

摘要

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，但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。為確保生態足跡結果的可信度與一致性，及實現其做為永續未來之觸媒的有效性，全球生態足跡網絡（GFN）倡議透過委員會形成共識以發展生態足跡應用的準則。故此，在以趨近世界共通標準與反映真實足跡的原則下，本研究採取由 GFN 所公佈、Wackernagel 等人發展的最新生態足跡估算方法，進行 2004 年台灣生態足跡的追蹤。

由於估算方法的調整，本研究結果首次突顯了二氧化碳排放所造成的足跡壓力。2004 年台灣生態足跡為 6.718 全球公頃/人，總生態足跡相當於 42 個台灣，其中二氧化碳排放所需之碳吸收地面積達 2.295 全球公頃/人，這意味著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完全吸納。對應於日益惡化的全球暖化問題，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。調整後本研究所估算之 2004 年台灣生態足跡雖仍不免有低估的問題，但卻提示了在以往計算方式中被隱匿或忽略的，極為關鍵的永續性危機。

關鍵字：生態足跡、生物容受力、生態赤字、永續性、全球公頃

壹、前言

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統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。

根據生態足跡所具有之做為永續發展的指標、永續發展的檢驗工具、生態環境的持續性追蹤之功用，我們可以發現生態足跡為研判人類消費規模是否超過生物圈的再生能力，以及估算其超過的程度。由於生態足跡同時衡量實體經濟規模與顯示超限利用，以及生態足跡具有聯結社會經濟代謝與土地利用的功能，故可做為評量社會經濟代謝不永續的一種方法。再者，建構在永續發展的理念下將其定義為：「在未永久減損某個集居地人口維生生態系統的生產力下，該集居地所能永久支持的最大人口數」（李永展、陳安琪，1999）。

雖然生態足跡分析的應用仍屬起步階段，但其觀念卻廣為各界接受，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。

故此，全球生態足跡網絡（GFN）倡議透過委員會形成共識以發展生態足跡應用的準則，以達成以下兩項重要目標：

- 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。

在這個目標之下，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。

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。以全球的尺度而言，人類超支生態限制達 39%，幾乎是 2004 年該機構所做研究的二倍；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。以國家的層級來說，阿拉伯聯合大公國、科威特及美國是超支生物容受力最多的三個國家。以洲別區分，西歐與北美造成了最大的生態足跡同時也帶來生態平衡的負面衝擊。至於非洲、拉丁美洲與其他較低消費型態的區域則與生態足跡有較小的關連，同時也對生態平衡有著正面貢獻。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）。

在國際主要機構與人員積極為生態足跡研究之有效性與一致性進行整合之際，為使台灣生態足跡的估算結果更能精確估算真實足跡並與其他國家進行有效比較，本研究將重新評估台灣生態足跡的計算項目，進行 2004 年台灣生態足跡的追蹤，以更真實反映台灣的生態處境。

貳、新版生態足跡估算方式

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)。

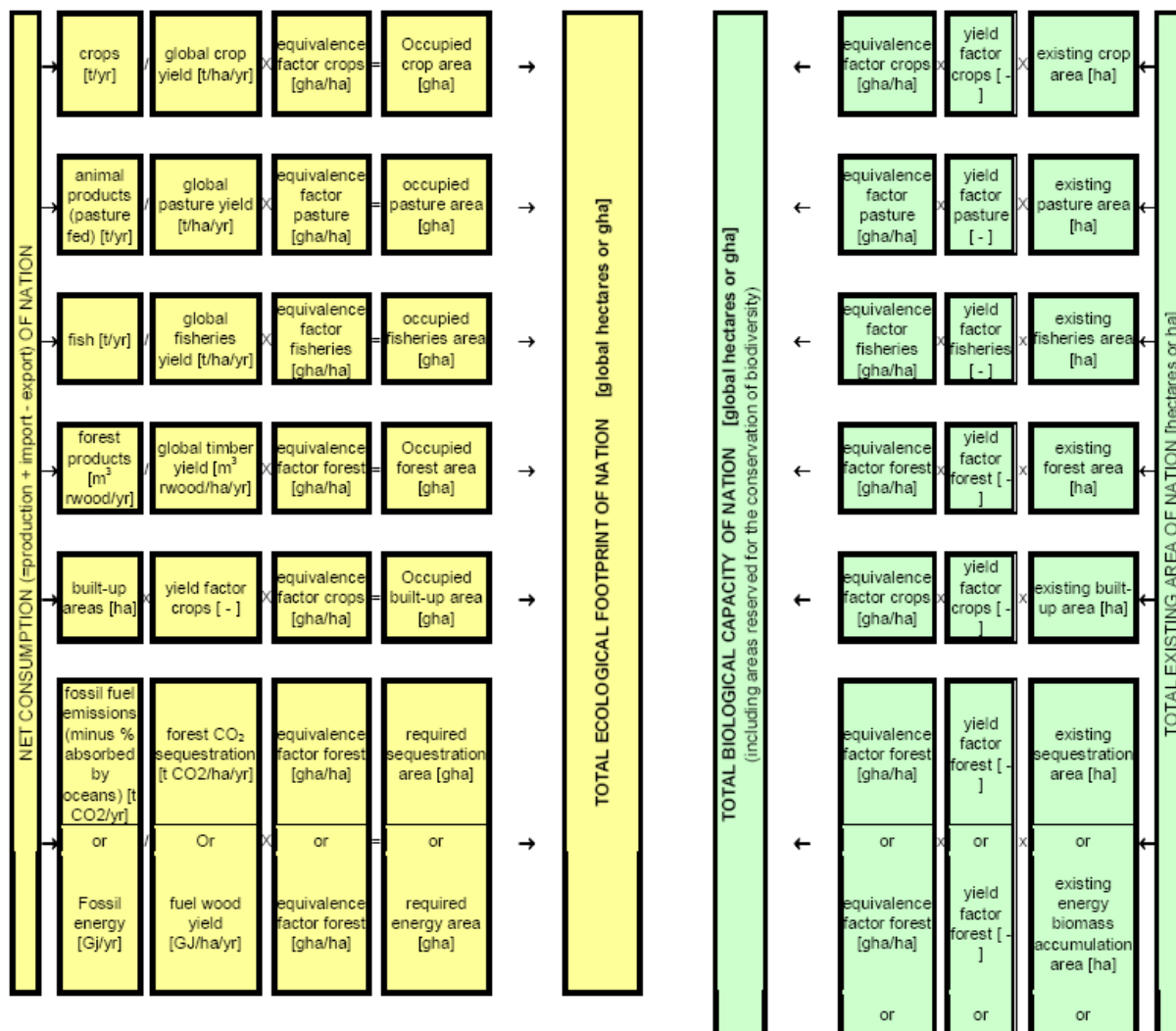
在GFN出版的《2006年版國家足跡估算》所提供的生態足跡估算方法中，針對此估算方法所確立的前提為 (GFN, 2006a)：

1. 人類大部分消費的資源與產生的廢棄物可以被追蹤紀錄。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 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、生物容受力做比較。
6. 當一個生態系超出其再生容受力，顯示該地區的需求超出其供給；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。

一、生態足跡之架構與計算流程

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年所發表的「國家生態足跡與生物容受力估算2005年版：基礎計算工具」(National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method)¹一文，將生態足跡與生物容受力的架構及計算流程表達如下：

¹ 本文公佈在 GFN 之官方網站，為該網絡之官方文件



資料來源：Wackernagel et al. , 2005

圖1 生態足跡與生物容受力之計算架構

在這個架構中所呈現的生態足跡組成，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）。該圖說明生態足跡的計算流程，乃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, 2006a)：

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，但目前這個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TBFRA以及GFMS。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。

二、生態足跡計算方式調整項目

在生態足跡之實際運算上，根據Wackernagel et al. (2005) 的研究所提出之生態足跡計算方法，與以往之計算方式相較，其主要調整重點為：

1. 簡化主次要生產的計算

主要生產指的是特定地區的初級產出，包括耕地、牧草地、森林中行光合作用而生長的穀類、水果、蔬菜、供家畜食用的飼料以及圓材等。對漁業而言，則指從海洋或內陸漁場捕獲且未經加工處理的水產。這些產品的生態足跡計算方式為：

$$\text{生態足跡(gha)} = [\text{生產} + \text{進口} - \text{出口 (tons)}] / \text{全球生物生產力 (tons/ha)}$$

次級生產為從主要產品衍生出來的商品，包括肉類、牛奶、紙類及養殖漁類。當主要生產的生態足跡已經被計算過，次要產品的足跡將視同為主要產品足跡的一部份，僅被生產而未進行貿易的次級產品之生態足跡，將包含在其原產品的足

跡計算中。

2. 建成區域與水力發電的足跡估算

生態足跡假定人類的居住與設施通常都是佔用農業豐產地，某些聚居區域已經完全被覆蓋，其他區域則仍具有生物生產力，例如花園或公園等。包含在這些區域的生態足跡根據它們之前的農業生產力，因此建成區域等同於它所取代的耕地總量，故使用耕地生物生產力調整它的生產力。其計算公式為：

$$\text{建成地生態足跡 (gha)} = \text{區域建成面積 (ha)} * \text{建成地等值因子 (gha/ha)} * \text{耕地生物生產力(-)}$$

由於被水力發電水庫所淹沒土地之高度變化，以及其分佈建檔資料的缺乏，這個部份採用全球平均等值因子1.0（生物生產力亦為1.0），並以一個穩定轉換因子轉換該地所使用的能源。此淹沒地區每公頃能源生產的假定比率，取自全球20個最大水壩的常數 (WWF, 2000)。對一些使用水力發電的多山國家，例如紐西蘭與挪威，則降低十倍足跡，這是為了反映多山國家需要較少的淹沒區域。

$$\begin{aligned} &\text{水力發電區域生態足跡(gha)} \\ &= \text{能源 (GJ)} / \text{常數 (GJ/ha)} * \text{水力發電區域等值因子(gha/ha)} \end{aligned}$$

3. 化石能源的生態足跡

不同於農作物、森林生產、動物生產與魚類的生態足跡計算採取直接明確的方法，化石能源與核能發電的生態足跡必須以非常不同的方式予以估算。Wackernagel et al. (2005) 所提出的問題是：「需要多少再生的容受力以維持人類經濟活動所消耗的化石燃料？」對於這個問題的回應分別來自兩個不同的觀點：自然資本或廢棄物的觀點。

(1) 廢棄物吸收

二氧化碳吸收地的足跡估算方法為，藉由造林需要增加多少生物生產力區域以隔離空氣中的二氧化碳。吸收地的計算需減去三分之一由海洋吸收的排放量 (IPCC, 2001)，這個路徑的計算方法為：

$$\text{吸收地面積(gha)} = \text{CO}_2 \text{ 排放量 (tons)} * (1 - 1/3) / \text{吸收率 (tons/ha)}$$

這個路徑的估算方式並非暗示二氧化碳吸收地是氣候變遷的解方，而是指出

需要多大的世界以處理空氣中的二氧化碳排放。如此一來，它界定了吸收二氧化碳不可或缺的土地面積，因為時間的限制，也決定了生態吸收的空間潛力（因為造林的速度趕不上吸收容受力損失的速度）（House et al., 2002）。二氧化碳的排放資料可從CDIAC (1999) 與 IEA (2001) 等多樣管道取得。

(2) 生物質量 (biomass) 代換

生物質量代換的計算路徑為，取代化石燃料所產生的等值能源需要多少燃木區域。燃木在歷史上對大多數社會而言是支配性燃料，並且是生物圈中，不需經人類變異的主要燃料。採替代性生態燃木以降低對空間的要求是可能的，但沒有人為介入活動與工業過程將無法發生。

很明顯地，如果替代以較高生產力利用方式，將足以取代燃木並因此降低足跡。燃木生產率等同於圓材的生長率，再乘以擴張因子後，可計算出需要增加多少容受量供燃料使用。

$$\text{足跡面積(gha)} = \text{能源 (GJ)} / [\text{圓材生產力 (GJ/ha)} * \text{擴張因子 (-)}]$$

如果森林經營做為燃木使用，將取得較高的生產力從而降低足跡規模。

4. 核能發電的生態足跡

核能非常不同於足跡組成的其它部份，因為它所產生的廢棄物非常少，然而它的問題在於安全，因為核廢料經長期儲存仍無法分解。有一種觀點認為核能發電不應納入足跡計算，以維持邏輯上的一致性，因為如何將吸收有毒放射物質的土地量化，完全在生態足跡估算的框架外。當然，這樣的排除並非暗示核能發電不會對環境造成影響，而是指出核廢料完全不同於如二氧化碳等可以透過生態過程被吸收的廢棄物。

但我們仍然不可忽視，核能對許多國家所造成的高度生態干擾，這個路徑將生態足跡計算納入核能發電並把它視為化石燃料。因為長期來看，假如人類不想冒在生物圈中不斷增加有毒輻射物質的風險，核能發電必須被逐步淘汰（此計算路徑提供使用者排除計算核能發電的選擇）。

其他量化核電足跡的方式也是可被理解的，例如，藉由估算歷史前例以推算一旦發生危險將對環境造成多大範圍的影響。或者，另一種論點則基於風險估算，一旦發生意外，將會佔用多少生物生產力區域。

5. 包含在貿易中的能源與資源

為了估算一個國家的消費足跡，其國內的生產足跡必須藉由資源與廢棄物的進出口予以調整。被交易的次級資源將轉換回包含在商品與服務的主要資源。

計算資源貿易的路徑有兩種方式：主要資源（例如小麥、木材、漁獲）可根據FAOSTAT資料直接追蹤計算，採用FAOSTAT資料的原因是它以一致的單位紀錄生產、進口與出口。

包含在貿易商品的資源，諸如包含在進口鞋中的皮革與穀物飼料，或者包含在進口手機中的電力，採用聯合國統計部門商品貿易（UN Statistical Department COMTRADE）的全球貿易基礎資料，被包含的資源將增加在主要資源的貿易流動。

被包含的能源數據取自能源主要文獻和斯德哥爾摩環境機構所估算的平均值。能源轉換為二氧化碳吸收，採用出口型生產國家其國家的燃料混合數據，以及世界為進口而使用的混合燃料的平均值。

參、台灣生態足跡評估項目與架構

上一章節介紹了GFN所提供的足跡計算方法，在本章節中，將其進一步應用在台灣生態足跡的計算上。在可取得最新資料的限制下，我們針對2004年的資料進行估算與分析。

一、評估方式與項目修正

為使台灣生態足跡之計算能更趨近全球一致的基礎，本研究在有效取得資料的可能範圍內，進行計算方式與項目的調整。與本研究之前所採取的計算方式相較，進行下列修正：

1. 簡化糧食分類與項目

根據避免重複計算以及穩定性原則，本研究將以往採列舉方式的糧食計算，

依據聯合國糧食與農業組織（FAO）統計與農委會《糧食供需年報》中長期統計項目相互參照並進行簡化，以確保取得資料來源的一致性，並利於進行長期追蹤。

調整後，耕地部分之糧食項目包括：穀類、薯類、糖及蜂蜜、子仁及油籽類、果品類。牧草地部分之糧食項目為：肉類與油脂類。另將海洋部分調整為漁場，即包含海洋及內陸部分，而相對應的糧食項目則從漁產擴充為水產項目。

此外，本研究並根據 FAO 所發表的《Summary of World Food and Agriculture Statistics 2005》、《The State of Food and Agriculture 2005》及《FAO Statistical Yearbook 2005/2006》等資料，計算世界糧食與木材生產之生物生產力平均值（公斤/公頃）為轉換率，以取代之前較早之資料，俾使更能趨近真實的生態足跡。

2. 以耕地生物生產力修正建成地生態足跡

在建成地生態足跡的估算方面，以往的做法乃將都市計畫土地與非計畫土地中用於居住與設施項目之面積予以加總，所得之面積除以全國人口數，即求得建成地的生態足跡。但根據全球生態足跡網絡所提供的計算方式，本年度建成地的計算，除以等值因子進行修正外，將再以耕地生物生產力的轉換數值予以調整。

3. 水力發電併入建成地計算

以往的生態足跡組成中，忽略水力發電所造成的足跡規模，而根據GFN所提供的計算方法，我們首次把水力發電納入估算，並將計算結果，併入建成地的生態足跡規模。

4. 以二氧化碳吸收路徑計算能源足跡

針對能源生態足跡的計算，本研究以前採取的方式為：以消費化石能源換算重建自然資本所需土地面積，然為更明確回應二氧化碳排放的全球議題，本年度將以二氧化碳吸收地的足跡估算方法，估算能源項目的生態足跡。此外，由於採用二氧化碳吸收地的分析方式，因此核能發電之足跡估算將不顯著。

5. 採取原路徑進行包含在貿易中的資源與能源足跡的計算

由於本項目之計算相關資料的缺乏以及計算方式尚未明確，因此本研究將延續過去的計算方式計算商品消費之足跡狀況，但計算項目則根據可取得之最完整資料，由經濟部統計處所出版的工業生產統計資料中，擇取以公噸為計量的項目，並採銷售數量為計算基準，進行估算。

二、台灣生態足跡組成架構

根據上述評估項目與計算方式之調整，台灣生態足跡的組成架構可表示為表 1，其分類方式用於說明台灣生態足跡的組成，包含糧食、木材、能源、居住與設施用地與貿易產品之計算，以及每個分類的組成項目，其細部項目與屬性如表 2 之詳列說明；至於構成生態足跡之消費與生物生產力土地矩陣，則可表示為表 3：

表 1 台灣生態足跡組成

糧食生態足跡	農作物
	畜牧
	漁產
木材生態足跡	圓材
能源生態足跡	化石燃料
	燃煤
	核能*
建成地生態足跡	居住與設施用地
	水力發電
商品生態足跡	工業產品之銷售

*本研究採二氧化碳排放估算路徑，核能足跡將不顯著。

資料來源：修改自 Wackernagel et al., 2005

表 2 修正後台灣生態足跡計算項目表

分類	項目	屬性
糧食	穀類	耕地
	薯類	耕地
	糖及蜂蜜	耕地
	子仁及油籽類	耕地
	果品類	耕地
	肉類	牧草地
	油脂類	牧草地
	水產類	海洋與內陸水域
木材	針葉樹	森林
	闊葉樹	森林
	薪材	森林

	枝梢材	森林
	竹	森林
能源	CO2 排放	森林
居住 與 設施 用地	都市土地住宅區	建成地
	都市土地商業區	建成地
	都市土地工業區	建成地
	非都市土地公共設施	建成地
	非都市土地建築用地	建成地
	非都市土地特定目的事業用地	建成地
	非都市土地遊憩用地	建成地
	非都市土地交通用地	建成地
	非都市土地窯業用地	建成地
	水力發電	建成地
貿易 商品	礦物	能源地
	紡織品及紡織製品	能源地
	鋼與鐵	能源地
	化學及有關工業產品	能源地
	塑橡膠及其製品	能源地
	機器及機械用具	能源地
	光學、精密儀器及其零件	能源地
	飲料	能源地

表 3 生態足跡之消費與生態生產土地矩陣

	耕地	牧草地	森林	漁場	建成地	能源地
糧食消費	○	○		○		
木材消費			○			
能源消費			○			
商品消費						○
居住與設施					○	
水力發電					○	

肆、2004年台灣的生態足跡

根據上述分類與計算方式的調整，本研究將進行 2004 年台灣生態足跡的計算。而支持本研究進行計算分析之資料來源，糧食與木材之生物生產力計算基準，取自 FAO2004/2005 年統計數據；而本國消費狀況，糧食部分為農委會出版的《93 年糧食供需年報》；木材部分的生產資料來源為農委會《93 年農業統計年報》，進出口資料則來自農委會「台灣農產品外銷網」的統計；能源部分的二氧化碳排放資料，取自國際能源署（International Energy Agency, IEA）的統計；建成地部分，都市計畫土地資料來源為行政院經建會出版的《93 年都市及區域發展統計彙編》，非都市計畫土地則援引自農委會《93 年農業統計年報》，水力發電資料根據經濟部能源局的《93 年能源統計年報》；貿易商品資料為經濟部統計處出版的《93 年工業生產統計年報》。

一、糧食消費之生態足跡

糧食消費的生態足跡計算方式為：

$$\text{生態足跡(gha)} = [\text{生產} + \text{進口} - \text{出口 (tons)}] / \text{全球生物生產力(tons/ha)}$$

藉由 FAO 的相關統計資料，分別計算出耕地、牧草地與漁場的 2004 年全球平均生物生產力，做為計算糧食生態足跡的轉換數值。計算結果如表 4。

表 4 耕地、牧草地與漁場的生物生產力世界平均值（轉換率）

耕地	生產量(千公噸)	可使用耕地面積(千公頃)	轉換率(kg/ha)
穀類	22,703,60	1,457,002.08	1,558.24
薯類	533,145	1,457,002.08	365.92
糖及蜂蜜	1,576,833	1,457,002.08	1,082.24
子仁及油籽類	381,568	1,457,002.08	261.89
果品類	1,383,649	1,457,002.08	949.65
牧草地	生產量(千公噸)	可使用牧地面積(千公頃)	轉換率(kg/ha)
肉類	260,098	3,464,760.69	75.07
油脂類	123,000	3,464,760.69	35.50
漁場	生產量(千公噸)	漁場面積(千公頃)	轉換率(kg/ha)
水產類	1,325,000	1,900,000	697.37

資料來源：FAO, 2006a；2006b；2006c；GFN, 2006a；本研究計算整理

在計算出全球生物生產力的轉換值後，我們再將各項組成的消費數量，代入糧食生態足跡的計算方法並將各項加總後，即可計算出糧食生態足跡的大小。計算結果如表 5。

表 5 糧食消費之生態足跡

糧食項目	總消費量(kg)/總人口數/轉換值(kg/ha)	生態足跡 (gha/per)
穀類	7,682,900,000/22,689,122/1,558.24	0.217
薯類	1,686,300,000/22,689,122/365.92	0.203
糖及蜂蜜	90,200,000/22,689,122/1,082.24	0.004
子仁及油籽類	2,272,300,000/22,689,122/261.89	0.382
果品類	3,478,600,000/22,689,122/949.65	0.161
肉類	1,895,700,000/22,689,122/75.07	1.113
油脂類	689,300,000/22,689,122/35.50	0.856
水產類	808,100,000/22,689,122/697.37	0.051
總計		3.204

二、木材消費之生態足跡

同樣根據 FAO 之統計資料，計算出 2004 年世界平均森林生物生產力，得出轉換值，如表 6。再根據國內之生產與進出口資料，求取每人之消費量為：

$$40,041,000 + 18,591,246,650 - 1,689,176,070 \text{ (公斤)} / 22,689,122 = 746.706 \text{ (公斤/人)}$$

每人消費量再除以轉換值得出木材消費生態足跡為：

$$746.706 \text{ (公斤/人)} / 858 \text{ (公斤/公頃)} = 0.870 \text{ (全球公頃/人)}$$

表 6 森林的生物生產力

森林	生產量(千立方公尺)	森林林業面積(千公頃)	轉換值(m ³ /ha)
木材類	3,348,000	3,900,000	0.858

資料來源：FAO,2005/2006；GFN,2006b；本研究計算整理

三、建成地

1. 人類居住與設施

建成地乃人類居住與設施所佔用之土地。在此概念下，我們從經建會《都市及區域發展統計彙編》的八項土地使用分區，與農委會《農業統計年報》的十七項非都市土地使用編定中，分別進行都市土地與非都市土地中以提供人類居住與設施之用的土地面積估算。

都市土地

住宅區：63,302.37（公頃）

商業區：7,678.02（公頃）

工業區：22,361.56（公頃）

公共設施用地：83,898.92（公頃）

非都市土地

建築用地：60,456（公頃）

特定目的事業用地：42,723（公頃）

遊憩用地：5,977（公頃）

交通用地：38,458（公頃）

窯業用地：297（公頃）

總計為 325,151.87 公頃

算出建成地總面積後除以人口數再乘以耕地的生物生產力，即可得出建成地的生態足跡為：

$$325,151.87(\text{公頃}) / 22,689,122 (\text{人}) * 4.218 = 0.059 (\text{全球公頃/人})$$

2. 水力發電

水力發電區域的生態足跡計算方式，為水力發電能源量（焦耳）除以世界最大的二十個水壩每公頃所生產能源量的常數。根據 WWF（2000）的資料，本研究找到世界前二十大水壩其淹沒面積與每公頃淹沒面積所產生的能量（表 7），並計算出這二十個水壩每淹沒公頃生產的平均能源量為 9.4536（十億焦耳）。

而根據經濟部能源局《93 年能源統計年報》，2004 年台灣水力發電所生產的能源總量為 1,964,740 公秉油當量，根據以上數據，本研究以 1 公秉相當於 1 公噸，1 公噸油當量相當於 $4.1868 * 10^{10}$ 焦耳換算，得出水力發電的能源電量為 8,225,873（十億焦耳）。將上述數據代入以下水力發電區域生態足跡計算公式，

並將台灣比照多山國家標準，將常數降低十倍，而後除以 2004 年台灣人口總數，算出水力發電生態足跡為：

$$8,225,873(\text{十億焦耳})/9.4536(\text{十億焦耳/公頃})/10(\text{倍})/22,689,122(\text{人})=0.004$$

(全球公頃/人)

表7 全球前二十大水壩每公頃淹沒地區所產生的電力

水壩 (國家)	一般發電量 (百萬瓦特)	常態淹沒區域 (公頃)	每公頃發電量 (千瓦特)
Sayanskaya (蘇聯)	6,400	80,000	80
Churchill Falls (加拿大)	5,225	66,500	79
Itaipu(巴西與巴拉圭)	10,500	135,000	77
Grand Coulee (美國)	2,025	32,400	63
Jupia (巴西)	1,400	33,300	42
Sao Simao (巴西)	2,680	66,000	41
Tucurui (巴西)	6,480	216,000	30
Ilha Solteira (巴西)	3,200	120,000	27
Guri (委內瑞拉)	6,000	328,000	18
Urro II (哥倫比亞)	860	54,000	16
Carbora Bassa (莫三比克)	4,000	380,000	14
Three Gorges (中國大陸)	13,000	110,000	12
Furnas (巴西)	120	135,000	9
Aswan High Dam (埃及)	2,100	40,000	5
Très Marias (巴西)	400	105,200	4
Kariba (辛巴威與尚比亞)	1,500	510,000	3
Sobradinho (巴西)	900	450,000	2
Balbina (巴西)	250	124,000	2
Akosombo (迦納)	833	848,200	1
Brokopondo (蘇利南)	30	150,000	0.2

資料來源：整理自 WWF, 2000

四、能源消費之生態足跡

關於能源消費生態足跡之計算，本研究採取廢棄物吸收的路徑，即以二氧化碳排放量來推估消耗的能量需要多少碳吸收地來維持。根據 IEA 的資料（見表 8），得知 2004 年台灣人均排放二氧化碳的數量為 4.59 公噸；而碳吸收率為每公

噸 1.8 公噸 (Wackernagel & Rees, 1996)，另根據 IPCC (2001) 的研究，海洋吸收的排放量約佔總排放量的三分之一。將上述資料代入該路徑的計算公式後，得出 2004 年台灣能源消費足跡為：

$$4.59 \text{ (公噸/人)} * (1 - 1/3) / 1.8 \text{ (公噸/公頃)} = 1.7 \text{ (全球公頃/人)}$$

表 8 2004 年 CO2 人均排放量 單位：公噸/人

排名	世界平均	1.77
1	卡達	23.24
2	冰島	11.94
3	盧森堡	10.51
4	巴林	10.47
5	科威特	10.21
6	阿拉伯聯合大公國	10.14
7	千里達共和國	8.68
8	加拿大	8.42
9	美國	7.91
10	荷屬安地列斯群島	7.88
11	汶萊	7.36
12	芬蘭	7.29
13	新加坡	6.03
14	挪威	6.02
15	瑞典	6.00
16	沙烏地阿拉伯	5.86
17	澳洲	5.73
18	直布羅陀	5.29
19	台灣	4.59

資料來源：整理自 IEA, 2006

五、產品消費之生態足跡

產品消費的生態足跡計算，本研究延續以往的計算方式，但所根據資料來源，則採用經濟部統計處所出版《93 年工業生產統計年報》的分類：金屬機械工業、資訊電子工業、化學工業及民生工業，並將該類別中之項目，歸納為鋼鐵、機器及機械用具（金屬機械工業）、光學精密儀器及零件（資訊工業）、化學工業及其產品、塑橡膠及其製品（化學工業）、礦物、紡織品及紡織製品、飲料（民

生工業)等八大項,就其以公噸為計量之項目,並採銷售量數據,分別計算其生態足跡。而各項目及總消費之焦耳/公噸轉換率取自 Wackernagel et al. (1997)。

1. 鐵與鋼 41,556,081 (公噸)

鋼與鐵消費焦耳數為:

$$41,556,081 \text{ (公噸)} * 30 \text{ (百萬焦耳/公噸)} = 1,246,682.4 \text{ (十億焦耳)}$$

2. 機器及機械用具 1,263,385 (公噸)

機器及機械用具消費焦耳數為:

$$1,263,385 \text{ (公噸)} * 100 \text{ (百萬焦耳/公噸)} = 126,338.5 \text{ (十億焦耳)}$$

3. 光學、精密儀器及其零件 981,922 (公噸)

光學、精密儀器及其零件消費焦耳數為:

$$981,922 \text{ (公噸)} * 140 \text{ (百萬焦耳/公噸)} = 137,469 \text{ (十億焦耳)}$$

4. 化學及有關工業產品 23,773,776 (公噸)

化學及有關工業產品消費焦耳數為:

$$23,773,776 \text{ (公噸)} * 40 \text{ (百萬焦耳/公噸)} = 950,951 \text{ (十億焦耳)}$$

5. 塑橡膠及其製品 9,964,518 (公噸)

塑橡膠及其製品消費焦耳數為:

$$9,964,518 \text{ (公噸)} * 50 \text{ (百萬焦耳/公噸)} = 498,225.9 \text{ (十億焦耳)}$$

6. 礦物 28,787,934 (公噸)

礦物消費焦耳數為:

$$28,787,934 \text{ (公噸)} * 15 \text{ (百萬焦耳/公噸)} = 431,819 \text{ (十億焦耳)}$$

7. 紡織品及紡織製品 2,379,577 (公噸)

紡織品及紡織製品消費焦耳數為：

$$2,379,577 \text{ (公噸)} * 20 \text{ (百萬焦耳/公噸)} = 47,591.5 \text{ (十億焦耳)}$$

8. 飲料 2,147,008,500 公升

飲料類總消費焦耳數為：

$$2,147,008,500 \text{ (公升)} * 0.3 \text{ (千卡/公升)} * 4,186.8 \text{ (焦耳/千卡)} = 2,697 \text{ (十億焦耳)}$$

總計 2004 年台灣地區工業產品總消費焦耳數為 3,441,774.3 (十億焦耳)，因此 2004 年台灣地區工業產品之生態足跡為：

$$3,441,774.3 \text{ (十億焦耳)} / 22,689,122 \text{ (人)} / 100 \text{ (十億焦耳/每年每公頃)} = 0.002 \text{ (全球公頃/人)}$$

六、總生態足跡

為了使各生產面積之生產力盡可能趨近於事實，本研究分別從 Wackernagel et al. (1999)、Chambers et al. (2000)、Barrett & Simmons (2003)、WWF (2005)、Wackernagel et al. (2005) 及 GFN (2006a) 整理出 1994 年至 2003 年全球所公佈的相關等值因子之轉換率 (表 9)，經由這個計算比例的調整，全球的生物容受力 (biocapacity) 便不會被扭曲，而世界總值經由等值因子調整後，將可更趨近於以真實的物理空間所呈現出來的總量。

表 9 等值因子彙整表

	1995 ^a	1999 ^b	2001 ^c	2001 ^d	2003 ^e	2003 ^f
能源地	1.17	1.1	1.21	1.4	1.35	-
建成地	2.83	2.8	2.19	2.2	2.19	2.21
耕地	2.83	2.8	2.19	2.1	2.19	2.21
牧草地	0.44	0.5	0.48	0.5	0.48	0.49
森林	1.17	1.1	1.38	1.4	1.35	1.34
海洋	0.06	0.2	0.36	0.4	0.36	0.36

資料來源： a. Chambers et al. (2000)； b. Wackernagel et al. (1999)； c. WWF (2005)； d. Wackernagel et al. (2005)； e. Barrett & Simmons (2003)； f. GFN (2006a)

在分別計算出上述五大類之生態足跡後，本研究將其加總，並透過 GFN 所公佈之 2003 年等值因子進行修正（能源地部分因缺乏資料，故採取 Barrett & Simmons 的數據），得出 2004 年台灣的生態足跡如表 10。

表 10 2004 年台灣的生態足跡 單位：全球公頃/人

消費/土地類別	修正前生態足跡	等值因子	修正後生態足跡
農作物/耕地	0.967	2.21	2.137
畜牧/牧草地	1.969	0.49	0.965
水產/漁場	0.051	0.36	0.018
圓材/森林	0.870	1.34	1.166
居住與設施/建成地	0.059	2.21	0.130
水力發電/建成地	0.004	1.0	0.004
能源/森林 (CO ₂ 吸收地)	1.700	1.35	2.295
商品/能源地	0.002	1.35	0.003
總計	5.622		6.718

伍、結論

在以趨近世界共通標準與反映真實足跡的原則下，本研究採取 GFN 所公佈，由 Wackernagel 等人發展的最新生態足跡估算方法，進行 2004 年台灣生態足跡的追蹤。相較於以往之估算架構，本研究所進行之 2004 年台灣生態足跡估算，乃依據 FAO 的統計資料，進行糧食與木材消費項目全球平均生物生產力的更新，並對照 FAO 與農委會糧食年報之統計項目進行項目調整，以確立資料來源的穩定以利於長期追蹤；在建成地項目，就居住與設施部分以耕地生物生產力進行調整，同時加入水力發電足跡之計算。

另在商品消費部分，雖維持原來的計算方式，但評估項目則依據經濟部統計處所出版《工業生產統計年報》之分類統計方式與項目進行調整，其目的亦在於

確保資料來源的穩定性。而變動最大的評估項目為能源消費，本年度以二氧化碳排放量估算其所需之吸收地面積，取代以往對消費石化能源換算重建自然資本所需土地面積的評估。而其所對應的土地使用屬性，亦由能源地變更為森林（二氧化碳吸收地），因為該計算方法的基本假設是，藉由造林需要增加多少生物生產力區域以隔離空氣中的二氧化碳。

這些調整是為了使生態足跡做為永續性軌跡衡量工具的穩定性、可信度與精確度更趨於完備，如此，不僅利於一國進行歷年之追蹤比較，而不至於因為資料來源的不穩定甚或缺乏而導致計算的困難。同時在進行國與國之間的比較時，也能基於相同的比較基準，而減少誤差甚或失真的情況發生。

一、足跡組成

透過新計算方式所呈現的 2004 年台灣生態足跡組成可以發現（表 11），在各項足跡組成的土地屬性中，以森林最高，主要原因為本研究對於能源消費之估算，改採吸收二氧化碳排放所需面積之故。而此一結果也說明台灣做為地球的一員，除關注本國之永續性問題外，必須更致力於降低二氧化碳排放，以共同維護地球的生存與健康。

表 11 2004 年台灣生態足跡—土地使用矩陣

	耕地	牧草地	森林	漁場	建成地	能源地
糧食消費	2.137	0.965		0.018		
木材消費			1.166			
能源消費			2.295			
商品消費						0.003
居住與設施					0.130	
水力發電					0.004	
合計	2.137	0.965	3.461	0.018	0.134	0.003

資料來源：本研究計算整理

值得一提的是，本研究所採用的碳排放資料來源，為 IEA 以 2004 年為基期，於 2006 年發表的統計；在這項統計中，台灣人均 CO₂ 排放量為 4.59 公噸，排名全球 19。但若根據本國經濟部能源局能源產業溫室氣體資訊中心（2006）的研究，2004 年台灣人均 CO₂ 排放量高達 11.64 公噸（表 12），若以這項數據與全世界進行比較，台灣的排名將高居世界第 3，僅次於卡達與冰島。

表 12 台灣歷年 CO₂ 排放情形單位：十公噸 CO₂

	固態燃料	液態燃料	氣態燃料	合計	國際航運	人均排放 (公噸/人)	CO ₂ /GDP (公斤/NT\$)
1980	6,428	57,788	4,119	68,336	1,446	3.84	0.0449
1981	13,475	50,675	3,510	67,660	1,249	3.73	0.0373
1982	15,622	48,444	2,983	67,049	1,528	3.63	0.0346
1983	21,545	49,202	3,094	73,841	2,111	3.94	0.0345
1984	25,585	46,322	3,113	75,020	2,440	3.95	0.0314
1985	27,220	44,316	2,791	74,327	2,475	3.86	0.0294
1986	33,492	47,858	2,543	83,892	3,513	4.31	0.0288
1987	36,428	48,052	2,572	87,051	4,111	4.42	0.0264
1988	41,851	56,428	2,930	101,209	5,055	5.08	0.0281
1989	44,296	64,240	2,967	111,503	6,664	5.55	0.0276
1990	42,657	66,379	4,518	113,554	6,616	5.58	0.0257
1991	46,557	72,824	6,486	125,867	6,536	6.12	0.0255
1992	54,397	72,948	6,958	134,303	8,711	6.47	0.0244
1993	60,223	78,238	6,739	145,200	8,785	6.93	0.0238
1994	63,513	78,872	9,018	151,403	10,009	7.17	0.0227
1995	65,195	87,413	9,458	162,065	11,455	7.61	0.0223
1996	74,177	87,198	9,599	170,975	11,500	7.96	0.0215
1997	84,503	89,183	11,094	184,779	13,043	8.52	0.0215
1998	91,487	91,578	13,706	196,770	14,244	9.00	0.0213
1999	96,159	95,135	13,556	204,850	17,178	9.30	0.0212
2000	111,613	91,714	14,531	217,858	16,430	9.78	0.0217
2001	119,215	97,708	15,694	232,617	12,963	10.38	0.0236
2002	126,853	96,463	18,223	241,538	13,240	10.73	0.0237
2003	136,134	96,266	18,732	251,131	14,635	11.11	0.0243
2004	141,594	100,738	21,802	264,134	13,472	11.64	0.0245
2005	146,580	101,392	22,921	270,893	13,556	11.88	0.0233

資料來源：經濟部能源局能源產業溫室氣體資訊中心，2006

若進一步以這項數據進行能源消費的足跡估算，該項足跡將高達 4.311 全球公噸/人，不僅是以 IEA 數據資料估算的 3.7 倍，甚至高於其他項目足跡的總和，當然也將造成總足跡的大幅擴增。雖然基於共通標準原則，本研究採取 IEA 的統計為估算基準，但從能源產業溫室氣體資訊中心（2006）所發佈的台灣歷年碳排放資料可以發現，碳排放問題一直是台灣非常關鍵卻長期被忽視的環環境問題，1980 年的 3.84 公噸已經是 IEA 統計 2004 年世界人均排放量 1.77 公噸的 2 倍。而在 25 年之間，台灣碳排放量一直呈現成長趨勢，逐年增高，此一趨勢顯

然與國際間呼籲為減緩溫室效應而鼓吹訂定二氧化碳減量目標背道而馳。

此外，事實上，森林的足跡組成是極度被低估的。因為本研究所採取糧食與木材之生物生產力，乃以世界平均值為轉換率，若採國內之生物生產力，糧食項目因無對應的土地資料無法估算，但木材項目以非都市土地中的林業用地編定面積為基準，估算國內木材之生物生產力為 43.578 (公斤/公頃)，遠遠低於世界平均值的 858 (公斤/公頃)，若以國內木材生物生產力估算，木材消費足跡將高達 17.135 公頃/人，而反映在其相對應的土地屬性－森林後，更將強烈說明台灣森林保育的迫切性與重要性。

二、生態赤字

生物容受力是對應於生態足跡的供給面，一個國家的生物容受力是其生物生產力區域的總和，與生態足跡同樣以全球公頃 (global hectares) 為單位表達。每一個國家生物容受力的可持續性，會因技術與管理而有所差別，同時每個生物生產區域又可區分為可接近區域或不可接近的次要區域，而這也會影響生物生產力的估算。較準確的估算方式是，一個地區的活動足跡，與其各自所在的生物生產區域進行比較，以估算在它所屬的邊界與所擁有的當地資源下，人類活動可以維持的程度 (Wackernagel et al., 2005)。換言之，一國生態足跡超出其生物容受力所能承受的範圍，即為其生態赤字。

由於缺乏本國生物生產區域等基礎資料，故無法估算台灣各土地屬性的生物生產力，因此本研究以GFN (2006b) 所進行以2003年為基準年的生物容受力，計算台灣的生態赤字。GFN推估的生物容受力全球平均值為1.8全球公頃/人，高所得國家平均為3.3全球公頃/人。不過仔細分析其容受力估算項目，僅有耕地、牧草地、森林與漁場四個項目，而沒有建成地與能源地，因此本研究在進行比較時，將僅就前四個項目估算台灣的生態赤字 (表13)。

表 13 顯示，在以 2003 年世界平均生物容受力的基準下，2004 年台灣的生態赤字為 4.781 全球公頃/人，其中除漁場項目低於世界平均水準之外，其餘項目皆呈現赤字狀態。即使是與高所得國家相較，台灣的生態赤字狀況依舊嚴重，達 3.281 全球公頃/人，其中尤以耕地與森林項目為甚。若換算成總生態赤字估算，與世界標準相較，2004 年台灣生態赤字達 108,476,692 公頃，相當於 30 個台灣；若與高所得國家平均相較，生態赤字則為 74,443,009 公頃，大於 20 個台灣。此結果說明台灣的消費型態與土地使用方式均處於極不永續的狀態。

表 13 2004 年台灣的生態赤字

	耕地	牧草地	森林	漁場	總計
台灣生態足跡	2.137	0.965	3.461	0.018	6.581
世界平均生物容受力	0.53	0.27	0.78	0.14	1.8
生態赤字 (比較基準：世界)	1.607	0.695	2.681	-0.122	4.781
高所得國家平均生物容受力 ²	1.10	0.19	1.48	0.31	3.3
生態赤字 (比較基準：高所得國家)	1.037	0.775	1.981	-0.292	3.281

資料來源：GFN,2006b, 2003Date；本研究整理

GFN (2006b) 在以所得為分類的生態足跡、生物容受力與生態赤字的計算顯示 (表 14)，所得與生態赤字並非呈現絕對正相關，儘管無可否認的，高所得國家是造成地球負荷的最主要來源，其平均赤字為 3.1 全球公頃/人，總赤字高達 2,962,360,000 全球公頃，但是低所得國家同樣造成 0.1 全球公頃/人的赤字，總赤字高達 2,303,100,000 全球公頃，反倒是中所得國家的平均生物容受力大於生態足跡，其生態赤字為 -0.2 全球公頃/人，這意味著中所得國家的消費型態接近永續，並且相當於提供了 6,023,400,000 全球公頃的生物容受力。此結果正足以說明，無論是高所得所意味的過度消費或者低所得所反映的貧窮問題，都是造成生態不永續的原因，因此要有效控制地球生態惡化，正視並改善全球的貧富差距與不平等發展，是最重要的關鍵之一。

表 14 各所得分類國家的生態赤字

分類	生態足跡	生物容受力	生態赤字
高所得國家	6.4	3.3	3.1
中所得國家	1.9	2.1	-0.2
低所得國家	0.8	0.7	0.1

資料來源：GFN,2006b；本研究整理

² 該統計依所得分類採列舉方式，並無說明明確標準，而其中南韓被分類為高所得國家 (UNSTATS 統計資料，南韓 2003 年人均 GNP 為 12812.94 美元)，因此根據行政院主計處統計台灣該年的人均 GNP 為 13752 美元，故本研究將台灣放在高所得國家群組進行比較。

三、總結

生態足跡的研究應用目前尚屬於發展階段，因此其研究方法與路徑亦不斷在進行調整與修正中，為使這項研究工具應用於台灣永續性的評估更具穩定性、可信度並且能夠與國際接軌，本研究乃嘗試以 GFN 所公佈的最新計算方式，進行 2004 年台灣生態足跡的估算。

就台灣 2004 年生態足跡估計而言，台灣生態足跡為 6.718 全球公頃/人，總生態足跡為 152,425,522 全球公頃，相當於 42.34 個台灣的面積大小，這說明我們目前的消費型態，所挪用的資源遠遠超出自然所能容受的範圍。而此一估算仍是低估的結果，因為若以台灣實際的狀況估算本地的生物生產力與生物容受力，我們所造成的生態足跡與生態赤字將更為驚人。

此外，由於估算方法的調整，本年度研究結果也首次凸顯了台灣二氧化碳排放所造成的足跡壓力。以 IEA 的統計資料為估算基礎的情況下，台灣二氧化碳排放所需之碳吸收地面積達 2.295 全球公頃/人，換算總生態足跡為 52,071,535 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。雖然本研究所估算之 2004 年台灣生態足跡仍不免有低估的問題，但卻提示了在以往計算方式中被隱匿或忽略的，極為關鍵的永續性危機。

參考文獻

- 行政院主計處，〈93 年家庭收支調查報告〉。
- 行政院經建會，〈93 年都市及區域發展統計彙編〉。
- 行政院經濟部能源局，〈93 年能源統計年報〉。
- 行政院經濟部統計處，〈93 年工業生產統計年報〉。
- 行政院經濟部能源局能源產業溫室氣體資訊中心，「能源部門 CO2 排放參考資料」，<http://eigic.estc.tw/index.asp?titlename=home>，(Date:2006/11/12)
- 行政院農業委員會台灣農產品外銷網農產貿易統計查詢系統，<http://agrapp.coa.gov.tw/TS2/TS2Jsp/Index.jsp>，(Date:2006/10/12)
- 行政院農業委員會，〈93 年糧食供需年報〉。
- 行政院農業委員會，〈93 年農業統計年報〉。
- 李永展、陳安琪 (1999)，「應用生態足跡分析探討貿易對永續發展之影響」，〈都市與計劃〉，第 26 卷，第 2 期，第 133-151 頁。
- Barrett, J. & C. Simmons (2003), *An Ecological Footprint of the UK: Providing a Tool to Measure the Sustainability of Local Authorities*, Stockholm Environment Institute.
- Chambers, N., C. Simmons, & M. Wackernagel (2000), *Sharing Nature's Interest*, London: Earthscan.
- FAO (2006a), *Summery of World Food and Agriculture Statistics 2005*.
- FAO (2006b), *The State of Food and Agriculture 2005*.
- FAO (2006c), *FAO Statistical Yearbook 2005/2006*.
- Global Footprint Network, <http://www.footprintnetwork.org/>
- GFN (2006a), *Ecological Footprint and Biocapacity Technical Notes: 2006 Edition*.
- GFN (2006b), *Ecological Footprint and Biocapacity: 2006 Edition*.
- Holden, E. (2004): *Ecological Footprints and Sustainable Urban Form*, *Journal of Housing and the Built Environment* 19 (1): 91-109.
- House, J, Prentice, C, and Le Quéré, C.,(2002), *Maximum impacts of future reforestation or deforestation on atmospheric CO2*. *Global Change Biology* (8): 1047-1052.

IEA (2006), *Keyword Energy Statistics*.

Venetoulis, J & Talberth, J (2005), *Ecological Footprint of Nations: 2005 Update, Sustainability Indicators Program, Redefining Progress*.

Wackernagel, M. & W. Rees (1996), *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on The Earth*, Gabriola Island, BC, Canada: New Society.

Wackernagel, M, L. Onisto, A. C. Linares, I. S. López Falfán, J. M. García, A. I. Suárez Guerrero, & M. G. Suárez Guerrero (1997), *Ecological Footprints of Nations: How Much Nature do They Use - How Much Nature Do They Have Millennium Institute*.
(<http://www.ecouncil.ac.cr/rio/focus/report/english/footprint/>) (date: 2005/6/12).

Wackernagel, M., L. Onisto, P. Bello, A. Callejas Linares, I. S. Lopez Falfan, J. M. Garcia, A.I.S. Guerrero, & M.G.S. Guerrero (1999), *National Natural Capital Accounting with the Ecological Footprint Concept, Ecological Economics*, 29: 375-390.

Wackernagel, M. L., Monfreda, C., Moran, D., Wermer, P., Goldfinger, S., Deumling, D., Murray, M., (2005), *National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method*, GFN.

WWF (2005), *EUROPE 2005: The Ecological Footprint*, WWF.

WWF (2000), *A Place for Dams in the 21st Century?* Gland, Switzerland.