

# 建立台灣主要造林樹種之 碳儲存推估系統

文圖 陳朝圳 ■ 國立屏東科技大學森林系教授（通訊作者）  
陳建璋 ■ 實踐大學休閒產業管理學系助理教授  
魏浚紘 ■ 國立屏東科技大學生物資源研究所 博士班研究生

## 一、前言

熱帶雨林、其他森林、草原、溼地、湖泊河流、海洋、海岸與作物為全球八個主要的生態系統，也是人類社會重要的物質資源，其中森林又為陸地生態系中與人類生活最為息息相關。植物將二氧化碳轉換為有機碳儲存於生物體內，形成植物的生長聚積，對於減少大氣中的二氧化碳濃度具有實質貢獻，因此在全球暖化、全球溫室效應與氣候變遷中，林木扮演著蓄積二氧化碳之重要角色。於京都議定書中，將林木定成對二氧化碳的吸收源，其中林木可減緩二氧化碳的量在這6%中佔了3.9%的吸收量，由此可知在國際上已經將林木納為決策的重要項目之一，且對減緩全球暖化有一定的幫助，森林對大氣中的二氧化碳 有很大的儲存功能，隨著地球暖化、氣候變遷與冰川退縮，更應當找尋出合適的策略針對此問題給予解決。

目前評估全球各國對於二氧化碳減量的方式大概可分為三類，第一對排放超過額度之廠

商徵收碳稅；第二由廠商自行造林或提供資金於國外進行造林；第三則是透過碳排放權的交易來讓廠商可以自由分配其排放量，國外也有許多國家，如美國、俄羅斯、澳洲、巴西、馬來西亞、哥斯大黎加、百里斯、玻利維亞、墨西哥與巴拉圭等，均有建立森林資源碳交易制度(Moura-Costa and Stuart, 1998；Totten, 1999)。目前台灣對於因應全球暖化之相關政策，除減緩溫室氣體減量外，並無對於森林地區提出調適策略。林務局等相關政府單位目前有推動平地造林之運動，但仍無法提出全國性的整體國土規劃，且無完整主要造林樹種之健全資料，諸如此類之政策顯示實有必要建立主要造林樹種碳儲存系統，以作為相關部門研擬政策的重要參考依據。

碳儲存相關研究過程中，為達到區域性之問題解決，調查研究資料的整合與分享，將是達到網際網路碳儲存推估系統為最終目的必要手段，藉由網路的分享可建立各樹種相關位

置圖層，並將其相關研究成果建至於推估系統中，以利未來相關研究。

## 二、材料與方法

本研究預制訂GIS技術建立以生態氣候區所劃分之碳儲存推估系統，建立推估系統需要獲得一些基礎資料，使用戶端可透過簡單的測量資料即可獲得相關樹種之碳轉換係數相關資訊。本研究碳儲存計算方式採用IPCC等所制定之估公式，其中包括許多參數，如全株材積與幹材材積轉換係數、重量與材積轉換係數、碳含量轉換係數、擴展係數、基礎密度與碳含量轉換係數等，皆以目前國內外相關研究報告為主，若無相關資料則參考國外資料。

計算碳儲存最重要的即是獲得材積，係因林木生長狀況會因為生育環境不同會有所差異，故全台分區方式會以IPCC(2006)根據雨量區域之變異與海拔高之分配所區分出之氣候區與生態區等方式，來減少區域所造成之差異，而各分區之材積計算方式則以相關研究報告所建立之材積式為基礎，用戶端僅需提供樹種、胸徑與樹高等容易取得之資訊輸入至碳儲存推估系統中，即可換算成碳儲存量。

林木碳儲存計算之部分分為兩大類，一為單木碳儲存，另一則是林分碳儲存，用戶端透過網際網路進入推估系統介面，可選擇計算單木碳儲存或林分碳儲存，再選擇所在區域，輸入樹種、胸徑與樹高等相關參數，即可藉由推估系統所建立之公式直接計算出碳儲存量，並可預測未來可蓄積多少量。

### (一)氣候區與生態區圖層之建立

本研究為建立台灣地區之陸域生態區，以IPCC(2006)與FAO(2001)氣候區與生態區分類標

準，利用台灣大學全球變遷研究中心所提供的統計降尺度(Statistical Downscaling)溫度與降雨量資料，並以徐嘉君與林淑華(2008)所發展之氣候變遷情境模擬GCMS-CCS B2模式，進行2004年之月平均溫度與月累積降雨量的計算與模擬，並配合空間解析力20 m×20 m全台灣數位地形模型，劃分台灣氣候區與生態區，其劃分流程如圖1所示。

### (二)空間性網頁系統之建立

#### 1.推估系統建立原則

推估系統建置方法要符合正規化（標準化）程序，正規化是系統設計中的一系列原理和技術，以減少系統中資料冗餘，增進資料的一致性，第一正規化必須將內容相似的欄位刪除，且同一群相關的資料放在同一個資料表中，最後每筆資料須藉由主鍵(Primary Key)區分；第二正規化為當資料表中同欄位的內容有一直重複出現時，則將其分割獨立成數個小資料表，且這些小資料表需要用外鍵(Foreign Key)與其它資料表做連結；第三正規化為將與主鍵沒有直接相關的欄位必須切割移到獨立的資料表。

#### 2.網站系統建置

空間性頁面系統建置於伺服器Windows Server 2003環境中，並採用PHP搭配Javascript語言開發網頁，而網頁伺服器軟體Web Server 採用Apache ver2.2與GeoServer WebGIS開發，核心部份系統使用MySQL建置開發。資料操作員、瀏覽員與管理者可透過簡易操作之環境，經Web Server、Map Server、Search Engine、MySQL Server即可進行相關資料查詢與獲取。

#### 3.推估系統關聯模式(E-R Model)

以「個體-關聯模式」(Entity-Relationship

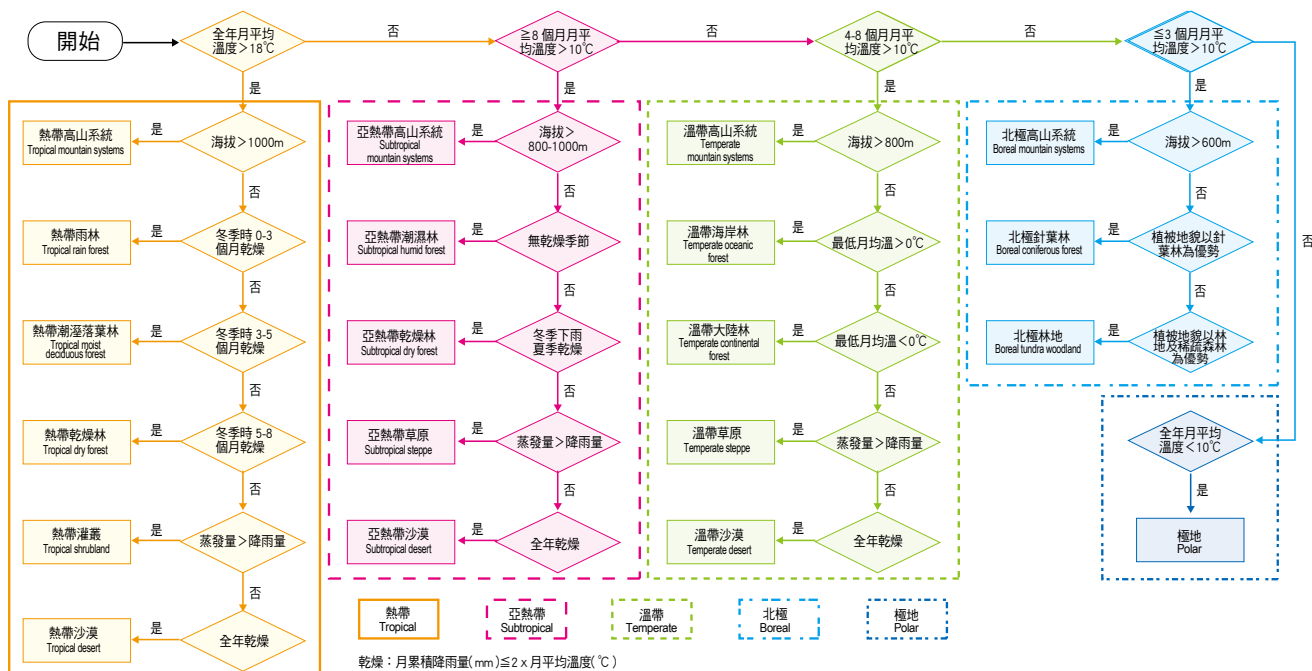


圖1 氣候生態區判斷圖

Model, E/R Model) 做說明, 「個體-關聯模式」是一種「語意資料模式」(Semantic Data Model), 可以幫助我們做資料的分析與規劃, 尤其圖示技巧, 我們稱之為「個體-關係圖」(Entity-Relationship Diagram, E/R Diagram), 因此可做為系統分析與邏輯分析設計的工具, 常被用來做為與使用者溝通的一項介面。

#### 4. 詮釋資料之建立

林木生長需透過吸收二氧化碳, 故可由林木生長量來推估碳儲存(Carbon Storage)進而瞭解固定多少二氧化碳, 而詮釋資料建立是達成資料流通之重要工作, 透過文獻分析法, 收集國外長期碳蓄積相關研究之詮釋資料內容與碳蓄積轉換係數, 如立木材積式、全株材積與幹材材積轉換係數、重量與材積轉換係數、碳含量轉換係數、二氧化碳與碳轉換係數與樹種相關資料等, 分別建立詮釋資料初步內容格式, 透

過IPCC所制定的碳蓄積量推估公式(式1), 進行碳蓄積量推估。

$$C_{plant} = V_{stem} \times V_{whole/stem} \times W0/Vg \times C_{con} \times (CO_2/C) \quad (式1)$$

$C_{plant}$ : 單株 $CO_2$ 儲存量、 $V_{stem}$ : 幹材材積、 $V_{whole/stem}$ : 全株材積與幹材材積轉換係數, 亦稱擴展係數(Expansion Factor, EF)、 $W0/Vg$ : 重量與材積轉換係數, 亦基礎密度(Density, D)、 $C_{con}$ : 碳含量轉換係數(Carbon Fraction, CF), 一般以0.5計算、 $CO_2/C$ : 二氧化碳與碳轉換係數,  $CO_2$ 分子量為44, C分子量為12。

本研究以上述步驟建立主要造林樹種之碳儲存推估系統, 依目標樹種以所收集到之林木材積式進行材積計算, 再根據IPCC所制定之碳儲存估算法進行碳儲存量之計算, 透過上述資料建立推估系統所需之詮釋資料, 並以空間性網頁系統串連, 即可讓用戶端進行查詢, 並

可與其他子計畫進行相關資料分析與探討。

### 三、結果與討論

藉由全球變遷研究中心所提供的氣象統計降尺度資料，並以徐嘉君與林淑華(2008)所發展之氣候變遷情境模擬GCMS-CCS B2模式進行2004年之月平均溫度與月累積降雨量之模擬，推算出2004年之月平均溫度與月累積降雨量網格資料，再配合台灣數位地形模型，以IPCC(2006)與FAO(2001)氣候區與生態區分類標準劃分台灣氣候區與生態區。

台灣地區依照IPCC(2006)氣候區與生態區劃分標準，可將台灣分成極地、寒帶、溫帶、亞熱帶與熱帶五種氣候區，並包含八種生態區(極地、寒帶高山系統、溫帶高山系統、亞熱帶潮濕林、亞熱帶高山系統、熱帶雨林、熱帶潮濕落葉林與熱帶乾燥林)，再依台灣村里與事業區林班範圍圖層進行生態氣候區套疊分析，將生態氣候區資訊匯入圖層中，若該村里或林班內包含兩個以上氣候區或生態區，則以面積較大之氣候區或生態區為主(圖2)，其中85.98%為亞熱

帶面積為30978.54 km<sup>2</sup>，其次為熱帶佔8.96%面積為3228.06 km<sup>2</sup>，雖北迴歸線通過台灣，但台灣地形崎嶇陡峭造成高山地區亦有溫帶、寒帶與極地等氣候形成特殊生態環境。

根據公式所需要之相關內容進行彙整，推估系統屬性資料大致區分成行政區索引表、事業區索引表、幹材材積計算表、全株材積係數表，亦稱擴展係數、比重密度係數表(重量與材積轉換係數，亦基礎密度)、碳含量係數表與樹種屬性表等7類。

推估系統建置後透過關聯性模式相互串連，建立5個資料典分別為公告資訊表資料典、行政區索引表資料典、事業區索引表資料典、材積計算表資料典與樹種屬性係數表資料典，並可由系統中屬性資料資料典(Schema)進行相關內容建置與查詢。

由於台灣平地造林樹種之種類繁多，其生長條件也有所差異，若要全面性來建立勢必需要收集大量資料，在短時間內困難度極高，故本研究鎖定台灣珍貴植物、高速公路沿線、常

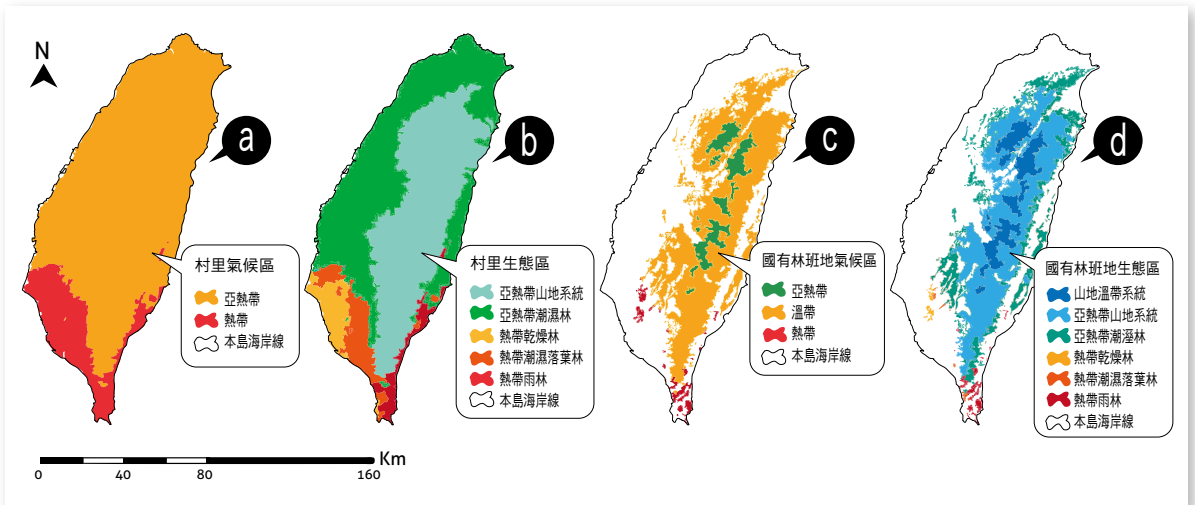


圖2 村里氣候區(a)、村里生態區(b)、事業區林班氣候區(c)、事業區林班生態區(d)

見行道樹與屏東境內台糖環保林園大道所栽植之樹種進行篩選，包括檫木、樟樹、相思樹、大葉桃花心木、台灣肖楠、光蠟樹、楓香、杉木、烏心石、桉樹、柳杉、紅檜、扁柏、印度紫檀、無患子、苦楝、紅豆杉、馬尾松、二葉松、鐵杉、冷杉、雲杉、台灣杉、其它針葉樹、楠木類、楮櫟類、泡桐、其他闊葉樹與楊樹

共29類，再配合國內現有調查資料建立全台分區碳儲存推估系統，若國內尚無資料的部分，則會參考國外相關報告或IPCC彙整資料作為參考，已達本計畫的目標，幹材材積計算表彙整至推估系統之詮釋資料，而其他轉換係數亦依照相同方式進行彙整。

根據本研究所整理的資料發現，各樹種之材積式並非每個生態區均有相關研究，若無相關研究者，則以氣候區之材積式取代之，若氣候區亦無法區分，則全台統一材積式。本推估系統後端管理介面以管理者登入之方式，可快速選擇樹種資訊，並可依照該樹種需變更之地區資訊進行變更，未來若有最新相關研究數據，即可變更使推估數值更加準確。

幹材材積轉換至全株碳蓄積量所需之相關係數，亦依照國內相關研究報告之結果進行彙整，若無資料者則以國外研究報告或IPCC相關資料取代，或以類似之樹種資料代替。根據王



圖3 碳儲存推估系統介面

瑞閔(2007)所彙整之擴展係數資料，可知相同樹種之擴展係數亦會隨著年齡而有所改變，一般介於1.3-2.0之間(Brown *et al.*, 1986; Sedjo, 1989; Winjum *et al.*, 1998)，基礎密度即連皮密度IPCC採用0.5，國內相關資料則介於0.3-0.5之間，碳含量轉換係數一般而言變化不大，多採用0.5計算，國內相關研究則介於0.46-0.49之間。

網站介面包括，標題圖片區、分類選單區、備註區、資料區與頁尾區等五項，首頁包含該計畫背景與網站管理單位、資料提供單位等資訊(圖3)，並可透過推估系統關聯模式(E-R Model)以及資料庫進行相關資料查詢。

分類選單可選擇計算區域性碳蓄積量、全台碳蓄積量與專有名詞解釋等相關選單，區域性碳蓄積量可計算單株林木材積與林分材積。一般民眾可使用區域性碳蓄積量功能估算碳蓄積量，依需求選擇單株立木或提供林分單位面積材積量，先選擇所在地之村里資料(行政區索





圖4 計算區域性碳蓄積量

引表)，林業研究者可選擇栽植環境之事業區林班資料(事業區索引表)，即可鎖定當地氣候環境，再依樹種進行相關數據資料輸入，即可獲得該林木之碳蓄積總量，如圖4所示。

國內有許多碳儲存的相關研究，但在資料彙整上並無太多相關研究，本研究以文獻彙整的方式，並透過網際網路提供計算與查詢相關資訊，以求將科學研究更加普及，讓人們更容易瞭解何謂碳儲存。

#### 四、結論與建議

台灣目前對於相關暖化之議題尚未有明確的政策擬定，且本土性植物之固碳效益資訊薄弱，為了配合國際間以造林、再造林及造林伐採之二氧化碳吸收或排放淨值來抵減二氧化碳的排放量，因此針對國內有關平地造林之參考文獻資料進行收集，配合國際間已有許多相關的政策正在執行，因此將國際的成果作為借鏡，並擬定出合適台灣平地造林之管理經營策略。

森林碳蓄積之研究主題涵蓋範圍廣，並非

所有的內容皆可考慮到各個部門，因此對於各部門之間要如何互相配合調適，必須仰賴各計劃間相互探討評估並密切配合方可達成。世界各國在2009年12月7日於丹麥哥本哈根舉行的氣候會議，各國必須配合幾個關鍵共識才能夠控制全球暖化，會議內容包含重新擬定限制溫室氣體排放之藍圖，並於2010年簽訂、限制全球暖化程度，控制在2度內，並大氣

中CO<sub>2</sub>含量濃度不超過450 ppm、確保美國與開發中國家一起努力減碳，並予以財務援助協助開發中國家減碳、確立減碳機制，透過限制與交易之機制達到減碳目標，以及最重要的保護森林資源以保護地球吸收CO<sub>2</sub>的能力。

台灣擁有廣大的森林面積，佔全島土地總面積58.53%，擁有相當高的林木蓄積量，根據林務局1995年統計全台林木蓄積量約3587,000,000 m<sup>3</sup>。目前國內環保意識抬頭，人人都可以為地球貢獻一份心力，透過學術研究相關推估模式，估算出其所栽植林木之生長蓄積量，使民眾更清楚栽植林木之效益，選擇符合最大碳儲存潛力的植物，藉此吸收工業生產所排放之CO<sub>2</sub>，達到CO<sub>2</sub>的減量目標。🌱

**致謝**  
 本研究承環保署國科會空污防制科研合作計畫NSC 98-EPA-M-003-003經費補助、全球氣候變遷中心與研究室同仁技術支援，得以順利完成，特此誌謝。本網站相關位置<http://140.127.11.124:8080/Carbon/index.php>