

系統論觀點下的生態學

(國立臺灣大學哲學 曾威揚研究生)

評論修訂者：國立臺灣大學全球變遷研究中心 李培芬組長

一、生態學的定義

1869 年德國生物學家 Haeckel 定義了生態學的概念：生態學是研究生物有機體與其周圍環境（包括非生物環境和生物環境）相互關係的科學。在 1935 年英國的 Tansley 提出了生態系統的概念之後，美國的年輕學者 Lindeman 在對 Mondota 湖生態系統詳細考察之後提出了生態金字塔能量轉換的「十分之一定律」。由此，生態學成爲一門有自己的研究對象、任務和方法的比較完整和獨立的學科。近年來，生態學已經創立了自己獨立研究的理論主體，即從生物個體與環境直接影響的小環境到生態系統不同層級的有機體與環境關係的理論。它們的研究方法經過描述—實驗—物質定量三個過程。系統論、控制論、資訊理論的概念和方法的引入，促進了生態學理論的發展。生態系統的定義是英國的 Tansley 提出的。生態系統是指在一定時空範圍內的所有生物及其環境之間相互作用的自然系統。(Reference：Wikipedia) 本文對系統論觀點下的生態學做一簡單的介紹，並舉美國馬里蘭大學理論生態學教授 E. Ulanowicz 所發展的生態網絡分析 (network analysis) 爲例子。在系統論觀點引進前的生態學，主要是對生態系做一描述的工作，並且是將各個部份獨立分離來看，沒有將所有組成部分視爲一個交互影響，不能分離的整體。現代科技具有如下特徵：

(一) 機械論的世界觀

現代科技深受主客二分思想的影響，它把非人的一切都看作機械性的客體 (objects)，看不到自然事物之間內在關係和有機關係。

(二) 方法論上崇尚化約主義 (reductionism)

現代科學認爲只要認識了構成事物的基本單元，就徹底認識了事物，例如認識了原子、電子等，就從根本上認識了世界。根據化約主義，對人的認識似乎可以通過心理學還原爲生物學，又經過生物學還原爲化學，最後還原於物理學。於是，人文科學等都是不必要的或次要的。

(三) 重分析，輕綜合

現代科學過分重視對認知對象的分析，分成許多部分，再逐一理解，不重視事物與其環境之間的內在關係。但是科學不能只重分析不重綜合，系統論的重要意義就在於給予我們方法論上的啓示與平衡。

二、做爲一個組成部分相互連結的生態系統

廿世紀逐漸發展起來的新興學科爲科技的根本轉向準備了條件，如系統論、信息論、耗散結構論、協同學、複雜理論等，都具有高度的綜合性，都不同程度地堅持方法論整體主義。這些學科不僅表現出自然科學各學科之間的交叉滲透，而且表現出與社會科學人文科學的交叉滲透。在生態學理論裡面，最有名的表現出整體主義傾向的科學家，要算是 Eugene Odum 和 Howard Odum 在 50 年代發展出來的生態理論。E. Odum 的貢獻有對物種組成 (species composition)，系統產出 (system production)，生物質量循環 (biomass cycling)，資源使用 (uses of resources) 的探討

等等。H. Odum 則是研究測量系統中能量流 (energy flow) 的方法。對任何系統的研究，都不能忘記該系統是更大系統的部分，例如，在研究人類社會經濟系統時，不能忘記，經濟系統是生態系統的一部分。如果能這樣子認識事物，我們就不會認為經濟體系中的資源是無限可供人類運用，經濟學只要討論資源如何最有效率地分配即可。相反，經濟系統不能凌駕於生態系統之上，人類的經濟活動不能只服從市場規律，還必須服從生態學規律。這也就是 N. Georgescu-Roegen 在其代表作 *The Entropy Law and the Economic Process* (Harvard University Press, 1971) 中所揭示的道理。

三、Lovelock 的蓋亞假說 (Gaia Hypothesis)

他在 1979 年的書 (J. Lovelock, *Gaia: A new look on life on Earth*, Oxford University Press, 1979) 中提出這個假說，認為整個地球，包括大氣層，海洋與岩石等等，組成了一個有生命的有機體。大氣層由氮、氧、二氧化碳等組成，與生物圈是不可分割的整體。這個假說雖然一開始震驚了科學界，但逐漸獲得科學家的注意與興趣，許多人開始研究生物圈，大氣圈，與海洋之間的反饋機制。這個假說隱含的觀念是：一個生態系統各個組成部分是相互連結與相互作用的。在系統論的觀點看來，這不該令科學家震驚，他們會覺得無法接受，是因為他們仍處於牛頓以來的現代科學所隱含的主客二分世界觀的影響之下，以為所謂一個系統該是客觀地存在在那兒，與我們視不視其為系統無關。然而事實上，把什麼東西視為一個系統是依賴於觀察者的抉擇 (observer-dependent) 的。在一個觀點之下，這是一個系統；在另一觀點之下，它可以是更大系統的組成成分，以此類推。

四、Ulanowicz 的生態網絡分析 (Network Analysis)

Ulanowicz 於馬里蘭大學教授理論生態學，是這一大學 Chesapeake 生物學實驗室的一員，原本是教授化學工程的。他的兩本重要作品是：“*Ecology, the Ascendent Perspective*” 哥倫比亞大學出版社出版，以及 “*Growth and Development: Ecosystems Phenomenology*” (to Excel Press, San Jose, CA)。前一本屬於比較通俗的作品，不用數學地來闡述自己的理論架構，及他所提出的一些新概念。後一本是大量使用數學，論證說理密度很高的專門書籍。

他提出的生態網絡分析是用一套量化的方法，對一個生態系統的重要特徵做出精確的描述。主要兩個指標是食物網中的生物質量 (biomass) 與能量流 (energy flow)。即使是對最簡單的生態體系做出食物網絡分析，整個結構的複雜性都是很驚人的。生態網絡分析的一個任務就是找出其中主要的連結網絡，忽略不重要的。主要的分析面向可以分為下列四項：

1. 輸入 / 輸出分析 (Input/Output Analysis)

此一分析是量化食物網中各組成個體直接與間接的食物依賴。藉此，我們可以了解譬如說一魚類對於某種食物的依賴程度 (dependency)。這一分析是借用經濟學家 Leontief 的國民生產毛額投入與產出分析而來的。藉著這個分析，可以刻劃出生態系中能量流動的方向大小與分配。

2. 食物階層分析 (Trophic Status)

對食物階層的分析首先要搞清楚的問題是：“誰吃誰？”，以及“數量速度是多少？”接下來選擇一個所要研究的各個個體間的交換媒介 (碳，硫，能量...等等)。

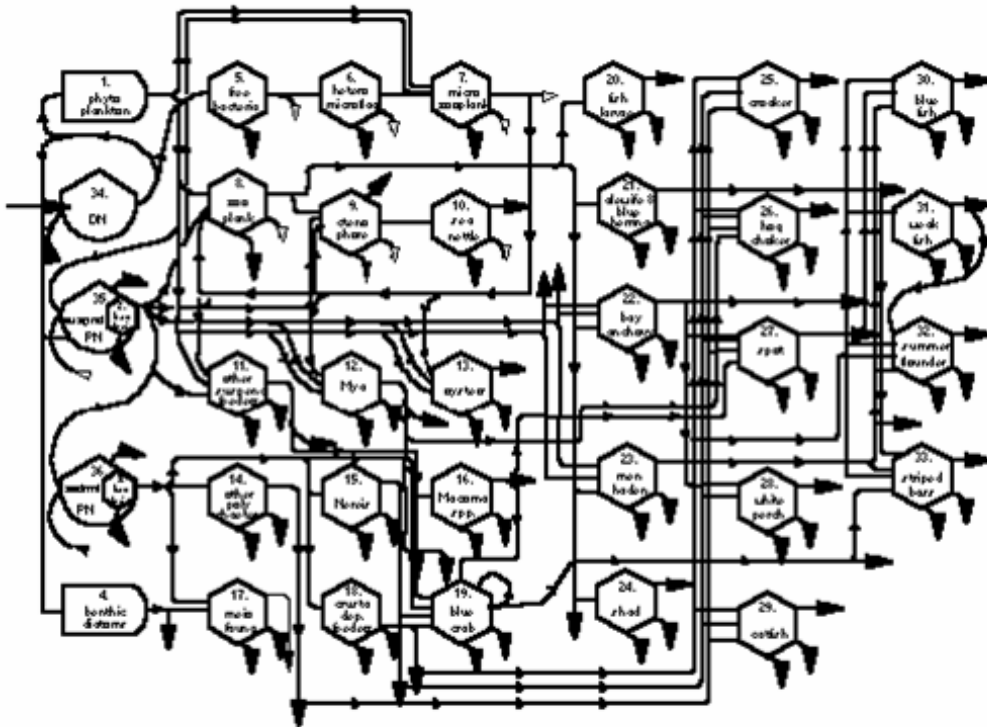


圖 1. 生態網絡分析圖

(資料來源：<http://www.cbl.umces.edu/~ulan/ntwk/network.html>)

食物鏈的複雜結構可以因此一分析而被簡化，食物鏈的長短與效率 (trophic efficiency) 得以區分出來。能量與物質的流動效率可以告訴我們關於一個生態網絡的重要訊息。每當食物階層間有能量的傳遞，能量一定有絕大部分是流失，成為熱能的。這是根據熱力學定律的結果。於是我們就會發現整體食物階層的形狀呈現一的金字塔型，最低階的生物數量最多，以它們為食的再上一層生物數量就少許多，以此類推。

3. 循環分析 (Cycling)

物質的循環是生態系統的重要特質，特別是因為這跟一系統的獨立性有關。獨立的意思是對外界能量輸入的依賴性比較少。主要量化的有循環的數目，長短，以及快慢。其它包括：流經每一循環的資訊量...等。

4. 四種生態系統的量化指標 (Ecosystem Indices)

這四個指標是從資訊理論 (Information Theory) 中借用過來的。

(1) 系統產出 (Total system throughput)

就是一個系統所有物質與能量流動的總合。

(2) Ascendency

這是 Ulanowicz 提出的新概念，它測量的是食物網中分化的程度。越高的值代表分化程度越高，越多的循環，與更高的傳輸效率。

(3) 發展能力 (Developmental capacity)

前一指標的最大限度就是發展潛



能。也是衡量系統複雜性的高低指標。

(4) Overhead

發展能力減去 ascendency。代表的是系統中失序行爲 (disordered activity)。

五、結論

在系統論的觀點之下，生態系被視為是一個遠離均衡態的結構和過程，與外部做能量與物質的交換。當生態系發展的時候，它必須藉

著更複雜的結構來增加其能量的耗散。能夠在一生態系中生存下來的物種，是那些可以有效地獲取能量且增加整個系統能量耗散的物種。

六、參考網站

<http://cbl.umces.edu/~ulan/>

<http://www.fes.uwaterloo.ca/u/jjkay/pubs/futures/tex.html>