

第六章 土地利用、土地利用變化及林業部門 (CRF Sector 4)

6.1 林業部門敘述

6.2 森林土地 (4.A)

第六章 土地利用、土地利用變化及林業部門 (CRF Sector 4)

6.1 林業部門敘述

聯合國政府間氣候變化專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 於 1997 年將土地使用、土地使用改變及林業 (Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF) 納入國家溫室氣體清冊指南 (Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC 1996 Guidelines, 以下簡稱 1996 IPCC 指南)¹，對於土地利用改變造成的碳排放量，以及林業部門碳移除量 (Removal) 等估算方法提出具體建議，之後 IPCC 於 2003 年再公布 LULUCF 的良好作法指南 (LULUCF GPG)。

目前最新的版本為 IPCC 於 2006 年所公布國家溫室氣體清冊指南 (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 以下簡稱 2006 IPCC 指南)，其內容係結合 IPCC 1996 指南及 2003 年 LULUCF GPG 的主要精神與內容。在 2006 IPCC 指南架構下共區分為五大部門，其中與森林有關的部門為 3.B.1「農業、林業和其他土地使用 (Agriculture, Forestry and Other Land Use, AFOLU)」部分之土地 (含林地維持為林地及林地與其他土地使用類型的轉換) 及 3.D.1「收穫林產品 (Harvested Wood Product, HWP)」等部分。

由於臺灣區域計畫法、森林法對於林業用地變更以及森林伐採均已訂有相關規範，且根據臺灣森林經營管理方案第八條，1992 年起即實施禁伐天然林政策，同時林地變更為其他使用之情形極少，因此藉由林務局第三次與第四次全國森林資源調查成果之林型面積，以及林業統計每年新植造林、伐採、薪材收穫及干擾等相關活動數據，據以估算臺灣林業部門年碳移除量。

估算結果，1990 至 2016 年林業部門年碳移除量變化為 1,900 ~ 2,350 萬公噸二氧化碳當量，2016 年林業部門碳移除量約為 2,141 萬公噸二氧化碳當量，其不確定性為 8.43%，詳如表 6.1.1，其歷年趨勢如圖 6.1.1，2016 年碳移除量中「林地維持林地」碳移除量占 95.2%，「其

他土地轉變為林地」碳移除量占 4.8%，如圖 6.1.2。

6.2 森林土地 (4.A)

6.2.1 林地維持林地 (4.A.1)

1. 排放源及匯分類的敘述

森林所貯存之碳庫 (Carbon Pool) 可區分為生物量 (Biomass) (包含地上部及地下部生物量)、死有機質 (Dead Organic Matter) (包含枯死木與枯落物)、土壤 (Soils) (包含土壤有機質) 等三大類。各類碳庫說明如表 6.2.1 所示。

2. 方法學議題

(1) 計算方法

在林地中之碳貯存量變化，主要為各碳庫變化的總和 (式 1)。

$$\Delta C_{FL} = \Delta C_B + \Delta C_{DOM} + \Delta C_{Soils} \quad (1)$$

式中：

ΔC_{FL} = 林地中之碳貯存量變化 (公噸碳 / 年)；

ΔC_B = 生物量的碳貯存年變化量 (公噸碳 / 年)；

ΔC_{DOM} = 死有機質 (包括枯死木和枯落物) 的年碳貯存量變化 (公噸碳 / 年)；

ΔC_{Soils} = 土壤碳貯存年變化量 (公噸碳 / 年)

(1) 式中 ΔC_B 、 ΔC_{DOM} 、 ΔC_{Soils} 之估算分述如下：

A. ΔC_B 生物量 (Biomass) 碳貯存量的變化

在每年生物量所增加的碳貯存量，主要為生物量每年因生長所增加的碳貯存量扣除因生物量損失所減少的碳貯存量，即為碳移除量 (式 2)。

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L \quad (2)$$

式中：

ΔC_B = 生物量的碳貯存年變化量 (公噸碳 / 年)；

ΔC_G = 生物量生長之年碳貯存增加量 (公噸碳 / 年)；

ΔC_L = 生物量損失之年碳貯存減少量 (公噸碳 / 年)。

而生物量生長之年碳貯存增加量，依林分的地理區位、平均年生長情形及面積而異 (式 3)。

$$\Delta C_G = \sum_{ij} (A_{ij} \times G_{Total,ij} \times CF_{ij}) \quad (3)$$

式中：

ΔC_G = 生物量生長之年碳貯存增加量 (公噸碳 / 年)；A = 面積 (公頃)；

G_{Total} = 平均年生物量累積量 (公噸乾物質 / 公頃 / 年)；i = 生態區 (i = 1 至 n)；

j = 氣候型 (j = 1 至 m)；CF = 乾物質碳含量比例 (公噸碳 / 公噸乾物質)

¹ IPCC, 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 1996.

平均年生物量累積量，在層級 1 的情況時，可依林分地上部的平均年生物量增加量乘上根莖比可得出（式 4）。在層級 2 及 3，林分地上部的平均年生物量增加量可由特定林分（植被）的年平均材積生長量乘上其轉換生物量和擴展係數可得出（式 5）。

$$\text{層級 1 } G_{\text{Total}} = \sum \{ G_W \times (1+R) \} \quad (4)$$

$$\text{層級 2、3 } G_{\text{Total}} = \sum \{ IV \times BCEF_i \times (1+R) \} \quad (5)$$

式中：

G_{Total} = 平均年生物量累積量（公噸乾物質 / 公頃 / 年）；

G_W = 在特定林分（植被）類型地上部生物量的平均年生長量（公噸乾物質 / 公頃 / 年）；

R = 根莖比；

IV = 特定林分（植被）類型的年平均材積生長量（立方公尺 / 公頃 / 年）；

$BCEF_i$ = 特定林分（植被）類型之轉換生物量和擴展係數，將材積（包括樹皮）轉換為地上部生物量。

如直接的 BCEFI 不可得知，則可使用生物量擴展係數 (BEFI) 與基本比重 (D) 值相乘得出（式 6）。

$$BCEF_i = BEF_i \times D \quad (6)$$

生物量損失之年碳貯存減少量為木材伐採、薪材收穫與干擾等因素所引起的年碳貯存減少量（式 7）。

$$\Delta C_L = L_{\text{Wood-Removals}} + L_{\text{Fuelwood}} + L_{\text{Disturbance}} \quad (7)$$

式中：

ΔC_L = 生物量損失之年碳貯存減少量（公噸碳 / 年）；

$L_{\text{Wood-Removals}}$ = 木材伐採所引起的年碳貯存減少量（公噸碳 / 年）；

L_{Fuelwood} = 薪材收穫所引起的年碳貯存減少量（公噸碳 / 年）；

$L_{\text{Disturbance}}$ = 干擾等其他因素所引起的年碳貯存減少量（公噸碳 / 年）

木材伐採所引起的年碳貯存減少量，主要受每年伐採量所影響（式 8）。

表 6.1.1 1990 至 2016 年林業部門碳移除量變化

（單位：千公噸二氧化碳當量）

年份		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
林地維持林地	生物量碳移除量 $\Delta \text{CO}_2\text{G}$	-23,902	-23,902	-23,713	-23,524	-23,335	-23,146	-22,957	-22,768	-22,579
	生物量碳排放量 $\Delta \text{CO}_2\text{L}$	607	25,031	333	216	190	202	559	266	326
其他土地轉變為林地	生物量碳移除量 $\Delta \text{CO}_2\text{G}$	-91	-91	-136	-185	-233	-288	-319	-397	-446
總碳移除量 ΔCO_2		-23,386	-21,490	-23,516	-23,493	-23,379	-23,233	-22,717	-22,899	-22,699
不確定性 (%)		7.58	7.18	7.65	7.69	7.7	7.7	7.6	7.71	7.71
年份		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
林地維持林地	生物量碳移除量 $\Delta \text{CO}_2\text{G}$	-22,390	-22,201	-22,012	-21,823	-21,633	-21,444	-21,255	-21,066	-20,877
	生物量碳排放量 $\Delta \text{CO}_2\text{L}$	401	389	11,122	167	227	243	369	251	308
其他土地轉變為林地	生物量碳移除量 $\Delta \text{CO}_2\text{G}$	-561	-665	-683	-759	-899	-995	-1,031	-1,046	-1,080
總碳移除量 ΔCO_2		-22,550	-22,476	-21,583	-22,415	-22,305	-22,196	-21,918	-21,861	-21,650
不確定性 (%)		7.7	7.73	7.57	7.91	7.92	7.96	7.99	8.13	8.2
年份		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
林地維持林地	生物量碳移除量 $\Delta \text{CO}_2\text{G}$	-20,688	-20,499	-20,392	-20,409	-20,435	-20,473	-20,508	-20,546	-20,542
	生物量碳排放量 $\Delta \text{CO}_2\text{L}$	199	27,533	218	140	145	135	197	189	153
其他土地轉變為林地	生物量碳移除量 $\Delta \text{CO}_2\text{G}$	-1,142	-1,166	-1,240	-1,202	-1,194	-1,161	-1,099	-1,068	-1,029
總碳移除量 ΔCO_2		-21,631	-18,911	-21,413	-21,470	-21,484	-21,498	-21,410	-21,425	-21,418
不確定性 (%)		8.33	7.7	8.41	8.4	8.42	8.42	8.4	8.4	8.43

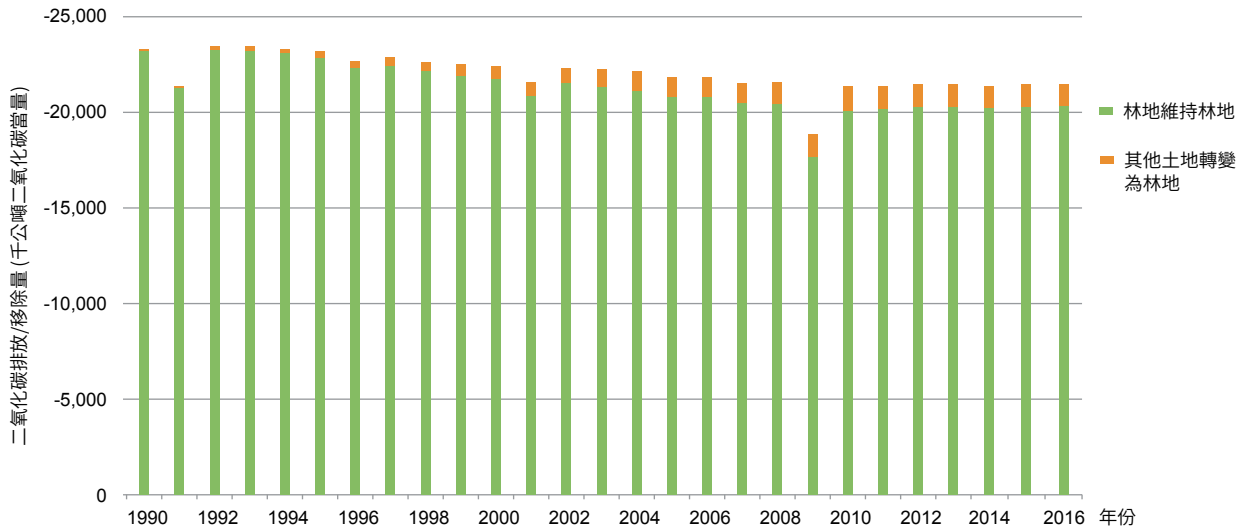


圖6.1.1 1990至2016年林業部門碳移除量變化趨勢

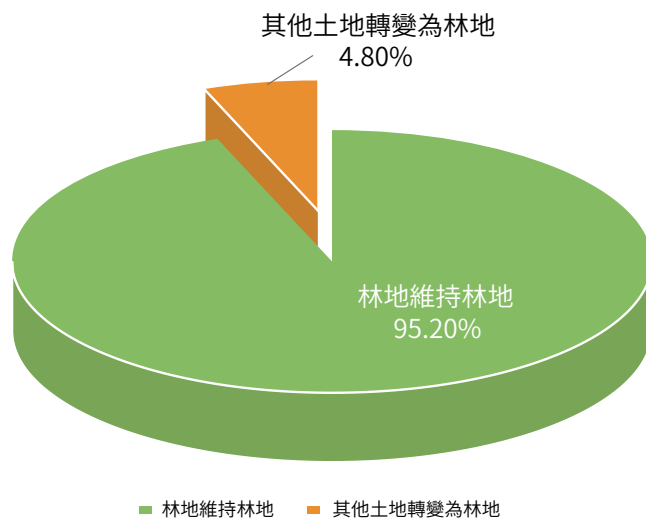


圖 6.1.1 1990 至 2016 年林業部門碳移除量變化趨勢

$$L_{\text{Wood-Removals}} = \{ H \times BCEF_R \times (1+R) \times CF \} \quad (8)$$

式中：L_{Wood-Removals} = 木材伐採所引起的年碳貯存減少量（公噸碳 / 年）；
H = 每年採伐量（立方公尺 / 年）；
R = 根莖比；
CF = 乾物質碳含量比例（公噸碳 / 公噸乾物質）；
BCEF_R = 將木材伐採材積換算為地上部總生物量（含樹皮）的生物量擴展係數。

如直接的 BCEFR 不可得知，則可使用伐採生物量擴展係數 (BEFR) 與基本比重 (D) 值相乘得出 (式 9)。

$$BCEF_R = BEF_R \times D \quad (9)$$

薪材收穫所引起的年碳貯存減少量，主要受每年收穫薪材的全株與林木材積而異 (式 10)。

$$L_{\text{Wood-Removals}} = \{ FG_{\text{Trees}} \times BCEF_R \times (1+R) \} \times CF \quad (10)$$

式中：
L_{Fuelwood} = 薪材收穫所引起的年碳貯存減少量（公噸碳 / 年）；
FG_{Trees} = 每年收穫薪材材積（立方公尺 / 年）；
R = 根莖比；
CF = 乾物質碳含量比例（公噸碳 / 公噸乾物質）；
BCEF_R = 將木材伐採材積換算為地上部總生物量（含樹皮）的生物量擴展係數。

如直接的 BCEFR 不可得知，則可使用伐採生物量擴展係數 (BEFR) 與基本比重 (D) 值相乘得出 (式 11)。

$$BCEF_R = BEF_R \times D \quad (11)$$

干擾等其他因素所引起的年碳貯存減少量，依干擾面積及該地區原先的生物量及所造成的生物量損失程度而異 (式 12)。

$$L_{\text{Disturbance}} = \{ A_{\text{Disturbance}} \times BW \times (1+R) \times CF \times fd \} \quad (12)$$

如因干擾所損失的生物量可以計算，則可將上式加以修正為：

$$L_{\text{Disturbance}} = \{ DV \times BCEF_1 \times (1+R) \times CF \times fd \} \quad (13)$$

式中：
L_{Disturbance} = 干擾等其他因素所引起的年碳貯存減少量（公噸碳 / 年）；
A_{Disturbance} = 受干擾影響的森林面積（公頃 / 年）；
BW = 受干擾影響地區的平均地上部生物量（公噸 / 公頃）；
R = 根莖比；
CF = 乾物質碳含量比例（公噸碳 / 公噸乾物質）；
fd = 干擾造成該地生物量損失程度（如由於干擾造成林分生物量全部損失，則 fd = 1，如因病蟲害干擾而僅造成部分生物量的損失，則 0 < fd < 1）；
DV = 受干擾所損失的材積量（立方公尺）；
BCEF₁ = 特定林木（植被）類型之轉換生物量和擴展係數，將材積（包括樹皮）轉換為地上部生物量。如直接的 BCEF₁ 不可得知，則可使用生物量擴展係數 (BEF₁) 與基本比重 (D) 值相乘得出 (式 6)。

B. ΔCDOM 死有機物質 (Dead Organic Matter) 碳貯存量變化

採用層級一方法，對於碳庫中的碳儲存量變化並不明顯，其預設值可假設為零，即投入與損失相抵，因此死有機質碳儲存量變化淨值為零。當國家於報告年間沒有經歷森林類型、林地擾動或經營體制的重大轉變，這是個安全的假設。

C. ΔCSoils 土壤 (Soils) 碳貯存量變化

上述假設可同樣應用於土壤碳庫，其淨碳儲存變化量為零。

表 6.2.1 碳庫定義

碳庫		說明
生物量 (Biomass)	地上部生物量 (Aboveground Biomass)	土壤以上所有活的木本和草本之生物量，包括莖、殘幹 (Stump)、枝、樹皮、種子和葉。
	地下部生物量 (Belowground Biomass)	註：如果森林下層植被占地上部生物量碳庫的比例較小時，可不列入計算，但在整個調查期間中應有一致性的處理。
死有機質 (Dead Organic Matter)	枯死木 (Dead Wood)	活根的全部生物量。由於僅憑經驗要將直徑低於 2 公釐的細根與土壤有機質或枯落物加以區分是相當困難的，因此建議直徑低於 2 公釐的細根不列入計算。
	枯落物 (Litter)	除枯落物外的所有非活的木質生物量，枯死木包括：直立的、橫躺在地面上的或者在土壤中直徑大於或等於 10 公分的枯倒木、死根和殘幹。
土壤 (Soil)	土壤有機質 (Soil Organic Matter)	所有直徑大於 2 公釐（因要與土壤有機物區分）的非活的生物量及直徑小於枯死木所定義的最小直徑（10 公分）、在礦質或有機質土壤上已經死亡的及各種程度的腐朽狀況的所有非活的生物量，包括：土壤類型所定義的枯落物層及在礦質或有機質土壤中的活細根（最小直徑應低於地下部生物量所規定）。 係指達到所選擇深度之礦質土壤的有機碳，包括：土壤中之活和死的細根與有機質、不能憑經驗區分而直徑小於 2 公釐（建議值）的根及死有機質。土壤深度預設值為 30 公分。

(2) 轉換係數

基本比重 (D)：針葉樹林型採用王兆桓 (2008)² 對 6 種針葉樹種研究數據，依各樹種第四次森林資源調查之面積加權計算平均，其值為 0.41。闊葉樹則將林裕仁等 (2002)³ 對 15 種闊葉樹種研究之結果進行平均，為 0.56。針闊葉混淆林為針葉樹與闊葉樹之平均值 0.49。

生物量擴展係數 (BEF_I、BEF_R)：相關係數係依據專家諮詢會議，決議相關係數以文獻係數平均值為原則，但若相關文獻數量不多且文獻係數差異過大時，建議採取中位數為宜。針葉樹數值取自王兆桓 (2008)² 各針葉樹種之平均值 1.27。闊葉樹採用各文獻之中位數 1.40，共有王兆桓與劉知妤 (2006)⁴、王兆桓 (2008)²、李宣德與馮豐隆 (2010)⁵、林國銓等 (1994)⁶ 與林國銓與何淑玲 (2005)⁷ 等五篇文獻。針闊葉混淆林為針葉樹與闊葉樹之平均值 1.34。

生物量轉換與擴展係數 (BCEF_I、BCEF_R)：於針葉樹部分同樣採用王兆桓 (2008)²，取其平均值 0.51。闊葉樹則取王兆桓 (2008)²、林國銓等 (2007)⁸、林國銓等 (2008)⁹、林國銓等 (2009)¹⁰、林國銓與何淑玲 (2005)⁷、許原瑞等 (2006)¹¹ 與許原瑞 (2008)¹² 等七篇文獻之中位數 0.92 為代表。針闊葉混淆林為針葉樹與闊葉樹之平均值 0.72。

根莖比 (R)：因國內針葉樹研究報告缺乏，故採用 2006 IPCC 指南對亞熱帶濕潤林的預設值之平均 0.22 作為針葉樹的 R 值。闊葉樹則採用李宣德與馮豐隆 (2008)¹³、林國銓等 (2006)¹⁴、林國銓等 (2007)⁸、林國銓等

(2008)⁹、林國銓等 (2009)¹⁰、林國銓等 (2010)¹⁵、林國銓與何淑玲 (2005)⁷、柯淑惠 (2005)¹⁶、陳財輝等 (1998)¹⁷ 及陳財輝與呂錦明 (1988)¹⁸ 共十篇文獻，7 種樹種，取其中位數 0.24 為代表。針闊葉混淆林為針葉樹與闊葉樹之平均值 0.23。

乾物質碳含量比例 (CF)：根據林裕仁等 (2002)³ 對臺灣 24 種主要用材的研究，分別使用針葉樹種與闊葉樹種進行實驗，結果顯示針葉樹與闊葉樹碳含量平均比例值分別為 0.4821 與 0.4691；針闊葉混淆林為針葉樹與闊葉樹之平均值為 0.4756。

竹林之基本比重採用王義仲與陳周宏 (1995)¹⁹、王義仲 (2006)²⁰ 及林裕仁等 (2011)²¹ 等三篇研究，共六種竹種，取其中位數為 0.62。生物量擴展係數與根莖比皆以呂錦明與陳財輝 (1992)²² 對桂竹林分生物量的研究結果，其數值分別為 1.40 與 0.46。乾物質碳含量比例則以林裕仁等 (2011)²¹ 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 0.4732。竹林生長量估算則依王義仲 (2006) 的研究結果，每公頃 5 年生孟宗竹的竹稈生物量為 105.1 公噸，每公頃 5 年生桂竹的竹稈生物量為 33.3 公噸，將兩種竹類所得結果加以平均再除以 5 年，求得平均每公頃竹稈年生長量為 13.84 公噸。

各林型年生長量之推算係以全國森林資源調查成果，利用第四次森林資源調查之單位面積材積減去第三次森林資源調查之單位面積材積再除以兩次調查之間隔年數，求得各林型之平均年生長量，結果如表 6.2.2。

2 王兆桓，森林蓄積量與生物量轉換模式之建立 (3/3)，林務局委託研究報告，2008。

3 林裕仁、劉瓊霏、林俊成，臺灣地區主要用材比重與碳含量測定，臺灣林業科學 17 (3)：291-299，2002。

4 王兆桓、劉知妤，森林蓄積量與生物量轉換模式之建立，2006 森林碳吸存研討會論文集：200-215，2016。

5 李宣德、馮豐隆，臺灣地區樟樹生物量擴展係數之建立，林業研究季刊 32 (3)：45-54，2010。

6 林國銓、洪富文、游漢明、馬復京，福山試驗林闊葉林生態系生物量與葉面積指數的累積與分布，林業試驗所研究報告季刊 9 (4)：299-315，1994。

7 林國銓、何淑玲，由生物量推估臺灣不同林分之碳儲存量，森林經營對二氧化碳吸存之貢獻研討會論文集：97-108，2005。

8 林國銓、杜清澤、黃菊美，苗栗地區相思樹和木油桐人工林碳和氮累積量及生產量之估算，中華林學季刊 40 (2)：201-218，2007。

9 林國銓、黃菊美、杜清澤，櫟木人工林造林木碳貯存量和吸存量之估算，國家公園學報 18 (2)：45-58，2008。

10 林國銓、杜清澤、黃菊美，臺東地區相思樹與楓香兩人工林碳累積量，林業研究季刊 31 (3)：55-68，2009。

11 許原瑞、洪昆源、王巧萍、吳孟鈴、邱祈榮，海岸林分生物量調查規劃，2006 年森林碳吸存研討會論文集：217-235，2006。

12 許原瑞，按樹類的生物量與碳蓄積量，97 年度森林碳管理研討會論文集：17-29，2008。

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

14 林國銓、杜清澤、黃菊美、王巧萍，亞熱帶闊葉林林木粗根生物量和養分含量之估算，臺灣林業科學 21 (2)：155-166，2006。

15 林國銓、杜清澤、黃菊美，光蠟樹人工林碳貯存量和吸存量之估算，中華林學季刊 43 (2)：261-276，2010。

16 柯淑惠，臺灣櫟人工林生物量及碳儲存量之研究，國立中興大學森林學系碩士論文，臺中，2006。

17 陳財輝、許博行、張峻德，四湖木麻黃林分生物量及養分量聚集，臺灣林業科學 13 (4)：325-349，1998。

18 陳財輝、呂錦明，苗栗海岸沙丘木麻黃人工林之生長及林分生物量，林業試驗所研究報告季刊 3 (1)：333-343，1988。

19 王義仲、陳周宏，臺灣產竹種工藝利用價值之評估 (I)，林產工業 14 (1)：82-94，1995。

20 王義仲，竹林生物量調查回顧與展望。2006 森林碳吸存研討會論文集：167-188，2006。

21 林裕仁、王秋嫻、Sara Wu，四種臺灣竹材碳轉換係數之分析，臺灣林業科學 26 (4)：341-355，2011。

22 呂錦明、陳財輝，桂竹之林分構造及生物量一桶頭一桂竹林分例，林業試驗所研究報告季刊 7 (1)：1-13，1992。

(3) 活動數據

以目前國內可取得及歸納之資料進行分類計算。

A. 森林資源面積、蓄積與生長量

林地面積以全國森林資源調查之成果為主，行政院農業委員會林務局（以下簡稱林務局）已完成四次全國性森林資源調查，第三次全國森林資源調查之調查時間為1990年3月至1993年9月，故假設以中間值1991年為基準年，而第四次全國森林資源調查之航照影像主要取自2008至2010年，故採用2009年為基準年，1991年至2009年間的數據則採內插法推得，第四次全國森林資源調查與第三次全國森林資源調查比較，森林面積增加約8萬多公頃，主要增加區位在國有林事業區外之山坡地與平地。

在實務操作上為求算出林地維持林地的運作機制，2009年後之林型面積，以第四次全國森林資源調查成果

（含事業區內及事業區外）的土地利用圖為森林基線，包含天然針葉林、天然針闊葉混淆林、天然闊葉林、人工針葉林、人工針闊葉混淆林、人工闊葉林、木竹混淆林和竹林等八種林型，並考量到崩場地因素，林地崩塌主要為林地覆蓋的改變，並非使用狀態的改變，因此仍屬於林地維持林地的狀態，但由於林地崩塌，其覆蓋的林木亦皆隨之崩落形成漂流木，無法持續生長，依據林務局委託成功大學執行「運用衛星影像於全島崩場地判釋與災害分析」研究成果，將此種林地崩塌的面積予以扣除。將各年度崩場地層以空間聯集的方式累加，取得年度總累計崩塌面積，再採取排除方式來運算，以第四次全國森林資源調查成果的森林面積為森林基線面積，透過森林基線面積扣除每年度總累積崩塌面積。另外嚴重風害亦會造成林木風倒，造成林木死亡，也是林地減少森林覆蓋的另一原因。各年度森林減少面積如表 6.2.3 所示：

表 6.2.2 相關各轉換係數及年生長量

林型 \ 係數	基本比重 (D)	生物量擴展係數 (BEF)	生物量轉換與擴展係數 (BCEF)	根莖比 (R)	碳含量比例 (CF)	年生長量 (公噸 / 公頃)
天然針葉林	0.41	1.27	0.51	0.22	0.4821	4.14
天然針闊葉混淆林	0.49	1.34	0.72	0.23	0.4756	10.05
天然闊葉林	0.56	1.40	0.92	0.24	0.4691	3.58
人工針葉林	0.41	1.27	0.51	0.22	0.4821	8.11
人工針闊葉混淆林	0.49	1.34	0.72	0.23	0.4756	10.37
人工闊葉林	0.56	1.40	0.92	0.24	0.4691	4.34
木竹混淆林	0.49	1.34	0.72	0.23	0.4756	3.31
竹林	0.62	1.40	-	0.46	0.4732	13.84

註：竹類生長量應有高估情形，惟目前尚缺乏老熟竹林分移除量之研究數據。

表 6.2.3 2010 至 2016 年因崩塌或風災減少森林覆蓋面積

林型	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	累計減少面積	累計減少比例
	公頃								
天然針葉林	1,184	447	545	192	341	127	94	2,930	11.93
天然針闊葉混淆林	835	207	263	148	241	94	62	1,850	7.53
天然闊葉林	7,775	1,755	2,041	1,496	1,578	757	574	15,976	65.06
人工針葉林	253	74	83	60	50	18	19	557	2.27
人工針闊葉混淆林	232	49	48	47	45	13	20	453	1.85
人工闊葉林	913	150	157	75	97	39	34	1,465	5.96
木竹混淆林	561	87	37	41	35	22	15	798	3.25
竹林	357	53	24	45	21	10	17	526	2.14
年崩塌面積	12,109**	2,821	3,197	2,104	2,408	1,080	834/3,609.7(含金門莫蘭蒂風災災損面積)*		

* 金門地區因莫蘭蒂颱風造成嚴重風損，不列為森林覆蓋區域。風災災損面積 3,609.7 公頃取自「金門森林風損評估之研究 - 以莫蘭蒂颱風為例」(邱祈榮及王楷勛, 2017)²³。

**2010 年凡那比颱風 9 月份侵台，對照林業統計森林災害資料亦於 9 月份災損面積較大，故崩塌地面積可能因此較高。

23 邱祈榮、王楷勛，金門森林風損評估之研究 - 以莫蘭蒂颱風為例，第十二屆環境保護林經營管理研討會論文集：91-98，2017。

此外，「其他土地轉變為林地」經過 20 年之過渡期後，計算時改納入林地維持林地的面積估算，1990 年之造林面積，至 2011 年時加總至林地維持林地之面積中。

經上述資料與步驟整理，各年度林地維持林地之面積如下：

表 6.2.4 1990 至 2016 年林地維持林地面積

(單位：公頃)

年份 \ 林型	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
天然針葉林	220,100	220,100	219,301	218,501	217,702	216,903	216,103	215,304	214,504
天然針闊葉混淆林	286,376	286,376	277,021	267,666	258,311	248,956	239,601	230,246	220,891
天然闊葉林	975,800	975,800	995,526	1,015,253	1,034,979	1,054,706	1,074,432	1,094,159	1,113,885
人工針葉林	218,400	218,400	210,858	203,317	195,775	188,234	180,692	173,151	165,609
人工針闊葉混淆林	37,287	37,287	38,152	39,017	39,882	40,747	41,612	42,477	43,342
人工闊葉林	144,600	144,600	141,338	138,075	134,813	131,551	128,288	125,026	121,764
木竹混淆林	67,537	67,537	70,171	72,805	75,438	78,072	80,706	83,339	85,973
竹林	152,300	152,300	150,033	147,766	145,499	143,232	140,966	138,699	136,432
總計	2,102,400	2,102,400	2,102,400	2,102,400	2,102,400	2,102,400	2,102,400	2,102,400	2,102,400
年份 \ 林型	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
天然針葉林	213,705	212,906	212,106	211,307	210,508	209,708	208,909	208,109	207,310
天然針闊葉混淆林	211,536	202,181	192,826	183,471	174,116	164,761	155,406	146,051	136,696
天然闊葉林	1,133,612	1,153,338	1,173,065	1,192,791	1,212,518	1,232,244	1,251,971	1,271,697	1,291,424
人工針葉林	158,067	150,526	142,984	135,443	127,901	120,360	112,818	105,276	97,735
人工針闊葉混淆林	44,207	45,072	45,937	46,802	47,667	48,532	49,397	50,262	51,127
人工闊葉林	118,501	115,239	111,977	108,714	105,452	102,190	98,927	95,665	92,403
木竹混淆林	88,607	91,240	93,874	96,508	99,141	101,775	104,409	107,042	109,676
竹林	134,165	131,898	129,631	127,364	125,097	122,831	120,564	118,297	116,030
總計	2,102,400	2,102,400	2,102,400	2,102,400	2,102,400	2,102,400	2,102,400	2,102,400	2,102,400
年份 \ 林型	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
天然針葉林	206,511	205,711	204,528	204,081	203,535	203,380	203,076	202,985	202,929
天然針闊葉混淆林	127,341	117,986	117,151	116,944	116,681	116,570	116,366	116,309	116,284
天然闊葉林	1,311,150	1,330,877	1,323,102	1,321,347	1,319,306	1,317,847	1,316,306	1,315,586	1,315,049
人工針葉林	90,193	82,652	82,398	83,283	84,551	86,271	87,702	88,689	89,225
人工針闊葉混淆林	51,992	52,857	52,625	52,643	52,647	52,647	52,603	52,589	51,360
人工闊葉林	89,141	85,878	84,965	87,511	90,357	93,256	96,158	99,607	100,927
木竹混淆林	112,310	114,943	114,382	114,296	114,259	114,218	114,183	114,161	114,146
竹林	113,763	111,496	111,140	111,248	111,476	111,710	111,992	112,111	112,206
總計	2,102,400	2,102,400	2,090,291*	2,091,353	2,092,812	2,095,899	2,098,386	2,102,037	2,102,126

*2010 年因崩塌地面積較高故林地面積減少。

B. 每年伐採量 (H)、每年收穫薪材材積 (FGTrees)

根據歷年林務局之林業統計加以整理 (如表 6.2.5)。

C. 受干擾影響的森林面積 (Disturbance) 與損失材積量 (DV)

根據歷年之林務局之林業統計加以整理 (表 6.2.6)，其中受干擾影響之來源包括盜伐、火災、火警、濫墾及其他；幼齡木、幼苗、竹叢、副產物之損失未列入。

(4) 碳移除量

1990 至 2016 年「林地維持林地」碳移除量變化估算結果，每年大致呈現穩定狀態，主要係由於臺灣區域計畫法、森林法對於林業用地變更以及森林伐採均已訂

有相關規範，且自 1992 年起即實施禁伐天然林政策，至林地變更為其他使用之情形極少，因此變動幅度小。惟其中 1991 年、2001 年及 2009 年，因森林大火與颱風等重大災害，促使當年度生物量碳排放量 (ΔC_t) 較高，致該三年之碳移除量較低，其餘各年均維持穩定狀態。

3. 不確定性與時間序列的一致性

(1) 不確定性

因蒙地卡羅法進行估算時在數據的應用上較為複雜且須統計軟體的協助，而誤差傳遞法即可符合目前國內資料處理的需求，因此採用「誤差傳遞法」推算臺灣「林地維持林地」碳移除量之不確定性。

表 6.2.5 臺灣地區森林主產物伐採量

年度		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
面積 (ha)	林地	1,917	1,046	1,036	575	439	625	500	448	458
	竹林	1,479	1,683	781	675	532	587	293	184	260
	總計	3,396	2,729	1,817	1,250	971	1,212	793	632	718
林木材積 (m ³)	天然針葉林	6,292	4,191	5,428	4,457	3,182	5,536	4,515	4,597	5,679
	天然闊葉林	54,207	26,244	13,662	2,724	3,735	349	328	309	197
	人工針葉林	85,517	64,436	69,813	50,683	36,679	35,440	38,665	32,831	27,349
	人工闊葉林	17,481	7,885	7,361	5,245	6,396	4,876	3,154	3,071	3,262
	薪材	39,715	23,303	22,059	8,625	6,136	16,976	9,700	11,365	13,042
	總計	203,212	126,059	118,323	71,734	56,128	63,177	56,362	52,173	49,529
竹類 (支)		5,795,941	4,318,917	3,312,710	2,176,352	1,907,854	2,161,413	2,323,761	1,232,119	1,508,053
年度		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
面積 (ha)	林地	393	632	405	624	739	705	500	587	326
	竹林	493	383	124	390	455	333	342	622	339
	總計	886	1,015	529	1,014	1,194	1,038	842	1,209	665
林木材積 (m ³)	天然針葉林	3,177	0	0	0	128	0	2	72	1
	天然闊葉林	964	3,507	7,414	3,642	771	128	533	252	145
	人工針葉林	22,267	22,500	21,171	26,019	56,764	37,968	35,393	35,214	40,253
	人工闊葉林	6,540	4,039	11,741	24,010	9,597	20,616	16,649	17,127	15,182
	薪材	9,997	5,134	7,533	7,388	18,282	12,089	7,481	10,931	11,638
	總計	42,945	35,180	47,859	61,059	85,542	70,801	60,058	63,596	67,219
竹類 (支)		1,841,708	1,716,292	558,927	1,268,416	2,174,351	1,572,353	1,694,291	3,046,946	2,864,482
年度		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
面積 (ha)	林地	180	158	159	142	151	170	155	189	124
	竹林	465	438	562	370	378	285	394	488	287
	總計	645	596	721	512	529	455	549	677	411
林木材積 (m ³)	天然針葉林	2	0	6	117	70	25	11	3	64
	天然闊葉林	30	760	1,432	131	194	400	337	314	495
	人工針葉林	36,596	32,058	19,115	27,674	37,189	26,461	51,350	37,399	26,124
	人工闊葉林	7,140	7,774	11,933	8,216	5,971	7,516	6,325	5,822	7,488
	薪材	7,340	3,690	313	774	2,807	7,817	4,247	8,071	7,873
	總計	51,108	44,282	32,799	36,912	46,231	42,219	62,270	51,609	42,044
竹類 (支)		2,509,139	3,266,805	3,326,833	1,875,466	1,772,876	1,532,111	2,427,516	2,431,258	1,803,786

資料來源：林務局之林業統計

林地碳移除量的不確定性討論對象包含林業活動數據（如土地使用面積）與轉換係數（如各種碳轉換係數）二大項目。其中因林業活動數據取自全國森林資源調查，第四次全國森林資源調查係以航照圖判釋，繪製土地利用型圖，無法以統計之方式估算不確定性，且其為國家統計資料，是唯一的資料來源，因此，該部分的不確定性暫時予以忽略。在此背景之下，臺灣林地碳移除量的不確定性分析以轉換係數為主要對象（包含碳轉換係數與年生長量）。

進行不確定性分析有四個主要步驟。首先，整理碳轉換係數文獻中的研究成果與標準差或標準誤，不確定性是由平均值和標準差所推估（95% 信賴區間），以下列式（14）與式（15）計算每篇文獻各樹種之不確定性；第二步則視取平均與中位數的過程為不同變量相加，採用誤差傳遞法的加法規則（式 16）計算出各係數之不確定性；因估算林地碳量時，各個轉換係數為相乘的關係，依據誤差傳遞法乘法規則（式 17）來合併係數之不確定性。最後，林業部門溫室氣體清冊是將各林型碳排放 / 碳

表 6.2.6 受干擾影響的森林面積與損失材積

年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
次數 *	352	362	292	359	441	336	511	305	252
面積 (公頃)	4,031	1,125	401	1,251	3,860	546	7,519	2,969	1,642
林木材積 (立方公尺)	3,395	1,357,423*	2,235	9,944	5,246	1,873	43,984	14,572	20,233
竹類 (支)	0	163,220	20,154	24,196	264,490	105,600	6,255,093	2,330,329	3,131,407
年份	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
次數 *	429	272	263	347	491	251	219	210	231
面積 (公頃)	2,440	4,353	1,621	742	800	1,006	3,133	158	1,049
林木材積 (立方公尺)	75,991	103,385	645,328**	3,670	624	26,764	65,112	2,017	37,751
竹類 (支)	2,692,378	1,966,948	252,545	35,657	27,448	394,651	2,013,673	99,200	257,027
年份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
次數 *	317	455	419	476	445	413	380	435	381
面積 (公頃)	284	5,834	97	33	10	15	30	64	6,160
林木材積 (立方公尺)	4,182	1,563,005***	5,202	297	109	411	494	842	2,269****
竹類 (支)	26,962	2,486,573	1,608	731	0	750	0	180	34,869

資料來源：林務局之林業統計

*1991 年於南投縣信義鄉及嘉義縣阿里山鄉塔塔加地區發生森林大火，範圍延燒約 300 多公頃，致林木損失材積量大。

**2001 年除丹大、梨山、雪山東峰及陽明山國家公園所發生之五次森林大火外，尚發生 59 次小火警，火災受損面積廣達 395 公頃，森林資源損失慘重。

***2009 年莫拉克風災對臺灣中、南部造成嚴重災害，尤其在高雄、屏東部分地區 3 天內降下超過 2,500 毫米的雨量，產生約 125 萬噸漂流木，致林木損失材積量大。

****2016 年莫蘭蒂風災對金門造成 5996.98 公頃之受損面積，惟依林業統計報表未具材積數據，然「金門森林風損評估之研究 - 以莫蘭蒂颱風為例」報告顯示風倒材積量達 289,600 立方公尺，依京都議定書決議文，LULUCF 部門各國應提交之每年天然干擾訊息可排除森林干擾釋放量超過背景值者，故該次風災損失材積不計入估算。

移除的數量相加，因此再以加法規則合併各林型不確定性，再合併林地維持林地與土地轉變為林地兩部分之不確定性。

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (14)$$

SD 標準差

x_i 第 i 筆 CF 數值

\bar{x} 文獻收集之 CF 平均值

n CF 數據筆數

$$U = \frac{SD \times 1.96}{\bar{x}} \times 100\% \quad (15)$$

$$U_{total} = \sqrt{\frac{(U_1 \times E_1)^2 + (U_2 \times E_2)^2 + \dots + (U_n \times E_n)^2}{E_1 + E_2 + \dots + E_n}} \quad (16)$$

U_1, U_2, U_n 不同變量的不確定性

E_1, E_2, E_n 不同變量

$$U_{total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (17)$$

表 6.2.7 1990 至 2016 年林地維持林地碳移除量變化

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年份		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
生物量生長碳移除量 ΔCO_{2G}		-23,902	-23,902	-23,713	-23,524	-23,335	-23,146	-22,957	-22,768	-22,579
生物量年 碳儲存 損失量 ΔCO_{2L}	木材伐採碳排放量 $L_{Wood-Removals}$	524.07	352.9	285.43	182.33	156.69	160.64	167.56	107.84	116.6
	薪材收穫碳排放量 $L_{Fuelwood}$	77.93	45.73	43.28	16.92	12.04	33.31	19.03	22.3	25.59
	干擾等其他因素 碳排放量 $L_{Disturbance}$	5.24	2,104.32	4.43	16.54	20.99	8.04	372.73	136.06	183.84
總碳移除量 ΔCO_2		-23,295	-21,399	-23,380	-23,308	-23,145	-22,944	-22,398	-22,502	-22,253
年份		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
生物量生長碳移除量 ΔCO_{2G}		-22,390	-22,201	-22,012	-21,823	-21,633	-21,444	-21,255	-21,066	-20,877
生物量年 碳儲存 損失量 ΔCO_{2L}	木材伐採碳排放量 $L_{Wood-Removals}$	132.45	123.19	88.11	144.69	188.87	159.08	155.2	221.38	213.93
	薪材收穫碳排放量 $L_{Fuelwood}$	19.62	10.07	14.78	14.5	35.87	23.72	14.68	21.45	22.84
	干擾等其他因素 碳排放量 $L_{Disturbance}$	248.55	255.51	1,008.93	7.41	2.3	60.56	198.68	7.95	70.83
總碳移除量 ΔCO_2		-21,989	-21,812	-20,900	-21,656	-21,406	-21,201	-20,887	-20,815	-20,570
年份		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
生物量生長碳移除量 ΔCO_{2G}		-20,688	-20,499	-20,392	-20,409	-20,435	-20,473	-20,508	-20,546	-20,542
生物量年 碳儲存 損失量 ΔCO_{2L}	木材伐採碳排放量 $L_{Wood-Removals}$	176.59	211.19	209.37	138.34	139.46	119.32	187.85	171.65	132.36
	薪材收穫碳排放量 $L_{Fuelwood}$	14.4	7.24	0.61	1.52	5.51	15.34	8.33	15.84	15.45
	干擾等其他因素 碳排放量 $L_{Disturbance}$	7.77	2,535.02	8.11	0.49	0.17	0.67	0.76	1.31	5.2
總碳移除量 ΔCO_2		-20,489	-17,746	-20,174	-20,269	-20,290	-20,338	-20,311	-20,357	-20,389

註： $\Delta CO_2 = \Delta CO_{2G} - (L_{Wood-Removals} + L_{Fuelwood} + L_{Disturbance})$

表 6.2.8 碳轉換係數不確定性分析結果

林型 / 係數	基本比重 (D)	不確定性 (%)	生物量轉換與擴展係數 (BCEF)	不確定性 (%)	根莖比 (R)	不確定性 (%)	碳含量比例 (CF)	不確定性 (%)	年生長量 (立方公尺 / 公頃)	不確定性 (%)	合併之不確定性 (%)
天然針葉林	0.41	9.30	0.51	2.18	0.22	32.30	0.4821	2.89	4.14	12.37	34.78
天然針闊葉混淆林	0.49	9.30	0.72	7.62	0.23	16.88	0.4756	1.80	10.05	15.83	24.43
天然闊葉林	0.56	-	0.92	11.79	0.24	13.06	0.4691	2.13	3.58	5.00	18.41
人工針葉林	0.41	9.30	0.51	2.18	0.22	32.30	0.4821	2.89	8.11	13.13	35.05
人工針闊葉混淆林	0.49	9.30	0.72	7.62	0.23	16.88	0.4756	1.80	10.37	20.08	27.38
人工闊葉林	0.56	-	0.92	11.79	0.24	13.06	0.4691	2.13	4.34	24.93	30.59
木竹混淆林	0.49		0.72	7.62	0.23	16.88	0.4756	1.80	3.31	24.38	30.67
竹林	0.62	15.68	-	-	0.46	-	0.4732	2.15	13.84	-	2.15

表 6.2.9 1990 至 2016 年林地維持林地不確定性

(單位：%)

年份		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
生物量生長碳移除量 ΔC_G		7.80	7.8	7.8	7.82	7.84	7.86	7.89	7.93	7.98
生物量年碳儲存損失量 ΔC_L	木材伐採碳排放量 $L_{Wood-Removals}$	7.53	7.63	9.63	10.78	9.3	8.74	8.98	11.82	9.31
	薪材收穫碳排放量 $L_{Fuelwood}$	7.53	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72
	干擾等其他因素碳排放量 $L_{Disturbance}$	18.61	18.54	14.49	17.28	7.3	6.83	3.82	3.56	3.63
合計		7.61	7.21	7.7	7.75	7.77	7.79	7.71	7.84	7.86
年份		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
生物量生長碳移除量 ΔC_G		8.03	8.09	8.15	8.23	8.31	8.4	8.5	8.6	8.72
生物量年碳儲存損失量 ΔC_L	木材伐採碳排放量 $L_{Wood-Removals}$	7.12	7.36	12	11.32	11.78	11.48	10.46	7.47	8.21
	薪材收穫碳排放量 $L_{Fuelwood}$	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72
	干擾等其他因素碳排放量 $L_{Disturbance}$	8.86	11.66	18.38	14.25	7.9	12.72	9.48	7.41	15.32
合計		7.89	7.95	7.8	8.17	8.22	8.3	8.35	8.5	8.59
年份		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
生物量生長碳移除量 ΔC_G		8.84	8.97	8.96	8.95	8.93	8.91	8.9	8.88	8.88
生物量年碳儲存損失量 ΔC_L	木材伐採碳排放量 $L_{Wood-Removals}$	8.29	6.3	4.92	8.35	10.45	9.17	10.61	8.59	8.21
	薪材收穫碳排放量 $L_{Fuelwood}$	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72	17.72
	干擾等其他因素碳排放量 $L_{Disturbance}$	15.47	17.72	18.43	17.27	18.61	17.59	18.61	18.48	12.55
合計		8.76	8.14	8.87	8.89	8.87	8.86	8.81	8.8	8.82

各林型中以人工針葉林與天然針葉林的不確定性最高，分別為 35.05% 與 34.78%，主要是因為針葉樹之 R 值採用 IPCC 預設值，有較高之不確定性；又以天然闊葉林之不確定性最低，為 18.41%。竹林則因為大多數係數採用的文獻並未註明標準差或標準誤差，無法估算不確定性，暫時忽略不計，因而促使不確定性低。

計算林地維持林地碳量變化時，是將各林型之碳量相加，因此計算不確定性分析時，先以誤差傳遞法之加法規則，合併各林型係數之不確定性，再合併生物量碳移除量、伐採碳排放量、新材收穫碳排放量與干擾損失碳排放量之不確定性。計算結果如下表所示，各年度林地維持林地碳移除量之不確定性介 7.21% 至 8.89% 之間。

(2) 時間序列一致性

活動數據主要採自全國森林資源調查數據，然全國森林資源調查並非每年進行調查，為符合時間序列的一致性，參考 2006 IPCC 指南，兩次調查間的年度以內插法推得各林型之相關數據。又因第三次與第四次全國森林資源調查相隔久遠（約 18 年），考量到調查技術之提升，以外推法可能會有高估變動之情形，故第四次全國森林資源調查（2009 年以後）使用替代數據—崩場地圖層，來估算林地面積，待未來得到下一次的全國森林資源調查數據（或其他全國林地面積數據），再以內插法修正數據。

4. 林業部門碳移除量的 QA/QC 及查證

查證的定義：「查證指在清冊規劃、發展及完成後，收集可能有助於建立可信度的活動資料和程序步驟，以供清冊的查證程序使用」。換言之，「查證 (Verification)」是對清冊報告中的排放 / 移除量作定期審查，以建立清冊可信度。查證過程應做為品質保證 (QA) 和品質控制 (QC) 程序的一部分，以促進發展國家溫室氣體清冊的透明度、一致性、可比較性、完整性和準確性。

目前已完成蒐集 IPCC 相關查證方法學，後續將依前開規範及步驟進行相關查證。另配合行政院環境保護署整合各部會就主管產業提報溫室氣體排放或移除量，完成估算林業部門 1990 年至 2016 年森林及其他木質生物蓄積量的淨改變對於溫室氣體減量貢獻，業經 2017 年 7 月 17 日、24 日農業、林業部門專家研商會議審議通過，業依委員所提相關意見修正。

5. 林業部門碳移除量的重新計算

估算方式與相關轉換係數沿用 2015 年計算方式及引用原則，2016 年度清冊報告尚無修正，僅更新至 2016 年度資料。

6. 林業部門碳移除量的改善計畫

- (1) 有關各林型或土地利用型圖之活動數據，為土地使用變遷的依據，亦為林業部門碳移除量的估算基

表 6.2.10 IPCC 查證方法比較

方法	方法一 其他成果比較法	方法二 更高層級比較法	方法三 直接測量法	方法四 遙測法	方法五 模型法
土地面積	可獲得數據，合適	可獲得數據，合適	不適用	合適	不適用
碳 庫					
地上部生物量	可獲得數據，合適	可獲得數據，合適	合適 成本高	合適 (需要地面數據)	合適 (迴歸、生態系及生長模式)
地下部生物量	可獲得數據，合適	可獲得數據，合適	合適 成本高	不適用	合適 (迴歸、生態系及生長模式)
枯死木	可獲得數據，合適	可獲得數據，合適	合適 成本高	不適用	適用 (生態系統及調查基準的模式)
枯落物	可獲得數據，合適	可獲得數據，合適	合適 成本高	不適用	適用 (生態系統及調查基準的模式)
土壤有機物質	可獲得數據，合適	可獲得數據，合適	合適 成本高	不適用	合適 (生態系統及調查基準的模式)
非二氧化碳溫室氣體 Non-CO ₂	可獲得數據，合適	可獲得數據，合適	合適 成本高	不適用	合適 (生態系統模式)
轉換係數	可獲得數據，合適	可獲得數據，合適	合適 成本高	不適用	合適 (生態系統模式)
基於活動 / 土地的報告					
林地、草地、農地、其他土地利用	可獲得數據，合適	可獲得數據，合適	合適 成本高	合適，特別在辨別土地利用及其之間的轉變	合適，數據密集型，當不允許直接測量或遙測時，可作為替代的方法
造林、再造林、毀林、專案 (Project)	可獲得數據，合適	可獲得數據，合適	合適 成本高	合適，特別在辨別土地利用及其之間的轉變	不實際

礎，後續將繼續研析各國有關森林面積活動數據之調查產製方式，配合林務局全國森林資源調查成果之土地覆蓋型圖資更新維護作法，搭配衛星影像監測或國土利用調查成果更新維護資料，以研議適當之林業溫室氣體清冊年度森林面積活動數據產製方式。

- (2) 未來將透過林務局森林永久樣區及系統樣區複查資料，配合樣區複查及航照樣點量測方法，研議發展年度蓄積與生長量之更新機制。
- (3) 查證過程為品質保證 (QA) 和品質控制 (QC) 程序的一部分，以促進發展國家溫室氣體清冊的透明度、一致性、可比較性、完整性和準確性。目前已完成蒐集 IPCC 相關查證方法學，後續將依前開規範及步驟進行相關查證。

6.2.2 其他土地轉變為森林

1. 排放源及匯分類的敘述

土地轉變為森林之碳庫 (Carbon Pool) 與林地維持林地相同，區分為生物量 (Biomass) (包含地上部及地下部生物量)、死有機質 (Dead Organic Matter) (包含枯死木與枯落物)、土壤 (Soils) (包含土壤有機質) 等三大類。各類碳庫說明如表 6.2.1 所示。

2. 方法學議題

(1) 計算方法

A. ΔC_B 生物量 (Biomass) 碳貯存量的變化

有關生物量碳貯量變化，採用前 6.2.1.2 整理公式 1 至公式 13 計算。

B. ΔC_{DOM} 死有機物質 (Dead Organic Matter) 碳貯存量變化

採用層級一方法，對於這些碳庫中的碳貯存量變化並不明顯，因此其預設值可假設為零，即投入與損失相抵，因此死有機質碳貯存量變化淨值為零。當國家於報告年間沒有經歷森林類型、擾動或經營體制的重大轉變，這是個安全的假設。

C. ΔC_{Soils} 土壤 (Soils) 碳貯存量變化

上述假設可同樣應用於土壤碳庫，淨碳儲存變化量為零。

(2) 轉換係數

碳轉換係數方面，基本比重 (D)、生物量擴展係數 (BEF_I 、 BEF_R)、根莖比 (R) 及乾物質碳含量比例 (CF) 採用與林地維持林地相同之數值，如表 6.2.2 所示。

材積生長量則依林俊成等人 (2002)²⁴ 對全民造林運動碳吸存潛力之評估結果，以樟樹、臺灣檫、相思樹、光臘樹等四種樹種之平均生長量做為闊葉林造林材積計算基準，而以肖楠、柳杉、杉木等三種樹種之平均生長量做為針葉林造林材積計算基準，針闊葉混生林平均生長量則為針葉林及闊葉林之平均值。竹林的平均生長量則依林裕仁等 (2011)²¹ 的研究結果，平均每公頃竹稈年生長量為 13.84 公噸。

(3) 活動數據

1992 至 2009 年土地轉變為林地的總面積以第三次全國森林資源調查到第四次全國森林資源調查間增加的森林覆蓋面積為主，並搭配林業統計造林資料輔助林型分類，扣除林業統計 1992 至 2009 年之造林面積，剩餘增加之面積則視為天然更新，平均分配至各林型計算；其餘年度以林業統計的造林面積為主，各年度土地轉變為林地之面積如表 6.2.11 所示。

(4) 碳移除量

1990 至 2016 年「其他土地轉變為林地」碳移除量變化結果如表 6.2.12，主要隨著新植造林面積的累積，碳移除量逐年增加，至 2016 年二氧化碳移除量已達 102.9 萬公噸，較 1990 年增加近 10 倍。

3. 不確定性與時間序列的一致性

(1) 不確定性

有關土地轉變為林地之不確定性分析，採用前 6.2.1.3 整理公式 14 至公式 17 計算。

以誤差傳遞法之加法原則，將各林型轉換係數之不確定性依排放量進行合併，估算各年度土地轉變為林地之不確定性如表 6.2.13，介於 12.24 % 至 16.17 % 之間。

24 林俊成、鄭美如、劉淑芬、李國忠，全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經濟效益評估，臺灣林業科學 17 (3)：311-321，2002。

有關 1990 至 2016 年林業部門碳移除量之不確定性如表 6.2.14 所，為 7.18% 至 8.44% 之間。

(2) 時間序列一致性

活動數據主要採自全國森林資源調查數據，以兩次資源調查間增加的面積為土地轉變為林地面積，然全國森林資源調查並非每年進行調查，為符合時間序列的一致性，參考 2006 IPCC 指南，以內插法將總面積分配至兩次調查間的年度，另外再搭配歷年林業統計的造林面積分類林型。

4. 林業部門碳移除量的 QA/QC 及查證

查證的定義：「查證指在清冊規劃、發展及完成後，收集可能有助於建立可信度的活動資料和程序步驟，以供清冊的查證程序使用」。換言之，「查證 (Verification)」是對清冊報告中的排放 / 移除量作定期審查，以建立清冊

可信度。查證過程應做為品質保證 (QA) 和品質控制 (QC) 程序的一部分，以促進發展國家溫室氣體清冊的透明度、一致性、可比較性、完整性和準確性。

目前已完成蒐集 IPCC 相關查證方法學，後續將依前開規範及步驟進行相關查證。另配合由行政院環境保護署整合各部會就主管產業提報溫室氣體排放或移除量，完成估算林業部門 1990 年至 2016 年森林及其他木質生物蓄積量的淨改變對於溫室氣體減量貢獻，業經 2018 年 6 月 14 日「農業及林業部門溫室氣體排放清冊」專家審議會通過，業依委員所提相關意見修正。

5. 林業部門碳移除量的重新計算

估算方式與相關轉換係數沿用 2015 年計算方式及引用原則，2016 年度清冊報告尚無修正，僅更新至 2016 年度資料。

表 6.2.11 1990 至 2016 年土地轉變為林地面積

(單位：公頃)

年份		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
針葉林	林業統計面積	959	1,350	1,780	1,481	1,005	614	1,222	1,709	1,441	1,516	1,032	796	853	492
	總面積	959	1,350	1,817	1,518	1,042	651	1,259	1,746	1,478	1,553	1,069	833	890	529
針闊葉混淆林	林業統計面積	67	52	48	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4	31
	總面積	67	52	85	37	37	37	37	37	37	39	37	37	41	68
闊葉林	林業統計面積	2,696	3,002	2,975	2,999	3,487	2,832	3,901	3,438	5,978	6,653	4,125	4,068	6,556	6,717
	總面積	2,696	3,002	3,012	3,036	3,524	2,869	3,938	3,474	6,014	6,690	4,162	4,105	6,593	6,754
竹林	林業統計面積	161	252	279	303	129	112	108	100	70	129	70	70	71	45
合計		3,883	4,656	5,191	4,893	4,732	3,669	5,341	5,357	7,599	8,411	5,338	5,045	7,594	7,396
年份		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011**	2012	2013	2014	2015	2016	
針葉林	林業統計面積	638	62	59	313	87	671	250	144	150	226	155	139	112	
	總面積	675	99	96	350	124	708	250	144	150	226	155	139	112	
針闊葉混淆林	林業統計面積	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	總面積	40	37	37	37	37	37	0	0	0	0	0	0	0	
闊葉林	林業統計面積	4,092	1,477*	345	818	426	2,595	2,580	3,399	3,044	1,179	1,098	993	826	
	總面積	4,129	1,514	382	855	462	2,632	2,580	3,399	3,044	1,179	1,098	993	826	
竹林	林業統計面積	134	57	5	5	5	1	0	1	0	0	0	0	0	
合計		4,978	1,707	520	1,246	629	3,378	2,830	3,544	3,194	1,406	1,253	1,132	938	

資料來源：林務局之林業統計

* 因 2005 年起停止全民造林政策致造林面積減少

** 林業統計面積取自林務局林業統計表之造林面積表、一般造林面積表 (按樹種分)；2011 年後相關造林計畫造林面積依新增之相關造林計畫造林面積表 (按機關分) 扣除營造複層林及其他造林部分。

表 6.2.12 1990 至 2016 年土地轉變為森林碳移除量變化

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年份		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
生物量碳 移除量 ΔCO_2G	針葉林	-13.12	-13.12	-21.14	-32.11	-34.58	-34.68	-35.04	-47.98	-64.95	-74.91	-91.14	-98.52	-105.84	-114.4
	針闊葉 混淆林	-1.31	-1.31	-1.32	-2.26	-1.86	-2.25	-2.72	-3.13	-3.76	-4.28	-4.93	-5.4	-5.85	-6.38
	闊葉林	-68.41	-68.41	-93.24	-116.28	-147.9	-196.29	-228.62	-300.61	-340.63	-455.86	-543.01	-555.93	-625.44	-757.98
	竹林	-7.92	-7.92	-20.29	-33.96	-48.82	-55.18	-52.78	-45.69	-36.92	-25.49	-25.45	-23.36	-21.53	-20.1
總碳移除量 ΔCO_2		-91	-91	-136	-185	-233	-288	-319	-397	-446	-561	-665	-683	-759	-899
年份		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
生物量碳 移除量 ΔCO_2G	針葉林	-119.51	-132.28	-133.2	-140.61	-148.44	-149.01	-160.12	-149.07	-139.19	-124.35	-113.14	-104.93	-99.48	
	針闊葉 混淆林	-7.35	-7.38	-7.88	-8.33	-8.79	-9.19	-9.55	-8.6	-8.27	-7.56	-7.3	-7	-6.64	
	闊葉林	-849.63	-872.68	-886.31	-915.71	-972.68	-997.25	-1,066.38	-1,043.19	-1,046.24	-1,028.27	-978.55	-956.48	-922.96	
	竹林	-18.89	-19.15	-18.53	-15.34	-12.1	-10.15	-3.63	-0.83	-0.59	-0.36	-0.1	-0.03	-0.03	
總碳移除量 ΔCO_2		-995	-1,031	-1,046	-1,080	-1,142	-1,166	-1,240	-1,202	-1,194	-1,161	-1,099	-1,068	-1,029	

註：資料總計因小數點取捨，取與各林型加總有些會有差異。

表 6.2.13 1990 至 2016 年土地轉變為林地碳移除量不確定性

(單位：%)

年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
生物量 碳移除 量 ΔC_G	14.16	14.16	13.17	12.52	12.24	12.69	13.19	13.97	14.33	15.05	15.15	15.16	15.3	15.51
年份	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
生物量 碳移除 量 ΔC_G	15.62	15.56	15.58	15.61	15.68	15.72	15.81	15.91	15.98	16.09	16.13	16.18	16.2	

表 6.2.14 1990 至 2016 年林業部門碳移除量不確定性

(單位：%)

年份	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
林地維持林地	7.61	7.21	7.7	7.75	7.77	7.79	7.71	7.84	7.86	7.89	7.95	7.8	8.17	8.22
其他土地轉變 為林地	14.16	14.16	13.17	12.52	12.24	12.69	13.19	13.97	14.33	15.05	15.15	15.16	15.3	15.51
合計	7.58	7.18	7.65	7.69	7.7	7.7	7.6	7.71	7.71	7.7	7.73	7.57	7.91	7.92
年份	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
林地維持林地	8.3	8.35	8.5	8.59	8.76	8.14	8.87	8.89	8.87	8.86	8.81	8.8	8.82	
其他土地轉變 為林地	15.62	15.56	15.58	15.61	15.68	15.72	15.81	15.91	15.98	16.09	16.13	16.18	16.2	
合計	7.96	7.99	8.13	8.2	8.33	7.7	8.41	8.44	8.42	8.42	8.4	8.4	8.43	

6. 林業部門碳移除量的改善計畫

- (1) 活動數據有關土地轉變為林地部分，林務局已規劃森林資源調查成果土地覆蓋型圖資更新維護作法，後續可透過航照圖圈繪變異區域，作為土地轉變為林地面積基礎。
- (2) 查證過程為品質保證 (QA) 和品質控制 (QC) 程序的一部分，以促進發展國家溫室氣體清冊的透明度、一致性、可比較性、完整性和準確性。目前已完成蒐集 IPCC 相關查證方法學，後續將依前開規範及步驟進行相關查證。

參考文獻

1. IPCC, 2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventory, 2006.
2. 王兆桓與劉知好 2006, 「森林蓄積量與生物量轉換模式之建立」, 《2006 森林碳吸存研討會論文集》, 200-215, 臺北, 臺灣: 行政院農業委員會林業試驗所。
3. 王兆桓 2008, 《森林蓄積量與生物量轉換模式之建立 (3/3)》, 臺北, 臺灣: 行政院農業委員會林務局。
4. 王義仲與陳周宏 1995, 「臺灣產竹種工藝利用價值之評估 (I)」, 《林產工業》, 14(1), 82-94。
5. 王義仲 2006, 「竹林生物量調查回顧與展望」, 《2006 森林碳吸存研討會論文集》, 167-188, 臺北, 臺灣: 行政院農業委員會林業試驗所。
6. 呂錦明與陳財輝, 「桂竹之林分構造及生物量一桶頭一桂竹林分之例」, 《林業試驗所研究報告季刊》, 7(1), 1-13。
7. 林俊成、鄭美如、劉淑芬與李國忠 2002, 「全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經濟效益評估」, 《臺灣林業科學》, 17(3), 311-321。
8. 行政院農業委員會林務局 1995, 《第三次臺灣森林資源及土地利用調查》, 臺北, 臺灣: 行政院農業委員會林務局。
9. 林國銓與何淑玲 2005, 「由生物量推估臺灣不同林分之碳儲存量」, 《森林經營對二氧化碳吸存之貢獻研討會論文集》, 97-108, 臺北, 臺灣: 行政院農業委員會林業試驗所。
10. 林國銓、杜清澤、黃菊美與王巧萍 2006, 「亞熱帶闊葉林林木粗根生物量及養分含量之估算」, 《臺灣林業科學》, 21(2), 155-166。
11. 林國銓、杜清澤與黃菊美 2007, 「苗栗地區相思樹和木油桐人工林碳和氮累積量及生產量之估算」, 《中華林學季刊》, 40(2), 201-218。
12. 林國銓、杜清澤與黃菊美 2009, 「臺東地區相思樹與楓香兩人工林碳累積量」, 《林業研究季刊》, 31(3), 55-68。
13. 林國銓、杜清澤與黃菊美 2010, 「光蠟樹人工林碳貯存量和吸存量之估算」, 《中華林學季刊》, 43(2), 261-276。
14. 林國銓、洪富文、游漢明與馬復京 1994, 「福山試驗林闊葉林生態系生物量與葉面積指數的累積與分布」, 《林業試驗所研究報告季刊》, 9(4), 299-315。
15. 林國銓、黃菊美與杜清澤 2008, 「櫟木人工林造林木碳貯存量和吸存量之估算」, 《國家公園學報》, 18(2), 45-58。
16. 林裕仁、王秋嫻與 Sara Wu 2011, 「四種臺灣竹材碳轉換係數之分析」, 《臺灣林業科學》, 26(4), 341-355。
17. 林裕仁、劉瓊霖與林俊成 2002, 「臺灣地區主要用材比重與碳含量測定」, 《臺灣林業科學》, 17(3), 291-299。
18. 邱祈榮與王楷勛 2017, 「金門森林風損評估之研究 - 以莫蘭蒂颱風為例」, 《第十二屆環境保護林經營管理研討會論文集》, 91-98, 臺北, 臺灣: 行政院農業委員會林業試驗所。
19. 柯淑惠 2006, 「臺灣櫟人工林生物量及碳儲存量之研究」, 《國立中興大學森林學系碩士論文》, 臺中, 臺灣: 國立中興大學。
20. 許原瑞、洪昆源、王巧萍、吳孟鈴與邱祈榮 2006, 「海岸林分生物量調查規劃」, 《2006 年森林碳吸存研討會論文集》, 217-235, 臺北, 臺灣: 行政院農業委員會林業試驗所。
21. 許原瑞 2008, 「桉樹類的生物量與碳蓄積量」, 《97 年度森林碳管理研討會論文集》, 17-29, 臺北, 臺灣: 行政院農業委員會林業試驗所。
22. 陳財輝與呂錦明 1988, 「苗栗海岸砂丘木麻黃人工林之生長及林分生物量」, 《林業試驗所研究報告季刊》, 3(1), 333-343。
23. 陳財輝、許博行與張峻德 1998, 「四湖木麻黃林分生物量及養分量聚集」, 《臺灣林業科學》, 13(4), 325-349。