

國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系

碩士論文

School of Forestry and Resource Conservation

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis



建構台灣森林經營參考水平

Construction of Taiwan's Forest Management

Reference Level

王怡穩

I-Wen Wang

指導教授：邱祈榮博士

Advisor: Chyi-Rong Chiou, Ph.D.

中華民國 102 年 8 月

August 2013

國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書

建構台灣森林經營參考水平  
Construction of Taiwan's Forest Management  
Reference Level

本論文係王怡穩君 (R00625028) 在國立臺灣大學森林環境暨資源學系、所完成之碩士學位論文，於民國 102 年 6 月 13 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

邱新榮 (簽名)

王怡穩 (指導教授)

林俊成

系主任、所長

閻秉泉 (簽名)

## 摘要



2010年通過之坎昆協議(Cancun Agreement)決議文第2/CMP.6號，要求附件一國家向聯合國氣候變化綱要公約秘書處遞交森林經營參考水平(forest management reference level, FMRL)，以做為第二承諾期森林經營活動的基線，高於參考水平的碳儲存量始被視為碳匯。森林經營參考水平共有6個基本組成因素，用以確保估算工作的準確度和透明度，報告國會以國內現況對組成因素進行說明；參考水平報告書的基本架構分為五大部分，用以記述估算過程和使用方法以及預測未來情況的影響因子。本研究參考各國估算方法及過程，使用林業統計中數據為台灣建立2012至2020年的森林經營參考水平。在二種不同的森林年生長量假設下，年蓄積量為 $0.17 \text{ m}^3/\text{ha}$ 的林地碳貯量為 $-116 \text{ Kt CO}_2\text{eq}$ ，而將年生長量設為 $5.70 \text{ m}^3/\text{ha}$ 的情況下則為 $-4,899 \text{ Kt CO}_2 \text{ eq}$ ；以此結果加上收穫林產品碳庫之延遲排放碳量約為 $-7 \text{ Kt CO}_2 \text{ eq}$ ，二假設法估算的參考水平分別為 $-123$ 和 $-4,906 \text{ Kt CO}_2 \text{ eq}$ 。

關鍵字：森林經營參考水平、碳匯、森林生物量、蓄積量、收穫林產品。

## Abstract



According to decision 2/CMP.6 in Cancun Agreement, each Annex I Party should submit their forest management reference level to the secretariat of United Nations Framework Convention on Climate Change. The reference level will be used as baseline of emissions and removals from forest management, which means the removals exceeding reference level can be regarded as carbon sink. There are six elements should be considered in the construction of reference level, which are used to reveal the circumstance of forest management and ensure the accuracy and transparency. The report of reference level are constructed in five parts, in order to describe the methods and the process of accounting and factors affect conditions of forest management in the future. After discussing different methodology used by Parties, this report construct Taiwan's forest management reference level in 2012 to 2020 by using data from Forestry Statistics Yearbook. We suppose there are two circumstances, when assuming forest increment as  $0.17 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ , the result of emissions from forest land will be  $-116 \text{ Kt CO}_2$  per year, and  $-4,899 \text{ Kt CO}_2$  since the forest increment is  $5.70 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ . Besides forest land, harvested wood products is another carbon pool considered in reference level, and the result of accounting in Taiwan is  $-7 \text{ Kt CO}_2$ . Combining the accounting result of two assumption, Taiwan's forest management reference level are  $-123$  and  $-4,906 \text{ Kt CO}_2$ .

Keywords: forest management reference level, carbon sink, forest biomass, increment, harvest wood product.

# 目錄



摘要.....	i
Abstract.....	ii
壹、緒論.....	1
一、前言.....	1
二、研究動機與目的.....	2
三、研究流程.....	3
貳、前人研究與文獻探討.....	5
一、森林經營參考水平的概述.....	5
二、森林經營參考水平的基本組成因素.....	6
三、森林經營參考水平報告的基本架構.....	8
四、森林經營參考水平的估算方法.....	21
參、台灣森林經營參考水平的建構.....	25
一、台灣森林經營背景概述.....	25
二、建構臺灣森林經營參考水平的方法.....	26
三、台灣森林經營參考水平的估算結果.....	38
四、台灣森林經營參考水平之說明.....	43
肆、結果與討論.....	53
一、台灣森林經營參考水平的估算結果.....	53
二、比較各國的森林經營參考水平.....	54
三、森林經營參考水平估算建議.....	62
伍、結論.....	65
參考文獻.....	66

## 圖目錄



圖 1	研究流程圖 .....	3
圖 2	各年度森林經營區域面積 .....	30
圖 3	各年度森林經營區域蓄積量(以貯量變動法推估) .....	31
圖 4	各年度森林經營區域蓄積量(以增減法推估) .....	32
圖 5	各年度森林經營區域林產物收穫材積 .....	33
圖 6	各年度森林經營區域干擾損失材積 .....	34
圖 7	各年度林產物年產量 .....	37
圖 8	各年度森林經營區域碳變化量(以貯量變動法推估) .....	45
圖 9	各年度森林經營區域碳變化量(以增減法推估) .....	45
圖 10	第三次森林資源調查(1995)的徑級結構 .....	47
圖 11	木材的歷史和預測伐採量 .....	49
圖 12	竹材的歷史和預測伐採量 .....	49
圖 13	用材的歷史和預測生產量 .....	51
圖 15	各年度收穫林產品之新增碳量 .....	52
圖 16	各國單位面積年蓄積量與參考水平之關係 .....	59

## 表目錄



表 1	各國森林經營參考水平之碳庫和溫室氣體項目(以主要國家為代表).....	11
表 2	比較各國森林經營區域(以主要國家為代表).....	14
表 3	澳洲對干擾進行預測的參考水平.....	20
表 4	森林經營參考水平計量方法及其優缺點.....	24
表 5	包含在參考水平中的碳庫和溫室氣體排放源.....	27
表 6	估算林地碳貯量的相關係數值.....	35
表 7	森林經營區域碳貯量及相關統計數值.....	38
表 8	收穫林產品碳庫碳貯量及相關統計數值.....	40
表 9	森林經營項目碳儲存變化量.....	42
表 10	森林經營(FM)之歷史與預測面積.....	44
表 11	森林經營區域之歷史與預測碳量(以貯量變動法推估).....	44
表 12	森林經營區域之歷史與預測碳量(以增減法推估).....	45
表 13	全島森林地各直徑級林木株數及蓄積.....	46
表 14	各年度森林經營單位面積中蓄積量.....	47
表 15	木材與竹材的歷史和預測伐採量.....	49
表 16	收穫林產品碳庫之歷史和預測碳量.....	50
表 17	台灣 2012 至 2020 年的森林經營參考水平.....	54
表 18	各國單位面積的參考水平.....	55
表 19	各國單位面積下淨生長量與森林經營參考水平的關係.....	58
表 20	各國原木自給率與森林經營參考水平.....	61



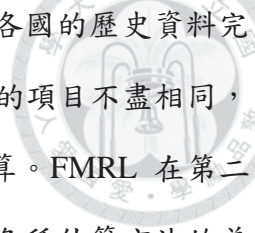
## 壹、緒論

### 一、前言

為因應全球氣候變遷產生的環境問題，聯合國於 1988 年成立「政府間氣候變化專門委員會」(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)，隨後於 1992 年通過「聯合國氣候變化綱要公約」(The United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)，目標為「將大氣中溫室氣體的濃度穩定在能夠避免人為干擾危害氣候系統的程度下(UNFCCC, 1992)」，並於第三次締約國會議上簽定具有法律效力的「京都議定書(Kyoto Protocol)」，強制規定各國在約定的期間內將溫室氣體排放量降至一定標準。

開發森林、砍伐林木的毀林行為是造成溫室效應的一大主因，僅次於石化燃料的利用；另外，林木經由光合作用能吸收並固定大氣中的二氧化碳，因此森林為地球上重要的碳庫之一，同時亦可作為各國取得碳匯的來源。京都議定書中規範可計入排放減量值且與森林相關的減碳項目包含第 3.3 條 1990 年以後所進行之「造林及再造林(afforestation and reforestation, AR)」，以及第 3.4 條因加強「森林經營(forest management, FM)」所額外增加的碳儲存量；由於前者的施行成本較高且效益較差，因此大部分國家於第一承諾期間皆以森林經營作為主要的減碳措施。由於各國森林資源條件差異大，為避免森林資源豐富國家過度依賴森林經營移除溫室氣體的能力而取得大量的排放減量值，UNFCCC 於第一承諾期間設定森林經營活動碳匯的配額上限(Cap)以作為規範。但由於各國的配額上限不相同，數值設定的公平性亦持續遭到質疑，經過多次會議談判後，於 2010 年通過之坎昆協議(Cancun Agreement)中有關土地利用、土地利用改變與林業(land use, land use change and forestry, LULUCF)的決議文第 2/CMP.6 號，要求附件一國家在 2011 年 2 月 28 日前向 UNFCCC 秘書處遞交森林經營參考水平(forest management reference level, FMRL)，以做為第二承諾期的森林經營活動的基線，高於參考水平的碳儲存量始視為碳匯。





FMRL 為締約國自行以歷史數據估算得到的基準值，由於各國的歷史資料完整度、森林經營模式、森林資源利用情形等與推估參考水平相關的項目不盡相同，且目前未建立統一的估算方法，因此各國各自以適合的方法估算。FMRL 在第二承諾期間對林業相關的碳匯計算而言相當重要，本研究將討論各種估算方法的差異及各國選擇估算方法的原因及理由，進而討論台灣林業的現況及其適用的估算方法。

## 二、研究動機與目的

第二承諾期間，林業部門的碳儲存和排放項目與第一承諾期相同，包含了造林、再造林、減少毀林以及森林經營等項目。本文以森林經營項目為主，討論目前國際上用於計算森林經營活動所產生的排放減量值之方法，即 FMRL。FMRL 於第一承諾期後期始被提出，改進並取代配額上限做為第二承諾期對森林經營項目碳儲存量的限制方法，為目前國際上重要的碳匯計算方法之一。由於 FMRL 成立的時間較短，其概念和規則的建立未發展完備，為各國留有許多商議空間，因此不同國家往往依據國內的情況，以不同的方法和基礎情境建立該國的參考水平。本文將對各國方法上的差異進行比較與討論，藉此了解造成各國建立 FMRL 之方法各異的原因；究其原因後，反觀台灣的狀況，找出適合運用於建立國內參考水平的方法，並結合林務局公布之森林相關數據和過去對台灣森林碳量的研究結果，實際建立國內的 FMRL。綜觀以上觀點，本文主要的目的為：(1)釐清國內森林調查項目是否完備並足以應用於國際碳匯場合；(2)為國內建立森林經營參考水平以應付當前以參考水平為重要計算碳匯方法的國際情勢。



### 三、研究流程

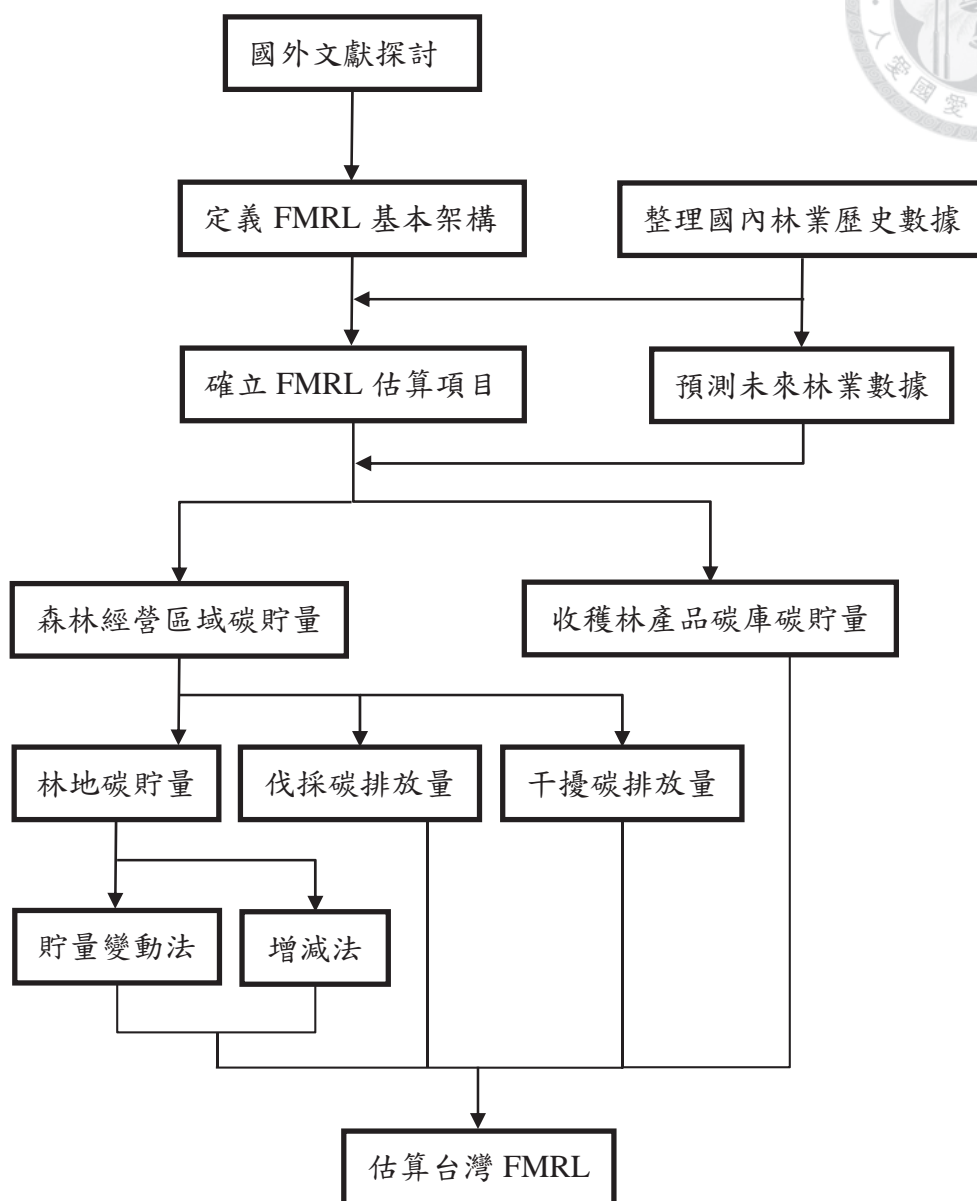
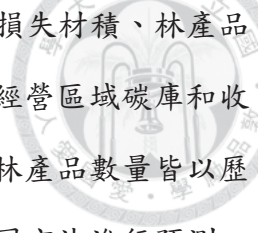


圖 1 研究流程圖

本研究以參考締約國於 2011 年遞交的 FMRL 報告書為基礎，了解各國在建立其參考水平時所考慮的概念、包含的項目和使用的數據等，以及預測未來數據時所使用的方法和影響因素。FMRL 由二個碳庫的碳變化量組成，分別為「森林經營區域碳庫」和「收穫林產品碳庫」；森林經營區域碳庫又為「林地碳貯量」扣除「伐採」和「干擾」之碳排放量的結果。提取台灣各年度的「林業統計」中與估



算 FMRL 相關的資料，如人工林面積、蓄積量、伐採量、干擾損失材積、林產品產量等，以不同方式預測各項目的未來數值，並估算台灣森林經營區域碳庫和收穫林產品碳庫的碳量。其中，伐採材積、干擾損失材積和收穫林產品數量皆以歷史數值的平均值進行推估，而台灣人工林的蓄積量則以二種不同方法進行預測。第一種方法為「貯量變動法」，以 2007 至 2011 年的蓄積變化量平均值代表 2012 至 2020 年的蓄積變化量，推算未來人工林的蓄積量；第二種方法為「增減法」，參考「台灣林木資源之生長與枯死」中數據假設人工林林木未來的生長量，用以估算未來的碳貯量變化。使用二種蓄積量推估法分別估算出二個未來的森林經營區域碳貯量數值，分別與收穫林產品碳庫碳貯量加總，並計算 2012 至 2020 年的平均值，即可得到二個第二承諾期的 FMRL 估算結果。上述研究流程如圖 1 所示。




## 貳、前人研究與文獻探討

### 一、森林經營參考水平的概述

自 2005 年京都議定書生效後，各國開始進行溫室氣體的排放減量及移除措施。相較於其他部門，LULUCF 部門能夠提供較大量的碳儲存量，特別是造林和再造林及森林經營活動(Sohngen, 2009)。森林經營活動包含為成就森林的生態、經濟和社會功能，而於天然林和人工林林地進行的一系列經營活動。為避免各國過度利用森林經營累積碳匯、達成減排目標，而未致力於降低其他部門的碳排放量，再加上考慮到各國森林資源分布不均，京都議定書對自森林經營項目取得的排放減量值設置配額上限，該限額因國家而異。由於國家森林管理限額各不相同，各國為取得最佳碳匯計算方式，經過多次談判後，提出森林經營參考水平(Forest Management Reference Level, FMRL)。

依據 2010 年聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)坎昆會議決議文第 2/CMP.6 號，各附件一國家需於 2011 年 2 月 28 日以前繳交該國的森林經營參考水平評估資料。根據 UNFCCC(2011) 的報告，提交參考水平報告的國家共 38 個，其中賽普勒斯和馬爾他雖不屬於附件一國家，但因身為歐盟國家的成員而共同參與 FMRL 的估算。FMRL 的表示方法為第二承諾期間(2012 至 2013 年)各年度碳吸存和排放變化量的平均值，可做為評估各國森林經營策略減碳成效的基準；其建立方式為利用目前進行中和未來預計推行的森林經營計畫，對未來森林經營項目的碳量進行預測，而目前以第二承諾期(2013 年至 2020 年)為預測期。異於過去對附件一國家森林經營項目下的碳儲存量設定配額上限，此方法代表的意義為各國在計算森林經營的碳儲存量時，超過 FMRL 的部分始可做為該國的碳儲存量。

第 2/CMP.6 號決議中明確表示 FMRL 考慮了六個主要因素，包括森林經營相關歷史數據、森林的齡級結構、目前執行的森林經營政策、在基線情境下對未來碳量變化的預測、森林經營活動的延續性和將移除量排除在外的必要性等，將於



下一章節進行詳細介紹。但在概念確立的情況下，FMRL 的估算卻未訂定統一的方法學，使得各國在考慮國內的歷史資料完整度、森林經營模式、森林資源利用情形等前提下，運用了不同的估算方法。各國使用的方法約可分為三類，分別為「預測法(projection)」、「歷史基期年法(Historical base year)」和「淨量法(Gross-net)」，其中由於預測法的估算方式最貼近國家現況，因此為最多國家使用的方法。由於參考水平為各國自行估算的結果，因此要求各國在遞交 FMRL 報告書時亦須將估算時使用的數據、方法與過程記錄在內，如此以確保過程的透明度；而後接受專家評審團(expert review teams, ERTs)的技術評估(technical assessment, TA)以確保參考水平的可信度。

## 二、森林經營參考水平的基本組成因素

森林經營參考水平主要利用目前進行中和未來預計推行的森林經營計畫，對森林經營的碳儲存量進行預測。為了確保推估之參考水平具有一定的準確性和透明度，以下各項為進行推估工作時必須考慮的基本因素(UNFCCC, 2010<sup>a</sup>)。

### (一) 溫室氣體清冊中森林經營的移除或排放量以及相關的歷史資料

大部分國家於推估 FMRL 時，所使用的溫室氣體數據、相關歷史資料以及數值推估方法，包含轉換係數、排放因子等，多沿用自該國所提交的國家清冊報告(National Inventory Report, NIR)。歷史數據為構成 FMRL 的基本依據，同時可用於檢視預測模型所推估的未來數據是否合理。

### (二) 齡級結構

齡級結構可說明國內森林的生長情形，並用以推估未來的生長潛力；部分國家結合國內主要生長樹種的輪伐期，以推估預測期間可能發生的伐採率。大部分國家會將齡級結構及其預測情況記述於參考水平的報告書中，並於技術評估時接

受專家評審團的審核意見進行改正；而希臘為唯一例外國家，因其不具有近期的完整資料。



### (三) 正在進行的森林經營活動

大部分國家皆發展出全國性和區域性的林業政策以持續推行森林經營活動。部分國家推行促進伐採活動的政策，將推廣和提升木質產品的使用需求作為進行林木伐採的重要誘因。

### (四) 在基準(business as usual)情境下預測未來的森林經營活動

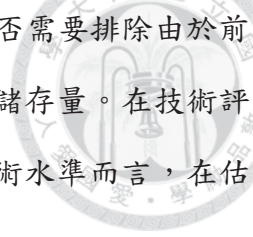
此項目所指的「基準情境」以 2009 年作為基準年，而「未來的森林經營活動」即指以基準年以前的經營活動為基礎，考慮各活動的作業動機、作業項目及國內政策，決定未來是否會持續進行。以歐盟為例，使用基準情境推測 2020 年以前林木需求和收穫的變動情形，主要以總體經濟誘因(macroeconomic driver)及 2009 年 4 月以前執行的政策和立案條款為推測基礎。

### (五) 對第一承諾期間森林經營活動的延續性

日本於計算森林經營面積時採用狹義法(narrow approach)進行總-淨碳量估算(gross-net accounting)，該方法僅考慮進行森林經營活動之林地上的碳變化量；此方法可為維持一定的林地面積提供誘因，有助於提升森林經營活動的延續性。因目前僅日本採用此計量方法，因此此一項目對其他締約國而言較不相關。

### (六) 依照第 16/CMP.1 號決議將移除量排除在計量之外的必要性

第 16/CMP.1 號決議中第 1 條 h 項目中提及以下三個項目造成的移除量應排除於碳量的估算之外，分別為(1)高於前工業期水準(pre-industrial level)的二氧化碳濃度；(2)間接氮沉降(nitrogen deposition)；(3)基準年以前進行之作業對齡級結構產生



的動態變化(UNFCCC, 2005)。在建立 FMRL 時要求各國考慮是否需要排除由於前二項，即因二氧化碳和氮沉降增加而促進林木生長所得到的碳儲存量。在技術評估的綜合報告中專家評審團認為對目前參考水平推估模型的技術水準而言，在估算時不會受到上述二因子顯著的影響，因此可排除其影響性。

### 三、森林經營參考水平報告的基本架構

建構 FMRL 除了應討論六項基本組成因素外，構成各國參考水平報告書的主要內容應包含並分成五大部分。第一部分為對六項基本因素進行基本的敘述；第二部分為列出參考水平中所包含的碳庫及考慮在內的溫室氣體；第三部分描述估算參考水平時使用碳量估算方法，以及用於預測未來第二承諾期間森林經營相關項目發展狀況的預測模型；第四部分對建構參考水平結構的各個項目進行說明；最後，第五部分則描述說明對參考水平有所影響的政策。以下將分別詳述各個部分的內容。

#### (一) 基本敘述(General description)

FMRL 報告書中此部分的內容由報告國對國內森林經營近況略作描述，約可根據書寫內容分為三個段落。第一段包含對國家森林的簡單敘述，如面積、主要林型分類方式、人工林建立情形、森林用途等，主要用意使讀者了解該國的森林經營概念。

第二段中報告國會對估算森林各項目碳量變化情形時所使用的方法和預測模型以及相關數據的來源進行簡單的說明。各國使用的數據多源自於每年繳交的溫室氣體清冊報告及國內的森林資源調查清冊，而碳量估算法則如同清冊報告中所使用的方法；關於未來數據的預測模型則會考慮該國的狀態而建立適合國內環境的模型。

第三段則根據國家狀況，對組成 FMRL 的六項基本因素進行簡單的說明，並



標示出各因素的主要內文位於報告書中的章節數。基本因素分別為：

1. 溫室氣體清冊中森林經營的移除或排放量以及相關的歷史資料
2. 齡級結構
3. 正在進行的森林經營活動
4. 在基準(business as usual)情境下預測未來的森林經營活動
5. 對第一承諾期間森林經營活動的延續性
6. 依照第 16/CMP.1 號決議將移除量排除在計量之外的必要性

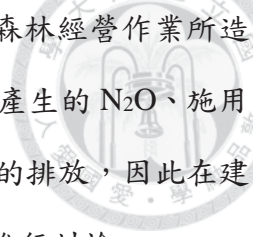
由於決議書中並未對參考水平報告書中此部分的書寫方式或內容訂定詳細的規則，因此各國的描述方式皆不盡相同，但大致上不偏離上述三類主要內容。另外，對閱讀者而言，「基本敘述」可幫助閱讀者對該國的基本狀態有所認識並有助於了解參考水平的基本組成和章節的分布，扮演近似於摘要的角色。

## (二) 碳庫及溫室氣體種類(Pools and gases)

森林為儲存地球中大部分碳量的主要碳庫之一，而在對森林的碳量估算上又可依據碳量分布位置分出五個碳庫類別，以不同方式分別估計各個碳庫的碳儲存和排放量。根據馬拉喀什協定(Marrakesh Accords)中關於 LULUCF 的決議文第 11/CP.7 號，森林中的碳庫包含地上部生物量(Above-ground Biomass)、地下部生物量(Below-ground Biomass)、枯死木(Dead wood)、枯落物(Litter)和土壤有機物(Soil organic matter)等五個碳庫，其中土壤有機物的部分可進一步分為礦質土壤(Mineral soils)和有機土壤(Organic soils)二類；而當國家在估算森林碳量時可依據自身情況，並且在提供完整資訊的前提下，決定是否將各個碳庫視為溫室氣體的排放源而列入估算項目中。

關於溫室氣體的種類，京都議定書中主要針對六種溫室氣體進行減量工作，分別為二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)、氫氟碳化物(HFCs)、全氟碳化物(PFCs)和六氟化硫(SF<sub>6</sub>)。不同種類的溫室氣體源自於不同的排放源，LULUCF





項目除了考慮上述森林中不同碳庫發生的碳量變化外，亦考慮森林經營作業所造成的排放源，包括施肥(fertilization)和土壤排水(drainage of soils)產生的 N<sub>2</sub>O、施用石灰而排放的 CO<sub>2</sub>，以及生質燃燒所造成之 CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 的排放，因此在建立 FMRL 時會另外對上述各項排放源的溫室氣體移除和排放量進行討論。

報告國於報告書中的「碳庫及溫室氣體種類」部分列出國家計算參考水平時所包含的碳庫和溫室氣體種類，並為各個項目的包含與否簡述其原因。估算參考水平時所包含的碳庫和溫室氣體種類基本上與國家溫室氣體清冊報告中計算的項目相同，如此除了便於參考水平的建立，同時亦可維持數據的一致性。由於參考水平為一段時期的估算結果平均值，為提升估算數值的準確性，國家於估算時需確保各時期所包含在內的碳庫和溫室氣體項目具有一致性。但就專家評審團的立場而言，FMRL 具有可變動性，若未來對碳庫和溫室氣體項目的數值有任何變動，或新增碳庫為碳儲存或排放量的來源，則需進行技術性修訂(technical correction)以更新估算結果。

表 1 列出國際上重要的森林經營國家在估算 FMRL 時所包含的碳庫和溫室氣體種類。由表可知，大部分國家將森林中五個碳庫皆包含在參考水平的估算作業中，而其他森林經營作業造成的排放源則需視國家情況而定。其中有部分國家於估算時未將土壤有機物碳庫考慮在內，如澳洲僅考慮人工林的部分，因其假設天然林的土壤碳量保持在均衡的狀態(Government of Australia, 2011)；另外亦有國家認為土壤中的碳量僅有細微的變化，可忽略之，如荷蘭(Government of Netherlands, 2011)。其他溫室氣體排放源的估算與否，則由森林經營作業的施作頻率決定，若非經常進行的作業活動則可直接忽略。較特別的項目為生質燃燒，可分為野火和計畫性焚燒二類，部分國家會將發生林火而造成的二氧化碳排放量列入一般森林碳庫的計算，額外估算 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 的部分，如德國(Government of Germany, 2011)；俄羅斯則將林火視為一完整碳排放源項目，對其造成的損失分為五個碳庫進行估算(Government of Russian Federation, 2011)。使用淨量法的日本則未討論碳庫或溫



室氣體的估算與否的問題，而將各個碳庫的碳量皆假設為 0 (Government of Japan, 2011)。

表 1 各國森林經營參考水平之碳庫和溫室氣體項目(以主要國家為代表)

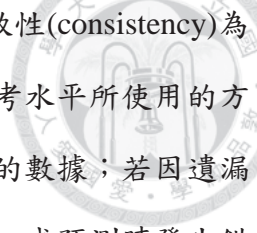
國家	包含在參考水平中的碳庫						包含在參考水平中的溫室氣體來源					
	地上部 生物量	地下部 生物量	枯落 物	枯死 木	土壤		施肥 N <sub>2</sub> O	土壤排水 N <sub>2</sub> O	施用石灰 CO <sub>2</sub>	生質燃燒		
					礦物	有機物				CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
澳洲	○	○	○	○	人工林					○	○	○
加拿大	○	○	○	○	○	○					○	○
德國	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○ <sup>1</sup>	○	○
法國	○	○	○	○	○					○	○	○
瑞典	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○
紐西蘭	○	○	○	○	○	○						
挪威	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○
俄羅斯	○	○	○	○	○	○				○		

註 1：由於德國的林火碳排放量包含在地上部生物量碳庫中，因此無詳細數據。

### (三) 使用之方法及模型(Approaches, methods and models used)

此部分的內容為報告國對建立 FMRL 所使用的方法及估算模型進行說明。如下一節中所述，各國估算 FMRL 時所使用的方法分為三類，分別為預測法、歷史基期年法和淨量法；其中預測法又可分為個別國家預測法(country-specific projection)和聯合研究中心法(Joint Research Centre, JRC)，歷史基期年法又分為以基期年為基準和以歷史數值平均為基準二小類。

使用個別國家預測法的國家大部分以國家森林資源調查清冊中的數據為基礎，進行森林經營項目之碳量變化的統計工作。構成參考水平的統計項目相當多樣，包含對齡級結構的預測、推測未來的木材需求量、以局部均衡模型(partial equilibrium model)討論木質產品供需與價格的相互影響情形、利用情境分析(scenario analysis)推估相關項目的發展趨勢、以歷史數據對未來進行外推法等。



在為各個項目估算未來數值時，透明度(transparency)和一致性(consistency)為兩個備受重視的基本概念。為滿足此二概念，各個國家建構參考水平所使用的方法基本上與近期繳交之國家清冊報告中相同，亦使用與其相同的數據；若因遺漏數據或模型解釋度不足而使參考水平和清冊報告之間產生差異，或預測時發生錯誤，則須在未來取得最新數據或相關資訊時進行更新。因此，報告國除了說明所使用的估算方法外，亦會在此部份討論 FMRL 與國家清冊報告之間的相關性。

以 JRC 法為例，使用此方法的國家皆以相同的三個模型建構未來的參考水平，分別為出自 IIASA 的「全球森林模型(Global Forest Model, G4M)」、出自歐洲森林研究所(European Forest Institute, EFI)的「歐洲森林資訊情境模型(EFISCEN)」以及「全球生物優化模型(GLOBIOM)」。前二個模型為林業模型，可估算源自於森林經營活動的碳儲存和排放量，應用時取二個模型的推估結果平均值估算碳量的變化；兩者的差異在於：(1)伐採量分配於疏伐和終伐的比例，(2)森林生長的概念，前者的森林生長量推估自生產量地圖(productivity map)，如 NPP 地圖，後者則根據清冊資料推估森林生長量。GLOBIOM 是一個以全球為尺度的局部均衡模型，主要用於推估基線情境下未來的木材需求量，其中考慮的因子包括總體經濟誘因(如 GDP、人口)及 2009 年 7 月以前施行的政策。

除了以預測模型推估未來數值，某些項目在歷史數據具有線性趨勢的情況下，亦可使用線性外插法(linear extrapolation)或以歷史數據的平均值作為估算值。如德國於估算地上部和地下部生物量時使用以基線情境推估未來 40 年林木生長情形的 WEHAM 模型，而對枯落物、枯死木和土壤有機物則使用線性外插法(Government of Germany, 2011)。瑞典於估算國內未來的收穫林產品(harvest wood product, HWP)碳量時以 2015 年和 2020 年的預測伐採量為推估基準，而該二年度的伐採量則由 2005 至 2009 年的平均值以及 2015 年的數值為基礎進行插值法(interpolation)而得的結果(Government of Sweden, 2011)。

#### (四) 參考水平結構之說明(Description of construction of reference levels)

此部分的內容主要為報告國說明建構 FMRL 時所應用到的六項因素，並加上干擾事件作為一影響因素。關於此部分所包含的因素，其中相關的定義或應用方式須符合坎昆協議中對 LULUCF 部門所設定的基本規範。

##### 1. 森林經營區域

馬拉喀什協定(Marrakesh Accords)中對「森林經營」的定義為「一系列在林地上進行的永續經營活動，期望能夠滿足森林之生態(包括生物多樣性)、經濟和社會功能。(UNFCCC, 2001)」上述經營活動包括加長林木輪伐期、疏伐以增加木材蓄積量、改變林地物種組成、施肥、採用低衝擊性的伐採作業、加強病蟲害防治以及森林保護等(Hoehn and Solberg, 1994; Sohngen and Brown, 2006; Sohngen and Brown, 2008)。除了增進森林的生態、經濟及社會功能之外，森林經營另一個重要的貢獻為減緩溫室氣體的排放，且與造林和再造林(AR)相較之下較有效率及效益(Sohngen, 2009)。附件一國家為了在承諾期間達成京都議定書下規定的減碳標準，紛紛進行森林經營活動，並在坎昆協議後遵照決議文第 2/CMP.6 號，於 2011 年 2 月 28 日前遞交國內的 FMRL。

構成 FMRL 的架構中第一部份為國家對「森林經營活動」的定義，並列出自 1990 年起每年的森林經營面積。此部分的主要目的為討論自基準年起進行森林經營的林地面積變化，數據來源主要為各國的國家清冊報告。大部分國家將「林地維持林地(forest land remaining forest land)」視為國內的森林經營區域，意即視所有森林皆受到人類的影響；如此將有二項優點，其一為由於該項目為國家清冊報告中應紀錄的資料，因此便於取得；其二為如此將可與第 3.3 條的 1990 年後造林及再造林區域做區分，而不至於造成重複計量的誤差。德國、加拿大、芬蘭、英國和使用 JRC 法的國家即視林地維持林地為估算森林經營碳量的區域。其他如澳洲和紐西蘭則將森林經營著重於能得到經濟效益的伐採作業及其後的造林工作，因此將預備伐採的林地列入估算的範圍中，兩者皆加上過去有所紀錄的 1990 年以前

建立的人工林，後者則於報告書中將公有及私有林地分為二個部分進行討論；瑞典亦以預備伐採林為範圍，但也將具有生態功能的保護林包含在內。俄羅斯以土地利用型為國家森林進行分類，其中一項稱為「森林基金林(forest fund)」，包含了立木地，如具林木覆蓋的森林或無林木覆蓋的伐木跡地、燒墾地、稀疏開闢地、清除地等，以及非立木地，如沼澤、林道、林班分野路線等；而俄羅斯的森林經營區域以森林基金林為基本組成，但扣除保護林的部分(Government of Russian Federation, 2011)。日本雖直接以 0 作為其參考水平，但還是於報告書中說明以狹義法設定森林經營區域，只要進行森林經營作業的區域即包含在內；該方法在紀錄作業區域時，以小區塊呈現而非大尺度的涵蓋整個區塊，如此既可確保區域的準確性，亦有利於同一區域作業的持續性。另外，也有國家將國內所有森林代入馬拉喀什協定對森林經營的定義，如挪威，除了預備伐採林外，國家公園和用於休憩、狩獵的非伐採林地分別符合生態、社會和經濟功能(Government of Norway, 2011)。表 2 整理上述內容，列出主要國家對森林經營區域的定義。

表 2 比較各國森林經營區域(以主要國家為代表)

方法		國家	森林經營項目			
			林地維持林地	森林功能		
				經濟	生態	社會
預測法	個別國家預測法	澳洲		○		
		加拿大	○			
		德國	○			
		瑞典		○	○	
		紐西蘭		○		
	聯合研究中心法	歐盟 14 國	○			
歷史基期年法	1990 年	希臘	○			
	1990-2009 年平均	挪威		○	○	○
		俄羅斯		○		○
淨量法		日本		○	○	



## 2. 森林經營活動的碳排放和移除量

報告國於此部分對森林經營區域中發生的碳排放和移除量進行說明，並同時以表格顯示歷史數據和推估得到的預測數據。由於預測期間的土地利用型將不斷改變，因此大部分國家的參考水平報告書中記載的森林面積與國家清冊報告的數值將有所差異。少數國家於第一承諾期間未將森林經營包括在森林項目的碳量計算中，如澳洲、冰島，因此其參考水平中此部分將以推估的方式進行，至技術評估時再以林地維持林地的區域作為檢驗基準。

在國家溫室氣體清冊中，LULUCF部門的分類下，林業分為「林地(forest land)」和「林地維持林地」二個項目，二者的差異為前者較後者多考慮了土地利用型的變化情形。異於僅考慮土地利用型的紀錄方式，京都議定書將森林中的作業活動考慮在內，分出了「造林及再造林」、「森林經營」及「毀林」等三種作業方式。基於一致性的考量，決議文中參考水平的指導方針要求報告國須對清冊和京都議定書中規定的項目進行比較並討論二者的關係，如此可將參考水平報告書中森林經營的碳變化量分為二小部分：

- (1) 歷史(1990-2008)及預測(2009 年以後)的排放和移除量
- (2) 溫室氣體清冊和相關歷史資料中森林經營與林地維持林地之間的關係，包括按照京都議定書中第 3.3 條及第 3.4 條及會員大會中林地維持林地分類項目下的相關資訊

由於對報告書的書寫格式未有一定的規定，因此各國在討論上述二項的數據時分別使用了不同的表達方式。將林地維持林地項目下的區域直接視為森林經營區域的國家對此部分並未做特別的解釋，因兩者的數據相同。瑞典將京都議定書和土地利用型的項目並列於同一個表格中，如此顯示出二種分類方式的統計結果有些許差異；其解釋為土地利用型轉變資料的更新方式為項目間數值的變動而總和不變，長時間下，不適合以土地利用型資料作為森林作業活動的數值(Government of Sweden, 2011)。英國雖未列出土地利用型項目的碳量數據，但其概念與瑞典相

近，皆以京都議定書下森林經營項目為主要估算目標。



### 3. 森林特徵

不同地區及不同生態系的森林特性具有相當大的差異性，為了解各國森林的狀態，此部分要求報告國對國內森林的情況進行說明，內容分為五個項目，如下所述。

#### (1) 齡級結構

大部分的國家會使用國內的預測模型，以森林資源清冊中的歷史數據為基礎，對未來森林的齡級分布進行預測，而後以直方圖的方式顯示不同年度的齡級結構變化情形；直方圖中以齡級所占的面積(或總森林經營面積的比例)或材積蓄積量作為結構分布的代表。但亦有部分國家，如加拿大和英國，僅列出單一年度的齡級分布情形為代表，以交代國內的森林現況。

#### (2) 蓄積量

林地蓄積量的多寡受到各種因素的影響，包括樹種組成、林型結構、過去的經營方式及氣候和環境等自然因素，因此估算方式較為複雜。由於蓄積量對森林經營而言具有相當重要的地位，因此各國的森林資源清冊應具備完整的歷史資料，以此作為參考水平報告書中蓄積量資料的來源。除了歷史的蓄積量外，大部分國家將歷史資料代入預測模型中以取得未來的蓄積量資料。了解未來蓄積量的趨勢將有助於森林經營活動的規劃。

#### (3) 輪伐期

報告國於此部分列出國內與森林經營相關的主要樹種的最適輪伐期，可以此表示林分適合及預計的收穫年限；配合上述的齡級結構並考慮國家或企業的森林經營政策，可推估未來的伐採情形。



#### (4) 基線情境下森林經營作業的資訊

此處的資訊包含造林情形、育林作業方針、國家森林經營政策等，以不同樹種或不同功能的森林為情境，討論未來預期的生長情形。了解造林情形的目的為掌握森林資源，可由造林年度推估可能進行木材伐採的時間；如英國有很大一部份的人工林種植於 20 世紀中期，近年來達到收穫年齡，將造成 2009 年後林地碳貯量的降低(Government of United Kingdom, 2011)。

#### (5) 其他相關資訊

大部分國家於報告書中忽略此一項目或與上述第四項合併，其他包含此項目的國家在此對影響森林經營之碳儲存和排放量的影響因子進行說明。此部分的内容包含使用之預測模型的詳細說明(如考量因子、代入的參數等)、對未來情估算方法的預告(如建立新的預測模型)等。

### 4. 伐採率

此一部份列出以歷史伐採率預測未來伐採率的結果。報告國預測未來伐採率的方式可分為二種，第一種方式為使用國家尺度的預測模型，第二種方式則以歷史數據為基礎進行推估。使用預測模型時應代入考慮的因素包括總體經濟影響因子(如國內生產毛額(gross domestic product, GDP)、人口)、木材價格變動情形、累積林木蓄積量及其他變數；將上述因素列入考慮的原因為期待能夠藉此推估未來對木質產品的需求量，從而影響未來的林木伐採率。以目前各國人口和國內生產毛額上升的趨勢，可預期未來的林木伐採率將提升，如採用 JRC 法的各國。使用第二種方法的國家，假設未來的伐採率將與近年來的水準維持一致，大多採用歷史伐採率的平均值或以插值法的方式進行推估。以歷史數據為基礎的原因為各國在 2009 年 12 月以前未立法執行會使未來伐採率發生大幅度變化的相關政策；如加拿大以 1990-2009 年的伐採數據平均值代表 2013 至 2020 年的伐採率、冰島選擇



2010 年的伐採率作為基線，後者的理由為預期在預測期間國內經濟情勢不會發生巨大的變動(Government of Canada，2011；Government of Iceland，2011)。

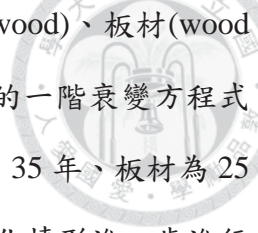


#### 5. 收穫林產品(Harvested wood products，HWP)

近年來，由於 HWP 具有延遲源自於被伐採林木之碳排放的功能，因而被視為具有為國家提升碳貯量潛力的碳庫之一。雖然附件一國家能夠藉由 HWP 碳庫提升國內的碳貯量，進而對 FMRL 的數值造成影響，但決議文中並未強制規定各國於估算國內參考水平時須將 HWP 碳庫包含在內，同時亦無統一的計量方法，因此目前建立參考水平時考慮此碳庫的國家共有 28 國，且估算方法不盡相同。

由於現今國際性的貿易活動發達，HWP 於國家間的流通相當複雜，有時木材的生產、加工至成品的製成分別於不同國家進行，因此在計算 HWP 碳庫的碳量時，其歸屬問題須有明確的定義。為了訂定標準的 HWP 碳量歸屬權，IPCC 指導方針中提出三種碳流動的計量方法，分別為貯量變化法(Stock-Change Approach，SCA)、生產法(Production Approach，PA)和大氣流動法(Atmospheric Flow Approach，AFA)。此三種方法的差異主要在於計量範圍的不同，決定將碳量歸於生產國或進口國下時分別使用了不同的系統邊界，如貯量變化法和大氣流動法皆以國家為邊界，進出口資料決定碳量的歸屬，而生產法則將收穫林產品的碳量計算於生產國之下。但 FMRL 中 HWP 碳庫的計算方式卻異於上述三種方法，皆將碳量的估算重點置於以國產材生產的木質產品，以避免高估國內碳貯量。是否包括出口產品則視國家選擇的計算方式而異，大部分國家會將出口的部分排除在外，例外的國家為愛沙尼亞和使用生產法的芬蘭等。半數以上的國家使用 C-HWP-Model 作為估算模型，以國產材半成品(如板材)的年儲存變化量作為估算收穫林產品延遲排放之碳量的參考值；即使芬蘭和瑞典分別標榜以貯量變動法和生產法為碳量估算方法，還是僅計算國內生產及消費的部分。

各國在進行林產品碳量估算作業時遵從專案工作小組(Ad Hoc Working Group)



提供之規範，以三個木材類別為估算項目，分別為製材(sawn wood)、板材(wood panels)和紙類(paper)；估算方法則依據 IPCC 指導方針中記述的一階衰變方程式(first order decay function)，代入上述產品項目的半衰期，製材為 35 年、板材為 25 年、紙類為 2 年，先估算歷史上 HWP 碳庫中碳儲存量，以其變化情形進一步進行未來 HWP 碳量的預測(UNFCCC，2010<sup>b</sup>)。

對 HWP 碳庫進行碳量估算的國家，在描述該國的森林經營參考水平時會提供二個數值，分別為包含 HWP 碳庫的參考水平以及假設 HWP 之碳量為即時排放的數值。

#### 6. 發生不可抗拒情況下的干擾(Force majeure)

此部分的干擾指的是無法人為制止其發生及控制其嚴重性和影響程度的特殊事件或情境，將造成溫室氣體的排放(UNFCCC，2010<sup>a</sup>)。雖然干擾被列為建構 FMRL 的因素之一，但大部分國家於估算參考水平時未將干擾考慮在內。造成此情形的原因有三，其一為對於干擾並不具有明確的定義，如干擾的形式、至少應影響多少面積及損害量等沒有具體的範圍規範；其二為干擾事件發生的頻率極小且不具有顯著的規律性；其三為由於過去的碳量估算方法，對於歷史干擾事件造成的排放量將直接與參考水平合併、不另行分項，使得報告國在估算此項目的碳量時不易由歷史資料推估(UNFCCC，2011)。

在提交 FMRL 時，真正討論干擾事件之影響程度僅有一個國家—澳洲。澳洲以 1990 至 2009 年間於多目標利用森林(Multiple use forest)發生的林火事件為基礎，對干擾事件影響程度的估算設定排放量門檻值(1%)，分別以是否估算門檻值以下區域以及不包含任何干擾的情形進行五種干擾狀況的排放量估算作業，結果如表 3 所示(Government of Australia，2011)。門檻值的設定將對預測時代入的面積造成影響，面積越大、干擾造成的排放則越高。

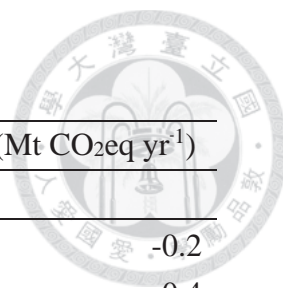


表 3 澳洲對干擾進行預測的參考水平

森林經營狀態	門檻值(國家排放的%)	參考水平(Mt CO <sub>2</sub> eq yr <sup>-1</sup> )
包含干擾事件		
不考慮門檻值以下的區域	0%	-0.2
	1%	0.4
考慮門檻值以下的區域	0%	-0.2
	1%	2.1
不包含干擾事件	NA	4.7

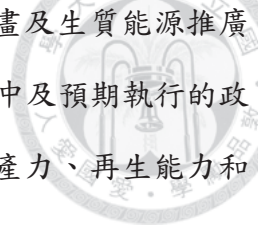
雖然其他國家未將干擾獨立分出一個項目進行估算，但由各國提供的資料可知各種干擾事件造成的排放量皆被包含在參考水平之中，其中干擾事件包含氣候干擾(如暴風雨、強風、大雪)、病害、生物性干擾(如昆蟲、真菌、動物)以及林火。

#### 7. 依照第 16/CMP.1 號決議將移除量排除在計量之外

根據第二章第二節中描述，此處討論保留與否的移除量源自以下二個項目：(1) 高於前工業期水準(pre-industrial level)的二氧化碳濃度；(2) 間接氮沉降(nitrogen deposition)。二氧化碳和氮沉降的增加皆會促進林木生長，進而提升國內的碳儲存量，因此在建立 FMRL 時要求各國考慮是否需要排除上述二項因素。目前沒有任何國家明確地將此二因素造成的影響排除在參考水平之外，各國用於估算未來碳量變化的預測模型假設：即使大氣中二氧化碳量增加將不具有任何作用。另外，專家評審團認為以目前的科技水準進行評估，在一個承諾期間二氧化碳和氮沉降的增加帶來的影響差異不顯著，因此可直接排除其影響性。

#### (五) 包含的政策(Policies included)

此部份所指的政策分為二個階段，第一階段為 2009 年 12 月以前實施的政策和措施，第二階段為已確定將於 2013-2020 年間將持續推行的政策；另外，2009 年 12 月之後新成立或更改的政策將不予計入。上述的政策和措施大多與締約國國



內森林經營活動相關，包含國家森林經營計畫、林產品使用計畫及生質能源推廣策略等。由於 FMRL 代表基線情境，因而要求報告國列出執行中及預期執行的政策，主要作用在於確保森林覆蓋率的穩定性以及維持森林的生產力、再生能力和活力。

#### 四、森林經營參考水平的估算方法

根據各國所提交森林經營參考水平資料以及技術評估的綜合報告，在計量方法的架構上，可將各國使用的方法歸納為三大類，分別為預測法、歷史基期年法和淨量法。以下將對三個估算方法進行介紹，並於表 4 列出各方法的比較。

##### (一) 預測法(Projection)

預測法以歷史紀錄中的碳排放/移除量為基礎，推估出 2013 至 2020 年間的淨碳排放量，以該期間的平均值作為 FMRL。此方法又可細分為二類，分別為個別國家預測法以及聯合研究中心法。前者以國家別為區分，不同國家以國家森林資源調查清冊(national forest inventory, NFI)的數據和統計量為基礎，綜合適合該國情況的模型和推估方法，以不同碳庫使用不同推估模型的方式，發展出特定的計量方法；目前共有 18 個國家使用各自發展出的方法。後者的使用者為歐盟中 13 個國家，以 G4M 和 EFISCEN 二個模型推估 2020 年以前進行之森林經營將對地上部和地下部生物量碳庫的年碳排放/移除量產生的影響。G4M 使用森林空間參數如齡級結構、蓄積量和歷史伐採量等進行分析，而 EFISCEN 則由國家森林資源調查清冊取得林地面積以進行基本森林項目的預測，如幹材材積、蓄積量、齡級結構和森林生物量及土壤中的碳量。

預測法因彈性較大，可視各國的狀態進行預測模型的調整，因此為目前最多國家採用的方法。各國在進行預測時大多沿用國家清冊報告中的資料，討論資料中的趨勢後，區分各種項目以不同的方式對未來的數據進行預測。以澳洲為例，

由於 2002 年伐採率驟降，因此假設未來伐採率為 2002 年至 2009 年的伐採率平均值；而其木材的出口貿易值則以 2008 年的數量為代表，於第二承諾期間將維持一定(Government of Australia, 2011)。

預測法的優點為估算時考慮國內歷史狀態與現況，因此預測結果能夠最貼近國家未來可能發生的情況；如此亦能稱預測法對改善國家碳儲存和排放量最具邊際誘因，因未來進行任何外加的森林經營活動所額外取得的碳儲存量即可視為碳匯收入。

## (二) 歷史基期年法(Historical base year)

使用此方法的國家將過去某一時期或期間的平均碳排放/移除量作為該國的 FMRL。此法亦可分為二類，其一為希臘以 1990 至 2009 年森林經營區域中的平均移除量作為該國的參考水平；其二為白俄羅斯、挪威和俄羅斯以 1990 年數據為基礎建立其參考水平，用意為利用基準年的碳儲存量設定參考水平可了解在承諾期間國內的碳儲存效率和成果。希臘原本與大部分歐盟國家相同，使用預測法中的 JRC 法，但因國家清冊中不具有有效的齡級結構資料而不適用 G4M 為預測模型，因此接受專家評審團的建議，以較為保守的估算方式，將 2011 年溫室氣體排放清冊中 1990~2009 年林地維持林地項目的碳儲存量平均值作為 2013~2020 年的排放量代表值(UNFCCC, 2011)。

## (三) 淨量法(Gross-net)

使用淨量法即於計量時假設為無基準的狀態，而將國內的 FMRL 設定為 0；目前僅日本採用此方法。日本在計算森林經營的林地面積時使用狹義法，並將此方法視為維持永續森林經營的一項誘因，而將參考水平設定為 0 的前提包括持續使用相同的計量方法。

各國願意接受日本使用淨量法、直接將其 FMRL 設定為 0 的原因，推測有以



下兩點：

### 1. 以總-淨法估算森林經營的碳儲存效益

日本在第一承諾期間估算森林經營項目的碳量時以狹義法配合總-淨法 (gross-net accounting)，並以此估算方式為背景，制定多項森林經營的政策和措施。因此為維持未來執行上述政策的效果並取得最大的減碳效益，日本在第二承諾期將延續第一承諾期的估算方法。狹義法則用於定義森林經營區域，以林分為單位，紀錄 1990 年後不同經營活動項目的施作區域，如整地、植樹、疏伐、收穫等；使用此法定義森林經營區域將較為繁雜但也較為精確，並有助於使用國持續進行經營活動以維持森林經營區域面積。總-淨法為記錄承諾期間或經營活動所產生的總碳量變動情形，自活動開始進行後估算碳變化量，因此可將參考水平視為 0，實際記錄不同森林經營活動的碳儲存與排放量，總和後為淨碳排放量。

日本在第二承諾期為了延續經營政策而持續使用總-淨法，並依該方法的概念將 FMRL 設為 0，並配合嚴謹的狹義法，以詳細的森林經營活動記錄確保其參考水平的合理性。

### 2. 整體森林的齡級結構及未來經營計畫

自 1990 年起，日本的溫室氣體移除量於 2003 年達到最大值，而後逐年下降。觀察其齡級結構，推測造成碳儲存量持續下降的原因為大部分的林分已趨近成熟林齡，碳儲存能力逐漸降低。在此情況下，若希望維持森林的碳儲存功能則須持續進行森林經營；另外，亦能夠預期未來的伐採情況將持續增加。考慮到林木伐採量增加將提高排放量大於儲存量的機會，並結合縮減的碳儲存量，日本將 FMRL 設定為 0 並未因起其他國家強烈的反對。

表 4 森林經營參考水平計量方法及其優缺點

方法	預測 (projection)	歷史基期年 (Historical base year)	淨量 (Gross-net)
優點	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 貼近國家狀態。</li> <li>2. 對碳儲存具邊際誘因。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以基期年為準可避免排放量的增加。</li> <li>2. 可做為資料不齊全國家過渡性的估算方法。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 具維持森林經營活動的誘因。</li> <li>2. 考慮淨排放/移除量。</li> </ol>
缺點	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 容許以移除量補償增加的排放量。</li> <li>2. 不利各國項目間差異性的討論。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可能發生非外加性之碳儲存成果。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 不足以鼓勵進行新的森林經營活動。</li> <li>2. 未來碳匯可能被高估。</li> </ol>
國家	<p>個別國家預測法：            澳大利亞、奧地利、加拿大、克羅埃西亞、丹麥、芬蘭、德國、冰島、愛爾蘭、列支敦士登、紐西蘭、波蘭、葡萄牙、斯洛凡尼亞、瑞典、瑞士、烏克蘭、英國(共18國)</p> <p>聯合研究中心法：            比利時、保加利亞、捷克、愛沙尼亞、法國、匈牙利、義大利、拉脫維亞、立陶宛、荷蘭、羅馬尼亞、斯洛伐克、西班牙(共13國)</p>	<p>以1990年為基準：            白俄羅斯、挪威、俄羅斯聯邦</p> <p>1990-2009年平均值：            希臘</p>	日本



## 參、台灣森林經營參考水平的建構

### 一、台灣森林經營背景概述

本文第二章中整理出各國在建構其國內 FMRL 時所考慮的因素和報告書的基本架構，在第三章中將遵從上述的架構，使用「第三次森林資源及土地利用調查」以及各年度「林業統計」的資料，配合適合國內森林狀態的估算模式，以 1990 至 2011 年的資料，為台灣建立 2012 至 2020 年的 FMRL。

根據 2012 年出版的林業統計，至 2011 年底台灣森林面積共有 2,258,734 公頃；以所有權區分，其中 1,538,114 公頃屬於國有林事業區，另外 253,384 公頃為公私有林，剩下的 467,236 公頃為保安林。國有林事業區中有林木地占 91.50%，其中 67.49% 為天然林，32.51% 為人工林。台灣於 1991 年禁伐天然林，而後隨著人力成本提升以及生態保育的意識逐漸高漲，林木伐採量逐年下降，直至近年來的木材自給率不到 1%。木材伐採作業停滯的結果造成台灣森林經營活動近於停擺的狀態，僅剩少數的疏伐和補植作業。

建構台灣 FMRL 所使用的數據主要取自林務局每年度出版的「林業統計」，輔以「第三次森林資源及土地利用調查」資料。估算森林碳量時，各個碳庫的碳量主要參考歷史數據以及相關文獻。對未來的景況進行推估時，由於台灣不像其他國家具有以國家為背景建立的預測模型，因此不同項目具有不同的推估方式，將於下文中說明。

以下為包含於坎昆協議中 LULUCF 部門決議文中，建構 FMRL 的六個基本因素：

#### 1. 溫室氣體清冊中森林經營的移除或排放量以及相關的歷史資料

台灣目前以「國家通訊(National Communication)」作為統整國家溫室氣體排放情況的正式官方文件，其中土地利用變化及林業部門以全國森林為估算對象，因此關於森林經營項目的碳儲存和排放量不具有可參考的歷史資料，僅以全體森林





的數值為代表。

## 2. 齡級結構

台灣的森林齡級結構以不同直徑級的株數和蓄積量分布為代表，資料取自第三次森林資源調查報告書。

## 3. 正在進行的森林經營活動

以伐採林木為主要的經營活動，資料取自林業統計中的林產品處分項目。

## 4. 在基準(business as usual)情境下預測未來的森林經營活動

如上述第 3 點。

## 5. 對第一承諾期間森林經營活動的延續性

如上述第 3 點。

## 6. 依照第 16/CMP.1 號決議將移除量排除在計量之外的必要性

在估算森林碳量時不考慮第 16/CMP.1 號決議提出的影響因素。

## 二、建構臺灣森林經營參考水平的方法

### (一) 碳庫及溫室氣體種類

根據第二版國家通訊對土地利用變化及林業部門的估算方法和統計程序的說明，由於台灣森林資源及土地利用調查和林業統計的調查項目不足、資料不夠完整，因此在估算此部門碳量時需參考 1996 年 IPCC 指導原則中的方法。估算過程中使用的係數取自相關研究文獻結果，以國內的研究數值為主；若有不足之處則使用 IPCC 指導原則中的預設值。

在決定應包含於 FMRL 內的碳庫時，延續國家通訊報告書的概念，以林木生物量為估算重點。死有機質碳庫則依據 IPCC 指導原則認為其對碳量變化的影響不顯著，因此將此碳庫設定為 0。另外，由於國內與土壤碳庫相關的調查工作尚在發展階段，因此資料不足而不包含在估算範圍中。

台灣林業部門在估算碳量變化時，溫室氣體的種類基本上僅將二氧化碳列入

考慮。關於溫室氣體的排放源，由於台灣的森林經營較為粗放，因此不會進行施肥或施用石灰，因此此二活動不會列入溫室氣體的估算當中。林火造成的碳排放量雖然未佔森林部門顯著的比例，但還是將其造成的林木損失包含在林木生物量的估算內，而不將其視為另一個溫室氣體排放源。

表 5 台灣森林經營參考水平的碳庫和溫室氣體排放源

包含在參考水平中的碳庫						包含在參考水平中的溫室氣體排放源					
地上部 生物量	地下部 生物量	枯落 物	枯死 木	土壤		施肥 N <sub>2</sub> O	土壤排水 N <sub>2</sub> O	施用石灰 CO <sub>2</sub>	生質燃燒		
				礦物	有機物				CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
是	是	否	否	否	否	否	否	否	否	否	否

## (二) 使用之方法及模型

各國設立國家 FMRL 時主要使用三種方法，分別為預測法、歷史基期年法和淨量法。預測法根據國家的情形，為估算各個構築 FMRL 的森林經營項目建立預測模型，於使用上較為彈性；歷史基期年法的適用於各年度資料不齊全的國家，以單一年度碳排放量或某一時期之平均碳排放量作為參考水平的代表值；淨量法則須有準確的森林經營相關紀錄，如各年度的森林經營作業區域、作業項目等，且使用國應確保森林經營作業將持續進行，否則其可信度將會受到存疑。台灣每年度出版的林業統計中對國內森林相關數據有基本的紀錄，但未將森林經營視為一個獨立的項目，因此未達淨量法的標準，但能夠以各年度的資料取得比歷史基期年法更為準確的估算結果。最後決定以預測法估算台灣的 FMRL，並為組成參考水平的各個項目建立一套預測未來趨勢的方法。

建構 FMRL 的碳量項目主要分為二大項，分別為森林經營區域碳貯量(C<sub>forest</sub>)和收穫林產品碳庫碳貯量(C<sub>HWP</sub>)(式 1)。以下將說明以歷史數據估算二項目碳量以及進而預測未來碳量的方法。

$$C_{FM} = C_{forest} + C_{HWP} \quad (式 1)$$

C<sub>FM</sub>：森林經營項目總碳量；



$C_{forest}$ ：森林經營區域碳貯量；

$C_{HWP}$ ：收穫林產品碳庫碳貯量。

### 1. 森林經營區域碳貯量( $C_{forest}$ )

森林經營區域碳貯量源自於林地碳貯量( $C_{land}$ )減去伐採木材( $L_{harvest}$ )及干擾( $L_{disturbance}$ )所引起的碳排放量，如式 2 所示。

$$C_{forest} = C_{land} - (L_{harvest} + L_{disturbance}) \quad (式 2)$$

$C_{land}$ ：林地碳貯量；

$L_{harvest}$ ：伐採木材所造成的碳排放量；

$L_{disturbance}$ ：干擾所引起的碳排放量。

估算林地碳貯量時以林地的林木蓄積量推估碳量，在估算時將其分為地上部和地下部生物量二個碳庫，以此二碳量之和作為林地的碳貯量。伐採林木和遭遇干擾所造成的碳排放量由損失林木的材積推估，其估算方法如同林地碳貯量的推算。

#### (1) 林地碳量推估方法

林地碳量的推估方法參考 IPCC 出版的 LULUCF 良好操作指南(Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry, GPG-LULUCF)(2003)，其中提供推估林木蓄積之碳量時所使用的模式(式 3)。

$$C = V \times D \times BEF \times (1 + R) \times CF \quad (式 3)$$

$C$ ：林木每公頃二氧化碳吸存量(公噸-碳)；

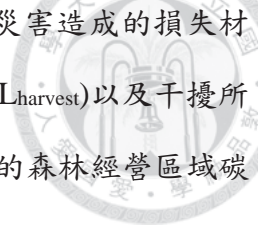
$V$ ：每公頃林木材積( $m^3/ha$ )；

$D$ ：木材基本比重(公噸/ $m^3$ )；

$BEF$ ：生物量擴展係數，林木生物量與地上部生物量之轉換係數；

$R$ ：根莖比，即全株材積與幹材材積之轉換係數；

$CF$ ：乾物(dry matter)的碳含量轉換係數(預設值為 0.5)(公噸-碳/公噸-乾物)。



由此模式分別代入林地林木蓄積量、林產品處分量和森林災害造成的損失材積，分別可得到林地碳貯量( $C_{land}$ )、伐採木材所造成的碳排放量( $L_{harvest}$ )以及干擾所引起的碳排放量( $L_{disturbance}$ )，而碳貯量扣除碳排放量即為該年度的森林經營區域碳貯量( $C_{forest}$ )。

## (2) 推估林地碳量之相關數據

### A. 森林經營區域面積

將人工林視為森林經營區域，因此取國有林中人工林以及公私有林的面積總和為森林經營面積。

由於林業統計的調查項目於 2006 年施行林地分區制後有所改變，而國有林下的人工林為新增的分類項目，因此僅有 2006 至 2011 年的資料，1990 至 2005 年的數據則由過去的數據推估。就面積而言，取國有人工林和國有林森林面積的比例進行推估；因 2006 年至 2007 年的比例突然由 21% 提升至 30%，因此假設 1990 至 2005 年的國有人工林面積佔國有林面積的 21%。

觀察圖 2 中各年度森林經營區域的面積，發現自 1990 年起森林經營的面積逐漸增加，至 2010 年為最高，於 2011 年些微降低；目前森林經營區域約達到穩定的狀態，因此在森林經營活動持續進行的前提之下假設未來森林經營面積在 2011 年的狀態，即 664,310 公頃。

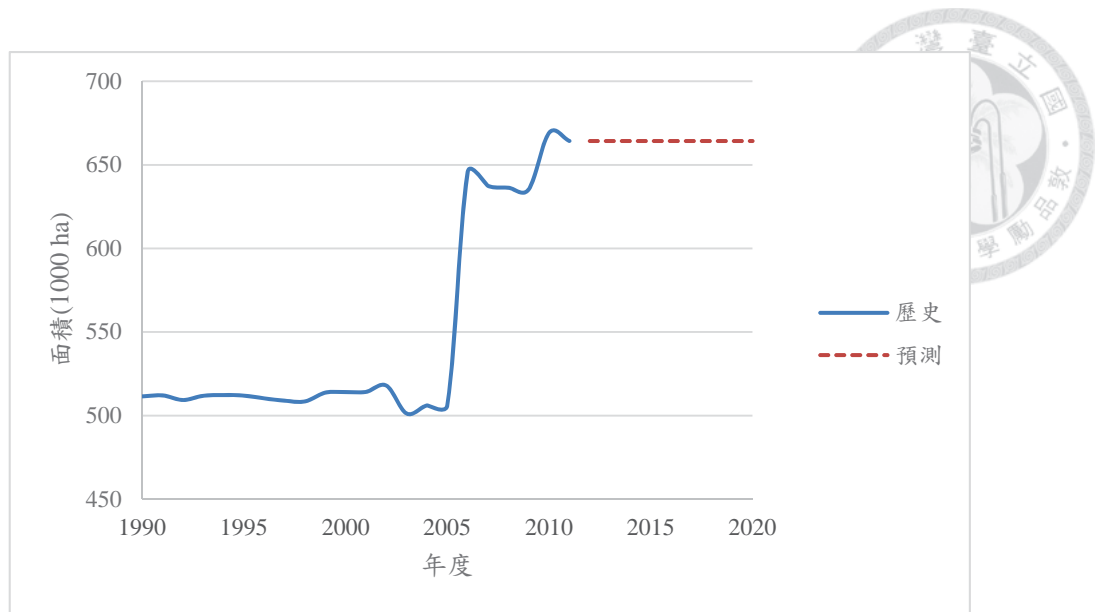


圖 2 各年度森林經營區域面積

## B. 森林經營區域蓄積量

### (A) 歷史蓄積量

1990 至 2005 年的國有人工林蓄積量與面積的情況相同，亦使用等比例推估的方式。同樣因 2006 年至 2007 年的比例突然由 14% 提升至 24%，因此假設 1990 至 2005 年的國有人工林蓄積量皆為國有林蓄積量的 14%。公私有林的林木蓄積量的資料刊登僅止於 2001 年，且 1990 至 1998 年及 1999 至 2001 年分別顯示相同數據，即  $4,798,735 \text{ m}^3$  和  $5,020,008 \text{ m}^3$ ，因此 2002 年以後各年度的公私有林蓄積量以 2001 年的  $5,020,008 \text{ m}^3$  為代表。

### (B) 預測蓄積量

#### a. 貯量變動法

觀察人工林蓄積量的時間變化，發現近五年(2007 至 2011 年)數值的變動不大，但 2006 年與 2007 年之間具有較大的差異。為消除 06 年至 07 年的特殊異動影響，嘗試以近五年(2007 至 2011 年)蓄積變化量的平均值代表未來(2012 至 2020 年)的人工林蓄積變化量，因此推測未來的蓄積量將每年度遞增  $111,667 \text{ m}^3$ ，即單位面積蓄



積變化量為  $0.17 \text{ m}^3/\text{ha}$ 。

貯量變動法即以「林業統計」資料為依據，假設未來林地蓄積變化量每年度遞增  $111,667 \text{ m}^3$  ( $0.17 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ )(如圖 3)；而此數值已扣除年度干擾和伐採的損失材積，可直接用於估算林地碳貯量。

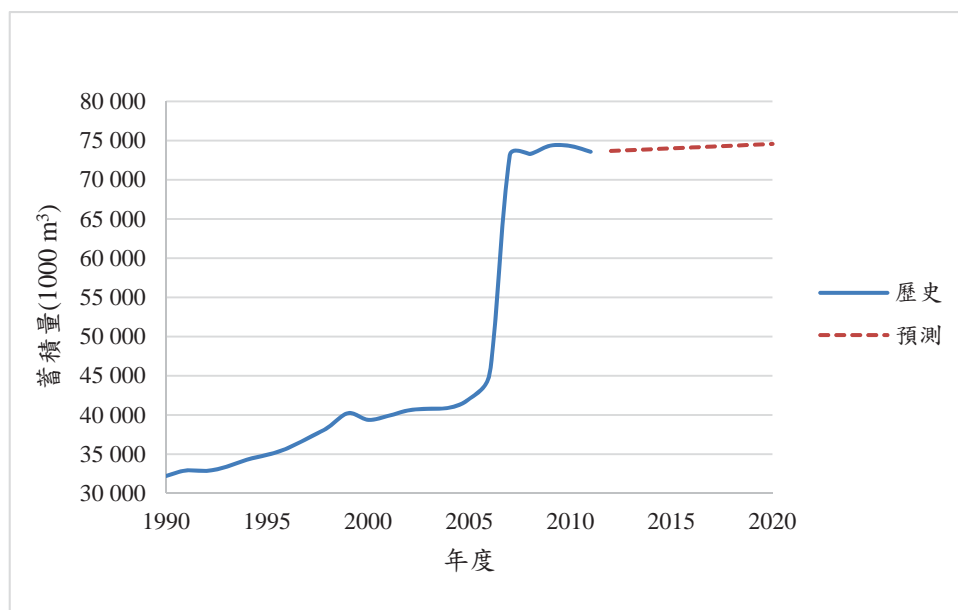


圖 3 各年度森林經營區域蓄積量(以貯量變動法推估)

#### b. 增減法

根據過去的文獻研究結果，以台灣 20 年生人工林的單位面積平均生長量來說，生產力較好的林地年平均生長量約  $9.8 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，而較差的林地則亦有  $4.5 \text{ m}^3/\text{ha}$  的生長量(羅紹麟、馮豐隆，1986)，因此假設年生長量為  $0.17 \text{ m}^3/\text{ha}$  對臺灣森林而言過於低估其生產力。林務局於 1982 年出版的「台灣林木資源之生長及枯死」中提及各樹種的生長量和枯死量，其中針葉樹的年生長量為  $7.34 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，枯死量為  $0.95 \text{ m}^3/\text{ha}$ ；闊葉樹的年生長量為  $6.16 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，枯死量為  $1.16 \text{ m}^3/\text{ha}$ ；混合林的年生長量為  $6.45 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，枯死量為  $0.49 \text{ m}^3/\text{ha}$ (張一山、林慶同，1982)。由於估算參考水平的林分統計資料未區分林型，因此以針葉樹和闊葉樹的平均值為代表，即單位面積



年生長變化量為  $5.70 \text{ m}^3/\text{ha}$ 。

增減法即以台灣林木資源之生長及枯死為依據，假設林地單位面積年生長變化量為  $5.70 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{yr}$ ；由於此數值僅代表林木生長情形，在估算年度林地蓄積量時須另外扣除干擾和伐採的損失材積，並以淨蓄積量估算林地碳貯量。圖 4 顯示以增減法推估之各年度的森林經營區域蓄積量情形。

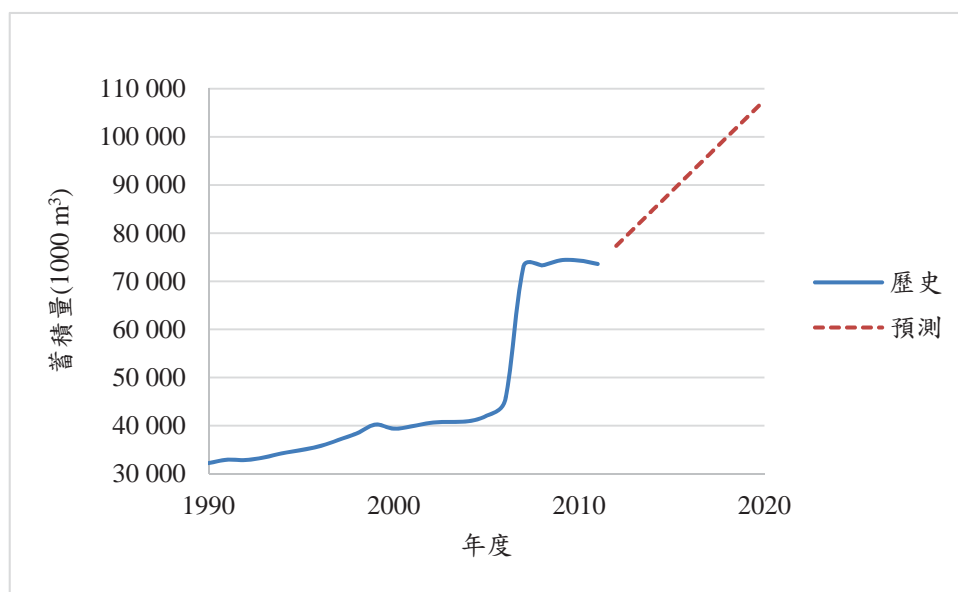


圖 4 各年度森林經營區域蓄積量(以增減法推估)

### C. 林木伐採

林產物處分量造成的損失材積皆直接使用林業統計中的材積量。歷史數據使用材種分類資料，針葉樹材和闊葉樹材取人工林下的伐採量，而薪材及竹則未區分是否取自人工林，在估算碳量時針、闊葉樹使用各自的轉換係數，而薪材則以針闊混合的數值代表。

1990 年以後，林木伐採量整體呈現下降的趨勢；雖於 2003 年伐採量突然攀升，而後還是持續性的減少。林產物處分量的材積之預測值以近五年蓄積量的平均值代表，計算方法以當年度之前五年的平均值作為當年度的數值，即 2012 年為 2007

至 2011 年的平均值、2013 年為 2008 至 2012 年的平均值，以此類推。由於國內的現況未顯示未來發生大量伐木的可能性，因此使用此預測方法能夠避免數值產生較大的變動，同時亦表示雖然國內林木伐採風氣低迷，但還是維持著一定的經營收穫。

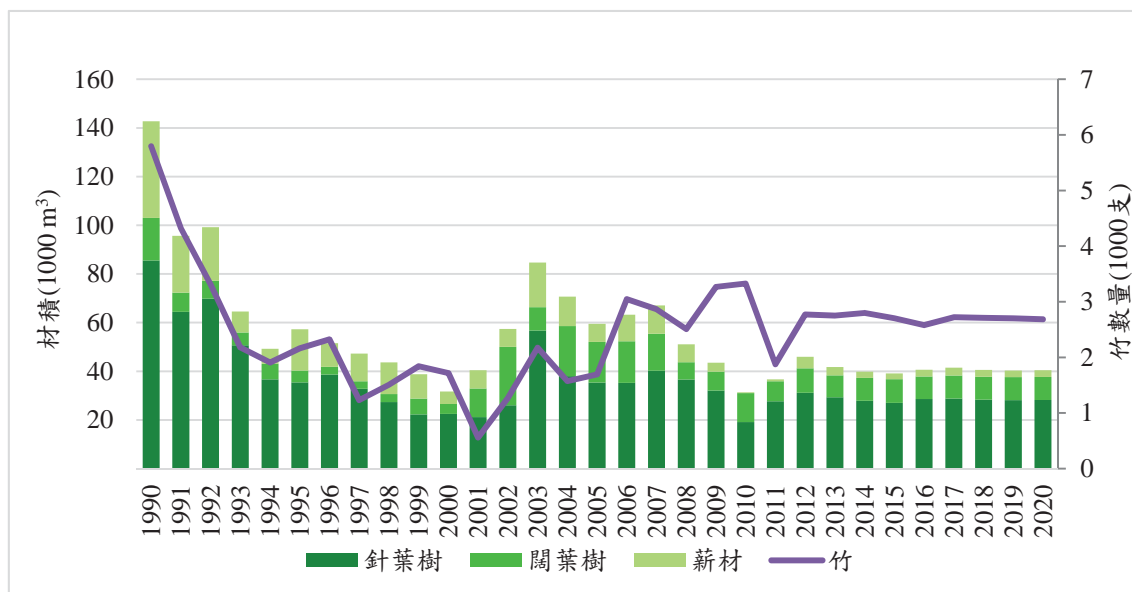


圖 5 各年度森林經營區域林產物收穫材積

#### D. 干擾

干擾事件造成的損失材積則直接使用林業統計中「森林災害」項目下紀錄的損失材積量，其中將干擾的類型分為包含火災、盜伐/竊取主副產物、濫墾和其他(如風災、水患、旱害、蟲害、擅誤伐等)。由於森林災害資料未區分人工林或天然林，因此取其總量，以各年度「被害林木」項目下的材積估算碳排放量。

歷年來森林災害事件的發生不具有任何規律性，且有著十分顯著的差異性，而各年度隨著事件所造成的林木損失量亦無一定趨勢。造成此種差異性的原因可推測為突發性的自然干擾，如強烈颱風或地震皆會造成森林的損害，除此之外亦會發生零星的林火事件。由於台灣每年發生颱風、地震等干擾的機率較高，因此



不得忽略災害事件的碳排放量，在預測未來森林經營地區的碳量時，應將森林災害造成的影響考慮在內。本文採取的作法為直接使用 1990 至 2011 年的平均值作為代表，假設每年固定因干擾損失  $183,101 \text{ m}^3$ ，當未來出現極端值時再行補充修訂。

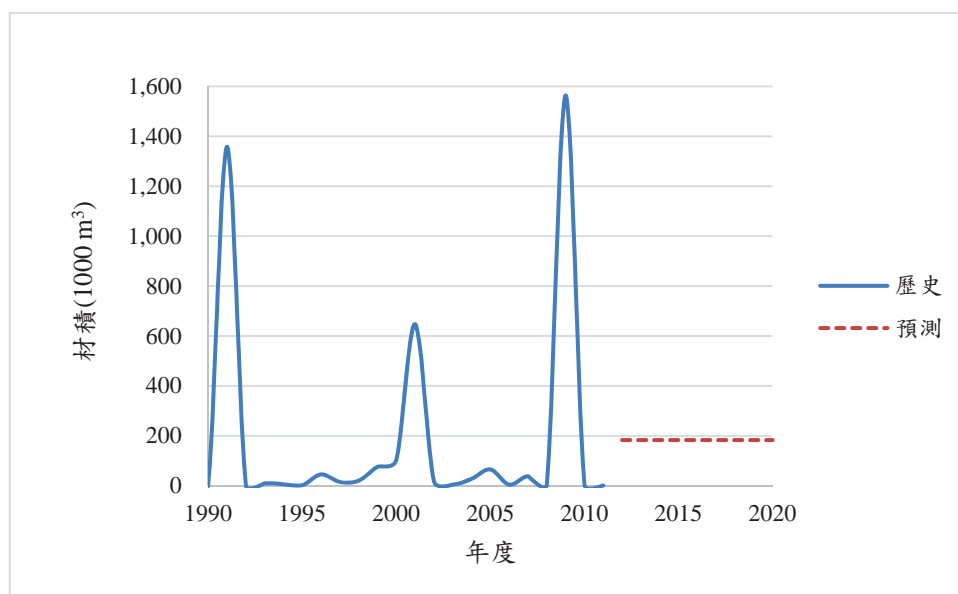


圖 6 各年度森林經營區域干擾損失材積

#### E. 相關轉換係數

##### (A) 針、闊葉樹種

估算林地碳量所使用的各種轉換係數，主要參考邱祈榮等(2012)為建立台灣林業部門溫室氣體估算方法時所整理的國內研究數值。

根據林裕仁等(2002)對台灣主要 24 種用材進行比重(D)和碳含量比例(CF)的研究，分別使用針葉樹種和闊葉樹種的實驗結果平均值，假設針葉樹和闊葉樹的比重各為 0.42 和 0.56，而碳含量比例則為 48.21% 和 46.91%。由於在林木蓄積量的部分沒有針、闊葉樹的分項，因此在計算碳量時以針、闊葉樹種數值的平均為代表，比重和碳含量比例分別為 0.49 和 47.56%。



生物量擴展係數(BEF)則參考王兆桓和劉知妤(2006)所建立的柳杉和樟樹數值，用以代表人工針葉林和人工闊葉林，分別為 1.23 和 1.20，而以二樹種的平均值 1.21 代表未分類項目。

根莖比(R)參考杜清澤等(2011)以柳杉為對象的研究結果，將人工針葉林設定為 0.24；人工闊葉林則取李宣德和馮豐隆(2008)對樟樹的根部占全株生物量的研究結果，假設為 28.95%。計算未分類項目碳量時使用二者的平均值 0.26。

### (B) 竹子

雖然國際上對森林經營區域碳量的估算僅止於針、闊葉林等木質材積的部分，但觀察台灣過去的林產品處分紀錄，發現國內對竹子有著不可忽視的收穫量，因此在估算台灣森林經營區域碳量時亦將竹子的碳量包含在內。

參考林裕仁等(2011)對孟宗竹、桂竹、麻竹及刺竹之碳轉換係數的研究，以四種竹材的平均值為代表，分別將比重和碳含量比例設為 0.66 和 47.08%。另外，雖然國際上對林木碳量的估算以材積為估算單位，但由於竹材為中空材料，難以估算其材積，因此竹子的生物量多以重量為代表，本文則以重量作為估算竹材碳量的基本單位。此外，林業統計林產品處分資料中的竹材項目以支數計，因此估算碳量時使用四種竹材的平均生物量 13.74 kg/支。

表 6 估算林地碳貯量的相關係數值

林型\係數	D	BEF	R	CF
人工針葉林	0.42	1.23	0.24	0.4821
人工闊葉林	0.56	1.20	0.29	0.4691
針、闊葉林平均值 <sup>1</sup>	0.49	1.21	0.26	0.4756
竹林	0.66	*	*	0.4708

\*竹子設為 13.74 kg/支。

註 1：當未取得明確的針、闊葉樹種分類資料時以針闊葉樹種係樹平均值為代表。



## 2. 收穫林產品碳庫碳貯量(CHWP)

### (1) 碳量推估方法及係數

據各國建立 FMRL 時對 HWP 碳庫估算範圍的定義，僅將國產材所製成的產品考慮在內，忽略其他進口產品；因此，本文中用於計算的資料取自林業統計中的森林主產物生產量值，其中記載國內所生產之產品材積和價值，不論其所有權為國有、公有或私有。國際上列入估算的產品類別為製材(sawn wood)、板材(wood panels)和紙類(paper)，而林業統計中將台灣的林產品分為用材(saw-timber)、薪材、枝梢材和竹材等四個類別，其中用材會進一步區分針葉樹種和闊葉樹種二類。薪材顧名思義主要用途為燃料，而枝梢材由於形態較小、不易利用，目前除了少數用於工業上，其他部分的用途與薪材相似。根據上述的使用方式，薪材和枝梢材對延緩二氧化碳排放的貢獻度較低，因此在估算 HWP 碳庫儲存碳量時不將此二個項目計入，僅估算用材和竹材的部分。

式 4 為 HWP 的碳量計算公式；由於台灣沒有發展出適用於國內的特定數值，因此式中的轉換係數參考 IPCC 國家溫室氣體清冊指導方針(IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories)(2006)提供的預設值。因此將用材的密度和碳轉換係數設為 0.45 和 0.5；由於指導方針中未提及竹材的算法，因此採用國內的數值，設密度為 0.66、碳轉換係數為 0.47。

$$C_{HWP} = V \times D \times CF \quad (\text{式 4})$$

V：木質產品的產量(m<sup>3</sup>)；

D：密度；

CF：碳含量轉換係數。

估算 HWP 碳庫的碳量時，除了計算當年度生產產品本身的碳量外，亦應考慮「使用中產品」延遲排放的碳量。參考 IPCC 指導方針(2006)中的估算式，如式 5 所示。此估算式納入木質產品半衰期的概念，而由於林業統計中林產品的分類粗略，因此不管是用材或竹材皆以製材的 35 年為國內木質產品的估算係數。



$$C(t+1) = e^{-k} \cdot C(t) + \left[ \frac{(1-e^{-k})}{k} \right] \cdot Inflow(t) \quad (式 5)$$

$i$ ：年度；

$C(i)$ ：第  $i$  年度剛開始收穫林產品碳庫的碳貯量(Kt C)；

$k$ ：一階衰變方程式的衰變係數( $yr^{-1}$ )( $k=\ln(2)/HL$ ， $HL$  為收穫林產品的半衰期)；

$Inflow(i)$ ：第  $i$  年度流入收穫林產品碳庫的碳量(Kt C  $yr^{-1}$ )。

## (2) 收穫林產品數量

由於 HWP 碳庫僅估算國內生產的木質產品，因而觀察其歷史數據，可發現生產產品材積的發展趨勢近似於林木伐採量的情況。因此對 HWP 碳庫的預測方法與林木伐採量相同，亦使用歷史數據的平均值作為代表，同樣以當年度之前五年的平均值作為當年度的數值。

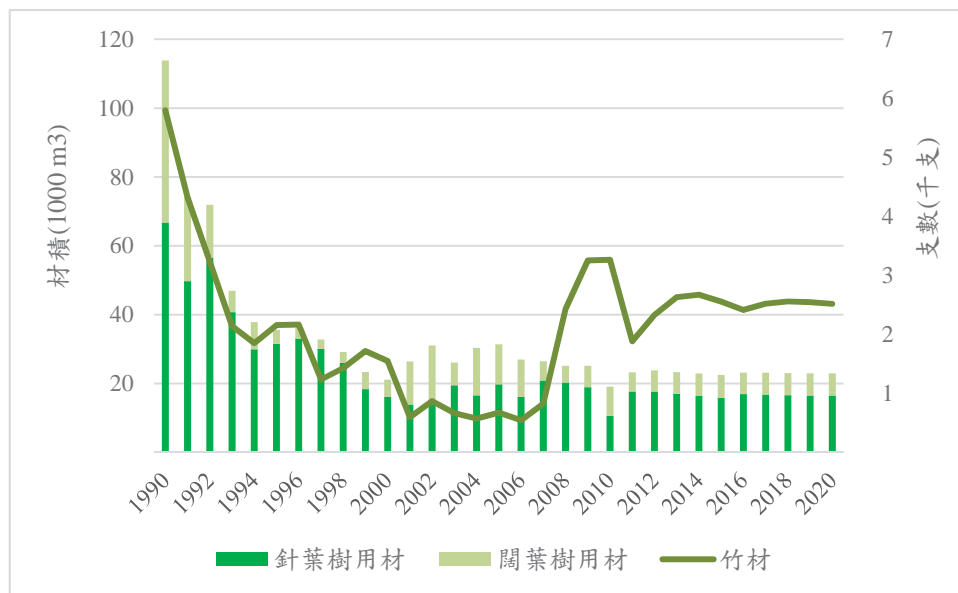


圖 7 各年度林產物年產量



### 三、台灣森林經營參考水平的估算結果

#### (一) 森林經營區域碳貯量( $C_{forest}$ )

表 7 列出以二種假設法估算森林經營區域碳貯量的相關數據及其估算結果。各年度由林地碳貯量( $C_{land}$ )扣除林木伐採( $L_{harvest}$ )和干擾( $L_{disturbance}$ )所造成的碳排放量，所得結果表示各年度森林經營區域的總碳貯量( $C_{forest}$ )。由於 FMRL 代表年度碳量變化數值，因此在得到森林經營區域的總碳貯量後，進一步算出各年度森林經營區域的碳貯量變化數值( $\Delta C_{forest}$ )。由表中可知，使用貯量變動法將森林年蓄積量假設為  $0.17 \text{ m}^3/\text{ha}$  時，2012 至 2020 年的平均碳貯量為  $-96,237 \text{ Kt CO}_2\text{eq}$ ，平均碳貯量變化為  $-116 \text{ Kt CO}_2 \text{ eq}$ ；而使用增減法設定單位面積年生長變化量為  $5.70 \text{ m}^3/\text{ha}$  的情況下，平均碳貯量為  $-120,153 \text{ Kt CO}_2\text{eq}$ ，平均碳貯量變化為  $4,859 \text{ Kt CO}_2\text{eq}$ 。

表 7 森林經營區域碳貯量及相關統計數值

年度	面積 (ha)	蓄積量 ( $\text{m}^3$ )	$C_{land}$	$L_{harvest}$	$L_{disturbance}$	$C_{forest}$	$\Delta C_{forest}$
				(Kt $\text{CO}_2\text{eq}$ )			(Kt $\text{CO}_2\text{eq}$ )
1990	511 508	32 232 881	41 992	313	6	41 673	33
1991	512 072	32 941 082	42 914	218	1 770	40 927	- 746
1992	509 303	32 875 083	42 828	198	4	42 627	1 700
1993	511 838	33 415 265	43 532	128	13	43 390	764
1994	512 255	34 317 023	44 707	105	8	44 594	1 204
1995	511 923	34 934 949	45 512	121	3	45 388	793
1996	510 285	35 750 864	46 575	117	59	46 399	1 011
1997	508 900	37 044 496	48 260	86	20	48 154	1 755
1998	508 470	38 406 985	50 035	89	27	49 920	1 765
1999	513 711	40 239 044	52 422	92	99	52 231	2 311
2000	514 066	39 384 933	51 309	79	135	51 095	- 1 136
2001	514 158	39 902 640	51 984	65	843	51 076	- 19
2002	517 940	40 606 010	52 900	105	24	52 770	1 694
2003	501 176	40 807 631	53 163	154	6	53 003	232
2004	506 071	40 924 190	53 315	127	36	53 151	149
2005	506 142	42 079 256	54 819	115	85	54 619	1 468
2006	645 796	45 239 374	58 936	152	6	58 778	4 159

2007	637 416	73 140 079	95 284	152	50	95 083	36 304
2008	636 353	73 299 388	95 492	121	7	95 364	281
2009	635 340	74 358 517	96 871	131	2 037	94 704	- 660
2010	669 179	74 314 513	96 814	119	7	96 688	1 984
2011	664 310	73 586 746	95 866	89	2	95 775	- 913

貯量變動法<sup>1</sup>

2012	<b>664 310</b>	<b>73 698 413</b>	<b>96 012</b>	<b>126</b>	<b>239</b>	<b>95 647</b>	<b>- 128</b>
2013	<b>664 310</b>	<b>73 810 080</b>	<b>96 157</b>	<b>120</b>	<b>239</b>	<b>95 799</b>	<b>151</b>
2014	<b>664 310</b>	<b>73 921 746</b>	<b>96 302</b>	<b>119</b>	<b>239</b>	<b>95 945</b>	<b>147</b>
2015	<b>664 310</b>	<b>74 033 413</b>	<b>96 448</b>	<b>115</b>	<b>239</b>	<b>96 094</b>	<b>149</b>
2016	<b>664 310</b>	<b>74 145 080</b>	<b>96 593</b>	<b>114</b>	<b>239</b>	<b>96 240</b>	<b>146</b>
2017	<b>664 310</b>	<b>74 256 747</b>	<b>96 739</b>	<b>119</b>	<b>239</b>	<b>96 382</b>	<b>141</b>
2018	<b>664 310</b>	<b>74 368 413</b>	<b>96 884</b>	<b>117</b>	<b>239</b>	<b>96 528</b>	<b>147</b>
2019	<b>664 310</b>	<b>74 480 080</b>	<b>97 030</b>	<b>117</b>	<b>239</b>	<b>96 674</b>	<b>146</b>
2020	<b>664 310</b>	<b>74 591 747</b>	<b>97 175</b>	<b>117</b>	<b>239</b>	<b>96 820</b>	<b>146</b>
平均值						<b>96 237</b>	<b>116</b>

增減法<sup>2</sup>

2012	<b>664 310</b>	<b>77 369 991</b>	<b>100 795</b>	<b>126</b>	<b>239</b>	<b>100 430</b>	<b>4 655</b>
2013	<b>664 310</b>	<b>81 153 237</b>	<b>105 723</b>	<b>120</b>	<b>239</b>	<b>105 365</b>	<b>4 935</b>
2014	<b>664 310</b>	<b>84 936 482</b>	<b>110 652</b>	<b>119</b>	<b>239</b>	<b>110 295</b>	<b>4 930</b>
2015	<b>664 310</b>	<b>88 719 728</b>	<b>115 581</b>	<b>115</b>	<b>239</b>	<b>115 227</b>	<b>4 932</b>
2016	<b>664 310</b>	<b>92 502 973</b>	<b>120 509</b>	<b>114</b>	<b>239</b>	<b>120 156</b>	<b>4 930</b>
2017	<b>664 310</b>	<b>96 286 219</b>	<b>125 438</b>	<b>119</b>	<b>239</b>	<b>125 081</b>	<b>4 924</b>
2018	<b>664 310</b>	<b>100 069 464</b>	<b>130 367</b>	<b>117</b>	<b>239</b>	<b>130 011</b>	<b>4 930</b>
2019	<b>664 310</b>	<b>103 852 710</b>	<b>135 295</b>	<b>117</b>	<b>239</b>	<b>134 940</b>	<b>4 929</b>
2020	<b>664 310</b>	<b>107 635 955</b>	<b>140 224</b>	<b>117</b>	<b>239</b>	<b>139 869</b>	<b>4 929</b>
平均值						<b>120 153</b>	<b>4 899</b>

資料來源：林務局出版的各年度林業統計。

註 1：貯量變動法假設林地年蓄積量 0.17 m<sup>3</sup>/ha

註 2：增減法假設年生長量 5.70 m<sup>3</sup>/ha

註 3：表中數值正值(+)為移除，負值(-)為排放。



(二) 收穫林產品碳庫碳貯量( $C_{HWP}$ )

表 8 列出估算 HWP 碳庫碳貯量的相關數據及其估算結果。由於 HWP 的儲存碳量需考慮到產品的使用年限，因此估算時不僅僅需算出當年度所生產之產品的碳量，亦須考慮前一年度所累積的碳量。表中的「小計」代表著當年度新增至 HWP 碳庫的碳量，而總碳庫碳貯量( $C_{HWP}$ )為使用 IPCC 所提供的半衰期公式而得的累積成果。與森林經營區域碳貯量相同，為用於推估 FMRL 而算出各年度 HWP 碳庫碳貯量變化量( $\Delta C_{HWP}$ )。估算結果顯示 2012 至 2020 年之間各年度經由當年度生產之木質產品增加的碳貯量平均值為-21 Kt CO<sub>2</sub>eq，以一階衰變公式推估的 HWP 碳庫碳貯量平均值為-636 Kt CO<sub>2</sub>eq，各年度變化量平均值為-7 Kt CO<sub>2</sub>eq。

表 8 收穫林產品碳庫碳貯量及相關統計數值

年度	用材	竹	小計	$C_{HWP}$	$\Delta C_{HWP}$
	(t CO <sub>2</sub> eq)				(Kt CO <sub>2</sub> eq)
1990	140 896	138	141 035	220 490	91
1991	88 021	103	88 124	276 873	56
1992	85 281	77	85 358	330 263	53
1993	50 112	51	50 163	362 169	32
1994	36 548	44	36 592	386 006	24
1995	43 577	51	43 628	407 571	22
1996	37 888	52	37 939	429 134	22
1997	36 358	29	36 388	447 524	18
1998	33 070	34	33 104	462 597	15
1999	26 163	41	26 204	472 626	10
2000	22 102	37	22 139	480 659	8
2001	28 116	14	28 131	492 814	12
2002	29 146	21	29 166	508 555	16
2003	33 946	16	33 962	519 917	11
2004	33 034	14	33 047	534 545	15
2005	36 396	16	36 412	549 720	15
2006	29 892	13	29 905	560 992	11
2007	29 008	20	29 027	571 610	11
2008	25 766	58	25 824	580 991	9



2009	23 010	78	23 087	590 241	9
2010	16 061	78	16 139	594 371	4
2011	19 976	45	20 021	601 771	7
2012	<b>22 764</b>	<b>56</b>	<b>22 819</b>	<b>609 493</b>	<b>8</b>
2013	<b>21 515</b>	<b>63</b>	<b>21 578</b>	<b>616 644</b>	<b>7</b>
2014	<b>20 665</b>	<b>64</b>	<b>20 729</b>	<b>623 358</b>	<b>7</b>
2015	<b>20 196</b>	<b>61</b>	<b>20 257</b>	<b>629 573</b>	<b>6</b>
2016	<b>21 023</b>	<b>58</b>	<b>21 081</b>	<b>636 212</b>	<b>7</b>
2017	<b>21 233</b>	<b>60</b>	<b>21 293</b>	<b>642 707</b>	<b>6</b>
2018	<b>20 927</b>	<b>61</b>	<b>20 987</b>	<b>648 964</b>	<b>6</b>
2019	<b>20 809</b>	<b>61</b>	<b>20 869</b>	<b>655 051</b>	<b>6</b>
2020	<b>20 838</b>	<b>60</b>	<b>20 898</b>	<b>661 019</b>	<b>6</b>
平均值		<b>21 168</b>	<b>635 891</b>	<b>7</b>	

資料來源：林務局出版的各年度林業統計。

### (三) 森林經營項目總碳量(C<sub>FM</sub>)

在建立 FMRL 時，森林經營項目下包含森林經營區域碳貯量以及 HWP 碳庫二大項，根據上述的計算結果，二者的總合如表 9 所示。結果顯示 1990 至 2011 年的平均森林經營項目碳貯量為 59,111 Kt CO<sub>2</sub> eq；而使用貯量變動法，假設森林年蓄積量為 0.17 m<sup>3</sup>/ha，推估 2012 至 2020 年的碳貯量預測平均值為 96,873 Kt CO<sub>2</sub> eq，而其森林經營項目碳變化量平均值為 123 Kt CO<sub>2</sub> eq；若使用增減法，將森林經營區域的年生長量假設為 5.70 m<sup>3</sup>/ha，碳貯量預測平均值則為 120,789 Kt CO<sub>2</sub> eq，進一步計算各年度的森林經營項目碳變化量，其平均值為 4,906 Kt CO<sub>2</sub> eq。





表 9 森林經營項目碳儲存變化量

年度	C <sub>forest</sub> (Kt CO <sub>2</sub> eq)	C <sub>HWP</sub> (Kt CO <sub>2</sub> eq)	C <sub>FM</sub> (Kt CO <sub>2</sub> eq)	ΔC <sub>FM</sub> (Kt CO <sub>2</sub> eq)	
1990	41 673	220	41 893	124	
1991	40 927	277	41 204	- 690	
1992	42 627	330	42 957	1 753	
1993	43 390	362	43 753	796	
1994	44 594	386	44 980	1 228	
1995	45 388	408	45 795	815	
1996	46 399	429	46 828	1 033	
1997	48 154	448	48 602	1 774	
1998	49 920	463	50 382	1 780	
1999	52 231	473	52 703	2 321	
2000	51 095	481	51 576	- 1 128	
2001	51 076	493	51 569	- 7	
2002	52 770	509	53 279	1 710	
2003	53 003	520	53 523	244	
2004	53 151	535	53 686	163	
2005	54 619	550	55 169	1 483	
2006	58 778	561	59 339	4 170	
2007	95 083	572	95 654	36 315	
2008	95 364	581	95 945	291	
2009	94 704	590	95 294	- 651	1990-2011
2010	96 688	594	97 282	1 988	平均值
2011	95 775	602	96 377	- 905	<b>2 482</b>
貯量變動法 <sup>1</sup>					
2012	<b>95 647</b>	<b>609</b>	<b>96 257</b>	- <b>120</b>	
2013	<b>95 799</b>	<b>617</b>	<b>96 415</b>	<b>159</b>	
2014	<b>95 945</b>	<b>623</b>	<b>96 569</b>	<b>153</b>	
2015	<b>96 094</b>	<b>630</b>	<b>96 724</b>	<b>155</b>	
2016	<b>96 240</b>	<b>636</b>	<b>96 877</b>	<b>153</b>	
2017	<b>96 382</b>	<b>643</b>	<b>97 024</b>	<b>148</b>	
2018	<b>96 528</b>	<b>649</b>	<b>97 177</b>	<b>153</b>	2012-2020
2019	<b>96 674</b>	<b>655</b>	<b>97 329</b>	<b>152</b>	平均值
2020	<b>96 820</b>	<b>661</b>	<b>97 481</b>	<b>152</b>	<b>123</b>



#### 增減法<sup>2</sup>

2012	100 430	609	101 040	4 663	
2013	105 365	617	105 982	4 942	
2014	110 295	623	110 918	4 937	
2015	115 227	630	115 856	4 938	
2016	120 156	636	120 793	4 936	
2017	125 081	643	125 723	4 931	
2018	130 011	649	130 660	4 936	2012-2020
2019	134 940	655	135 595	4 935	平均值
2020	139 869	661	140 530	4 935	4 906

註 1：貯量變動法假設林地年蓄積量 0.17 m<sup>3</sup>/ha

註 2：增減法假設年生長量 5.70 m<sup>3</sup>/ha

註 3：表中數值正值(+)為移除，負值(-)為排放。

#### 四、台灣森林經營參考水平之說明

##### (一) 森林經營區域

1991 年頒佈的「台灣森林經營管理方案」，其中第 8 條規範「全面禁伐天然林、水庫集水區保安林、生態保護區、自然保留區、國家公園、及無法復舊造林地區」，時至今日，臺灣實際進行森林經營的區域皆以人工林為主。

臺灣的林地以所有權區分為國有林、公有林和私有林，而國有林又根據「國有林地分區及經營規範」，依照土地經營現況區分為自然保護區、國土保安區、森林育樂區及林木經營區等四區，分別滿足森林的生態(包括生物多樣性)、經濟和社會功能；另外，由「台灣森林經營管理方案」的第 3 條可知公私有林的主要規劃為造林及經營。因此在估算臺灣的 FMRL 時，所包含的森林經營區域以國有林的人工林和公私有林為代表。

表 10 列出各年度森林經營區域的面積。自 1990 年起森林經營的面積逐漸增加，至 2010 年最高約 67 萬公頃，於 2011 年些微降低，推測森林經營區域分布大致上達到穩定的狀態，不會再有明顯的變動，因此在森林經營活動持續進行的前提之下假設 2012 年以後的面積維持在 2011 年的狀態，固定為 664,310 公頃。

另外，圖 2 顯示各年度森林經營區域的面積，其中 2005 年至 2006 年發生不  
合理地攀升，由原本的 50 萬公頃增加至 64 萬公頃，其原因為 2006 年公私有林的  
面積突然由 17 萬公頃暴增至 31 萬公頃，至 2007 年又回復為 17 萬公頃，因此 2006  
年的數值可能為人為輸入錯誤；而林務局在 2006 年提出林地分區分級地政策，重  
新分類的結果造成 2007 年後國有林面積由 33 萬公頃增加至 46 萬公頃。結合上述  
二個情況，森林經營區域面積於 2006 年暴增後維持於穩定成長的狀態。

表 10 森林經營(FM)之歷史與預測面積 單位：公頃

年度	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
FM 面積	569,158	579,827	591,438	584,156	669,179	<b>664,310</b>	<b>664,310</b>

## (二) 森林經營活動的排放和移除量

表 11 和 12 分別列出各年度的森林經營活動碳變化量以及使用不同方法的預  
測值，隨著數值的上升，可知各年度森林碳儲存量逐漸增加。2007 年的碳貯量變  
化值高達-36,318 Kt CO<sub>2</sub> eq，因而提升 1990 至 2011 年的平均數值至-2,460 Kt CO<sub>2</sub>  
eq；造成碳貯量變動的原因為林業統計中記載的國有人工林蓄積量突然大增，連  
帶提升該年度的碳貯量。2012 至 2020 年之後由於假設年蓄積量/年生長量和干擾  
事件排放量維持定量，各年度蓄積量差異源於林木伐採量，因此二個方法下預測  
碳儲存變化量的變動差異不大，以貯量變動法推估預測的平均值為-123 Kt CO<sub>2</sub> eq，  
以增減法推估預測的平均值為-4,906 Kt CO<sub>2</sub> eq。

表 11 森林經營區域之歷史與預測碳量(以貯量變動法推估) 單位：Kt CO<sub>2</sub>eq /yr

年度	1990	1995	2000	2005	2010	1990-2011 平均值	2015	2020	2012-2020 平均值
$\Delta C_{\text{forest}}$	-33	-793	1,136	-1,468	-1,984	-2,461	-149	-146	-116
$\Delta C_{\text{FM}}$	-124	-815	1,128	-1,483	-1,988	-2,482	-153	-152	-123

註：表中數值負值(-)為移除，正值(+)為排放。

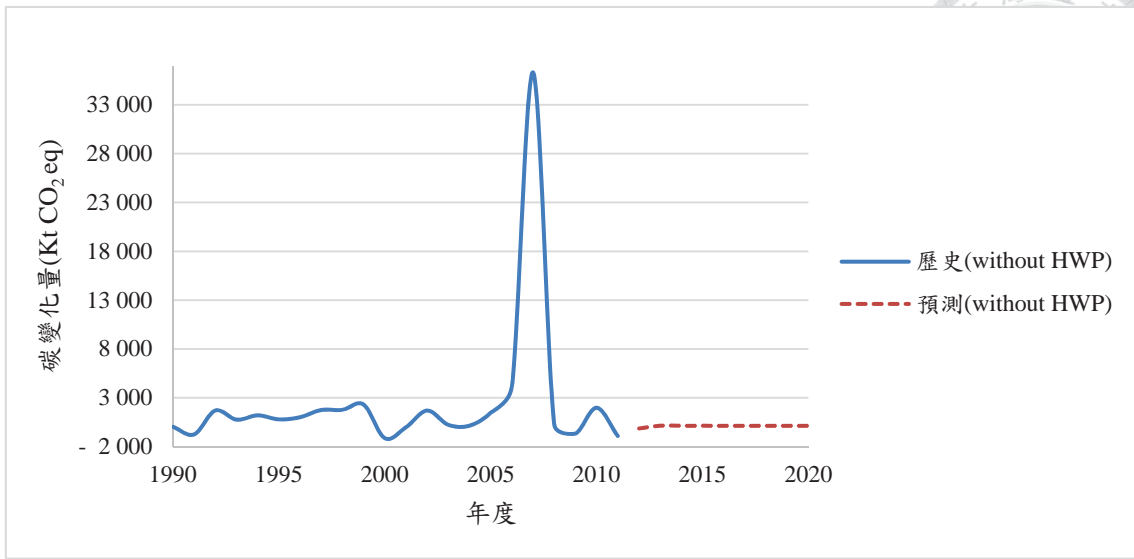


圖 8 各年度森林經營區域碳變化量(以貯量變動法推估)

表 12 森林經營區域之歷史與預測碳量(以增減法推估) 單位：Kt CO<sub>2</sub>eq/yr

年度	1990	1995	2000	2005	2010	1990-2011 平均值	2015	2020	2012-2020 平均值
$\Delta C_{\text{forest}}$	-33	-793	1,136	-1,468	-1,984	-2,461	-4,932	-4,929	-4,899
$\Delta C_{\text{FM}}$	-124	-815	1,128	-1,483	-1,988	-2,482	-4,938	-4,935	-4,906

註：表中數值負值(-)為移除，正值(+)為排放。

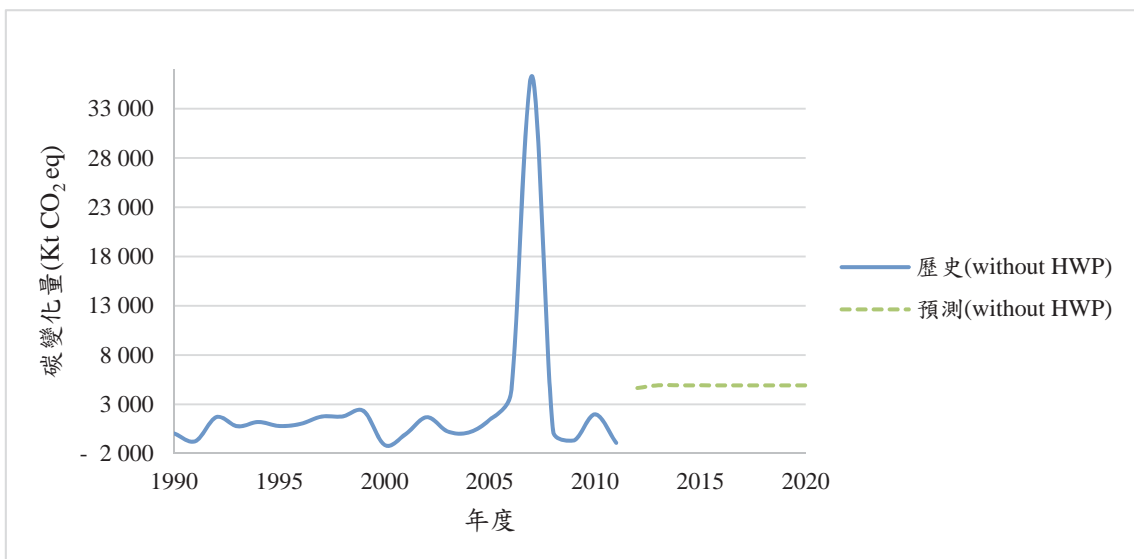


圖 9 各年度森林經營區域碳變化量(以增減法推估)



### (三) 森林特徵

#### 1. 齡級結構

國內森林資源調查的項目未包含齡級結構，此處以第三次森林資源及土地利用調查(1995)結果中林木的直徑級分布情形取代，若未來公布第四次森林資源及土地利用調查則可進行資料的更新；資料為全國森林，未將森林經營區域獨立出來。由蓄積量分布百分比可知全島的蓄積量主要分布於較為年輕的林分，但徑級較大(140公分以上)的林木亦佔了部分比例。此種徑級分布可預期若進行良好的經營活動將有利於林木的伐採收穫。

表 13 全島森林地各直徑級林木株數及蓄積

直徑級 (公分)	林木株數分布		林木蓄積分布	
	(株)	(%)	(1000 m <sup>3</sup> )	(%)
10 以下	14,245,568	1.50	428	0.12
10-20	539,479,326	56.93	42531	11.86
20-30	223,517,341	23.59	57093	15.91
30-40	85,086,118	8.98	47272	13.18
40-50	36,186,437	3.82	35203	9.81
50-60	18,236,348	1.92	28265	7.88
60-70	11,231,435	1.19	26005	7.25
70-80	6,684,977	0.71	21806	6.08
80-90	4,782,200	0.50	20684	5.77
90-100	2,946,778	0.31	16786	4.68
100-110	1,734,389	0.18	13286	3.70
110-120	1,246,778	0.13	11557	3.22
120-130	656,711	0.07	7184	2.00
130-140	555,678	0.06	6826	1.90
140 以上	1,044,001	0.11	23818	6.64
合計	947,633,373	100	358744	100

資料來源：第三次森林資源及土地利用調查(1995)。

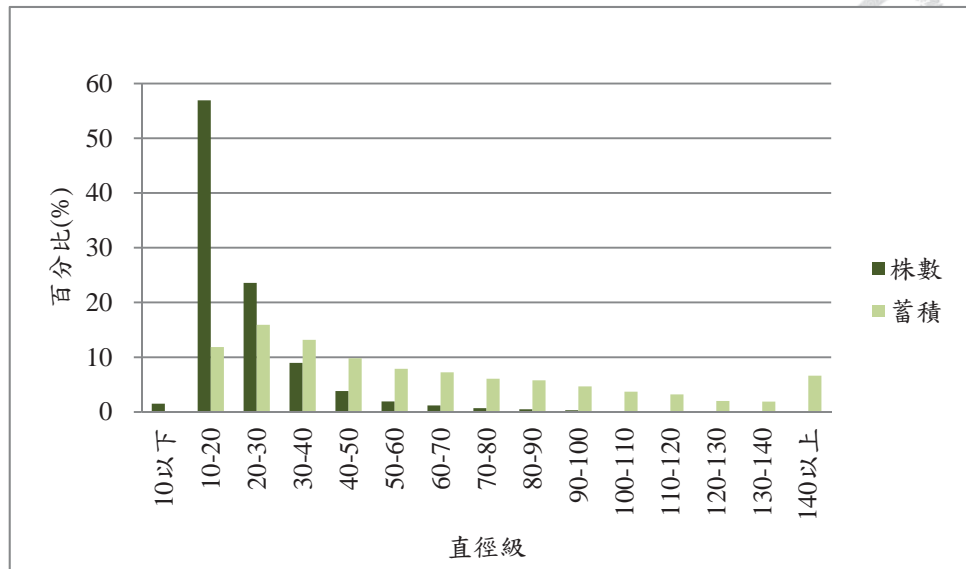


圖 10 第三次森林資源調查(1995)的徑級結構

## 2. 蓄積量

下表列出各個年度的單位面積森林蓄積量，1990至2011年資料源自林業統計，2012至2020年的預測方法如上所述，固定單位面積年生長量為 5.70 m<sup>3</sup>/ha 以推估預測值。由表中可知各年度的林地蓄積量皆呈現增加的狀態，預期國內人工林在未來幾年內能夠持續維持生產量。

表 14 各年度森林經營單位面積中蓄積量 單位：m<sup>3</sup>/ha/yr

年度	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
貯量變動法	63	68	77	83	111	111	112
增減法	63	68	77	83	111	134	162

## 3. 輪伐期

林木的輪伐期不只是由樹種決定，更受到許多其他的因素影響，如生長環境、經營成本等。根據林務局出版的「台灣的自然資源與生態資料庫－農林漁牧」(2006)中記述，過去台灣造林的主要目的為經濟生產，因此以立木材積生長量最大的樹齡為個數種的輪伐期。依照規定，雲杉、台灣杉、紅檜、台灣扁柏、香杉為 80 年

一伐；肖楠、烏心石、木荷、檫樹、胡桃、黃連木等為 60 年；華山松、台灣五葉松及二葉松等為 40 年；杉木、柳杉等為 30 年；泡桐、廣東油桐、日本油桐等則為 20 年；麻竹、荊竹等竹類為 5 年；而其他樹種的輪伐期則未明文規定。

#### 4. 基線情境下森林經營作業及其他相關資訊

目前台灣對森林經營的態度屬於較為粗放的方式，不論是人工林或是天然林多以環境保育為目標，甚少進行森林經營作業。當林務單位進行森林經營作業，如補植、疏伐時，則須遵守國家規範如國有林林產物處分規則。

##### (四) 伐採率

由於竹材的使用佔台灣年度伐採量很大的一部份，因此異於國外僅討論木材伐採量，本文將木材和竹材的伐採量分項記述並各自預測其 2012 至 2020 年的數值。表 15 顯示歷史和預測的伐採率。預測的方式為使用前五個年度的平均值代表當年度數值，如 2012 年的預測值即為 2007 至 2011 年的平均值。

天然林禁伐實施後，台灣的林業逐漸衰退；自 1990 年起，木材的伐採量持續降低，直至 2001 年才開始增加，但至 2003 年又開始下降，因此整體的伐採量呈現下降的趨勢。

如圖 12 所示，竹材的伐採量呈現每年度高低起伏交替，雖然如此還是有趨勢存在。如同木材伐採量自 1990 年開始降低，至 2001 年為最低點，而後各年度的伐採量卻呈現上升的趨勢。

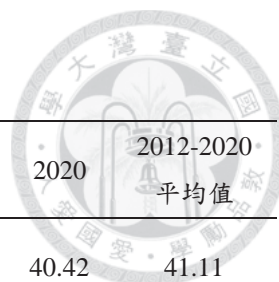


表 15 木材與竹材的歷史和預測伐採量

年度	1990	1995	2000	2005	2010	1990-2011 平均值	2015	2020	2012-2020 平均值
木材 (千 m <sup>3</sup> )	142.71	57.29	31.67	59.52	31.36	60.33	39.10	40.42	41.11
竹材 (千支)	5,796	2,161	1,716	1,694	3,327	2,384	2,704	2,683	2,712

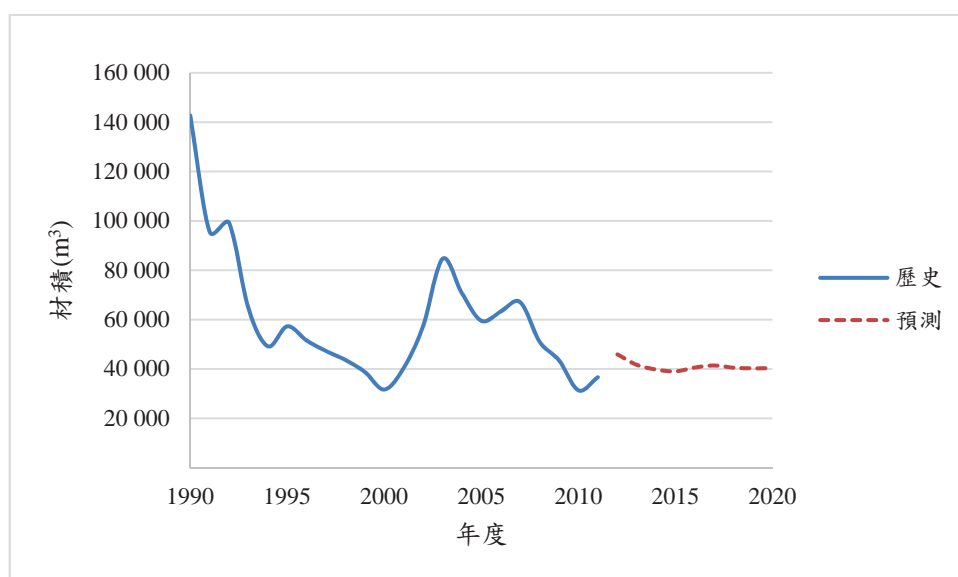


圖 11 木材的歷史和預測伐採量

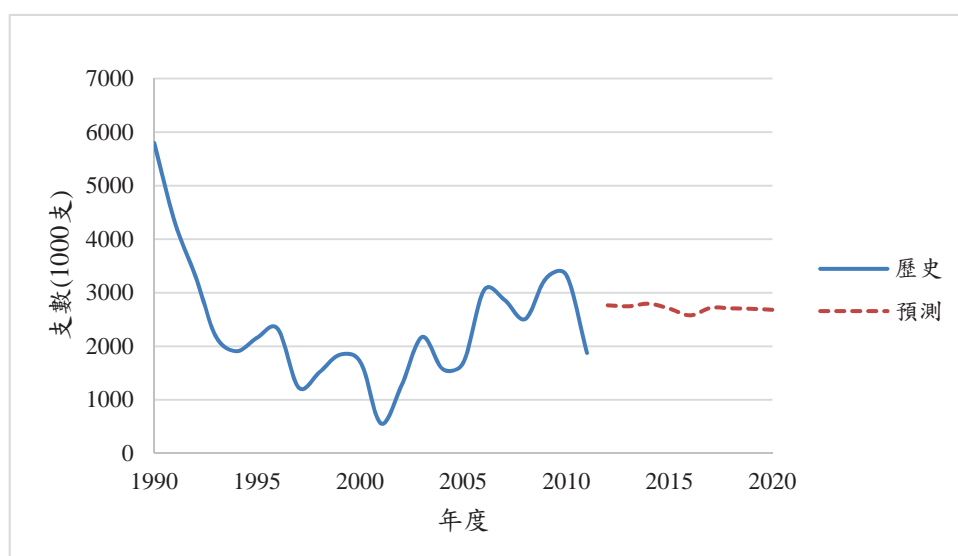


圖 12 竹材的歷史和預測伐採量





### (五) 收穫林產品

林業統計中將台灣的國產材之林產品分為用材(saw-timber)、薪材、枝梢材和竹材等四個類別。在估算歷史碳量時，忽略薪材和枝梢材，用材與竹材分別計算後加總的結果為該年度流入 HWP 碳庫的碳貯量。由於木質產品具有延遲碳排放的功能，因此參考 IPCC 指導方針(2006)中的估算公式，結合當年度與前一年度的木質產品碳貯量，並扣除考慮產品損耗而產生的碳排放量，估算每年度 HWP 碳庫的累積碳量。由於林業統計中林產品分類粗略，再加上指導方針中沒有竹材的相關資料，因此在估算碳量時二個林產品項目共同使用製材的半衰期，35 年。表 16 記述各年度 HWP 碳庫的新增碳量；自 1990 年起由於國產材產品的產量逐年降低，使得新增至收穫林產品碳庫的碳量亦不斷減少。觀察歷年的碳量情形，2010 年為新增碳量的最低點而後有些微的攀升，因此在假設砍伐量變動不大的情況下，預測未來流入 HWP 的碳量可能會維持於一定範圍的數量。

表 16 收穫林產品碳庫之歷史和預測碳量 單位：Kt CO<sub>2</sub>eq

年度	1990	1995	2000	2005	2010	1990-2011 平均值	2015	2020	2012-2020 平均值
年增量	94	29	17	25	16	31	19	19	19
C <sub>HWP</sub>	220	408	481	550	594	472	630	661	636
Δ C <sub>HWP</sub>	91	22	8	15	4	21	6	6	7

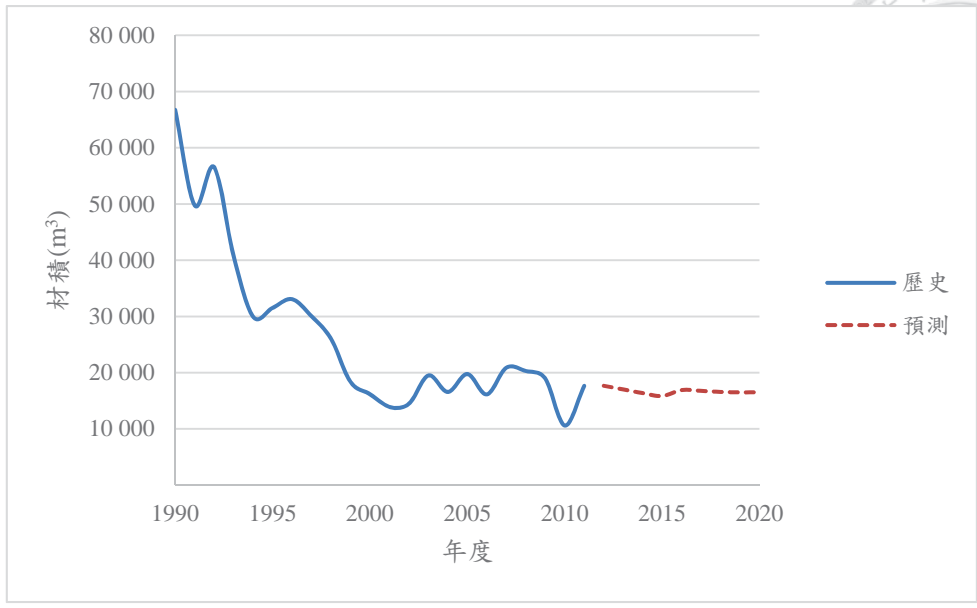


圖 13 用材的歷史和預測生產量

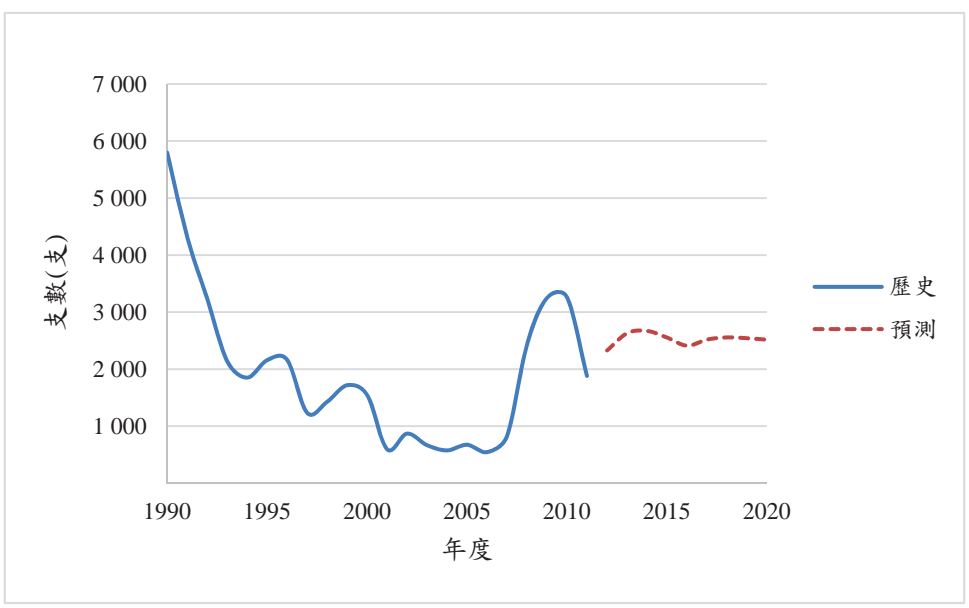


圖 14 竹材的歷史和預測生產量

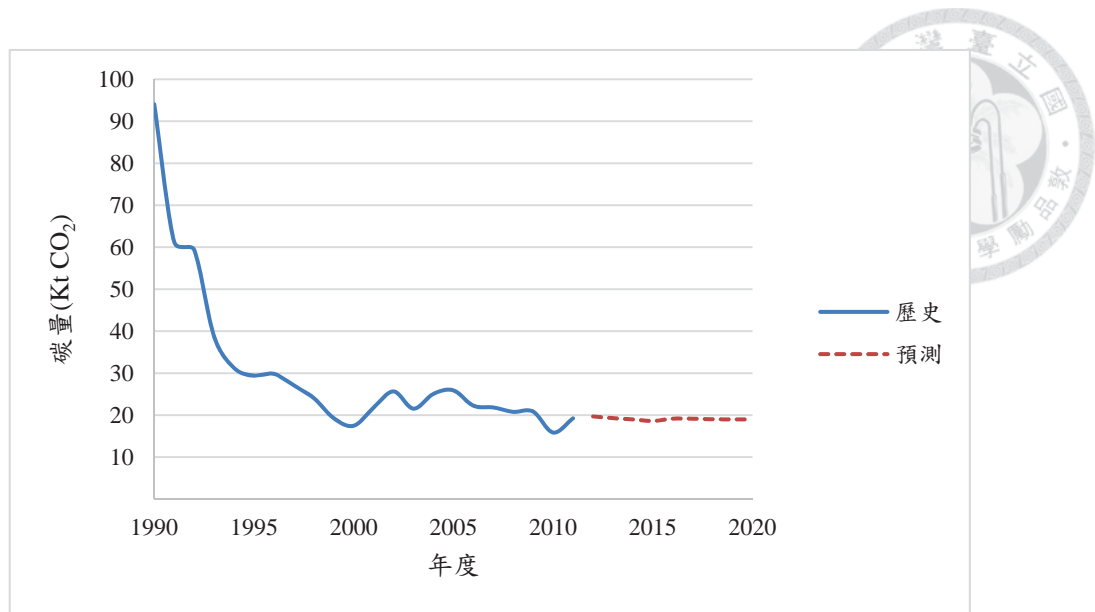


圖 15 各年度收穫林產品之新增碳量

#### (六) 發生不可抗拒情況下的干擾

由於每年定時發生的颱風以及不定時的地震，在建立國內的森林經營參考水平時，亦將林業統計中紀錄的森林災害包含於估算作業當中。未來自干擾發生而產生的碳排放量，因干擾事件的發生沒有頻率且損害規模亦不一定，因此在估算碳量時以過去干擾造成的排放量的平均值為未來的碳排放量代表值。由於此項目的推估較不具準確性，因此須在特殊干擾事件發生後進行修訂即更新數值。

#### (七) 依照第 16/CMP.1 號決議將移除量排除在計量之外

目前沒有任何資料顯示第 16/CMP.1 號決議中描述的因子對國內的碳流動量有顯著的影響，因此與其他各國相同不將此項目考慮在參考水平的估算過程中。

#### (八) 包含的政策

國內的林業部門目前對於森林經營呈現消極的態度，林業相關政策皆延續過去所建立的法規，目前亦未預期近年來的森林經營政策將有所變動或推行新的政策。



## 肆、結果與討論

### 一、台灣森林經營參考水平的估算結果

根據 FMRL 的定義，作為各締約國於估算森林經營項目碳匯時的基線情境，參考水平可視為締約國單年度的碳儲存量基礎值，大於參考水平的移除量始被視為有效的碳匯量。在估算台灣 1990 至 2011 年的林地碳貯量以及 HWP 碳庫碳貯量後，進而以各種假設對 2012 至 2020 年的碳貯量進行預測。如同大部分國家，表 17 在列出台灣的參考水平時，同時顯示：(1)包含以一階衰變方程式估算之 HWP 碳庫碳量的參考水平；(2)忽略 HWP 碳庫的碳貯量，將其碳量視為即時排放的參考水平。

表中列出使用二種假設法的林地碳貯量估算結果，分別為參考「林業統計」數據、將未來年蓄積量假設為  $0.17 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，所得未來各年度平均碳貯量為  $-116 \text{ Kt CO}_2\text{eq}$ ；以及以「台灣林木資源之生長與枯死」為依據，推估森林年生長量為  $5.70 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，所得到的結果為  $-4,899 \text{ Kt CO}_2 \text{ eq}$ 。收穫林產品碳庫碳貯量的估算則以「林業統計」中記述的林產品產量為基準推估未來的產量，所得未來各年度平均碳貯量為  $7 \text{ Kt CO}_2 \text{ eq}$ 。上述林地和收穫林產品碳貯量預測結果的總和即為台灣的森林經營參考水平，二假設法的估算結果分別為  $-123$  和  $-4,906 \text{ Kt CO}_2 \text{ eq}$ 。

與各國的參考水平相比較後，發現二種方法的估算結果與其他國家相較之下皆過於極端，貯量變動法的推估結果小於大部分國家，而增減法則超出其他國家所遞交的報告結果。造成貯量變動法呈現小於大部分國家的估算結果的原因在於過小的蓄積量變化值；各國的單位面積蓄積量平均值為  $2.16 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，而貯量變動法假設台灣林地蓄積年增量僅有  $0.17 \text{ m}^3/\text{ha}$ 。增減法假設年生長量為  $5.70 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，小於各國平均值  $6.76 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，但由於其他國家的森林資源利用情形皆較台灣普遍，因此扣除伐採量的實際蓄積量不到增減法假設值的  $1/2$ ，如此造成增減法的估算結果與各國相較之下大出許多。

比較二估算結果，在不討論森林生長量合理性的前提下，使用林業統計資料

所得到的參考水平，將在第二承諾期間有利於台灣取得森林經營項目下的碳匯量。其優點在於以較低的碳貯量數值作為參考水平時，可在維持過去的經營模式或進一步進行簡單的森林經營作業的情況下達到碳儲存目標，並較容易超出碳儲存量的指標值而取得碳匯。將年生長量假設為 5.70 m<sup>3</sup>/ha 所得到的碳儲存量目標相較之下較難達成，但可作為促進台灣重新發展森林經營政策、增加林地經營作業的契機。

表 17 台灣 2012 至 2020 年的森林經營參考水平

方法	森林經營參考水平(Kt CO <sub>2</sub> eq per year)	
	包含 HWP 碳庫	視 HWP 碳量即時排放
貯量變動法	<b>-123</b>	<b>-116</b>
增減法	<b>-4,906</b>	<b>-4,899</b>

## 二、比較各國的森林經營參考水平

### (一) 簡述各國森林經營參考水平

表 17 列出各國的 FMRL；由於不是每個國家皆將 HWP 碳庫視為具有碳儲存功能的碳庫，因此分別列出包含和未包含 HWP 碳庫的參考水平數值，以下討論各國林地碳貯量差異時則使用未包含 HWP 碳庫的數值。

各國 FMRL 的平均值為-14,022 Kt CO<sub>2</sub>eq，將表現為排放的國家剔除後所得的平均值提升至-16,002 Kt CO<sub>2</sub>eq。碳儲存表現最佳的國家為俄羅斯、加拿大和法國，分別為-116,300、-70,600 和-63,109 Kt CO<sub>2</sub>eq。另外，丹麥、列支敦士登、紐西蘭和瑞士為正值；日本則以淨量法將其參考水平設定為 0。推測上述四國參考水平產生正值的原因皆為國內林木伐採量的增加。丹麥和紐西蘭國內的森林正值收穫齡級，因此假設在 2012-2020 年之間其伐採量將上升；而瑞士的傳統森林經營模式為著重於保護的永續經營，其特色為高林地面積增加率及低毀林率，近年來瑞士提出了新的林木資源政策，開始期望能在碳儲存和林木產品的使用之間達到最佳的

平衡，因此預期未來將提高 30% 的伐採率，導致林地碳貯量的降低；列支敦士登則依預測模型對木質產品需求的推估結果而推測未來的伐採量每年將增加 400 m<sup>3</sup>。



表 18 各國單位面積的參考水平

國家	FMRL2013-2020 年平均值		森林經營面積 (1000 ha)	單位面積 RL (t CO <sub>2</sub> eq/ha)
	FMRL 含 HWP (Kt CO <sub>2</sub> eq)	FMRL 未含 HWP		
澳洲	-200	4,500	10,800	-0.02
奧地利	-6,516	-2,121	3,371	-0.63
比利時	-2,499	-2,407	658	-3.66
保加利亞	-7,950	-8,168	3,562	-2.29
加拿大	-114,300	-70,600	229,000	-0.31
克羅埃西亞	---	-6,289	1,882	-3.34
捷克	-4,686	-2,697	2,553	-1.06
丹麥	409	334	533	0.63
愛沙尼亞	-2,741	-1,742	2,091	-0.83
芬蘭	-20,466	-19,300	21,688	-0.89
法國	-67,410	-63,109	14,418	-4.38
德國	-22,418	-2,067	10,873	-0.19
希臘	-1,560	-1,830	4,356	-0.42
匈牙利	-1,000	-892	1,640	-0.54
冰島	---	-154	61	-2.53
愛爾蘭	-142	-8	454	-0.02
義大利	-22,166	-21,182	8,160	-2.60
日本	-----	0	---	---
拉脫維亞	-16,302	-14,255	3,234	-4.41
列支敦士登	0.1	2.5	6	0.41
立陶宛	-4,552	-4,139	2,004	-2.07
荷蘭	-1,425	-1,464	334	-4.38
紐西蘭	---	11,150	8,100	1.38
挪威	---	-11,400	11,778	-0.97
波蘭	-27,133	-22,750	8,873	-2.56
葡萄牙	-6,830	-6,480	3,700	-1.75
羅馬尼亞	-15,793	-15,444	6,445	-2.40

俄羅斯	---	-116,300	564,500	-0.21
斯洛伐克	-1,084	-358	1,742	-0.21
斯洛維尼亞	-3,171	-3,033	1,186	-2.56
西班牙	-23,100	-20,810	14,123	-1.47
瑞典	-41,336	-36,057	28,180	-1.28
瑞士	220	430	1,116	0.20
烏克蘭	---	-48,700	7,632,600	-0.01
英國	-8,268	-3,442	1,370	-2.51
	平均值	-14,022		-1.41
	(扣除排放國家)	-16,002		-1.68
臺灣				
貯量變動法	-123	-116	664	-0.17
增減法	-4,906	-4,899	664	-7.38

資料來源：UNFCCC(2011) FCCC/KP/AWG/2011/INF.2

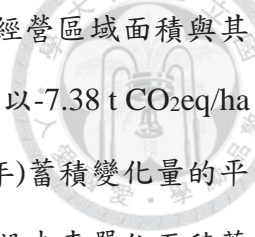
註：FMRL 正值(+)為排放，負值(-)為移除。

## (二) 單位面積下的森林經營參考水平

參考表 18 中的數值，各國的 FMRL 多低於 10,000 Kt CO<sub>2</sub>eq，除了前五個高碳儲存量國家，其他國家的數值亦不超過 25,000 Kt CO<sub>2</sub>eq。觀察參考水平數值較高的國家，可發現各國的森林經營區域面積皆大於其他國家，如烏克蘭的 7,632.6 百萬公頃、俄羅斯的 564.5 百萬公頃和加拿大的 229 百萬公頃。為消除森林面積的影響，將各國的參考水平除以國內森林經營區域面積，僅討論單位面積的參考水平(如表 18 所示)。

消除做為影響因子的面積後，發現各國的單位面積碳儲存量相對之下彼此間差異較小，皆不超過 5 t CO<sub>2</sub>eq/ha；其中最高的三個國家分別為拉脫維亞的-4.41 t CO<sub>2</sub>eq/ha 及法國和荷蘭的-4.38 t CO<sub>2</sub>eq/ha。各國單位面積參考水平的平均值為-1.41 t CO<sub>2</sub>eq/ha；進一步將表現為碳排放的國家排除，以消除在討論平均值時排放國家對其他移除國家單位面積下碳儲存效益的影響，所得到各碳儲存國家的平均參考水平為-1.68 t CO<sub>2</sub>eq/ha。

當假設單位蓄積變化量為 5.70 m<sup>3</sup>/ha 時，台灣的參考水平為-4,899 Kt CO<sub>2</sub>eq，



與各國相較之下碳儲存量排名處於中間名次；但由於台灣森林經營區域面積與其他國家相較之下偏低，因此在此情況下的單位面積參考水平反而以 $-7.38 \text{ t CO}_2\text{eq/ha}$ 遠高於其他國家。鑒於此情形，進一步以近五年(2007 至 2011 年)蓄積變化量的平均值代表未來(2012 至 2020 年)的國有人工林蓄積變化量，即假設未來單位面積蓄積變化量為 $0.17 \text{ m}^3/\text{ha}$ 。在此情況下的參考水平為 $-116 \text{ Kt CO}_2\text{eq}$ ，單位面積參考水平為 $-0.17 \text{ t CO}_2\text{eq/ha}$ ，雖與其他國家的平均值相較之下為低，但還是大於澳洲和愛爾蘭，且與德國的 $-0.19 \text{ t CO}_2\text{eq/ha}$ 相近。由此結果推論若參考過去的蓄積量設定單位蓄積變化量，所推論出的參考水平可能會與其他國家較為接近。

### (三) 蓄積量與森林經營參考水平

此部分討論各國單位面積下年生長量扣除伐採量的淨生長量和單位面積參考水平的關係，如表 18 所示。單位面積年生長量最高的國家為英國， $15.11 \text{ m}^3/\text{ha}$ ，其次為捷克、德國和奧地利的  $10.40$ 、 $10.00$  和  $8.84 \text{ m}^3/\text{ha}$ ；此四個國家亦為單位面積伐採量最高的前四名，名次依序為英國( $11.71 \text{ m}^3/\text{ha}$ )、德國( $9.26 \text{ m}^3/\text{ha}$ )、奧地利( $8.83 \text{ m}^3/\text{ha}$ )和捷克( $7.77 \text{ m}^3/\text{ha}$ )。由上述四個國家可知，目前各國在進行國內森林經營時的基本策略為生產和收穫並重，會在伐採作業結束後於林地上進行植林作業，以維持木材的永續生產及利用。

林地的單位面積淨生長量由年生長量減去伐採量而得，即單位面積林地每年累積的蓄積量。因此可預期淨生長量越高的國家，林地中碳貯量的年增量將大於其他國家，其參考水平的數值亦會愈高。拉脫維亞、法國和荷蘭的單位面積參考水平高於其他國家，觀察三者的淨生長量排名皆位於各國的前 1/3；且由圖 14 可知單位面積淨生長量與參考水平具有正相關的趨勢。然而，並非所有國家皆符合上述關係，丹麥為其中一例外的國家。丹麥的 FMRL 報告書中表示國內多數森林為成熟林分，未來勢必會提升林木的伐採量，而將參考水平設定為表示碳排放的正值；但使用預測模型推估出的年生長量約為伐採量的 2 倍，使其淨生長量高於



下表中半數國家，如此與參考水平的設定相違背。對此，丹麥的報告書中以「預測模型高估林木生長量」解釋此狀況。

臺灣的單位面積伐採量預測值僅 0.06 m<sup>3</sup>/ha，遠低於其他國家，因此相較之下對淨生長量及單位面積參考水平的影響較不顯著，不管將年生長量設定為 0.17 或 5.70 m<sup>3</sup>/ha，皆符合二者為正相關的趨勢。

表 19 各國單位面積下淨生長量與森林經營參考水平的關係

國家	單位面積			
	年生長量 (m <sup>3</sup> /ha)	伐採量 (m <sup>3</sup> /ha)	年蓄積量 (m <sup>3</sup> /ha)	FMRL (t CO <sub>2</sub> eq/ha)
奧地利	8.84	8.83	0.01	-0.63
比利時	8.43	6.12	2.31	-3.66
保加利亞	4.68	1.69	2.99	-2.29
克羅埃西亞	5.54	4.56	0.98	-3.34
捷克	10.40	7.77	2.63	-1.06
丹麥	8.00	4.93	3.07	0.63
愛沙尼亞	5.05	4.63	0.42	-0.83
芬蘭	4.48	2.97	1.51	-0.89
法國	7.40	4.25	3.15	-4.38
德國	10.00	9.26	0.74	-0.19
希臘	1.13	0.65	0.48	-0.42
匈牙利	7.43	4.49	2.94	-0.54
義大利	3.63	2.21	1.42	-2.60
拉脫維亞	6.65	3.66	2.99	-4.41
立陶宛	5.67	3.23	2.44	-2.07
荷蘭	7.40	3.51	3.89	-4.38
波蘭	7.16	4.01	3.15	-2.56
葡萄牙	6.00	3.02	2.98	-1.75
羅馬尼亞	6.90	2.60	4.30	-2.40
斯洛伐克	6.77	5.40	1.37	-0.21
斯洛維尼亞	8.14	6.11	2.03	-2.56
西班牙	3.12	1.33	1.79	-1.47
瑞典	4.40	3.30	1.10	-1.28



英國	15.11	11.71	3.40	-2.51
平均值	6.76	4.59	2.16	-1.91
台灣				
(貯量變動法)		0.06	0.17	-0.17
(增減法)	5.70	0.06	5.64	-7.38

資料來源：森林經營參考水平報告。

註 1：數值為 2012-2020 年的平均值。

註 2：未列出報告書中資料不完備的國家。

註 3：FMRL 正值(+)為排放，負值(-)為移除。

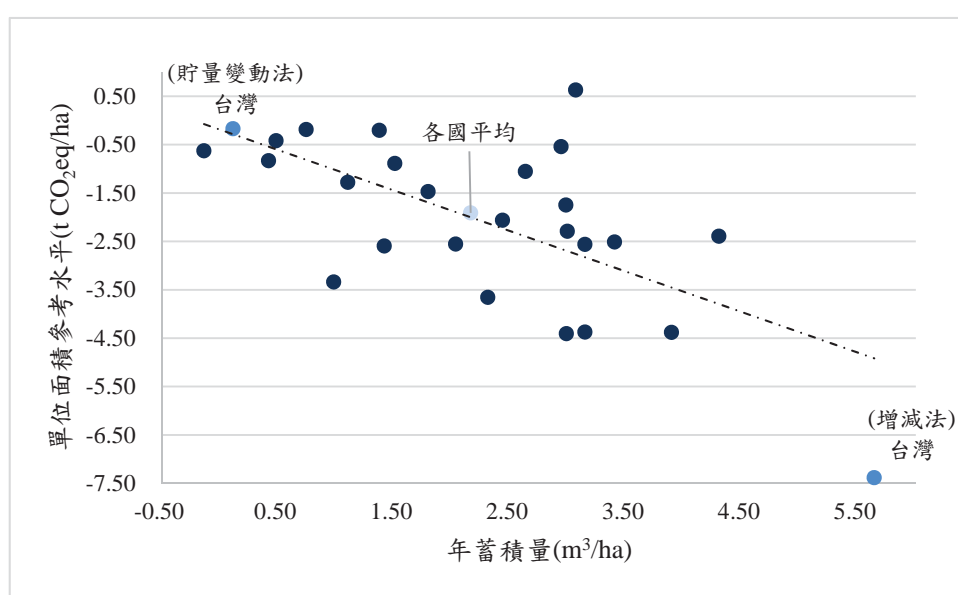
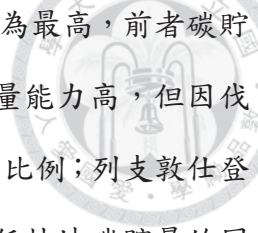


圖 16 各國單位面積年蓄積量與參考水平之關係

#### (四) 收穫林產品碳庫與木材自給率

由伐採自森林經營區域之木材製成的 HWP 具有延遲碳排放的作用，因此被納入估算 FMRL 的項目之一。36 個遞交 FMRL 報告的國家中，共有 28 個國家將 HWP 碳庫包含在內；表 20 列出各國估算未來 HWP 碳庫中碳儲存變化量的結果。以加拿大的碳儲存增加量最高，為-43,700 Kt CO<sub>2</sub>eq，其次為德國的-20,351 Kt CO<sub>2</sub>eq 和瑞典的-5,279 Kt CO<sub>2</sub>eq；表示此三個國家在提升未來國產材產品的使用數量上大於其他國家。



若討論 HWP 碳量與參考水平的比例，以澳洲和列支敦士登為最高，前者碳貯量甚至大於其他估算項目的總和。整體而言，澳洲森林的碳貯量能力高，但因伐採活動及林火干擾事件頻繁而提升 HWP 碳貯量在參考水平中的比例；列支敦士登預測未來對國產材產品的需求增加而隨之提升林木伐採量，降低林地碳貯量的同時增加了產品碳庫的碳貯量比例。各國的林產品碳量比例差異性大，除去上述二個國家，其他國家的分布區間由 2% 至 95%；由於此比例代表著 HWP 碳庫碳量對國家碳儲存和排放量的貢獻度，因此在各國發展碳儲存上的重要程度可由此觀之。

以 JRC 法估算參考水平的報告書中會列出國家的國產材使用情形，主要以針葉樹種及闊葉樹種的工業用原木自給比例平均值為代表。表 19 中列出各國的工業原木自給率，數據取自 FAOSTAT 資料庫。由 HWP 的自給比例可知各國對木材貿易的依賴程度，而大部分的國家自給率皆大於 80%。由於參考水平包含了其他項目的估算，因此 HWP 碳庫所佔的比例與原木自給率的相關性低。

台灣的 HWP 碳庫碳貯存變化量為 -7 Kt CO<sub>2</sub>eq，遠低於其他國家的平均值 -3,690 Kt CO<sub>2</sub>eq，於二種生長量假設法的參考水平中分別佔了 5.69% (貯量變動法) 和 0.14% (增減法)。造成木質產品的碳貯量貢獻度如此低落的主要因為台灣的低木材自給率，無法將國內大部分的產品碳量歸屬至參考水平中。估算原木自給率時，由於 FAOSTAT 資料庫未記載國內林產品的貿易資料，因此工業原木的生產量取自林業統計的林產品統計量中用材項目的總量，進口和出口量則擷取自 2009 年的海關統計資料，產品編碼為 4403。因僅考慮工業原木的統計量，使得台灣和其他各國的原木自給率與考慮所有木質產品的木材自給率相較之下呈現高估的情形。但即使為高估的數值，台灣的原木自給率與其他國家的差異十分懸殊，最低的比利時亦達 49.8%，而台灣僅有 1.7%。在此參考水平的背景下，若未來能提升國產材的使用、增加 HWP 碳庫的碳貯量，將有利於森林經營項目碳匯的取得。



表 20 各國原木自給率與森林經營參考水平

國家	FMRL2013-2020 年平均値			HWP 佔 FMRL (%)	原木 自給率 (%)
	FMRL 含 HWP	FMRL 未含 HWP (Kt CO <sub>2</sub> eq)	HWP		
澳洲	-200	4,500	-4,700	2350.00	99.8
奧地利	-6,516	-2,121	-4,395	67.45	58.7
比利時	-2,499	-2,407	-92	3.68	49.8
保加利亞	-7,950	-8,168	218	-2.74	98.0
加拿大	-114,300	-70,600	-43,700	38.23	96.0
捷克	-4,686	-2,697	-1,989	42.45	95.4
丹麥	409	334	75	18.34	68.3
愛沙尼亞	-2,741	-1,742	-999	36.45	92.0
芬蘭	-20,466	-19,300	-1,166	5.70	90.6
法國	-67,410	-63,109	-4,301	6.38	94.1
德國	-22,418	-2,067	-20,351	90.78	88.6
希臘	-1,560	-1,830	270	-17.31	84.4
匈牙利	-1,000	-892	-108	10.80	89.6
愛爾蘭	-142	-8	-134	94.37	91.2
義大利	-22,166	-21,182	-984	4.44	50.0
拉脫維亞	-16,302	-14,255	-2,047	12.56	98.1
列支敦士登	0.1	2.5	-2.4	-2400.00	100.0
立陶宛	-4,552	-4,139	-413	9.07	94.8
荷蘭	-1,425	-1,464	39	-2.74	59.6
波蘭	-27,133	-22,750	-4,383	16.15	94.0
葡萄牙	-6,830	-6,480	-350	5.12	94.6
羅馬尼亞	-15,793	-15,444	-349	2.21	95.6
斯洛伐克	-1,084	-358	-726	66.97	92.4
斯洛維尼亞	-3,171	-3,033	-138	4.35	89.8
西班牙	-23,100	-20,810	-2,290	9.91	85.6
瑞典	-41,336	-36,057	-5,279	12.77	92.5
瑞士	220	430	-210	-95.45	89.1
英國	-8,268	-3,442	-4,826	58.37	96.1
平均值	-15,086	-11,396	-3,690	16.01	86.7
台灣					
(貯量變動法)	-123	-116	-7	5.69	1.7
(增減法)	-4,906	-4,899	-7	0.14	1.7

資料來源：技術評估綜合報告、FAOSTAT 統計資料庫。

註 1：未列出報告書中資料不完備的國家。

註 2：FMRL 正值(+)為排放，負值(-)為移除。



### 三、森林經營參考水平估算建議

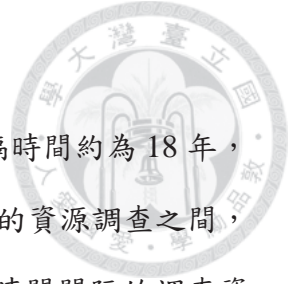
#### (一) 森林經營項目的定義及分類

在估算 FMRL 時，許多項目需經明確的定義，如此可避免在數據的取得上產生疑慮，且利於資料的統計及應用上保有一致性。觀察台灣現有的林業統計資料，針對參考水平估算作業的相關定義大多缺少由官方訂定的標準。以最基本的「森林」為例，國際上對森林的定義中談及面積、樹冠覆蓋度及林木生長高度有一定的標準，如馬拉喀什協定中規定「林木生長面積至少為 0.05 至 1 公頃、樹冠覆蓋度大於 10 至 30%，且成熟林木的高度大於 2 至 5 公尺(UNFCCC，2001)。」而代表台灣官方標準的「森林法」中第 3 條將森林定義為「林地及其群生竹、木之總稱。」與國際定義相較之下相當模糊不清。

因國內禁伐天然林，本研究直接將人工林視為「森林經營」的區域，未來應進一步對森林經營作業項目作詳細的定義。有了完整的定義後，在記錄林業資料時即可區分為經營區域和未經營區域二大類，如森林災害造成的損害、森林產物伐採情形等，而目前的分類多以所有權及針、闊葉樹種為主。

關於 HWP 的部分，由於台灣未發展出一套國家專屬的估算模型，因此估算方法以參考 IPCC 指導方針為準，即記錄產品數量資料的項目應符合指導方針的規定，分為製材、合板和紙及紙板。另外，由於產品貿易而產生碳貯量的歸屬問題，為此參考水平以國產材產品為討論重點，因此產品的進出口數值則應確實區分為國產材及進口材二類。

發展明確的定義及分類項目為估算 FMRL 十分重要的事前準備工作之一，且有助於維持資料和估算結果的一致性，為發展參考水平機制不可或缺的一環。



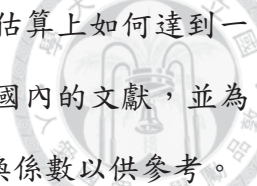
## (二) 國家森林調查作業相關建議

自 1954 年至今，台灣共完成了三次全國森林資源調查，間隔時間約為 18 年，而目前第四次的調查已進行至整理資料的階段。在各次全國規模的資源調查之間，林務單位亦會進行小規模的調查作業以持續更新森林資料。長時間間隔的調查資料有助於維護及了解天然林資源的變化，但對具有生產木質產品的被經營森林而言，但時間間隔過大的數據可能會對了解林木生長及森林結構變化的研究誕生成果上的影響，因此其他重視林業發展的國家多以 5 至 10 年作為森林資源調查的間隔。以日本和挪威為例，二者對進行被經營森林的調查作業皆以五年為一週期，前者每五年調查並更新國內被經營森林資源的資料，而後者則以五年為調查作業的循環週期，每年對 1/5 的樣區進行調查，各樣區的資料還是以五年為間隔。若能提升國內被經營森林的資源調查頻率，將有助於估算台灣森林資源的現況，並在估算 FMRL 時提升預測森林資源變化量的可信度。

除了時間間隔的問題，永久樣區的設置亦為森林調查作業相當重要的一環。建立永久樣區能夠了解植群時間上的動態變化，對森林經營而言為重要的資訊，除了有助於建立樹種生長模型及材積推估式，亦可在不同樣區使用不同經營模式而觀察對林木生長和結構變化的影響差異。台灣在進行全國森林資源調查時設置的永久樣區，經常因經費、時間和人力資源的關係而未確實實施定期的調查，實為林業的損失。

## (三) 建立台灣專屬轉換係數及預測模型

包含在森林經營項目下的碳量由不同的碳庫所組成，在進行估算各碳庫中碳貯量時，須利用各種轉換係數對無法人為實際觀測的部分進行推估，如將幹材材積轉換為地上部生物量的生物量轉換係數(BCEF)、將生物量轉換為碳量的碳含量比例(CF)以及將 HWP 材積轉換為碳量的轉換係數等。上述各轉換數值的準確性及一致性對估算國內的參考水平具有一定的重要性，而在長期累積學術成果後，台



灣擁有各種估算轉換係數的研究報告，因此在林業的相關碳量估算上如何達到一致性為目前須努力的目標。林業的主管機關及研究單位應整理國內的文獻，並為各種情況，如樹種、林型、產品項目等，研擬並統一適用的轉換係數以供參考。

FMRL 為預測未來的碳儲存變化量以作為評估碳儲存效果的基線，因此其中一項重要的估算程序為預測未來各項目下碳庫的碳量變動情形。為取得貼近真實情形的預測結果，則須建立一套的預測模型，其中預測項目應包含森林經營區域的面積、林木伐採率、干擾情形、HWP 使用狀況等。預測模型中應包含對上述各估算項目具有影響性的因素，以 HWP 的需求為例，可能影響產品消費量的人口和國內生產毛額(GDP)應被視為影響因素而被包含在預測模型中。由此可知，不同環境、社會背景的国家會發展出專屬的預測模型，如附件一中大部分歐盟國家皆使用 JRC 法下的 G4M 和 EFISCEN 模型以推估森林經營對林地碳量變化的影響、GLOBIOM 模型預測未來的木材需求量；德國則使用 WEHAM 模型估算期參考水平。由於台灣的自然環境及林業經營模式與其他國家不同，因此若欲發展 FMRL 的概念，則須先建立考慮國內影響因子的碳量預測模型。



## 伍、結論

本研究以二種不同林地蓄積量的預測方法為台灣建立國內的參考水平，其估算結果分別為貯量變動法的-123 Kt CO<sub>2</sub>eq 和增減法的-4,906 Kt CO<sub>2</sub>eq。考慮參考水平的定義和用途，以貯量變動法的估算結果作為台灣的參考水平將有利於未來取得森林經營項目下的碳匯，但使用增減法則較符合實際的林地年生長量數值。由此可知，取得更加準確的林地年生長量及蓄積量以更新台灣的 FMRL 為未來的研究方向。

FMRL 由林地碳貯量和 HWP 碳貯量所組成，而前者在估算碳量時共分為五個碳庫，而本研究在估算台灣林地碳貯量時僅考慮地上部生物量和地下部生物量二個碳庫，原因主要有二，其一為與上述二碳庫相較之下其他碳庫的碳量較小而不予計算，其二則為關於其他三個碳庫的研究資料較少，難以應用在整體森林碳量的估算中。雖然目前國際上未對參考水平的估算碳庫項目進行規範而交由國家自主選擇，但還是應盡速對國內各碳庫建立完整的碳量估算機制以因應未來可能產生的規範。除了當下碳庫的估算，對未來碳庫碳量的預測亦為台灣目前急需發展的項目之一，因其為建立參考水平的基本要素。碳量預測模型的建置可參考其他國家的模型，以了解影響碳庫碳量變動的可能因素，同時亦須將國內環境考慮在內，以發展台灣專屬的預測模型。

FMRL 做為第二承諾期森林經營項目碳匯的評估基線，各締約國在規定下皆須提交報告書以提供該國的參考水平估算結果及說明估算過程。在此背景下，發展國內的參考水平為參加國際減碳行動不可避免的趨勢。因此本研究旨在了解參考水平的基本概念及架構，並整理各國的估算方法後，以台灣政府發佈的林業資料，推估國內的 FMRL。除了建立台灣的參考水平外，經由在估算過程中遭遇的困難，可了解目前台灣在林業調查及經營上的問題，提供未來林業管理的改進目標。





## 參考文獻

- 王兆桓、劉知妤 (2006) 森林蓄積量與生物量轉換模式之建立。2006 年森林碳吸  
存研討會論文集。200-215。
- 杜清澤、邱志明、林國銓 (2011) 人倫地區柳杉人工林地上部與地下部生物量之  
估算。中華林學季刊。44(3)：401—412。
- 林裕仁、劉瓊霏、林俊成 (2002) 台灣地區主要用材比重與碳含量測定。台灣林  
業科學。17(3)：291-299。
- 林裕仁、王秋嫻、Sara Wu (2011) 四種臺灣竹材碳轉換係數之分析。台灣林業科  
學。26(4)：341-355。
- 林務局 (1995) 第三次台灣森林資源及土地利用調查。台灣省農林廳林務局印。
- 林務局 (2006) 台灣的自然資源與生態資料庫 III，農林漁牧，第八章森林生產與  
效益。國立台灣大學生物多樣性研究中心製作。行政院農業委員會林務局發行。  
107-117。
- <http://econgisdw.forest.gov.tw/Download/Books.aspx> (上網日期：2013 年 5 月)
- 邱祈榮、林俊成、何幸耘 (2012) 林業部門國家溫室氣體調查架構與初步計算。
- 張一山、林慶同 (1982) 臺灣森林資源之連續調查報告—台灣林木資源之生長與  
枯死。林務局。14-22。
- 環保署 (2010) 聯合國氣候變化綱要公約中華民國國家通訊(第二版)。
- 羅紹麟、馮豐隆 (1986) 台灣第一次林相變更造林生長情形及生長量調查計畫告。  
林務局。
- Government of Australia (2011) Submission to the AWG-KP: September 2011, Forest  
Management Reference Level Submission. UNFCCC Secretariat, Bonn, Germany.
- Government of Canada (2011) Submission by the Government of Canada, Forest



Management Reference Level, March 2011. UNFCCC Secretariat, Bonn, Germany.

Government of Germany (2011) Submission of information on forest management reference levels by Germany. UNFCCC Secretariat, Bonn, Germany.

Government of Iceland (2011) Prediction of Reference Level for the Period 2013-2020 for Forest Management in Iceland. UNFCCC Secretariat, Bonn, Germany.

Government of Japan (2011) Japan's submission on information on the forest management reference level. UNFCCC Secretariat, Bonn, Germany.

Government of Netherlands (2011) Submission of information on forest management reference levels by the Netherlands. UNFCCC Secretariat, Bonn, Germany.

Government of Norway (2011) Submission to the Ad-Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol (AWG-KP), Information on forest management reference level. UNFCCC Secretariat, Bonn, Germany.

Government of Russian Federation (2011) Information on the forest management reference level of the Russian Federation, submitted in accordance to draft decision of 6th Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol [-/CMP.6], recommendation by the Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol. UNFCCC Secretariat, Bonn, Germany.

Government of Sweden (2011) Submission of information on forest management reference levels by Sweden. UNFCCC Secretariat, Bonn, Germany.

Government of United Kingdom (2011) Submission of information on forest management reference levels by United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland in accordance with Decision 2/CMP.6. UNFCCC Secretariat, Bonn, Germany.

Hoehn, H.F. and B. Solberg (1994) Potential and Economic Efficiency of Carbon



Sequestration in Forest Biomass through Silvicultural Management. *Forest Science* 40:429-51.

IPCC (2003) Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan.  
[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_contents.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html) (Accessed April 2013)

IPCC (2006) Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Kanagawa, Japan.  
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> (Accessed April 2013)

UNFCCC (1992) United Nations Framework Convention on Climate Change. Article 2 OBJECTIVE, p.4  
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf> (Accessed April 2013)

UNFCCC (1998) Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Climate Change Secretariat/UNEP, UNEP/IUC/98/2.

UNFCCC (2001) The Marrakesh Accords & The Marrakesh Declaration, advance text.  
<http://unfccc.int/resource/docs/cop7/13a01.pdf> (Accessed April 2013)

UNFCCC (2005) Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its first session, held at Montreal from 28 November to 10 December 2005, Addendum, Part Two: Action taken by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol at its first session, Decision 16/ CMP.1 Land use, land-use change and forestry.  
<http://unfccc.int/resource/docs/2005/cmp1/eng/08a03.pdf> (Accessed April 2013)

UNFCCC (2010<sup>a</sup>) Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its sixth session, held in Cancun from 29 November



to 10 December 2010, Addendum, Part Two: Action taken by the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol at its sixth session, Decision 2/ CMP.6 Land use, land-use change and forestry.

<http://unfccc.int/resource/docs/2010/cmp6/eng/12a01.pdf> (Accessed April 2013)

UNFCCC (2010<sup>b</sup>) Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol. Report of the Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol on its fifteenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010. Addendum.

<http://unfccc.int/resource/docs/2010/awg15/eng/crp04r04.pdf> (Accessed April 2013)

UNFCCC (2011) Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol, Sixteenth session, part four, Synthesis report of the technical assessments of the forest management reference level submissions.

<http://unfccc.int/resource/docs/2011/awg16/eng/inf02.pdf> (Accessed April 2013)

Sohngen, B. and S. Brown.(2006). The Influence of Conversion of Forest Types on Carbon Sequestration and other Ecosystem Services in the South Central United States. *Ecological Economics*. 57: 698-708.

Sohngen, B. and S. Brown.(2008). Extending Timber Rotations: Carbon and Cost Implications. *Climate Policy*, 8: 435–451.

Sohngen, B. (2009). An Analysis of Forestry Carbon Sequestration as a Response to Climate Change. Copenhagen Consensus Center, Copenhagen Business School, Denmark.