

# 符合京都議定書需求的實用國家森林資源調查系統

文、圖 ■ 馮豐隆 ■ 國立中興大學森林系教授（通訊作者）

李宣德 ■ 國立中興大學森林系博士班研究生

自從聯合國環境與發展委員會（United Nation Committee of Environment and Development, UNCED）於1992年年會後，世界各國專家正式認定森林在氣候溫暖化裡扮演減量（mitigation）的關鍵角色。森林在碳平衡的排放源（source, emission）與吸存匯（sink, sequestration）的報告內容，皆需要使用能驗證（verifiable）且透明化（transparent）的科學數據資料來評估，國際氣候變遷各國委員會（IPCC）提供IPCC執行手冊（IPCC Good Practice Guidance）來完成森林與土地利用、土地利用變遷與森林部門（Landuse, Landuse Change and Forestry, LULUCF），有關碳貯存改變與溫室氣體釋放的推估方法與報告內容。且在Buenos Aires第10屆COP會議裏做最後定稿，在這版本裡顯示各國需基於土地利用與森林部門碳釋放量、碳吸存量推估的監測過程與分析量測項目，來發展森林資源調查系統（Forest Inventory System）。

京都議定書（Kyoto Protocol, KP）內容和碳貯存的推估與土地變遷（Article 3.3）及森林經營（Article 3.4）有關。國家

碳會計系統（National carbon accounting system）必須能提供推估碳會計範圍之土地種類的辨認以為不同碳會計之推算，屬於空間外顯性方法（spatially explicit approach）的森林碳會計，提供空間資料與模式工具的整合，符合京都議定書碳會計資料推算的需求。

日本森林綜合研究所林業經濟、政策研究領域、林業系統研究室所長松本光朗（Mitsuo Matsumoto）與早稻田大學天野（Masahiro Amamo），在2004年11月15 - 16日在京都舉辦一個標題為「符合京都議定書需求的實用國家森林資源調查系統（Practical National Forest Inventory System to meet the Requirements of the Kyoto Protocol）」的國際研討會。

這次會議之參與國家有法國、瑞典、英國、紐西蘭、加拿大、德國、蘇俄與日本等八個國家，各國分別針對其國家在「實用國家森林資源調查系統」前提下，提出各國在符合聯合國氣候變化綱要公約（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）之國家通訊（National Communication）報告和京都議定書的補充



需求 (Supplementary requirements under the Kyoto Protocol) 經驗當中，說明要如何用永久樣區、航遙測、空間製圖、模式等技術克服各種障礙以符合聯合國的氣候變化綱要公約。

很自然地，基於各國的經驗，來討論合作事宜，同時透過國際共同議定的原則與符合當前世界的需求，來發展森林資源調查系統。其實，若沒有分享彼此的觀念、方法與經驗是無法有效地建立滿足UNFCCC與京都議定書補充需求的森林資源調查系統。因此，此研討會舉辦後正好給了蘇俄 (Russian Federation) 非常正面的背景，而有2005年2月16日京都議定書簽署生效。

森林資訊的需求，隨著正在進行或討論的森林有關的國際協議如UNFCCC、KP、CBD (Convention on Biological Diversity)、UNFF (United Nations Forum on Forests) 等而增加。這些國際協議書促使森林部門去發展新的資源調查系統，這個系統不僅提供林木方面的資訊，而且也要針對森林非木材價值的各種森林功能、財貨與勞務的資訊加以提供，所有全球有關森林的協議書，皆強調廣域範圍的森林資源與整個森林生態系的功能與在時間過程的變遷，而且這些資訊需透明化、科學化，所以該研討會在交換觀念與技術方法上，起了相當大的功效，而台灣目前也正好為了因應UNFCCC、KP與森林生態系永續經營準則與指標之建立，而欲進行第4次森林資源調查。而中興大學森林學系森林資源調查分析與空間資訊研

究室一直發展碳吸存地理空間資料庫，利用5S空間技術以空間外顯方法建立台灣森林資源調查系統 (National Forest Inventory System) 的資料蒐集、多層級地理空間資料庫管理系統 (multi-level GeoBDMS)，更而由資料庫管理系統中擷取單株 (林木)、林分 (樣區) 資料及其所代表的林型、植生型、植物生活型等分別加以建模，推估每年土地利用、土地利用變遷與森林部門 (LULUCF) 的碳吸存量與釋放量。因此特將其研習會內容閱讀加以彙整，依次介紹各國在因應UNFCCC之國家通訊與京都議定書需求，所進行國家資源調查支援的情形，以為“他山之石，可以攻錯”，研擬建立台灣一符合UNFCCC與KP需求的國家資源調查系統。

## 一、法國

法國森林碳會計系統 (Forest carbon accounting system) 藉由法國農部的國家資源調查，提供UNFCCC報告有關土地利用、土地利用變遷與森林部門 (LULUCF) 資料。其資料來源是基於：(一) 基於樣點取樣調查，已有40年歷史的資源調查 (NFI)，(二) 土地利用 / 地覆調查 (TERUTI) 和 (三) 最近進行的LUCAS。

係為依據KP在Article 3.3和Article 3.4下，每年土地面積的資料評估，皆與土地利用的面積資料與土地利用改變 (如ARD，見附註) 或非森林經營有關，而NFI即可獲得這些資料以提供碳貯存量改變的監測。最近法國林業當局，在森林材積轉換為碳貯存上

做改進，但目前尚有以下3個重要方面的研究需要加以探討：

(一) 由LUCAS取樣調查系統中，重新建立KP規定之基年1990年的土地利用狀況。

(二) 評估5個碳池碳貯存改變，尤其是枯枝落葉與土壤有關物質。

(三) 評估法屬奎亞那 (France Guiana) 熱帶雨林伐採面積。

其FIA分為3個步驟：

(一) 由航空照片的判釋，進而林型圖繪製，依系統取樣每30~40 ha取一樣點，進行連續森林資源調查。

(二) 實施依經費與能力，約每130~200 ha取一地面樣區，進行地面樣區調查並進行次樣區分層取樣。

(三) 地面樣區調查包括1. 直徑25 m的圓形樣區，調查項目有林分結構、樹種組成、伐木狀況、地形、土壤與腐質型、土壤厚度及林木的生長狀況；2. 依林木大小在樣區6 m、9 m、15 m半徑的3個同心圓，進行林木直徑與年輪寬調查，進而計算5年內，每年平均生長量。

## 二、瑞典

瑞典預定2005年能完成符合UNFCCC和KP有關LULUCF部門溫室氣體排放量與吸存量的推估系統，而此系統係基於瑞典森林資源調查 (Swedish NFI)，並依據其樣區的網路，在此NFI中有40,000個永久樣區 (Permanent Sample Plot, PSP)，樣區 (約建立於1983~1987) 每5~10年重測1次。因

為，此樣區涵蓋瑞典全國所有土地利用型，所以形成推估不同土地利用項目和土地利用轉換上很好的基礎，另外可提供KP中ARD和森林經營資訊的依據，而NFI樣區將與其他林業目的衛星影像 (Swedish Board of Forestry) 使用的評估系統共同進行不同碳池的碳量變化推估，不但由連續的NFI調查資料或透過內插或外插而完成，也透過模式和國家認定的圖層來完成，原則上省錢且有效地由NFI提供KP中LULUCF所需的面積和碳貯存量改變的推估。

瑞典的LULUCF報告系統主要為：

(一) 國家定義的不同土地利用類型、經營型來推估碳池。

(二) 不同土地利用類型和土地利用轉換的推估系統。

(三) 推估5個不同碳池 (即地上部生物量、地下部生物量、枯枝落葉層、枯死林木和土壤碳等)，非CO<sub>2</sub>氣體變遷的套裝系統，而是其方法必須針對36個主要土地利用類型和其轉換方法來加以建立的。

(四) 各主要類型之LULUCF評估系統。

(五) 不確定性推估方法的建立。

(六) LULUCF模組的品質確保與品質控制。

(七) 驗證 (verification) 方法與過程—調查土地利用與森林有關之狀況，可以歸納為：1. 前一期是森林，後一期也是森林 (Forest remaining forest)。2. 前一期是森林，後一期變為其他土地使用方式 (Forest → other land use)。3. 前一期是稻作或草生



地，後一期變為森林土地使用方式（Cropland or grassland which non CO<sub>2</sub> emission and removal → forest）。

### 三、英國

英國環境部食物與鄉村事務（Department for the Environment, Food and Rural Affairs, DEFRA）之Jim Penman，發表森林在英國溫室氣體資源調查與京都預定書的需求（Forests in the UK Green House Gas Inventory and Kyoto Requirement），DEFRA是負責每年在4月15日，提供英國溫室氣體清冊給UNFCCC的單位，並透過與研究單位的契約來提供有關的資料。這些單位包括國家環境技術中心（National Environmental Technology Center, NETCEN），與生態與水文中心（Center for Ecology and Hydrology, CEH）。NETCEN和CEH分別負責彙集所有資料，也提供有關土地利用、土地利用變遷與森林資源調查資料與溫室氣體清冊。而其中有許多其他契約和資料來源是資源調查的資料，英國生產第一期全陸域碳貯存會計（Full terrestrial carbon stock account）是在1993年，是英國第1次提供UNFCCC的國家通訊（National communication），這個內涵是推估森林、其他植生和土壤的吸收與釋放；CEH利用已建構好的土地與地覆之地理與物理特性，配合土壤調查資料，推估每單位面積之碳貯存，更繪製碳貯存主題圖，而這碳貯存圖是20 km × 20 km 網格平均值表示。到1997年英國已發展一個

基於遙測的地覆圖與碳貯存密度圖（carbon stock density map），遙測的材料為30 m解析度的LANDSAT資料，更再利用其去建立1 km × 1 km網格主要地覆圖，並進一步的結合土壤碳密度（soil carbon density）分布圖。土壤碳密度分布圖係由土壤型圖加上樣區核心資料推估繪製，亦為1 km × 1 km網格。目前依這兩個主題圖：植生碳分佈圖（vegetation carbon）和土壤碳分佈圖（soil carbon）表示，英國大約有11%是覆蓋植生（蘇格蘭約15%）；林地則佔植生碳貯存的80%，詳細狀況可以看表1所示。英國最近將土壤圖分的更細，也包括次優勢土壤型（subdominant soil types）和土壤深度，因而減少了15%的估計值（可說明這些估計值不確定的指標）。

英國土地利用變遷與森林部門的釋放量與吸存量，係由碳流動模式（C-Flow model）來推估碳變動量，而C-Flow model的碳變動量包括：（一）每年各樹種森林面積的變化，（二）貯存於人工林的樹體、土壤與枯枝落葉、林產物的碳貯存量，其整體架構圖如圖1所示。

表1 植生碳貯存表

植生碳貯存表			
英國	植生碳 (Mt)	碳 (%)	面積 (%)
半自然	12	10	32
農業	12	10	47
林地	95	80	11
其他	0	0	9
合計	119	100	99

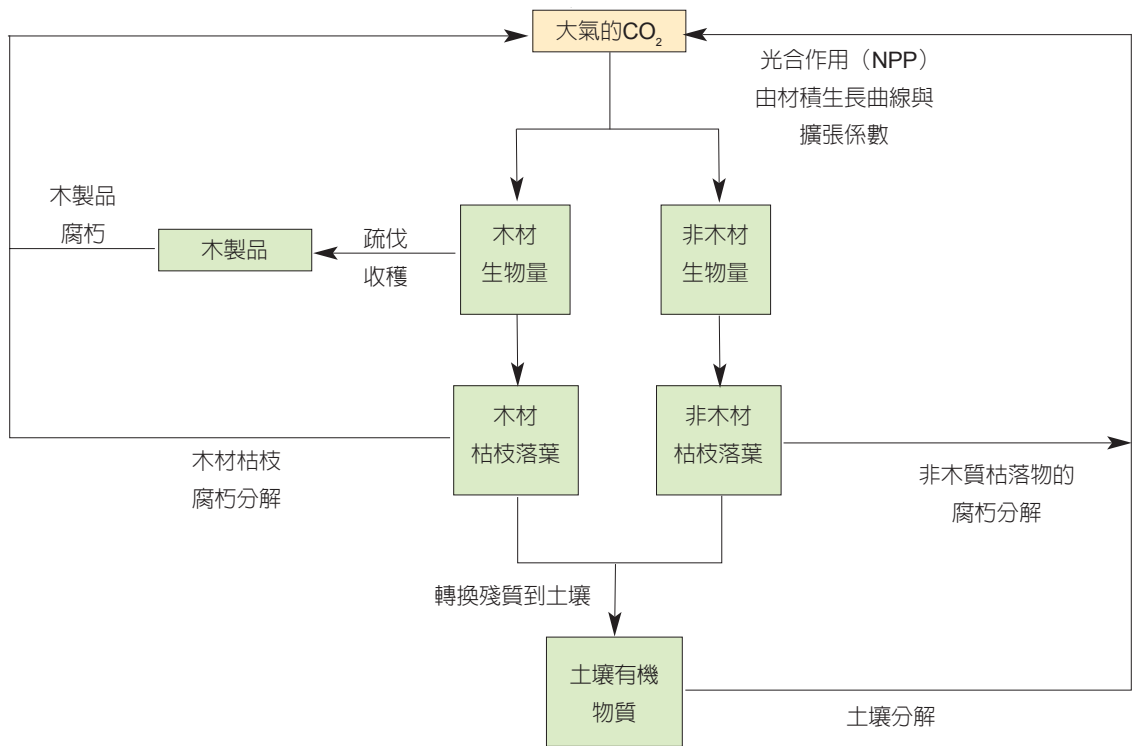


圖1 英國碳流動模式 (C-Flow model) 的整體架構圖。

碳流動模式之內容包括：

(一) 由林業部門 (Forestry commission) 得到森林調查資料。

(二) 針葉樹林以Sitka Spruce (北愛爾蘭之收穫級12、14) 為例。

(三) 闊葉樹林以beech (收穫級6)。

(四) 其前提假設包含：1. 1920年前栽植的森林是穩定循環平衡 (steady-cycle equilibrium)。2. 商用森林重貯存 (restocked?)。3. 灌溉排水的peat流失，由其他項 (review) 說明計算。4. SOC栽植於礦質土則超過新平衡。

C-Flow model是由標準材積生長模式，以實驗轉換函數將相關碳池做換算，模

式中針、闊葉樹有別，且具有商業收穫，到目前為止，已利用2種樹種的改變，配合更詳細的資料，結果卻只有不到10%的差別。

由於KP提供的資訊需要做地理辨認 (geographical identification)，所以英國針對Article 3.3與Article 3.4之森林活動增加，擴展繪製其原來的植生圖與土壤碳貯存圖，而所使用之資料則利用英國的國家資源調查 (UK's National Inventory of Woodland and Trees, NIWT) 與過程模式 (process modeling) 方法結合 (表2)。

NIWT是基於分佈於全國的40,000個樣區和其記錄資料，推估植生碳貯存，其結果如表1。英國森林資源調查從1919年每10-15



表2 英國國家森林資源調查資料記錄

分層	類別	意向 / 評估
註釋說明資料	所有權狀況	Private, Chcaity, FC經營公司
	林地內容	森林、農莊、混淆林
	經營	林木、狩獵、保育、保護、放牧、森林設計來經營、混濃林
結構資料	覆蓋率 (%)	Upper, lower, canopy, field, ground, shurb
	枯立木	
	林木株數	
	棄置林木	
	倒木	< 20 cm、20—50 cm、> 50 cm
元素資料	林地分類	闊葉、針葉、混淆林、頭狀林、非生產林、次生林
	疏伐頻率	1,2次
	易到達程度	
	優勢植被	物種
	更新	營養繁殖、插苗
作物資料	物種	
	物種組成	Pure, mixed 入侵種
	面積	
	材積	
	健康	樹枝風折、莖腐朽、松鼠危害…
高級	林木潛能	正常、倖存、瘦小
動物危害	栽植年限	不適生存率

年調查1次，至今已有6次，最近一年調查是1999年，未來的資源調查，將每5年實施1次，每年調查20%的樣區，有關KP推估之英國報告將以20 km × 20 km的網格來表示，讓每個網格皆有合理數量的取樣點分佈，每個網格的林型將由已存在的數值地圖決定，一般基於航空照片和有關新栽植的林地，或已由林業部門取得伐採資料。另外，由樣區取得之資訊將用來建立過程模式 (process model) 的邊界狀況，而其結果將以次一個取樣之樣區來驗證其結果。目前英國利用這種方法完成從1920年以來林地造林之碳吸收量 (uptaking carbon) 推估。結果發現利用此方法計

算，UK森林有低估的現象。就其原因或許是在第2輪調查分析時是以闊葉林的參數來計算，所造成的結果。

使用統計方法配合土地利用型的判釋，在COP被認為是京都議定書中提到的透明且省成本有效率的方法，且是相當重要的工作。英國對土地利用、土地利用變遷和森林部門的資料蒐集早在COP3前即已完成。至於發展推估京都議定書的活動 (Kyoto Activities) 則尚未做出最後決定，且2.5 m的樹高等森林的定義及計算森林經營在Article 3.4包括景觀造林等尚未完成，以及2006年擬定的國家通訊與京都議定書的規範，目前尚在準備中。



(圖片 / 高遠文化 攝影 / 葉品妤)

#### 四、紐西蘭

紐西蘭已經建立完成陸域碳資源調查資料 (Terrestrial carbon inventory) 以提供 UNFCCC；其內容包括由衛星影像處理繪製之地覆圖 (land-cover mapping)。此外，資源調查系統的專書也已出版。其中主要的文章也已在有審稿的國際期刊中刊登。對於因應 Kyoto Protocol 和 2004 年土地利用、土地利用變遷與森林部門實行手冊，仍有待更進一步發展資源調查系統的必要，尤其更需要將重點放於新造林地以及外來樹種的經營造林地上，國有林造林地對 CO<sub>2</sub> 的貢獻，幾乎是提供第 1 期溫室氣體減量的一半。因此，建議資源調查系統的重點，宜放在於以永久樣區的資料來進行生物量的推估，利用生長關係函數 (allometric equation)，以及氣候與土壤肥力的空間分布，來調查其林木生長的

變異，以及伴隨著經營管理林分層級 (林分、林齡) 的資訊。另外，則需提供疏伐和收穫伐採的推估變化研究與應用，並決定木材的腐朽函數來說明因疏伐和林木枯死的碳釋放。為獲得潛在森林組織在時間上的改變，和其他土地利用面積的變動資訊，基於國家層級之網格取樣、衛星影像等高解析度影像之土地利用製圖是有必要的。利用網格與地景分層獲得土地利用的變遷，以網格為基礎改進製圖的精度及減少製圖的誤差，提供低成本且有效率的方法 (cost-effective)，全國性的資源調查將於 2005 年要執行。

#### 五、加拿大

在發展加拿大國家森林碳監測、會計與報告系統 (Canada's National Forest Carbon Monitoring, Accounting, and Reporting System, NFCMARS) 過程裡，有許多相關部門、省和自治區的資源經營管理局、林業工業和科學社群參與。NFCMARS 亦可用來模擬未來經營管理活動對碳貯存的改變，以提供政策分析。

加拿大森林署碳會計小組 (Canadian Forest Service Carbon Accounting Team) 與加拿大模式森林網路 (Model Forest Network of Canada) 合作，發展用於國家系統的可操作尺度版本之碳預算電腦模式，加拿大森林部門的碳預算模式 (Carbon Budget Model of Canadian Forest Section, CBM-CFS) 是提供給想發展包括評估碳貯存改變的經營策略經營分析者使用。NFC-



(圖片 / 高遠文化 攝影 / 葉品好)

MARS可以提供加拿大每年聯合國氣候變化綱要公約 (UNFCCC) 之國家通訊之溫室氣體資源調查清冊，和其他京都議定書森林碳動態報告所需要的內容。

NFCMARS詳細的碳系統各部門在Kuri and Apps (2005), New National Forest Inventory (Gillis, 2001), Forest cover monitoring (Wulder *et al.*, 2004), Deforestation monitoring (Leekie *et al.*, 2002), Operational - Scale carbon budget model (Kurz *et al.*, 2002) 內皆有介紹，而整個系統架構如圖2所示。

NFCMARS的組成包括：

(一) 森林資源調查資料的來源 (Forest Inventory Data Source)

大部分加拿大的森林資源屬於省和原住民保護區 (provincial and territorial jurisdiction)。區域的森林資源是由省資源經營管理局 (provincial resource management agencies) 和森林工業有關單位保有，此外加拿

大每5年即彙編有加拿大國家森林資源調查資訊 (Canada Forest Inventory, CanFI) (Lowe *et al.*, 1994)，圖2為顯示此資訊係由許多資料來源彙編而成，有不同更新資料的過程，且由於資源調查的面積範圍隨時間改變，所以連續的CanFI資訊是不適合用來推估森林資源的狀況。過去，每次森林資源調查是由森林經營統計和自然干擾的改變資訊加以整合，並配合利用加拿大森林部門的碳預算模式 (Carbon budget model of the Canadian Forest Section) 來計算森林碳動

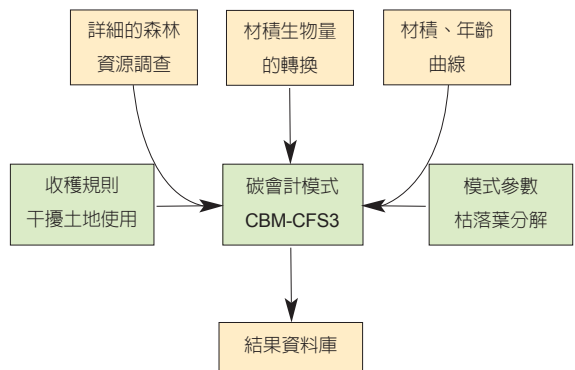


圖2 使用於國家森林碳監測、會計和報告的碳預算模式系統架構圖。

態 (CBM - CFS2, Kurz *et al.*, 1992, Kurz and Apps, 1999), 目前有新版本的模式 - CBM - CFS3 - 已可以使用, 最近的國家森林資源調查 (CanFI 2001) 或詳細的各省森林資源調查如同以前的版本。此模式整合改變的統計資料, 可用來推算地區性森林碳貯存的改變。

未來新的國家森林資源調查 (NFI), 將以網格為基礎 (grid - base) 設立永久樣區和國家地覆的航空照片樣區, 以重複調查測量的方式進行, 將可以提供森林資源現況和森林改變的資訊 (Gills, 2001), 而NFI則將結合遙感探測森林覆蓋資料。

## (二) 森林生長與收穫資料 (Forest growth and yield data)

目前CBM - CFS3依賴實證生長模式, 由永久或臨時樣區調查所建立資訊, 更而彙編成收穫表或生長曲線, 這個生長收穫函數通常由省和森林工業林木供應的規劃過程來做確定。

實證生長收穫函數 (empirical growth yield function) 是直接反映環境狀況的變異。所以, 由溫度或與雨量的改變, 影響森林生長, 所造成每年間碳變動量變異, 則無法由NFCMARS來說明。只有因為火災、昆蟲危害、收穫或其他森林經營活動所造成的林地年間變異, 可以由NFCMARS算出森林碳平衡。

## (三) 死亡有機物質動態 (Dead organic matter dynamic)

CBM-CFS3模式模擬死亡有機物質的動

態變化, 係利用生物量池 (biomass pools) 投入量和由分解干擾所造成損失量之差異值表示 (Kurz and Apps, 1999; Lietai, 2003)。雖然, 加拿大在過去有關地上部的森林資源調查資料很豐富, 但是死亡有機物質貯存量 (池) 和其動態則很少。最近彙編的森林生態系碳資料 (Siltanen *et al.*, 1997; Shaw *et al.*, 2005) 和長期分解試驗的結果 (Trofyimov *et al.*, 2002), 則可用來校正和調整模擬模式。由國家森林資源調查的地面樣區資料 (ground plot data) 將使森林碳推估更為清楚, 且可減少模式的不確定性。

## (四) 改變的統計值 (Change statistics)

詳細的森林資源調查資料, 描述某地點即時的森林狀況, 森林碳動態的推估, 需要由每年生長分解的動態來推估森林的動態, 亦可由造成森林動態的每年統計值和活動過程裡得到。在加拿大的森林, 天然干擾如火災和昆蟲是造成改變的主要原因, 而收穫和其他森林的經營活動則是碳貯存改變的重要趨動力。

NFCMARS彙編碳的資料 (如Stocks *et al.*, 2002)、森林昆蟲和森林經營活動, 然而, 土地利用的改變與預定的森林活動如伐木、無立木地造林 (aforestation) 等則由遙測計劃來監測 (Leekie *et al.*, 2002; Wulder *et al.*, 2004)。

## (五) 模式整合 (Model integration)

CBM - CFS3是一個森林碳動態的林分與地景層級 (stand and landscape - level) 的模擬模式。在區域層級上 (regional scale),



由每一個區域層級上，模式模擬千百個資源調查的紀錄。在國家層級上（the National scale），加拿大的森林是由上千萬個資源的調查紀錄來代表，每個林分由類似的林分的屬性（如地覆、主要樹種、干擾歷史和林地等）來描述。

模式是基於森林資源調查資料為其起始的森林狀況，再利用生長收穫的資料推估每年的生長量，由干擾與經營活動推估模擬森林的損失量，這個模式也模擬由無立木造林地、保護措施和其他森林經營活動來模擬森林的獲得。

這個模式系統說明並提供京都議定書（Kyoto Protocol）有關森林5個碳池報告的資料：地上部生物量（above ground biomass）、地下部生物量（below ground biomass）、枯枝落葉層（litter）、枯死林木（dead wood）和土壤碳（soil carbon）。除此之外，這個模式提供生態系指標（ecological indicators）如淨生長量（net primary production）；生態系內有關碳的轉換可由生態研究成果來驗證模式推估值。該模式也提供每年溫室氣體的排放量（annual emission of each greenhouse gas），如林產品部門與大氣部門生態系碳池間的轉換，並且由模擬干擾形式和經營活動的結果來表示。

應用NFCMARS的操作尺度版本，已由加拿大林務署的碳會計小組與加拿大模式森林網絡合作完成（Kurz *et al.*, 2002）。這個工具使得森林經營者與森林規劃者，得以利用其用於林木供給的規劃過程（timber sup-

ply planning process），並且可以用相同資料來進行碳預算分析（carbon budget analysis）。本模式可以在森林經營策略中考慮碳貯存量的改變，因為森林分析者可以評估各種活動對森林碳的匯與源（Forest carbon sinks and sources）提供衝擊的評估。

#### （六）如何依良好的執行手冊來執行

NFCMARS是依據IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）的執行手冊（Good Practice Guidance）來設計，NFCMARS是利用3層（Tiers）方法來推估森林碳貯存量與碳貯存量的改變。為達到與執行手冊所列之需求一致，則需發展不確定性的推估方法（methods of uncertainty estimation）、模式的文件化和資料彙集資料庫（achieving）與資料說明檔（metadata）



（攝影 / 青遠文化 攝影 / 葉品好）

方面的工作正在進行。在未來的數年裡，模式的發展、測驗與細緻化將持續推展，如地面樣區的設置、重測資料的提供、監測森林改變的方法與森林經營和土地利用改變的活動的推估方法將持續的改進。

## 六、德國

德國在發展符合UNFCCC與KP所需要報告資訊的報告框架 (reporting scheme) 時有一些限制，如(一)德國只有完成2次森林資源調查，(二)2種不同的森林資源調查需要整合1990年以後的資料。然而兩次資源調查資料可以利用的可能性評估結果顯示，是能夠提供LULUCF的GHG (Green house gas, GHG)。在Tier 1中利用(2)方法可以獲得的結果將Tier 2(3)方法加以改善。比較這兩種收穫方法的差異時發現，已有部分

是由於Tier改變造成，每年淨碳生物量的改變，基於Tier 1(2)方法計算時為87 MioTC / yr，用Tier 2(3)方法計算時則為14.8 MioTC / yr。其差異主要來源是由於應用第2次國家資源調查(2nd NFI)的資料。由於NFI調查的生長率遠高於收穫表所推估的。由於第2次國家資源調查的資料，德國建立2部手冊資料，使土地利用改變資料成為可能，然而到目前為止沒有一個土地利用型改變的資料庫，也沒有一個標準系統追尋時間過程裡土地利用型的改變。對已有報告的時間資料，如何去外推和統計資料間如何交互驗證仍需要努力，然而除土地利用外其他碳池(土壤、枯枝落葉、死亡有機物質)則仍在計算提供，但是目前似乎已有資料可提供LULUCF所需。至於KP所需要的資料則尚闕如。

## 七、日本

由京都議定書(KP)指出，日本將以1990年為基年之6%的GHG減量措施，而Marrakech accords指出日本每年可吸收13.00 Mt - c / y，是C釋放量的3.9%，因為在日本要進行無立木地造林(afforestation)或更新造林(reforestation)的空閒土地已相當有限，日本政府想要利用KP的Article 3.4的森林C貯存(sink)以達到Kyoto的目標將相當困難。如何認定Marrakech accords裡所提的ARD以及如何經營森林土地，才能達到減量的目的。目前尚在討論。松本光朗(2004)認為利用二期Landsat TM的衛星影像進行判

(圖片 / 高遠文化 攝影 / 葉品好)



釋土地利用的變遷，似乎是在有限土地裡辨認ARD (identification)，和連結森林登記簿 (forest registers)，和森林經營的歷史紀錄 (historical records of forest management) 的有效方法。Marrakech accords IPCC的執行手冊 (IPCC Good practice Guidance) 指出，執行京都報告 (Kyoto Reporting) 的關鍵，在於建立設置一個理想的森林 GHG會計系統 (Forest GHG Accounting System)。

KP和Marrakech accords指出報告森林GHG的會計和貯存量的原則，而IPCC Good practice Guidance (GPG) for LULUF則說明了會計與報告的方法。很明顯地利用國家森林資源調查的資料來進行森林GHG的會計與報告，是一個可行的方法。

日本的森林資源調查系統 (Japanese Forest Inventory System) 內涵兩種森林資源調查系統，一種稱為森林規劃系統 (the forest planning system)，是基於森林與林業基本法 (the Basic Law on Forest and Forestry)，另一種為系統取樣調查的森林資源監測調查 (Forest Resource Monitoring System)，類似其他國家的森林資源調查。

### (一) 基於森林與林業基本法之森林規劃系統 (Forest Planning System)

日本森林資訊主要由森林調查登記簿與森林圖結合而成，森林調查登記簿是主要的日本森林基本資訊，而森林經營是依照此調查登記簿為基礎的森林規劃系統為之。這系統有面積、物種、林齡、平均胸高直徑

(DBH)、林分高、林分材積量等，而且是以小班 (subcompartment) 來表示，調查登記簿的資料是每5年更新1次，DBH、樹高與材積，是由實證收穫表 (empirical yield tables) 推估而得，全日本林班數有370,000個，小班有3,100萬個，小班平均大小在1.0 ha以下，森林圖一般以1 / 5,000比例尺，目前已有40%數化完成置於GIS內，而其餘的60%將在最近幾年完成。

### (二) 森林資源監測調查系統 (Forest Resource Monitoring System)

源於1999年，此調查法係基於4 km×4 km網格的系統取樣，大約有22,000個樣區，每5年調查1次，所以大約每年調查3,200個樣區，樣區為3個同心圓，0.1 ha的大圓要量DBH>18 cm，中圓0.4 ha，量DBH>5 cm的樹，小圓0.01 ha，量DBH>1 cm的林木。



在京都報告之技術討論上，Marrakech accords與IPCC Good practice Guidance中 有關土地利用、土地利用變遷與森林 (LULUCF)，在京都議定書的會計與報告的主要重點為：

1. 定義“Forest”。
2. 5個C池的會計帳。
3. 無立木地造林、更新造林與伐木 (ARD) 之辨認與會計。
4. 有經營之森林地的辨認與會計 (forest management lands)。
5. 透明的資料來源與會計報告 (Transparent data source and accounting method)。
6. 不確定性的評估、驗證 (verification) 和QA / QC。
7. 考慮以上重點之森林GHG會計與報告系統。

並針對KP的重點工作加以說明：

### 1. 定義森林 (Forest)

在森林規劃系統，0.3 ha的林分是登記調查的最小單位，所以0.3 ha是定義森林的最小面積，但若用Landsat TM影像，則1.0 ha為森林較合理，依森林規劃系統，最少的樹冠覆蓋為30%，最小樹高的為5 m，森林最小的寬度為20~30 m，以避免因為建立的林道而伐木。

### 2. 貯存改變的方法

$$C \text{ 貯存改變} = (C_{t_2} - C_{t_1}) / (t_2 - t_1)$$

$$C \text{ 貯存改變} = \text{生長增加量} - \text{平均損失量}$$

### 3. 辨認ARD

因為森林調查登記簿為會計的主要資訊，然而森林登記簿只有最近的資料，若要使用登記簿進行時間序列分析，需將過去的资料恢復則會有困難，其他有兩種推算ARD的方法：

(1) 利用衛星影像或一般航空攝影垂直相片鑲嵌辨識分析，1990基年及某報告之年份的地覆，因衛星影像分析已能得地覆圖，但要獲得土地利用型圖有困難，尤其因收穫而改變之伐採 (deforestation) 面積 (Hori *et al.*, 2001)。若考慮這個問題，則辨認ARD的影像分析尚需發展。

(2) 1990年垂直航空照片判釋土地利用型，再以土地利用型進行系統取樣，若2007、2012年也可以用相同方法處理之。

### 4. 森林經營土地的辨認

IPCC執行手冊中定義森林經營 (FM) 有兩種形態。一種為特定的森林經營作業，另一種為一般的森林經營作業系統。

在IPCC GPG for LULUCF (IPCC, 2004)，可以定義特殊森林經營措施，如自從1990年以來控制火、疏伐、更新、收穫，一個國家可以以涉及森林作業系統，來定義解釋森林經營之土地面積，而不需要有此種特殊森林經營作業發生才可。其實，這種廣義與狹義對森林經營土地的推算會存在很大的差異，若選用狹義定義森林經營則以遙航測無法有效辨認處理之，因為遙測無法辨別出疏伐所造成些微地覆的改變；而造林台

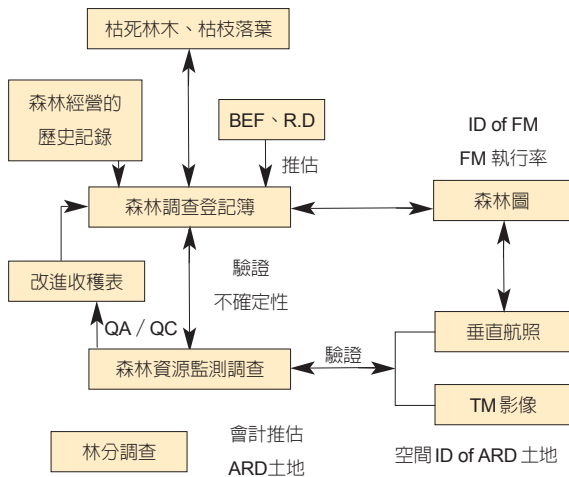


圖3 日本森林GHG會計系統的整體架構圖。

帳、伐木台帳之歷史紀錄可能是辨認森林經營作業的主要依據，將登記簿與森林經營連結的話，可獲得栽植、疏伐、收穫的地點，然而此法目無法執行於全日本，因為只有少許的縣、督、府有數化資料可使用。所以開發其他的方法來辨認森林經營的土地是勢在必行的。

雖然，在森林規劃系統不以廣義的森林經營土地來定義，則可能不適合於所有森林經營土地，皆是KP內Article 3.4的C貯存，因為Marrakech accords Japanese cap很大且無法打折現的。

### 5. 森林GHG會計系統設計

日本為Kyoto reporting設計森林GHG會計系統整合不同森林資訊，整合森林調查登記簿和森林圖，此系統可以計算碳貯存的改變，也提供不確定分析驗證與QA / QC (Mitsuo Matsumoto, 2004) (圖3)。

日本林野廳 (Japanese Forestry Agency) 依Marrakech accords和IPCC GPG規定，配

合現有的資源調查系統資料，以完成符合京都議定書和UNFCCC之LULUCF部門設計之森林GHG會計報告系統。且將國家森林與縣府等地方的森林結合，然而目前尚有許多技術需開發，如FM土地、ARD辨認、枯死木、枯枝落葉和土壤有機質等的推估方法仍須要再多多發展。

## 八、結論

京都議定書需要報告碳貯存的改變量，這個改變量與土地利用變遷 (Article 3.3) 和森林經營 (Article 3.4) 有關。所以國家的C會計系統，必須能夠提供辨認不同土地利用與森林經營類型，以及各種土地的承載力 (capability)，更而涉及這些土地的C貯存量。而考慮空間的森林C會計方法，才可以提供整合空間資料與模式工具，以推估符合KP所需C會計的框架。台灣應提出一套利用空間外顯 (考慮空間因子) 的會計方法，其內涵包括 (一) 地上部活體生物量 (above-ground living biomass)、(二) 地下部活體生物量 (below-ground living biomass)、(三) 枯死林木 (dead wood)、(四) 枯枝落葉 (litter) 和 (五) 土壤有機物質 (soil organic matter)，此方法能詳細標示出其土地和森林種類之分布主題圖，可以使用於Article 3.4C貯存改變量的計算，更可以將IPCC的有關土地利用、土地利用變遷與林業 (LULUCF) 部門的執行手冊，所定義的土地面積與森林清楚地表示，此執行流程可由圖4表示。

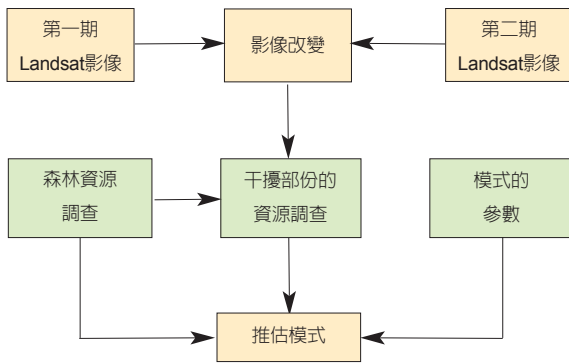


圖4 碳貯存推估的方法流程。

Stinson, Kuez Tinis, Paredine and Leckie (2004) 利用Prince George計畫，展示了空間外顯的森林碳貯存量與貯存量變化會計模式，可以應用於大範圍的森林碳會計。其能有效地整合遙航測之土地利用的監測資料，與森林資源調查和森林經營管理資料，其空間外顯模式，能夠推估計算土地利用與林業的C貯存量及C貯存量的各種變化（依據KP Article 3.3與Article 3.4的計算準則），且提供適合下載至GIS的功能，以便將

圖層與屬性資料做更有效的分析與展示用。

空間外顯方法觀念簡單，透過座標位置將地覆情形不同資料來源加以整合成地理資料庫管理系統（Geo - DBMS）。若有具地理參考值的資料（geo - referenced data）於C會計系統，則整合其他資料來源的資訊就顯得簡單，也使得資源調查的資料、遙航測的成品得以互相查核，建立C貯存量與變動量會計系統，是需要建構於具有空間外顯的框架下，才能使資料透明化，降低不確定性且節省後面推估時因複雜所增加之的費用。▲

\* 附註：

ARD：A：無立木地造林（aforestation），R：更新造林（reforestation），D：伐木除林（deforestation）。

### 參考文獻（請逕洽作者）



（圖片 / 高遠文化 攝影 / 葉品好）