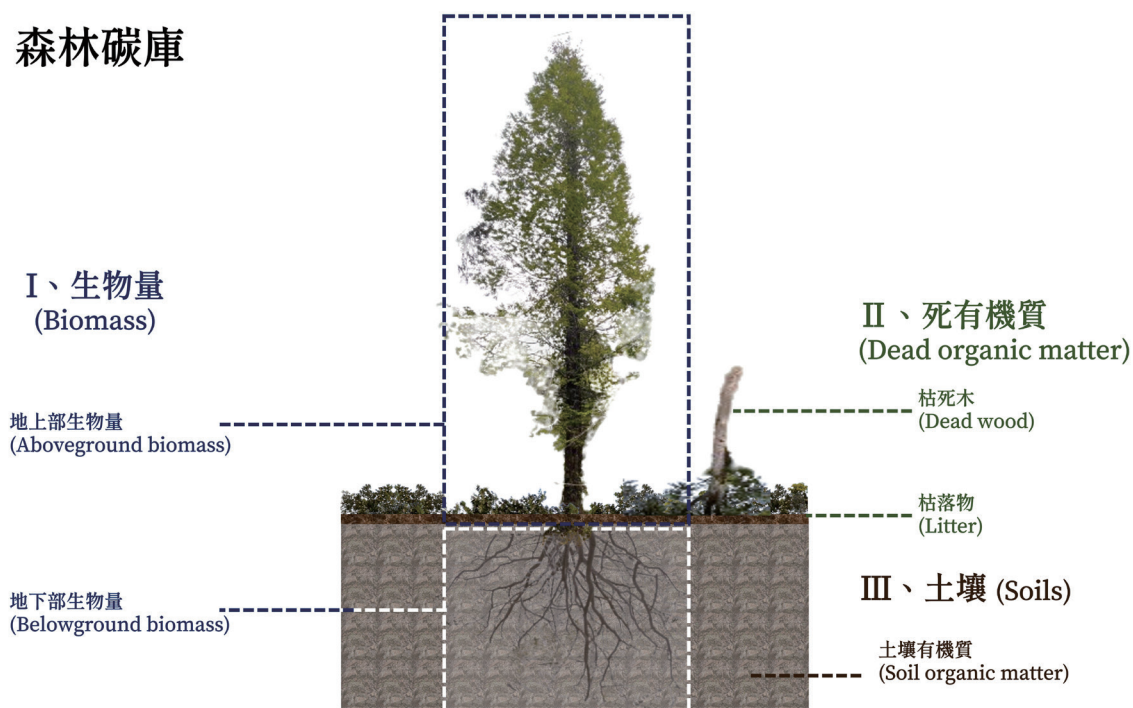


圖 2-4 森林碳庫各類別圖示

二 編排調查人員及工作編組

森林資源調查的團隊主要依據調查管理者 (Inventory Manager)、品質管制團隊 (Quality Control Team, QC Team)、現地調查團隊 (Field Team) 及資料分析團隊 (Data Analysis Team) 等四種工作類別進行安排 (參照表 2-2)。四種類別的工作分配可依據調查項目內容的難易度進行調整，並配合成員擅長的项目進行編排，一人可同時擔當不同工作類別。

表 2-2 森林資源調查團隊工作安排說明

職務	人數	職責內容
調查管理員 (組長)	1 人	● 計畫決策者，指派工作及檢核現場調查作業項目。 ● 安排與編訂 QA 與 QC 程序。 ● 安排調查及訓練現地調查人員。 ● 編排資料分析工作事項與監督工作進度。
現場調查團隊	隊長 1 人	● 規劃調查路線、工作項目。 ● 準備調查參考資料、調查表單及測量設備。 ● 安排住宿、餐飲，監督團隊成員的健康狀況。 ● 現場調查品質管制。
	隊員 3-4 人	● 完成指派調查任務。 ● 保管儀器設備。
資料分析團隊	2-3 人	● 整理調查資料與建立電子資料庫。 ● 調查資料 QA 程序， ● 資料分析與管理。
品質管制團隊	2-4 人	● 訓練及維持現場人員調查技術。 ● 執行 QC 程序。

三 現地調查準備資料及工具

森林碳匯調查的行前準備需視調查需求而定，碳匯的調查流程依據森林碳匯量調查過程可分為六個步驟（圖 2-3）進一步探討工作項目之說明如圖 2-5。步驟一為蒐集營林相關資訊，盡可能蒐集可輔助調查使用的資料，當缺乏林地邊界資料，或是作業邊界資料時，則需準備進行林地邊界的測量作業，以利後續調查進行。在確認可蒐集資料已完成的情況下，進行步驟二，判定專案邊界、森林邊界等土地環境資訊，通常可藉由政府或公開資訊輔助判釋，然而在無足夠效力的情況下則需要進行現場測量作業。

而在有足夠的邊界資料可界定並證明森林邊界後，進入步驟三規劃調查方式，一般分為兩種方式：第一種為直接測量所有林木，稱為「每木調查」，此種調查方式最為準確且簡單，僅受到測量誤差影響；第二種是基於統計抽樣原理設置樣區進行碳匯量的推估，稱為「樣區調查」，此種調查方式是否能應用通常需評估取樣是否可達到效益，包括設置樣區的便利性。完成取樣方式規畫後，接續進行現場調查作業，在此階段除了外業調查作業外，亦可同時進行品質管制作業，確保後續資料的有效性。完成調查後可進行碳貯存量之計算，一般可參考研究文獻或公開資訊進行推估，然而在無法獲取推估的相關係數時，必要的狀況下可能需要進行單木測量，然而此部分具相當的專業性，因此須向專業人士請求技術協助。而在計算完成後，資料仍需要進行品質檢核及驗證，包含資料結果是否可通過不確定性評估等。通過檢測和可製作報告書以利用為後續申請程序作業進行。

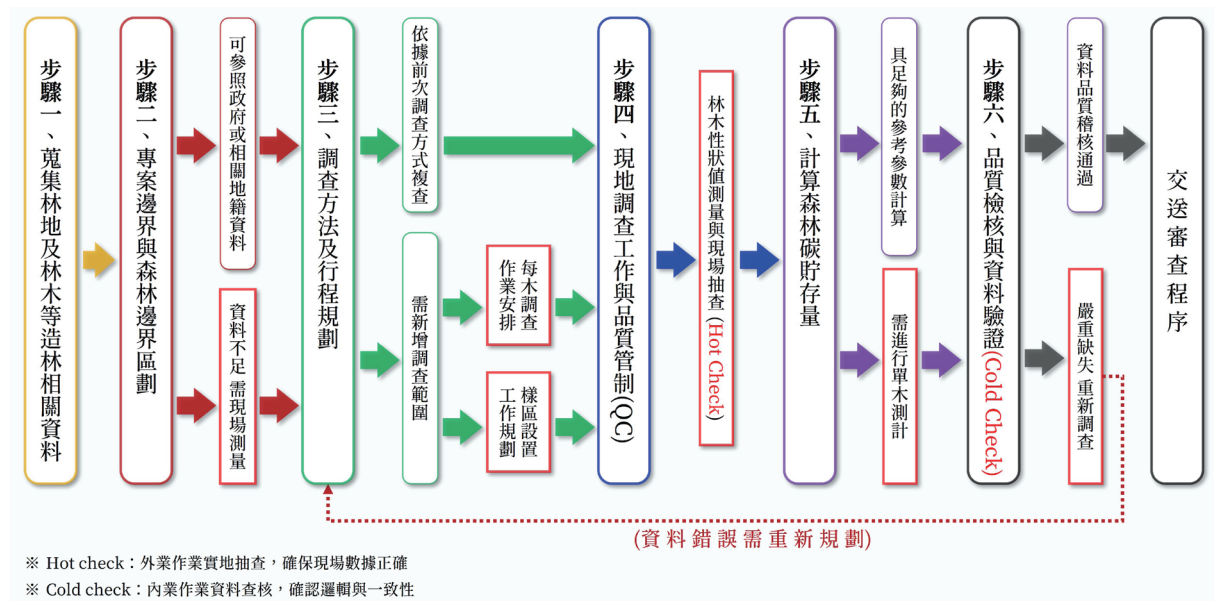


圖 2-5 森林碳匯專案碳貯存量調查流程

若調查方式為每木調查，則可事先準備造林相關資料，以利後續調查進行；若採用樣區調查，在初次進行調查沒有設置樣區的狀況時，需先規劃樣區設置工作，包含準備設置樣區的工具及儀器，並分析樣區設置所需的面積大小、位置及數量。而在已有設置樣區的狀況，則需準備樣區的位置資料，以利現場作業進行。

在規劃好調查方式後進入步驟三進行現地調查，此步驟需要準備測量林木的工具及儀器，在比較嚴謹的狀況下，需使用具備認證的儀器進行觀測，有關調查常用之工具如表 2-3 所示。在執行森林現場調

查須先備妥測量與紀錄工具，建議在採購儀器時，應確認調查工具是否符合調查目的需求，包含調查所得數值的精度及信度，以及調查紀錄表（可參考附件）。此外，調查工具的選擇應配合調查的時間期程，於操作性及便利性中選擇較合適該次調查狀況所需的儀器。整個樣區調查過程中，一般會採用相同的設備或儀器，如果因特殊因素中途改變儀器，需進行說明與分析（參考 CDM 手冊，QA/QC 章節）

表 2-3 森林資源調查作業工具與裝備

現場調查 工作項目	建議準備工具與資料
外業調查 基本配備	● 工作安全設備 (eg. 安全帽、手套、雨具、急救箱等) ● 調查裝備 (eg. 包臉巾、袖套、防蚊液、水壺、工作雨鞋等) ● 紀錄工具 (eg. 紀錄紙、調查板、相機) ● 除草用具 (eg. 鏈鋸、手鋸、鐮刀、修枝剪) ● 計算輔助工具 (eg. 小型計算機、手機)
邊界測量工作 (含樣區設置)	● 林地資料 (eg. 地圖、測量野帳簿、調查野帳簿) ● 方位判釋儀器 (eg. 羅盤儀、經緯儀、指南針等) ● 衛星定位設備 (eg. GPS 衛星定位儀) ● 平面距離輔助工具 (eg. 皮尺、樣繩、雷射測距儀等) ● 土地標示器具 (eg. 樣釘、界樁、塑膠繩)
林木現地 調查工作	● 林木資料 (eg. 樣區位置、林木位置、歷史調查資訊) ● 胸徑量測工具 (eg. 胸徑尺) ● 樹高量測工具 (eg. 測高器) ● 標示工具 (eg. 紅漆、噴漆等)

第三章 邊界測量與土地面積計算

森林資源調查的首要步驟是確定作業範圍，包括專案範圍、森林邊界，以及釐清現場的調查範圍（如每木調查範圍或樣區設置範圍）。邊界的判釋通常可利用地理資訊系統 (Geographical Information System, GIS) 套疊現有空間資料（例 eg. 等高線、水域、行政邊界等）進行確認。而森林資源調查所需的地理空間資料可分為 (1) 邊界資料與 (2) 影像資料，兩者說明如表 3-1 所示。

表 3-1 森林資源調查空間資料介紹

項目		資料特性	一般獲得方式
邊界資料	林地邊界	● 不易變動 ● 一般以政府單位提供資料為依據	● 政府公開平臺下載 ● 政府相關機構購買 ● 委託私人公司調查，並由第三方單位查核
	林木邊界 / 林木點位	● 邊界隨時間變動 ● 難以成林之林木則建議採用每木定位	● 委託私人公司調查，並由第三方單位查核 ● 進行即時動態定位技術 (Real-Time Kinematic, RTK) 實地邊界定位工作 ● 進行羅盤儀、經緯儀或全測站實地導線測量工作
影像資料	正射影像	● 具時效性 ● 須注意影像解析度符合要求規格	● 政府公開平臺下載 ● 相關企業公開資訊下載 ● 委託私人公司調查

森林區劃的邊界主要包含森林林地的邊界以及林木區塊的邊界，一般林地的邊界不易變動，可參考政府部門所提供的相關地籍資料（eg. 地籍線、事業區或林班等），透過政府公開平台下載，或向政府機關申請採購。林木區塊的邊界具有變動性，資料在應用上具時效性，需透過現場調查蒐集邊界資訊，由於土地測繪工作具備相當的專業程度，須對測量儀器有相當的瞭解且具備相當的操作技術，調查工作建議諮詢相關專業單位。目前，邊界測量常用的方法包括使用全球導航衛星系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 接收器，搭配全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 進行定位，並結合即時動態定位技術 (Real-Time Kinematic, RTK) 以提升精度。然而，RTK 的測量精度受限於訊號品質，對於位於偏遠地區的林地可能較難應用。在訊號不佳的情況下，可採用羅盤儀導線測量 (Traverse Survey) 作為替代方案。

影像資料的範疇包含 (1) 放大航空照片、(2) 正射影像圖，以及 (3) 林區像片基本圖，這些資料通常由衛星、航照飛機或空拍機所拍攝生成，相關資料一般可向林業及自然保育署航測及遙測分署或國土測繪中心等政府單位申請。由於影像資料具有時效性，如採用公務單位提供的影像資料，需注意其拍攝時間通常為固定的例行時段，若需要滿足即時性需求，則必須另行規劃影像拍攝作業（eg. 委託相關公司，採用高解析力衛星影像或以無人飛行載具 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 拍攝影像）。

在森林資源調查工作中，可利用 GIS 疊合邊界與影像資料，以明確界定需計算的林地面積範圍，進而規劃調查路線及樣區設置作業。特別是在邊界較為複雜的情況下，可進一步結合其他地貌特徵資料，用於校準與優化邊界界定。另一方面，在規劃分層取樣邊界時，亦可利用 GIS 疊合影像資料，以縮短場勘作業所需的時間。而出現在森林區域中的非林木特殊地景（eg. 湖泊、人工設施等），若面積較大且可能對結果產生影響，應測其邊界並在後續的推估與計算中予以排除。

第四章 森林碳匯調查取樣規劃

第一節 調查方式之選擇

森林碳貯存量的調查方式有每木調查與樣區調查兩種方式，各方式的適用狀況與作業方式說明如表 4-1 所示，每木調查為直接測量規劃範圍內所有林木，調查方式較為單純，必要時需註記每株林木之編號與位置；而樣區調查為藉由統計抽樣原理進行取樣，作業方式需具備相當調查技術之人員進行設置樣區規劃，而測量林木的方式與每木調查相同，但僅須測量樣區內的林木，最後再藉由所有樣區進行森林碳匯量的推估，而樣區調查在必要時，需定期進行樣區之維護。

表 4-1 森林碳匯調查方式

項目	適用狀況	工作內容
每木調查	● 小面積範圍之森林 ● 森林結構非均質性 ● 林木單生	● 調查單純，不需要進行抽樣規劃 ● 須註記或標示每株林木的編號，以利後續作業進行 ● 通常成本較高
樣區調查	● 大區域範圍之森林 ● 林分結構具均質性 ● 具相當調查規劃之技術人員	● 調查具相當技術，須進行抽樣規劃，決定抽樣地點位置、樣區形狀、樣區大小、樣區數量 ● 一般採取系統取樣，必要時需進行分層取樣 ● 如需長期監測樣區，則需將樣區編號，並將各樣區內之林木進行定位，必要時需定期維護樣區標記狀況 ● 較具成本效益

通常森林資源調查會依據森林的生長特性分為不同的鑲嵌體，並依據這些均質性較接近的鑲嵌體為單位進行調查。較符合經濟效益做法會採用設置樣區進行森林碳貯存量的抽樣調查。而樣區設置的位置通常於調查前依據 GIS 及相關圖資進行安排 (圖 4-1)，通常設置樣區地點的選定分成系統取樣及分層取樣兩種情形 (表 4-2)。

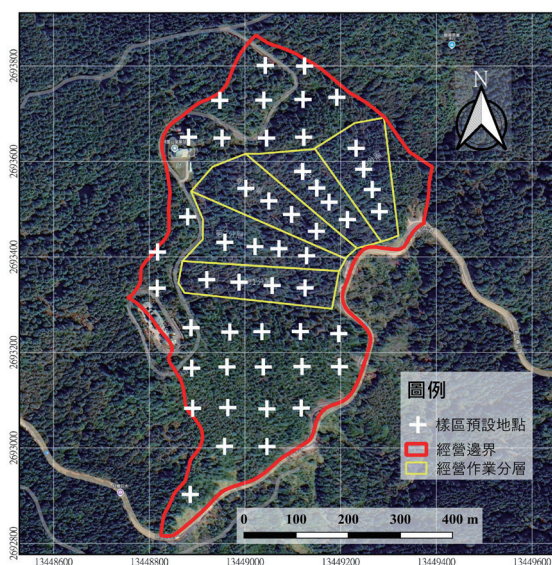


圖 4-1 分層取樣與樣區設置範例
(樣區之間距需計算數目調整)

表 4-2 森林資源調查 常見樣區設置方式

項目	系統取樣	分層取樣
定義	以固定間格的方式建立樣區，分布具相當的均質性。	先依據森林的同質性分為不同相似區塊，再依據各區塊面積做為比例決定設置樣區的數量，並於各區塊進行隨機或系統取樣。
適用狀況	森林整體具有某種規則變化且無明顯區分，適用於初步探查或效率較高的抽樣情境。	森林明顯可區分為不同鑲嵌體區塊。
優點	操作簡單，容易理解和實施，適合大規模樣本抽取。	能降低抽樣偏差，減少樣本數，且可更精確地估計森林碳匯量。
缺點	可能忽略森林的周期性變化特徵，導致結果偏差。	需事先進行分層作業，需相當的技術，且操作較為複雜且耗時，計算更為複雜
操作步驟	1. 計算所需樣本數量。 2. 依據森林邊長將所有樣本均質排放於森林區域。 3. 由 GIS 獲得各樣區點位坐標。 4. 依據坐標至現場進行調查。	1. 將森林區域分為不同鑲嵌體區塊 (不宜劃分太多，建議最多 5 區)。 2. 計算總體所需樣本數量，並依據各分層區塊面積分配數量。 3. 於各區塊內隨機或依據各區塊邊長，將所有樣本系統性的均質排放於分層森林區域。 4. 由 GIS 獲得各樣區點位坐標。 5. 依據坐標至現場進行調查。

當森林的生物量分布呈現不均質時，可基於生物量在空間分布 (Spatial Pattern) 情形進行分層，以提升抽樣之效率。一般可基於樹種、林齡、林分密度、蓄積量或生物量之平均值及標準差作為分層取樣的依據指標。例如：依據單位面積生物量之多寡，將森林分為 1. 生物量稀少區域 (生物量幾乎為 0)；2. 低生物量區域；3. 中生物量區域；4. 中生物量且不均質區域；及 5. 高生物量區域等五種分層。此外，分層之依據亦可依據外在因子條件，例如：地理條件 (Edaphoclimatic Factors) (例如：氣候、土壤、坡向、斜度)、生物因素 (Biological Factors) (物種組成、密度)、經營撫育因素 (Management Factors) (族群密度、疏伐、收穫、修枝) 及其他干擾 (Disturbances) (火災、病蟲害) 等。儘管上述因素皆有可能是影響生物量變異性的決定性因素，納入全部的因子進行分層可能會造成過度破碎的狀況，使碳貯存量的調查成本增加，導致無法有效地獲得森林碳匯的資訊，因此在分層上仍需視資料特性及分層目的，選擇較有效的分層依據。

第二節 樣區設置

一 樣區規格

樣區設置的可依監測的目的分為設置臨時樣區 (Temporary Sample Plot) 與永久樣區 (Permanent Sample Plot) 兩種狀況，設置臨時樣區之目的常見於進行個案的分析，如：探討病蟲害區塊之狀況、探討森林火災區塊之情形等；而永久樣區設置之目的為追蹤林木長期生長變化，為了能確實獲得林木

生長量資訊，並可有效連結時間序列上不同調查時間點之森林資訊進行分析，因此在進行森林經營調查監測常採用永久樣區。

二 樣區形狀

目前國內設置樣區規格多以 0.05 ha 的長方形樣區為大宗（水平長度：短邊為 17.6 m，長邊為 28.4 m；亦可短邊為 20 m，長邊為 25 m）。此外，當林木數量較多、胸高直徑較小、地形變化太大難以調查時，可使用 0.01 ha 的正方形樣區，邊長為 10 m。若為設置永久樣區，則建議採用 0.05 ha 之長方形樣區為主，以避免森林在時間序列上的生長變化後，抽樣面積過小而導致誤差，兩種樣區之說明如表 4-3。

表 4-3 矩形樣區與正方形樣區之說明

項目	矩形樣區	正方形樣區
面積大小	0.05 ha	0.01 ha
樣區規格	17.6×28.4 m 或 20×25 m	10×10 m
設置方式	短邊 (17.6 m) 一側垂直坡向	須以任一邊垂直坡向
優點	調查結果資料品質較穩定	設置簡單，調查方便
缺點	範圍較大，調查較耗時，樣區設置較困難	可能需較多的樣區才可達品質要求

三 樣區數量

臺灣森林資源調查中，可依據國內與國際之準則進行樣區數量之計算，如根據《農業部辦理國有林林產物處分暨伐採查驗作業要點》第 6 點之規定，採系統取樣或分層取樣方式辦理（表 4-4）。

表 4-4 樣區數量計算準則之說明

準則	樣區數量	說明
系統取樣	區域總面積 0.5 公頃以下者取 1 樣區，超過 0.5 公頃至 1 公頃以下者，取 2 樣區；餘以此類推	樣區之設定須平均分布於區域內，依一定方向或適當距離作有系統之排定。
分層取樣	分層面積 4 ha 以下者取 1 樣區，超過 4 公頃至 8 公頃以下者，取 2 樣區；餘以此類推	先以航照圖判釋，依樹種、林齡、造林木密度等條件將均質之林分予以分層，並計算分層面積，各分層取具代表性之標準地樣區。

另外在《溫室氣體自願減量專案管理辦法》等相關法規亦有說明，溫室氣體減量方法應依照國際清潔發展機制專案計畫和方案型活動的調查標準 (Standard for Sampling and Surveys for CDM Project Activities and Programme of Activities) 進行樣區計算與設置。有關樣區數量之計算可參考表 4-5，計算可分為 3 個步驟，說明如下。

表 4-5 分層取樣樣區數量計算說明

步驟	公式	說明
步驟 1 估算樣區數	$n_{\text{step1}} = \frac{N \times t_{\text{VAL}}^2 \times (\sum w_i \times s_i)^2}{(N \times E^2) + (t_{\text{VAL}}^2 \times \sum w_i \times s_i^2)}$	樣區數小於 30 時， t_{VAL} 先需再進行修正。
步驟 2 修正樣區數	a. 當樣區面積小於總專案面積 5% 時： $n_{\text{step2}} = \left(\frac{t_{\text{VAL}}}{E}\right)^2 \times (\sum w_i \times s_i)^2$ b. 當樣區面積大於總專案面積 5% 時： $n_{\text{step2}} = n_{\text{step1}} \times \frac{1}{1 + (n_{\text{step1}}/N)}$	結果可再依不確定性 (通常設定 10%) 增加。
步驟 3 計算各階層樣區數	$n_k = n \times \frac{w_i \times s_i}{\sum w_i \times s_i}$	不同分層樣區數可能因為進位導致總樣區數增加。

註：N 為樣本框架的樣區數量，常為； t_{VAL} 為雙尾 Student's t-value 的統計檢定值，在初步計算上直接採用 1.645； w_i 為第 i 層級的面積權重比例， w_i ； s_i 為第 i 層級的生物量標準差，單位為 t ha^{-1} ；E 為容許誤差率，通常設定為 10%，即 E；i 為專案區域內不同層之編號。

步驟 1：首先需要初步估算樣區數量，公式可參照表 4-5 之步驟 1，當初步結果樣區數量 n_{30} 時，此步驟即結束；若初步樣區數量 n_{30} ，則必須依據結果所得修正 t_{VAL} 並再重新計算，若樣區數沒有變化則結束此步驟，若有變化，則需再次修正 t_{VAL} 並再重新計算，並迭代計算至結果樣區數沒有變化。

步驟 2：在此步驟要進行樣區數的修正，基於初步估算樣區數所得樣區總面積，與專案總面積推算的比例，判斷樣區數修正的方式，修正公式可參考表 4-5。當樣區面積小於專案區域面積 5% 時，則採用修正公式 (表 4-5 步驟 2a) 重新計算樣區總數；而當樣區總面積大於專案區域面積 5% 時，則採用修正公式 (表 4-5 步驟 2b)，將初步樣區數 (n_{step1}) 代入公式計算獲得樣區總數。此步驟在最後可將結果依據推估不確定性 (通常設定 10%) 增加樣區數，例如：計算所得樣區數為 110，則依據 10% 的不確定性，增加樣區數 110 的 10%，最終樣區總數則為 121。

步驟 3：獲得理論之總樣區數後，需計算各階層所需的樣區數，計算方式為基於各階層的面積權重進行推估，推估方式為採用無條件進位方法，公式如表 4-5 步驟 3 所示。此步驟所得結果可能因為不同階層計算需取整數，因此造成樣區總和數會增加。

第三節 樣區設置作業

確定樣區之類型、規格及位置後，即可進行現場設置作業。一般在樣區設置結束後會立即進行樣區內立木調查，因此設置樣區的現場工作人員當即可配合調查工作，建議至少 4 人為一組共同執行作業，且至少一位以上對現場熟悉的調查組員，以減少交通或蒐尋地點所耗費的時間。若赴深山或偏遠地處調查，建議與當地巡山員共同前往，樣區設置的步驟可分為 1. 調查計畫行程之編排；2. 樣區中心點確認；3. 樣區邊界之調整；4. 標誌木之設定等，樣區設置的流程步驟彙整如表 4-6。其中在執行各項步驟均需注意品質管制規範，避免後續資料分析無法達到申請所需資料水準。

尋找樣區點位時，建議可將附近明顯且永久性景物紀錄下來，輔助現場判別樣區中心點位置在調查中若有當地嚮導參與，可使樣區中心點定位的工作更加簡單。在現場蒐尋到中心點位置時，常受到樹冠遮蔽導致衛星定位訊號不佳，建議於鄰近樣區中心點時，適當的於訊號較佳之空曠處進行位置確認與校正，並設置樣區起點 (Start Point, S.P.)，有利後續調查作業程序。

在到達樣區的路徑上，建議將樣區位置以及沿途重要特徵 (如道路的交叉口、固定景物) 拍照記錄，且可於地形圖上畫出路徑草圖，並附在現場資料表上，有助於未來作業尋找及定位樣區。如果需要，應在路徑沿途的樹上綁上彩色標記帶，色帶應足夠顯眼，以便現場調查工作團隊往返樣區位置。若是永久樣區，應從樣區中心對應每個參考點拍攝照片 (eg. A、B 木)，並記錄適當的描述。

表 4-6 森林資源調查樣區設置步驟

步驟	說明
1. 調查計畫行程之編排	● 現場資料蒐集：詢問相關人員以瞭解交通路況及森林現況，並對照樣區點位分佈圖確認對應之處。 ● 工作行程規劃：計劃行程與選擇前往樣區之最佳捷徑路線。 ● 檢查調查儀器：於調查前一天清點設置樣區之設備，並確認調查儀器是否可正常使用、電子儀器之電量及調查所需記錄設備。 ● 檢查搜尋樣區設備：確認地圖可使用（紙本：像片基本圖、航照圖；電子設備：智慧型手機、GPS），並確認電子設備事先下載好地圖檔案，且有足夠的電量，及可正常操作（坐標系統是否正確、是否可正常紀錄坐標等）
2. 樣區中心點確認	● 樣區設置人員可運用地形圖或電子設備尋找到樣區中心點，再利用正射影像圖或航空照片確認周遭狀況符合樣區設置地點。 ● 建議可在樣區附近選擇在影像及現場皆易辨認的明顯地物作為樣區起始點 (Start Point, S.P.)，起始點之地物應具有永久性，不易改變。
3. 樣區邊界之調整	● 樣區邊長雖然已在行前決定，然而至現場後，邊長應隨著地形坡度調整至投影為標準規格的邊長及面積。(eg. 坡度為 23 度，邊長為 28.4=30.85 m，因此在現地的樣區邊長為 30.8517.6 m) ● 通常樣區設置時，短邊會沿著等高線方向，長邊則順著斜坡方向，因此通常僅需調整長邊之邊長。 ● 如果要設置永久樣區，可於現場調整好後，在以地樁相關用具進行標示。 ■ 坡度基準超過10%時，需校正樣區斜坡長邊 $l_s = l \div \cos \theta$ l_s：樣區斜坡長邊 l：樣區長邊 d：樣區短邊 θ：坡度 斜面樣區面積：$l_s \times d$
4. 標誌木之設定 (自選)	● 樣區中心設立完成後，如有難以觀測之狀況，可於現場設立兩株標誌木 (A、B 木)，以利於將來尋找樣區位置，標示木應靠近樣區中心且兩株樹與中心點之連線互成直角。 ● 標誌木之選擇應為健全木而不似會在 10 年內枯死，且不致於在 10 年內被砍伐之中、大徑木為準。 ● 亦可標示邊界木的方式設立標誌木。

第五章 森林資源調查作業

確定調查林木方式後即可開始進行林木調查，不論每木調查或樣區調查，在進行測量前建議先標示林木，以利後續測量作業進行，避免造成重複測量、遺漏木或調查到非目標木。通常在調查人力充裕的情形下，標示作業會與調查作業同步進行，負責標示工作之成員於完成後，即可轉入調查測量工作。以下進行介紹。

第一節 樣木選定與標記

林木標記為調查工作相當重要的步驟，攸關調查人員的效率，並可避免調查誤差產生，特別在邊界木的判定，為森林碳匯調查中，較耗費時間的部分。調查林木前，須先確定邊界（每木調查：調查區域範圍邊界；樣區調查：樣區邊界），邊界樣木之判定通常以基部中心（發芽點）為判斷依據（圖 5-1），當林木位於邊界內或邊界上，但樹木傾斜至邊界外（圖 5-1 a, b），此種狀態之林木仍需納入調查；當樹木基部位於邊界外，就算林木傾斜至邊界內仍不將其納入調查中（圖 5-1 c）。

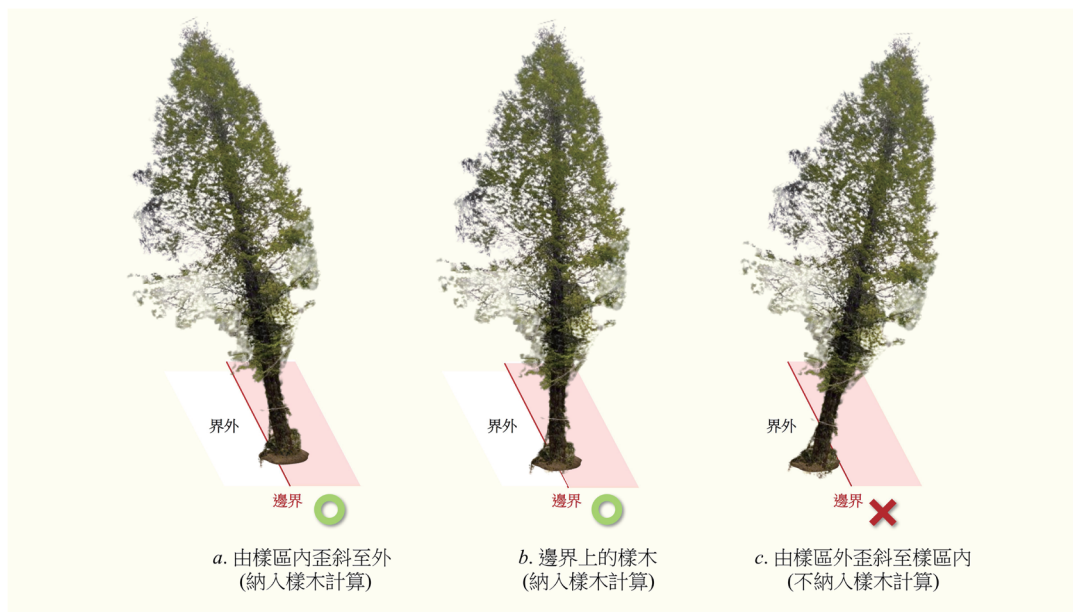


圖 5-1 邊界木判定說明圖

確認林木是否納入調查後，即可進行林木標記，一般可直接以噴漆、油漆等於林木胸高直徑之位置處以編號進行標記，須注意編號順序、方位及位置皆可能影響作業程序之效率，樣木調查標記之方式說明如表 5-1。在碳匯調查中，每木調查之目標木判定須先於現場判釋調查區域之邊界，其次為判定目標木是否符合調查的條件（eg. 樹高小於 5 m 之灌木通常不列入調查），隨後標記應考量作業便利為主，一般以面高處為主，如有其他考量（eg. 美觀），則依據需求變化編號之位置或以標示物作為編號之依據。

第二節 林木調查項目

確認所調查之林木後，可開始進行林木測量，一般在碳匯調查中有四個基本調查項目（圖 5-2），包含 1. 樹種；2. 胸高直徑 (Diameter at breast height, DBH)；3. 樹高 (Tree Height, H)；及 4. 備註等。各項目說明如下。

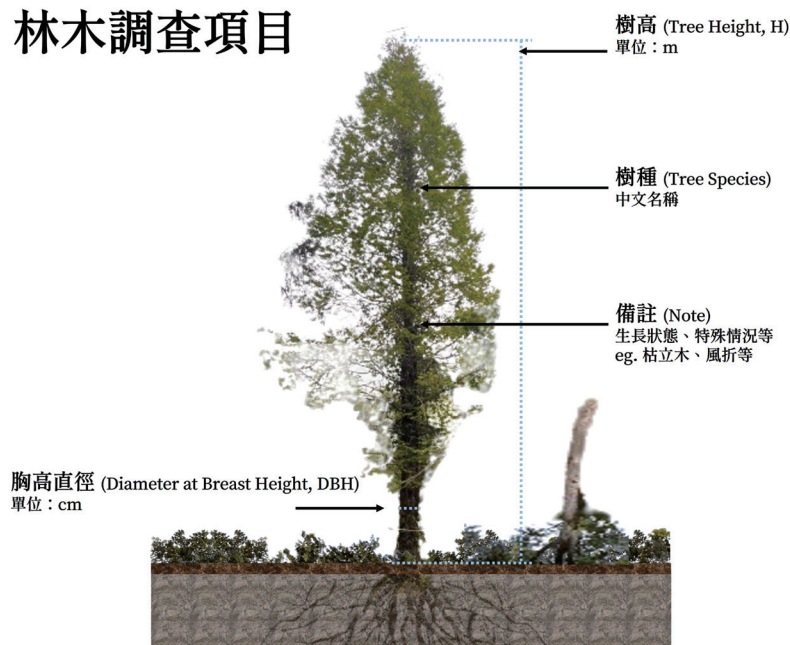


圖 5-2 林木觀測項目說明圖

一 樹種名稱

樹種為計算碳貯存量的重要資訊，進行碳匯計算時所使用的轉換係數，必須根據樹種進行調整，因此在進行碳匯調查時，需記錄樹種資訊。一般在辨識樹種時，可參考過去的造林資料，或是以植物外觀型態進行辨識，記錄方式包含俗名 (Local Name) 或學名 (Scientific Name)。然而樹種的辨識具相當的技巧，如對於樹種判釋有困難者，可採用照相的方式記錄，並詢問相關專家。拍照時可以標竿、錢幣或其他物件作為比例尺，拍攝以花、果實或具特殊構造為優先，若僅能依據葉做為辨識依據，則可分為特徵近照與整體遠照。

二 胸高直徑之量測

胸高直徑為測量林木生長最重要的觀測值，測量方式為測量胸高處 (Breast Height) 的樹幹直徑，一般設定為林木 1.3 m 高處的樹徑。一般測量樹徑的工具可選用胸徑尺 (Diameter Tape) 或輪尺 (Diameter Caliper)，測量胸高直徑的步驟說明如表 5-2 下：

表 5-2 胸高直徑測量工具介紹

項目	胸徑尺	輪尺
優點	● 方便攜帶 ● 測量較不受林木 DBH 大小限制	● 調查快速 ● 容易觀測
缺點	● 難以應用於胸徑測量處被遮擋之情形	● 精度較低 ● 不易攜帶 ● 難以測量 DBH 較大之林木
測量方式	● 於胸徑測量處圍繞一圈，直接讀取刻度 0 所對應的數值 ● 圍繞時需貼齊樹皮，所呈現的圓面應垂直於樹幹	● 將樹幹胸徑測量處夾在輪尺測量臂內，讀取測量臂上之刻度 ● 垂直樹幹量測
		
注意事項	● 測量位置須注意勿傾斜、過高或過低、被樹皮卡住、尺面翻轉及沒有貼平樹面等問題，避免產生測量系統誤差。 ● 測量時勿過度用力或沒有拉緊，導致偏誤。 ● 避免樹皮造成的偏誤。 ● 讀取刻度須注意為直徑刻度（非圓周）。	● 輪尺的尺身須筆直，並可清楚看見刻度。 ● 滑動臂 (Movable Arm) 及固定臂 (Fixed Arm) 應互相平行，且兩者垂直於尺身，以上三者皆應與幹軸的平面垂直。 ● 測量時勿過度施壓，擠壓樹皮產生變形，同時也避免施壓不足，造成測量誤差。 ● 樹徑須測量兩次，並將兩者平均值作為測量記錄值。

由於樹幹生長變化會影響判定量測 DBH 的位置，本手冊將調查常見之情形彙整至圖 5-3，以下說明測量原則：

1. 樹木位在斜坡或不平整地面時，應測量樹幹面高處沿幹向上 1.3 m 之樹徑。(eg. 圖 5-3 a、b、c)
2. 樹木傾斜時，DBH 的測量點應以傾斜面下側邊沿幹向上 1.3 m。(eg. 圖 5-3 d)
3. 樹木在高 1.3 m 處樹幹出現分枝、隆起、傷口、空心等異常情形時，應測量異常處之上緣及下緣，以其平均值作為 DBH (eg. 圖 5-3 e); 如 1.3 m 處較接近異常處邊緣，則可直接測量膨大處上緣或下緣處 (eg. 圖 5-3 f、g)。

4. 樹木基部膨大且高於 1 m 時，應測量膨大上緣向上 0.3 m 之位置 (eg. 圖 5-3 h)。
5. 樹木分叉時，如分叉處低於 1.3 m，則視為多個主幹且皆需測量 (eg. 圖 5-3 i)；如分叉處接近 1.3 m 且膨大，則可直接測量膨大處下緣 (eg. 圖 5-3 j)；如分叉處低於 1.3 m 且貼合，則可直接測量外圍 (eg. 圖 5-3 k)；如分叉處低於 1.3 m，而其他單一分枝小於最大樹幹三分之一，則可不必要測量分枝 (eg. 圖 5-3 l)。
6. 樹木生長扭曲時，如扭曲處高於 1.3 m，則以沿幹向上 1.3 m 測量；如扭曲處低於 1.3 m，則直接測量垂直向上 1.3 m 處；如扭曲處低於 1.3 m 且分叉，扭曲處小於沿幹長 1.3 m 之分枝，則測量垂直向上 1.3 m 處，扭曲處大於 1.3 m 之分枝，則測量沿幹長 1.3 m 處 (eg. 圖 5-3 o)。
7. 樹木基部向下掏空或根部向上延展時，應於根系上緣處向上 1.3 m 處進行測量 (eg. 圖 5-3 p)。

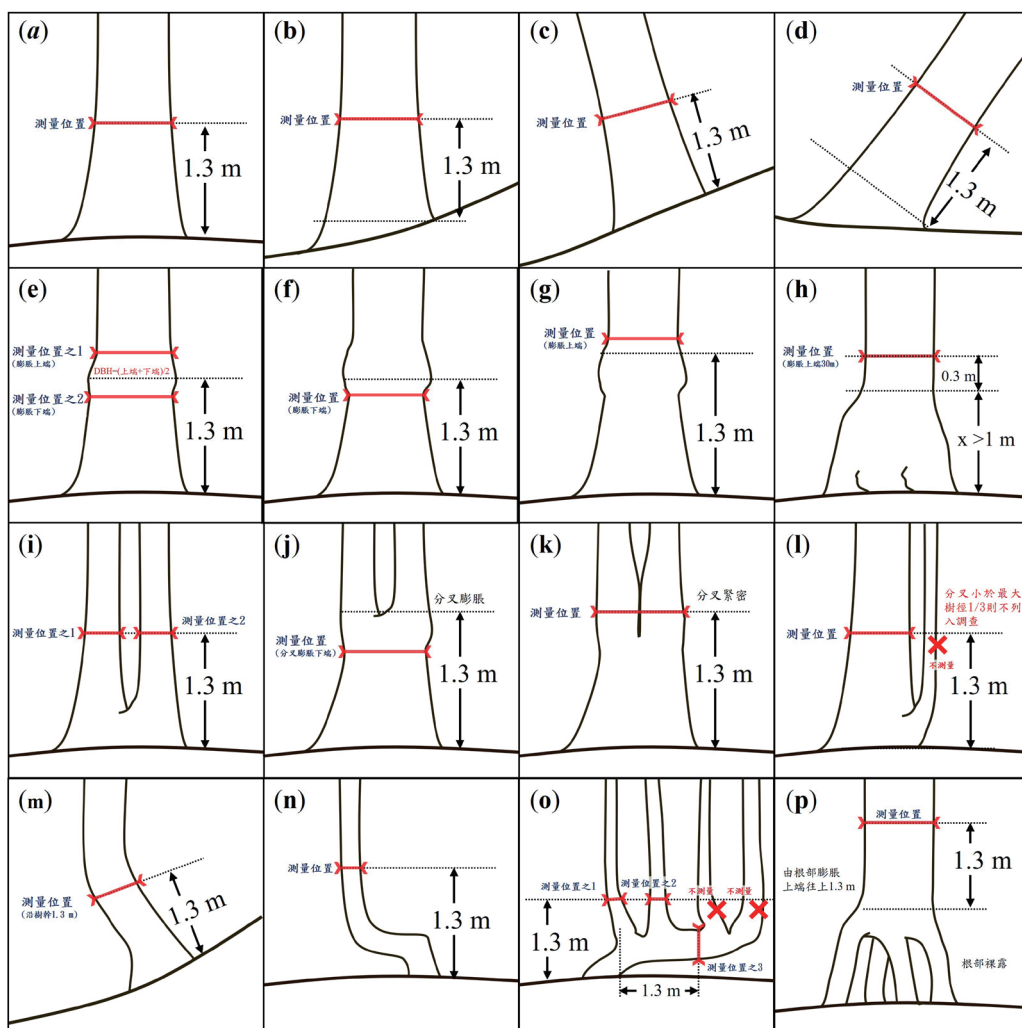


圖 5-3 常見立木胸高直徑測量位置說明圖 (a) 平地立木；(b) 坡地立木；(c) 坡地傾斜木；(d) 平地傾斜木；(e) 1.3 m 處於樹幹膨脹中心；(f) 1.3 m 處於樹幹膨脹下緣；(g) 1.3 m 處於樹幹膨脹上緣；(h) 基部膨脹超過 1 m，則再膨脹上緣向上 0.3 m 測量；(i) 樹幹於 1.3 m 以下分叉；(j) 樹幹於 1.3 m 分叉膨脹；(k) 樹幹於 1.3 m 以下分叉貼合；(l) 樹幹於 1.3 m 以下分叉，小於最大樹徑 1/3 者不測量；(m) 歪立木彎曲處大於 1.3 m；(n) 歪立木彎曲處小於 1.3 m；(o) 傾倒木分叉，大於主幹 1.3 m 分叉者不測量；(p) 根系裸露情形

三 樹高之量測

樹高為重要性僅次於胸徑的林木觀測值，在碳匯的測量中，樹高用來表示幹長，因此測量應以主幹高度為要觀測對象。樹高的測量方式可分為直接與間接（表 5-3），一般林木較高時，宜採用間接測量，測高器 (Hypsometer) 所量測之原理為三角函數的推估（圖 5-4），因此需要測量觀測者與目標木的水平距離，及觀測眼距的傾斜角度。一般測高器已將固定距離下，不同傾斜角度直接換算為距離顯示，因此使用上仍受到測量位置所限制，然而雷射測距望遠鏡可自行測量平距，沒有觀測位置的限制。

表 5-3 樹高測量工具介紹

項目	直接測量	間接測量
儀器	● 測高桿。 ● 箱尺。	● 坡度器。 ● 測高器 (eg. Haga)。 ● 雷射測距望遠鏡。
優點	● 精度較高，單位為公分。 ● 操作簡單。	● 通常測量較快。 ● 測量限制較少。 ● 量測高度較不受限制。
缺點	● 儀器較重，難以攜帶。 ● 測量易受到樹冠幅影響。 ● 量測高度受限制。	● 誤差較大，單位為公尺。 ● 難以應用在樹木傾斜之觀測。 ● 操作步驟較多。
測量方式	● 盡量貼齊樹幹向上拉，頂端對齊樹高後讀取數值。 	● 測量平距後，測量樹頂與樹基之角度，即可推算垂直高度。 
注意事項	● 建議一位輔助觀測手於遠處協助判釋樹高。 ● 須注意儀器向上拉時，每節有拉完，且沒有鬆脫滑落。	● 樹高較高時，建議站在橫波方向較遠處觀測。 ● 光學儀器易受到強光、水氣等因素影響。 ● 同株樹建議重複量幾次，降低測量誤差。

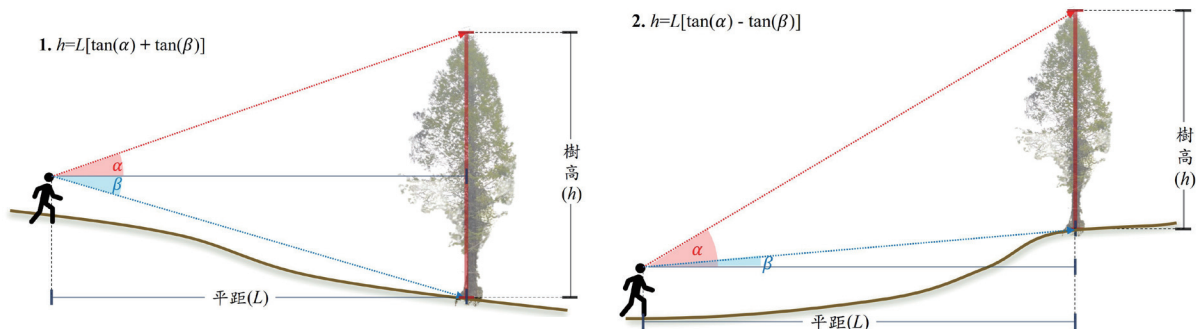
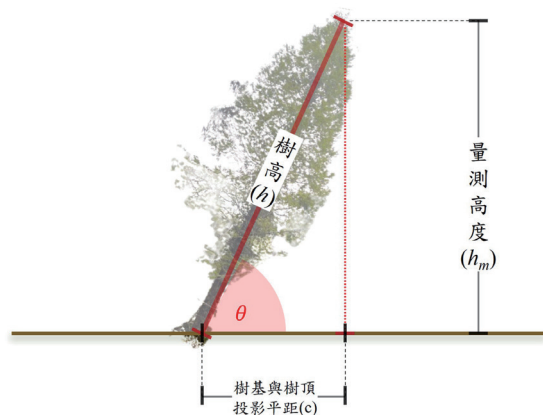


圖 5-4 樹高測量原理之示意圖

當林木為傾斜木時應修正觀測值 (圖 5-5)，一般傾斜角在超過 10 度的情況下需要修正。傾斜木在觀測時須注意避免由傾斜方向測量，修正觀測值的方式可分為兩種 (圖 5-5)，第一種為測量樹頂與樹基的投影水平距離，再以畢氏定理，將觀測高度及水平距離作為直角三角形的邊長推估斜邊以獲得樹高；另一種方式為測量林木的傾斜角度，以三角函數的方式進行推估。



$$\text{樹高}(h) = \sqrt{h_m^2 + c^2} \text{ 或 } h_m \div \sin \theta$$

圖 5-5 林木傾斜之樹高測量示意圖

四 備註

備註欄為通常為註記可能會影響計算的事由，例如樹木生長異常時，如採用一般的推估方法，恐造成較大的誤差。另外也可以註記幫助調查或計算的相關資訊，例如林木位置，以下進行介紹。

(一) 立木狀態

林木的生長狀態攸關著林木的生長潛力，與碳吸存量有相當的關連性，且與攸關營林成果。在記錄生長狀態上，一般可分為 (1) 生立木；(2) 枯立木；(3) 風倒、風折、凋零木 (病害)、枯死木；(4) 分叉木 (分叉處是否高於 DBH、分叉數量) 等四種狀態的記錄方式。生立木為林木生長狀態正常，無傾斜且外觀正常之林木；枯立木為幹形通直佇立，然而無生命跡象之林木；生倒木為林木仍有生命現象，然而林木可能為受到外力而傾倒之林木；風折為林木受風害而斷裂之林木；凋零木為瀕死之林木，通常為病蟲害所導致；枯死木為林木無生命現象而傾斜或破損之林木；分叉木為主幹分叉之林木。

(二) 林木位置

林木位置可反應林木橫向生長空間的狀態，亦為林木對位上，辨識林木的重要依據。一般辨識林木可使用噴漆或其他標示工具協助調查辨別林木，而在標示難以辨識的情形下，可依據林木的相對位置作為輔助辨識林木的方式。在可辨識林木的情況下，才可獲得單一樹木的生長變化量，以進行生長量分析，並更進一步推估林木的碳吸存量。

第六章 森林碳貯存量之計算

第一節 森林碳貯存量推估流程

經現地調查獲得林木樹種、胸高直徑與樹高資料後，即可開始計算林木的碳貯存量，整體估計的流程可參照圖 6-1。一開始使用胸高直徑與樹高進行林木材積之推估；接著將材積依據轉換係數推估生物量；隨後再依據林木的碳含量比例推估碳貯存量；最後將碳量轉換獲得二氧化碳當量。

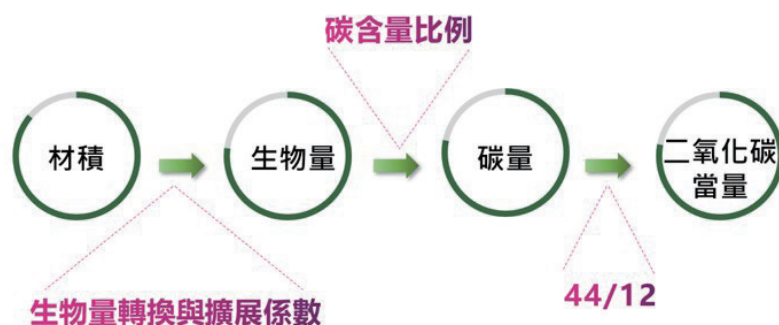


圖 6-1 林木二氧化碳當量推估流程之說明

碳貯存量推估則是以林木的材積乘以對應的轉換係數逐步轉換，相關係數包括林木密度 (Wood Density)、生物量擴展係數 (Biomass Expansion Factors, BEF)、根莖比 (Root to Shoot Ratio) 及碳含量比例 (Carbon Factor, CF) 等，以下逐一說明。

第二節 林木材積計算

一般在不破壞林木的情況下，常藉由胸高直徑及樹高推估林木材積，推估的方式常以胸高形數 (Breast Height form Factor) 推估及材積式 (Volume Equation) 推估最為常用 (表 6-1)。

表 6-1 林木材積推估方式之介紹

項目	形數計算	材積式計算
說明	● 根據胸高直徑及樹高計算之圓柱體與實際材積之比例	● 以統計迴歸推論所建立推論材積的數學模式，通常以胸高直徑與樹高做為自變項
優點	● 計算方法簡單快速 ● 適用性廣 ● 容易推論	● 獲得結果通常較精準合理 ● 可用於解釋或推估生長現象 ● 可更有系統的比較不同林木生長狀況
缺點	● 形數為單一固定值，難以衡量變異較大的狀況 ● 估計誤差通常較大	● 計算較複雜 ● 應用時需對照是否符合前提假設
計算方式	● 材積 = $(\pi/4) \times DBH^2 \times H \times (\text{胸高形數})$	參照表 6-2；表 6-3

胸高形數 (Breast Height form Factor) 可能隨著環境 (氣候、土壤) 及林況 (林型、樹種) 有些微變化，可依據地區及樹種查尋過去文獻或具公信力的資料並引用，若無適用形數時，且目標樹種無特殊狀況下，可依據《農業部辦理國有林林產物處分暨伐採查驗作業要點》第 5 點第 1 項第 3 款，以 0.45 進行計算，即公式估算為：材積 = $0.79 \times DBH^2 \times H \times 0.45$ 。

第二種常見的材積推估方式為將胸高直徑與樹高代入材積式 (Volume Equation) 進行推估。材積式計算過程相對複雜，其結果通常較貼近實際材積量，在使用上須注重模式建立與對應樹種屬性與環境特性以選擇合適的模式。國內材積式可參照相關發表研究或資料所建立之材積式進行立木材積推估，常見之材積式可參考林務局 (1995) 之彙整表，針葉樹種如表 6-2 所示，闊葉樹種如表 6-3 所示。在無法合理使用材積式的情況下，則建議採用形數，或直接以受測樹木作為樣本所建立之材積式，以避免過度外推之情形。在搜尋適用的材積式時，一般可參考 CDM tool (Demonstrating appropriateness of volume equations for estimation of aboveground tree biomass in A/R CDM project activities) 所列的標準，通常建議至少符合其中一項條件：

- (a) 模式已使用在國家相關森林監測或國家溫室氣體調查監測；
- (b) 模式已使用在林業部門至少 10 年以上時間；
- (c) 模式由至少 30 株樣木的數據所建立，且決定係數 (R^2) 不低於 0.85；
- (d) 模式若為專案區域中所建立，則至少 10 株樣木以上，且須通過成對 t 檢定。

表 6-2 常見針葉樹種之材積式 (林務局, 1995)

樹種	公式	樣本數量	R ²	地區	文獻 (參照林務局, 1995)
紅檜	$V=0.00043+0.00029D^2$	-	0.51317	荖濃a	黃崑崗 1997.06
	$V=0.00067+0.00023D^2$	-	0.64447	荖濃b	
	$V=0.07753-0.04222D+0.03052H+0.00137D^2$	-	0.99489	六龜a	
	$V=-0.00324-0.00022D+0.00090H+0.00004D^3H-0.00001H^2$	-	0.99997	六龜b	
	$V=-0.00448-0.01190D+0.00876H+0.00089D^2$	-	0.99284	阿里山	
	$V=-0.00908-0.00046D+0.00135H+0.00004D^3H$	-	0.99999	溪頭a	
	$V=0.17571-0.05571D+0.03085H+0.00173D^2$	-	0.99906	溪頭b	
	$V=0.00486-0.00592D+0.00446H+0.00052D^2$	-	0.99715	大雪山a	
	$V=-0.00181-0.00100D+0.00119H+0.00025D^2$	-	0.99442	大雪山b	
	$V=-0.00161-0.00411+0.00375H+0.00045D^2$	-	0.99658	大雪山c	
	$V=-0.02200-0.00322D+0.00263H$	-	0.61090	太平山a	
	$V=-0.02900+0.00381D+0.00284H$	-	0.91209	太平山b	
	$V=0.00010092D^{1.541061}H^{1.155141}$	-	0.9605	大雪山	陳朝圳 1985.05
紅檜、扁柏	$V=1.1439-0.0455D+0.0014D^2$	112	-	北部、中部	楊寶霖 (1969)
	$V=-0.7640+0.015717D+0.000655D^2$	1,941	-	北部	楊寶霖、石子材 (1963)
	$V=-0.68579+0.00772D+0.000809D^2$	1,382	-	中部	
	$V=-0.5977+0.009593D+0.000735D^2$	1,382	-	南部	
紅檜、臺灣杉、臺灣肖楠	$V=0.0000996D^{1.8505211}H^{0.7734288}$	19	-	全臺 (林相變更 20 年生以下)	羅紹麟、馮豐隆 (1986)
松類	$V=0.4564-0.0396D+0.0013D^2$	70	-	北、中部	楊寶霖 1969
	$V=0.3877-0.027164D+0.000919D^2$	252	-	北部	楊寶霖、石子材 (1963)
	$V=-487986-0.003504D+0.000905D^2$	1,043	-	中部	
	$V=0.4092-0.027500D+0.000920D^2$	344	-	南部	
琉球松	$V/B=-0.6656+0.5566H_t$ B：主、副林木胸高斷面積合計 H _t ：優勢木平均樹高	-	-	北部	林子玉 1974
	$\text{Log}V=-4.29959+1.66283\text{Log}D+1.45112\text{Log}H$	603	-	北部	劉慎孝、林子玉 (1970)
二葉松	$V=1.547675 \times 10^{-4} \times D^{1.700988} \times H^{0.721114}$	-	0.9845	全臺	羅紹麟、馮豐隆 (1986)
	$\text{Log}V=-4.20404+1.77924\text{Log}D+1.05866\text{Log}H$	-	0.99142	中、南部	黃崑崗 1970
松類、濕地松、琉球松	$V=0.0001430D^{1.7009164}H^{0.7410436}$	76	-	全臺 (林相變更 20 年生以下)	羅紹麟、馮豐隆 (1986)
其他松類	$V=0.0000625D^{1.77924}H^{1.05866}$	-	-	全臺	黃崑崗 1970
鐵杉	$V=0.0000728D^{1.944924}H^{0.800221}$	-	-		林業保育署 (1973)
鐵杉 鐵杉、 香杉	$V=-0.1795-0.004396D+0.000695D^2$	610	-	北部	楊寶霖、石子材 (1963)
	$V=0.7847-0.03527D+0.00088D^2$	2,120	-	中部	楊寶霖、石子材 (1963) 林業保育署 (1973)
	$V=0.7295-0.035418D+0.000846D^2$	807	-	南部	
	$V=0.0000728D^{1.944924}H^{0.800221}$	-	-	全臺	
冷杉	$V=-0.5066+0.005367D+0.000696D^2$	302	-	北部	楊寶霖、石子材 (1963)
冷杉 雲杉	$V=-0.694737+0.006194D+0.000834D^2$	532	-	中部	楊寶霖、石子材 (1963) 洪良斌、陳松藩、 羅新興 (1980)
	$V=-0.735678+0.006270D+0.000828D^2$	347	-	南部	
	$V=1.6784-0.02733800D-0.17769725H_t+0.00542227DH_t$	225	0.946	楠梓仙溪	

(續) 表 6-2 常見針葉樹種之材積式 (林務局, 1995)

樹種	公式	樣本數量	R ²	地區	文獻 (參照林務局, 1995)
雲杉 杉木	$V = -1.0731 + 0.021053D + 0.000797D^2$	619	-	-	楊寶霖、石子材 (1963)
	$V = -0.1997 - 0.002171D + 0.000783D^2$	307	-	-	楊寶霖、石子材 (1963)
	$\text{Log}V = -3.7376 + 2.4739\text{Log}D$	-	0.922	蓮花池	洪良斌 (1969)
杉木 香杉	$\text{Log}V = -3.72573 + 2.37078\text{Log}D$	-	-	中埔	洪良斌 (1953)
	$\text{Log}V = -3.620459 + 2.361074\text{Log}D$	-	-	能高林場	林子玉 (1963)
	$V = 0.0081 - 0.0011D - 0.0051H_t + 0.0011DH_t$	70	0.984	土場	劉宣誠 (1982)
	$V = 0.0069 + 0.00001D^3 - 0.0046H_t + 0.0003H_t^2 + 0.0004DH_t$	70	0.989	谷關	劉宣誠 (1982) 劉慎孝 (1969)
	$V = 0.0072 - 0.0077D + 0.0008D^2 + 0.0004H_t^2$	70	0.990	和社	
	$V = 0.0023 + 0.00002D^3 - 0.0020H_t + 0.0004H_t^2$	70	0.991	濁水溪	
	$V = -0.0005 - 0.0003D^2 + 0.00004D^3 + 0.0003H_t^2$	70	0.994	日月潭	
	$V = 0.0117 + 0.00037D - 0.0108H_t + 0.0006H_t^2 + 0.0005DH_t$	70	0.986	蓮華池	
	$V = 0.0056 - 0.0068D + 0.0008D^2 + 0.0003H_t^2$	70	0.983	藤枝	
	$\text{Log}V = 0.71300 + 1.34335\text{Log}D$	-	-	全臺	
	$V = -0.022780 + 0.000746D^2$	130	0.9797	蓮華池	劉宣誠、鄭宗元、陳麗琴 (1974)
柳杉	$V = 5.979663 \times 10^{-5} \times D^{1.8753322} \times H^{0.9740340}$	61	0.99634	全臺	羅紹麟、馮豐隆 (1985)
柳杉 臺灣杉	$\text{Log}V = -4.193148 + 0.933828\text{Log}(D^2H)$	74	-	臺大實驗林	楊榮啟 (1972)
	$\text{Log}V = 0.46902 + 1.53520\text{Log}D$	-	-	全臺	劉慎孝 (1975)
	$\text{Ln}V = 0.00036N + 0.16637H$ V: 由直徑分佈法算出每 ha 材積; N: t 時的每 ha 株數; H: 林分優勢木樹高	-	0.64265	全臺	楊榮啟、馮豐隆 (1989)
	$\text{Log}V = -4.193148 + 0.933828\text{Log}(D^2H)$	-	-	臺大實驗林	鄭進練 (1981)
	$\text{Log}V = -4.193148 + 0.933828\text{Log}(D^2H)$	-	-	臺大實驗林	楊榮啟、陳昭明、李國忠、林文亮 (1976)
	$V = 17^{-4.193148} D^{1.867658} H^{0.933828}$	-	0.98	臺大實驗林	馮豐隆、林子玉 (1991)
	$V = 0.0630 - 0.0237D + 0.0007D^2 + 0.0012DH_t$	6	0.984	六龜	劉宣誠、林國銓、唐讓雷 (1984)
臺灣杉 臺灣杉、 紅檜	$V = -0.577200 + 0.002115DH - 0.000305H^2$	140	-	玉山、六龜、台大實驗林	陳松藩 (1979)
	$V = 0.0000944D^{1.994741}H^{0.656961}$	-	-	全臺	林業保育署 (1973)
臺灣杉、 杉木、 香杉、 柳杉	$V = 0.0000702D^{1.8942224}H^{0.8869654}$	82	-	全臺 (林相變更 20 年生以下)	羅紹麟、馮豐隆 (1986)
其他針葉 樹	$\text{Log}(V \times 10) = -3.4692 + 2.0052\text{Log}D + 0.5598\text{Log}H + 0.0077F$	1,150	-	全臺	農林航空測量隊 (1959)

表 6-3 常見闊葉樹種之材積式 (林務局, 1995)

樹種	公式	樣本數量	R ²	地區	文獻 (參照林務局, 1995)
大葉 桃花心木	$V=0.0100-0.00871296D+0.00060626D^2+0.00047815DH$	-	0.995	中埔	劉宣誠、林銘輝、 曲俊麒 (1981)
	$V=0.0088-0.00727189D+0.00055226D^2+0.00047152DH$	-	0.994	石弄	
	$V=0.0104-0.00984010D+0.00029846D^2+0.00085657DH$	-	0.994	社子	
	$V=0.0101-0.00679346D+0.00058996D^2+0.00033654DH$	-	0.993	六龜	
	$V=0.0046-0.00473431D+0.00040606D^2+0.00040815DH$	-	0.991	恆春	
	$V=0.0096-0.00850270D+0.00028041D^2+0.00086209DH$	-	0.992	太麻里	
相思樹	$V=0.0002045D^{1.4366684}H^{0.8480426}$	20	-	-	羅紹麟、馮豐隆 (1986)
	$V/B=0.4769+0.4773H$ V: 立木材積合計; H: 優勢木平均樹高; B: 立木胸高斷面積合計	-	0.853	中部、南部	林子玉 (1972)
	$\text{Log}V=-4.35079+1.535731\text{Log}D+1.150657\text{Log}H$	32	-	中部、南部	林子玉 (1968)
	$\text{Log}V=-4.080211+1.599870\text{Log}D+1.089275\text{Log}H$	788	-	中部、南部	林子玉、楊豐昌、 伍木林 (1978)
木油桐	$V=-4.109545+1.770289\text{Log}D+0.982390\text{Log}H$	-	0.98874	全臺	林子玉、楊豐昌、 伍木林 (1978)
泡桐	$V=0.095701-0.015306H_t-0.006139D+0.001436H_tD+0.000013H_tD^2$	232	0.9789	全臺	劉宣誠 (1974)
光臘樹	$V=0.0000772D1.8780277H0.8124601$	22	-	東部、南部	羅紹麟、馮豐隆 (1986)
	$V=0.0018+0.00002D^3-0.0021H_t+0.0004H_t^2$	42	0.989	潮州事業區	劉宣誠、吳萬益 (1982)
	$V=0.0003+0.00002D^3-0.0012H_t+0.0003H_t^2$	42	0.996	潮州事業區 (第41 及 46 林班)	
	$V=0.0026-0.0038D+0.0005D^2+0.0003DH_t$	42	0.985	關山事業區	
銀合歡	$\text{Ln}V=-9.8000+1.65041\text{Ln}D+1.26416\text{Ln}H-0.00245828D^2$	38	0.9864	恆春、潮州事業區	陳朝圳、范貴珠 (1989)
赤楊、 摩鹿加合歡、 楠木類、 泡桐、 桉樹、 柚木、 楓香、 臺灣櫟	$V=0.0000834D^{1.8761885}H^{0.8058127}$	20	-	全臺 (林相變更 20 年生以下)	羅紹麟、馮豐隆 (1986)
其他闊葉樹	$V=-0.6172929499+0.0290345210D+0.000271665D^2H$	-	0.9612	臺大實驗林	賴清二 (1971)
	$V=-0.2343485022+0.0005023267D^2+0.0004289683DH+0.0000135119D^3H$	455	0.9060	濁水溪事業區	楊榮啟、賴清二 (1970)
	$V=0.0000464D^{1.53578}H^{1.50657}$	-	-	全臺	劉慎孝、林子玉 (1968)
	$V=0.0000862D^{1.8742}H^{0.8671}$	-	-	-	羅紹麟、馮豐隆 (1986)
	$\log(V \times 10)=-3.0884+1.8030\log D+0.7347\log H+0.0047F$	1,100	-	全臺	農林航空測量隊 (1959)

(續) 表 6-3 常見闊葉樹種之材積式 (林務局, 1995)

樹種	公式	樣本數量	R ²	地區	文獻 (參照林務局, 1995)
其他闊葉樹 (熱帶)	$V=0.2262-0.012267D+0.000596D^2$	356	-	北部	楊寶霖、石子財 (1963)
	$V=-0.3721+0.007362D+0.000489D^2$	342	-	中部	
	$V=-0.3159+0.006255D+0.000505D^2$	520	-	南部	
其他闊葉樹 (亞熱帶)	$V=0.2072-0.013181D+0.000642D^2$	1,646	-	北部	
	$V=-1.5211+0.053000D+0.000177D^2$	1,301	-	中部	
	$V=-0.2675+0.005054D+0.000507D^2$	739	-	南部	
其他闊葉樹 (溫帶)	$V=0.0038-0.013205D+0.000639D^2$	968	-	北部	
	$V=-1.4719+0.052453D+0.000119D^2$	916	-	中部	
	$V=-1.1744+0.03820D+0.000270D^2$	640	-	南部	
桂竹	$V=26.032D^{1.5777}H^{1.1237}$	397	0.9830	中部、南部	黃崑崗 (1972)
樟樹	$V=0.000048923D^{1.60450}H^{1.25502}$	99	0.9538	全臺	羅紹麟、馮豐隆 (1986)
楠木類	$V=0.0000853DH$	-	-	全臺	陳松藩 (1972)
楠木、 樟樹	$V=0.0000464D^{1.53575}H^{1.50657}$	-	-	全臺 (林相變更 20 年生以下)	羅紹麟、馮豐隆 (1986)
楠木、樟樹 (熱帶)	$V=-0.309942+0.004553D+0.000505D^2$	364	-	北部	楊寶霖、石子財 (1963)
楠木、樟樹 (熱帶)	$V=-0.179200+0.001526D+0.000519D^2$	299	-	中部	楊寶霖、石子財 (1963) 林子玉 (1975)
楠木、樟樹 (亞熱帶)	$V=0.2826+0.003875D+0.000473D^2$	303	-	南部	
楠木、樟樹 (亞熱帶)	$V=0.75894-0.039825D+0.000833D^2$	877	-	北部	
楠木、樟樹 (亞熱帶)	$V=0.409438-0.022048D+0.000704D^2$	658	-	中部	
楠木、樟樹 (溫帶)	$V=1.1045-0.048499D+0.000836D^2$	685	-	南部	
楠木、樟樹 (溫帶)	$V=0.79305-0.040112D+0.000811D^2$	493	-	北部	
楠木、樟樹 (溫帶)	$V=0.4565-0.021812D+0.000679D^2$	274	-	中部	
楠木、樟樹 (溫帶)	$V=-0.702808+0.019461D+0.000398D^2$	441	-	南部	
槲櫟類	$\text{Log}V=-4.0038576+1.8751297\text{Log}D+0.745544\text{Log}H$	928	0.9899	全臺	
槲櫟類 (亞熱帶高 價)	$V=0.2225-0.013141D+0.000584D^2$	266	-	北部	楊寶霖、石子財 (1963)
槲櫟類 (亞熱帶高 價)	$V=-0.6897+0.017390D+0.000448D^2$	231	-	中部	楊寶霖、石子財 (1963) 陳松藩 (1972)
槲櫟類 (亞熱帶高 價)	$V=0.5903-0.032226D+0.000760D^2$	198	-	南部	
槲櫟類 (亞熱帶低 價)	$V=-0.0874+0.000890D+0.000501D^2$	637	-	北部	
槲櫟類 (亞熱帶低 價)	$V=0.1585-0.009700D+0.000610D^2$	256	-	中部	
槲櫟類 (亞熱帶低 價)	$V=0.35739-0.019005D+0.000625D^2$	227	-	南部	
槲櫟類 (溫帶高價)	$V=-0.6290+0.022200D+0.000375D^2$	272	-	北部	
槲櫟類 (溫帶高價)	$V=0.3257-0.022200D+0.000720D^2$	290	-	中部	
槲櫟類 (溫帶低價)	$V=0.491953-0.027304D+0.000733D^2$	200	-	南部	
槲櫟類 (溫帶低價)	$V=-0.2979+0.005254D+0.000532D^2$	433	-	北部	
槲櫟類 (溫帶低價)	$V=0.1542-0.009830D+0.000608D^2$	456	-	中部	
樟楠類、 槲櫟類	$V=0.31845-0.018914D+0.000620D^2$	492	-	南部	
樟楠類、 槲櫟類	$V=0.0000863D^{1.8742}H^{0.8671}$	-	-	全臺	

第三節 碳貯存量之推估

林木材積推估林木二氧化碳流程 (圖 6-2) 需參考生物量擴展係數、根莖比、碳含量比例等轉換係數，以下進行說明。

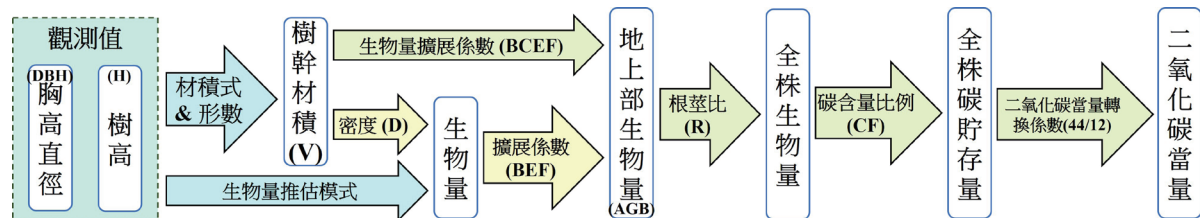


圖 6-2 林木二氧化碳當量計算流程

一 單木層級碳貯存量之計算

將林木材積推估為生物量之方式可分為兩種，第一種為立木材積乘以該樹種之生物量轉換係數（木材密度）與擴展係數（枝葉擴展）(Biomass Conversion and Expansion Factors, BCEFs) 計算而得；另一種方式先乘以林木密度 (Wood Density) 獲得幹部生物量後，再依據生物量擴展係數 (Biomass Expansion Factor, BEF) 進一步將幹部生物量擴展為地上部生物量，有關上述三種係數可參考環境部公告國內不同林型之碳貯存量推估相關係數，如表 6-4 所示。若有可參照之生物量推估模式，亦可越過材積與轉換係數，直接以胸高直徑、樹高和 / 或林齡等自變數，直接推估生物量。

獲得地上部生物量後，接著為推估林木整株生物量，意即須計算地下部生物量（根部生物量），林木地下部生物量推估通常為基於林木生物量在地上部及地下部的根莖比 (Root to Shoot Ratio) 轉換而獲得全株立木生物量根莖比係數可參考表 6-4，或引用其他具公信來源之文獻。

獲得整株林木之生物量後，接著為推估林木全株之碳貯存量，可藉由單木整株生物量乘以碳含量比例 (Carbon Factor, CF)，即能估算出碳量，林木的碳含量可參考表 6-4，或引用其他具公信來源之文獻。獲得碳貯存量後，可再進一步推估 CO₂ 當量，此步驟為依據 CO₂ 之分子量與 C 原子量的比值 (44/12) 換算出二氧化碳當量。

表 6-4 不同林型碳貯存量推估之相關係數及年生長量 (環境部，2023a)

林型	係數					
	基本比重 (D)	生物量擴展 係數 (BEF)	生物量轉換 與擴展係數 (BCEF)	根莖比 (R)	碳含量比例 (CF)	年生長量 ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)
天然針葉林	0.41	1.27	0.51	0.22	48.21%	4.14
天然針闊葉混淆林	0.49	1.34	0.72	0.23	47.56%	10.05
天然闊葉林	0.56	1.40	0.92	0.24	46.91%	3.58
人工針葉林	0.41	1.27	0.51	0.22	48.21%	8.11
人工針闊葉混淆林	0.49	1.34	0.72	0.23	47.56%	10.37
人工闊葉林	0.56	1.40	0.92	0.24	46.91%	4.34
木竹混淆林	0.49	1.34	0.72	0.23	47.56%	3.31
竹林	0.62	1.40	-	0.46	47.32%	13.84*

* 竹林年生長量單位為 ton ha^{-1}

。

二 林分層級碳貯存量之計算

當選定好碳匯計算項目、範圍及方式後，即可安排規劃碳貯存量之現場調查，以下以惠蓀林場巒大杉人工林為例進行介紹，如圖 6-3 所示。範例中巒大杉人工林矩形範圍為專案活動邊界，其面積為 0.42 ha，假設該林分呈現均質狀態，可採用簡單隨機取樣設計，劃設 4 個樣區，於各樣區進行每木調查，量測每木之胸高直徑 (DBH 單位 :cm) 及樹高 (H 單位 :m)，將之套入以惠蓀林場巒大杉立木材積模式，以計算樣區內每株立木之材積量，並進一步轉換為生物量與碳貯存量，並合計樣區內每株立木之碳貯存量。將樣區之碳貯存量合計值除以樣區面積後，即可獲得每一個樣區單位面積的碳貯存量，將其平均後即可獲得該林分之單位面積之平均碳貯存量。根據 CDM AR 方法學工具《Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities》之建議，其取樣之不確定性需低於 10 %，故當林木生長呈現不均質狀態時，其取樣設計建議採用分層取樣，以有效降低取樣誤差。獲得每公頃材積、生物量與碳貯存量後，與專案面積相乘，即可得到專案區域內的碳貯存量，並可再進一步將其轉換為二氧化碳當量。

森林碳貯存量調查之計算範例



樣區1				樣區2			
編號	DBH	H	V	編號	DBH	H	V
1	21.7	18	0.303	1	19.2	20	0.232
2	23.5	20	0.361	2	23.7	19	0.368
3	24.8	19.5	0.407	3	24.6	19.5	0.399
4	24.9	19	0.410	4	27.3	18.5	0.502
...	...	...	...	...	...	...	...
30	45	24	1.506	27	44.1	24.5	1.440

樣區3				樣區4			
編號	DBH	H	V	編號	DBH	H	V
1	23.7	19	0.368	1	19.2	20	0.232
2	29.7	24	0.604	2	23.7	19	0.368
3	33	23.5	0.762	3	24.6	19.5	0.399
4	33.1	24	0.767	4	27.3	18.5	0.502
...	...	...	...	...	...	...	...
25	52.1	25.5	2.078	21	54.7	27.5	2.312

所有樣區調查結果



報告結果應呈現每公頃之數值與範圍內總估計量

調查結果

材積(蓄積量)：454.33 m³ ha⁻¹
 地上部生物量：192.98 Mg ha⁻¹
 碳貯存量：113.76 Mg C ha⁻¹
 二氧化碳當量：417.12 ton CO₂e ha⁻¹



總估計量

造林地面積：0.42 ha
 材積(蓄積量)：190.82 m³
 地上部生物量：81.05 Mg
 碳貯存量：47.78 Mg C
 二氧化碳當量：175.19 ton CO₂e



樣區調查結果之碳匯量 (每公頃)			
樣區編號	材積	地上部生物量	碳貯存量
1	430.89	182.60	107.64
2	452.63	192.10	113.24
3	506.05	215.25	126.89
4	427.75	181.96	107.26
平均	454.33	192.98	113.76
標準差	36.21	15.55	9.17
不確定性	9.38%	9.48%	9.48%

須小於10% (符合標準)

圖 6-3 樣區調查結果推估森林碳貯存量範例

第七章 調查品質保證與管制

良好調查資料應具備精確性、準確性、完備性和可比性，為了確保森林碳匯調查具備有效性品質，一般在管控作業程序上會建立標準化程序 (Standard Operating Procedures, SOP)，其中包含品質保證 (Quality Assurance, QA) 與品質管制 (Quality Control, QC) 的流程，而通常 QA/QC 流程須由第三方獨立單位予以查驗證，以下進行說明。

第一節 調查資料品質稽核標準

由於調查可能受到測量誤差影響，進而導致嚴重的高估或低估。為了有效控管調查資料品質，通常會設定門檻值進行資料稽核作業。對於連續數值的觀測值，通常會設定資料的容許誤差 (Tolerance) 作為辨識資料是否相同，最後在整體評估上須符合與測量品質目標 (Measurement Quality Objective, MQO) 所規範之比例，資料稽核作業之說明及意義如表 7-1。

表 7-1 資料稽核作業之說明

項目		說明
稽核方式		$\frac{\text{檢測資料相異數量}}{\text{全部檢測資料數量}} < \text{資料品質目標 (MQO)}$ 註：資料相異判定可參考容許誤差 (tolerance)
說明	容許誤差	說明：判定資料相異的容許誤差範圍，離散變數沒有容許誤差。 檢定方式：當 $ \text{檢測結果} - \text{原調查結果} < \text{容許誤差}$ ，視為相同 範例 1：原觀測林木之 DBH 為 35.7 cm，在 QC 程序觀測為 35.8 cm，在容許誤差為 0.25 cm 的情況下，此筆觀測值可視為相同。 範例 2：原觀測林木之 H 為 21 m，在 QC 程序觀測為 23 m，在容許誤差為 1 m 的情況下，此筆觀測值視為相異。
	測量品質目標	說明：檢測結果容許資料相異的比例門檻 檢定方式： $< \text{MQO}$ ，則資料符合品質標準。 範例 1：由 250 株樣木檢定 20 株林木之 DBH，其中 1 株林木結果超過容許誤差，即資料相同比例為 95%，符合 DBH 的測量品質目標 (90%)，表示調查具可靠性。 範例 2：由 150 株樣木檢定 20 株林木之 H，其中 5 株林木結果超過容許誤差，即資料相同比例為 75%，未符合 H 的測量品質目標 (90%)，表示調查不具可靠性，且建議調查人員回訓。

本手冊參考了美國國家森林局 (United States Forest Service) 所發表之《全國森林清查國家核心實地指南》(Forest Inventory and Analysis National Core Field Guide for the Nationwide Forest Inventory) 所制定的標準，各調查資料之容許誤差與數據資料品質目標彙整如表 7-2。

表 7-2 資料容許偏差與資料品質目標

變數種類	觀測項目	單位	容許度 (tolerance)	資料品質目標 (MQO)
距離	樣區半徑或邊長	m	0.05 m	90%
	到樣區中心的距離	m	1.00 m	90%
	導線長度	m	0.50 m	90%
面積	分層面積	ha	0.5%	100%
單木測計	胸高直徑	cm	0.25 cm	90%
	樹高	m	1.00 m	90%
	樹冠幅	m	0.50 m	90%
枯木測計	殘幹長度	m	0.25 m	90%
	殘枝直徑	cm	0.25 cm	90%
枯落物測量	樣本重量	kg	0.25 kg	90%
	子樣本鮮重	kg	0.01 kg	90%
	子樣本乾重	kg	0.01 kg	90%
離散變數	樣本株數	株 (trees)	-	90%
	枯死木腐朽程度分級	class name	-	90%
	邊界木判定	界內 / 界外	-	90%

第二節 資料不確定性評估

資料不確定性為評估資料品質的重要指標，一般不確定性需低於 10%，計算方式為採用平均值與標準差計算信賴區間值進行推估，計算方式如表 7-3，須注意，當有分層時，應計算各分層的取樣狀況，及整體取樣情形。

表 7-3 不同取樣方式資料不確定性之計算

項目	說明
一般取樣	$u_c = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \times t_{(0.1, n-1)} ;$ $\left(\frac{u_c}{\bar{X}} \right) < 10\%$ u_c：不確定性誤差 σ：標準差 $\bar{X}$：平均值 $t_{(0.1, n-1)}$：統計檢定 t 值，須依據樣本數查表
分層取樣	$u_c = \frac{t_{VAL} \times \sqrt{\sum_{i=1}^M w_i^2 \times \frac{S_i^2}{n_i}}}{b_{tree}}$ u_c：不確定性 b_{tree}：單位面積平均生物量，單位為 t d.m. ha⁻¹ w_i：不同分層的面積比例，單位為 %； t_{VAL}：student's 雙尾 t 檢定在 90% 的信心水準臨界值，自由度為 n-M(分層數) S_i^2 為第 i 個分層中所有樣區所得單位面積生物量的變異數 n_i 為第 i 個分層中的樣區數量。
資料品質 不確定性總和	加法規則：$u_{total} = \sqrt{\frac{(U_1 \times E_1)^2 + (U_2 \times E_2)^2 + \dots + (U_n \times E_n)^2}{E_1 + E_2 + \dots + E_n}}$ 乘法規則：$u_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$ U_{total}：不確定性之總和 U_1、U_2、U_n：不同變亮的不確定性 E_1、E_2、E_n：不同變亮的不確定性

第三節 設備儀器及人員之檢驗

校正是指將一個尚未經過驗證精確度的測量儀器或方法，與一個已知精確度的測量儀器或方法進行比較，以檢測是否不符合所需性能規格或任何變化。在森林碳貯存量調查作業中，通常進行調整的範圍主要涵蓋裝備和人員技能這兩方面，以下分別說明。

一 裝備校正

用於測量的設備必須在測量開始前進行校正，且設備於使用期間應保持在已校正的狀態，特別是在使用電子或光學相關儀器，須隨時留意儀器的數值是否異常。

二 人員技能校正

調查人員現場測量技能與能力為影響調查資料品質的重要因素，因此於調查前，應適時的進行相關訓練（演練、複訓等）。受訓者（現場調查團隊）應在 QC 團隊監督下受訓及測試，直至達到認證標準。一般訓練包含三個步驟：1. 方法學的指導與說明（通常以室內課程進行）；2. 現場實作練習（由 QC 團隊陪同進行）；及 3. 成果表現獨立評估（由 QC 團隊對現場團隊進行評估）。另一方面，訓練也具有反饋作用，在進行訓練時，可從調查人員獲得調查工作設計與執行的資訊，進而調控人力及經費，以確保能夠達到目的。

三 調查紀錄書面化

品質保證 (QA) 的內容也包含將現場調查方法的紀錄及資料記錄系統兩者的書面化，書面化有助於釐清測量過程，並可提供提供相關人員作為資料蒐集之參考。理想的書面記錄應該能夠清楚追蹤資料從原始信息到最終報告的整個過程中的變化，如果有以前的資料或調查程序，也可以記錄下來，以供調查比對參考。若相對於前次調查，資料收集方法發生變化，則應確定並記錄方法的變化，以及對新舊方法進行比較。

參考文獻

- 農業部林業及自然保育署 (2006) 森林永久樣區調查工作手冊。農業委員會 林務局森林企劃組。共 27 頁。
- 環境部 (2023a) 2023 年中華民國國家溫室氣體排放清冊報告。環境部。共 275 頁。
- 環境部 (2023b) 自願減量專案介紹。溫室氣體自願減量暨抵換資訊平臺。
資料取自 <https://carbonoffset.moenv.gov.tw/VoluntaryReductionView/Intro>。擷取時間 2024.03.13。
- 環境部 (2023c) 環境部溫室氣體計畫型抵換專案計畫書格式 (第 3.1 版)。共 17 頁。
- 姚鶴年 (1987) 臺灣主要樹種立木材積—求積式之解析。臺灣林業 13(5)：3-13。
- 楊榮啓、林文亮 (2005) 森林測計學。國立教育研究院。共 309 頁。
- 林務局 (1995) 第三次臺灣森林資源及土地利用調查。行政院農委會林務局。
- Avery, T.E., Burkhardt, H.E. (2002) Forest measurements. 5th ed. McGraw Hill, Boston, MA. 456 pp.
- Bitterlich, W. (1947) Die Winkelzählmessung. Allgemeine Forst- und Holzwirtschaftliche Zeitung 58:94.
- Burkhardt, H.E., Tomé, M. (2012) Modeling forest trees and stands. Springer Science & Business Media: Berlin, Germany. 457 pp.
- Dibaba, A., Soromessa, T., Workneh, B. (2019) Carbon stock of the various carbon pools in Gerba-Dima moist Afromontane forest, South-western Ethiopia. Carbon Balance and Management 14:1, 10 pp.
- Kershaw, J.A., Ducey, M.J., Beers, T.W., Husch, B. (2016) Forest mensuration, 5th edition. John Wiley and Sons, Inc, New York, 632 pp.
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., & Wagner, F. (Eds.). (2003). Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES. Available at http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglu_lucf/gpglulucf.htm
- United Nations Climate Change Secretariat (UNFCCC) (2015) Measurements for estimation of carbon stocks in afforestation and reforestation project activities under the clean development mechanism : a field manual. Bonn, Germany: United Nations Climate Change Secretariat (UNFCCC). 70 p.

附錄

森林樣區調查紀錄表

樣區概述					
編號		記錄人員		調查時間	
設置時間		方位角		坐標 (TWD97)	
樣區面積		調查人員			
位置資訊					
行政區		海拔高		坡度	
坡向		林型			
時程紀錄					
步行時間	出發點：				
樣區設置所需時間					
尋找樣區路徑紀錄					

編號	樹種	胸高直徑 (cm)	樹高 (m)	林木狀態	坐標位置 -X (m)	坐標位置 -Y (m)	象限 (I/II)	備註
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								

~ 編號自行增加 ~

亦可參考農業部林業保育署永久樣區調查作業紀錄表

縮詞對照表

縮稱	英文名稱	中文名稱
A/R	Afforestation and Reforestation	造林與植林
BCEFs	Biomass Conversion and Expansion Factors	生物量轉換和擴展係數
BEF	Biomass Expansion Factor	生物量擴展係數
CDM	Clean Development Mechanism	清潔發展機制
DBH	Diameter at Breast Height	胸高直徑
GIS	Geographical Information System	地理資訊系統
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球衛星導航系統
GPS	Global Positioning System	全球定位系統
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	政府間氣候變遷小組
MRV	Measurement, Reporting and Verification	可測量、報告、查證機制
NET	Negative Emissions Technologies	負排放技術
QA	Quality Assurance	品質保證
QC	Quality Control	品質管制
RTK	Real-Time Kinematic	即時動態定位技術
UNFCCC	United Nations Framework Convention On Climate Change	聯合國氣候變遷綱要公約

測量單位

單位縮寫	單位名稱	中文名稱
ha	hectare	公頃
m ²	square meters	平方公尺
g	gram	公克
kg	kilogram	公斤
ton	tonne (metric)	噸 (公制)
ton CO _{2e}	tonne carbon dioxide equivalent	噸二氧化碳當量
cm	centimeters	公分
m	meter	公尺
km	kilometer	公里

中英對照表

中文名稱	英文名稱
基線情境	Baseline (Scenario)
歷史基線	Historical Baseline
動態基線	Dynamic Baseline
專案情境	Project (Scenario)
碳保存量	Carbon Conservation
碳吸存量	Carbon Sequestration
碳貯存量	Carbon Stock
碳替代	Carbon Substitution
淨零排放	Net Zero
永久樣區	Permanent Sample Plot
臨時樣區	Temporary Sample Plot
分層取樣	Stratification Sampling

林業叢刊第305號

森林碳匯調查與監測手冊

發行人 曾彥學
總策畫 吳孟玲
總審查 林俊成
撰文 林俊成、林政融、李隆恩、王培蓉、詹為巽
圖片 林政融
出版單位 農業部林業試驗所
100051 臺北市中正區南海路53號
電話：02-2303-9978
傳真：02-2375-4216
網址 <https://www.tfri.gov.tw>
出版日期 中華民國114年5月



