

臺灣國有林區森林生態經濟系統能值分析

羅玉霖⁽¹⁾ 羅紹麟⁽¹⁾

【摘要】生態經濟學是一門新興學科。70年代永續發展的理念興起後，環境保育與經濟開發相容性問題，已成為全球最熱門課題。生態經濟學之能值分析理論，是系統生態學家早在30年前研究環境生態時，以系統與環境間能量投入和產出關係為研究主體，配合熱力學質能不滅定律(第一定律)和熵定律(第二定律)，並用生態系內層級和食物鏈共生結構，解釋達爾文演化論和最大功率原則。系統生態學整合總體經濟學孕育了生態經濟學，重視環境倫理，重新衡量生態系對人類維生系統之貢獻。本文即具體提出生態經濟能值分析應用於臺灣國有林區，以提供生態原則下森林經營計劃所需的資訊。生態經濟學應用在林業方面，最主要在強調經濟活動和森林生態系兩者之間的關聯，特別是自然資源蓄積和流動的靜態和動態觀念。

【關鍵詞】生態經濟學、永續發展、能值分析、質能不滅定律、熵定律、最大功率原則

Emergy Analysis of Forest Ecological-Economics System for National Forest in Taiwan

Yuh-Lin Lo⁽¹⁾, Shaw-Lin Lo⁽¹⁾

【Abstract】Ecological-Economics is a rising subject. The compatible problem between environmental conservation and economic development has become a most popular issue all over the world since the rising of the sustainable development concept in the 70's.

本文為碩士論文之一部分

1)國立中興大學森林研究所研究生，教授。

Graduate student and Professor, Research Institute of Forestry, NCHU.

The theory of emergy(embodied energy)analysis of Ecological-Economics was concentrated on relationship between system with environment of energy input and output in conjunction with law of conservation of energy-matter (first law)and law of entropy(second law) of thermodynamics studied by system ecologist about thirty years ago. The Ecological Economics also used ecosystem hierarchy and symbiosis structures of food webs to explain Darwin evolutionary theory and maximum power principle.

The integration of system ecology and macro-economics brings in Ecological-Economics,recognizing environmental ethic and renew measuring ecosystem contribution to the human support system.

This paper was concretely to suggest emergy analysis of Ecological-Economics for national forest in Taiwan,also provided the information for forest management of ecological principle.Ecological economics applied to forestry would highlight the connections between economic activity and forest ecosystem,especially in static and dynamic concepts of both stocks and flows of natural resources.

【Key words】 Ecological-Economics, sustainable development, emergy(embodied energy) analysis, law of conservation of energy-matter, law of entropy, maximum power principle.

一、前言

自從Aldo Leopold所著「砂地郡曆誌(A Sand County Almanac)」於1949年發行第一版，敲響了第一聲“生態之鐘”後，全球工業就從大肆攫取自然界為原料中覺醒過來，重新思索如何面對我們的生態環境。經過四十年後，名稱為「生態經濟學」的團體開始響應Leopold的理想，並於1990年在美國華盛頓成立生態經濟學協會(ISEE)。目前，在國際林學研究機構聯合會(IUFRO)第六組下，設有專題計劃研究。生態學(Ecology)一字之語源，與經濟學(Economics)一詞相同，導源於希臘文Oikos，分別指有關於自然界與人類社會之間問題與管理。而生態經濟乃基於永續性，自然界之維生系統所提供物質能源之功能，對經濟系統的供獻，而以整合生態與經濟者。

本研究之目的有二：

1. 建立森林生態經濟系統能值分析理論，計算臺灣國有林森林潛在量化能值，明瞭森林對國民經濟的供獻。
2. 能值指標分析，作為森林經營管理計劃決策之參考資訊。

二、前人研究

Odum(1983,1988ab,1991)、Costanza(1980,1987,1989,1991)、Jorgensen(1992a; 1992b)、Patten(1992)等相關學者，應用生態能量流動之觀念，將各個生產過程之單位轉換為太陽能單位，做為評估自然環境(例如森林)在整體生態和國民經濟系統所扮演角色與貢獻之依據。Odum強調能量為經濟價值之基礎，提出了「能值(emergy)」來表示能量品質(energy quality)，將人類生態經濟體系中之各作用轉換為同一能值單位；Odum的學生Costanza，則採用經濟學上投入-產出分析方式，衡量經濟體系中政府及家庭投入與產出所需之總能量成本；Jorgensen採用產出能量(Exergy)最大化原則；Patten則採用環境價值(Environ-value)理論，衡量環境間各作用轉點的量與質。

所有生物的運轉過程，至少有一種和幾種型式的能量參與。能量是一個普遍的觀念，太陽持續的流動初級能量到地球，供作地球上生物維生之基礎資源，而且在物理和生化層面上，能量輸入大部分是以化學形式參與反應。因此能量有充分能力描敘許多基本現象，譬如初級生產和生長。能量在生態系中可以用熱、化學、電磁波和重力能型式表現，在物理上，熱力學是描敘與分析資源和它利用狀況的最重要理論架構，並且已經廣泛應用在生態學上，例如生產量研究、食物鏈及其某些影響分析，目前應用上正欲突破熱力學理論固有之限制。能量可成功地在系統成分中轉換；舉個例子，太陽光轉換成植物器官物質，至草食性動物，肉食性動物等，能量貯藏和流動的圖譜，Odum最早在1971年已經提出使用在經濟和生態系分析，而且繼續研究成為人類-自然分析界面的主流(Odum從1981~1988年陸續發表研究結果)(Huang and Odum,1991)。綜合分析生態系統與經濟系統之關係，許多提倡生態經濟學之學者均借重熱力學定律與能量分析來解釋自然環境對經濟系統之貢獻。生態經濟學是一個整合通則，追求更實際的世界觀和消除生態和經濟的孤立性，特別注重經濟和生態系功能的熱力學。最近，全球氣候改變更明顯證明人類大量使用能量，而忽略了熱力學在發展中和實行中技術改變的意義。

黃書禮氏是國內最早以生態法則運用於環境規劃的適宜性分析(黃,1987)，經與國際生態大師Odum先生合作研究，應用生態經濟學理論與能值分析後(Huang and Odum, 1991)，黃氏與其學生陸續提出有關研究(黃,1990; 許與黃,1992; 黃與楊,1991; 廖,1991; 陳, 1992)；1991年的「整合生態與經濟-應用能值分析於公共政策評估」(黃等,1991)；1992年的「都會區生態經濟系統與環境品質之研究」(黃等,1992);1993年的「臺灣地區都市生態系統類型特性之研究」(楊,1993)。未來將會以海峽兩岸之生態經濟進行研究(中華民國造園學會,1993)。

聯合國環境規劃署(UNEP)專題研究報告(Odum,1988a)和能值分析應用於美國德州公共政策上(Odum,1987)，掀起了生態經濟學在公共政策的分析。

三、範圍及方法

(一)、範圍：

民國八十一年國有林區1,559,273.11公頃內森林生態系為主系統，國有森林各項經濟投入為環境。

(二)、方法：

Odum's生態能值分析已應用於包括臺灣、美國、日本、中國大陸、蘇聯、澳洲、荷蘭、德國等一百多個國家，並已擴展至熱帶雨林系統。本文即是利用此方法，進行森林生態經濟系統能值分析。

能值分析的研究過程，分別說明之：

1. 初步資料收集：收集各類地理資料，或經濟資訊和研究區域統計。 2. 能量系統流程圖：畫出充分而詳細的調查流程圖，使用Odum發展出的能量循環語言符號。

3. 建立能值分析表：

3-1. 列出林地擁有資源，輸入來源，輸出來源和貯藏的主要流動項目。

3-2. 推導列出項目的初級資料，能量輸入以焦耳(joules)能量單位表示，礦物質以克(grams)質量單位表示，人類勞務以貨幣單位台幣(NT\$)。

3-3. 評估列出流動和貯藏保存多少能量單位(初級資料之生產和轉換)和總體經濟或地區經濟貨幣(從全國能值-貨幣率所分列之能量單位獲得)以便利比較和公共政策之意向。

能值分析表如下：

資源類別項目	資源流動量	太陽能換率	太陽能值	總體經濟價值
	(單位/年)	(sej/unit)	(sej)	(Year NT\$)

以上每一項目之總體經濟價值，為該項目之太陽能值與該地區能值貨幣比太陽能、風、雨、人力與服務設施，以及自然資源；依以上項目資料換算為共通性之太陽能值單位，以比較各項在整體生態經濟所扮演之角色。

4. 聚集圖(Aggregated Diagram)：結合能量系統流程圖，簡明能量流程圖各步驟之重要成份，能量主要的分類，取決於系統中被認定重要成份之聚集，以及目前公共政策特別興趣的難題。

5. 能值指標：由能值聚集分類，各類的索引，例如每一資本能量使用量，內部能量使用比率等，計算結果以描述生態-經濟界面。

6. 模擬程式：電腦模擬程式可以研究巨觀最小模式(Macroscopic Minimodel)的動態表

現；進一步言之，除可以預測外，程式更可以用"WHAT IF"，試著解決政策問題。

7. 公共政策問題：評估，能值索引，和模擬能被使用於考慮目前公共政策問題，和初期產生更實際統一人類和自然經濟貢獻的替代方案。

四、結果與討論

(一)、能值分析

臺灣地區八十一年底林地面積1,865,141公頃，森林蓄積量326,421,000立方公尺，針葉樹佔42%，闊葉樹佔58%；其中國有林森林面積1,559,273.11公頃，蓄積量193,503,013立方公尺，針葉樹人工林175,432公頃，闊葉樹人工林93,225公頃，竹類7,920公頃(臺灣省林業統計,1993)。本研究進行臺灣國有林區能值評估，除藉以應用生態經濟理論—能值分析於臺灣森林外，並提供森林經營計劃之資訊參考。

國有林生態系組成分，資源類別共有15項，分成能量投入森林(包括可更新資源、不可更新資源、經濟投入使用)、森林生產兩大類。表1.民國八十一年臺灣國有林區能值評估，並且計算出各項資源的流動量、太陽能值和總體經濟價值，而太陽能換率是根據附錄一所載。環境對人類經濟系統的供獻，已包括在表1。木材收穫、清新的空氣和水資源、美質、野生動物棲息和微氣候等，皆是森林所提供的多目標功能。臺灣森林生態系，構成食物鏈階層的分層，製造者包括有綠色林下植物及樹木，在演替的過程中直至極盛相而成穩定狀態；消費者包括野生動物、鳥類、昆蟲以及人類，分解者為微生物，並且因為可更新資源作為主要驅動能量，而使整體生態系循環不息。表2.可知臺灣國有林區能值流動概要。

表1. 民國八十一年臺灣國有林區能值評估

Table 1. EMERGY evaluation for national forest at Taiwan in 1992.

資源類別項目	資源流動量 (單位/年)	太陽能換率 (sej3/單位)	太陽能值1 (sej)	總體經濟價值2 (1992 NT\$)
能量投入森林				
(一) 可更新資源				
1. 陽光; 焦耳	3.701E+16	1	3.701E+16	2741
2. 風; 焦耳	1.820E+19	623	1.134E+22	8.400E+9
3. 雨; 焦耳	1.937E+17	15,444	2.992E+21	2.216E+9
4. 地殼上升; 焦耳	1.057E+17	29,000	3.065E+21	2.270E+6
(二) 不可更新資源				
5. 土壤流失; 公噸	2.513E+6	1.71E+15	4.297E+21	3.183E+9
(三) 經濟投入使用				
6. 育林; 元	1.382E+9	1.35E+12	1.866E+21	1.382E+9
7. 森林遊樂投入; 元	2.580E+8	1.35E+12	3.483E+20	2.580E+8
8. 林務局歲出決算餘額; 元	2.939E+9	1.35E+12	3.968E+21	2.939E+9

森林生產

9. 林木年淨生長量;焦耳	7.964E+13	4,562	3.633E+17	2.691E+5
10. 木材砍伐;焦耳	1.952E+11	34,900	6.812E+15	5046
11. 枯枝落葉;焦耳	3.152E+17	2,737	8.627E+20	6.390E+8
12. 水資源涵養;焦耳	1.027E+1	665,714	6.837E+22	5.064E+10
13. 森林遊樂收入;元	2.254E+8	1.35E+12	3.043E+20	2.254E+8
14. 竹類;元	1.265E+6	1.35E+12	1.708E+18	1.265E+6
15. 森林副產物(財貨);元	1.107E+7	1.35E+12	1.494E+19	1.107E+7

註:1.太陽能值 = 資源流動量 × 太陽能換率

2.總體經濟價值 = 太陽能值 ÷ 臺灣能值/貨幣比值(1.35E+12 sej/\$)

3.sej(solar emery joule): 衡量太陽能值之基本單位

4.E: 科學符號, 代表以10為底

表 2. 1992年臺灣國有林區能值流動概要

Table 2. The summary of EMERGY flow for national forest at Taiwan in 1992.

代號	項 目	太陽能值 (sej/y)	金 額 (E9 \$)
R	可更新資源使用情形	1.134E+22	
N	初級自然資源流動情形	4.297E+21	
G	投入財貨及勞務	6.182E+21	
Y	森林生產	6.869E+22	
X1	林業及伐木業生產毛額(EY)		1.128
X2	國有林區生產毛額(EY)		0.347
P1	未開發國家能值/貨幣比值	4.00E+12 sej/\$	
P2	已開發國家能值/貨幣比值	1.80E+12 sej/\$	
P3	世界能值/貨幣比值(1990)	1.98E+12 sej/\$	
P4	臺灣能值/貨幣比值(1990)	1.35E+12 sej/\$	
	(1987)	1.87E+12 sej/\$	
	(1980)	4.14E+12 sej/\$	
	(1970)	1.28E+13 sej/\$	
	(1960)	3.15E+13 sej/\$	
P5	臺灣國有林區能值/貨幣比值	3.39E+14 sej/\$	

(二)、能值指標分析

能值分析的研究過程步驟, 必須估算能值指標, 而其各項指標有其計算之方法與所代表的意義。表3. 為國有林區能值指標一覽表; 表4. 可看出臺灣國有林區能值指標與民國七十九年臺灣地區能值指標之差異, 以瞭解國有林區在臺灣生態經濟系統所扮演的角色。

表3. 國有林區能值指標一覽表

Table 3. The summary of EMERGY indices for national forest

項目	指標名稱	說明	數值
1	可更新資源能值流量	R	1.134E+22 sej/y
2	初級資源能值流動	N	4.297E+21 sej/y
3	總能值使用量, U	R+N+G	2.488E+22 sej/y
4	可更新資源佔總能值使用量比例	R / U	0.46
5	無須付費資源佔總能值使用量比例	(R+N) / U	0.63
6	淨能值產量比	Y / G	11.11
7	能值投資比	(N+G) / R	0.92
8	總能值使用量與國有林區生產毛額之比值	U / EY	7.170E+13 sej/\$
9	能值使用集約度比	G / (R+N)	0.40
10	能值使用密度	U / area	1.596E+16 sej/ha

人類使用和經營森林，需要與國際間、國家、區域和森林內的生態區一致以及保續性森林更新收穫和利用，才可生產最大的總能值使用。開發和利用本地資源，須配合進口能值與國內使用能值的均等性。

1. 木材之年砍伐量，其產出能量與可更新自然資源（如風）投入能量相比較，差異極大；計算能換率 $1.665E+6$ ，超過熱帶林人工林18,000及混合林35,000，此受政策性限制木材採量影響。生態多樣性或分歧性高，以及保育性價值高者，其能換率相對會較大，臺灣森林經營在公益性、保續性及經濟性等三大原則下，木材砍伐量與能換率之互動關係，似乎可在27萬公頃人工林尋找最適定位。
2. 森林生產中，以水資源涵養所具有之太陽能值最高，總體經濟價值亦最大，表示森林生態系對水資源之涵養，具有莫大功能。尤其在近幾年臺灣用水量大幅成長（平均每年增加一億二千萬噸），並且政府長期對水資源管理不善、矛盾互見，造成水資源危機之下，更有解危之效。依焦國模氏等(1991)研究指出，森林在水資源涵養機能上，每年每公頃有78,000元；本研究分析所得之水資源涵養能值，如與臺灣全島能值貨幣比換算，則可得每年每公頃約32,477元，差距近兩倍。
3. 在不可更新資源流動方面，土壤以相當每年 $4.297E+21$ 能值流失，如同流失3,183百萬元，在臺灣山勢陡峭，土石崩塌嚴重下，在造林撫育及治山防洪的經費預算上，應投入大於相等的財物、人力至水土保持工作。
4. 可更新資源佔總能值使用量比例偏高，整體獲取自然界原始驅動力稍高；但無須付費資源佔總能值使用量比例偏高，顯示對森林生態系的保育及計劃經費投入已稍具成果。
5. 淨能值產量比大於1，具經濟效益，乃為產出能值中蘊涵龐大水資源，此森林之公益功能發揮，甚為明顯。

6. 依Odum在進行一百多個國家地區生態經濟系統能值分析結果認為，能值投資比大於7，是屬於經濟發達國家或地區；能值投資比小於7，是屬於經濟不發達國家或地區；故臺灣國有林能值投資比0.92，是屬於經濟低度開發地區。
7. 總能值使用量與國有林區生產毛額之比值，代表每一塊錢可購買等值之能值數量多寡；依臺灣國有林區能值分析得知，每一塊錢可購買 $7.170E+13$ 能值，超過熱帶雨林之比值，並遠大於衡量未開發國家臨界值 $4E+12$ 能值；依臺灣經濟發展現況和國民總生產毛額言之，一是可能發生資源錯置及忽略自然資源對經濟系統之貢獻；二是臺灣森林位置地勢、國土保安、國計民生必要性，以及經營作業施業困難、利不及費因素下，政府計劃性金錢投入支援(如加強林業落實水土保持計劃、治山防洪計劃)，但實質價值生產有限下，總能值使用量與國有林區生產毛額之比值自會甚高。
- 能值-貨幣比率(總能值/GNP)高者，常見於鄉村和未開發國家，乃因直接由自然環境獲得能量維持人類經濟，而不須付任何費用。
8. 能值使用集約度0.40，國有林地面積佔全島面積43%，但投入財貨及勞務，以及現代化經營設備，仍未普遍採用或集約經營。
9. 能值使用密度 $1.596E+16$ ，即臺灣國有林地每公頃之蘊涵能值為 $1.596E+16$ ，未來是森林能源研究開發的重鎮。
10. 森林生產中，森林利用的淨能值產量比為0.0028、水資源的淨能值產量比為11.72、森林遊樂的淨能值產量比為0.87，只有水資源涵養值大於1，較具經濟效益。

表 4. 臺灣國有林區與民國七十九年臺灣地區能值指標之比較

Table 4. The comparison between EMERGY indices for national forest with EMERGY indices for Taiwan in 1990.

項目	指標名稱	指 標	
		國有林區	民國七十九年臺灣地區
1	可更新資源能值流量	1.134E+22	2.130E+22 sej/y
2	初級資源能值流動	4.297E+21	4.020E+22 sej/y
3	總能值使用量, U	2.488E+22	2.137E+23 sej/y
4	可更新資源佔總能值使用量比例	0.46	0.0996
5	無須付費資源佔總能值使用量比例	0.63	0.17
6	能值投資比	0.92	9.04
7	總能值使用量與生產毛額之比值	$7.170E+13$	$1.350E+12$ sej/\$
8	能值集約度比	0.40	5.02
9	能值使用密度	$1.596E+16$	$5.940E+18$ sej/ha

