

森林價值知多少

—自然資產與生態系統服務之簡介

◎國立臺灣大學森林環境暨資源學系·邱祈榮 (esclove@ntu.edu.tw)

◎林業試驗所林業經濟組·林俊成

學森林的人都知道，森林生態系統(ecosystem)經由複雜的功能運作，讓生態系統提供多元的產品(goods)及服務(services)，滿足人類的各項需求。若從更廣義的角度來看，如Costanza等人於1997年在Nature所發表的文章提到「人類由生態系統獲得有形或無形的收益，均可視之為生態系統服務」。因此，從森林生態系統來看，生態系統服務是包含有有形的林木產品或非林木產品，還有包括有無形的水源涵養、保護生物多樣性、遊憩與文化等公益功能，均屬於森林生態系統所能提供的服務。

傳統上林業人士可輕易地計算出林產品的成本及收益，但對於無法價值化的其他服務項目：如水源涵養、生物多樣性保育、防災減災、森林遊憩及野生動物棲息等，也一直希望能加以評估，試圖計算出其市場價值，以彰顯森林的價值，這個量化的過程，在過去十年間引起不小的關注，其中包含了新的分析方法和模式的發展、資料收集和重要的倡議，如千年生態系評估(Millennium Ecosystem Assessment¹, MA)，生態系和生物多樣性經濟倡議(The Economics of Ecosystems and Biodiversity, TEEB)和生物多樣性和生態系統服務政府間平台(Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES)等。

然而，在實際用語上，對於一些生態系統服務評估過程中，常用的一些概念如：生態系統功能、生態系統服務與自然資產等，常常混淆不清，例如：生態系統功能及生態系統服務有甚麼差別？兩者常常為人所忽略，甚至混用與誤解。此外，當我們對於生態系統服務進

行評估時，也常常將資本與服務兩者混用，因此本文乃欲釐清生態系統服務評估過程的一些基本概念，以及應注意哪些事情，提供國內日後探討生態系統服務評估時的觀念基礎。

自然資產(natural capital)與生態系統服務(ecosystem service)

據Costanza等人(1997)所發表的「世界生態系統服務和自然資產價值」一文指出：資本是指在某一時間的物質材料或資訊的儲存量，任何形式的資產儲存量(capital stock)，如以實際型態呈現的自然資產(如樹木、礦產、生態系)、製造資本(機械、建物)及人力資本。此外，也可以無形方式存在，如數位化資訊或人的專業知識等。資產儲存量會產生服務的流動，而流動可能被用以轉換物質材料或其空間配置以促進人類福祉，人類在使用這樣的服務流動時，可能保存或消耗這類資產儲存量。自然資產對於人類福祉具不可取代的地位，因為自然資產並不能完全轉換為非自然資產，而人力資本與製造資本都須自然資產中建立。

另根據自然資產會計(Natural Capital Accounting) (2011)一文，資產指的是可以從中獲取利潤或產量的資源或儲存物，人類福祉的維繫則取決於社會資產、人類資產及人造資產的相互作用，而這三種資產全都建構於自然資產之上。一般來說，自然資產略可分為空氣、水(淨水、地下水和海洋)、土地(包含土壤、空間等)以及棲息地(包含生態系、植物群和動物群等)等四種基本類型。

生態系統服務是由自然資產中能提供人

民福祉之物質、能量及資訊的流動所組成。生態系統服務是一種概念式機制，透過自然資產所能提供效益及其對人類福祉的貢獻以理解人與自然資產間的關係。因此評估自然資產的生態系統服務時，需明確定義生態系統大小及所涵蓋的自然資產儲存量種類、權重及評估儲存量消長和其所能提供的生態系統服務。

生態系統功能(function)與服務(service)

生態系統結構或過程中，特定運作機制的功能是否具有服務的產出，要視一般大眾是否認為該項服務具有效益/價值(圖1)。例如濕地可減緩表面水體的移動，進而減緩潛在洪水威脅。人民若認為防洪是有效益/價值的，那麼濕地可調節水量減緩表面水體流動的機制，則可被視為功能。

了解那些具有顯著/高度效益/價值的服務，以及組成生態系統服務的功能，便可以從空間分布、社會選擇與價值觀念面向分析生態系統。

許多學者對於生態系統服務所提出的看法有許多差異，尤其是對過程與相關功能概念上有不同的見解。像Daily (1997)對生態系統服務的定義為：「透過生態系本身的狀態與運作之過程，來提供物種生存以及維持人類的生命，稱之為生態系統服務」。在這裡服務本身是包含了功能以及過程。而Costanza等人(1997)將生態系功能定義為：「生態系所能提供的棲地、生物上之特質或是其過程」。而他對服務的定義則是：「人類從這些功能中所得到的效益」。所以可以明顯的看出他認為功能是著重過程的。而De Groot等人(2002)則是將功能定義為：「大自然的運作過程以及其組成的元素，可以用來滿足人類需求的財貨與服務稱之」。從Costanza和De Groot等學者的觀點可以看出，他們認為生態系統的運作過程可以產生功能，而這些功能則可以為人類帶來服務。因此，顯見學者們對此定義是有所不同的，但假如可以清楚的界定功能與服務的差異將有助於我們對其生態系統所能提供的服務進行分類(Katherine Hawkins 2002)。為進一步說明生態系統服務及生態系統功能的差別，特列舉Costanza等人於1997年在Nature所發表文章中，對於生態系

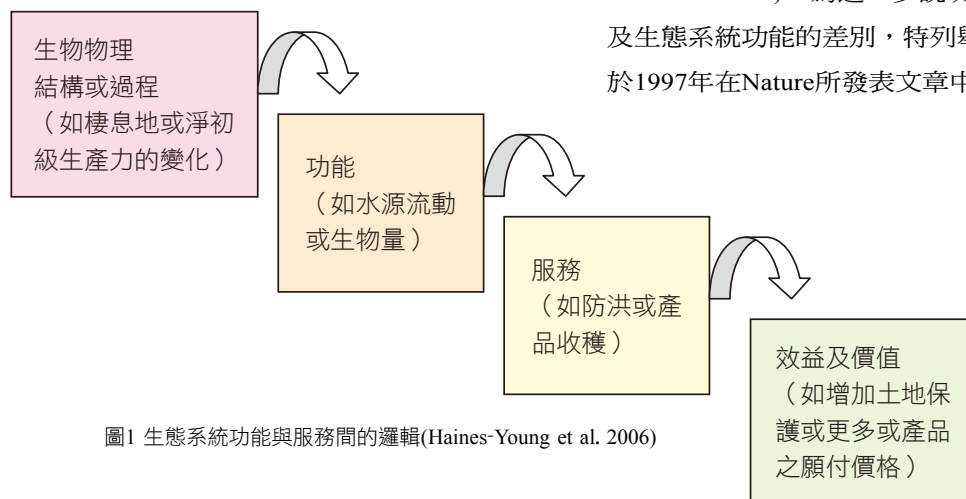


圖1 生態系統功能與服務間的邏輯(Haines-Young et al. 2006)

表1 生態系統服務與生態系統功能比較一覽表(翻譯自Costanza et al. 1997)

生態系統服務	生態系統功能
氣體調節	生態系統能調節大氣中化學組成
氣候調節	生態系統能調節氣溫、降雨及其他生物過程
干擾調節	吸納、減緩或健全生態系統對環境影響的反應
水調節	生態系統能調節水文循環
水供應	生態系統能儲存及保留水
沖蝕控制與保留沖蝕物質	生態系統能保留土壤於生態系統內
土壤生成	生態系統具有土壤生成過程
養分循環	生態系統能儲存、循環、處理與獲取養分
食物供給	生態系統初級生產提供食物
原物料供給	生態系統初級生產提供原物料
基因資源	生態系統具有獨特生物材料或產品的來源
遊憩	生態系統能提供遊憩活動機會
文化	生態系統提供非營利使用的機會

統功能與服務的列表比較說明，可以讓我們更清楚兩者間的差異(表1)。

生態系統服務是指人類直接或間接從生態系統得到的效益，主要包括向經濟社會系統輸入有用物質和能量、接受和轉化來自經濟社會系統的廢棄物，以及直接向人類社會成員提供服務(如人們普遍享用潔淨空氣、水等)。與傳統經濟學市場上的商品的實際購買，和消費的服務在意義上是有些不同，目前的生態系統服務只有一小部分能夠在市場上進行買賣，大多數生態系統服務因為是公共財或準公共財，因此尚無法進入市場。

生態系統服務是人類從生態系獲得的好處。一些通常被引用和代表性的定義為：生態系統服務功能，包含有淨化空氣和水、減輕洪水和乾旱的發生、廢棄物的解毒和分解、土壤和土壤肥力的產生和更新、作物和自然植物的授粉、控制農業害蟲、種子的散播和養分的運輸、生物多樣性的維持、來自太陽有害輻射線

的防護、穩定氣候、調節極端微氣候、維持人類文化的多元性、美學和精神滿足的提供。

森林生態系統服務是經由森林生態系的狀況和過程的運作，維繫並履行人類生活的狀況和過程的運作，維繫並履行人類生活的生產，例如木材、生物性燃料、自然的纖維和很多醫藥製品，以及實際維生功能的生態系統服務，例如微氣候調節和集水區服務。森林生態系統也包含審美和文化效益(Daily 1997)。生態系統產品(如食品)和服務(如廢棄物吸收)，乃為人類從生態系功能中直接或者間接得到的好處(Costanza et al. 1997)。世界資源研究所(WRI 2000)將森林生態系統服務分為兩類：產品與服務。產品包括木材、薪炭材、飲料以及灌溉水、飼料、非林木森林產品、食物，以及基因資源。服務包括除去空氣污染、釋放氧氣、養分循環、維持集水區功能、保持生物多樣性、碳吸存、減少異常氣候、產生(更新)土壤、提供工作機會、提



圖2 森林提供良好遊憩場所(邱祈榮 攝)

供人和野生動物棲息地、貢獻美學價值和提供遊憩(圖2)。

生態系統經濟評估

綜合前面探討，自然資產、生態系統功能與生態系統服務彼此間的關係，可以圖3加以表示。

從生態系統整體來看，自然資產是一個儲存系統，例如森林生態系統中的蓄積量，是一種「存量」或「總量」的概念。當林木透過初級生長的功能，讓林木得以生生不息生長，若未移出使用，並無產出林木產品，因

此自然資產的總量有所增加，但並無服務價值。若將林木移出成為林木產品，這就形成生態系統服務之一：供給木材原物料服務，相對地也就有價值產生。因此生態系統功能屬於「源」的概念，讓自然資產能夠生產許多服務，而生態系統服務則屬於「流量」的概念，也就是有產出方能產生價值的概念。

若從評估的角度來說，自然資產評估屬於儲存量或總量的評估，只能計算某特定時間點的價值。但在生態系統服務評估方面，因為生態系統服務為流量的概念，要考量時間因素，也就是在特定的時間之內，能夠產生多少服務，其服務價值多少，一般以1年為計算服務價值最為常見。由於自然資產評估與生態系統服務評估常易被混淆，例如計算水源涵養服務價值時，一般會以水源涵養效益價值 = 水資源價格(元/m³) × 平均貯水量(m³/ha) × 森林面積(ha)。若以此公式觀之，由於缺乏時間的間隔，很明顯的是在計算整個林地的水源涵養總量，而並非計算每年的水源涵養服務效益(圖4)。因此在計算生態系統服務價值時，要注意是否錯誤計算到自然資產的價值，或者把兩者混在一起計算。

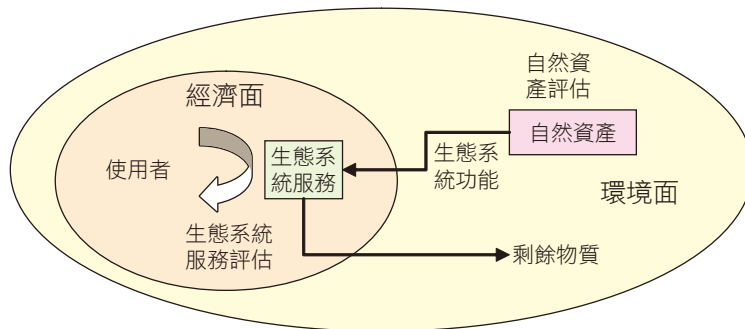


圖3 自然資產、生態系統功能與生態系統服務關係圖



圖4 森林提供水源涵養服務(邱祈榮 攝)

生態系統服務評估面臨幾個重要的問題，如何評估生態系統服務？如何表示生態系統服務的重要性和價值？如何把生態系統服務價值觀念融入決策體系？如何理解環境和經濟的關係？以上問題涉及自然科學、哲學、社會學和經濟學等各個不同的學術領域，非常複雜，同時也為環境、經濟和社會的可持續發展研究指出了方向，必須從多學科交叉角度研究生態系統服務功能及其價值。

生態系統服務的研究是價值評估的基礎，價值評估是將生態系統服務進行貨幣化的評估過程。各種生態系統服務的定量評估指標和單位不同，使得我們難以在不同生態系統和不同服務之間進行比較。然而，貨幣化方法為統一單位的定量化研究提供了一個進行比較的基準，也為生態學與經濟學研究之間架起了橋樑。

森林生態系統評估個案分析

為進一步讓大家瞭解森林方面對於自然資產與生態系統服務的評估實務，特以

下面例子加以說明(Hou and Wu 2008)(圖5)。

圖5將森林生態系統評估分為：森林自然資產、每年森林生態系統商品與服務價值流量。其中森林自然資產又分為三大資產：森林土地、立木及森林環境資產；每年森林生態系統商品與服務價值流量又分為森林產品、森林環境服務及社會文化效益。於森林自然資產方面，立木價值參考既有價格，再依據消費者物價指數(consumer price index)進行地方區域的價值調整，其價格主要受到樹種以及直徑大小的影響。而森林環境資產部分在此研究中考量

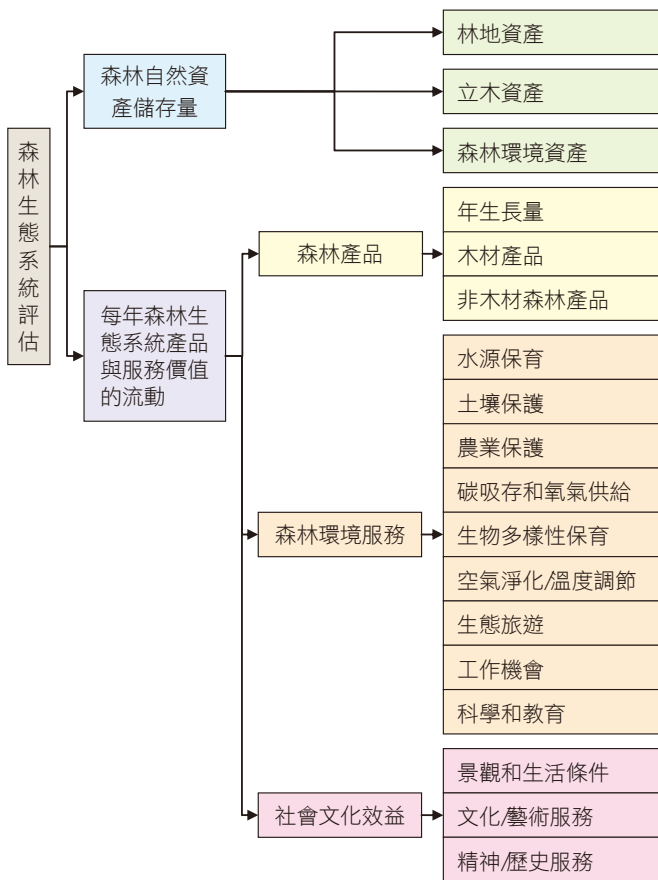


圖5 森林生態系統評估架構(Hou and Wu 2008)



圖6 台電公司植樹固碳(邱祈榮 攝)

森林碳儲存量以及森林野生動物。依據IPCC公告之生物量擴展係數(Biomass expansion factors, BEF)以及公告碳價格計算出森林碳儲存量資產價值；野生動物部分則參考相關文獻以及調查數據，並轉換成現今年度價值(圖6)。

另一方面，每年森林生態系統產品與服務價值流量主要分為三大類型：森林產品、森林環境服務及社會文化效益。在森林產品類型上計算了年生長量、經濟林產品及非木質林產品，其中年生長量依據立木年生長量，依物種乘以每 m^3 價格即可估得年生長量的價值。經濟林價值針對經濟林所生產之花、果及衍生產品，數據主要根據相關統計年報獲得，依據市場調查與觀察獲得參考價值。非木材林產品，例如野生藥用材料、蕈類、野菜、蜜蜂相關製品及狩獵等。根據中國大陸林業統計產額之數據：森林環境服務上包含七個項目：水資源保育、土壤保護、農業保育、空氣淨化及溫度控制、碳吸存及氧氣供應、森林生態旅遊及生物多樣性保育。水資源保育主要依據替代成本方法計算，總水量以整個集水區範圍所能蘊含之水量為上限，比較建

造儲存等量儲水池的金額。土壤保育以替代成本或預防成本計算，以沉積物清理價格計算森林涵養土壤的價值。而對肥料施用則以肥料市場價格資料，假設森林平均促使土壤保有2%之肥料效益計算之。農業保育部分著重在森林遮蔭效果對農作物生產的效益，計算方法為農產品價格乘以受森林遮蔭農地及預期增加產量而得。空氣淨化及溫度控制，依據針闊葉木對二氧化硫及氮化合物等吸收的速率，以取代價格估算之；此外針對噪音也進行林帶長度對音量影響效果以隔音材質價格推估。根據遙測、田野調查及衛星影像說明森林植被對於溫度的效益，這樣的效益根據電量節能的價格計算。碳吸存及氧氣供應則依據文獻計算淨初級生產量(NPP)，氧氣生成效益則以工業氧氣價格估計之。森林生態旅遊則根據相關研究，以單位旅遊價值乘以森林生態系面積得之；生物多樣性保育的估算則是機會成本方法，以單位面積生物多樣性保育價值成本乘以生態系面積。

在社會文化效益上則計算工作機會及科學與教育的價值。由於森林之工作機會多位於鄉村，其對社會文化效益預期大於經濟效益。此項目依據相關統計年報紀錄之直接與間接工作機會及薪資計算。對於科學及教育，參考過去對科學及教育平均之單位支出金額，乘以森林面積而得。

結語與展望—生態系統服務評估所面臨的挑戰

當生態系統服務要實際運用到自然資源管理時，生態系統服務多元目標的建立與排序、不確定性及機構負責程度(the setting of

institutional responsibility)等因素都將影響其可信與應用(Hartje et al. 2003)。然而，如圖7所示，這些可能的發展限制因素在整個生態系統服務下，屬於第二層次的問題，而生態系統服務最重要的核心，仍是生態系統概念的架構以及在社會價值觀下不同服務功能之間關聯性的探究。

由於自然資產具有生態系統功能，能夠產出供給、調節、支持與文化的各種生態系統服務，供給人們使用，方能產生價值。因此，自然資產為貯存總量的概念，透過具有「源」概念的生態系統功能，產生有「流量」概念的生態系統服務。因此，此三種之間的關係與互動，常易被人們所混淆，因此在使用上應該要避免誤用。

評估生態系統的服務效益需詳細記載所有從生態系統取得的利益以及維持生態系基本運作所需的成本。生態系統基本運作是持續提供人類福祉的重要基礎，為了維持此基本運作，人類在使用自然資源時也必須給予對等的投資。投資可以不同形式存在，如欲

維繫生態系統正常運作，以達生物多樣性保育目的所投注的經營管理費用；保護或復育自然資產所需支出的費用等。由於目前仍不完全瞭解維持基本生態系統服務所需的自然資產儲存量，因此也成為發展評估制度的一大障礙。其他相關的難題和挑戰還包括：個別經濟活動或許對生態系統的危害輕微，但個別經濟活動加總的群聚效應，則產生重大的危害；自然資產或儲存量的改變將如何影響生態系統帶給人類影響程度，如：若森林範圍減少一半時，木材供應量也會減半，但其他相關服務的衝擊卻可能遠遠超過一半(如：生物多樣性等)(Science and Technology Division, UK, 2011)。

整體而言，要明確定義自然資產對人類的價值是不那麼必要的，因為自然資產本身是複雜且具大，而其價值可能甚至是無價的。另一方面，從自然資產及生態系統服務的質量變化，對於人類福祉的衝擊反而是值得討論的部分，也就是說自然資產及生態系統服務的特定形式變化，將對維持人類福祉的成本與效益造成影響。⊗

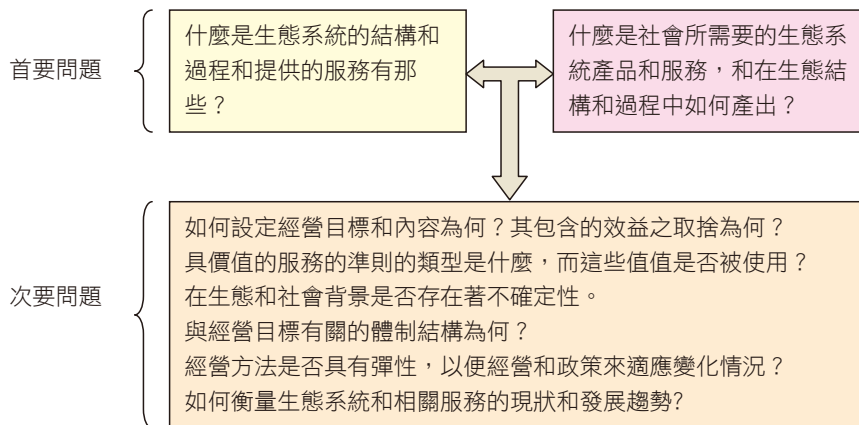


圖7 面對生態系統方法的關鍵挑戰(Hartje and Potschin 2007)