

# 生態系與生態系經營：是真實？還是幻想？

林朝欽<sup>1,2</sup>，陸聲山<sup>1</sup>

<sup>1</sup>林業試驗所森林保護組；<sup>2</sup>通訊作者 E-mail: *chin@tfri.gov.tw*

**[摘要]** 生態系一詞自 1935 年出現至今已七十七年，且成為一個耳熟能詳的名詞，也是生態學研究中重要的一個議題。然而生態學界不斷的在探討它的明確定義、理論基礎與應用實例，其中更有兩本歷史背景的專書討論它的觀念與內涵演變。雖然 1990 年代生態系理論看似已成熟，引用生態系觀念的自然資源經營也被奉為新典範，然而生態系經營的理論假設前提卻仍受到質疑。使得生態系與生態系經營這兩個名詞使用的爭論一直存在，不論研究者或實務工作者都嘗試釐清這兩個名詞的意涵，以排除爭論不休的困擾。本文從其歷史背景、理論假設與應用等面向進行文獻回顧，並討論生態系與生態系經營這兩個概念的演變與未來可能趨向。

**關鍵字：**系統、生態系、複雜性、複雜自適系統

## Ecosystem and Ecosystem Management: A Reality or A Fantasy?

Chau-Chin Lin<sup>1,2</sup> and Sheng-Shan Lu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Protection, Taiwan Forestry Research Institute; <sup>2</sup>Corresponding author E-mail: *chin@tfri.gov.tw*

**ABSTRACT** The term “ecosystem” was first coined in 1935. It has been in use for 77 years and is now a common term to ecological communities. The concept of ecosystem has also turned into one of the most important topics in ecological research. Furthermore, based on the maturity of theory development, the applications of ecosystem concept on natural resource management called “ecosystem management” emerged in the 1990s. Ecosystem management is considered a new paradigm of resource management in the 20th century. However, there exists a long period of debates on the clear definition, theory assumptions, and applications of both terms, although two books had been published in an attempt to clarify their historical background and theory development. Not only researchers but also practitioners are struggling to tackle the confusion surrounding the meaning of the two terms. This article is an attempt to review the two concepts from historical and theoretical points of view, and issues found in their applications. We also discuss the evolution and future change of the two important concepts.

**Keywords:** system, ecosystem, complexity, complex self-adaptive system

### 前言

生態系 (ecosystem) 一詞在 1935 年出現，

迄今已 77 年，而真正引用生態系觀念的第一個研究報告發表於 1942 年 (Lindeman 1942)；1945 年二次大戰後的東西方冷戰與韓戰期間

形成的核子武力威脅，使得生態系觀念在 1950 年代適時成為研究放射性物質影響人類社會的基礎，1960 年代研究生態系的科學家受惠於美國原子能委員會提供的大量經費，更加速建立起生態系的理論，並形成生態系生態學的研究領域，使得今天生態系成為一個耳熟能詳的名詞，也成為生態學研究中重要的一個議題 (Golley 1993, Hagen 1992)。

另外，引用生態系觀念而倡導的生態系經營始於 1970 年代，1988 年「生態系經營 (ecosystem management)」這個名詞開始出現 (Agee and Johnson 1988)，直至 1992 年，「生態系經營」成為美國林務署新森林經營的政策指導，並且被認為是自然資源經營的新典範，迄今「生態系經營」一詞成為另一個理想的環境管理與自然保育的代表 (Christensen *et al.* 1996)。

但「生態系」與「生態系經營」這兩名詞的使用其實含混不清，不論研究者或實務工作者都存在定義的爭論與釐清生態系一詞的意涵的困擾，生態系一詞更包含了三種不同內容：一個實體 (entity)、或描述及說明此實體的理論(theory)、或一種研究方法 (methodology) (Jorgensen and Muller 2000, Laplante 2005)。

事實上生態系一詞出現後，生態學界不斷的在探討它的明確定義、理論基礎與應用實例，其中更有兩本歷史背景的專書討論它的觀念與內涵的演變 (Golley 1993, Hagen 1992)。雖然 1990 年代生態系理論看似已成熟，引用生態系觀念的自然資源經營也被奉為新典範。然而生態系觀念與理論的假設卻仍受到質疑，2001 年一篇「該是掩埋生態系觀念的時候嗎？」的論文，首先提出了生態系理論假設的缺點 (O'Neill 2001)；2012 年另一篇「生態系是有計畫滅種的觀念」的報導文章出現，除強力譴責生態系觀念的錯誤，更直指其原始目的主要是為大英帝國在殖民區永續控制自然資源的歷史思維，它並不算是真正的科學理論 (Anonymous 2012)。這個評論是依據生態學在英國發展的歷史背景所推論的，生態學在英國

的發展從 1904 年的名詞確定為「Ecology」，到 1945 年以後大英帝國逐漸瓦解，這期間的生態學研究被稱為帝國生態學 (Imperial Ecology) (Anker 2001)，有兩大支柱分別開拓帝國生態學的理論與研究，其一是以 Tansley 為首的倫敦帝國生態學及以 Smuts 為首的在南非開普敦帝國生態學，Tansley 以系統 (system) 觀念看待帝國的資源利用，而身為南非總督的 Smuts 則在面對南非各黑人族群的情況下，以哲學的整體論 (holism) 作為可以解決殖民地社會、政治、資源與種族管理問題的基礎。雖然南北兩方在不同的擁護者支持下發展生態學理論與研究，但其主要的任務都是為了能維護大英帝國的資源永續控制與利用為最大前提 (Anker 2001)。果真如此，則它的瑕疵是什麼？又若不是真正的科學理論，什麼樣的理論可以取代？本文嘗試從其歷史背景、理論假設、應用與未來可能演變探討此一重要的生態觀念。

#### 一、「生態系」出現的歷史背景

大多數文獻在提及生態系一詞時都認為是英國植物學者 Tansley 在 1935 年所創 (Tansley 1935)。1997 年英國生態學家 Willis 提出不同說法，他引用歷史文件指出：“Tansley 在 1930 年代早期曾請教牛津大學植物學系的一位年輕人 Clapham，問他有沒有一個適當的名詞可以用來描述：包含生物的與物理的環境因子的相互關係的一個單元，Clapham 建議了 ecosystem 這個名詞給 Tansley”。於是 Tansley 將之使用在 1935 年的論文裡，但 Tansley 在文章中並沒有提及或致謝 Clapham (Willis 1997)。這不過是一段小插曲，事實上 Tansley 提出生態系這個名詞的背景涉及到早期生態學與哲學間的辯論以及 Tansley 本身也是心理學家的混雜。Tansley 是一個集生態學、心理學與哲學於一身的學者，受英國社會主義者 Fabian 的影響，Tansley 曾因同情蘇聯革命而喪失擔任牛津大學教授的機會，這意外讓他轉習心理學，並在 1920 年出版了一本心理學的

書，這本書中 Tansley 強調人的精神能量 (psychic energies) 與心靈互動以尋求一個無意識的平衡，並努力的要在社會環境下保持這個平衡 (Anker 2002, Dagg 2007)。

雖轉習心理學，但 Tansley 仍醉心於生態學，並在 1927 年獲得牛津大學植物學教職，同時他也參加牛津大學 Magdalen 學院的哲學俱樂部，這個俱樂部是浪漫理想主義與物質現實主義的辯論場。1932 年 Tansley 寫了一篇回應理想主義者論點的哲學性文章，他提出了有機與無機物質連結的系統概念，這個概念被認為是 1935 年生態系觀念的前身 (Tansley 2002)。但 1935 年 Tansley 提出生態系這個名詞的文章題目是：「植群觀念與名詞的使用與誤用」，是討論生態學而非心理學的論文，這篇文章主要是在回應 1934-1935 年間南非生態學家 Phillips 出版的一篇長論文 (Phillips 1934-1935)，然而為何會有這一系列的學術筆戰？我們必須先回顧生態學誕生的歷史，1859 年 Darwin 出版聞名的「物種起源」一書後，很快風行歐洲，德國動物學家 Haeckel 讀完物種起源第三章「為生存奮鬥 (struggle for survival)」時認為 Darwin 的主張必須有一個新的學科加以探討，他把這個新領域命名為生態學 (ecology)。因此，Darwin 「為生存奮鬥」這一章的討論內容被認為是生態學的根本基礎 (Allee *et al.* 1949)。Haeckel 這個主張也在美洲發生，美國植物學家與自然史研究者首先放棄以往描述性的觀察，開始使用量化的自然研究，而開展生態學成為 20 世紀與環境問題結合的重要學科 (Kingsland 1991)。

美國學者中 Clements 是一個相當有名的植物學家，1916 年 Clements 發表植物演替 (plant succession) 理論，更進一步認為演替到最終會形成極盛相 (climax)，極盛相時的植群可以看成是一個超有機體 (superorganism)，而極盛相也是這個超有機體成熟的穩定狀態 (Clements 1916)。Clements 的演替理論雖受到一些質疑，但當時大多數生態學家支持這個理論，南非的生態學家 Phillips 是其中的忠實信

徒之一，他並且使用南非種族隔離主張者與哲學家 Smuts 的整體論 (holism) 作為生態研究的基礎，結合演替理論提出生物社會 (biotic community) 理論 (Phillips 1934-1935)。Smuts 的整體論是理想主義的哲學主張，而演替論是生態學的主張，這兩者的結合也成為哲學辯論的議題之一。Tansley 不同意 Smuts 的整體論，並把他 1932 年在 Magdalen 學院的哲學俱樂部發表的論文送給 Phillips，Phillips 則認為 Tansley 這篇論文攻擊理想主義與他的生物社會理論，而於 1934-1935 年發表長文反駁，Tansley 只好再寫一篇以植群為主題的論文回應。因此，生態系這個名詞是混雜生態學與哲學辯論的歷史背景下的產物，且因為 Tansley 轉習心理學後所發表的文章也強調系統觀念，所以生態系這個名詞也被認為是受到心理學的影響所提出的，還有 Tansley 提出生態系觀念時，其實隱含了一些假設前提，從科學邏輯的完整性來看，這些假設前提有瑕疵，所以生態系這個名詞往後被引用與推廣出來以後，不論學術研究或應用在實際的資源管理上都造成認知差異。

## 二、含混不清的生態系定義與觀念

從文獻諸多的討論上，生態系一詞似乎有多重意義與用法，因此研究或引用生態系這個觀念必須先釐清其內涵，否則難以真正了解或引用生態系這個觀念。到底 1935 年 Tansley 如何定義生態系這個名詞？Tansley 給生態系這個觀念的定義是：“從物理學觀點而言，整個系統 (system) 所包括的不只是複雜的生物，還包括我們所說的由整個物理因子所形成的生物區系 (biome) 的環境，也就是廣義所說的棲地因子” (Tansley 1935)。當時這個定義最主要的用義是批評 Phillips 把 Smuts 整體論的哲學觀念混雜 Clements 的生物群落觀念所形成的生物社會的不恰當，Tansley 認為對生態學而言：生物社會一詞是把動物與植物當成性質相同的成員。因此，Tansley 不斷的提到地球上自然界是由各種系統，包括有機的與無機

的所形成，Tansley 稱它們為生態系。也因為是系統的觀點，所以系統內的各成份會有一定的組織形成，各組織一旦形成，則系統間就會達到平衡 (equilibrium)，各系統若愈能自主，則愈能達到穩定性 (stability)。Tansley 在生態系定義的論述中認同 Clements 的生物群落觀念，但他認為應該包括非生物的物理環境而成為一個完整的系統。不論 Clements 的生物群落、Phillips 的生物社會或 Tansley 的生態系，三者都以生物為主要討論的對象，但為何會出現「生態系是有計畫滅種的觀念」這樣強烈批評的報導文章？

主要是生態系觀念在 1950 年代以後被以機械系統比擬，並用機械論的研究法進行生態系研究，亦即把生態系擴大到自然界看成是一部機器。因為把生態系等同機器來看待，所以才有生態系各組成的結構、功能，而了解這個系統也可以用能量輸入與輸出的系統理論來達成 (Golley 1993)。Lindeman 是第一個引用生態系觀念的人，他以位於美國明尼蘇達州的一個雪松為主之泥碳沼澤的小湖泊(Cedar Bog Lake)為研究對象，研究這個小湖泊的食物循環(food-cycle)，Linderman 於是把生態系觀念引用進來，並界定以這個湖的範圍為生態系範圍，再把生態系的生物成份加以簡化為營養層級(trophic levels)，以營養層級中食物循環作為生態系中生物與非生物能量流的連結，最後 Lindeman 再用演替理論來描述這個生態系的變化 (Lindeman 1942)。Lindeman 的研究在 1942 年發表，也促成了生態系觀念與機械論、熱力學、控制學 (cybernetics)的結合。推廣這樣結合最有力的生態學家當屬 Odum 兄弟，生態系觀念逐漸演變成今天生態系生態學的樣貌 (Golley 1993)。

Tansley 的系統觀念在 1950-1960 年代在美國被發揚光大，再加上 1970 年代的環境問題出現，生態系觀念同時被保育與開發人士引用。主張保育者拿系統穩定性強調必須限制開發；但主張開發者則反擊說只要清楚了解系統的結構與功能，資源是可以永續利用的。到今

天已進入 21 世紀，保育與開發仍然使用生態系這個名詞，當成各自所謂的科學根據。但為何兩個完全對抗的主張可以使用同一個生態學名詞？這要歸因於 Tansley 的生態系假設的瑕疵。這個瑕疵與十九世紀科學界的基本哲學觀有關係，十九世紀科學哲學觀是所謂的機械式宇宙 (clockwork universe)，當時的科學家相信，只要有一些數學公式，就能描述世界所有的物理現象，並預測即將發生的事件，但要能作出這樣的預測，科學家通常必須有一些假設來限縮可能產生誤差的條件 (Salsburg 2001)。Tansley 定義的生態系也含有一些假設前提，O'Neill (2001)將之分為以下六項：

1. 空間封閉性假設
2. 空間同質性假設
3. 物種可替代性假設
4. 忽略自然選擇假設
5. 固定尺度的穩定性假設
6. 人類不在系統中假設

所謂空間封閉性假設簡單的說即是：生態系必須有一個範圍。這個假設前提界定生態系是在一個封閉系統內探討系統內各成份的互動關係與動態平衡。但自然界似乎不是如此的，例如我們定義玉山塔塔加的雲杉林是一個森林生態系，它不是孤立的系統，比雲杉林海拔低的地方有闊葉樹林，比雲杉林海拔高的地方有鐵杉或冷杉林，從生物、能量、物質交換與迴饋的系統運作上而言，雲杉林不可能封閉而自成一個獨立系統。

其次空間同質性假設是指：把固定空間的系統內所有異質性加以平均，以取得系統可以有預測的性質。例如把生態系內的物種以營養層級加以區分，就可以簡化生態系內的物種成為生產者、捕食者，進一步預測能量流與輸入輸出關係，同質性假設才能讓生態系討論所謂的穩定性。我們可以用上述雲杉林的例子來說明生態系統的穩定性預測不可能忽視系統間的異質性，假設玉山塔塔加的雲杉林與南湖大

山另一片雲杉林各自系統內的平均性質相同，但空間上的兩個系統具有異質性的不同，比較兩個系統就會產生問題。

再來物種可替代性假設是指：我們通常以物種名錄中優勢物種來定義生態系，例如前述的雲杉林生態系，但如果生態系被干擾後回復到先前的功能，但優勢物種已被取代或物種名錄已改變，我們卻仍然認為原先所定義的生態系仍然存在，依優勢物種定義生態系的原則此回復的生態系應該已是不同生態系。不過以生態系中功能群或營養層級而言，受干擾後回復原功能的生態系仍然存在，例如 Lindeman 的湖泊研究，所以物種與物種是可替代的。所以這個假設前提讓生態系觀念含混不清，它造成混淆物種與系統功能間的差異，讓人質疑生態系是否真的存在？最明顯的例子是經由花粉記錄所追溯的不同冰河期植物，結果顯示根本沒有穩定的生態系，也就是說生態系這個假設也是不成立的 (Davis 1976)。

另外忽略自然選擇假設是指：物種可替代性存在時，自然選擇的角色就減小了。如前所述，物種可替代性存在時，生態系穩定性的假設是功能群在物理的、化學的環境限制下產生的變動。但實際上簡單的經驗事實顯示，生態系是由各自己被自然選擇形塑的互動族群的集合，因此自然選擇造成系統穩定性的角色與環境因子不相上下。更甚者，自然選擇促進生物族群最適化或極大化資源分享才是生態系統穩定性的原因，這個假設前提是生態系觀念在系統穩定性上最嚴重的局限。

再就固定尺度的穩定性假設指：因為生態系已假設具有一定的空間範圍，所以所謂的穩定性是排除系統外的因子。當干擾發生時，生態系的穩定性是指系統在受干擾後系統運作機制的回復或不變，干擾規模不超出生態系所定義的範圍時，系統不會受到影響，生態系觀念可以把它當作系統內部的因子；干擾規模超過生態系所定義的範圍時，就把它認為是系統外的因子，因此生態系最後的穩定性是必須局限在干擾規模屬於系統範圍內的因子。野火是

一個最明顯的例子，野火可以被認為促進生態系功能健全的干擾因子而被生態系理論接受，也可以被認為是摧毀生態系的外在災害因子 (DeBano *et al.* 1998)。但如果生態系一定的空間範圍擴大，則生態系的外在災害因子又可以變成系統內因子被接受，與物種可替代性假設前提一樣會造成混淆不清。

最後是人類不在系統中的假設是指：生態系的變化不包括人類的種種活動。農業活動改變養份循環，例如農業活動施用氮肥量早已超過自然的氮固定速率 (Vitousek 1994)，便是一個明顯的例子；而人類不斷攫取高比例的生態系初級生產量與改變物理環境，也算是另一個例子。但所謂的永續性利用，仍然強調以生態系為主體；而生態系經營中排除人類是生態系內一個成員的觀念與理論應用，也算是生態系觀念並不科學的假設前提。

以上的假設前提造成了生態系觀念的含混不清，當我們說生態系這個名詞時，它事實上包括了三種意涵 (Laplante 2005)：

1. 生態系是指一個實體
2. 生態系是指如何處理一個實體的理論
3. 生態系是指一種方法論

生態系最常見的定義為在某一個區域範圍內或生物群落內的生物與其物理環境的整體，這是把生態系當成一個實體或物件來看待，也因此發展出許多理論來研究這個實體的組成、功能、動態等變化。生態系理論並非 Tansley 在提出它的定義時就形成，它出現在 Lindeman 引用生態系觀念的研究之後。Lindeman 將所研究的湖泊當成一個生態系，並把其中的各物種組成營養級，因此他認為營養級的動態與群落結構變化，是太陽能量之捕捉與轉換所驅動的生物地球化學循環 (biogeochemical cycling driven)，也就是描述與解釋前述實體內的能量與物質流動與交換是一個理論。最後是把生態系當成一種科學的研究的方法論，Lindeman 以後的生態學家因為

針對的研究重點不同，就出現了不同生態系理論型式，例如探討能量循環的生物地球化學可以說是生態系理論的一支；探討生態系整體的組成與性質的系統生態學也可以說是生態系理論的一支，不同的分支使用不同的方法如觀察、實驗、比較、建模或模擬的方式，都以生態理論作為基礎 (Likens 1992)。因此單純研究族群的生態學家仍然可以接受生態系這個名詞，因為它被看成是一個實體；而一個生態系理論生態學家只把生態系當成一個解釋系統的研究；或者一個生態學家可以擁護生態系研究法，並應用到某一個生態現象而無須關連到一個生態系的實體或理論。例如我們如果在網路上搜尋「基於生態系方法」(an ecosystem approach to)，我們可以找到都市規劃管理、漁業、保育等等。所以生態系這個名詞的多重意義，必須加以清楚區分之。

生態系觀念另一個受的質疑的點是 Tansley 所說的平衡，平衡的概念通常又名自然平衡 (balance of nature)，西方文化概念裡自然平衡是一種比喻 (metaphor) 式的宇宙觀，認為自然界中的所有事物是互相連結並秩序井然的處在一個平衡的狀態，而地球就像其中的一個大機器 (McCann *et al.* 1998, Perry 2002, Wu and Loucks 1995)。自然平衡的哲學觀雖然不是一個科學理論，但卻深深影響著科學研究，生態學也不例外。但事實上這個觀念與熱力學第二定律是違背的，生態系如果達於平衡代表系統的死亡，實驗證明自然界會因干擾而永遠處於變動，自然界幾乎沒有機會走到長期的平衡狀態；更甚者，就算沒有干擾存在，動植物的族群本質上也是處於不穩定狀態 (Anand *et al.* 2010)。

除了受質疑的自然平衡概念外，生態系觀念還有一點受到質疑的是：機械論的比擬。把生態系看成是一部機器的比擬並不是 Tansley 當初定義所提出，Tansley 的生態系定義只是很單純強調：研究植群不能忽略動物與非生物因子也屬於系統內的成份。今天生態系研究中的能量流、物質、與系統輸入輸出的可模式

化、可預測與可監測是生態系在後來被擴大發展出來的，而這樣的發展在 1960 年代首度的大規模試驗中卻嘗到了失敗的結果 (Golley 1993)。1957 年國際上發起一個大尺度的生態與環境的研究倡議，1964 年國際間終於組成了一個大尺度的「國際生物計畫 (International Biological Program, IBP)」，以人類福祉與生產力的生物基礎當成總目標，其中陸域生態的研究重點為生態系，並選擇凍原 (tundra)、北方林 (boreal forest)、溫帶林 (temperate forest)、草原 (grassland) 及熱帶林 (tropical forest) 等五類生物區系作為生態系的研究對象，主要參與的是美國、加拿大、及歐洲地區 (Golley 1993)。美國是這個計畫執行最積極的國家，分別對應這五大類型的生態系而設置研究地點於：阿拉斯加 (凍原)、針葉樹林 (華盛頓州與奧瑞岡州)、草原 (科羅拉多州) 以及其他不同的生態系，其中草原生態系的研究最為有名，其主持人 DyneVan 甚至想以電腦建立一個虛擬的生態系出來。

IBP 計畫在 1964 年開始，到 1974 年結束，但不論國際的或是美國本身，並沒有獲得具體的成果，最主要的原因是把生態系當成可以加以控制的機械論，並朝此假設進行模式化，當野外數據愈多時愈發現生態系的複雜性，但野外所蒐集的資料卻不足以建立可以預測的模式，更不要說驗證模式；機械論雖可以把物種簡化成營養級，但卻無法獲得物種與環境的互動關係及互動後對系統的迴饋關係，所以絕不是簡化為營養階層可以解決的 (Aronova *et al.* 2010)。以機械論為主的 IBP 計畫主由建模的研究人員操作，生態學家或生物學家淪為野外資料蒐集工人，另外當初期待能透過此計畫建立起資料中心的目標也因為兩組研究人員合作出現問題而無法建成 (Van Dyne 1978, 1980)，這些原因都直接或間接造成了 IBP 計畫沒能讓機械論的生態系研究獲得成功。

其實生態系實證的研究數據不足問題，早在 1942 年 Lindeman 的湖泊研究發表過程中，就被質疑過，雖然 Lindeman 引用生態系觀念

建構他所認為的生態系理論，但當時兩位審查 Lindeman 論文的審查者認為，沒有數據支撐的理論性文章不應刊登在生態期刊，後雖經 Hutchinson 向總編輯申覆通過而刊出 (Golley 1993)，但到 1974 年 IBP 計畫結束時，不論以機械論作依據或以 Lindeman 的生態系理論實證的例子，卻仍然沒有真正出現。IBP 計畫雖然沒有成功達成建構生態系如同一個可以操控的機器模型，但提供了數據蒐集與長期觀測的經驗，而促使美國國家科學基金會啟動了長期生態研究 (Long Term Ecological Research, LTER) 計畫 (Aronova *et al.* 2010)。一些在 IBP 計畫中的研究地仍然存在，並成為 LTER 最初幾的幾個試驗地，例如在奧瑞岡州林務署的 HJ Andrew 試驗林就是其中之一。除此，IBP 計畫也行銷了生態系觀念，促使 1990 年代生態系經營的自然資源經營典範轉移。

### 三、生態系經營的盛衰

北美斑點鴉 (northern spotted owl) 是一種依賴老熟林 (old growth forests) 棲息的貓頭鷹，1975 年就被美國奧勒岡州指定為瀕臨絕種威脅的物種，1983 年美國林務署西北林區把它指定為指標物種，作為評估森林經營計畫編定的參考依據，1985 年美國保育團體之一的奧杜邦學會 (National Audubon Society) 組織了一支科學調查隊調查北美斑點鴉的棲息狀況後，認為應該立即進行保護行動，1987 年林務署西北林區進行了一次複查，出現不同結論，這個官方的結論不被民間接受，引起了抗爭與法律訴訟，1990 年美國國會在不斷的爭議中作出北美斑點鴉的保育策略，規定美國自然資源機關管轄的 240 萬公頃國有地必須為北美斑點鴉的保育擬定計畫，這個決定促使了各自然資源機關改變他們的資源經營管理方式。1992 年美國林務署署長 Robertson 發表一封給各林區及工作站主管的信標舉「生態系經營」將成為林務署的新政策開始，生態系經營在當時 Clinton 政府的自然資源管理機構中成為主流的政策 (Thomas 1996)。但此一觀念

卻早在 1960 年代就有學者提出，並認為公有土地應該考慮以生態系觀念作為經營管理參考，且以考慮生態系的可持續性經營 (sustainable management) 為重點 (Czech and Krausman 1997, Robbins 2012)。「生態系經營」一詞雖在 1977 年就出現，但遲至 1988 年「生態系經營」這個名詞才被較清楚的定義，在「國家公園與野境的生態系經營」一書中定義生態系經營為：調整生態系內部的結構與功能、輸入與產出以達成社會期望之狀態 (Czech and Krausman 1997, Agee and Johnson 1988)。1988 年之後生態系經營不再是學術研究的名詞；再加上 1980 年代，美國公眾對傳統自然資源管理的不滿，尤其是公有土地長期忽視，故要求可持續資源使用的呼聲日益強烈，(Robbins 2012)，迫使自然資源管理單位必需改變政策，紛紛以生態系經營作為新的經營政策。

自 1992 年至 1995 年，短短三年間美國就有 620 個生態系經營的計畫提出，其中的 77 個被詳細研究與評鑑，結果顯示：因為生態系經營是長期的試驗與實務工作，短期的評估這些計畫很難認定它們的實施成功與否 (Yaffee 1996)。如此的結果其實與生態系觀念本身充滿爭議一樣，定義生態系經營就因人而異，文獻上至少超過 50 個不同的定義 (Pavlikakis and Tsihrintzis 2000)，讓人無法確定生態系經營的具體內容。但不論如何分歧，在眾多定義中仍有較為全面性且為較多人接受者，這個定義是 Grumbine (1994) 所提出來的：生態系經營指在生態組成間的關係、及複雜的社會政治價值框架下，整合科學知識，朝向達成共同為保護生態系完整的長期目標。根據這個定義，可以說生態系經營是依據明確的原則及各相關執行元素的整體性方法，這個方法是為達成某個區域內開發與保護的社會認同方案。

在原創生態系經營的美國今天的情況為何？2001 年 Bengston 等檢視公眾對生態系經營的態度 (attitudes)，他們利用 1992-1998 年間美國 24 家報紙、5 家新聞專線、4 家電視與廣播中出現生態系經營的頻度，發現高達 78%

的新聞中公眾的態度是正面的，但這個詞的出現頻度已逐漸降低。顯然提倡生態系經營這個新政策是符合公眾對自然資源管理改變的要求。雖然社會對生態系經營的接受度高，但2006年另一份針對美國15個聯邦機構的訪問調查卻發現已經有8個聯邦機構使用其他的名稱來取代生態系經營一詞，其理由是生態系過於含混不清，尤其是它的範圍幾乎無法訂定，例如林務署、國家公園署、漁類暨野生動物署改用地景系統經營(landscape management) (Breckler 2006)。這現象正如生態系經營批評者所說的：生態系經營是政策選擇的一個必要性的偽裝，因為生態系經營可能是某些環境的最佳政策選擇，但絕不是唯一存在的政策選擇 (Grumbine 1997)。另外生態系經營也被批評是偽科學 (pseudo-science) 的政策，因為生態系這個觀念本身的含混不清 (Cork III 2010)。話雖如此，但仍然有學者認為生態系經營有迫切的需要 (Wenig 2012)。生態系經營的辯論雖然仍會持續，但生態系經營的政策被其他名詞逐漸取代卻是無可避免的事實。生態系經營雖仍然是世界上許多國家學習與作為自然資源經營的典範，但它的意義與內涵將不再是為達成所謂完美的整體目的。

#### 四、台灣生態系經營之今昔

生態系經營的風潮不只是在美國受到討論與研究，也影響全世界的自然資源經營政策之改變。台灣也不例外，1993年林業試驗所舉辦「台灣森林資源的永續經營研討會」開啟了台灣的生態系經營熱潮 (洪富文 1993)，至今在林業試驗所、林務局、國家公園管理處、特有生物保育研究中心等自然資源管理或研究機構的官方網站中都可以找到生態系經營的計畫介紹，例如林務局如此描述生態系經營：“臺灣森林向採永續經營為原則，在世界環境資源經營風潮下，整合「森林永續經營」、「森林資源多目標利用」及「維護生物多樣性」三大理念，以地景層級建構森林生態系經營體系”(林務局 2012)。而特有生物保育研究中心

的棲地生態研究 (生態系經營) 研究室如此認定生態系經營：“「棲地喪失」是生物多樣性減損的主要原因，棲地的保護與復育已成為世界各國在積極推動生態保育與維護生物多樣性工作時必須面對的挑戰。目前台灣許多重要及特殊的生態系面臨了伴隨經濟發展而來的過度開發、環境污染、河川混凝土化、外來物種入侵等外力的嚴重威脅，使自然棲地不斷的破碎化、劣化甚至消失，本土物種減少、瀕絕甚至滅絕”(特有生物研究保育中心 2012)。又例如雪霸國家公園管理處委託的研究「武陵地區生態系長期監測與研究」(雪霸國家公園管理處 2010) 如此看待生態系經營：“雪霸國家公園最重要的任務是自然資源與生物物種的保育，尤其是分布只侷限於大甲溪上游武陵地區，但數量已瀕臨絕種的陸封型台灣櫻花鉤吻鮭。保育工作需以宏觀的角度來管理自然資源，也就是生態系管理，其基礎建立在各項資源的瞭解與掌握。”由以上的幾個例子，台灣到底有沒有進行生態系經營的條件及清楚的生態系概念？夏禹九 (1999) 曾在研討會中提出一個看法：隨風而行等待我們去追尋。他認為“我們並不能因為生態系經營定義的缺點與其發展尚未成熟就不嘗試去推動它；因為生態系經營所強調的大尺度、系統的視野、著眼於生態系的組成、過程與複雜性、生態、經濟與文化尺度的考慮以及生態系的長期永續性的經營目標均是傳統資源經營管理上所無法顧及或已經產生了的問題”。

事實上，從1993年台灣開始學習生態系經營開始，並沒有太多的研究來支撐與發現問題，事隔近20年，林業試驗所於2007年再舉辦了一次生態系經營相關的研討會，雖然是針對人工林生態系經營，但該研討會論文集所收錄的13篇論文沒有一篇論及生態系經營，而其會議的目的卻是為回顧過去人工林經營(如疏伐作業)的成效與優缺點，同時審視目前人工林疏伐研究的結論與成就，將重心放在找出「適應性經營人工林」達到上述諸功能及復育森林所需的科學資訊，提供今後人工林經營

的若干參考 (邱志明 2007)。如果以夏禹九在 1999 年所提出的方法，縱使是人工林也似乎要考慮傳統資源經營管理上所無法顧及的生態系的組成、過程與複雜性做為研究重點，而非林分調整的疏伐作業，更何況這些林分早已超過森林經營的輪伐期，林分調整與森林經營目標如何搭配？顯示生態系、生態系經營的觀念歷經近 20 年在台灣仍然混淆不清，也把生態系經營的實務困難忽視，導致把生態系經營當成口號，或者只是套用生態系經營的這個名詞。這現象與 1992 年到 1996 年間的美國生態系經營的高度混淆不清的情形相似 (Grumbine 1997)。

## 結語

當 Tansley 在混雜哲學與生態學的論辯下寫下生態系這個名詞時，他並未預知這個名詞會成為生態學上最重要的名詞之一，但也因為混雜哲學的影響，生態系這個名詞往後的發展一直被學術界以傳統的化約論 (reductionism) 加以論述與推廣，忽略了 Tansley 當年定義生態系時早就隱含了複雜性 (complexity) 在內。Tansley 的生態系定義是從系統學的角度出發，它屬於錯綜複雜無可預測性的系統，而 1950-1960 年代仍然以傳統科學研究法的化約論為主，縱然如 Odum 兄弟以系統論來研究生態系 (Golley 1993)，但仍然只能處理屬於有具體結構的複雜性系統 (complicated system)，對於動態 (dynamic)、可自我組織 (self-organization)、成份相互關連的 (interconnected)、適應性的 (adaptive) 非線性系統則無法用化約論的科學研究法來了解。真正能觸及這樣的複雜性系統的新領域—複雜性科學 (complexity science) 一直到 1984 年才誕生 (Mitchell 2009, Waldrop 1992)。生態系被認為是一種典型的、可自行適應的複雜系統 (complex adaptive systems) (Levin 1998, Levin 2005, Anand *et al.* 2010)，因此研究與了解生態系將可進入另一個新的視野，不僅是一個新名詞的出現—生物複雜性

(biocomplexity)，也將帶動一些不同的研究方法與方向。生物複雜性這個名詞於 1998 年，美國國家科學基金會主席 Colwell 再次提出來後 (Colwell 1998, Pickett *et al.* 2005)，雖然尚屬於發展階段，但已有一些研究成果發表 (Cadenasso *et al.* 2006, Levin 1998, Levin 2005, Norberg 2004, Railsback 2001, Holling 2001, Puettmann *et al.* 2009)，可預見未來持續的發展，它將讓生態系理論與生態系經營所面臨的混淆更加釐清。

## 引用文獻

- 林務局。2012。森林生態系經營。http://www.forest.gov.tw/ct.asp?xItem=23241&ctNode=1760&mp=1。2012 年 10 月 30 日瀏覽。
- 邱志明(編)。2007。人工林之生態系經營研討會論文集。林業試驗所，共 240 頁。
- 特有生物研究保育中心。2012。棲地生態研究。http://tesri.tesri.gov.tw/view.php?catid=1784。2012 年 10 月 30 日瀏覽。
- 洪富文。1993。新林業：森林生態系經營。台灣森林資源經營研討會論文集，林業試驗所林業叢刊第 45 號，129-143 頁。林業試驗所。
- 夏禹九。1999。生態系(生物多樣性)經營。1999 生物多樣性研討會論文集，40-53 頁。林務局。
- 雪霸國家公園管理處。2010。武陵地區生態系長期監測與研究成果報告。雪霸國家公園管理處，共 339 頁。
- Agee JK, Johnson DR (eds.). 1988. *Ecosystem management for parks and wilderness*. University of Washington Press, Seattle, WA, USA.
- Allee WC, Park O, Emerson AC, Park T, Schmidt K. 1949. *Principles of animal ecology*. W.B. Saunders Company, USA.
- Anand M, Gonzalez A, Guichard F, Kolasa J, Parrott L. 2010. Ecological systems as complex systems: challenges for an emerging science. *Diversity* 2:395-410.
- Anker P. 2001. *Imperial ecology: Environmental*

- order in the British Empire, 1895-1945. Harvard University Press, USA
- Anker P. 2002. The context of ecosystem theory. *Ecosystems* 5:611-613.
- Anonymous. 2012. *Ecosystems are a genocidal fraud*. Citizens Electoral Council of Australia.
- Aronova E, Baker KS, Oreskes N. 2010. Big science and big data in biology: from the International Geophysical Year through the International Biological Program to the Long Term Ecological Research (LTER) Network, 1957-present. *Historical Studies in the Natural Sciences* 40(2):183-224.
- Bengston D. 2001. Attitudes toward ecosystem management in the United States, 1992-1998. *Society and Natural Resources* 14:471-478.
- Breckler ME. 2006. The evolving face of ecosystem management. Department of Natural Resource, The Ohio State University.
- Cadenasso ML, Pickett STA, Grove JM. 2006. Dimensions of ecosystem complexity: heterogeneity, connectivity, and history. *Ecological Complexity* 3:1-12.
- Christensen NL, Bartuska AM, Brown JH, Carpenter S, D'Antonio C, Francis R, Franklin JF, MacMahon JA, Noss RF, Parsons DJ, Peterson CH, Turner MG, Woomansee RG. 1996. The report of the Ecological Society of America. Committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications* 6(3):665-691.
- Clements FE. 1916. Plant succession: analysis of the development of vegetation. Carnegie Institution of Washington, USA. Publication No. 242.
- Cork III T. 2010. The fictional ecosystem and the pseudo-science of ecosystem management. W.I.S.E. White Paper No. 2010-3.
- Colwell RR. 1998. Balancing the biocomplexity of the planet's living systems: a twenty-first century task for science. *BioScience* 48:786-787.
- Czech B, Krausman PR. 1997. Implications of an ecosystem management literature review. *Wildlife Society Bulletin* 25(3):667-675.
- Dagg JL. 2007. Arthur G. Tansley's new psychology and its relation to ecology. *Web Ecology* 7:27-34.
- Davis MB. 1976. Pleistocene biogeography of temperature deciduous forests. *Geoscience and Man* 13:13-26.
- DeBano LF, Neary DG, Ffolliott PF. 1998. *Fire's effects on ecosystems*. John Wiley and Sons, USA.
- Golley FB. 1993. *A history of the ecosystem concept in ecology*. Yale University Press, USA.
- Grumbine RE. 1994. What is ecosystem management? *Conservation Biology* 8(1):27-38.
- Grumbine RE. 1997. Reflection on "what is ecosystem management?" *Conservation Biology* 11(1):41-47.
- Hagen J. 1992. *An entangled bank: the origins of ecosystem ecology*. Rutgers University Press, USA..
- Holling CS. 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems* 4:390-405.
- Jorgensen SE, Muller F (eds.). 2000. *Handbook of ecosystem theories and management*. Lewis Publishers, USA.
- Kingsland SE. 1991. Defining ecology as a science. In: Foundations of Ecology. Real LA, Brown JH (eds). pp1-13. The University of Chicago Press, USA.
- Laplante KD. 2005. Is ecosystem management a postmodern science? In: *Cuddington K, Beisner B (eds.). Ecological paradigms lost*. Elsevier Academic Press, USA.
- Levin SA. 1998. Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems. *Ecosystems* 1:431-436.
- Levin SA. 2005. Self-organization and the emergence of complexity in ecological system. *BioScience* 55(12):1075-1079.
- Likens GE. 1992. *The ecosystem approach: its use and abuse*. Ecology Institute, W-2124 Oldeendorf/Luhe Germany.
- Lindeman RI. 1942. The trophic dynamic aspect of ecology. *Ecology* 23(4):399-418.
- McCann K, Hastings A, Huxel GR. 1998. Weak trophic interactions and the balance of nature. *Nature* 395:794-798.
- Mitchell M. 2009. *Complexity: a guided tour*. Oxford University Press, USA.
- Norberg J. 2004. Biodiversity and ecosystem function: a complex adaptive systems approach. *Limnology and Oceanography* 49(4):1269-1277.
- O'Neill RV. 2001. Is it time to bury the ecosystem concept? *Ecology* 82:3275-3284.
- Puettmann KJ, Coates KD, Messier C. 2009. Managing forests as complex adaptive system. In *A Critique of Silviculture*. pp 107-143. Island Press.
- Pavlikakis GE, Tsihrintzis VA. 2000. Ecosystem management: a review of a new concept and methodology. *Water Resources Management* 14:257-283.
- Perry GLW. 2002. Landscape, space and equilibrium: shifting viewpoints. *Physical Geography* 26(3):339-359.
- Phillips J. 1934-1935. Succession, development, the climax and the complex organism. *Ecology* 22:554-571, 23:210-246, 23:488-508.
- Pickett STA, Cadenasso ML, Grove JM. 2005. Biocomplexity in coupled natural-human systems: a multidimensional framework. *Ecosystems* 8:225-232.
- Railsback SF. 2001. Concept from complex adaptive systems as a framework for individual-based modeling. *Ecological Modelling* 139:47-62.
- Robbins K. 2012. *An ecosystem management primer: history, perceptions, and modern definition*. Akron Research Paper No. 12-11. The University of Akron School of Law.
- Salsburg D. 2001. *The lady tasting tea: how statistics revolutionized science in the twentieth century*. Henry Holt and Company, USA.

- Tansley AG. 1935. The use and abuse of vegetational concepts. *Ecology* 16:614-624.
- Tansley AG. 2002. The temporal genetic series as a means of approach to philosophy. *Ecosystems* 5:614-624.
- Thomas JW. 1996. Forest service perspective on ecosystem management. *Ecological Applications* 6(3):703-705.
- Van Dyne GM. 1972. *Organization and management of integrated research*. In Jeffers JNR (ed.), *Mathematical Models in Ecology*. pp.111-172. Blackwell, USA.
- Van Dyne GM. 1980. *Reflections and projections*. In Breymeyer AI, Van Dyne GM (eds.), *Grasslands, Systems analysis and Man*. pp. 881-921. Cambridge University Press. UK.
- Vitousek PM. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology* 75:1861-1876.
- Willis AJ. 1997. The ecosystem: an evolving concept viewed historically. *Functional Ecology* 11:268-271.
- Waldrop MM. 1992. *Complexity: the emerging science at the edge of order and chaos*. Simon and Schuster, USA.
- Wenig MM. 2012. Ecosystem management: it's imperative whatever it is. Pp1-13. in A Symposium on Environment in the Courtroom: Key Environmental Concepts and the Unique Nature of Environmental Damage. March 23-24, University of Calgary Law.
- Wu J, Loucks OL. 1995. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *The Quarterly Review of Biology* 70(4):439-466.
- Yaffee SL. 1996. Ecosystem management in practice: the importance of human institutions. *Ecological Applications* 6(3):724-727.