

臺灣森林生態系服務價值估算初探

文 ■ 王怡平 ■ 林務局森林企劃組專員

邱祈榮 ■ 林業試驗所副所長（通訊作者）

一、森林無價？

古云「靠山吃山，靠海吃海」，意味著人們自生態環境中獲取可運用的資源維持生活（計）。森林有主、副產物，主產物為木材，副產物包含果實、蕈菇等，這是具有市場價值，一般認知能夠表示森林的經濟效益。隨著環境意識的抬頭，森林的木材價值不再被重視，取而代之的是森林的公益效益，如水土涵養、碳吸存、空氣淨化、生物多樣性保育及遊憩等無形的功能。這些健全運作的生態系，對人類社會與環境帶來直接或間接獲得、有形或無形的效益皆稱為「生態系服務」。有形的效益，如森林主副產物，能夠以市場價格表示之，但若論及森林無形效益，至為重要，過去皆以「無價」來形容，但除了質化的描述及量化的數據，是否能夠將之貨幣化，以共同的衡量單位說明森林存在的價值。

二、森林價值如何評估

（一）生態系服務研究發展

生態系服務的概念於 1960 年代後期始被重視與使用，而在發展初期，生態系功能多

被定義在「資產」概念的屬性，如 Westman 在 1977 年提出的「自然服務值多少價值？」（How much are Nature's Services worth?）的主張；而後，Ehrlich and Ehrlich（1981）提出「生態系服務」的說法，在生態系服務的定義方面，Daily（1997）以生態系和其中的物種運行的過程為出發點，提供人類維持自身生命或滿足需求，反映了生態系服務中「流量」的概念。Costanza 等人（1997）在「世界生態系統服務和自然資產價值（The value of the world's ecosystem services and natural capital.）」研究中說明人類利用生態系中的資源時，會產生由定量轉為流量的屬性改變，因而成為生態系服務，並更進一步依據現有已發表之文獻，分析了全球各生態系（海洋、陸地、森林、草地、濕地、河川與湖泊、農田、城市等）與 17 種生態系服務平均每年提供的價值，成為之後許多文獻與研究的參考依據。2012 年，生態系服務（Ecosystem Services）期刊創立並發行第 1 期，更確立生態系服務的研究領域位置。

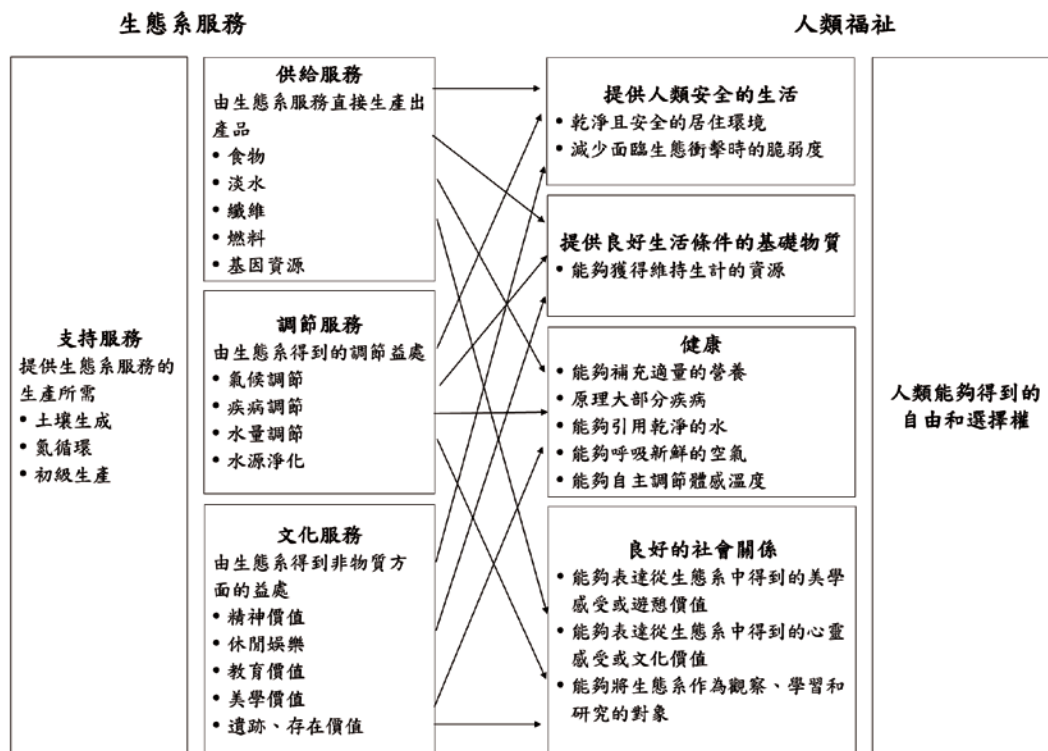
2005 年，千禧年生態系統評估（Millennium Ecosystem Assessment，以下簡稱 MA）整理出生態系服務與人類福祉的關聯性（圖 1），定義生態系服務為「人類可從生態系中得到的

益處 (Ecosystem services are the benefits people obtain from ecosystems.)」，並將生態系服務區分為供給、調節、支持、文化四大類別；其中支持服務為生產其他生態系服務的基礎，提供產出其他三項服務所需之條件；供給服務產出食物、原料、乾淨淡水甚至是基因資源等人類所需資源；調節服務調節氣候及水源等，減緩自然災害對人類的衝擊與威脅；文化服務則屬於精神層面，包括休閒娛樂、美學價值、教育價值等，使人類能從中得到心靈上的富足與充實，而這四大類別的服務皆為維持人類健康、提供安全生活的必要條件 (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)。

2007 年八大工業國暨新興工業五國 (G8+5) 於德國波茨坦召開高峰會，於會中通過「生態系統暨生物多樣性經濟學倡議 (The

Economics of Ecosystems and Biodiversity，以下簡稱 TEEB)」，其宗旨為分析生態系與生物多樣性對人類社會所帶來的效益，以及環境被破壞可能造成的損失，並結合自然科學與社會科學的專業知識，提供經濟上的證據，將政策和實務連結 (TEEB, 2010；李俊鴻等，2011；Hedden-Dunkhorst et al., 2015)，以期制定出更具體且完整的生態系服務評估方法與相關架構。

關於生態系服務項目的部分，TEEB 以 MA 為基礎，納入許多過去未被探討的層面，並整合屬性較為類似者，使得生態系服務評估工作變得更為全面、完整。近年來也有不少研究採用 TEEB 的分類體系，作為生態系服務價值評估的基礎 (表 1)。



▲圖1、生態系服務與人類福祉間的關聯性 (Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

表 1、TEEB 生態系服務類別 (TEEB, 2010)

	生態系服務四大類別		生態系服務項目	生態系服務描述
A	供給服務 Provisioning services	A1	食物 Food	生態系提供種植糧食所需的環境。食物主要是來自經人類管理的農業生態系，而海洋、淡水生態系與森林也提供人類所需的食物，但森林中的野生食物卻常常被低估。
		A2	原料 Raw materials	生態系提供多種建設與燃料的原料，包括直接從野外取得或是經栽培的植物資源，如木材、生質燃料與植物油等。
		A3	淡水 Fresh water	生態系在全球的水循環中扮演相當重要的角色，具有調節水流量與淨化水質的功能，而植被與森林也會影響各地的可用水量。
		A4	藥用資源 Medicinal resources	生態系與生物多樣性提供可作為傳統藥物或現代製藥的多種植物原料，所有的生態系都是藥物資源的潛在來源。
B	調節服務 Regulating services	B1	調節微氣候與改善空氣品質 Local climate and air quality	樹木提供遮蔭，而森林則影響局部性與區域性的降水和可用水量。樹木和其他植物同時也具有移除大氣中污染物的能力，在改善空氣品質中扮演重要的角色。
		B2	碳儲存 Carbon sequestration and storage	生態系藉由儲存及封存溫室氣體，達到調節全球氣候的效果。當樹木或植物生長時，會將大氣中的二氧化碳有效地封存於其組織中，也因此，可將森林生態系視為碳的儲存所。而生物多樣性也能幫助生態系，使其具有適應氣候變化、環境變遷的能力。
		B3	減緩極端氣候 Moderation of extreme events	當極端的天候或自然災害發生時，如洪水、暴風、海嘯、雪崩或山崩等，生態系能成為抵抗自然災害的緩衝機制，也因此能減少可能的危害。舉例來說，濕地可以吸收洪水、森林可以穩定坡地、珊瑚礁與紅樹林則能保護海岸線，降低暴風的破壞程度。
		B4	廢水處理 Waste-water treatment	生態系能作為周圍環境的天然緩衝，也能過濾人類及動物產生的廢物，如濕地之功能。透過土壤中微生物的生物活性，大部分的廢物可以被分解，也因此能消除病原體(由微生物導致的疾病)，並降低水中營養物質及污染物的含量，避免優養化。
		B5	防止水土流失和維護土壤肥力 Erosion prevention and maintenance of soil fertility	土壤沖蝕是土地退化及荒漠化的關鍵因素，植被能提供防止水土流失的重要調節服務。土壤肥力對於植物生長、農業發展相當重要，健全的生態系能提供富含植物生長所需養分的土壤。
		B6	授粉 Pollination	昆蟲和風力對於樹木和植物的授粉相當重要，影響水果、蔬菜與種子的生長與生產。全球約有75%的糧食作物仰賴動物授粉，包括重要的經濟作物咖啡及可可，而動物中幫助授粉者主要為昆蟲、鳥類與蝙蝠。(Klein et al., 2007)
		B7	生物防治 Biological control	生態系對於調節攻擊人類、植物與動物的害蟲及蟲媒傳染病相當重要，主要是透過天敵與寄生生物來調節與控制，如鳥類、蝙蝠、蒼蠅、黃蜂、青蛙與真菌等。

續表 1、TEEB 生態系服務類別 (TEEB, 2010)

	生態系服務四大類別		生態系服務項目	生態系服務描述
C	棲地或支持服務 Habitat services	C1	提供物種棲地 Habitats for species	棲地提供所有個體(包含動物與植物)生存所需的條件：食物、水及棲所。每個生態系提供多樣的棲地，讓物種能有合適的環境生存且生生不息。而遷徙物種在移動的過程中，皆仰賴不同的生態系以完成其遙遠的旅途，鳥類、魚類、哺乳動物與昆蟲皆然。
		C2	維護基因多樣性 Maintenance of genetic diversity	基因多樣性是指物種之間或族群之內的基因變異，可藉此區別不同的品系及種族，並提供培育可適應不同環境的品種之基礎，及可進一步發展為經濟作物和牲畜的基因庫。
D	文化服務 Cultural services	D1	休閒娛樂 Recreation and mental and physical health	在綠地散步和運動不僅是鍛煉身體的好方法，也能讓人們放鬆心情，雖然其效益難以衡量，但綠色空間在保持人類心理和身體健康方面發揮的作用已越來越廣為人知。
		D2	旅遊 Tourism	生態系和生物多樣性吸引遊客，自然美景帶來可觀的經濟利益，是許多國家的重要經濟來源。2008年世界觀光收益甚至達9,440美元，而文化和生態旅遊還可教育人們關於生物多樣性的重要性。
		D3	美學、文化及科學研究 Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design	人類的歷史、語言、知識與自然環境習習相關。生物多樣性、生態系和自然景觀能為人類帶來藝術、文化與科學研究的靈感來源。
		D4	精神上的感受 Spiritual experience	世界的許多自然景觀中，例如某些特定的森林、洞穴或山丘，有宗教與信仰上的意義。而自然環境更為人類宗教及傳統文化的來源之一，對於人類的歸屬感有重要意義。

(二) 生態系服務價值

從生態系本體運作過程、產生功能、提供服務、對社會發揮效益價值的次序關係。就整體生態系而言，自然資產是一個儲存系統，例如森林生態系中的林木蓄積量，就屬於「存量」或「總量」。當樹木透過持續生長茁壯、自然更新，讓林地得以生生不息時，林木蓄積量雖然提高，但若未將林木移出使用，則無產出林木產品，因此自然資產的總量雖有所增加，但依然無服務價值產生。一旦林木移出成

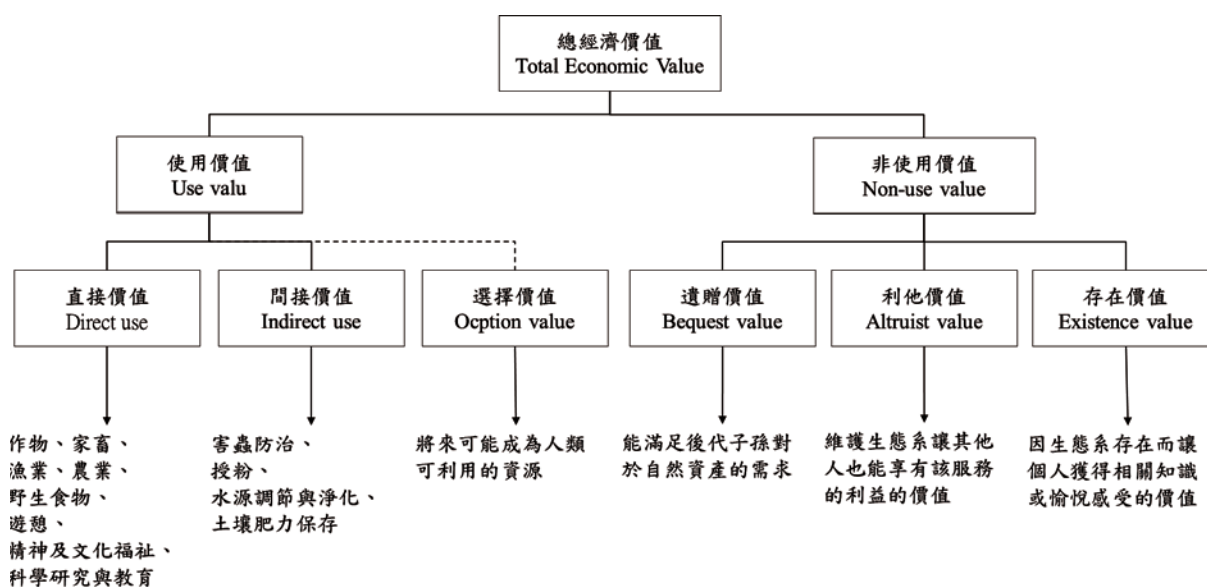
為木材或是其他形式的產品，即可形成「供給木材原料服務」，同時也產生經濟價值。因此生態系的功能屬於「源」，提供所需資源，讓自然資產能夠生產服務；而生態系服務則屬於「流量」，有產出方能產生價值。

在 TEEB 的架構中，生態系服務的價值可大略區分為兩類(圖 2)：使用價值(Use values)與非使用價值(non-use values) 而使用價值又可再進一步分為：直接使用價值(direct use values)、間接使用價值(indirect

use values) 及選擇價值 (option value)。非使用價值則不涉及直接使用與間接使用相關的價值，其反映出的是個人從生態系中獲得知識、美學感受與靈感啟發等滿足感，並且提供人類走進自然、探索自然的機會。非使用價值可分為：遺贈價值 (bequest values)、利他價值 (altruist values) 及存在價值 (existence

values) (TEEB, 2010)。

非使用價值相較於使用價值，具有更大的挑戰性與難度去估計經濟總值，因為牽涉到倫理、宗教、情感經驗與審美觀等個人因素，所以很難找到一個普世的標準去評定，當然也沒有所謂的市場價格可供參考。

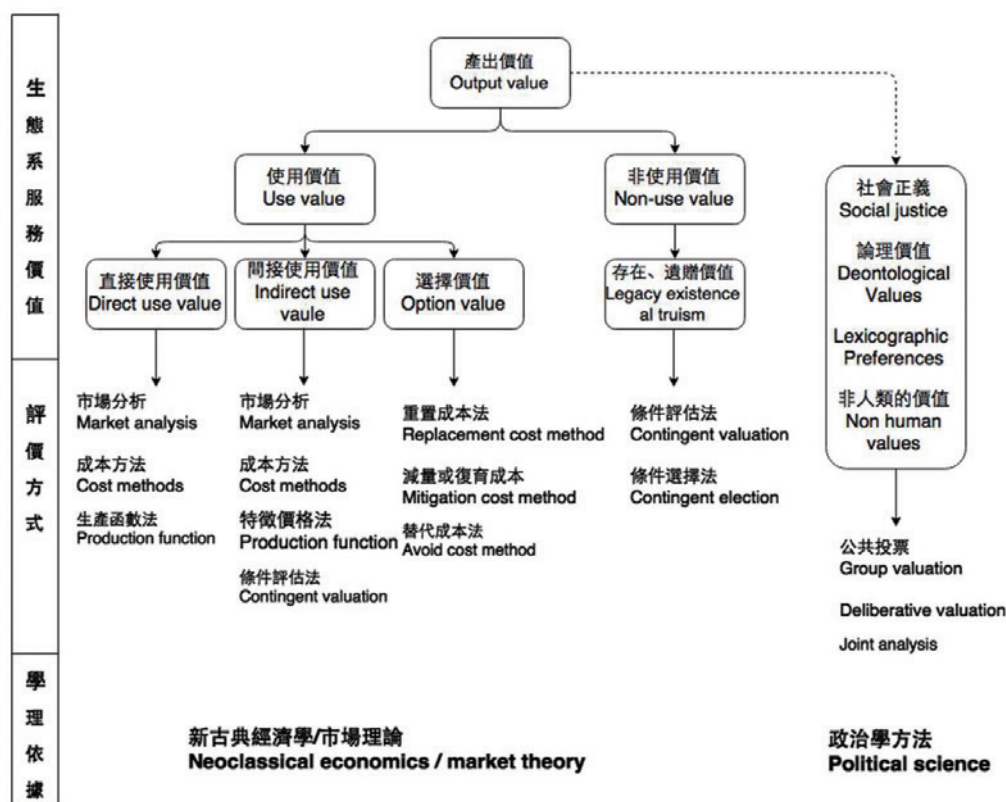


▲圖2、生態系服務價值介紹(TEEB, 2010)

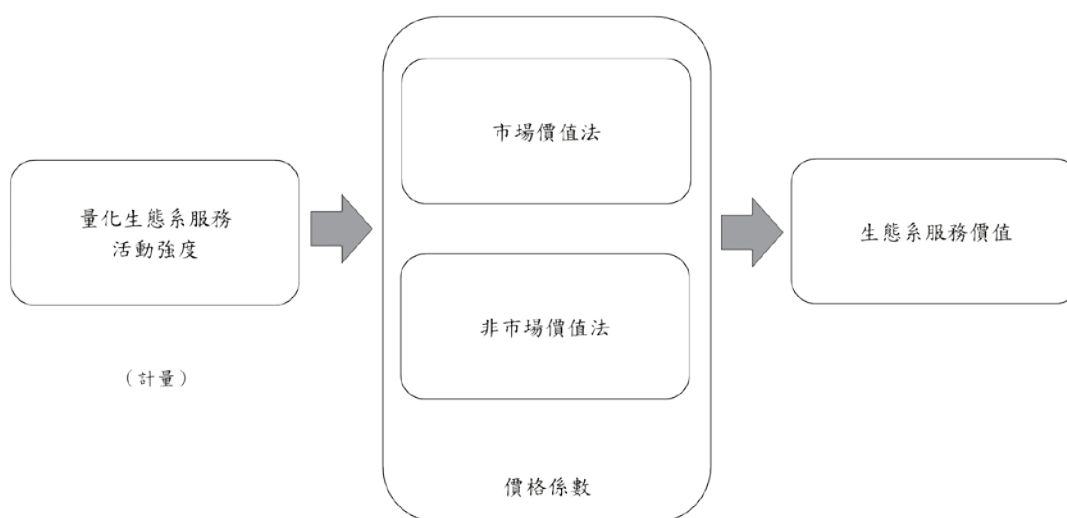
(三) 生態系服務價值評估方法

在 TEEB 2010 年發表的報告中，將生態系服務價值評估的形式分為兩大類，分別為「以人類偏好為基礎」(圖 3) 及「以生物物理方式基礎」的評估方式，其中多以前者為多。

簡言之，生態系服務價值評估，係先量化生態系服務活動強度(計量)，再擇定評價方式及價格係數(計價)，即可得出生態系服務之價值(圖 4)。



▲圖3、以人類偏好基礎的評估方法評估生態系服務(TEEB, 2010)



▲圖4、生態系服務價值評估方式

三、臺灣森林生態系服務價值初估

林務局於 104 及 105 年補助臺灣大學森林環境暨資源學系，就臺灣森林生態系服務價值進行初步估算，以做為未來政策擬定及呈現林務局施政成果之參據。該計畫配合國際趨勢，選用 TEEB 作為發展臺灣生態系服務價值評估的參考依據，在 TEEB 所包含的 17 項生態系服務中，以國內外文獻最多、近年研究中常被探討，且最能被社會大眾所接受者，優先選擇「水源涵養」、「碳吸存」、「維護生物多樣性」、「森林遊樂」與「水土保持」等 5 項，再加上「林木生產價值」及林務局推動之「社區林業」產值，共計 7 個項目進行試算。其中因「維護生物多樣性」與「水土保持」兩項生態系服務價值在估算上，缺乏適當的計量與計價資料，故暫不列入討論。為使大眾對於計算結果信服，以「取小、取低爭取認同」為原則，故各項服務之價格係數，以價值較低者計，先計算各生態系服務的最少應有價值，爭取認同。估算結果說明如下：

（一）水源涵養

臺灣在森林水資源涵養研究上已有 30 多年，主要方向大致上可分為：水文平衡收支法、土壤含水量、基流資料估計法及退水曲線位移法等。森林水源涵養量的定義，係指於降雨期間滲入土壤孔隙中之雨水，在無降雨時緩慢釋放出的水量，因此比起基流資料估計法，退水曲線位移法較接近森林水源涵養的定義，故選

用此方試算臺灣國有林的水源涵養量，並使用美國地質調查局（USGS）開發之 RORA 作為計算工具。

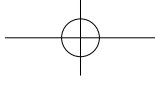
使用經濟部水利署水文測站位置、全臺灣集水區圖層，及臺灣數值地形模型等圖資，與國有林班界圖層套疊，由水利署 104 年 103 個測站中，挑選位於集水區外圍的測站共 35 個（若有集水區重疊情形，則選用下游測站），集水區面積可使用水文年報資料，若有缺漏再以圖資計算填補。以各集水區內的國有林面積比例換算，在國有林範圍內水源涵養量共 10,430,054,637 噸，除以國有林面積為 648,468 公頃，得到單位面積平均水源涵養量 16,084 噸 / 公頃。

計價則以民生用水及工業用水取加權平均，每噸水價約 2.6 元，共計國有林的水源涵養生態系服務價值為新臺幣（以下同）27,118,142,056 元。

（二）碳吸存

生態系中的整體碳量由生物量、死有機質與土壤三個部分所構成，目前碳吸存估算方法係參照林務局 103 年「建置符合 MRV 原則林業溫室氣體清冊編製機制及試算」計畫成果，主要針對林木生物量的碳量估算，死有機質及土壤的部分則予以忽略。

在碳吸存量估算以增減法（Gain-loss Methods）進行估算，增減法是以過程為主的估算方法，估算每年碳儲量的增加與減少的差異值，可用於評估任何碳庫中的每年碳增加或是損失量。



在碳量增加量方面以 2009 年第 4 次森林資源調查國有林事業區各林型面積為基準年，配合林地變遷監測機制，將 2009 年以後各年度崩場地之圖層以空間聯集的方式累加，取得年度總累計崩塌面積，再以扣除崩塌地面積方式來調整森林面積，排除崩塌地的生長量。扣除木材、薪材收穫量與受干擾影響之損失材積，得出 104 年國有林總二氧化碳變化量 11,726,021 噸。

計價則以採用 2015 年 11 月發表之《Converging at the Crossroads: State of Forest Carbon Finance 2015》，2014 年整體森林碳匯市場價格，1 噸二氧化碳價值 7.4 美元，以 2014 年匯率 1 美元為新臺幣 30.3680 元換算，每噸二氧化碳價格為 225 元，總計 104 年國有林碳吸存生態系服務價值為 2,638,354,717 元。

（三）林木生產價值

部分國外研究是以森林的林木蓄積量來估算木材產量，但此法不適用於臺灣，因為臺灣目前少有森林是全以生產為目標的經濟林；且蓄積量較偏向「存量」的概念，而無法反映生態系服務流量價值的變化。爰參照相關政府部門的出版品或統計年報，即可取得每年林木產品及副產物之年產量與產值，做為林木生產價值，104 年林木生產總價值為 182,152,914 元。

（四）森林遊樂

由交通部觀光局所公布之「國內主要觀光遊憩據點遊客人數月別統計表」及林務局「林業統計」，可取得每年各森林遊樂區的總遊客

數，再與「中華民國國人旅遊狀況調查」的「國人國內旅遊重要指標統計表」之每人每日旅遊平均費用相乘，求得各森林遊樂區的觀光外部效益。總計 104 年林務局 18 處國家森林遊樂區之森林遊樂服務價值為 7,157,587,113 元。

（五）社區林業

若使用條件評估法，需要對各個社區做分別的問卷調查，詢問社區居民對於自身社區的願付價格，再將所有社區做加總處理，但各社區因為人口結構、教育程度、參與意願、收入程度的不同而產生差異，此方式只能概略推估，仍會與實際情形有差距。爰採用成本收入法，計算各申請有案的社區三大主要收入，包含：生態旅遊服務收入、餐飲住宿服務收入、社區產品銷售收入，便可算出其社區服務的效益，且具有方便計算大量資料的優點。以林務局「社區生態雲」網站生態體驗行程、地方特產及文創商品販售可推算出加入「社區生態雲」平台的社區在 105 年 1 月至 8 月底之社區林業服務價值為 1,109,626 元，以每月平均推算 105 年的整年價值可能達到 1,664,439 元。

目前加入「社區生態雲」平台之生態社區為 69 個協會，若未來能夠整合更多、更全面的社區數量，相信社區服務價值的展現能夠更完整、更具重要性。

四、未來展望

生態系服務是指人類從生態系統中獲得之利益，它可以是多種形式，有形的產品，包括木材、非木材林產品，也可以是無形的

服務，如水源涵養、碳吸存、生物多樣性保育等。FSC（Forest Stewardship Council 森林管理委員會）的森林管理（forest management, FM）驗證中早已涵蓋保護生態系統服務之要求，且針對生態系統服務，FSC 目前正在開發的新工具可以讓企業或政府證明其採購、支付及投資對維護生態系統服務的影響。

為向國人闡述生態系服務與林業經營成效的連結，並由實際數據呈現未來生態系服務評價成果及其應用，國內外各個涉及環境保育業務之機關，皆逐步推動生態系服務價值之評估，林務局亦開始規劃相關研究，以建立一套適用於臺灣的估算方式，並期導入 FSC 森林生態系統服務驗證（Forest Certification for

Ecosystem Services, ForCES），證明林業施政對生態系統服務價值之維護。

五、結語

臺灣經濟成長下，環境保護與產業開發之間不斷拉鋸，雖然越來越多的人意識到生態系服務對於人類的重要性，也能夠理解生態系服務是需要被重視的，然而卻不易用真實數字顯現其重要性。自然資源的流失對經濟造成的直接影響已經被低估，以實證基礎估算之生態系服務價值，能據以探討變動趨勢與林業經營管理成效之連結，使林業經營成果能更有效反映於森林生態系服務價值上，以彰顯林業經營成效，並達到林業永續發展之終極目標。🌱



（圖片之高度文化）