

與大自然和諧共存的生態足跡

文 李永展 ■ 中華經濟研究院研究員

一、前言

第10屆生物多樣性大會(Convention on Biological Diversity)於2010年10月18日至30日於日本名古屋召開，會中除了檢討過去10年間生物多樣性保育未達成的項目，也擬定了未來10年的保育新策略。而大會所通過的《愛知生物多樣性目標》(Aichi Biodiversity Targets)，即針對保護並減少全球生物多樣性的喪失提出了具體的規範。其中，「2011-2020生物多樣性策略計畫」(Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020)規劃的願景是一個「與大自然和諧共存」的世界，而在「2050年之前，生物多樣性受到重視、保護、恢復及明智使用，以維持生態系服務，保有健康的地球，並使所有人獲得主要的利益」(註1)。

「策略計畫」的任務是：「採取有效及緊急的行動，在2020年以前制止生物多樣性的喪失，以確保在2020年之前，生態系有復原能力並繼續提供主要服務，從而能夠保障地球

生命的多樣性，為人類福祉及消除貧困作出貢獻。為此，減輕對生物多樣性的壓力，恢復生態系，永續利用生物資源，並公正且公平地分享利用遺傳資源所產生的利益；提供充足的資金，加強能力，將生物多樣性問題和價值納入主流，有效執行適當的政策，並根據健全的科學和預防辦法進行決策。」

「策略計畫」在5個策略目標下制定了2015年或2020年(「愛知生物多樣性目標」)的20個標的。目標及標的包含(一)在全球層級實現目標的期望；以及(二)用於制定國家或區域標的之彈性架構。各締約方在此彈性架構內、在兼顧國家需要及優先事項、同時銘記國家努力亦可為實現全球標的做出貢獻的前提下制定自身標的。但並非所有國家都需要針對每個全球標的制定相對應的國家標的，對某些國家而言，可能已經達到了某些特定標的之全球門檻；而有些國家則標的可能與國家內涵無關。

5個「策略目標」的內容如下。策略目標A：透過將生物多樣性納入政府及社會的主流，解決生物多樣性喪失的根本原因。策略目標B：減少生物多樣性的直接壓力並促進永續利用。策略目標C：透過保護生態系、物種及遺傳多樣性，改善生物多樣性現況。策略目標D：增進生物多樣性及生態系服務帶給所有人的利益。策略目標E：透過參與式規劃、知識管理及能力建設，加強執行工作。「愛知生物多樣性目標」主要期望能在2020年前達成「有效保護生態系目標，各國應採取行動阻止破壞行為」的10年策略，並期望能於2050年前實現「與大自然和諧共存」的目標。因此，如何找到可以具體落實此目標的方法便成為各界努力的方向。本文引介衡量永續發展的一個重要工具—「生態足跡」(Ecological Footprint)，希望能作為協助人類與大自然和諧共存的可能。

二、生態足跡意涵

生態足跡是一個衡量永續發展強而有力的指標，能夠表示可再生資源使用的動態過程，其中包括輸入面(例如：可再生資源)與輸出面(例如：廢棄物、二氧化碳)的環境壓力(Bagliani *et al.*, 2008)，因此，生態足跡可以從消費者與生產者的角度來衡量國際間的生態依賴度(McDonald & Patterson, 2004)。雖然有些研究質疑生態足跡是否能作為衡量環境衝擊與經濟成就之間的有效指標，但相關研究則指出，生態足跡的價值在於它是一個客觀的永續衡量，不僅具有科學客觀性，同時也藉由不斷地科學檢視，來調整計算的方式，以便更精確地表示人類使用資源的狀況(Bagliani *et al.*, 2008; Lammers *et al.*, 2008)，而由「世界野生動物基金會」(World Wildlife Fund)倡議

的國際生態足跡監測，也已成爲衡量永續發展的一項重要工具(Nie *et al.*, 2010)。

在永續發展的思潮下，Wackernagel & Rees將生態經濟學為基礎的容受力分析，轉換成較容易理解的生態足跡概念。生態足跡是以生物生產力土地估算特定人口或經濟體的資源消費與廢棄物吸收之面積；亦即只要有任何物質或資源被消耗，就必須要從另外一個或數個生態系中提供一些土地，這些土地負責提供與這些消費有關的資源或廢棄物分解的功能(Wackernagel & Rees, 1996)。此即意味著生態足跡的大小與環境衝擊成正比，足跡越大，環境衝擊也越大；而足跡的大小與每人可使用的生物生產力土地面積成反比，足跡越大，每人可使用的生物生產力土地面積也就越小。

生態足跡分析是估算一特定時間點上人類社會的消費型態及水準對自然資源與自淨能力的依賴程度，並比較該社會所在地區之生物生產力可利用量，以判斷是否超限利用。由於永續與不永續是人類社會經濟體與生態系間互動後所呈現的狀況，藉由生態足跡時間序列的分析方式，可以呈現人類社會經濟體的消費與生產活動對生物生產力的需求程度、以及對生物生產力供給能力的影響。

雖然生態足跡分析的應用仍屬起步階段，但其觀念卻廣爲各界接受，許多研究學者與單位紛紛投入這個領域進行研究，利用此一工具或觀念進行評估國家、區域、或地方的環境衝擊研究，也有越來越多政府部門、組織與社區採用生態足跡分析做為衡量永續發展研究的核心指標。然而隨著生態足跡應用的增加，不同的生態足跡研究路徑導致這個分析方法的破碎

與分歧，這將使生態足跡分析法藉由應用產生結論而達成一致性與可比較性結果的能力降低。

生態足跡的價值在於它是一個可信的永續衡量，因此它不僅仰賴這個分析工具的科學客觀性，同時它也需要藉由分析來持續進行應用。而它更仰賴一個溝通分析結果的方法，那就是不扭曲或者不誤釋研究發現，並持續對此工具進行科學檢視。因為確保生態足跡結果的可信度與一致性將可以鼓勵更廣泛地運用，並增加其做為實現永續未來的觸媒之有效性。

因此，全球生態足跡網絡(Global Footprint Network, GFN)倡議透過委員會形成共識以發展生態足跡應用的準則，以達成兩項重要目標：為生態足跡方法論建立一個科學檢證過程；建立應用與溝通標準。在此目標下，委員會於2005年春天開始運作，而委員會的組成包含參與此網絡的組織、學術代表、政府、NGO組織及顧問公司。其中國家估算委員會(National Accounts Committee)的任務為支援持續改進生態足跡國家估算的科學基礎，提供將生物生產力土地與海洋資源轉換為量化的轉換數值。這些轉換數值對任何尺度的生態足跡應用提供參考資料的服務。而應用標準委員會(Application Standards Committee)則致力於發展準則與運用策略，以確保生態足跡成為一種穩定且適當的方法，使其得以運用在所有主要領域、多樣尺度並能夠進行長時間的追蹤。溝通標準委員會(Communication Standards Committee)則以發展準則，確保生態足跡分析結果得以被確實的傳達為主要工作^(註2)。

而在此架構中，生態足跡的創始人以及該領域的主要領導者Wackernagel 與其他研究者於

2005年提出了生態足跡的新計算方式，根據新版的計算方法，Redefining Progress (RP) 所估算的國家生態足跡結果，顯示人類對大自然所造成的足跡負荷，比先前版本估算的情況更糟。以全球尺度而言，人類超支生態限制達39%，幾乎是2004年該機構所做研究的2倍；這意味著，以目前的消費水準，我們至少需要1.39個地球才能確保未來世代過得跟我們現在一樣。由於新版本對於碳循環與建成區域有更細密的估算，因此該研究也發現，使用化石燃料較多以及較高度都市化的國家，是造成生態赤字的主要禍首(Venetoulis & Talberth, 2005)。

三、生態足跡估算方式

Wackernagel 與其他研究者於2005年所提出的新版計算方式，和以往的計算方式相較，其差別為：(a)生物容受力估算包含地球的全部表面積；(b)為其他物種保留某個比例的生物容受力；(c)改變碳分離率的前提；(d)採取淨主要生產力(Net Primary Productivity)做為生態足跡等值因子的基準(Venetoulis & Talberth, 2005)。

在GFN出版的《2006年版國家足跡估算》所提供的生態足跡估算方法中，針對此估算方法所確立的前提為(GFN, 2006)：

- (一)人類大部分消費的資源與產生的廢棄物可以被追蹤記錄。
- (二)大部分的資源與廢棄物流動可以根據生物生產地區足以維持其流動的觀點被測量；而不能被測量的資源與廢棄物流動被排除在這個途徑之外，將導致真實生態足跡的系統性錯估。
- (三)藉由估算每個地區之生物生產力的比例，不

同型態的地區可以被轉換成一致的單位——「全球公頃」(Global Hectares)，並與世界平均生產力相比較。

(四)因為每年採取統一的單位，表示其生物生產力的總和可以被加總起來，以取得一個整合性的生態足跡或生物容受力指標。

(五)人類的需求以生態足跡表達，可以直接與以「全球公頃」表示的自然供給、生物容受力作比較。

(六)當一個生態系超出其再生容受力，顯示該地區的需求超出供給；當地的生態足跡超出可取得的生物容受力，這種情況便意味著超支。

這些前提說明生態足跡分析方法的功能、應用及其限制，此一特殊的研究工具將可帶領我們評估人類多樣性活動所造成的資源消耗與廢棄物生產和生態之間的關係，並在此前提下，進行架構與計算項目的調整。Wackernagel等人於2005年發表的「國家生態足跡與生物容受力估算2005年版：基礎計算方法」，將生態足跡組成與生物容受力的計算流程說明如下(Wackernagel *et al.*, 2005)：

生態足跡組成將人類的消費與廢棄物生產分為農作物、動物產品、魚類、森林生產、建成區域及化石能源之二氧化碳排放(或化石能源)。而生態足跡的計算流程，則是將各項消費除以該項土地使用型態之生物生產力，再乘以等值因子，即可得出該項消費佔用該項土地之面積。以農作物為例，該年之生態足跡即為農作物(公噸/公頃)除以全球農作物生產(公噸/公頃)，再乘以農作物的等值因子，即可估算出農

作物消費所佔用的土地(公頃)。最後再加總這六項組成，即為該年度全球之生態足跡。

而提供這六項消費和吸收廢棄物生產所對應的土地使用類別則為耕地、牧草地、漁場(包含海洋和內陸)、建成地及碳吸收地，此一組成關係中，消費和廢棄物生產與土地型態之間的歸類標準為(Wackernagel *et al.*, 2005; GFN, 2006)：

1.耕地

種植農作物以做為糧食、餵養動物、纖維以及油脂需求的耕地，這類土地型態每公頃生物生產力的最大平均值。根據FAO的估計，2003年全世界大約有15億公頃的耕地。

此一估算並不紀錄人類長期活動所造成的耕地生產力降低，例如土壤惡化、腐蝕或鹽化。雖然這些過程將反映在未來生物容受力的衰退，但目前這些衰退並無法明確指向是由於人類活動所造成的惡化。

2.牧草地

畜養動物以提供肉類、皮革、羊毛及牛奶，包括提供畜養使用的耕地、牧場。在計算家畜生產的牧草地生態足跡時，為避免重複計算，採取簡化之方式，減去供畜養使用的其它來源。

即加工與衍生的生產(例如酪農業等)將等值於主要生產，故牧草地需求總數為家畜生產所使用的牧草地總量。根據FAO的估計，2003年全世界大約有35億公頃的自然與半自然的草地和牧地。

3.漁場

提供漁獲和其他海產生產所需的乾淨水域

以及海洋漁場。超過95%的海魚捕撈位於大陸棚，排除難以到達或不具生產力的水域，總共有19億公頃。大陸棚以外的海洋區域通常被排除在生態足跡的計算之外，內陸水域則包含4億公頃可取得的漁場。

從FAO取得的資料估算，漁場每年可供應的數量為9300萬公噸，通常這個計算包含供人類消費與供魚類食用。

4.森林區域

收穫木材生產與燃料木材所需的自然或人造森林。全世界可取得的森林地約有39億公頃，此一森林生產力的估算使用相當多的資料來源，主要是TBFR以及GFSM。圓材與燃木消費根據以下四個過程的生產—鋸木、木板、紙與硬紙板、紙漿。

5.建成地

供住宅、運輸及工業生產的設施佔用構成建成地。建成地的全球公頃為2億公頃，建成地可能取代耕地，就如同人類早已因移動優勢而佔據一個國家最豐饒的區域。用來提供水力發電的水壩與水庫併入建成地計算。

6.碳吸收地

人類以多種方式增加二氧化碳至空氣中，包括燃燒化石燃料，一些自然循環可從空氣中消除二氧化碳，包括海洋吸收以及植物的光合作用。

計算化石燃料消費的生態足跡藉由估算需要多少生物生產地以吸收人類經濟活動所造成的廢棄物生產。在這個計算中，每年大約有18億公噸的碳被海洋吸收，在吸收中對海洋生

物容受力可能的負面影響並未被包含在內。除了海洋之外，森林也是吸收碳排放的生物生產地，但其容受能力因森林的完善度與構成狀況而有所不同。

四、結語

2010年生物多樣性目標鼓勵了許多層面的行動，但這些行動的能量還不足以解決生物多樣性面臨的壓力。此外，生物多樣性問題也還無法整合更廣泛的政策、策略、方案及行動，因此，生物多樣性喪失的潛在致因仍未能顯著減少。儘管現在對於生物多樣性、生態系服務與人類福祉之間的關係已有某些瞭解，但生物多樣性的價值依舊沒有反應在更廣泛的政策及誘因結構中^(註3)。

科學界一致預測，如果現有趨勢繼續下去，本世紀內棲地會繼續喪失，滅絕速度仍將居高不下，人類社會也面臨因為若干門檻或「臨界點」被衝破而遭受極嚴重的風險。如不採取緊急行動逆轉當前趨勢，衍生自生態系以生物多樣性為依託的廣泛服務將迅速喪失。雖然窮人將會面臨最嚴峻的衝擊，進而削弱為實現「千年發展目標」所做的努力，但任何人都無法逃脫生物多樣性喪失帶來的衝擊^(註4)。

另一方面，各種情境分析也提供了廣泛的解決危機之替選方法。而人類堅定決心、珍視和保護生物多樣性，將使人們在很多方面獲益，包括透過較佳的衛生狀況、較大的糧食安全及較少的貧困。它還將有助於透過加強生態系儲存及吸收更多碳的能力來減緩氣候變遷，以及透過增加生態系的恢復力及減少其脆弱度來幫助人們適應氣候變化。因此，更好的生物

多樣性保護是一項有助於減少國際社會風險的審慎且又符合成本效益的投資(註5)。

有鑑於此，2010年在日本名古屋舉行的第10屆生物多樣性大會便在於檢討過去10年間生物多樣性保育目標的失敗，同時也擬定了未來10年的保育新策略，進而希望達成「與大自然和諧共存的世界」之目標，因此全球各界應透過不同的方法及手段來共同促使此目標能達成。在解讀生態足跡的意涵及估算方式後，或許應針對各種類型的活動及土地使用所造成的生態足跡，研擬不同因應策略，才能有助於達成人類與大自然和諧共存的目標。

由於估算方法的調整，本研究首次凸顯了台灣二氧化碳排放所造成的足跡壓力。以IEA(2009)的統計資料為估算基礎的情況下，台灣2007年二氧化碳排放所需之碳吸收地面積達2.251全球公頃/人，換算總生態足跡為51,679,268全球公頃，是台灣總面積的14倍以上。換言之，即使台灣島上全部種滿了樹，也需要14個以上的台灣，才足以吸納我們所排放的二氧化碳。此

一極為嚴重的生態威脅，並不會因為台灣不是京都議定書的締約國便可以忽略，更不會因為台灣不是聯合國成員便可倖免，因為二氧化碳所造成的溫室效應全球暖化問題，是超越地域並且跨越世代的，做為地球的一份子，我們無可迴避後果，當然亦必須承擔責任。

雖然降低二氧化碳排放對台灣而言並非是一個新的議題，但始終缺少相對的關注，但藉由生態足跡的路徑，可更明確地將問題的嚴重性予以揭露並且被理解，而這也是生態足跡做為永續性衡量工具最主要的功能之一。透過足跡計算方式與屬性分類的調整，生態足跡將更能夠對於永續性衡量提供更精確的分析路徑，進而有助於達到「與大自然和諧共存的世界」之目標。🌱

參考文獻(請逕洽作者)

註1 <http://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop-10> (上網日期：2011/5/5)

註2 <http://www.footprintnetwork.org/> (上網日期：2011/5/5)

註3 <http://www.cbd.int/decisions/cop/?m=cop-10> (上網日期：2011/5/5)

註4 同註3。

註5 同註3。