

# 國家溫室氣體排放林業部門表現評析

文/圖 邱祈榮 ■ 國立台灣大學森林環境暨資源學系副教授(通訊作者)  
林俊成 ■ 農委會林業試驗所林業經濟組副研究員兼組長  
何幸耘 ■ 國立台灣大學森林環境暨資源學系研究生  
王怡穩 ■ 國立台灣大學森林環境暨資源學系研究生

## 一、前言

台灣1990年二氧化碳排放量1.3億噸，而後逐年增加，至2009年已達2.9億噸二氧化碳當量(不含森林碳匯吸收)，高居全球第20位，人均排放量達12.66噸二氧化碳當量，高居世界第13名。台灣雖然不是京都議定書的締約國，不用承擔京都議定書對溫室氣體減量的要求，卻擺脫不了全球暖化(Global Warming)與氣候變遷所帶來的衝擊。同時，溫室氣體排放已成為世界貿易體系一項重要的因素，例如對於產品碳足跡的要求與貿易行為的碳中和(例如航空業者需要中和其碳排放)等，讓台灣無法置身事外。

國家通訊(National Communication)即為聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)締約國呈現因應氣候變遷政策成果之重要國家報告，亦為締約國應向公約秘書處提交資訊之主要義務。依據聯合國氣候變化綱要公約第4條：使用由締約國會議議定的可比較方法編制、定期更新和公

布，並按照第12條及京都議定書第5條規範向締約國會議提供關於《蒙特婁議定書》中未予管制的溫室氣體之各種來源人為排放的國家清冊。所有公約締約國須提交國家通訊，以進行資訊之交流，作為因應氣候變遷整體政策檢討分析之工具。根據公約「共同但有區別責任」的精神，各國所需提交國家通訊之內容與時間有所差異，附件一國家(已開發國家)編撰原則為每3-5年遞交一次，而國家溫室氣體清冊報告則須每年呈遞。附件一國家已經呈遞五版國家通訊，非附件一國家亦將呈遞第二版國家通訊。

無論是公約之附件一或是非附件一的締約國成員，國家通訊內容均包含溫室氣體排放清冊、執行公約所採取的各種步驟、達成公約目標之所有相關資料等三個部分。附件一國家則增列描述執行公約所需的各項政策、措施，以及評估其政策措施對溫室氣體排放與移除所造

成之影響，並就提供非附件一國家之財務及技術等相關方面提出報告。我國雖非聯合國會員國亦非「聯合國氣候變化綱要公約」締約國，但為展現對於國際社會的責任，亦曾先後編撰兩次國家通訊報告(2002、2010年)，並做為我國對國內外說明國家溫室氣體排放量的重要文件，並為我國對外宣示國家減量目標的依據。

本文目的在於分析林業部門於國家溫室氣

體排放的貢獻，並探討其數據計算之正確，檢視其計算過程之疑問，進而提出未來改進建議。

## 二、國家氣體排放趨勢

我國溫室氣體排放以二氧化碳為最大宗，能源部門和工業製程部門係台灣二氧化碳的主要排放源，如表1列有台灣各部門1990至2008年溫室氣體排放的清單：

表1 台灣1990-2008年各部門溫室氣體排放清單

單位：千公噸二氧化碳當量

| 年份   | 能源部門    | 工業製程部門 | 農業部門   | 土地利用變化及林業部門 | 廢棄物部門  | 總GHG排放量 | 淨GHG排放量 |
|------|---------|--------|--------|-------------|--------|---------|---------|
| 1990 | 110,861 | 11,735 | 14,275 | -18,704     | 10,238 | 147,109 | 128,406 |
| 1991 | 119,952 | 12,108 | 15,054 | -16,947     | 9,494  | 156,609 | 139,661 |
| 1992 | 128,230 | 13,218 | 14,862 | -18,979     | 10,448 | 166,759 | 147,780 |
| 1993 | 137,637 | 16,877 | 15,126 | -19,107     | 11,779 | 181,420 | 162,313 |
| 1994 | 145,679 | 16,468 | 15,362 | -19,173     | 12,391 | 189,900 | 170,727 |
| 1995 | 153,188 | 16,022 | 15,223 | -19,206     | 14,012 | 198,445 | 179,239 |
| 1996 | 161,636 | 17,093 | 15,539 | -19,133     | 13,949 | 208,218 | 189,085 |
| 1997 | 174,037 | 18,277 | 13,532 | -19,283     | 14,028 | 219,873 | 200,590 |
| 1998 | 185,417 | 17,553 | 12,986 | -19,298     | 13,833 | 229,788 | 210,490 |
| 1999 | 195,398 | 15,308 | 13,437 | -19,301     | 13,297 | 237,440 | 218,139 |
| 2000 | 215,504 | 17,813 | 13,621 | -19,360     | 9,712  | 256,651 | 237,291 |
| 2001 | 219,869 | 19,815 | 13,533 | -18,601     | 7,896  | 261,113 | 242,512 |
| 2002 | 227,852 | 20,492 | 13,157 | -19,554     | 6,065  | 267,565 | 248,011 |
| 2003 | 237,229 | 20,269 | 12,040 | -19,624     | 5,127  | 274,665 | 255,041 |
| 2004 | 245,319 | 20,825 | 12,512 | -19,672     | 4,908  | 283,565 | 263,893 |
| 2005 | 251,716 | 19,382 | 12,382 | -19,628     | 3,823  | 287,303 | 267,676 |
| 2006 | 259,283 | 19,444 | 12,554 | -19,738     | 3,331  | 294,611 | 274,873 |
| 2007 | 262,804 | 18,713 | 12,256 | -19,730     | 3,029  | 296,801 | 277,071 |
| 2008 | 252,058 | 17,334 | 11,474 | -19,807     | 3,649  | 284,515 | 264,707 |

資料來源：第二版國家通訊中文摘要

就部門別而言，1990年能源部門溫室氣體排放量約佔台灣溫室氣體總排放量(不計土地利用變化及林業吸收量)的75.36%，工業製程部門佔7.98%，農業部門佔9.70%，廢棄物部門佔6.96%；至2008年，能源部門溫室氣體排放量約佔台灣溫室氣體總排放量(不計土地利用及林業吸收量)的88.59%，工業製程部門佔6.09%，農業部門佔4.03%，廢棄物部門佔1.28%；能源部門歷年皆為台灣溫室氣體總排放量最大之部門。

台灣1990-2008年各部門溫室氣體排放趨勢如圖1所示：

1990年-2008年，台灣溫室氣體總排放量增加93.40%，年平均成長率為3.73%，其中能源部門溫室氣體排放量增加127.36%，年平均成長率為4.67%；工業製程部門增加47.71%，

年平均成長率2.19%；農業部門減少19.62%，年平均成長率-1.21%；廢棄物部門減少64.36%，年平均成長率-5.57%；而土地利用及林業部門溫室氣體吸收量增加5.90%，年平均成長率0.32%。2008年溫室氣體總排放量較2007年減少4.14%，其中以能源部門減少4.09%、工業減少7.37%、農業部門減少6.38%及廢棄物部門增加20.48%；另土地利用變化及林業部門的碳吸收量增加0.39%。於土地利用變化及林業部門計算過程中，事實上並未考量土地利用變化之碳量變化，因此土地利用變化及林業部門碳匯數據，可視為僅林業部門的碳匯數量。

針對林業部門碳匯效益於全國排放量的比例，其歷年趨勢顯示於圖2：

圖2顯示，林業部門碳匯數量於1990年約為全國排放量的1/8，但隨全國排放量的增加，

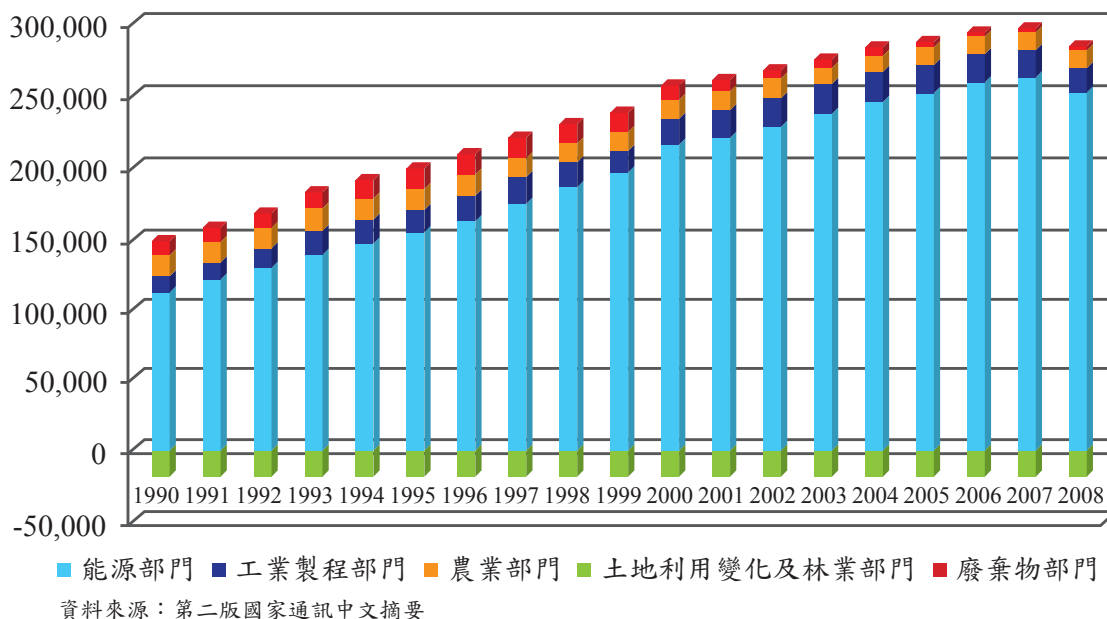


圖1 台灣1990-2008年各部門溫室氣體排放趨勢

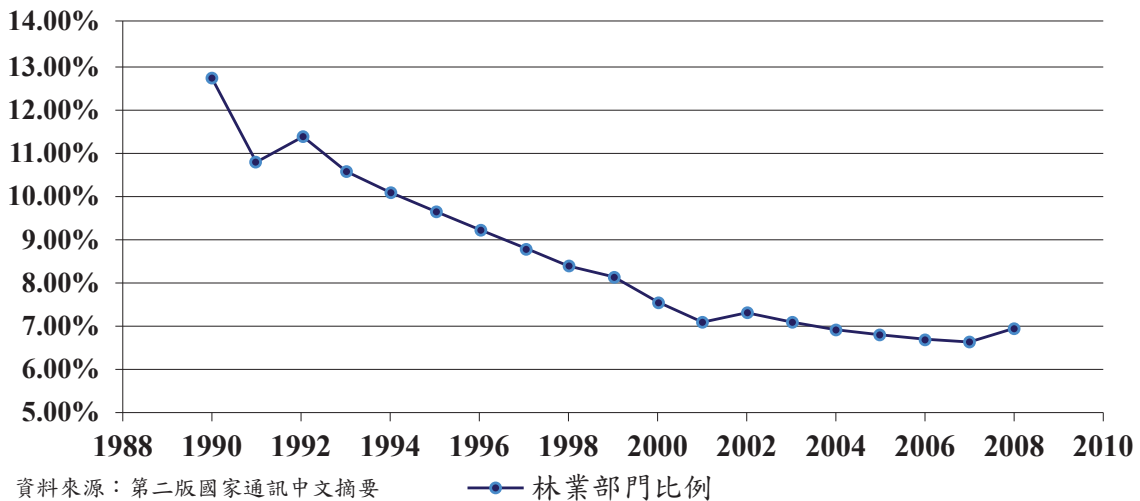


圖2 歷年林業部門碳匯於全國排放量比例趨勢圖

所佔比例一路下滑，至2008年，略低7%。顯示林業部門碳匯數量，若不積極增加，將在國家整體排放的比例上越佔越低，亦即越不被重視。然而，若從另外角度來說，即使佔國家整體排放量的7%，仍高於工業製程部門或農業部門的排放量，因此若能更積極地透過林業部門的碳匯吸收功能，將能更凸顯林業部門在國家整體排放量低減的重要性。

### 三、林業部門碳匯數據檢討

從上述的討論中，雖然清楚看出國內林業部門的碳匯量，但因計算過程中，並非像日本其他國家由林業部門提供正確且詳盡的數據，並負責初步計算，再提交到負責計算的國家窗口，因此正確性有待進一步檢核。因此，我們特別收集世界其他國家林業部門碳匯表現，來加以比較：

表2 2010年各國林業部門碳匯表現

| 國家   | 森林面積    | 森林覆蓋率 | 林業部門                    | 單位面積排放 <sup>1</sup>    |
|------|---------|-------|-------------------------|------------------------|
|      | (千公頃)   | (%)   | (千公噸-CO <sub>2</sub> e) | (公噸-CO <sub>2</sub> e) |
| 澳大利亞 | 149,300 | 19    | -52,877                 | -0.35                  |
| 奧地利  | 3,887   | 47    | -5,411                  | -1.39                  |
| 加拿大  | 310,134 | 34    | 68,895                  | 0.22                   |
| 芬蘭   | 22,157  | 73    | -32,800                 | -1.48                  |
| 法國   | 15,954  | 29    | -53,339                 | -3.34                  |
| 德國   | 11,076  | 32    | -25,061                 | -2.26                  |
| 日本   | 24,979  | 69    | -76,677                 | -3.07                  |
| 紐西蘭  | 8,269   | 31    | -23,539                 | -2.85                  |
| 挪威   | 10,065  | 33    | -35,876                 | -3.56                  |
| 瑞典   | 28,203  | 69    | -35,036                 | -1.24                  |
| 瑞士   | 1,240   | 31    | -635                    | -0.51                  |
| 英國   | 2,881   | 12    | -10,610                 | -3.68                  |
| 美國   | 278,000 | 35    | -921,800                | -3.32                  |
| 台灣   | 2,102   | 59    | -19,917                 | -9.48                  |

註1：(-)表示為碳匯吸收。

表2顯示附件一主要國家及美國的森林覆蓋情形和林業部門的碳排放與吸存表現，將林業部門的碳量除以該國森林面積可得到單位森林排放量，即每公頃森林的碳量。由表可知各國的單位面積森林吸存量約為-3.68至-0.35千公噸-CO<sub>2</sub>當量，而加拿大由於森林經營造成碳排放量為0.22千公噸-CO<sub>2</sub>當量。台灣林業部門的單位森林碳吸存量為-9.48千公噸-CO<sub>2</sub>當量，與其他國家相比約高出三倍，明顯偏高。經進一步加以檢視其計算過程，初步研判有下列幾種原因造成高估的可能：

### (一)經營林地之界定

經檢查國家溫室氣體排放清冊的計算過程，將全部林地面積均放入計算。但於IPCC清冊計算指南建議，應將所有林地區分為經營森林和未經營森林兩種，唯有經營森林才列入林業活動溫室氣體清冊碳量估算項目。其中經營森林的定義為：有人為直接影響的森林；未經營森林則定義為：無人為直接影響的森林。依據此原則，前述於計算我國林業部門碳匯過程中，並未區分經營或未經營林地，因此造成計算結果可能偏大。

### (二)林地面積變動

台灣地區因天然災害頻繁，林地崩塌時有所聞，因為林地崩塌主要為林地覆蓋的改變，並非使用狀態的改變，因此仍應隸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，因此無法持續有生長的情形，因此在林木生長碳量的計算上，應該將此種林地崩塌的面積予以扣除，方能得到更正確的林地計算數據。從1993年迄今，大型的天然災害頻繁，計有1996年賀伯颱風、1999年921大地

震、2003年桃芝颱風、與2009年莫拉克颱風，造成國內崩塌林地眾多，粗估總數面積應在國內林地面積的1%(總面積2萬公頃以上)。國內長期缺乏每年度林地覆蓋變動面積，因此在苦無數據的情況之下，也只能都把此種崩塌林地當成正常林地而計算其生長量，亦應是造成林業部門碳匯高估的原因之一。

### (三)林木生長量

目前有關林木年生長量、枯死量的資料，在其計算過程中主要依林務局(1982)「台灣森林資源之連續調查報告—台灣林木資源之生長及枯死」之調查結果，但此資料為第二次台灣森林資源及土地利用調查的結果，與森林現況有所差異，因此在統計有較大的不確定。這亦可能是造成林業部門碳匯高估的另一個原因。

### (四)林業調查分類資料

國家溫室氣體排放清冊的計算過程，以第三次台灣森林資源及土地利用調查及林業統計的資料為主，在相關係數的選擇以本土性的數據為主，但在樹種的區分僅以林型來區分成：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、竹林(林木部分)及竹林(竹類部分)8大類。由於該分類方式過於簡略，亦有可能是造成高估的原因之一。

以上所列舉的可能原因僅是針對較可能高估的部分加以檢討，但實際上還有更多的項目，都是在未來發展林業部門碳匯計算過程時應加以考量：

#### 1.林業活動數據

在目前林業統計中，有關干擾(森林火災、濫墾、盜伐、病蟲害)影響的森林面積與

損失材積，並未提供細分林型或樹種資料。此種粗略的類別資訊，往往無法提供更細緻的林型資訊，有待林業部門提供更完整的數據，以增加統計結果的精確度。

## 2. 竹類碳匯效益

竹子具有高效能的碳匯效益，台灣地區竹類資源種類及數量眾多，但全面性的調查在1971年之調查後即未有較新的調查結果，極度欠缺完整的竹林分布面積、蓄積與生長量等資訊，亦應在未來全面進行竹類資源及生長調查，以確切評估其碳匯效益。

## 3. 本土轉換係數的提供

在碳匯量估算的轉換過程中，轉換係數(如基本比重、生物量擴展係數、根莖比、碳含量等)的使用，將影響著估算資料的可信度。目前台灣森林碳匯量的估算，雖有部分本土的轉換係數可供參考，但仍缺漏甚多。未來需要建立更詳盡的、本地的、多樹種的參考轉換係數資料庫，以配合更嚴密的估算方法。

## 4. 品質保證和品質控制程序

由於林木生長及碳吸存量受樹種、海拔、坡度、土壤、林分密度等生育地狀況及輪伐期等所影響。且在林地上尚有許多風險及不確定因素如病蟲害、森林火災等災害；森林管理與林木的生長不如預期等，同時林地的管理集約度及撫育方式(如施肥、疏伐、修枝)等皆會影響林木的生長，進而影響未來的碳吸存量。

目前有關森林大面積的資料來源，主要有永久樣區調查、檢訂調查及森林資源調查，但現此三種調查由於調查的目的及基礎

並不相同，往往在資料的使用上，有無法對應的問題，造成資料品質不佳的疑慮，因此如何做有效的結合及調查結果如何整併值得考量。清冊執行者可根據IPCC提供的不確定性的認定與量化方法以及品質保證和品質控制程序來進行此項目，在統計結果完成時，應進一步估計不確定性和執行完整的QA/QC(品質保證/品質管制)程序，並應根據已有調查結果、不確定性和QA/QC程序，區分未來調查的優先順序。

## 四、結論

國家溫室氣體排放清冊是國家對外提供國家溫室氣體排放的唯一依據，意即代表整個國家的正式官方文件，也是世界各國對於該國在溫室氣體排放的重要評估依據。因此，每個國家莫不投入大量預算與人力，力求提供最正確及最完整的國家溫室氣體排放清冊。由於我國非聯合國會員，感受不到氣候變遷公約的直接壓力，因此在國家溫室氣體排放清冊提供方面，迄今僅計算過兩次，其數據亦未能廣為國內相關部門週知，因此無從檢核其正確與否。

本文檢視林業部門計算過程，再比對國際的林業部門表現數據，初步判斷有明確高估情形，並檢討其可能高估之原因。由於國家溫室氣體排放清冊是國家的對外正式文件，亦是展現各部門於國家溫室氣體排放的績效，亦應是國家檢視各部門節能減碳施政成果的重要依據。基於此，建議林業主管部門應重視國家溫室氣體排放清冊數據提供與計算方法，讓林業部門的數據能夠精準地反映林業部門施政成果，展現林業部門對於提升碳匯能力的重視。▲