

研究報告

森林碳吸存資源調查推估模式系統－以台灣樟樹為例李宣德¹⁾ 馮豐隆^{1,2)}**摘 要**

在執行生態系經營與京都議定書中，推估國家層級的森林與土地利用部門的碳吸存、碳貯存和碳取代是非常重要的。首先要建立一個包含單株、林分、森林等多層級的地理資料庫，更而推估碳吸存及碳貯存量。並利用此資料建構機制與實證模式，來瞭解森林的狀況、功能和變遷。本研究乃研擬一套台灣森林碳吸存資源調查推估模式系統，也就是說整合國家資源調查、永久樣區及實證研究之調查資料，在時間、空間的考量下建構國家層級森林碳吸存資源的調查推估系統，可提供台灣每年某一林型、樹種的森林碳吸存與碳貯存量之推估。研究中以樟樹為例子，整合單株、林分、森林三個層級的資料，來推估樟樹的碳貯存量與碳吸存量。在森林層級方面，利用遙航測資料繪製台灣的土地利用型圖及林型圖，並分析台灣樟樹的分布狀況。在林分層級方面，利用林務局設定之84個樟樹永久樣區兩次調查的資料來瞭解林分結構、林分組成及林分生長狀況。在單株層級方面則由99株樟樹根、莖、葉生物量調查資料及84個永久樣區在不同時間點調查的每木生長資料來獲得林木不同部位的生物量比例及生長模式。而其結果顯示地上部的枝葉重在全株生物量所佔比例= $0.2002 [DBH/5 + 1]^{-0.8694}$ ([]表高斯符號)，地下部的根生物量在全株生物量所佔的比例，大約維持在28.95%左右，樟樹推估的結果顯示台灣樟樹國有林班人工林約有7722.66 ha，每公頃主幹生物量約69.86 tons ha⁻¹，含碳量約32.84 tons ha⁻¹；每公頃全株生物量平均約92.52 tons ha⁻¹，含碳量約43.48 tons ha⁻¹；而其碳量年增長率約為6%。並利用樟樹的碳推估結果製作每年的碳貯存量分布圖。未來各種林型的碳吸存及碳貯存量，皆可利用此理念、方法及步驟再進行推估。

關鍵詞：資源調查、蓄積量、永久樣區、生物量、碳變動量。

李宣德、馮豐隆。2008。森林碳吸存資源調查推估模式系統－以台灣樟樹為例。台灣林業科學 23(Supplement):S11-22。

Research paper

**A Forest Carbon Sequestration Inventory System :
An Example of Camphor Trees in Taiwan**Hsuan-Te Lee,¹⁾ Fong-Long Feng^{1,2)}**【 Summary 】**

¹⁾ 國立中興大學森林學系，40227台中市國光路250號 Department of Forestry, National Chung Hsing University, 250 Kuo Kuang Rd., Taichung 40227, Taiwan.

²⁾ 通訊作者 Corresponding author, e-mail: flfeng@nchu.edu.tw

2007年6月送審 2007年12月通過 Received June 2007, Accepted December 2007.

Estimating the country-based carbon sequestration by forestry and land-use section is very important work in ecosystem management (EM) and putting the *Kyoto Protocol* into practice. Developing a multi-scale geo-database management system (Geo-DBMS) at the individual tree, stand, ecosystem, and landscape levels is the first step in the process. Then, empirical and mechanistic models have to be developed to obtain spatial information of the status, function, and change in each level. In this paper, we attempted to develop a nationwide carbon sequestration inventory system for Taiwan with data from forest inventories, permanent sampling plots, and research. Integrating data of the tree, stand, and landscape levels to estimate the stock and flux of carbon (carbon sequestration) in various forest types and species is key. Camphor (*Cinnamomum camphora*) tree plantations were used as an example for estimating the carbon flux and stock in Taiwan. In the forest level, aerial photos were interpreted to produce land-use and land-cover maps of the camphor tree distribution in Taiwan. At the stand level, the stand composition, stand structure, growing stock, and stand growth were estimated from 84 permanent sampling plots for camphor trees. At the tree level, the aboveground weight was surveyed from 99 camphor trees in a biomass inventory in 1995. A camphor tree growth model was also developed for the permanent sampling plots. The models from different levels were integrated to estimate the stock and flux of tree volume and biomass. In the study, the aboveground parts (branches and leaves) accounted for $0.2002 [(DBH/5) + 1]^{-0.8694}$ of the biomass and that of the roots was 28.95%. The results for camphor trees were estimated to be a forest area of camphor tree plantations of 7722.66 ha; stem aboveground biomass of 69.86 tons ha⁻¹ and C stock of stems of 32.84 tons ha⁻¹; a complete tree biomass of 92.52 tons ha⁻¹ and C stock of complete tree of 43.48 tons ha⁻¹; and a carbon flux of growth rate of 6%. The carbon stocks of camphor trees were estimated and are displayed in distribution maps of several following years. In the future, we can estimate the stock and flux of each species in Taiwan with this national-level forest carbon sequestration inventory system.

Key words: forest inventory, growing stock, permanent sampling plot, biomass, carbon flow.

Lee HT, Feng FL. 2008. A forest carbon sequestration inventory system: an example of camphor trees in Taiwan. *Taiwan J For Sci* 23(Supplement):S11-22.

緒言

近二百年來，工業革命促進經濟快速繁榮與發展，人口急遽增加，使得能源耗用量大增，對環境產生極大的衝擊，環境污染問題日趨嚴重，由於大量燃燒石化燃料及大規模砍伐熱帶森林，使得大氣中溫室氣體濃度持續地增加，促進「溫室效應」，引發了「全球溫暖化」現象，其中又以二氧化碳排放為主要成因，其結果將會造成極冰融化、海平面升高等嚴重後果，導致全球氣候系統、區域降水型態發生變化，暴雨或乾旱事件頻傳、水資源分配不均窪地淹水、海流改變、魚場轉移等。

由於大氣中溫室氣體濃度持續地增加，

所造成的衝擊，亦影響至農、林、漁牧、水資源、海岸管理及社會經濟等各層面，在世界「地球村」的理念下，聯合國於1988年成立跨政府氣候變遷專家委員會(International Panel on Climate Change, IPCC)，對全球氣候變化問題作通盤探討，因此氣候變遷成為各國決策者及國際環保團體關切之議題，為因應此一趨勢，尋求國際間共同合作的解決方案，先後成立了許多國際組織制定氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC, 1992)及京都議定書(Kyoto Protocol 1997)，以期減緩溫室氣體排放，冀能

穩定全球氣候變化。

陸域生態系中，森林生態系對碳吸收、貯存及釋放具重要的貢獻。森林生態系統藉由吸收大氣中的二氧化碳轉化成生物量來聚積碳。碳被儲存於活的生物量內，包括活立木的樹幹、枝葉及根部，同時也存放於枯枝落葉的生物量中，包括枯枝落葉、木屑、土壤有機物質與森林製品。可影響植物及土壤之生質含量的任何活動，均可能從大氣中吸存碳，或是將碳釋放至大氣中。然台灣IPCC森林碳吸存釋放量計算有三大問題(1)影響CO₂釋放、吸存量很大的“土地利用面積變遷”，只有靠一、二十年一次的資源調查及航測判釋資料，顯然不足；(2)缺乏各主要林型、樹種的生長推估預測模式(3)土壤碳吸存與釋放資料之收集建立缺乏有系統的研究(Feng and Gao 1999)。

世界主要林業國家皆試圖建立符合京都議定書需求的實用國家森林資源調查系統，其內容大多利用各種國家森林調查資料系統、檢訂調查資料及樣區、樣木調查之實證研究等資料來建構國家森林資源調查系統(National Forest Inventory System)，以推估每年土地利用、土地利用變遷與森林部門(LULUCF)的碳吸存量與貯存量(Feng and Lee 2006)。然而，利用各種調查與研究所收集的資料來建立一個具時間、空間與調查對象的多層級地理空間資料庫管理系統(multi-level GeoBDMS)。以及由資料庫管理系統中擷取具層級結構的單株(林木)、林分(樣區)資料及森林(所代表的林型、植生型、植物生活型)資料等分別加以建模，正是完成『森林碳吸存資源調查推估模式系統』不可或缺的部分。

因此，本研究嘗試架構出一套適合台灣地區之『森林碳吸存資源調查推估模式系統』，從單株、林分、森林三個不同層級，其中森林層級資料為土地利用型、林型、綠資源分布之資料係由每年衛星與航空遙測影像資料產生。林分層級的資料係由永久樣區或臨時樣區得之。至於單株層級的資料則由各種林型之樣區內選取平均木進行樹幹解析或由樣木的胸高直徑(DBH)處鑽取生長錐之樹蕊、年輪來獲得。整合生長錐年輪寬度、密度資料，永久樣區資

料與林型資料。可以推估活樹體蓄積量、生物量與生長量，再由之推估全國某物種之碳貯存量與碳吸存量。

材料與方法

一、研究材料

(一)森林層級

1. 台灣地區地形資料—高程圖取自林務局農林航空測量所(Aerial Survey Office of Forest Bureau, ASOFB 2002)製作之40×40 m數值地形資料(Feng and Kao 2001)。

2. 為了要瞭解全島的土地利用現況，在1982~1995年進行台灣地區第三次土地利用及森林資源調查，包括蒐集全島森林資源之面積及蓄積的有關資料，實施全島的造林地清查，了解造林木生育狀況、並辦理林地分類，並建立森林地理資料庫(Taiwan Forest Bureau 1995)。而森林層級的資料包含了國有林土壤圖資料及土地利用圖及林型分布圖。

3. 台灣地區林務局各林區造林台帳資料—包括造林地所在事業區、林班、造林樹種、林齡等資料。

(二)林分層級

1. 為了持續而有效的收集國有林地的資料，並藉由這些連續調查資料的整合分析之後，掌握特定林相之生長模式，形成本土化的重要基本資料庫，有效擬定經營管理方案，讓林業之多目標經營和生態系經營理念能更加落實而有效的執行而設立的永久樣區資料，各事業區利用林型與海拔高為分層依據，共建立3,181個樣區。

2. 第三次土地利用及森林資源調查以3km系統取樣共3,996個的地面樣區。

(三)單株層級

1. 為了要瞭解台灣各地區各市場規格材積、重量、蓄積分佈情形，於1987年所調查的國有林地樟樹造林分布及99株樟樹生物量調查資料。(Lo and Feng 1987)。

二、研究方法

架構出一套森林多尺度碳吸存資源調查系統，從單株、林分、森林三個不同層級，整合單株生長與生物量資料，永久樣區資料與林型資料。推估地上部與地下部活樹體蓄積量、生物量與生長量，再由之推估碳貯存量與碳吸存量。

(一)資料調查與收集

將資料分為森林、林分、單株三個層級，建立多層級森林資料庫管理系統，並整合於地理資訊系統中。也就是說，對以往調查的資料予以收集，資料收集後應予以整理，使其格式一致、尺度一致、有效位數一致，並核對是否有不足、缺失值。將核對後不足、缺失之資料，予以規劃、設計調查。並選擇設立具有代表且經常性的永久樣區，以更新並獲得連續性的資料，使資料的累彙、分析更精確，並將所獲得的資料，加以處理、分析後，建立其相關模式、資訊，以建立多層級森林地理資料庫(Fig. 1)。包括DBH樹高曲線式、材積式、生長曲線式、密度、各部位生物量和DBH的關係或求算其與全株生物量的比例…等。

1.資料收集及相關分析

(1)單株層級—收集歷年的生長及重量(生物量)的相關研究資料，包含樹幹解析、生長錐所鑽取的木蕊、永久樣區每木調查及地上部、地下部的生物量資料等資料。

A. 生長資料分析—利用收集或調查的連年生長資料，包括樹幹解析或永久樣區長時間調查資料、利用生長錐實地鑽取木蕊所進行相關

的分析資料及兩次調查資料，來求算其生長模式。

B. 重量(生物量)資料—收集歷年有關於重量(生物量)研究資料，包含地上部(主幹+枝葉)與地下部(根部)，甚或全株(地上部+地下部)的生物量資料。分析相關資料，建立林木各組成部位與胸高直徑的關係或生物量分佈模式，以利生物量的推估。

(2)林分層級—收集過去林分結構、蓄積生長調查資料如實驗調查、資源調查、永久樣區之樣區、樣區的空間、時間之林分資料。並由樣區調查資料，探討林分結構與蓄積及林分生長*的狀況。

(3)森林層級—包含了生態系和地景兩部分，其內容包涵環境因子的資料、生態分區資料及森林與土地利用的資料。利用航遙測影像資料，進行判釋與影像處理，並進行土地利用型圖(地覆圖)製作，並進行環境因子的空間推估(點推面)。

2.新增資料

收集三個層級(森林、林分、單株)新獲得的資料，如自行進行的調查或者是由其他單位所進行的調查資料或新增資料。

(1)取樣設計—選擇設立具有代表且經常性的永久樣區，以更新並獲得連續性的資料。利用地景資料來進行林分層級的取樣調查，在配合由林務局利用林型圖與數值地型資料整合後所設置的永久樣區，根據土地利用型、海拔高、樣區內目標樹種株數百分比為其分層因子來進行取樣及調查。再利用林分調查資料來進行單株層級的取樣調查，依據樣區內樣木的DBH資料，選取最大值、最小值、及平均木三株林木進行生長錐鑽取，並進行相關分析。

(二)碳量推估

整個碳量推估過程分為兩大部分，其整個過程，如Fig. 2所示，內容大致如下：

* 林分生長變化情況可由 $V_{n+t} = V_n + G + I - C - M$ 表示之，其中 V_n 及 V_{n+t} 表第 n 及 $n+t$ 年的生長量； I (ingrowth)為晉級生長，即林木經過一定期間生長達到測定大小林木的數量(連續二次調查)； C (cut)表砍伐量，即林木經過一定期間伐倒數量(不能搬出或棄置林地)； M (mortality)表枯死量，即林木經過一定期間自然死亡、衰老、競爭、病蟲害、風、水害而致林木死亡的量。

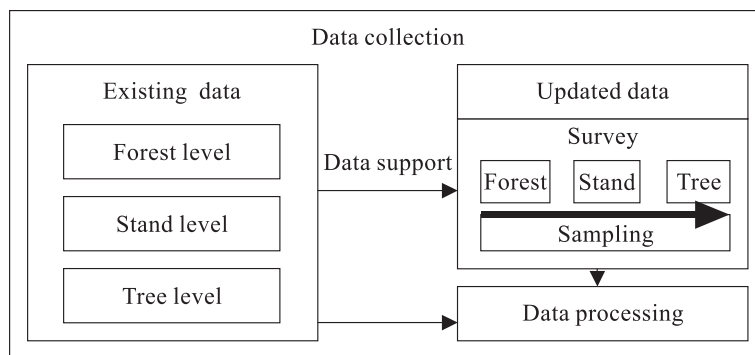


Fig. 1. Flow chart of data collection for the carbon sequestration inventory in forest.

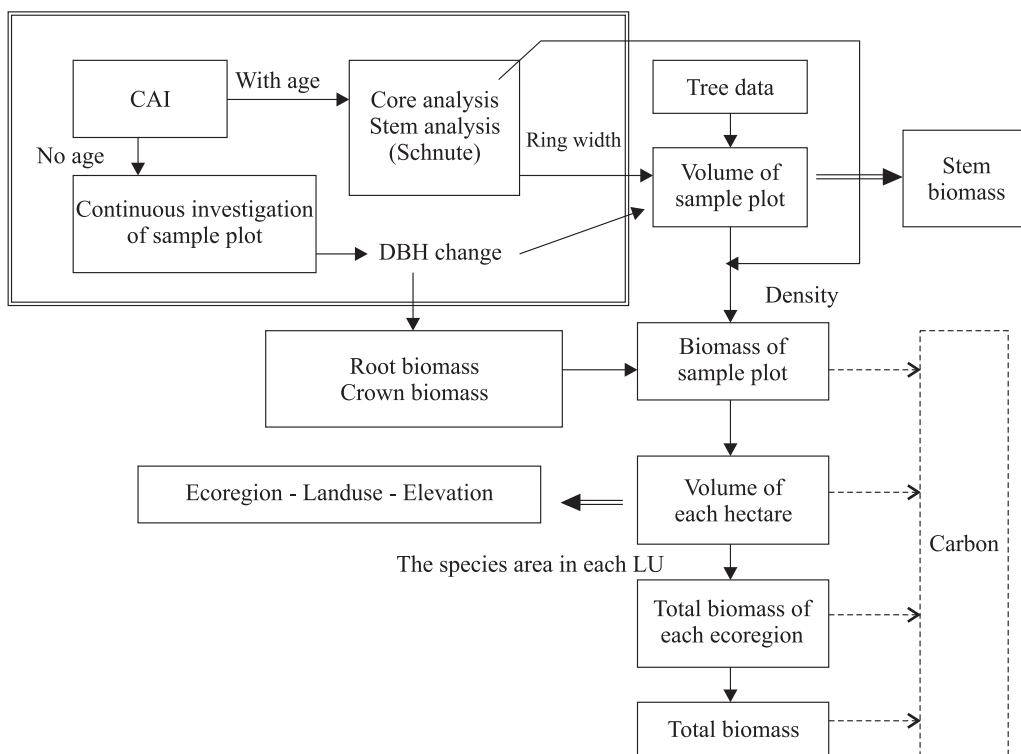


Fig. 2. Flow chart of carbon quantity estimation from the carbon sequestration surveys in forests. CAI, current annual increment; DBH, diameter at breast height; LU, land use.

1. 樣區生物量計算

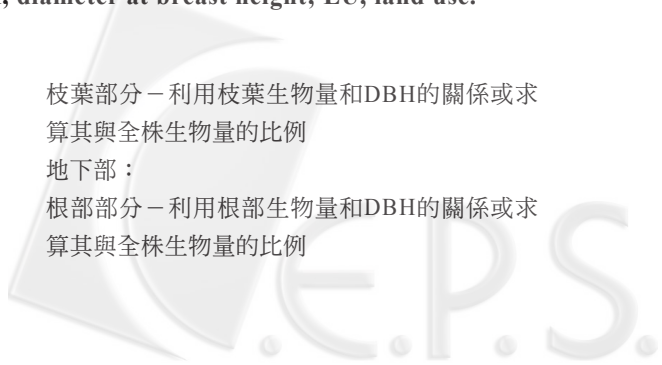
地上部：

主幹部分－利用SUM的方法($SUM = \sum v_i$)，配合樹高曲線式、材積式，求算樣區材積，最後換算成生物量(生物量=材積×密度)

枝葉部分－利用枝葉生物量和DBH的關係或求算其與全株生物量的比例

地下部：

根部部分－利用根部生物量和DBH的關係或求算其與全株生物量的比例



2. 每公頃生物量

利用樣區生物量的資料，配合樣區面積，求算樣區的每公頃生物量；並依據分層取樣的原則，進行每個分層的每公頃材積計算，若有多個樣區則加以平均。

3. 樣區含碳量

生物量 × 含碳率 = 林木碳吸存量

4. 土地利用型之總生物量(含碳量)

利用第三次資源調查的土地利用型，統計每一種利用型中，不同樹種樣區的比例及總樣區數，求算樟樹出現的比例，利用此比例統計每一種土地利用型中所占之面積；再將面積 × 每公頃生物量(含碳量)。

5. 碳吸存量(變化量)

(1) 基本資料分析，求算生長曲線式—利用樹蕊影像分析、樹幹解析資料、兩次樣區調查的資料等，來獲得生長資料，並求算生長模式、繪製生長曲線。

(2) 推估每年碳吸存量—獲得連年生長量後，利用碳貯存量推估流程，重新計算下一年的碳貯存量，相減後即得某一年之碳變化量。

結果與討論

一、台灣樟樹分布狀況

(一) 林分層級資料：將林務局的永久樣區資料，分別選取具有樟樹發生的樣區。

林務局的永久樣區資料，全台灣共3,181個。選取樟樹(301)發生之樣區有159個，其分布狀況如Fig. 3。並將在樣區內樟樹佔30%以上的樣區定為樟樹樣區(Fig. 4)共87個。

(二) 森林層級資料：統計包含樟樹樣區的土地利用型種類及海拔分布狀況(Table 1)。

87個樟樹樣區中，有3個位於天然林中，84個位於人工林中，且人工林中的樟樹樣區有56個位於樟樹造林地中，佔了2/3左右。而樟樹的分布以低海拔為主，約接近6成樟樹樣區分佈

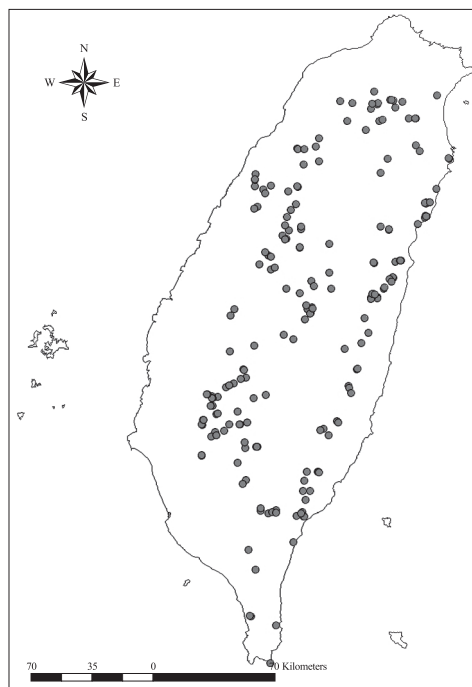


Fig. 3. Plots in which camphor trees occur.

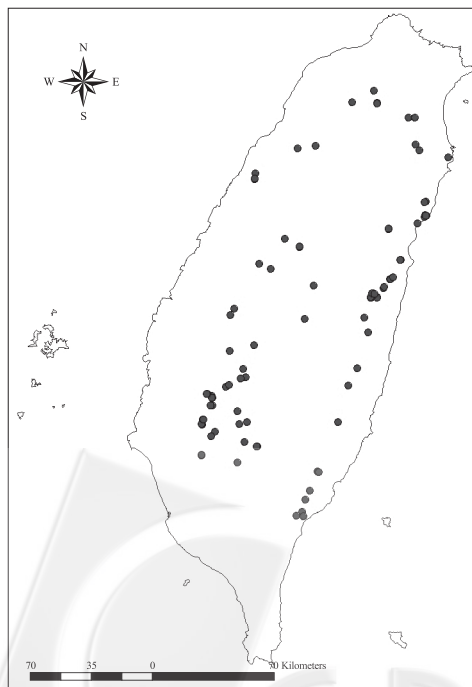


Fig. 4. Camphor tree plot distribution.

Table 1. Number of camphor tree plots distributed by different land-use types and elevation

Forest type	No. of plots	Elevation (m)	No. of plots
Broadleaf forest	1	0~500	50
Mixed forest	2	500~1000	23
Mixed plantation	5	1000~1500	14
Acacia plantation	3		
Camphor plantation	56		
Other broadleaf trees	3		
Mixed broadleaf Plantation	17		
Total	87		87

在500 m以下。

(三)單株層級資料：樟樹根部及枝葉生物量

林木的重量可區分成主幹、側枝和根部等三部分，而重量式和材積式一樣，皆在利用易測的因子如胸高直徑等林木屬性來求得欲知之重量。以Lo and Feng (1987)台灣樟樹生物量資源調查99株全株林木主幹、枝葉與根等各部位重量資料，建立樟樹人工林生物量和DBH的關係式。

1.根重

利用99株樟樹根重的資料，探討根重跟DBH的關係，將資料胸高直徑每5公分為一階，繪製直徑級與根重在全株生物量所佔的比例的關係圖(Fig. 5)，發覺DBH大小似乎對根生物量在全株生物量所佔的比例沒有很明顯，大約維持在29% (平均值為28.95%，標準差為2.01%)左右。Karizumi (1977)、Cairns et al. (1997)及Fukuda et al. (2003)皆提到根和總生物量的比率通常保持在一定數值之間。

2.枝葉重

利用99株樟樹枝葉重的資料，利用枝葉生物量和全株生物量的比例，探討枝葉重跟DBH的關係，將胸高直徑每5公分為一階，繪製直徑級與枝葉在全株生物量所佔的比例的關係圖(Fig. 6)，發覺DBH越大，則枝葉在全株生物量所佔的比例越低，經過曲線配置，發現兩者呈乘幕式關係 $y = ax^b$ ，結果如下：枝葉在全株生

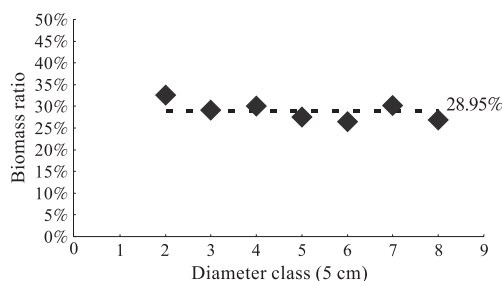


Fig. 5. Roots as a proportion of the total biomass (according to the diameter class).

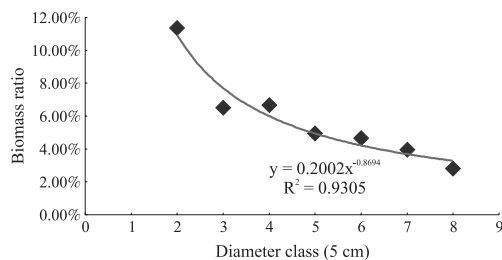


Fig. 6. Branch and leaf proportions of the total biomass (according to the diameter class).

物量所佔比例= $0.2002 [(DBH/5) + 1]^{-0.8694}$ ，其中[]表高斯符號，而此曲線式的 R^2 值為0.9305。

二、台灣樟樹碳貯存量推算

(一)計算樣區材積

林務局永久樣區的87個樟樹樣區中，有三個位於天然林中，本研究僅針對人工林的84個

樟樹樣區進行推估模擬。利用樣區的面積及樣區內各樣本的胸高直徑(DBH)、配合樟樹樹高曲線式【 $L = (-21.5673) + 12.1884 \ln(D)$ 】及材積式【 $V = 4.89823 * 10^{-5} * D^{1.6045} * L^{1.25502}$ 】，其中D表DBH (cm)、L表沿幹長(m)、V表材積(m³) (Lo and Feng 1987)，以求得各林木材積，再利用累積單株材積的方法($SUM = \sum_{i=1}^n V_i$)，即累積樣區內之林木材積，以獲得樣區材積，再除以樣區面積以獲得單位面積之材積量。

(二)樣區生物量計算

1.地上部分主幹和枝葉兩部分。主幹部份即利用先前所計算的材積來加以計算，利用生物量=材積×密度(0.37 g cm⁻³) (Lin et al. 2002)的關係式來計算主幹部分的生物量；至於枝葉部份，則利用全株生物量調查資料求得DBH與樹冠枝葉重的關係【枝葉重在全株生物量所佔比例=0.2002 [(DBH/5) + 1]^{-0.8694}】 ([]表高斯符號)，將樣區資料代入此關係式，求得樣區樹冠枝條生物量，進而計算地上部單位面積生物量。而地下部利用根生物量在全株生物量所佔的比例，大約維持在28.95%左右來計算，得到樣區根部生物量，進而計算地下部單位面積生物量。

2.計算每公頃生物量—依據分層，分區進行每公頃生物量的計算，如Table 2所示。

3.計算樟樹面積—利用樟樹樣區個數與樣區總個數的比例，推算樟樹在各分類的面積，結果如Table 3所示。

4.計算含碳量—利用生物量×含碳率(47%) = 林木含碳量的關係式(Lin et al. 2002)，來計算含碳量，結果如Table 4所示，其空間分佈狀況如Fig.7所示。

(三)台灣樟樹碳吸存量計算

利用生長錐所取得的樹蕊資料及樹幹解析資料，所獲得的生長曲線，求算不同年齡時的生長增量，資料進而求算各樣區的生長，來推估樟樹未來之碳變化量。但由於所獲得的資料並不完善(如有些林分無林齡資料、樣區尚未做連續調查等)，因此無法求得出每一分區的生長曲線，因此Vanclay (1989)提到利用2次的調查資料，來探討總生長量與連年生長量的關係，所以將已經進行2次調查的樣區資料，來探討總生長量與連年生長量，其關係式為 $\Delta DBH = 0.00003987 (280 - DBH) DBH^{1.273}$ (Fig. 8)，其中

Table 2. Biomass of camphor trees by forest type and elevation

Forest type	Elevation (m)	Stem biomass (ton ha ⁻¹)	Abrovground biomass (ton ha ⁻¹)
Mixed plantation	< 500	58.52	77.47
	500~1000	31.61	42.60
	> 1000	27.54	36.91
Acacia plantation	< 500	113.03	149.16
	500~1000	46.69	61.35
Camphor plantation	< 500	89.35	118.09
	500~1000	80.97	107.49
	> 1000	80.18	106.53
Other broadleaf trees	< 500	60.54	80.63
	500~1000	87.39	116.63
Mixed broadleaf plantation	< 500	65.09	86.25
	500~1000	93.76	123.46
	> 1000	64.36	85.46

Table 3. Plots and area of camphor tree distribution by forest type and elevation

Forest type	Elevation (m)	No. of camphor tree plots	No. of plots	Area (ha)	Estimated area (ha)
Mixed plantation	< 500	2	10	782.31	156.46
	500~1000	1	27	4340.36	160.75
	> 1000	2	32	19,756.27	1234.77
Acacia plantation	< 500	1	23	2415.78	105.03
	500~1000	2	40	6746.74	337.34
Camphor plantation	< 500	35	39	1874.89	1682.59
	500~1000	13	19	1149.51	786.51
	> 1000	8	8	374.29	374.29
Other broadleaf trees	< 500	2	45	3729.53	165.76
	500~1000	1	12	1516.58	126.38
Mixed broadleaf plantation	< 500	8	52	6152.16	946.49
	500~1000	6	28	4919.04	1054.08
	> 1000	3	23	4540.32	592.22
Total		84	358	58,297.78	7722.66

Table 4. Carbon stock for every level of camphor trees

Land-use type	Elevation (m)	Area (ha)	Stem biomass (ton)	Complete tree biomass (ton)	Stem carbon stock (ton)	Complete tree carbon stock (ton)
Mixed plantation	< 500	156.46	9156.16	12,121.11	4303.39	5696.92
	500~1000	160.75	5081.44	6848.12	2388.28	3218.62
	> 1000	1234.77	34,005.48	45,575.25	15,982.58	21,420.37
Acacia plantation	< 500	105.03	11,871.98	15,666.86	5579.83	7363.42
	500~1000	337.34	15,750.26	20,695.62	7402.62	9726.94
Camphor plantation	< 500	1682.59	150,342.14	198,695.07	70,660.81	93,386.68
	500~1000	786.51	63,685.27	84,542.83	29,932.08	39,735.13
	> 1000	374.29	30,010.57	39,873.11	14,104.97	18,740.36
Other broadleaf trees	< 500	165.76	10,034.92	13,364.98	4716.41	6281.54
	500~1000	126.38	11,044.49	14,739.89	5190.91	6927.75
Mixed broadleaf plantation	< 500	946.49	61,602.05	81,636.80	28,952.96	38,369.29
	500~1000	1054.08	98,830.54	130,136.72	46,450.35	61,164.26
	> 1000	592.22	38,115.00	50,610.75	17,914.05	23,787.05
Total		7,722.66	539,530.31	714,507.12	253,579.25	335,818.34
Carbon per ha.			69.86	92.52	32.84	43.48

280 (cm)為目前調查資料中樟樹的最大DBH，進而來求得每年的生長資料，更而推估樟樹未來之碳變化量(Table 5, Fig. 9)。

(四)碳吸存資源調查系統的建立

本研究提供一個整合利用國家資源調查

系統、永久樣區及實證研究等特性與單株、林分、森林三個層級的調查資料，在時間、空間的考量下建構國家層級碳吸存資源的調查系統，可提供台灣每年某一林型、樹種的森林碳吸存與碳貯存量之推估。系統中是假設不同氣候區、林型、海拔高、林齡的樟樹，其林分結

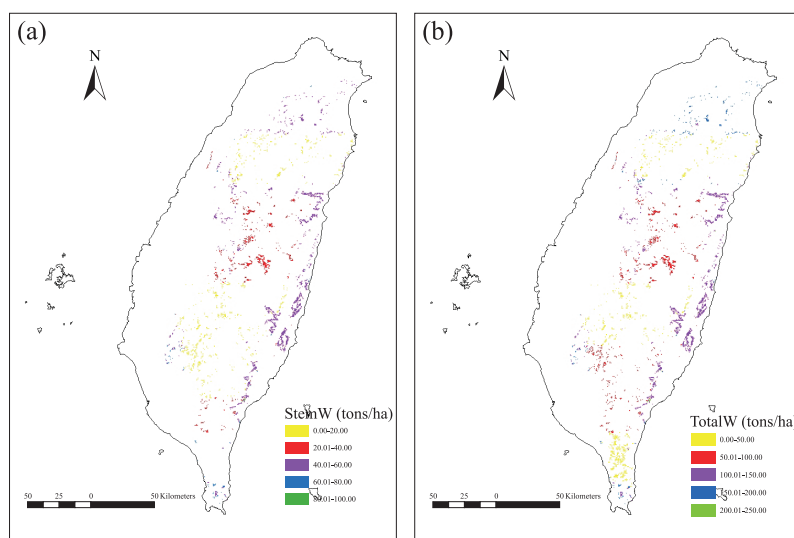


Fig. 7. Carbon stock of camphor trees (tons ha^{-1}). (a) stem part; (b) aboveground part.

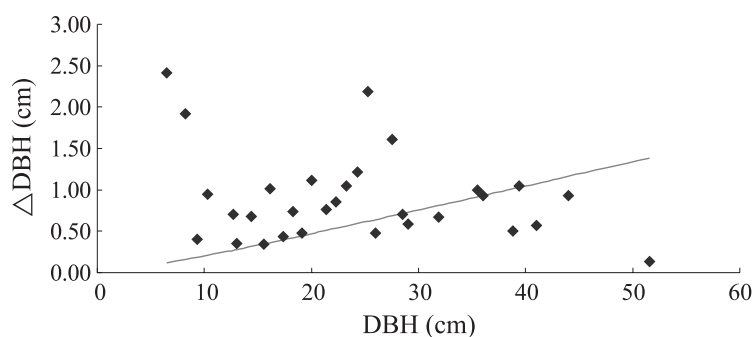


Fig. 8. Relationship of total growth and current annual increment (CAI).

Table 5. The carbon flux of camphor trees in Taiwan

Year	Total (tons)		Per ha. (tons ha^{-1})	
	C stock of stems	C stock of complete trees	C stock of stems	C stock of complete trees
2001	253,579.25	335,818.34	32.84	43.48
2002	268,806.63	355,939.04	34.81	46.09
2003	284,980.79	377,164.40	36.90	48.84
2004	302,101.72	399,573.33	39.12	51.74

構、林分組成、林分生長及林分蓄積、生物量、碳貯存量與吸存量的狀況可能會不相同。接著利用各分區的永久樣區之資料來進行各區生長資料的分析及林分生長模式建立，更而進行各分區的碳貯存量及吸存量的推算。

本報告目前僅利用相同之生長模式、轉換係數來做推估模擬。未來再積極找出各不同立地品位的樟樹之林分生長模式、甚或碳轉換係數是否有空間上的差異，值得未來完成林務局全台灣材積轉換係數有關全臺灣分布資料計畫

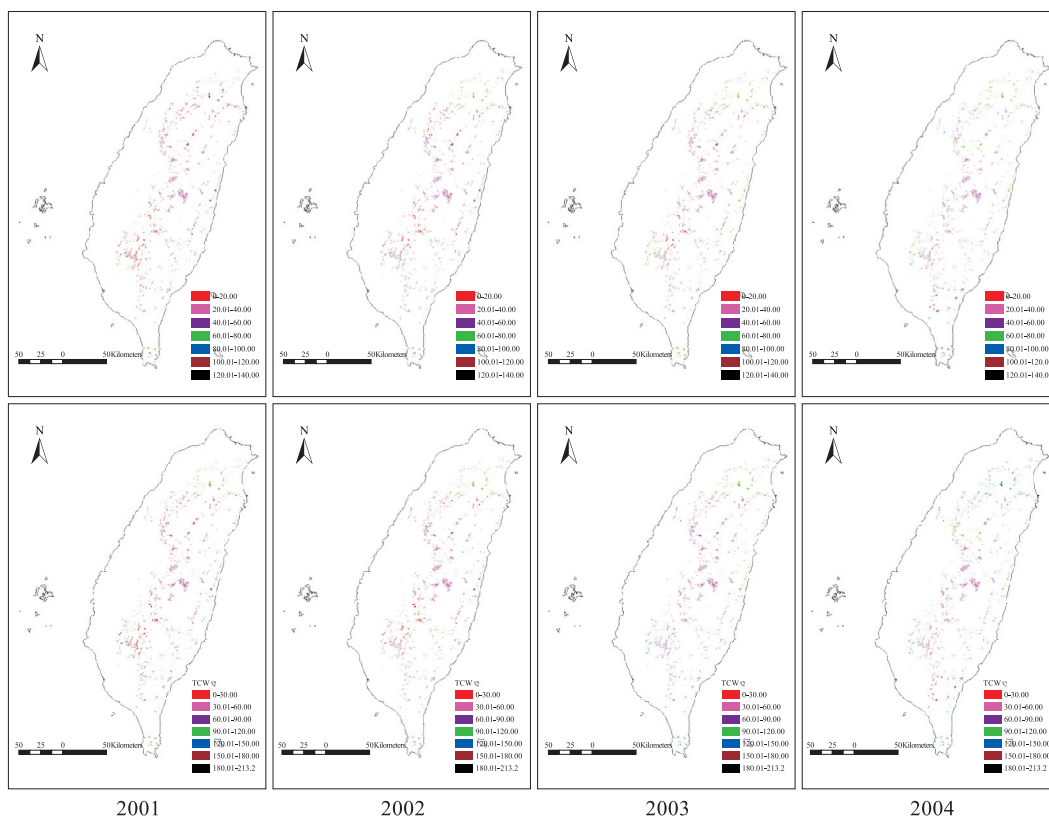


Fig. 9. Space distribution of carbon stocks of camphor trees in 2001~2004 (stem part and aboveground).

時，再做更詳細的探討，來求算碳貯存量、吸存量。

林務局過去已有設置2,800個森林永久樣區及第三次森林資源調查等相關的數據，並於2006年林務局委託宜蘭大學、文化大學、台灣大學、中興大學、嘉義大學及屏東科技大學等林業相關大學，在這些永久樣區範圍內，進行『森林蓄積量與生物量轉換模式之建立』計畫對柳杉、紅檜與樟樹進行蓄積量與生物量轉換模式之建立，未來全臺灣有關資料建立後，可找出各樹種之碳轉換係數，使用蓄積量來轉換成生物量的方式，套用其轉換係數，來求算碳貯存量。

結論與建議

本報告檢視是否可以利用現在的遙航測和

森林資源調查技術，發展一個國家層級的森林碳資源調查。在京都預定書的考量下，所需要的碳吸存資訊與目前與未來技術所能提供的資訊，加以整合探討。因此利用森林資源調查的評估與回復，以資源調查方法-生物量和碳推估來進行國際碳貯存的推計，以對國際碳吸存計劃之政策分析與政府決策參考。結果顯示台灣樟樹約有7722.66 ha，每公頃主幹生物量約69.86 ton，含碳量約32.84 ton；每公頃全株生物量約92.52 ton，含碳量約43.48 ton；而其碳量年增長率約為6%。

碳吸存資源調查的籌備規劃，宜整合單株、林分、森林三個層級的資料，諸如樹幹解析、生長錐鑽取之樹蕊、樣木調查(含地點位置座標資料)等單株層級資料；第三次資源調查的航空照片樣點、地面樣區資料，由1995年以來，林務局配合事業區檢定調查，逐年於全

台灣37個事業區內，依主要林型及海拔高分佈特性設立永久樣區，樟樹生物量資源調查，還有過去的研究調查樣區資料等林分層級資料；以及土地利用型、林型、衛星與航空遙測影像資料、過去造林的台帳、伐木台帳、不同時間、空間尺度的全台灣地形、氣候與土壤等森林層級的資料。結合遙航測大範圍的土地利用之地景資料、地面樣區、調查樣本與生長錐的調查。航遙測、樣區、生長錐的調查技術與資料，整合成一多尺度碳資源調查系統，使地真的林分蓄積、生長資料、林木生長密度資料與國家層級資源調查的遙航測整合於地理資訊系統(GIS)，以利尺度擴大(scaling-up)之用，並來進行台灣地區森林的碳貯存量與碳吸存量。

引用文獻

- Cairns MA, Brown S, Helmer EH, Baumgardner GA. 1997.** Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* 111:1-11.
- Feng FL, Kao JT. 2001.** Application and simulation in eco-region of Taiwan by Holdridge method. *Q J For Res* 23(1):83-100.
- Feng FL, Lee HT. 2006.** Practical national forest inventory systems to meet the requirements of the Kyoto Protocol. *Taiwan For J* 32(4):32-46.
- Fukuda M, Iehara T, Matsumoto M. 2003.** Carbon stock estimates for sugi and hinoki forests in Japan. *For Ecol Manage* 184:1-16.
- Karizumi N. 1977.** Root biomass. In: Shidei T, Kira T, editors. Primary productivity of Japanese forests: productivity of terrestrial communities, JIBP synthesis. Tokyo: University of Tokyo Press. p 45-52.
- Lin YJ, Liu CP, Lin JC. 2002.** Measurement of specific gravity and carbon content of important timber species in Taiwan. *Taiwan J For Sci* 17(3):291-9.
- Lo SL, Feng FL. 1987.** The biomass survey and analysis method used in inventory of camphor stand. *Bull Exp For Natl Chung Hsing University* 8:67-87.
- Taiwan Forest Bureau. 1995.** The third forest resource and land use inventory in Taiwan. Council of Agriculture. 258 p.
- Vanclay JK. 1989.** A growth model for North Queensland rainforests. *For Ecol Manage* 27: 245-71.

