

本文章已註冊DOI數位物件識別碼

▶ 台中都會區都市永續性之衡量－生態足跡分析法之應用

A Measurement of Taichung Metropolitan Area's Urban Sustainability: Using Ecological Footprint Analysis

doi:10.6154/JBP.2001.10.001

建築與城鄉研究學報, (10), 2001

Journal of Building and Planning, (10), 2001

作者/Author：李永展(Yung-Jaan Lee);陳安琪(An-Chi Chen)

頁數/Page：1-17

出版日期/Publication Date：2001/12

引用本篇文獻時，請提供DOI資訊，並透過DOI永久網址取得最正確的書目資訊。

To cite this Article, please include the DOI name in your reference data.

請使用本篇文獻DOI永久網址進行連結:

To link to this Article:

<http://dx.doi.org/10.6154/JBP.2001.10.001>



DOI Enhanced

DOI是數位物件識別碼（Digital Object Identifier, DOI）的簡稱，是這篇文章在網路上的唯一識別碼，用於永久連結及引用該篇文章。

若想得知更多DOI使用資訊，

請參考 <http://doi.airiti.com>

For more information,

Please see: <http://doi.airiti.com>

請往下捲動至下一頁，開始閱讀本篇文獻

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE





EJ088200100001

《國立臺灣大學建築與城鄉研究學報》

第十期 民國九十年十二月 研究論文 第1頁~17頁

Journal of Building and Planning National Taiwan University

NUMBER 10, Dec. 2001, RESEARCH. pp. 1-17

台中都會區都市永續性之衡量－生態足跡分析法之應用

李永展* 陳安琪**

A Measurement of Taichung Metropolitan Area's Urban Sustainability: Using Ecological Footprint Analysis

by

Yung-Jaan Lee* An-Chi Chen**

摘要

都市永續性的衡量通常以永續發展定義為基礎，而評量永續發展的測量尺度通常以列舉永續發展原則為主，對執行上之定義及落實層面的討論則較少有一致性，這個理由造成落實永續發展原則的疑慮，本文以建構在永續性軌跡評估上的策略建議，直接挑戰永續發展在執行面的一致性。

生態足跡模型為William E. Rees與Mathis Wackernagel於1994年提出之評估永續發展工具，該模型的特色在於利用計算特定區域人口消費行為轉換為每人消耗之土地面積，討論消費行為是否超過每人應得之生態標竿，並對該地造成生態上不可回復的損害。儘管生態足跡分析在人類消費行為與生態生產力土地分類及利用單一資料值判定是否超過永續發展的生態容受上尚存爭議，但站在維持資源存量不變的強永續性定義下，生態足跡分析的確可以提供政策制定之充分資料，長期間之觀察並可直接衡量永續性軌跡的脈絡。

建構在生態足跡理論之基礎下，本文以台中都會區作為研究對象，計算台中都會區自1988年至1997年間之生態足跡、生態標竿及生態赤字，以此資料值分析台中都會區10年來永續性軌跡的變化。本文的第一部份討論都市永續性的定義及落實政策執行面一致的永續性策略；第二部份說明生態足跡分析與都市永續性之關係，並運用生態足跡分析模型修正都市永續性的評估結果；第三部份為台中都會區10年來生態足跡、生態標竿及生態赤字的計算結果；第四部份衡量台中都會區10年來永續性軌跡變化之情形；最後一部份則為結語。

關鍵詞：永續發展、永續性軌跡、生態足跡、生態赤字。

民國88年4月25日收稿。民國88年6月7日通過。

* 立德管理學院地區發展及管理研究所教授

** 國立政治大學地政學系碩士班研究生

* Professor, Department of Land Economics, National Chengchi University, Taipei, Taiwan.

E-mail: yjlee@nccu.edu.tw Tel: (02) 29387420 Fax: (02)29390251

ABSTRACT

The measurement of urban sustainability has always been based on the definition of sustainable development and the evaluation of sustainability has usually only listed sustainable development principles without further elaboration. Furthermore, the exploration regarding the implementation of sustainable development is lack of consistency, which casts doubts on the feasibility of sustainable development principles. Based on the measurement of urban sustainability, this article proposes policy recommendations to challenge the consistency of implementing sustainable development.

The Ecological Footprint (EF) analysis was proposed by William E. Rees and Mathis Wackernagel in 1994. The characteristic of the EF analysis is to calculate average consumption behavior in a certain area and to transform the consumption behavior to land areas per person. By doing so, land areas consumed by each person can be calculated to see whether the land areas used exceed the average land areas available to each person (i.e. ecological benchmark) and whether they have caused irreversible damages to the environment. Although there exists debates regarding the land classification system and the single data indicator, the EF analysis still provides useful insights to help proposing policy strategies based on the strong sustainability definition. A long-term observation of the EF analysis can provide further the trend of sustainability of a certain area.

Using the EF analysis as the theoretical foundation, this article calculates the ecological footprint, ecological benchmark, and ecological deficit in Taichung metropolitan area from 1988 to 1997. Section 1 discusses the definition of urban sustainability and strategies for implementation. Section 2 explores the relationships between the EF analysis and urban sustainability and uses the EF analysis to measure urban sustainability. Section 3 is the result of the ecological footprint, ecological benchmark, and ecological deficit in Taichung metropolitan area. Section 4 examines the sustainability trend from 1988 to 1997. The last section is the conclusion.

Keywords: sustainable development, sustainability trend, ecological footprint, ecological deficit, urban sustainability

一、都市永續性之界定

界定都市永續與否須以永續發展之定義為基礎，一般評量永續發展的測量尺度通常以列舉永續發展原則為主，而對於執行上之定義及落實層面的討論則較少有一致性 (Smith et al., 1998)。在《我們共同的未來》(Our Common Future)一書中指出都市地區對全球環境變遷的重要性後，Nijkamp (1990)認為所謂永續都市是一個都市長期增進其都市系統功能，具有改變社會、經濟、人口及技術產品水準的潛力，雖然在演進中展現多變的安定或不安定及無常的跳動，但可確保都市系統的長期運作。OECD (1990)進一步指出永續都市的兩個原則：

1. 機能及自我調節成長原則 (the principle of functional and self regulatory growth)；
2. 最小廢棄物原則 (the principle of minimum waste)。

前者認為都市是一個完整的個體，因此衡量永續性應重新評量都市內各部門對經濟成長的淨貢獻，藉由回饋系統的建立評估經濟成長的軌跡；後者則認為並非將有效率的物質回收機制納入自然生態系統，並改變生產者完全忽略廢棄物產生應負責任即為達成永續都市之方法。此外，西雅圖綜合計畫 (Sustainable Seattle, 1994)則提供了相對可落實的永續都市原則，並認為永續都市是有效率的使用資源，並提供一個物質及經濟安全公平的分配資源及利益，平衡成長及復原力的需求，並謹慎的使用現有資源。

而在各種評估都市永續性的評量原則出現後不難發現，這些原則均需依賴相當明確的定義及指標的選取方能確實衡量永續性；儘管永續發展的觀念在概念上相當不容易執行，且在實際執行層面缺乏一致性，但仍有一些相當好的基本主張可以提供。歐洲委員會 (European Commission)便對永續都市的永續性落實方法提出了明確的定義及策略；永續發展有許多可供落實的特徵作為政策制訂之指導，分別為 (參閱 Expert Group on the Urban Environment, 1996；陳安琪、李永展, 1999)：

1. 環境限制

人類正在破壞或正冒險破壞一些重要的環境容受力限制，由於這些容受力限制很難定義，物理生態系統潛在危機的避免必須在決策過程中有一個替代的比重，而這個預警原則的建立正是容受力限制制訂的標準。環境本身即為特定人類活動 (包括所有資源使用、廢棄物吸收及維持人類生活必須等形式) 訂定門檻；這些資源本質上對人類極具價值，因此不應被用來與特定的發展利益或特定活動交易。

2. 需求管理

英國的環境政策在預測道路交通需求及預測興建道路需求方面已經行之有年；而這個「預報」(predict)及「供應」(provide)方法正因為與需求管理相對立，在1994年英國環境污染皇家協會 (United Kingdom Royal Commission on Environmental Pollution) 第18年年報中被否決；但它現在

仍是歐洲及北美機場規劃的基礎。需求管理包含相當多對基本目標微妙的規劃而非針對衍伸需求；因此它可能藉由多種保育及資源測量減少能源消費替代興建新電廠。

3. 環境效率

許多商業與政府活動並不具備環境知覺，而所制訂的政策也相對無效率(Welford & Starkey, 1996; Berman, 1996)；根據歐洲社區委員會(Commission of the European Communities)的環境效率準則(Expert Group on the Urban Environment, 1996)的定義，所謂環境效率即為單位資源與廢棄物產出利益達到的最大值，也就是所謂的「乘數四」(Factor Four)。

4. 福利效率

環境議題一向無法與社會議題分離；福利效率需要足以滿足生活型態可能性的社會經濟系統；它同時也需要更多機會的建成環境，讓地理空間不至於透過大量的石油能源支出而被「效率」嚴格的劃分及分類。

5. 公平

窮人是最容易被環境問題影響的族群，卻又最沒有能力去解決，而環境政策則有潛力可以明顯的改善生活品質、健康及工作；已發展國家的有錢人不可能選擇居住在化學工廠的隔壁，然而一些貧窮的人卻很少有機會選擇居住區位，有錢人的居住偏好常常成為環境品質的指標。然而，如果無法將逐漸增加的能源及物質使用及所造成的環境災害配置完善，「福利」本身卻也變為一個環境及永續性問題。考量公平問題的時必須與未來世代的永續性知覺一起考量，即使一些短淺的概念認為永續性即是每一世代對社會公平的關懷，我們必須將公平問題定義在世代間對社會公平的關懷。

另一方面，在使用這些相對指標或準則的同時，不難發現其度量標準常難有一般性且一致的比較基礎，正如上述所言，這些原則是一些立意良好的「基本主張」，然而界定永續性與否卻更需要直接且明確的標的，「生態足跡分析」(ecological footprint analysis)建立在特定地區人口對生態環境造成衝擊之估計，並提供橫斷面(區域間)及縱斷面(時間數列)分析的利基。

二、利用生態足跡分析衡量都市永續性

生態足跡假設每一種物質消費與廢棄物產量皆需某特定土地或水域面積加以涵容，因此加總某特定地區人口消費或處理廢棄物所需的土地面積，即代表了這些人口產生的負荷，亦即其生態足跡(參閱Wackernagel & Rees,

1996; Wackernagel et al., 1997; 李永展、陳安琪, 1998; 陳安琪、李永展, 1999)；換句話說，所謂負荷並非僅是人口的函數，也是每人平均消費的函數。另一方面，進步的發展快速，使得平均每人消費速率相對於人口成長快速，由這個趨勢看來，人類如同其他物種一般，其基本需求及所需物品皆需仰賴自然界的供給，儘管科技、經濟的成就非凡，人類消費行為所產生的物質都將以廢棄物的形式回流至生物圈。但更甚於其他物種的是人類的消費模式並非單純的從生物學觀點即可加以釐清，由於科技及貿易的影響，生物新陳代謝加諸於人類的負荷將透過產業的新陳代謝更形擴大，尤其在高度工業化的國家，物質消費程度與形式更受到消費主義文化的鼓舞，而形成毫無節制的消費，甚至浪費(參閱李永展、陳安琪, 1998; 李永展, 1997; Rees, 1996)。而為達到永續性，必在公共支出及個人消費模式上進行相當困難的選擇，生態足跡分析方式可以解釋都市環境所需藉以維持資源消費的生產力土地的量。

生態足跡分析的計算主要分為兩大部分，第一部份是由某一特定地區人口消費行為轉換為土地面積組成的生態足跡部份，亦即上述理論內容所稱部份，另一部份則是生態標竿部份，生態標竿的計算是由某一地區既有生態生產力土地面積組合而成；至於生態生產力土地面積的分類與計算雖有爭議，但依Wackernagel & Rees(1996)的研究及其後包括Wackernagel et al.(1997, 1998)對全球52個聯合國會員國進行的研究方式發現，目前生態足跡分析使用包括海洋、森林、耕地、牧草地、建成地及化石能源地在內的六種生態生產力土地是較適合作為區域性的比較分類方式，但本研究認為若進行時間序列分析並預期生態足跡分析的作用不只是作為「記錄」永續發展過程的功能，而仍應包括「管理」的功能在內的話，則應就生態生產力土地分類方式進行討論。在仍未對生態生產力土地分類方式討論的情形下，本研究則先以目前較無疑慮的六種生態生產力土地分類進行台中都會區的計算。(註1)

生態足跡分析方式可以應用到國家、區域、都市、家計單位、甚至個人的生態足跡的計算。而在過去實證研究上，生態足跡已經進行全球53個國家(Wackernagel & Rees, 1996; 李永展、陳安琪, 1998)、倫敦(Sustainable London Trust, 1996)、聖地牙哥(Wackernagel, 1998)、台北市(Lee & Chen, 1998)等都市及家計單位(Wackernagel & Richardson, 1998)的計算。在全球或是國家尺度上，生態足跡的研究，著重於比較各國對於生態容受力的消費或者透過貿易挪用生態容受力的分析；在都市尺度上，則是用以檢測與國家平均值的對比或是作為永續性策略之評估；而在家計單位尺度上，則是經由計算或簡單調查表來檢視個別消費、比較消費的選擇過程與漸增消費項目的影響。本研究則是希望透過台中都會區生態足

跡之實證研究，找出都會區永續發展之影響因子，並以此為基礎，提供都市發展政策研擬之參考。

就都市化工業國家而言，以Wackernagel & Rees (1996)對都市化工業國家生態足跡進行試算的結果發現，大多數高度都市化的工業化國家，都存在較行政區界的永續性自然所得高出大規模的生態赤字(表1)；其中表1的最後兩欄代表每人生態赤字的粗估。

這些資料可以給目前世界發展模型一個合理的解釋；例如，日本與荷蘭在貨幣表現方式上都在貿易及經常帳上處於順差，而人口也都快速的成長；這類屬於高人口密度，自然資本卻相對缺乏的國家，卻皆被認為在經濟上相當成功，而成為發展中國家發展的表率，使得發展中國家紛紛仿效其開發方式。

這種在固定及貨幣帳面上的經濟成功故事中最大的對比便在於造成了發展困難的問題，而這些國家主要的永續性政策走向都是「經濟成長」。生態赤字是一種實質上的赤字，而全球永續性也不可能成為另一類型的財政性赤字(deficit-financed)；簡單的物理證明所有的國家與區域都不可能變成生態容量的輸入者。的確，在高所得國家目前享受的高物質生活水準的情形下，世界人口在使用既存的優越技術下要永續性的擴張是不可能的；要達到這樣一個相對最現代的目標可能需要相當於增加兩個地球的資源才夠；另外一個解釋的方式為世界上最富有的五分之一或四分之一的人口已經使用了地球上全部長期的容受力(參閱Lee & Chen, 1998)。

上述解釋說明了全球化、貿易及南北半球(或城鄉、貧富)間對生態及社會衝擊關係的新觀念；多數富有及高物質消費水準的都市化工業國家的人民都相當滿足現狀，

這是因為這些國家對自然資本的開採(有時候是償付)並非單純的僅在自己國家境內，而常常是在其以前的殖民地。這代表從發展中國家的商品輸入對永續發展及維持都市化的北半球之「先進經濟體」內在制約所必須的。然而，人類企業持續不斷的擴張也形成「(全球)自然資源(系統)能趨疲(entropy)的淨成長及傳統社會架構的解體」之支出(Hornborg, 1992a, b)。這類型的「殖民主義」強迫性境外容受力的使用與上述現象是息息相關的，但現在國家的「經濟購買力」也得到了相同的資源流量(註2)；換言之，居住領土的取得現在也可以經由商業方式得到(Rees & Wackernagel, 1994；陳安琪、李永展, 1999)。

Rees (1996)定義「都市生態足跡」為「足以作為提供都市居民糧食作物、木材生長及二氧化碳排放再吸收的用地」；在這個定義下永續倫敦信託公司(Sustainable London Trust)曾於1996年計算倫敦的生態足跡面積，結果發現倫敦的生態足跡為5,000萬公頃，相當於倫敦面積400,000公頃的125倍，並接近於大不列顛全部的生產力土地面積；而值得注意的是這個生態足跡值還是一個低估的量，表2為倫敦的新陳代謝表。此外，國家與都市計算方式的差異主要在於地區消費行為的不同，亦即產生必須進行計算項目的調整。(註3)

此外，以加拿大為例，加拿大是世界上福利最好的國家之一，它的公民在任何評量指標中都被評定享有非常高的物質生活標準；的確，Rees (1996)對加拿大所做的生態足跡分析中也指出，平均每一個加拿大人為支持1996年當時的消費水準下所需要的總面積至少為4.3公頃，包括2.3公頃單獨作為二氧化碳光合作用之土地(Wackernagel & Rees, 1996)；然而，這已經將近超過加拿大人1.5公頃的

表1 都市化工業國家之生態赤字

國家	生態生產力土地a(公頃)	人口b(1995)	平均每人生態生產力土地(公頃)c=a/b	生態足跡d(公頃/每人)	國家生態赤字	
					(公頃)e=d-c	(%)f=e/c
日本	30,354,000	125,672,000	0.24	4.3	4.06	16.92
比利時	2,398,000	10,174,000	0.24	5.0	4.76	19.83
英國	19,978,000	58,587,000	0.34	5.2	4.86	14.29
法國	45,204,000	58,433,000	0.77	4.1	3.33	4.32
德國	27,983,000	81,845,000	0.34	5.3	4.96	14.59
荷蘭	1,430,000	45,697,000	0.03	5.3	5.27	175.67
瑞士	31,352,000	7,332,000	0.40	5.0	4.6	11.50
加拿大	456,745,000	30,101,000	15.17	7.7	-7.47	-0.49
美國	713,348,000	268,189,000	2.66	10.3	7.64	2.87

資料來源：修正自Wackernagel & Rees, 1995；Rees, 1996；Wackernagel et al., 1998；其中生態生產力土地意指永久性牧草地、可耕地、森林、及木材地，資料來源自WRI (World Resources Institute), 1992，而半乾燥的草地、沙漠、冰原等則不包括在內；生態足跡資料則來自Wackernagel et al., 1998。

表2 倫敦都會區新陳代謝表

資源	平均產出(百萬噸)
石油	20.0
氧氣	40.0
水	1002
食物	2.4
木材	1.2
紙	2.2
塑膠	2.1
玻璃	0.36
水泥	1.94
磚、砂及柏油	6.0
金屬	1.2
平均產出(廢棄物)(百萬噸)	
工業及毀壞之廢棄物	11.4
家庭、公民及商業廢棄物	3.9
污泥、污水	7.5
二氧化碳	60.0
二氧化硫	0.4
氧化氮	0.28

資料來源：Sustainable London Trust, 1996

公平地球分配量(fair earthshare)的3倍。

若將這個值套用到加拿大溫哥華則可發現(1991年溫哥華的人口為472,000，土地面積為11,400公頃)，在假設平均每年土地消費量4.3公頃下，溫哥華472,000的人口總共需要大約2,000,000公頃的土地以維持當時溫哥華的消費水準(這是假設土地在永續性使用下之情形)；然而，溫哥華的土地面積僅有11,400公頃，這也意味著溫哥華的都市人口需要行政面積將近180倍的生產力土地面積產出來維持當地當時的生活型態。而如果我們將都市的海洋足跡(大約是平均每人0.7公頃的海產消費)也加入生態足跡計算，發現維持溫哥華人口的總面積將變為2,360,000公頃，亦即超過溫哥華行政面積的200倍。

使用相同的分析方法，在其他現代化城市也得到類似的結果，Folke et al. (1994)的報告指出，波羅的海海域29個城市居民木材、紙類、纖維及食物(包括海產)消費的生態足跡也大於本身都市面積的200倍(這個研究將海洋生產納入陸地產出，但沒有計算能源土地內容)。這些研究的重點並非在於都市代表全球物質及能源移動的持續下降，而是都市並未對本身造成的巨大單向循環流量(one way flows into circular flows)或封閉迴路系統(closed loop systems)做過些許努力(陳安琪、李永展，1999)；甚至在Ghosh (1996)對印度東北部的加爾各達所做的研究中發現，這個城市的循環系統已經由循環、準封閉迴路系統轉

變成線性系統(亦即線性新陳代謝)。

在Wackernagel et al. (1998)及Wackernagel & Rees (1996)所做的生態足跡研究中發現(見表3及表4)，北美地區的消費水準代表著歷史上從未出現的全球資源退縮；該地區所有生活型態的消費方式及都市環境的設計方式皆是不永續的，這全是由於這些生活型態的消費方式無法由地球上其他地區的居民所取得。而高消費水準亦與廢棄物及污染有著極大的關係(WRI, 1996)，高消費水準造成的健康問題及全球溫度及氣候的改變影響著全世界，這將有可能觸發無法彌補的氣候改變及超過環境容受限制(陳安琪、李永展，1999)。生態足跡的現實性即建議已發展國家的過度消費需與發展中國家過低消費的部份平衡。

三、台中都會區生態足跡估計

理論上，某地區人口的生態足跡大小是經由計算在持續基礎下生產所有消費物品與廢棄物所需的土地及水域面積，但當我們嘗試將所有消費項目、廢棄物類型甚至生態系統包括進去時發現，這需要極為龐大的資料處理工作(Wackernagel & Rees, 1996)，當然如果我們在可取得所有消費、廢棄物及生態系統資訊的情形下，這種計算方式是非常精準的；然而，衡量現實狀況，當我們在計算一個較大區域(一個國家甚至區域聯盟)時，這些資訊的取得本身就變得不精確，更常面臨的問題是在比較多個地區的生態足跡時，各地區的資訊取得狀況並不統一。

有鑑於此，使用簡化的方式計算一個較大範圍的生態足跡是有必要的(Wackernagel & Rees, 1996)：

1. 假設目前產業的生產量(農業、林業等)是永續性的。
2. 僅包括自然界的基本服務，一旦估算愈來愈精確，其他的自然機能再包括進來。
3. 如果一塊土地同時提供兩種以上的服務，應盡量避免重複計算。
4. 利用較簡單的生態生產力分類方法。

當然以上的假設也對計算結果產生一些影響，包括可能被批評未考慮生物物理維生服務的雜異度，尤其是與土地有關的可再生資源生產直接相關的服務；不過基於下列理由，這些假設並不致於削減生態足跡的概念價值：理論與模型不可能包括所有面向，而必定是簡化的形式，但至少意味模型亦是真實世界的說明。

區域性生態足跡的估計受限於資料取得的困難，通常採取較變通的方式為之，因此依據Wackernagel等人於1998年針對智利首都聖地牙哥都會區所做的研究，將上述生態足跡計算項目調整為三大部份，包括糧食及木材消費、能源消費、及日常用品消費等分類，這些分類並不會

表3 52國生態足跡計算表

單位：公頃／人

國家	人口(1997)	生態足跡	可取得的生態生產力	生態赤字
阿根廷	35,405,000	3.9	4.6	-0.7
澳洲	18,550,000	9.0	14.0	-5.0
奧地利	8,053,000	4.1	3.1	1.0
孟加拉	125,898,000	0.5	0.3	0.2
比利時	10,174,000	5.0	1.2	3.8
巴西	167,046,000	3.1	6.7	-3.6
加拿大	30,101,000	7.7	9.6	-1.9
智利	14,691,000	2.5	3.2	-0.7
中國	1,247,315,000	1.2	0.8	0.4
哥倫比亞	36,200,000	2.0	4.1	-2.1
哥斯大黎加	3,575,000	2.5	2.5	0.0
捷克	10,311,000	4.5	4.0	0.5
丹麥	5,194,000	5.9	5.2	0.7
埃及	65,445,000	1.2	0.2	1.0
衣索比亞	58,414,000	0.8	0.5	0.3
芬蘭	5,194,000	6.0	8.6	-2.6
法國	58,433,000	4.1	4.2	-0.1
德國	81,845,000	5.3	1.9	3.4
希臘	10,512,000	4.1	1.5	2.6
香港	5,913,000	5.1	0.0	5.1
匈牙利	10,037,000	3.1	2.1	1.0
冰島	274,000	7.4	21.7	-14.3
印度	970,230,000	0.8	0.5	0.3
印尼	203,631,000	1.4	2.6	-1.2
愛爾蘭	6,577,000	5.9	6.5	-0.6
以色列	5,854,000	3.4	0.3	3.1
義大利	57,247,000	4.2	1.3	2.9
日本	125,672,000	4.3	0.9	3.4
約旦	5,849,000	1.9	0.1	1.8
南韓	45,864,000	3.4	0.5	2.9
馬來西亞	21,018,000	3.3	3.7	-0.4
墨西哥	97,245,000	2.6	1.4	1.2
荷蘭	15,697,000	5.3	1.7	3.6
紐西蘭	3,654,000	7.6	20.4	-12.8
奈及利亞	118,369,000	1.5	0.6	0.9
挪威	4,375,000	6.2	6.3	-0.1
巴基斯坦	148,686,000	0.8	0.5	0.3
秘魯	24,691,000	1.6	7.7	-6.1
菲律賓	70,375,000	1.5	0.9	-0.6
波蘭	38,521,000	4.1	2.0	2.1
葡萄牙	9,814,000	3.8	2.9	0.9
俄羅斯	146,381,000	6.0	3.7	2.3
新加坡	2,899,000	6.9	0.1	6.8
南非	43,325,000	3.2	1.3	1.9
西班牙	39,729,000	3.8	2.2	1.6
瑞典	8,862,000	5.9	7.0	-1.1
瑞士	7,332,000	5.0	1.8	3.2
泰國	60,046,000	1.2	1.2	1.6
土耳其	64,293,000	1.3	1.3	0.8
英國	58,587,000	1.7	1.7	3.5
美國	268,189,000	10.3	6.7	3.6
委內瑞拉	22,777,000	2.7	2.7	1.1
世界平均	5,892,480,000	2.8	2.1	0.7

資料來源：修正自Wackernagel, 1998

表4 消費水準比較表

每人平均消費	加拿大	美國	印度	世界平均
二氧化碳(噸/每年)	15.2	19.5	0.81	4.2
每百人汽車擁有量	46	57	0.2	10
紙類消費(公斤/每年)	247	317	2	44
化石能源使用(GJ/每年)	250	287	5	56
水(立方公尺/每年)	1668	1868	612	644
生態足跡(公頃/每年)	7.7	10.3	0.8	2.8

資料來源：修正自Wackernagel & Rees, 1996及Wackernagel et al., 1998

改變將消費行為歸納於六大分類土地的結果。

(一) 台中都會區生態足跡計算項目之調整

在糧食及木材消費中假設都會區人口對於此項目的消費習慣並未因地區而有差別，加上資料取得的困難，因此這個項目的計算以智利全國統計平均值替代；運用在台中都會區生態足跡計算，由於可取得台中都會區糧食作物生產量資料，因此以台中都會區本身生產量及生產力作為依據，至於進出口部份則由台灣地區全國平均值替代，在計算台中都會區消費量時，則以假設地區性對糧食及木材消費部份並無不同，因此將全國進出口資料透過人口比例修正為台中都會區消費資料，生產量及生產力資料則以台中都會區資料為主，計算項目如表5所述。

能源消費估計方面則依能源型式不同分類為化石能源、化石能源產生之電力及水力發電等型式的能源消費項目；至於日常用品消費部份則依實際調查狀況計算(見表6)。能源與日常用品消費部份的計算方式則以全國資料替代，其假設前提亦與前項相同，但由於各地區消費能力因地區而不同，因此在全國資料修正為台中都會區資料部份則以家庭收支調查之家庭支出部份(資料來源為行政院主計處及台中市、台中縣政府主計處)作為修正因子，修正為台中都會區資料。

(二) 生態足跡計算過程

要衡量某個特定人口的生態足跡是一個多重的過程，基本的操作方式可簡述如下(參閱Wackernagel & Rees, 1996; 李永展, 1997)：

首先，針對某個特定項目，將區域或全國的總值除以人口數來計算每人平均的年消費量，這個作法比直接衡量每人或家庭平均消費量來得容易。大多數這類資料可以很快地從全國統計要覽取得，例如能源、食物、森林製品及消費等。至於許多其他的類別，利用全國性的統計資料，再經由以下的計算式便可提供生產及貿易的數字：

經過貿易修正的消費 = 生產 + 進口 - 出口

接下來計算為了生產各種主要消費項目(i)每人平均所挪

用的土地面積(aa)，計算的方式是將每人對上述計算所得的項目之年平均消費(c，以公斤/人為計算單位)除以其每年平均生產力或收穫(p，以公斤/公頃為計算單位)：

$$aai = ci / pi$$

由此式我們可加總每人每年所購買的所有消費物品及服務的總生態面積，來計算每人平均總生態足跡(ef)：

$$ef = \sum_{i=1}^n aai$$

最後，將每人平均總生態足跡(ef)乘以人口規模(N)便可以得到某個特定地區人口之生態足跡(EFp)：

$$EFp = N(ef)$$

在某些情況下，如果總面積可以從全國統計資料取得，那麼便可以將該數值除以人口數而得到每人平均生態足跡的資料。

大多數的生態足跡計算是建構在全國平均消費及世界平均土地收穫量上，這是幫助不同區域或國家進行「一般情況」比較的標準過程(對愈來愈多國家依賴跨國的貿易流量及挪用全球資源的情況來看，這也是相當實際的作法)。然而，就更複雜或詳細的分析而言，計算生態足跡時應該將其分析建構在區域或地方消費及生產的統計上。如果有足夠的資料，縣市政府、家計單位、甚至個人的生態足跡都可以計算出來，例如，我們可以發現地方生態足跡和全國平均消費及全球生產力的比較非常有意思。這種比較反應了消費類型、生產力及管理方式的區域變化對地方生態足跡大小的影響，也可以幫助辨識並去除資料的差距、錯誤及不合理的計算。

建立在上述生態足跡理論計算項目下進行1988年至1997年台中都會區之生態足跡計算，主要資料來源皆取自政府部門公佈之統計資料，部份資料因統計部門缺乏相關資料及分類方式之不同，故以估計方式替代，茲分述如下：

1. 糧食及木材消費部份

糧食及木材消費部份之糧食生產資料取自台灣省農林廳出版之各年度「台灣農業年報」及台灣省政府糧食處出版

表5 台中都會區糧食及木材消費計算項目表

土地與海洋面積計算								
分類	生產力	生產量	進口	進口	出口	出口	消費量	足跡組成
不指定單位	[kg/ha]	[t]	[1000\$]	[t]	[1000\$]	[t]	[t]	[ha/cap]
牛								牧草地
豬								耕地
羊								牧草地
家禽、肉類及雜碎								耕地
· · 牛奶								牧草地
· · 乳酪								牧草地
· · 奶油								牧草地
· 海洋的魚								海洋
· 穀類								
稻米								耕地
其他稻穀類								耕地
· 動物飼料								耕地
· 蔬菜及水果								
· · 蔬菜等								耕地
· · 新鮮水果								耕地
薯類								耕地
· 豆類								耕地
茶								耕地
· 可可亞								耕地
· 糖								耕地
· 種子油(包括醬油)								耕地
木材								森林
土地與海洋面積計算								
其他作物								
· 煙草								耕地
· 棉花								耕地
· 黃麻								耕地
· 橡皮								耕地
· 羊毛								牧草地
· 皮革、獸皮								牧草地

資料來源：本研究整理

表6 台中都會區日常用品消費計算項目表

分類	能源密度	進口	出口	淨輸入	蘊藏能源淨輸入
含酒精飲料					
紙漿及廢紙					
礦物及礦物性肥料、粗料(煤、石油及寶石除外)					
金屬礦及碎屑					
有機化學品					
染料、硝料及色料					
醫藥品					

表6 台中都會區日常用品消費計算項目表(續)

分類	能源密度	進口	出口	淨輸入	蘊藏能源淨輸入
精油及香料、化妝、擦亮及清洗製品					
未列名橡膠製品					
紙、紙板及紙漿或紙板製品					
紗布、紡織製成品及未列名紡織有關產品					
鋼鐵					
未列名金屬製品					
動力機械及設備					
特殊工業之專用機械					
金工工具機					
辦公室機械及自動處理資料設備					
電訊錄音及複製之器具及設備					
未列名電力機械、儀器與器具及其零件 (包括與非用電者相對之未列名家用電器設備)					
道路機動車輛(包括氣墊車輛)					
其他運輸設備					
成衣及服飾品					
鞋類					
未列名專業用、科學用及控制用儀器及器具					
未列名攝影用器具及配件與未列名光學用品、錶、鐘					
未列名雜項製品					
未列名商品及交易					

資料來源：本研究整理

之各年度「台灣糧食統計要覽」，農業貿易進出口統計部份則以行政院農業委員會統計室出版之各年度「農產貿易統計要覽」作為資料來源；其中魚類消費部份則以農業委員會統計之「每人每年糧食可供消費量」替代。至於木材及林業消費部份之生產及進出口資料則以台灣省農林廳出版之各年度「台灣農業年報」及台灣省林務局編印之「台灣省林業統計」為主。

各項目的生產量及生產力資料原則上以上述各單位出版之統計資料為主，而部份項目因台灣地區並無統計相關之生產力資料(包括牛、羊、豬、皮革等)，故以Wackernagel等人於1998年進行智利首都聖地牙哥都會區生態足跡計算之全球生產力資料為主；此外由於地區性因素無法進行進出口資料分析，因此計算生態足跡之同時將以全國性進出口資料作為修正為台中都會區進出口資料的基準，其修正方式即假設每人平均消費糧食及木材之量並不因地區性而有差異；因此將全國性消費以全國與台中都會區人口比例進行修正，並代入台中都會區之生產力及生產量資料，得到台中都會區糧食及木材消費之生態足跡。

2. 日常用品消費部份

日常用品消費部份之計算因無法取得地區性進出口資

料，故以全國進出口資料替代，台灣地區負責進出口貿易資料統計之單位由財政部貿易與關稅總局負責，本研究將所有貨物資料以「國際貨物標準分類」作為分類基準，與Wackernagel等人進行智利首都聖地牙哥生態足跡計算之分類方式相當。生態足跡換算土地面積之轉換單位為消費之重量，因此資料取得亦必須以重量單位為準，惟台灣地區海關進出口資料之統計於1989年起已將原本統計量與值之「台灣地區進出口統計」改變為以值為單位「台灣地區進口統計」與「台灣地區出口統計」，無法直接取得進出口重量資料，因此本研究以關稅總局統計之進出口金額資料為主，透過關稅總局之「台灣地區進出口物價指數」調整，將各年度進出口資料調整為重量資料。

3. 能源消費部份

台灣地區能源消費資料取自行政院能源委員會統計之「台灣地區能源統計月報」及「能源統計年報」之台灣地區能源消費資料，並以其單位為公秉當量資料以台灣地區能源平衡表換算為焦耳，再透過轉換率轉換為生態足跡；其中本研究引用之轉換率資料因國內並無進行相關研究，故取自Wackernagel(1998)之特定能源足跡全球平均值；計算項目依台灣地區能源月報統計之分類項目，包括煤及其

表7 台中都會歷年生態足跡變化

單位：公頃／每人

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
化石能源地	3.3100	2.6350	2.7040	2.3720	2.7420	2.8400	2.8230	3.2520	3.0850	3.2560
建成地	0.0220	0.0220	0.0230	0.0210	0.0220	0.0220	0.0210	0.0210	0.0220	0.0210
耕地	0.8650	0.8650	0.7710	0.7810	0.7630	0.7880	0.7890	0.7630	0.7910	0.8350
牧草地	0.4930	0.6640	0.6290	0.5620	0.5450	0.4770	0.5550	0.5920	0.5650	0.5310
森林	0.1730	0.1550	0.1530	0.1750	0.2020	0.1770	0.1760	0.1800	0.1540	0.1390
海洋	1.4290	1.5720	1.6410	1.3730	1.5190	1.6400	1.3260	1.3250	1.3310	1.3310
總和使用	6.2920	5.9130	5.9210	5.2840	5.7930	5.9440	5.6900	6.1330	5.9480	6.1130

產品、原油及其產品、液化天然氣、天然氣、水力發電、核能發電；生態足跡計算項目本應包括火力發電，惟因台灣地區並無此類能源消費之統計故無法計算(該項目消費應計入森林生態足跡)。

日敘用品及能源消費部份資料以全國性資料替代，在生態足跡計算時無法再假設台中都會區每人每年平均日敘用品及能源消費與全國性資料無異，若直接以此資料替代並無意義，且將造成無法彌補之誤差，故台中都會區生態足跡必須對全國性資料進行修正，本研究採用之修正方式以行政院主計處及台中縣市政府出版家庭收支重要指標之每戶每年消費支出之比例作為修正因子，將歸納後之化石能源地生態足跡面積修正為台中都會區化石能源地區生態足跡。

(三) 台中都會區生態足跡計算結果

本研究進行1988年至1997年台中都會區10年間生態足跡變化之計算，其計算項目以上述之糧食及木材消費、日敘用品消費、及能源消費為計算內容，修正為台中都會區後之生態足跡資料為耕地、牧草地、海洋、森林及化石能

源地；台中都會區計算結果得到之生態足跡面積見表8、圖1及圖2所示，其中圖1表歷年台中都會區生態足跡組成之變化。

依表7討論台中都會區從1988年起至1997年之生態足跡變化發現，歷年來台中都會區生態足跡並無明顯呈現成長的型態，反而在1988年至1991年間台中都會區生態足跡甚至呈現減少的型態，而以1991年的5.28(公頃／人)為歷年來的最低點；其後從1992年起至1997年則有逐步成長的趨勢；當然單就生態足跡的分析結果並無法斷言台中都會區自1991年起即邁向不永續，生態足跡與永續性的比較尚需與其歷年生態標竿作比較，才能以其相差之生態赤字是否有擴大的現象判斷台中都會區是否逐年邁向永續。

而就圖1台中都會區歷年生態足跡組成圖判斷，台中都會區歷年的生態足跡組成皆以化石能源地的面積佔最大比例，其次則為海洋、耕地、牧草地、森林及建成地；這項結果顯示台中都會區日常用品及能源消費生態足跡比例相當大，這與Rees & Wackernagel(1996)及Wackernagel et al.(1998)的研究結果相當，在Wackernagel et al.(1998)及Wackernagel & Rees(1996)的研究中發現，北美地區高消

表8 台中都會區每人平均生態標竿

單位：公頃／人；人

	建成地	耕地	森林地	二氧化碳吸收地	總和生態標竿	台中都會區人口
1988	0.0144	0.0182	0.0005	0.0226	0.5558	1,940,851
1989	0.0145	0.0179	0.0005	0.0222	0.5550	1,977,649
1990	0.0143	0.0175	0.0005	0.0229	0.5552	2,019,959
1991	0.0141	0.0170	0.0005	0.0215	0.5531	2,061,036
1992	0.0161	0.0176	0.0005	0.0222	0.5565	2,112,465
1993	0.0157	0.0166	0.0005	0.0217	0.5544	2,167,852
1994	0.0150	0.0170	0.0005	0.0213	0.5539	2,212,603
1995	0.0150	0.0165	0.0005	0.0208	0.5527	2,257,950
1996	0.0149	0.0161	0.0005	0.0203	0.5518	2,303,762
1997	0.0146	0.0158	0.0005	0.0199	0.5508	2,349,713

資料來源：本研究計算

台中都會區歷年生態足跡變化

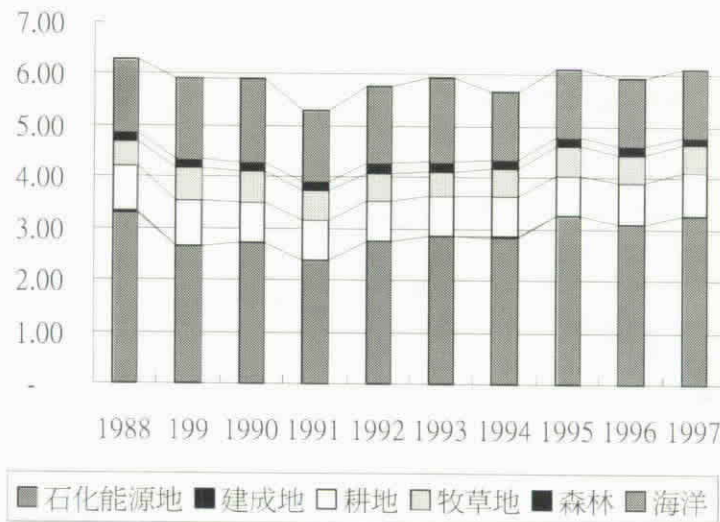


圖1 台中都會區歷年生態足跡組成變化

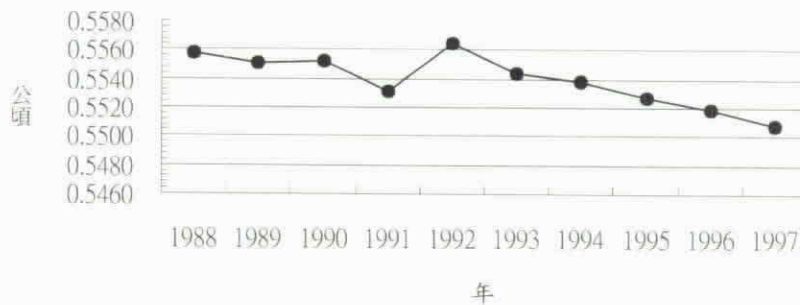


圖2 台中都會區每人平均生態標竿面積變化

費的行為已導致包括溫哥華、倫敦等城市之生態足跡面積遠超過其行政面積，其中倫敦超過其行政面積200倍以上。若就台中都會區歷年化石能源地生態足跡變化情形觀之，台中都會區化石能源地變化情形與其生態足跡面積變化情形相對應，1989年起呈現逐年成長的趨勢，顯示台中都會區化石能源地的高比例亦意味著該地區生態足跡面積受其消費行為所左右，台中都會區的高消費水準是否如同倫敦、溫哥華等城市造成其生態足跡面積遠超過其行政區域面積將在下節作討論。

而森林地生態足跡變化情形則較為不同，以1992年為分界點，台中都會區森林生態足跡變化在1988年至1992年呈現逐步增加，而自1992年以後則呈現逐步下降；森林生態足跡變化的態勢與台灣地區木材生產量的逐年降低及消費量的增減有相當密切的關係，其中紙類的進出口則自

1988年起每年呈現出口多於進口的現象。

耕地歷年生態足跡的變化則自1988年及1989年的最高點(0.865公頃/人)，驟降至1990年的0.771公頃/人；造成耕地生態足跡驟減的主要原因在於(以農舍附近畜養之家禽歸納之)活禽畜、肉類及雜碎項目，在1990年進口量減少及出口量明顯增加，導致該項目生態足跡面積在一年內由0.542公頃/人降低至0.453公頃/人。

牧草地歷年生態足跡變化則以1993年為最低點，1989年及1995年為兩個相對高點，1989年至1993年台中都會區牧草地生態足跡呈現逐年下降，其後兩年呈現逐年上升，1995年後又呈現逐年下降的不穩定狀態。台中都會區海洋生態足跡面積則歷年來並無穩定成長或減少的情形，自1994年來相對呈現相當穩定的狀態。建成地則佔生態足跡比例相當小，歷年來皆維持在0.02公頃/人的生態足跡面積。



四、台中都會區永續性軌跡衡量 結果

(一) 台中都會區歷年生態標竿的衡量結果

依生態足跡比較基準之生態標竿觀念，本研究建立台中都會區歷年生態標竿作為與生態足跡之比較，以判斷台中都會區是否邁向永續的比較基準。依據行政院經濟建設委員會編著之歷年《都市及區域發展統計彙編》，本研究定義都市計畫區之住宅區、商業區、工業區、公共設施用地及非都市計畫土地使用分區之工業區、鄉村區及特定專用區為生態生產力土地中之建成地；都市計畫區土地使用分區之農業區及非都市計畫土地使用分區之特定農業區及一般農業區為生態生產力土地分類之耕地及牧草地，其中由於台灣地區土地使用分區並未區分耕地及牧草地部份，因此本研究進行生態赤字分析時則合併牧草地及耕地部份；此外都市計畫土地使用分區之保護區及風景區與非都市計畫土地使用分區之山坡地保育區、風景區及國家公園區則歸納為生態生產力土地之化石能源地，亦即供應二氧化碳吸收之二氧化碳吸收地；非都市計畫土地使用分區之森林區則列為生態生產力土地之森林地。此種利用土地使用分區作為生態生產力土地分類的方式在於土地使用面積歸納的方便，然而其缺點也因此顯現：計畫區面積並非使用面積；使用面積的統計端賴生態學家對生態性土地面積的統計，而台灣地區目前並沒有這樣的統計項目；海洋部份資料則以Rees (1996)、Wackernagel et al. (1997)及李永展、陳安琪(1998)之全球海洋生態標竿面積的0.5公頃替代，由此歸納台中都會區生態生產力土地面積及每人平均生態標竿資料如表8所示，並由圖2表示台中都會區歷年生態標竿之變化情形。

台中都會區歷年森林地生態標竿面積變化情形並無明顯增加或減少的現象，但每人平均生態標竿面積則自1992

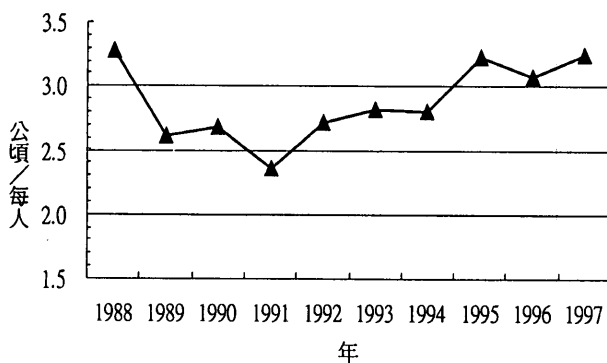


圖3 台中都會區歷年化石能源地生態赤字變化

年起有逐年減少的趨勢(見圖3)；歷年森林地的生態標竿面積則維持在0.0005公頃/人，而台中都會區森林地生態標竿則自1990年起皆維持在1110公頃。建成地生態標竿的情形皆大致相同，10年來皆維持在平均每人0.015公頃左右，生態標竿面積的部份則有逐年增加的趨勢，自1988年的27996.66公頃增加到1997年的34324.75公頃，但因人口亦逐年增加，故將每人平均生態標竿稀釋為維持在0.015公頃。

相對於上述面積變化不大的森林地及建成地生態標竿，台中都會區變化較大的為耕地、牧草地及二氧化碳吸收地之生態標竿面積；耕地及牧草地歷年生態標竿面積於1992年起由35000公頃左右成長至37000多公頃，主要原因在於1992年台中都會區都市計畫土地使用分區之農業區大幅擴增的影響(註4)；而二氧化碳吸收地生態標竿的變化情形，也是從1992年起由44000多公頃大幅擴增到47000多公頃，這項面積的增加除了由於1992年起都市計畫土地使用分區增列風景區外，亦由於1995年起非都市土地使用分區因雪霸國家公園的劃設增加國家公園區的面積。若以1992年起台中都會區化石能源地、耕地及牧草地生態標竿面積每年逐年增加情形，對應每人平均生態標竿面積逐年增加；但弔詭的是，台中都會區每人平均生態標竿恰巧也從1992年起產生逐年縮小；這個現象的產生應歸因於台中都會區人口自1992年來快速增加所致；這種現象亦說明人口爆炸的現象將導致自然資源分配的不足，使不永續的現象提早發生。

生態標竿的建立是為與生態足跡面積相比較，一方面衡量該地區生態足跡面積是否超越生態標竿面積，一方面亦可建立時間序列資料分析該地區是否逐年減少生態赤字。本研究建立之生態標竿乃以台中都會區土地使用分區作為基礎，一方面因土地使用分區的劃分容易受人為因素所影響，無法實際表現生態生產力土地面積資料，一方面亦由於土地使用分區劃分計畫的粗劣，容易造成生態生產力土地的誤判，種種因素的影響顯示生態標竿的建立容易造成誤差，這也是本研究之限制。但由於台灣地區目前進行生態生產力土地分類的單位並未建立相關資料，聯合國每年建立的生態生產力土地面積資料亦未將台灣列入計算，故與本研究建立之生態標竿與全球性生態標竿資料相對應比較，期望得到較確實的結果。此外，本研究建立之生態標竿資料亦顯示，與全球將近2公頃/人(李永展、陳安琪，1998)的生態標竿面積相比較，台灣地區平均每人0.555公頃的生態標竿實在是非常小，這也直接顯示台中都會區資源的貧乏；對應全球情形，台灣地區自然資源貧乏的事實非常容易透過與世界其他各國的比較得知，加上台灣地區的高人口密度，每人平均生態標竿的面積將更行縮小，這個結果以本研究計算的0.555公頃來說，其實與事實相距並不遠，這也顯示自然資源貧瘠的國家本身即有

先天不足的隱憂。

(二) 台中都會區歷年生態赤字分析

結合上述台中都會區生態足跡及生態標竿之資料，1988年至1997年台中都會區生態赤字分析結果如表9所示，而台中都會區產生之生態赤字變化亦如圖3至圖8所示，其中海洋的生態標竿面積以Wackernagel et al. (1997)及李永展、陳安琪(1998)使用之聯合國計算生態標竿0.5公頃/人的面積取代；這是假設覆蓋地球366億公頃的海洋面積中，每人平均只有0.5公頃提供了海洋最大生產的95%，因此地球上每一居民的海洋生態標竿即為0.5公頃。

由圖3之台中都會區歷年化石能源地生態赤字變化情形發現，台中都會區10年來化石能源地生態赤字並無逐漸增加情形，但自1989年起，化石能源地生態赤字則有逐年緩步上升的情形(由1989年開始的每人2.6128公頃的生態赤字增加到1997年的每人3.2361公頃)；在都市以消費為主的生活方式下，台中都會區在日常用品及能源消費部份的確有逐年邁向不永續的現象，亦即隨著都市人口的集中，都市化機能的進入，越高都市發展的地區亦較容易使得消費行為受到鼓舞而造成其生態赤字擴大的現象；這也明顯的在台中都會區歷年的化石能源地生態赤字變化情形中得到印證。

而就圖4建成地生態赤字變化的情形則發現，台中都會區自1990年起建成地的生態赤字呈現逐年緩步減小的趨勢，這種現象亦證實Walker & Rees (1997)對加拿大進行都市密度與生態足跡變化的相關研究結果：都市密度與生態足跡呈現反比關係；亦即都市密度越高的地區容易因建築形式選擇高密度住宅及運具選擇關係，稀釋原本應產生的高生態足跡。台中都會區近年來成為台灣的三大都會區之一，人口增加快速，高密度建築的使用也伴隨增加，因此自1990年起其建成地生態赤字也因而逐年減小(由1990年的每人0.0087公頃減少至1997年的0.0064公頃)。

台中都會區森林地生態赤字變化(圖5)則因台中都會區歷年來森林地的生態標竿皆維持在每人0.0005公頃左右，因此，其生態赤字變化則決定於森林地的生態足跡變化，以1992年為分界點，台中都會區1988年至1992年生態赤字為不穩定狀態，自1992年起至1997年則呈現逐年減小的情形，顯示台中都會區在1992年對於木材及紙類消費產生的生態足跡，有逐年邁向永續發展的現象。圖6對於牧草地及耕地的變化，從1988年至1997年台中都會區歷年耕地及牧草地的生態赤字變化並無明顯增加或減小，歷年來皆維持在每人平均1.3公頃左右的生態赤字，這也說明台灣歷年農產品消費隨著生態標竿降低，生態足跡也隨著降低；其中耕地歷年來生態足跡呈現不穩定的成長與減小狀

表9 台中都會區歷年生態足跡、生態標竿及生態赤字變化表

單位：公頃/人

		1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
化石能源地	生態足跡	3.3100	2.6350	2.7040	2.3720	2.7420	2.8400	2.8230	3.2520	3.0850	3.2560
	生態標竿	0.0266	0.0222	0.0229	0.0215	0.0222	0.0217	0.0213	0.0208	0.0203	0.0199
	生態赤字	3.2834	2.6128	2.6811	2.3505	2.7198	2.8183	2.8017	3.2312	3.0647	3.2361
建成地	生態足跡	0.0220	0.0220	0.0230	0.0210	0.0220	0.0220	0.0210	0.0210	0.0220	0.0210
	生態標竿	0.0144	0.0145	0.0143	0.0141	0.0161	0.0157	0.0150	0.0150	0.0149	0.0146
	生態赤字	0.0076	0.0075	0.0087	0.0069	0.0059	0.0063	0.0060	0.0060	0.0071	0.0064
耕地及牧草地	生態耕地足跡	0.8650	0.8650	0.7710	0.7810	0.7630	0.7880	0.7890	0.7630	0.7910	0.8350
	生態牧草地足跡	0.4930	0.6640	0.6290	0.5620	0.5450	0.4770	0.5550	0.5920	0.5650	0.5310
	生態標竿	0.0182	0.0179	0.0175	0.0170	0.0176	0.0166	0.0170	0.0165	0.0161	0.0158
森林	生態赤字	1.3398	1.5111	1.3825	1.3260	1.2904	1.2484	1.3270	1.3385	1.3399	1.3502
	生態足跡	0.1730	0.1550	0.1530	0.1750	0.2020	0.1770	0.1760	0.1800	0.1540	0.1390
	生態標竿	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
海洋	生態赤字	0.1725	0.1545	0.1525	0.1745	0.2015	0.1765	0.1755	0.1795	0.1535	0.1385
	生態足跡	1.4290	1.5720	1.6410	1.3730	1.5190	1.6400	1.3260	1.3250	1.3310	1.3310
	生態標竿	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
總和使用	生態赤字	0.9290	1.0720	1.1410	0.8730	1.0190	1.1400	0.8260	0.8250	0.8310	0.8310
	生態足跡	6.2920	5.9130	5.9210	5.2840	5.7930	5.9440	5.6900	6.1330	5.9480	6.1130
	生態標竿	0.5558	0.5550	0.5552	0.5531	0.5565	0.5544	0.5539	0.5527	0.5518	0.5508
	生態赤字	5.7362	5.3580	5.3658	4.7309	5.2365	5.3896	5.1361	5.5803	5.3962	5.5622

資料來源：本研究計算

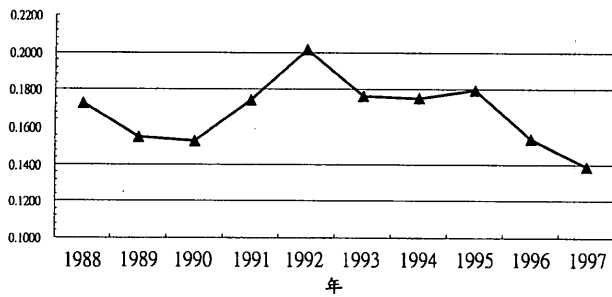


圖4 台中都會區歷年建成地生態赤字變化

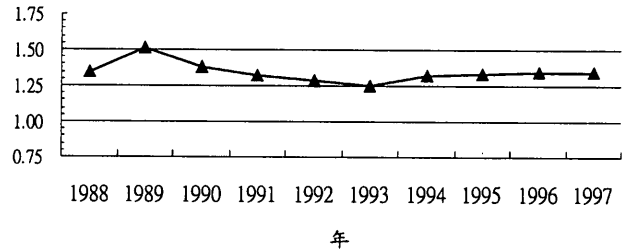


圖6 台中都會區歷年耕地、牧草地生態赤字變化

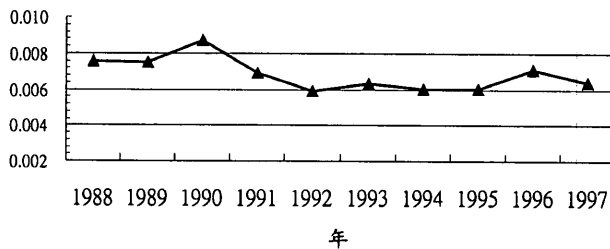


圖5 台中都會區歷年森林地生態赤字變化

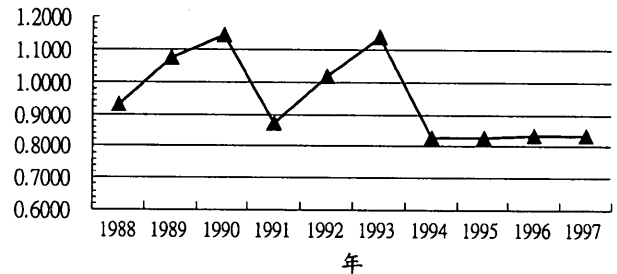


圖7 台中都會區歷年海洋生態赤字變化

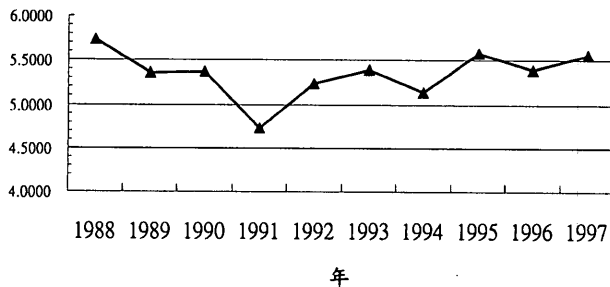


圖8 台中都會區歷年生態赤字變化

態，牧草地生態足跡則呈現逐年減小的情形，最後導致農產品消費的生態赤字面積變化並無增減，然而可以說明的是隨著農地資源逐年減小(耕地及牧草地生態標竿降低)，生態足跡逐年減小的現象是值得鼓勵的。圖7海洋生態赤字變化則因生態標竿固定於每人0.5公頃左右面積，故生態赤字決定於生態足跡的變化情形，台中都會區歷年生態足跡亦呈現不穩定的狀態，是否邁向永續亦決定於生態足跡是否縮小。

圖8表示台中都會區歷年生態赤字之變化，圖上顯示台中都會區總和歷年生態赤字以1991年為最低點及分界點，1991年以後至1997年台中都會區生態足跡呈現逐年緩步增加的情形，而1988年至1991年則呈現逐年減小，這種現象說明台中都會區是否邁向永續與人口是否開始大量集中有絕對關係；1991年起中部區域的郊區人口大量集中於

台中都會區(註5)，都市發展型態也開始呈現多元化發展，相對耕地及牧草地面積縮小及生態標竿逐年縮小，台中都會區每人可取得資源越來越少而消費行為導致生態足跡自1991年起亦逐年增加—台中都會區的確有慢慢邁向不永續的情形。

(三) 台中都會區歷年生態足跡總面積變化分析

由於台中都會區每人平均生態足跡自1991年起呈現逐年成長的趨勢，加上1991年起台中都會區人口的快速集中，除在民國1988至1991年生態足跡總面積超過行政面積的倍數較不穩定外，台中都會區自1991年起生態足跡面積超過行政面積的倍數皆呈現逐年成長(見表10及圖9)。

從歷年台中都會區生態足跡總面積超過行政面積之資料發現，歷年來台中都會區生態足跡超過行政面積的倍數皆在90倍以上(亦即「挪用」了其他地區之土地及水域資源高過90倍以上)，且自1992年起，台中都會區生態足跡面積超過行政面積的倍數每年皆在100倍以上，其中1997年的倍數已經高達119倍；這與永續倫敦信託公司於1996年計算倫敦的生態足跡面積相較(參閱Lee & Chen, 1998)，發現倫敦的生態足跡為5,000萬公頃，相當於倫敦面積400,000公頃的125倍，並接近於大不列顛全部的生態生產力土地面積。此外在Rees & Wackernagel(1995)對溫哥華所作的生態足跡研究亦發現(參閱Lee & Chen, 1998)(1991年溫哥華的人口為472,000，土地面積為11,400公

表10 台中都會區歷年生態足跡面積對照表

	台中都會區人口	生態足跡	生態足跡總面積	台中都會區行政面積	生態足跡總面積超過行政面積倍數
1988	1,940,851	6.29	12,211,834.49	120,063	101.71
1989	1,977,649	5.91	11,693,838.54	120,063	97.40
1990	2,019,959	5.92	11,960,177.24	120,063	99.62
1991	2,061,036	5.28	10,890,514.22	120,063	90.71
1992	2,112,465	5.79	12,237,509.75	120,063	101.93
1993	2,167,852	5.94	12,885,712.29	120,063	107.32
1994	2,212,603	5.69	12,589,711.07	120,063	104.86
1995	2,257,950	6.13	13,848,007.35	120,063	115.34
1996	2,303,762	5.95	13,702,776.38	120,063	114.13
1997	2,349,713	6.11	14,363,795.57	120,063	119.64

資料來源：本研究計算

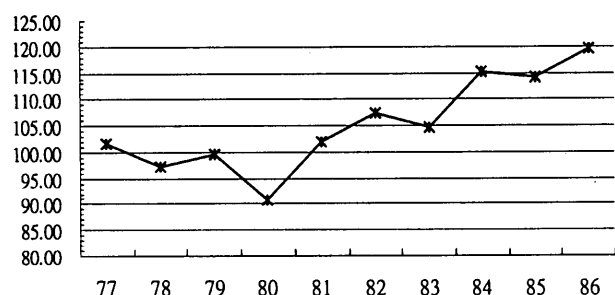


圖9 台中都會區生態足跡總面積超過行政面積倍數

頃)，在假設平均每年土地消費量為4.3公頃下，溫哥華472,000的人口總共需要大約2,000,000公頃的土地以維持當時溫哥華的消費水準（這是假設土地在永續性使用下）；然而，溫哥華的土地面積僅有11,400公頃，這也意味著溫哥華的都市人口需要行政面積將近180倍的生態生產力土地面積產出來維持當地當時的生活型態。如果我們將都市的海洋足跡（大約是平均每人0.7公頃的海產消費）增加為陸地的足跡，我們將發現維持溫哥華人口的地球總面積將變為2,360,000公頃，且超過溫哥華行政面積的200倍。使用相同的分析方法，在其他現代化城市也得到類似的結果，Folke et al.(1994)的報告指出，波羅的海域29個城市居民的木材、紙類、纖維（包括海產）消費生態足跡也大於本身都市面積的200倍。

與上述相關研究相比較，台中都會區生態足跡面積超過行政面積的倍數已經接近倫敦、溫哥華的大都市水準，這也直接顯示，高都市化、高消費的生活方式已經成為永續發展最大的問題，要降低生態足跡面積亦必須從抑制消費行為的持續擴張做起。

五、結語

如前所述，生態足跡分析的計算主要為生態足跡與生態標竿兩大部分，其中生態足跡往往因為各類土地生產量的資料不易取得，而須取決於全球或是全國平均值，此一估算方式使得生態足跡成為備受討論的焦點（李永展、張曉婷，1999）。再者，生態標竿的計算是由某一地區既有生態生產力土地面積組合而成，但台灣地區目前的土地使用分類，並無此項之分類標準。因此，僅能以都市土地與非都市土地的分類項目進行分析。由於都市土地係以土地使用分區為基礎，非都市土地則以十種分區，十八種用地加以編定，再加上法規規定允許使用項目或變更項目，同一種分區或用地中，即可能存有多種用地，更造成土地使用分類上的困難。這些都是未來在進行生態足跡估算時，所應突破與解決之處，以免造成真實足跡（或生態赤字）的過度虛張。

然而不置可否，自Ress & Wackernagel(1994)將生態足跡作為永續性衡量工具以來，以土地分類作為資源需求及消費項目的比較基礎，提供了人類對於跨國性貿易與過度消費重新思考的起始點。生態足跡分析理論的最大貢獻即在於提供一個以居民為出發點的分析方式，藉由一特定地區居民的消費行為模式計算對生態環境的衝擊程度，藉由上述台中都會區生態足跡、生態標竿及生態赤字的計算及分析與包括Wackernagel et al.(1997, 1998), Wackernagel and Rees(1996), 李永展、陳安琪(1998), 以及李欽漢(1999)等人的研究成果相對照，不論是以國家為單位或者以地區為對象的生態足跡計算，皆可瞭解需藉由節制消費擴張、提昇對環境衝擊較低的產業生產力、制訂適當的貿易政策等方向降低生態足跡或生態赤字，才是邁

向永續發展之道。

另一方面，對生態足跡分析模型本身而言，一般認為並非突破容受力分析的想法，本研究則認為生態足跡分析乃由容受力分析衍生而來，該理論並非推翻容受力分析，而是站在容受力分析的理論基礎，轉化為討論需要有多少土地才能涵容該地區人類消費行為的分析方式，而使得在衡量永續性軌跡的同時，可以使觀測者更容易藉由量化數字的表達，瞭解該地區是否邁向永續發展，進而提供規範性的政策建議。

註釋

註 1：生態生產力土地分類的爭議在於生態學對於生產力土地的分類方式較嚴謹，而生態足跡分析的計算則採用較簡單的分類方式。本文並未對生態生產力土地分類爭議進行討論，主要原因在於簡單的分類方式已可以反映實際狀況，若對生態生產力土地分類方式再行檢討也就必須對生態足跡分析的計算項目重新檢討，此並非為本文的重點。

註 2：高貨幣所得是由高級服務及以知識為基礎的活動得來，而這些所得對環境衝擊有較少的影響，亦即說明高等經濟體的「非物質化」(Hornborg, 1992a, b)。

註 3：Rees (1996) 所計算之倫敦生態足跡採取的分類方式較簡單，主要原因在於生態足跡分析所計算的分類項目目前已經採用較完整的分類。而國家與都市計算方式的差異主要在於地區消費行為的不同，計算方式的差異性之詳細內容相當繁瑣，請參閱李永展 (1998) 之國科會研究報告。

註 4：根據 1991 年至 1992 年《都市及區域發展統計彙編》中都市計畫土地使用分區農業區面積之統計資料分析而得。

註 5：根據歷年《都市及區域發展統計彙編》之統計資料而得。

參考文獻

李永展

- 1997 <生態足跡：邁向永續性的規劃工具>《台灣永續發展學術研討會》，台北：中興大學法商學院。
- 1998 《區域總體土地資源綜合利手之研究(III)》，台北：政治大學地政系(行政院國家科學委員會研究

計畫成果報告，計畫編號：NSC87-2621-P-004-005。

李永展、陳安琪

- 1998 <從生態足跡觀點探討台灣的永續發展>《經社法制論叢》22：437-465。

李永展、張曉婷

- 1999 <永續性衡量工具之反思：以台中都會區永續性指標與生態足跡為例>《第一屆環境與資源管理學術研討會》，9月17日，台北：中興大學資源管理研究所。

李欽漢

- 1999 <生態足跡及永續性產業之差距>《第九屆環境管理與都會發展研討會》，1月9日~1月10日，高雄：中山大學。

陳安琪、李永展

- 1999 <貿易為永續發展充分卻非必要條件—就理論與實務討論貿易與永續發展間之關係>《第九屆環境管理與都會發展研討會》，1月9日~1月10日，高雄：中山大學。

Berman, F.

- 1996 Options for a Flexible Planet. Sustainable Building Network. Sheffield: School of Architectural Studies. Expert Group on the Urban Environment

- 1996 European Sustainable Cities. Commission of the European Communities. Luxembourg.

Ghosh, D.

- 1996 Sustaining Calcutta. Present Status Report of the Urban People's Environment Calcutta Metropolitan Water and Sanitation Authority. Calcutta.

Hornborg, A.

- 1992a "Machine Fetishism, Value, and the Image of Unlimited Goods: Toward Thermodynamics of Imperialism," Man 27(1) : 1-1.

- 1992b "Codifying Complexity: Towards an Economy of Incommensurable Values", paper presented to the Second Meeting of the International Society for Ecological Economics (Investing in Natural Capital), Stockholm, 3-6 August 1992.

Lee, Y. -J. & Chen, A. -C.

- 1998 "Sustainable Taipei? - Using the Ecological Footprint Concept to Explore Taipei's Sustainability," International Symposium on City Planning 1998.

Nijkamp, P.

- 1990 "Multicriteria Analysis: A Decision Support System for Sustainable Environmental Management," in Economy & Ecology: Toward a Sustainable

- Development. eds. Archibugi F. & P. Nijkamp, Dordrecht: Kluwer Academic.
- OECD
 1994 Environmental Indicators. Paris: OECD.
- Rees, W. E.
 1996 "Carrying Capacity and Ecological Footprints - A New Imperative for Urban-Rural Sustainability," paper presented in the Second International Training Session, Leadership for Environment and Development, Okinawa, Japan, 16-27 October 1996.
- Rees, W. E. & M. Wackernagel
 1994 Urban Ecological Footprints: Why Cities Cannot be Sustainable (and Why They are a Key to Sustainability). EIA Review.
- Smith, M., J. Whitelegg & N. Williams
 1998 Greening the Built Environment. London: Earthscan.
- Sustainable London Trust
 1996 Sustainable London. Sustainable London Trust, London.
- Sustainable Seattle
 1994 The Sustainable Seattle 1993 Indicators of Sustainable Community: A Report to Citizens on Long-term Trends in Our Community. Seattle: Seattle Government.
- Wackernagel, M. & W. Rees
 1995 Our Ecological Footprint- Reducing Human Impact On The Earth. New Society Publishers.
- Wackernagel, M. & R. Richardson
 1998 How to Calculate a Household's Ecological Footprint. University of Xalapa and University of Texas.
- Wackernagel, M. et al.
 1997 "Ecological footprints of Nations: How Much Nature do They Use? - How Much Nature Do They Have?", Millennium Institute: <http://www.igc.org/millennium/links/ecolgoot.html>
- 1998 "Ecological footprints of Nations: How Much Nature do They Use? - How Much Nature Do They Have?", Millennium Institute: <http://www.igc.org/millennium/links/ecolgoot.html> (updated).
- Walker, L. A. & W. E. Rees
 1997 Urban Density and Ecological Footprints - An Analysis of Canadian Households, Eco-city Dimensions, New Society Publishers.
- Welford, R & S. Starkey
 1996 Business and the Environment. London: Earthscan.
- World Resources Institute
 1996 World Resources: A Guide to the Global Environment 1996-1997. New York: Oxford University Press.

