

# 綠碳、原住民族知識與山林資源共管

時間：112年11月10日(五)9:00-11:00

地點：線上直播

主講人：張世杰（國立東華大學自然資源與環境學系教授）

主持人：陳毓昫（國立東華大學自然資源與環境學系教授）

與談人：裴家騏（台灣野生動物學會理事長）

記錄：此文以張世杰教授演講稿為內容，經官大偉（國立政治大學民族學系教授、國科會「原住民族社會永續科技發展平台計畫」主持人）、黃昱（國科會「原住民族社會永續科技發展平台計畫」助理）整理改寫。

## 一、前言

工業革命以來，大氣中碳的收支變化對全球氣候產生了深遠的影響，為了對日益高升的氣候變遷壓力做出回應，全球逐漸發展出透過碳作為計算溫室氣體的代表，並以碳平衡為核心的各種減少溫室氣體排放手段。在這些手段中，自然界對二氧化碳的吸收（也就是自然碳匯），扮演極為重要的角色，而陸域系統又對自然碳匯中有著重要的貢獻。因此，瞭解陸域系統的吸存能力，不僅對於我們理解地球生態系統的運作方式至關重要，也為我們提供了發展更多因應氣候變遷之策略的可能性。

## 二、全球氣候變遷與碳吸存

根據 IPCC（聯合國政府間氣候變化專門委員會）的研究，在工業革命之前，全球的大氣中碳源（也就是從各方逸出之二氧化碳量）與碳匯（也就是各方從大氣中吸存之二氧化碳量）是平衡的。其中陸域生態系的吸存量是每年 1.9 Pg C<sup>1</sup>，因為岩石風化而吸存的量為每年 0.3 Pg C；因為火山噴發而逸出至大氣的溫室氣體量相當於每年 0.1 Pg C，而溪流和海洋的逸出量各為 1.5 Pg C 和 0.6 Pg C。到了工業革命之後，大氣中的二氧化碳濃度急遽上升。現今，陸域生態系增加了

<sup>1</sup> Peta gram of Carbon。Peta 等於 10 的 15 次方，因此 1 Pg C 等於有 10 億噸的碳。

每年 3.4 Pg C 的吸存量，海洋增加了每年 3.4 Pg C 的吸存量；但是，人為排放出至大氣中的二氧化碳量每年卻有 11 Pg C。因此，每年大氣中有 5.1 Pg C 的新增量。

從以上的數字可以看出幾件事情。第一，現今大氣中的二氧化碳是收支不平衡的。第二，海洋和陸域生態系都對於二氧化碳的吸存有很大貢獻，它們可以將部分人為碳排放，吸收在陸域跟海洋的系統，如此可減少大氣中溫室氣體的量，也就可以減緩氣候變遷，所以全球都致力於瞭解。

所謂的「藍碳」、「綠碳」，其實並不是學術專有名詞。大約十多年前，由於意識到海洋之碳吸存能力，並對其加以重視，有人開始用「藍碳」來指涉海洋系統對二氧化碳的吸存，於是也有人開始相對的用「綠碳」來指涉陸域系統的碳吸存，而逐漸成為約定俗成的用法。

### 三、森林碳吸存的定義與計算方式

陸域生態系的碳吸存，主要來自於森林。大氣中的二氧化碳，藉由光合作用被吸收進植物體，然後植物體裡面存著有機碳，有機碳一部分因為枯枝落葉就到土壤裡面去，所以土壤裡面也會保存有機碳。隨著陸地上土壤裡的微生物以及植物本身的呼吸，就會把一部分的碳再氧化回去大氣層的二氧化碳。這就是森林中基本的二氧化碳收支模式。

關於森林之碳吸存量的計算，科學上主要有兩種做法：第一個普遍被採用的做法（也是臺灣採取的計算方式），是量測有機碳儲存量的變化量。基本上就是，在兩個不同的時間點，測量森林中有機碳的儲存量，接著把第二個時間的碳存量扣掉第一個時間的碳存量，除以兩個時間點相隔的年數，就可以得到每年的平均吸存量。另外一種方法，則是直接去量測進出量，也就是所謂通量的量測。理論上，這兩種方法可以得到相同的數字。

更進一步來看，在第一種做法中，測量森林中有機碳的儲存量，是以單一樹木的儲存量來進行推估，而從過去學界一兩百年來累積的研究發現，一顆樹到底存了多少碳，和它的胸高直徑（DBH）<sup>2</sup>，有非常高的相關性，也就是說，不同樹種，以其 DBH 乘上該樹種碳吸存能力的系數，就可以推估該顆樹的碳吸存量。如果在選定一個樣區，在某個時間，測量出樣區中每一棵樹的 DBH，就可以計算加總出該樣區的碳存量，再除以面積，就得到單位面積碳存量。若隔

---

<sup>2</sup> Diameter at Breast Height。測量方式，是在樹木胸高 1.3 公尺的地方，測量樹幹直徑。

幾年再重複做同樣的測量，把第二次測量計算得到的單位面積碳存量，扣掉第一次測量計算得到的單位面積碳存量，然後除以間隔的年數，就可以得到平均每年每公頃可以吸收多少的碳。

#### 四、臺灣的森林碳吸存計算與盲點

臺灣森林覆蓋率約 60%，因此綠碳量的評估，對於我國淨零碳排的政策目標就很重要。根據 2023 年《國家溫室氣體排放監測報告》，2021 年臺灣的總總溫室氣體排放量約為 297 百萬公噸二氧化碳當量<sup>3</sup>，森林的碳吸存量是 21.8 百萬公噸二氧化碳當量，兩者相減後，仍有 275.2 百萬公噸二氧化碳當量的淨排放值。同一報告預計，2050 年，森林的碳吸存量可以提升至 22.5 百萬公噸二氧化碳當量。依照國家發展委員會長期減量路徑規劃，在 2050 年，如果透過各方努力（例如：能源轉型、產業轉型、生活轉型等），將臺灣的總溫室氣體排放量，降低至 22.5 百萬公噸二氧化碳當量，則和森林碳吸存量相抵後，可以達成淨排放量為零的目標。

然而，必須警覺的是，目前對於臺灣森林碳吸存量的估算存在著一定的問題。這問題的產生，主要源於實質調查不足，且估算所依據的數據未能充分考慮到森林碳吸存能力的變化趨勢。

臺灣目前的森林碳吸存量估算，是根據全國森林資源調查得到的數據，但這些調查頻率非常低，最近兩次調查，也就是第三次全國森林資源調查（以 1991 年為基準）、第四次全國森林資源調查（以 2009 年為基準），兩者相隔 18 年。其調查方式，以圖一所示之第四次全國森林資源調查為例，其是由林務局（現為林業及自然保育署）的八個林管處（現為分署），各林管處配置四到五個調查人力，進行全臺灣 3,648 個樣區調查。這些樣區為系統性的分布，在國有林班地裡的樣區，是 3 公里平方的網格；事業區以外的林地，則是 1.5 平方公里的網格。在樣區內，對於每一棵 DBH 大於 6 公分的樹木，都進行樹種鑑定，然後量測 DBH、樹高、樹冠狀態、相對座標等數據。從不同樣區的資料，可以算出各種林型（如針葉樹林型、闊葉樹林型等）之單位面積材積（農委會林務局，2020）。接著，將用同樣的測量方式所得到的兩次測量結果（1991 和 2009 年）相減，並除以 18 年的間隔，就可以得到各種林型之每年的單位面積年平均生長量（參見圖一），再依不同林型之不同系數，將其轉換成各種林型之單位面

<sup>3</sup> 二氧化碳當量 (CO<sub>2</sub>e)，是將不同的溫室氣體換算為「等於多少二氧化碳造成溫室效應之能力」的單位。

積年平均吸存量（參見圖二）。最後，再以各種林型之單位面積年平均碳吸存量，乘上各種林型的實際面積，就可以推估臺灣總森林面積的年平均碳吸存量。

	1991	2009	18年間的平均值
	第 3 次單位蓄積 (m <sup>3</sup> /ha)	第 4 次單位蓄積 (m <sup>3</sup> /ha)	平均年生長量 (m <sup>3</sup> /ha/year)
天然林			
天然針葉林	417	499.7	4.1
混淆林	285	486.3	8.6
闊葉林	127	199.0	3.6
人工林			
人工針葉林	156	318.1	8.1
人工混淆林	61	287.8	10.4
人工闊葉林	80	147.7	4.3
竹林（竹林內林木蓄積）	4	76.0	3.6

林務局 (2015) 第四次森林資源調查報告

圖一：以 1991 年至 2009 年的間隔計算之各種林型的單位面積年平均生長量

### 最後：計算森林二氧化碳吸存量

$$4.55 \frac{kg CO_2}{ha \cdot yr} = 4.14 \frac{m^3}{ha \cdot yr} \times 0.51 \frac{kg}{m^3} \times (1 + 0.22) \frac{kg}{kg} \times 0.4821 \frac{kg C}{kg} \times \frac{44 kg CO_2}{12 kg C}$$

天然針葉林

樹幹體積  
公頃·年

地上部生物量  
樹幹體積

地下部生物量  
地上部生物量

碳質量  
植物體質量

林型 \ 係數	年生長量 (立方公尺 / 公頃)	生物量轉換與擴展係數 (BCEF)	根莖比 (R)	碳含量比例 (CF)
天然針葉林	4.14	0.51	0.22	0.4821
天然針闊葉混淆林	10.05	0.72	0.23	0.4756
天然闊葉林	3.58	0.92	0.24	0.4691
人工針葉林	8.11	0.51	0.22	0.4821
人工針闊葉混淆林	10.37	0.72	0.23	0.4756
人工闊葉林	4.34	0.92	0.24	0.4691
木竹混淆林	3.31	0.72	0.23	0.4756
竹林	13.84*	-	0.46	0.4732

\* 備註：竹林年生長量單位為公噸／公頃

環保署 (2023) 國家溫室氣體排放清單報告

圖二：各種林型經過系數轉換後計算出單位面積年平均碳吸存量

前述 2023 年《國家溫室氣體排放監測報告》中的 2021 年全國森林的碳吸存量是 21.8 百萬公噸二氧化碳當量，就是這樣根據第四次資源調查跟第三次森林

資源調查的差值、平均，然後再用逐年各林型面積森林的變化來算出推估的值，然後對於 2050 的全國森林碳吸存量的估算，則是直接用同樣的數據，再加上對新增造林預期而得到的。然而這樣的推估，是基於森林之碳吸存能力恆久不變的假設。我們僅僅用兩個時間的量測（1991、2009），要推估數十年後（2050）的森林碳吸存量，是忽略了森林生長的變動性，受到各種環境條件變動的影響。加上全球暖化、溫度上升，其實森林的碳吸存能力應該也是在變動中。

以 Brienen et al. (2015) 在亞馬遜熱帶雨林和 Hubau et al. (2020) 在非洲熱帶雨林的研究顯示，以現場量測的工作方法，發現森林的碳吸存能力正在逐漸下降。這樣的結果，跟長期模型預測有截然不同的方向：長期模型預測是上升，可是現場量測是一直在下降。這個現象有各式各樣的可能原因，都還在討論中。但是可以確定的是，對樣區的長期而持續的實際量測，應該還是瞭解森林碳吸存能力最重要的方法。也就是不能僅靠少數幾次的測量數據，就去推估預測長期的結果。

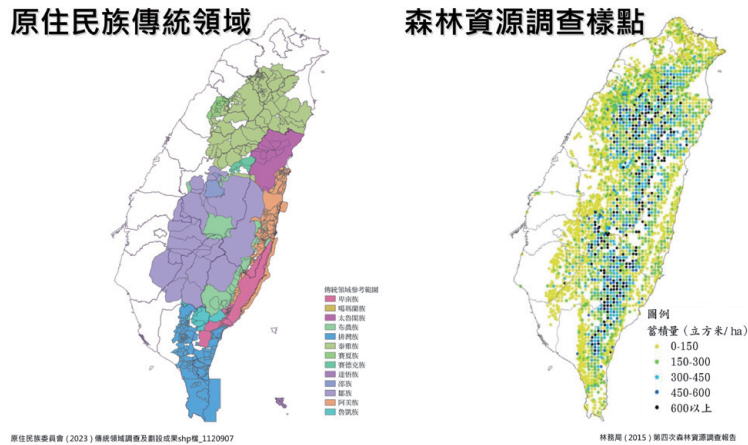
## 五、原住民族共管的重要性

我們國家總森林碳，也就是臺灣的綠碳此刻到底有多少？到底有沒有長期變化的趨勢？其實目前都還不夠清楚，因此不足以作為 2050 年淨零碳排政策的基礎。儘管現在有國家清冊報告的數字以及淨零路徑的數字，但是科學基礎是不扎實的。所以當務之急，就是要即刻規劃並進行第五次全國森林資源調查。同時，也應該搭配遙測技術，把調查的頻率提高，從過去每次調查間隔十幾年，調整為五年重複做一次。因為現今環境持續變動，溫度、二氧化碳濃度、降雨的趨勢都持續在變動，如果間隔太久，量測的數據除以間隔年數，所推估的年均數值，都不足以反映出實際的狀況。

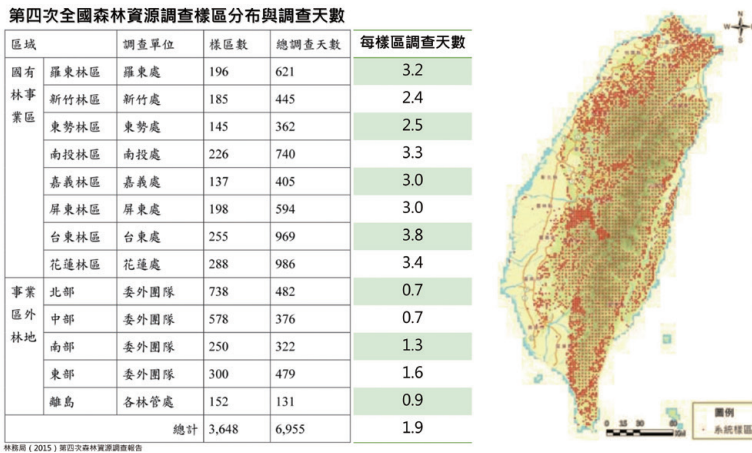
調查頻率提高，並且做得扎實，國家和原住民族的合作就顯得非常重要。圖三是原民會網站上公開圖資，顯示原住民族傳統領域範圍，與第四次森林資源調查樣點的對照。我們可以看到，兩者之間有高度的重疊。事實上，根據林務局 2020 年修訂的《行政院農業委員會林務局各林區管理處與經管國有林地內原住民族資源共同管理機制要點》<sup>4</sup>，不僅森林經營、森林保護、生態與自然保育的事項，是共管會可以對林務局進行建議與諮詢的項目，同時「林管處得就職權範圍與部落或原住民團體簽訂自然資源共同管理行政契約，約定關於林務局

<sup>4</sup> 此要點乃為執行原住民族委員會 2007 年發布之《原住民族地區資源共同管理辦法》，於 2015 年所訂定公告，並於 2020 年修訂。

經管國有林地內原住民族地區之野生動物、野生植物、菌類、生態旅遊資源及漂流木等自然資源之共同管理事務」(要點第四點)。以第四次全國森林資源調查為例，花蓮林管處一共轄有 288 個樣區，一共花了 986 天才完成調查(圖四)。基於山區地形條件、人力資源的限制，如果這些調查工作可以經過適當訓練培力後委由原住民族部落來進行，那將可以達到更好的執行效果。



圖三：原住民族傳統領域範圍與第四次森林資源調查樣點的對照



圖四：第四次全國森林資源調查樣區分布與調查天數

更進一步來看，由於原住民族和山林有長期的互動，對傳統領域內的自然資源與環境有其獨特的認知與經驗，若能在調查規劃時納入原住民族知識，例如：協助確定重點調查區域、擬定更符合山林實際狀況的調查方法，將可以提

高調查效率。同時，原住民族知識研究也能夠與森林碳吸存之研究在方法學上有所對話與合作。

## 六、結語

臺灣目前對森林碳吸存量的估算存在重大盲點，實質調查不足、估算所依據的數據未能充分考慮到森林碳吸存能力的變化趨勢，都是必須立即調整和改進之處。在面對氣候變遷的挑戰，要更準確地瞭解臺灣森林碳吸存的狀況，就需要政府、學界與原住民族部落之間更密切的合作，以更高的調查頻率、共同管理、共同執行調查的方式，為制定 2050 年淨零碳排的目標提供更可靠的依據，乃至發展更多因應氣候變遷的方法手段。

現行法規已經為這樣的合作提供了制度性基礎。從《原住民族基本法》、《原住民族地區資源共同管理辦法》到《行政院農業委員會林務局各林區管理處與經管國有林地內原住民族資源共同管理機制要點》，為原住民族與森林治理機關共同成立「共管會」，進行協商並訂定共管計畫，乃至委託調查，都提供了依據。

因此，政府相關部門應善用現有的制度，積極規劃推動新的全國森林資源調查計畫，與原住民族合作，進行高頻率而持續的調查。在合作的過程中，也可以促進跨領域研究，梳理不同原住民族的森林知識，並探討其在現代資源管理中之運用。相信將使臺灣更能在淨零碳排目標上有更大的作為，也會為全球對此議題的探索提供重要示範。

## 參考文獻

- 農委會林務局 (2020)。《第四次全國森林資源調查報告》，臺北：林務局。
- Brienen, R., Phillips, O., Feldpausch, T. et al. (2015). Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature*, 519, 344-348. <https://doi.org/10.1038/nature14283>
- Hubau, W., Lewis, S.L., Phillips, O.L. et al. (2020). Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. *Nature*, 579, 80-87. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2035-0>