



# 第六章 土地利用、土地利用變化 及林業部門 (CRF SECTOR 4)

---



6.1 部門概述

6.2 森林土地



## 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) 納入國家溫室氣體排放清冊指南 (Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; IPCC 1996 Guidelines, 以下簡稱 1996 IPCC 指南)<sup>1</sup>, 對於土地利用改變造成的碳排放量, 以及林業碳移除量 (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排放清冊指南) 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, 因此可藉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數據, 據以估算臺灣林業移除量現況。

估算結果, 1990 至 2014 年臺灣地區森林資源整體之年移除量變化為 1,900 至 2,350 萬公噸二氧化碳當量, 2014 年臺灣森林移除量約為 2,147 萬公噸二氧化碳當量, 其不確定性為 8.34%, 詳如表 6.1.1, 其歷年趨勢如圖 6.1.1, 2014 年其中「林地維持林地」碳移除量占 94.57%, 「其他土地轉變為林地」碳移除量占 5.43%, 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：

在林地碳貯存量的變化, 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：

$\Delta C_{FL}$  = 林地的碳貯存量的變化 (公噸碳 / 年) ;  
 $\Delta C_B$  = 生物量的碳貯存年變化量 (公噸碳 / 年) ;  
 $\Delta C_{DOM}$  = 死有機物質 (包括死木和枯落物) 的年碳貯存量變化 (公噸碳 / 年) ;  
 $\Delta C_{Soils}$  = 土壤碳貯存年變化量 (公噸碳 / 年)

僅就其中  $\Delta C_B$ 、 $\Delta C_{DOM}$ 、 $\Delta C_{Soils}$  之估算分述如下：

##### A. $\Delta C_B$ 生物量 (Biomass) 碳貯存量的變化

在生物量每年所增加的碳貯存量, 主要為每年生物量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 (式 2)。

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

式中：

$\Delta C_B$  = 生物量的碳貯存年變化量 (公噸碳 / 年) ;  
 $\Delta C_G$  = 生物量生長之年碳貯存增加量 (公噸碳 / 年) ;  
 $\Delta C_L$  = 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, 依林木的地理區位、平均年生長情形及面積而異 (式 3)。

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

式中：

$\Delta C_G$  = 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)

平均年生物量累積量, 在層級 1 的情況時, 可依林木地上部的平均年生物量增加量乘上根莖比可得出 (式 4)。

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

表 6.1.1 1990 至 2014 年臺灣地區森林資源整體之年移除量變化

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年度	林地維持林地		其他土地轉變為林地	總移除量變化 $\Delta \text{CO}_2$	不確定性 (%)
	生物量二氧化碳貯存增加量 $\Delta \text{CO}_{2G}$	生物量年二氧化碳貯存損失量 $\Delta \text{CO}_{2L}$	生物量年二氧化碳貯存增加量 $\Delta \text{CO}_{2G}$		
1990	-23,902	607	-91	-23,386	7.58
1991	-23,902	2,503	-91	-21,490	7.18
1992	-23,713	333	-136	-23,516	7.65
1993	-23,524	216	-185	-23,493	7.69
1994	-23,335	190	-233	-23,379	7.70
1995	-23,146	202	-288	-23,233	7.70
1996	-22,957	559	-319	-22,717	7.60
1997	-22,768	266	-397	-22,899	7.71
1998	-22,579	326	-446	-22,699	7.71
1999	-22,390	401	-561	-22,550	7.70
2000	-22,201	389	-665	-22,476	7.73
2001	-22,012	1,112	-683	-21,583	7.57
2002	-21,823	167	-759	-22,415	7.91
2003	-21,633	227	-899	-22,305	7.92
2004	-21,444	243	-995	-22,196	7.96
2005	-21,255	369	-1,031	-21,918	7.99
2006	-21,066	251	-1,046	-21,861	8.13
2007	-20,877	308	-1,080	-21,650	8.20
2008	-20,688	199	-1,142	-21,631	8.33
2009	-20,499	2,753	-1,166	-18,911	7.70
2010	-20,392	218	-1,240	-21,413	8.41
2011	-20,409	140	-1,202	-21,470	8.40
2012	-20,435	145	-1,283	-21,572	8.40
2013	-20,473	135	-1,226	-21,564	8.40
2014	-20,508	197	-1,166	-21,477	8.38

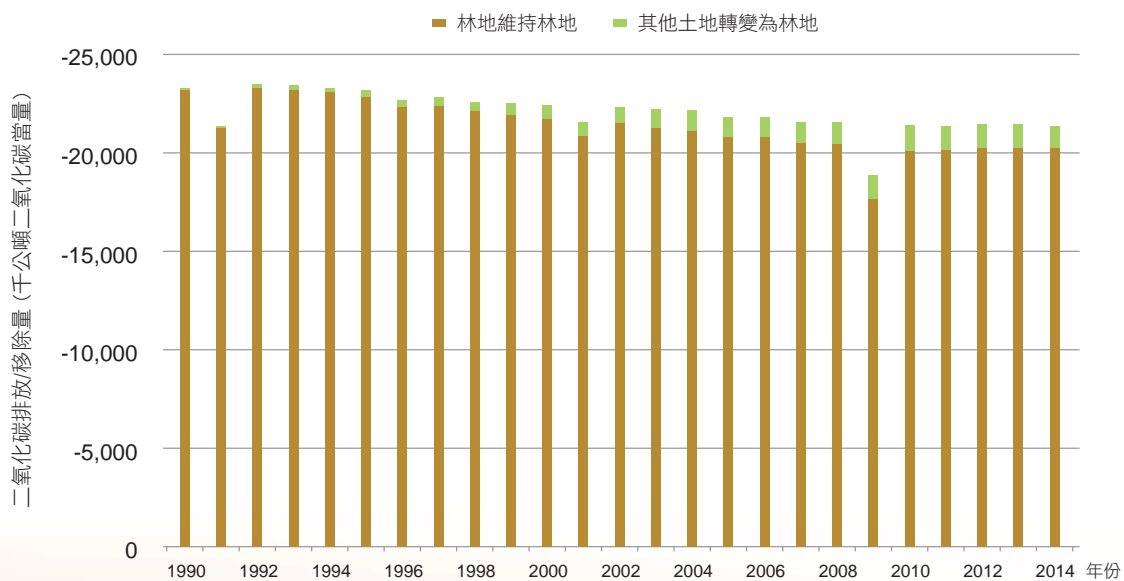


圖 6.1.1、1990 至 2014 年林業部門森林資源整體移除量變化趨勢

在層級 2 及 3，林木地上部的平均年生物量增加量可由特定林木（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）。

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

$$\text{層級 2、3 } G_{\text{TOTAL}} = \sum \{IV \times BCEF_1 \times (1+R)\} \quad (5)$$

式中：

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

$G_w$  = 在特定林木（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；

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

$BCEF_1$  = 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  $BCEF_1$  不可得知，則可使用生物量擴展係數（ $BEF_1$ ）與基本比重（ $D$ ）值相乘得出（式 6）。

$$BCEF_1 = BEF_1 \times D \quad (6)$$

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

$$\Delta C_L = L_{\text{wood-removals}} + L_{\text{fuelwood}} + L_{\text{disturbance}} \quad (7)$$

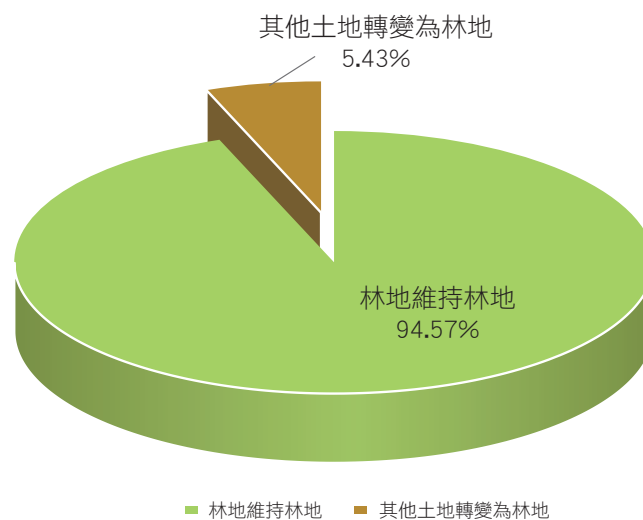


圖 6.1.2、2014 年森林除移量各項目占比

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。 註：如果森林下層植被占地上部生物量碳庫的比例較小，某種程度的不計入是可接受的，但在整個調查時間中應一致。
	地下部生物量 (Belowground Biomass)	活根的全部生物量。建議直徑低於 2 公釐的細根經常是不計入在內，因為只憑經驗將直徑低於 2 公釐的細根與土壤有機質或枯落物相區分是相當困難的。
死有機質 (Dead Organic matter)	死木 (Dead Wood)	除枯落物外的所有非活的木質生物量，無論是直立的、橫躺在地面上的或者在土壤中的。死木包括直徑大於或等於 10 公分的枯倒木、死根和殘幹。
	枯落物 (Litter)	所有非活的生物量，建議直徑應大於 2 公釐（因要與土壤有機物區分）及直徑小於死木所定義的最小直徑（例如 10 公分）、在礦質或有機質土壤上已經死亡的、各種程度的腐朽狀況的所有非活的生物量。這包括土壤類型所定義的枯落物層及在礦質或有機質土壤上的活細根（最小直徑應低於地下部生物量所規定）。
土壤 (Soils)	土壤有機質 (Soil Organic Matter)	包括達到所選擇深度的礦質土壤的有機碳，如在土壤中的活和死的細根和死有機質、如果不能憑經驗區分的最小直徑小於 2 公釐（建議值）的根及死有機質。土壤深度預設值為 30 公分。

資料來源：IPCC, 2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventory, 2006.



式中：

$\Delta C_L$  = 生物量損失之年碳貯存減少量 (公噸碳 / 年) ;  
 $L_{\text{wood-removals}}$  = 商用木材伐採所引起的年碳貯存減少量 (公噸碳 / 年) ;  
 $L_{\text{fuelwood}}$  = 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)

商用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)。

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

式中：

$L_{\text{wood-removals}}$  = 商用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) ;  
 $BCEF_R$  = 將木材採伐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  $BCEF_R$  不可得知，則可使用伐採生物量擴展係數 ( $BEF_R$ ) 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)。

$$L_{\text{fuelwood}} = \{FG_{\text{trees}} \times BCEF_R \times (1+R)\} \times CF \quad (10)$$

式中：

$L_{\text{fuelwood}}$  = 薪材收穫所引起的年碳貯存減少量 (公噸碳 / 年) ;  
 $FG_{\text{trees}}$  = 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) ;  
 $BCEF_R$  = 將木材採伐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  $BCEF_R$  不可得知，則可使用採伐生物量擴展係數 ( $BEF_R$ ) 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：

$L_{\text{disturbance}}$  = 干擾等其他因素所引起的年碳貯存減少量 (公噸 - 碳 / 年) ;  
 $A_{\text{disturbance}}$  = 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) ;  
 $BCEF_1$  = 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  $BCEF_1$  不可得知，則可使用生物量擴展係數 ( $BEF_1$ ) 與基本比重 ( $D$ ) 值相乘得出 (式 6)。

## B. $\Delta C_{\text{DOM}}$ 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. $\Delta C_{\text{Soils}}$ 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

基本比重 ( $D$ )：針葉樹林型採用王兆桓 (2008)<sup>2</sup> 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)<sup>3</sup> 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 ( $BEF_1$ 、 $BEF_R$ )：針葉樹數值取自王兆桓 (2008)<sup>2</sup> 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，共有王兆桓與劉知好 (2006)<sup>4</sup>、王兆桓 (2008)<sup>2</sup>、李宣德與馮豐隆 (2010)<sup>5</sup>、林國銓等 (1994)<sup>6</sup> 與林國銓與何淑玲 (2005)<sup>7</sup> 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。

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、劉知好，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，由生物量推估台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。

生物量轉換與擴展係數 (BCEF<sub>I</sub>、BCEF<sub>R</sub>)：於針葉樹部分同樣採用王兆桓 (2008)<sup>2</sup>，取其平均值 0.51。闊葉樹則取王兆桓 (2008)<sup>2</sup>、林國銓等 (2007)<sup>8</sup>、林國銓等 (2008)<sup>9</sup>、林國銓等 (2009)<sup>10</sup>、林國銓與何淑玲 (2005)<sup>7</sup>、許原瑞等 (2006)<sup>11</sup> 與許原瑞 (2008)<sup>12</sup> 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)<sup>13</sup>、林國銓等 (2006)<sup>14</sup>、林國銓等 (2007)<sup>8</sup>、林國銓等 (2008)<sup>9</sup>、林國銓等 (2009)<sup>10</sup>、林國銓等 (2010)<sup>15</sup>、林國銓與何淑玲 (2005)<sup>7</sup>、柯淑惠 (2005)<sup>16</sup>、陳財輝等 (1998)<sup>17</sup> 及陳財輝與呂錦明 (1988)<sup>18</sup> 共十篇文獻，7 種樹種，取其之中位數 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)<sup>3</sup> 對臺灣 24 種主要用材進行的研究，分別使用針葉樹種與闊葉樹種實驗結果的平均值，針葉樹與闊葉樹碳含量比例分別為 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)<sup>19</sup>、王義仲 (2006)<sup>20</sup> 及林裕仁等 (2011)<sup>21</sup> 等三篇研究，共六種竹種，取其中位數 0.62。生物量擴展係數與根莖比皆以呂錦明與陳財輝 (1992)<sup>22</sup> 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)<sup>21</sup> 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，設為 0.4732。生長則依王義仲 (2006)<sup>20</sup> 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，可知平均每公頃竹稈年生長量為 13.84 公噸。

年生長量數據則推算自全國森林資源調查之成果，以第三次森林資源調查與第四次森林資源調查之單位面積材積相比較，即可獲得各林型之平均年生長量，結果如表 6.2.2。

### (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，第四次調查與第三次調查比較，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，並考量到崩塌地因素，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塌形成漂流木，無法持續生長，依據林務局委託成功大學執行

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，檳木人工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，台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，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：17-29，2008。

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，台灣檳木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，台中，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，台灣產竹種工藝利用價值之評估 (1)，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—桶頭—桂竹林分之例，林業試驗所研究報告季刊 7 (1)：1-13，1992。

「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。將各年度崩場地圖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，以第四次臺灣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，各年度崩塌地面積如表 6.2.3 所示：

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，如 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表 6.2.4。

#### B. 每年伐採量 (H)、每年收穫薪材材積 (FG<sub>trees</sub>)

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 2014 年「林地維持林地」移除量變化估算結果，每年大致呈現穩定的狀態，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，促使當年度生物量年碳損失量 ( $\Delta C_L$ ) 較高，致該三年之碳移除量較低，其餘各年均維持穩定之狀態。

#### 3 不確定性與時間序列的一致性

##### (1) 不確定性

推算臺灣「林地維持林地」移除量之不確定性採用「誤差傳遞法」，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。

林地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，第四次森林資源調查以航照圖判釋，繪製土地利用型圖，無

表 6.2.2 相關各轉換係數及年生長量

林型 \ 係數	D	BEF	BCEF	R	CF	年生長量 (立方公尺 / 公頃)
天然針葉林	0.41	1.27	0.51	0.22	0.4821	3.15
天然針闊葉混淆林	0.49	1.34	0.72	0.23	0.4756	9.04
天然闊葉林	0.56	1.40	0.92	0.24	0.4691	3.30
人工針葉林	0.41	1.27	0.51	0.22	0.4821	7.36
人工針闊葉混淆林	0.49	1.34	0.72	0.23	0.4756	10.14
人工闊葉林	0.56	1.40	0.92	0.24	0.4691	4.26
木竹混淆林	0.49	1.34	0.72	0.23	0.4756	3.60
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 2014 年森林崩塌面積

林型 \ 係數	2010	2011	2012	2013	2014	累計崩塌面積	累計崩塌比例 百分比
	公頃						
天然針葉林	1,184	447	545	192	341	2,710	11.97
天然針闊葉混淆林	835	207	263	148	241	1,694	7.48
天然闊葉林	7,775	1,755	2,041	1,496	1,578	14,645	64.69
人工針葉林	253	74	83	60	50	519	2.29
人工針闊葉混淆林	232	49	48	47	45	420	1.86
人工闊葉林	913	150	157	75	97	1,392	6.15
木竹混淆林	561	87	37	41	35	761	3.36
竹林	357	53	24	45	21	499	2.20
年崩塌面積	12,109	2,821	3,197	2,104	2,408		

表 6.2.4 1990 至 2014 年林地維持林地面積

(單位：公頃)

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

表 6.2.5 臺灣地區森林主產物伐採量

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

資料來源：林務局之林業統計



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，因此此部分的不確定性暫時予以忽略。在此背景之下，臺灣林地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；因估算林地移除量時，各個轉換係數為相乘的關係，故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，國家林業部門溫室氣體清冊是將各林型排放 / 移除的移除量相加，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。

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

SD 標準差  
 $\chi_i$  第 i 筆 CF 數值  
 $\bar{\chi}$  文獻收集之 CF 平均值  
 n CF 數據筆數

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

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

$U_1, U_2, U_n$  不同變量的不確定性  
 $E_1, E_2, E_n$  不同變量

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

表 6.2.6 受干擾影響的森林面積與損失材積

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

資料來源：行政院農業委員會林務局之林業統計

\* 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 公釐的雨量，產生約 125 萬公噸漂流木，致林木損失材積量大。

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，無法估算不確定性，暫時忽略不計，因而促使不確定性低。

計算林地維持林地移除量變化時，是將各林型之移除量相加，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，再合併生物量年碳

儲存增加量、伐採損失移除量、薪材收穫損失移除量與干擾損失移除量之不確定性。計算結果如下表所示，各年度林地維持林地移除量之不確定性界於 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 IPCC 2006 指南，兩次調查間的年度以內插法推得各林型。又因第三次與第四次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

表 6.2.7 臺灣 1990 至 2014 年林地維持林地之移除量變化

(單位：千公噸二氧化碳當量)

年	生物量生長之年 碳貯存增加量 ( $\Delta C_G$ )	生物量年碳儲存損失量 $\Delta C_L$			移除量變化 ( $\Delta C$ )	移除量變化 ( $\Delta CO_2$ )
		商用木材伐採所 引起的年碳貯存 減少量 ( $L_{wood-removals}$ )	薪材收穫所引起的年 碳貯存減少量 ( $L_{fuelwood}$ )	干擾等其他因素所引 起的年碳貯存減少量 ( $L_{disturbance}$ )		
1990	-6,519	142.93	21.25	1.43	-6,353	-23,295
1991	-6,519	96.25	12.47	573.90	-5,836	-21,399
1992	-6,467	77.84	11.80	1.21	-6,376	-23,380
1993	-6,416	49.73	4.62	4.51	-6,357	-23,308
1994	-6,364	42.73	3.28	5.72	-6,312	-23,145
1995	-6,313	43.81	9.08	2.19	-6,257	-22,944
1996	-6,261	45.70	5.19	101.65	-6,108	-22,398
1997	-6,209	29.41	6.08	37.11	-6,137	-22,502
1998	-6,158	31.80	6.98	50.14	-6,069	-22,253
1999	-6,106	36.12	5.35	67.79	-5,997	-21,989
2000	-6,055	33.60	2.75	69.69	-5,949	-21,812
2001	-6,003	24.03	4.03	275.16	-5,700	-20,900
2002	-5,952	39.46	3.95	2.02	-5,906	-21,656
2003	-5,900	51.51	9.78	0.63	-5,838	-21,406
2004	-5,848	43.39	6.47	16.52	-5,782	-21,201
2005	-5,797	42.33	4.00	54.19	-5,696	-20,887
2006	-5,745	60.38	5.85	2.17	-5,677	-20,815
2007	-5,694	58.34	6.23	19.32	-5,610	-20,570
2008	-5,642	48.16	3.93	2.12	-5,588	-20,489
2009	-5,591	57.60	1.97	691.37	-4,840	-17,746
2010	-5,561	57.10	0.17	2.21	-5,502	-20,174
2011	-5,566	37.73	0.41	0.13	-5,528	-20,269
2012	-5,573	38.04	1.50	0.05	-5,534	-20,290
2013	-5,584	32.54	4.18	0.18	-5,547	-20,338
2014	-5,593	51.23	2.27	0.21	-5,537	-20,311

註： $\Delta C = \Delta C_G - (L_{WOOD-REMOVALS} + L_{fuelwood} + L_{disturbance})$

表 6.2.8 碳轉換係數不確定性分析結果

林型 \ 係數	BCEF/BEF	R	CF	年生長量	合併
天然針葉林	2.18	32.30	2.89	12.37	34.78
天然針闊葉混淆林	7.62	16.88	1.80	15.83	24.43
天然闊葉林	11.79	13.06	2.13	5.00	18.41
人工針葉林	2.18	32.30	2.89	13.13	35.05
人工針闊葉混淆林	7.62	16.88	1.80	20.08	27.38
人工闊葉林	11.79	13.06	2.13	24.93	30.59
木竹混淆林	7.62	16.88	1.80	24.38	30.67
竹林	-	-	2.15	-	2.15

估變動之情形，故第四次森林資源調查（2009 年以後）使用替代數據一崩場地圖層，來估算林地面積，待未來得到下一次的森林資源調查數據（或其他全國林地面積數據），再以内插法修正數據。

#### 4 林業移除量的 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排放清冊的透明度、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 2014 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 104 年 5

月 6 日、20 日林業、農業部門專家研商會議審議通過，業依委員所提有關在林木生長移除量的計算上應扣除天然災害導致崩塌、伐採收穫面積等意見修正報告數據。

#### 5. 林業移除量的重新計算

林業部門溫室氣體清冊中，林地維持林地使用之活動數據主要採自全國森林資源調查數據，過去提報之林業清冊報告因僅有第三次全國森林資源調查成果，故主要採用該數據，再搭配各年度崩場地圖層與伐採面積，扣除後得到歷年林地面積。而第四次森林資源調查的成果已於 2015 年整理完成，獲得最新全島森林林型分布面積及其蓄積資訊，本清冊報告業全數引用最新之分析結果進行估算，提高林業移除量數據之精確性。

過去提報林業清冊報告，年生長量是采用文獻數據，取自林務局於 1982 年出版的「臺灣林木資源之生長及枯死」，因現有兩次森林資源調查的單位面積材積數據，故藉此估算年平均生長量，以更加符合兩次調查間林木生長之狀況。

表 6.2.9 1990 至 2014 年林地維持林地不確定性

(單位：%)

年	生物量生長之年碳貯存增加量 ( $\Delta C_G$ )	生物量年碳儲存損失量 $\Delta C_L$			合計
		商用木材伐採所引起的年碳貯存減少量 ( $L_{wood-removals}$ )	薪材收穫所引起的年碳貯存減少量 ( $L_{fuelwood}$ )	干擾等其他因素所引起的年碳貯存減少量 ( $L_{disturbance}$ )	
1990	7.80	7.53	17.72	18.61	7.61
1991	7.80	7.63	17.72	18.54	7.21
1992	7.80	9.63	17.72	14.49	7.70
1993	7.82	10.78	17.72	17.28	7.75
1994	7.84	9.30	17.72	7.30	7.77
1995	7.86	8.74	17.72	6.83	7.79
1996	7.89	8.98	17.72	3.82	7.71
1997	7.93	11.82	17.72	3.56	7.84
1998	7.98	9.31	17.72	3.63	7.86
1999	8.03	7.12	17.72	8.86	7.89
2000	8.09	7.36	17.72	11.66	7.95
2001	8.15	12.00	17.72	18.38	7.80
2002	8.23	11.32	17.72	14.25	8.17
2003	8.31	11.78	17.72	7.90	8.22
2004	8.40	11.48	17.72	12.72	8.30
2005	8.50	10.46	17.72	9.48	8.35
2006	8.60	7.47	17.72	7.41	8.50
2007	8.72	8.21	17.72	15.32	8.59
2008	8.84	8.29	17.72	15.47	8.76
2009	8.97	6.30	17.72	17.72	8.14
2010	8.96	4.92	17.72	18.43	8.87
2011	8.95	8.35	17.72	17.27	8.89
2012	8.93	10.45	17.72	18.61	8.87
2013	8.91	9.17	17.72	17.59	8.86
2014	8.90	10.61	17.72	18.61	8.81

另外，為提升本土碳轉換係數數值準確度，蒐集國內相關文獻研究，並於 2015 年 3 月 19 日與 7 月 1 日邀請專家學者召開碳轉換係數之專家諮詢會議與工作委員會，重新商討碳轉換係數之採用方法與數據，確認各林型之碳轉換係數引用原則，研究區域為全國性文獻為優先，若無全國性文獻，其次選用地區性研究報告，最後才選擇單一地點之文獻。本清冊報告業採用前揭係數作為移除量估算之依據，提高估算之準確性。

## 6. 特定排放源的改善計畫

- (1) 活動數據有關各林型或土地利用型圖，為土地使用變遷的依據，亦為森林碳吸存量的估算基礎，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，配合林務局森林資源調查成果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，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) 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排放清冊的透明度、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 (4.A.2)

### 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) (包含死木與枯落物)、土壤 (Soils) (包含土壤有機質) 等 3 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. $\Delta C_B$ 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 至式 13 計算。

#### B. $\Delta C_{DOM}$ 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. $\Delta C_{Soils}$ 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。

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)
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	適用 (生態系統及調查基準的模式)
非二氧化碳溫室氣體 Non-二氧化碳	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

## (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<sub>I</sub>、BEF<sub>R</sub>)、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)<sup>23</sup> 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，針闊葉混淆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)<sup>21</sup> 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森林資源調查到第四次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 2014 年「其他土地轉變為林地」年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 2014 年二氧化碳移除量已達 116.6 萬公噸。

## 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。

表 6.2.11 1990 至 2014 年土地轉變為林地面積

(單位：公頃)

年	針葉林		針闊葉混淆林		闊葉林		竹林	合計
	林業統計面積	總面積	林業統計面積	總面積	林業統計面積	總面積	林業統計面積	
1990	959	959	67	67	2,696	2,696	161	3,883
1991	1,350	1,350	52	52	3,002	3,002	252	4,656
1992	1,780	1,817	48	85	2,975	3,012	279	5,191
1993	1,481	1,518	0	37	2,999	3,036	303	4,893
1994	1,005	1,042	0	37	3,487	3,524	129	4,732
1995	614	651	0	37	2,832	2,869	112	3,669
1996	1,222	1,259	0	37	3,901	3,938	108	5,341
1997	1,709	1,746	0	37	3,438	3,474	100	5,357
1998	1,441	1,478	0	37	5,978	6,014	70	7,599
1999	1,516	1,553	2	39	6,653	6,690	129	8,411
2000	1,032	1,069	0	37	4,125	4,162	70	5,338
2001	796	833	0	37	4,068	4,105	70	5,045
2002	853	890	4	41	6,556	6,593	71	7,594
2003	492	529	31	68	6,717	6,754	45	7,396
2004	638	675	4	40	4,092	4,129	134	4,978
2005	62	99	0	37	1,477	1,514	57	1,707
2006	59	96	0	37	345	382	5	520
2007	313	350	0	37	818	855	5	1,246
2008	87	124	0	37	426	462	5	629
2009	671	708	0	37	2,595	2,632	1	3,378
2010	250	250	0	0	2,580	2,580	0	2,830
2011	291	291	0	0	6,807	6,807	1	7,099
2012	233	233	0	0	4,732	4,732	0	4,965
2013	424	424	0	0	2,210	2,210	0	2,634
2014	272	272	0	0	1,935	1,935	0	2,208

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

23 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，台灣林業科學 17 (3)：311-321，2002。

有關 1990 至 2014 年森林資源整體年移除量之不確定性如表 6.2.14 所示，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 IPCC 2006 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. 特定排放源的 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

表 6.2.12 1990 至 2014 年土地轉變為森林之年移除量變化

(單位：千公噸)

年	生物量年碳儲存增加量 $\Delta C_G$				碳移除量變化 $\Delta C$	二氧化碳移除量變化 $\Delta CO_2$
	針葉林	針闊葉混淆林	闊葉林	竹林		
1990	-3.58	-0.36	-18.66	-2.16	-25	-91
1991	-3.58	-0.36	-18.66	-2.16	-25	-91
1992	-5.77	-0.36	-25.43	-5.53	-37	-136
1993	-8.76	-0.62	-31.71	-9.26	-50	-185
1994	-9.43	-0.51	-40.34	-13.32	-64	-233
1995	-9.46	-0.61	-53.53	-15.05	-79	-288
1996	-9.56	-0.74	-62.35	-14.39	-87	-319
1997	-13.09	-0.85	-81.99	-12.46	-108	-397
1998	-17.71	-1.02	-92.90	-10.07	-122	-446
1999	-20.43	-1.17	-124.33	-6.95	-153	-561
2000	-24.86	-1.35	-148.09	-6.94	-181	-665
2001	-26.87	-1.47	-151.62	-6.37	-186	-683
2002	-28.87	-1.60	-170.57	-5.87	-207	-759
2003	-31.20	-1.74	-206.72	-5.48	-245	-899
2004	-32.59	-2.00	-231.72	-5.15	-271	-995
2005	-36.08	-2.01	-238.00	-5.22	-281	-1,031
2006	-36.33	-2.15	-241.72	-5.05	-285	-1,046
2007	-38.35	-2.27	-249.74	-4.18	-295	-1,080
2008	-40.48	-2.40	-265.28	-3.30	-311	-1,142
2009	-40.64	-2.51	-271.98	-2.77	-318	-1,166
2010	-43.67	-2.61	-290.83	-0.99	-338	-1,240
2011	-40.66	-2.35	-284.51	-0.23	-328	-1,202
2012	-38.51	-2.26	-308.92	-0.16	-350	-1,283
2013	-34.34	-2.06	-298.00	-0.10	-334	-1,226
2014	-31.80	-1.99	-284.12	-0.03	-318	-1,166

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 2014 年土地轉變為林地年移除量變化不確定性

(單位：%)

年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
生物量年碳儲存增加量 $\Delta C_G$	14.16	14.16	13.17	12.52	12.24	12.69	13.19	13.97	14.33	15.05	15.15	15.16	15.30
年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
生物量年碳儲存增加量 $\Delta C_G$	15.51	15.62	15.56	15.58	15.61	15.68	15.72	15.81	15.91	16.05	16.14	16.17	

表 6.1.4 1990 至 2014 年森林資源整體年除移量變化不確定性

(單位：%)

年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
林地維持林地	7.61	7.21	7.70	7.75	7.77	7.79	7.71	7.84	7.86	7.89	7.95	7.80	8.17
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	15.30
合計	7.58	7.18	7.65	7.69	7.70	7.70	7.60	7.71	7.71	7.70	7.73	7.57	7.91
年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
林地維持林地	8.22	8.30	8.35	8.50	8.59	8.76	8.14	8.87	8.89	8.87	8.86	8.81	
其他土地轉變為林地	15.51	15.62	15.56	15.58	15.61	15.68	15.72	15.81	15.91	16.05	16.14	16.17	
合計	7.92	7.96	7.99	8.13	8.20	8.33	7.70	8.41	8.44	8.40	8.40	8.38	

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排放清冊的透明度、一致性、可比較性、完整性和準確性。

## 5. 特定排放源的重新計算

過去林業部門溫室氣體清冊中，因僅有一次全國森林資源調查數據，故土地轉變為林地之活動數據是採用歷年林業統計的造林面積。而第四次森林資源調查的成果已於 2015 年整理完成，與第三次比較，兩次資源調查間增加的面積視為土地轉變為林地之活動數據（並搭配歷年林業統計的造林面積分類林型），以此重新計算活動數據。第四次調查與第三次調查比較，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。

## 6. 特定排放源的改善計畫

- (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排放清冊的透明度、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、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：200-215，2006。
3. 王兆桓，森林蓄積量與生物量轉換模式之建立（3/3），2008。
4. 王義仲、陳周宏，台灣產竹種工藝利用價值之評估（I），林產工業 14（1）：82-94，1995。
5. 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。
6. 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之分例。林業試驗所研究報告季刊 7（1）：1-13，1992。

7. 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。台灣林業科學 17（3）：311-321，2002。
8. 行政院農業委員會林務局，第三次台灣森林資源及土地利用調查，1995。
9. 林國銓、何淑玲，由生物量推估台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。
10. 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。
11. 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。
12. 林國銓、杜清澤、黃菊美，台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。
13. 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。
14. 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。
15. 林國銓、黃菊美、杜清澤，檉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。
16. 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。
17. 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。
18. 柯淑惠，台灣檉木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。台中，2006。
19. 許原瑞、洪昆源、王巧萍、吳孟鈴、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：217-235，2006。
20. 許原瑞，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：17-29，2008。
21. 陳財輝、呂錦明，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）：333-343，1988。
22. 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。

