

# 本文章已註冊DOI數位物件識別碼

## ▶ 環境容受力分析與都市成長管理之研究：以台北都會區水資源個案為例

Environmental Carrying Capacity Analysis and Growth Management

doi:10.6154/JBP.1987.3.005

建築與城鄉研究學報, (3), 1987

Journal of Building and Planning, (3), 1987

作者/Author：陳春生(Chun-Sheng Chen)

頁數/Page：133-134

出版日期/Publication Date：1987/09

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.1987.3.005>



*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



# 環境容受力分析與都市成長管理之研究： 以台北都會區水資源個案為例

陳春生\*

## ENVIRONMENTAL CARRYING CAPACITY ANALYSIS AND GROWTH MANAGEMENT

by  
CHUN-SHENG CHEN\*

### 摘 要

容受力係一源自生態系統管理之觀念，近年來，在西方國家被廣泛地應用於作為都市成長管理之規劃工具，以資源之供給面為導向，探討在既定之環境品質標準、資源供給量、公共設施容量、土地資源可利用性等限制條件下所能承受之都市成長。回顧歷年來被採用於土地使用規劃或都市成長管理之容受力，主要可分為環境的、知覺的、體制及設施的，以及經濟的等四大類。在方法上，可被用來探討一地區都市成長或土地開發之容受力，主要有生態規劃方法、簡易估算法、數學規劃法、生態系統模型等。因此，容受力觀念之應用於都市成長管理，所涵蓋之層面非常廣泛。

### ABSTRACT

Carrying Capacity was originally associated with ecosystems management. In land use planning and growth management, the concept is used recently in foreign country. Carrying Capacity is viewed from the standpoint of resource supply oriented and discussed under the limited conditions of environmental quality standards, resource supply quantity, public utility capacity and land resource availability, the bearing degree of urban growth. Generally speaking, planning studies that use the concept of carrying capacity fall into four categories: environmental, perceptual, institutional/service, and economic. The major methods of carrying capacity analysis are ecological planning, simple measurement, mathematical programming and ecosystem model. In order to understand the operational feasibility and limits, the author and his advisor have conducted a case study of Taipei Metropolitan Region to develop an urban--Environmental system model of simulating the dynamic interactions between urban growth and environmental resources.

民國76年1月10日收稿

\*行政院經建會研究助理

Manuscript received on January 10, 1987.

\*Research Assistant, Housing & Urban Development Council for Economic planning and Development (CEPD), Taipei, Taiwan, R.O.C.

## 一、前言

人為土地使用活動與環境資源間具有極其密切之關聯性；人類仰賴資源（例如：水資源、土地資源等）而得以謀生活動，同時，在生產與消耗行為後又產生了廢棄物，並將之排回生態體系。過去由於人口稀少，因此，有取之不盡、用之不竭之資源，且由於廢棄物之量有限，自然環境亦具有自淨力，以淨化人為活動所產生之污染物。基於工業社會之演進，人口快速成長與都市急劇發展，人為土地使用往往導致資源耗竭（Resource Depletion）或環境品質惡化（Environmental Degradation）之現象。一城市或區域在不危及環境體系之前提下，所能容納之人口成長與都市發展，乃為近期都市及區域發展不容忽視之課題。換言之，環境體系與都市發展在一既定之資源供給條件下，具有一定之容受力（Carrying Capacity）。都市及區域發展，應該要受到環境資源供給與現有及既定公共設施容量（例如：水資源供給、污水收集與處理等）之限制，而不是漫無節制地成長。

然而，截至目前止，大多數之土地使用或開發計畫，往往只因應社會需求與經濟效益，而忽略自然環境之特性，以及土地使用與自然環境間之相互關係，是故，常造成開發地區之環境問題（例如：水污染、洪災、山崩等）。人類土地使用型態與使用強度若超過自然資源之容受力，對土地及其相關資源做不適當或不相容之開發與使用，不但會嚴重地破壞人與資源體系間之平衡發展，降低地區之環境品質，亦會增加開發成本與事後維修費用。是故，基於人類與自然環境間之相互關係，在規劃一地區之開發或改變其土地使用形式時，除應明瞭土地資源特性以及其與相關資源（例如：水資源、生物資源等）相互間之關係外，並應探討環境資源對不同土地開發或使用方式之容受力，以作為研擬都市成長管理策略之依據與準則，進而減少人類土地開發行為對環境所產生之衝擊影響。

容受力觀念被應用於土地使用規劃或都市成長管理，主要係探討環境體系，在不遭受嚴重破壞之條件下，所能承受之人口成長極限或實質開發之程度（Schneider et al., 1978）。因此，容受力分析之理念與方法主要有兩類：(1)以生態規劃方法（McHarg, 1969）分析自然環境在地理空間之差異性分佈，探討其對各種土地使用之適宜性，減少土地開發行為對自然環境之衝擊（例如：土壤沖刷、破壞稀有之生態資源等）；及(2)以資源之供給（例如：水資源之可利用性、公共設施容量）為指標，估量人口成長上限。前者著重於考量人類土地行為與自然環境特性之相互影響，屬於定性分析（Qualitative Analysis），無法求得量化之容受力，同時，亦忽略人與環境間之動

態關係。後者則著重於以簡單之估算式，推求人口成長門檻（Threshold）。然而，不同之公共設施或資源供給往往能容受不同之人口上限。再者，所估量之人口上限僅為一既定計畫下之人口容受力，無法由之反應出都市系統之動態行為，而且，亦無法指導都市發展之空間分佈型態。

## 二、容受力觀念之定義與緣起

容受力觀念主要源自生態系統管理，其定義為：一生態環境所能支持某一生物品種之最大量（Odum, 1971），因此，通常均以生物之群數（Population）作為容受力之指標。羅吉斯成長曲線（Logistic Growth Curve）為最早用來敘述一生物族群，由於環境限制（Environmental Resistance）之因素，無法無限制地呈指數成長（Exponential Growth）而漸趨穩定之現象（Bishop, 1974）。

$$\frac{dN}{dt} = \left(1 - \frac{N}{K}\right)rN = (r - CN)N \quad (1)$$

1式為生物群數（N）之單位時間成長量，其中，K為最大之生物群數，亦即該生態環境對生物群數之容受力（Population Carrying Capacity）；r為生物群數之潛在成長率。 $\left(1 - \frac{N}{K}\right)$ 為影響該生物群數再繼續成長程度之因素，生物群數愈大，則愈趨近於容受力，則可再繼續增加之生物群數將愈少。係數C為每一個體所致使之成長率減少量，因此，CN即代表環境限制。將1式積分，即可得羅吉斯成長曲線（圖1）：

$$N = \frac{r}{(c - ae^{-rt})} \quad (2)$$

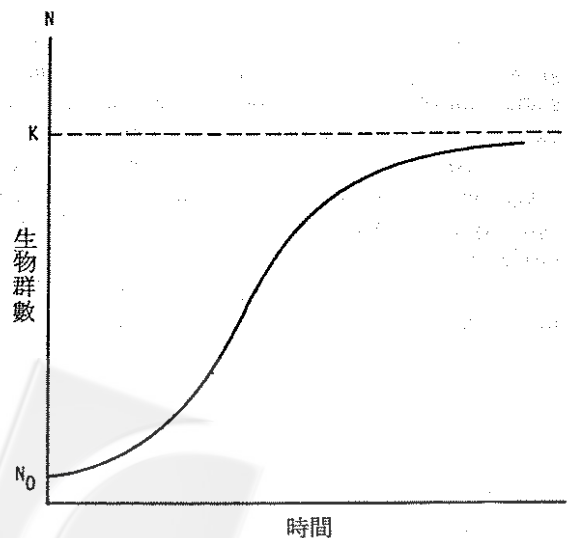


圖1 羅吉斯成長曲線



如圖所示，生物群數剛開始以指數成長之型式增加，然後漸趨穩定化，趨近於其飽和容受力。影響生物群數容受力之因素主要為其外在之環境限制，例如：有限之食物供給與地區大小，因此，生物群數之單位時間增量會隨總群數之增加而減少。Lotka (1925) 及 Volterra (1926) 更將此方程式推廣應用於敘述多種生物品種之成長：

$$\frac{dM_i}{dt} = \frac{r_i N_i}{K_i} \left( K_i - N_i - \sum_{j=1}^m \alpha_j N_j N_i \right) \quad (3)$$

其中， $\alpha_j$  代表第  $j$  種生物品種對第  $i$  種生物品種成長之限制，例如：掠食、競爭等。

根據上述容受力觀念之緣起與釋意，可知此觀念為經營管理有關生物種與其棲息環境間（例如：畜牧、養殖）至為簡易與有效之工具。亦有人類學家，例如 Rappaport (1968)，引用此觀念，針對食物供給面，與人體所需之營養成分，探討新幾內亞土著民族之農業生產量所能支持之人口數。Forrester (1973) 以及 Randers and Meadows (1973)，更將容受力觀念應用於探討全球性有關人與環境間之關係，以資源可利用性、環境污染、人口量、食物供給等為指標，建立系統動態模型，模擬人口成長、資源供給、與環境品質間之動態互動關係。漸漸地，容受力觀念被引用至都市及土地使用規劃作業，在適宜之地理空間範圍，探討某一地區人與資源供給面之關係，成為土地使用規劃與資源管理有利之觀念性工具。

### 三、容受力分析與都市成長管理

應用容受力觀念於土地使用規劃以及探討人口與都市成長，可溯1960年代晚期至1970年代初期，伊恩·馬卡 (Ian McHarg) (1969) 所建立之生態規劃方法，與羅馬俱樂部 (Club of Rome) 所贊助之研究“成長的極限” (Meadows et al., 1974)。前者著重於分析環境資源在空間分佈之差異性，探討土地使用適宜性，由之達到土地開發行為對環境之衝擊（例如：土壤沖刷、水污染等）減至最小之目的；後者則由人類使用資源之觀點，探討在有限資源供給及環境自淨能力所能承受之人口量。由土地規劃師之觀點言之，容受力可被解釋為：環境體系在不遭受嚴重破壞之條件下，所能承受之人口極限或實質開發之程度 (Schneider et al., 1978)，Bishop 等人 (1974) 由區域性環境管理之層次為出發點，認為不應僅將容受力視為一地區在某一種資源供給觀點下，所能承受之人口數，而應綜合探討：(1) 可提供作為生產性活動之資源；(2) 提供既定生活品質標準下之貨物與服務之過程；(3) 用以輸送物質與服務之設施；以及(4) 可淨化生產與消耗過程時所產生廢棄物之環境媒體等四種彼此相關之容量，並認為容受力應被視為用來研擬有關環境管理政策之規劃過程與手段

。因此，Bishop 等人研提一規劃程序，期結合不同部門之模型，分析人與資源使用間之相互關係以探討區域性資源使用時所產生課題之導因，以及不同資源使用方式對人與環境複合體系之得失 (Trade offs)。

Godschalk and Parker (1975) 強調出以容受力觀念為出發點之環境規劃為提供土地使用規劃程序中由供給面為導向之最佳模式。另外，Godschalk (1977) 回顧了29個採用容受力觀念之土地及都市規劃個案研究，強調出應用容受力觀念於探討人與環境複合系統時，在內容方面應包括天然資源系統 (Natural System)、人為系統 (Man-made System)、以及都市發展 (Urban Development)。Ricci (1978) 則指出應同時考量資源供給面與人類之需求行為探討容受力，因為供給量之多寡與需求程度均因時因地而異且彼此相互影響。

綜合上述文獻，應用容受力觀念作為土地與都市規劃或環境管理之工具，探討人與其環境間之關係時，所涉及之層面主要可分為環境的 (Environmental)、知覺的 (Perceptual)、設施的 (Institutional)、與經濟的 (Economic) 四種：

#### (一) 環境容受力 (Environmental Carrying Capacity)

1. 生態特徵 (Ecological Features)：土壤、坡度、植被、野生動物、濕地、脆弱資源（例如：海灘、沙丘）等對人為都市發展之承受力。

2. 天然災害 (Natural Hazards)：洪水、地震、山崩、地滑等對人為土地使用之限制。

3. 環境污染 (Environmental Pollution)：水質、空氣品質等對人類生活品質之影響。

4. 景觀資源對人為因素之敏感性。

5. 資源耗竭 (Resource Depletion)：水供給及能源可利用性。

#### (二) 設施容受力 (Institutional / Service Carrying Capacity)

1. 主要密集性設施之提供。

2. 實質設施 (Infrastructure)：運輸系統、污水處理、下水道設施、學校、遊憩場所、自來水廠等之服務容量。

#### (三) 經濟容受力 (Economic Carrying Capacity)

1. 一地區之就業情形或一般的經濟成長等所能支持之都市發展。

2. 住宅提供。

3. 用以維持一地區地方經濟之農業生產力、漁業、與林業經營。

#### (四) 知覺容受力 (Perceptual / Behavioral Carrying Capacity)

1. 人類對都市發展或環境改變之態度 (Attitudes)。
2. 人類對自然環境與都市發展程度之價值觀 (Value)。
3. 人類對其生活型態 (Lifestyles) 受改變之可接受度。
4. 人對未來的期望 (Expectations)。

基本上，在有關應用容受力觀念於都市及土地使用規劃之文獻中，大家對容受力觀念之看法均是一致的。容受力並非固定的，而是一種動態的觀念，會隨人對其生活品質要求、科技發展、資源使用方式、法令規定（例如環境品質標準）等人為因素而改變。再者，不同地區，由於其環境體系特性之差異，以及人為土地使用與資源利用方式之不同，因此容受力亦不同。是故，一般應用容受力觀念於規劃上，大致有下列之假設 (Schneider et al., 1978)：

(1) 自然環境在不對公眾健康、福利、與安全產生威脅下，所能承受之都市成長或土地開發是具有一定之極限的。這個假設著重於在土地使用規劃時，分析環境對開發之承受力，尤以馬卡在1960年代所發展之生態規劃方法為代表性。

(2) 臨界之人口門檻 (Critical Population Threshold) 能夠被確定。當超過此一門檻，一連串連續較大強度之成長或發展將導致重要自然資源之品質惡化，例如：空氣或水。許多容受力分析之結果係為決定在公共設施建設計畫下之人口門檻或人口密度。或者，在順應成長之地區，可用來作為規劃公共設施之依據，例如，在預知一地區之人口成長將超過污水處理設施所能服務之人口門檻時，為避免人口越過門檻而導致水質之惡化，此時，規劃師就能指出何時、何處需要興建新的污水處理設施。

(3) 自然資源所能承受人口成長之容受力是不固定的，可經由人為因素之介入 (Human Intervention) 而改變。例如：西方政府可經由對污水處理設施之公共投資來改變原有之容受力。有許多方法可以用來增加自然環境對都市發展之容受力以維持整個都區之持續成長，例如：新污染防治技術之發展、土地使用管制、對公共設施之投資或改變人類行為。這些方法及措施都能有效地降低都市成長對於重要環境資源之衝擊影響 (Impact)，因此，能夠擴展一都市或區域適應成長之能力。

(4) 決定某一資源供給系統對都市成長之極限容受力 (Limit of Capacity)，最終將只是一種判斷之行為 (Judgmental Act)。雖然這種決定過程是基於科學及工程原理，不過，當在劃分安全與不安全、可接受與不可接受的環境時，仍須藉重於主觀性之判斷行為。例如：一個地方政府可經由它本身價值觀之判斷來找出避免破壞環境

品質的方法，也可利用發展管制來降低非點源之水污染 (Non-point Source Water Pollution)，也可透過污水處理設施之擴建，經由廢水之吸收處理，使水質達到一既定之標準，或制定水質標準。

回顧至1960年代初期，應用容受力觀念於土地使用規劃之個案研究，主要可分兩大類。第一類為以研擬土地使用管制規則為依歸；第二類則為分析一區域之人口成長上限。在第一類之個案研究中，規劃師分析一地區有關自然環境之特性（地質、地形、水文、土壤、植被、野生動物等），以及其對人為土地使用（住宅、商業、工業、農業、娛樂等）所能容忍之程度，期減少人類土地使用對自然環境造成之環境負效果，例如：水污染、土壤冲刷、地滑、破壞稀有或珍貴之生態資源等。此類別之規劃個案，對環境容受力分析著重於空間之向度，而非動態之考量，自然環境對人為都市發展或土地使用之容受力指標為土地使用類別、行為、與強度。第二類之個案研究，規劃師首要之工作在於根據現有計畫之供水、污水處理等公共設施之容量，求得人口成長上限，超過此上限將會導致空氣、水污染等環境負效果。此類個案研究之容受力指標為人口數。根據上述有關應用容受力觀念於都市及土地使用規劃研究中所探討之層面（環境的、設施的、經濟的、以及知覺的）以及主要之應用（土地使用管制、人口成長上限），一般在分析容受力時，所採用之方法以及分析結果，吾人可將容受力分析概分為四類：(1) 土地使用適宜性分析；(2) 人口成長門檻；(3) 每人所需用地面積；以及(4) 生態系統型。茲分述如下：

#### 1. 土地使用適宜性分析

土地使用適宜性分析亦即以馬卡 (1969) 所發展之生態規劃方法為主，分析規劃地區內自然環境在地理空間分佈之差異性以及對各種人為土地使用行為所能容忍之程度，以作為指導土地使用規劃以及研擬土地使用管制規劃之依據。這個方法之前提假設是：自然環境對人為土地使用具有一極限能力 (Limited Ability)。有許多規劃案使用此觀念分析容受力，其中較具代表性的為Juneja (1974) 根據地質、地形、水文、土壤、植物與氣候等自然因素之特性，對美國紐澤西州麥得佛鎮 (Medford, N. J.) 一地研擬資源管理計畫，制定土地使用績效需求 (Performance Requirements)，以保育稀有與脆弱之生態資源，降低社會成本，並分析自然環境對各種不同土地使用之適宜性，以增加資源生產量、降低開發成本與維護費用。Wallace et al., (1976) 亦以資源之容受力為前提，分析加拿大多倫多 (Toronto) 地區之空氣、土地、水與生物資源之特性，制定土地使用之績效需求，以實現土地使用規劃之三項社會標的：(1) 安全與舒適，即避免



人類遭受天然災害之威脅，減輕自然環境對人類之壓迫感；(2)資源之保育與維護，確保資源之永續性與價值性，避免人為土地使用破壞自然環境；以及(3)資源之開發與提供居住環境之寧適性 (Amenity)，積極地發揮自然環境對人類之功效。另外，美國賓州巴克斯郡 (Bucks County, PA) 根據該地區土地特性與現有土地使用狀況，劃定不同之可發展區自然資源保護區，並制定各分區之容許土地使用類別與績效標準 (密度率、容積率、開放空間率、不透水層面積率)。土地開發業者並需分析開發基地之容受力 (Site Capacity Analysis)，以確保開發行為不會超出其資源特性對人為土地使用之容受力。

土地使用適宜性分析為應用容受力觀念於土地使用規劃中為最普遍者，能充分地考量資源之空間分佈結果主要係用來指導一地區未來之發展型態，然而卻忽略了動態因素，所探討之需求面僅限於人類使用資源之方式，但未分析人類對資源使用之需求量。

## 2. 人口成長門檻

此類研究之觀念主要是在於：一社區或區域在避免超過自然環境對都市成長之容受力及避免環境品質遭受破壞之前，僅能容納一特定之人口數，也可估算未來人口成長對於環境系統之影響程度。不論是環境容受力分析或人文系統容受力分析，人口門檻 (Population Thresholds) 為此類研究之主要輸出 (Output)。空氣品質與水質等為最常用來分析環境系統由於人口成長所能淨化及稀釋污染之容受力指標。而人文系統 (Man-made Systems)，例如：運輸系統、水供給、衛生下水道系統等，亦為此類容受力分析主要探討對象之一。事實上，環境系統與人文系統之間的關係是緊密且複雜的。人文系統能夠經由擴充來改變自然環境吸收人口成長之容受力，但是，人文系統也可導致自然環境系統在環境品質上之破壞。大多數人口門檻值之決定，均考慮到水質、水供給、或實質設施等指標，也有少數部份研究也嘗試界定財政 (Fiscal)、經濟 (Economic)、或能源 (Energy) 對都市發展之容受力。人口門檻之界定被用來當成是規劃工具，可以明確指出什麼時候在公共服務設施方面需要改進或擴充，也可作為非點源污染防治或擬訂都市成長管理方案之基礎。

應用此一觀念的個案研究有美國 Rutgers University 為 New Jersey Department of Community Affairs 發展出一套 "Current Planning Capacity" Approach，它主要是從環境的限制面 (Environmental Constraints) 來界定一地區之人口成長門檻，這些限制面包括水質、水供給和空氣品質等。經由這些環境限制面之估算，可以用來決定一地區之容受力。Clark (1976) 利用容受力分析替美國佛羅里達州 Sanibel Planning Commission 制

定綜合土地使用計畫 (Comprehensive Land Use Plan)。在此一綜合之土地使用計畫中，利用環境限制面 (例如：水質、污水處理設施、地下水位、濕地、土壤滲透性、水供給等) 來管制人口成長，以避免環境品質遭到破壞。

另外，也有利用公共設施之容受力來作為成長管理之依據，以達到環境保護 (Environmental Protection) 之目的。美港馬里蘭州 (Maryland State) 之 Maryland-National Capital Park and Planning Commission (1977) 曾為 Montgomery County 及 Prince Georges County 分別制定成長政策及土地使用計畫。此一個案，主要是利用公共設施之容受力 (Public Facilities Capacity) 來管制該地區之成長。考慮之公共設施主要有：固態廢棄物處理容受力 (Solid Waste Disposal Capacity)、水供給 (Water Supply)、廢水處理容受力 (Waste Water Treatment Capacity)、運輸網路之容受力 (Transportation Networks Capacity)、現有教育設施之容受力 (Existing Educational Facilities Capacity)。另外，也考慮到水質、空氣品質。經由這些公共設施容受力分析結果，來決定該地區之人口門檻，以限制該地區之過度發展及成長。Rahenkamp et al., (1976) 為美國紐澤西州斯巴特鎮 (Sparta, N.J.) 擬訂主要計畫 (Master Plan)。在此一計畫裏考慮四種公共設施系統的容受力分析——運輸系統、水供給系統、廢棄物處理系統及暴雨管理系統。經由此一容受力分析來決定該地區之人口成長門檻，以防止過度發展而導致環境品質之破壞，進而達到環境保護之目的。

此外，亦有類似求人口門檻值之研究，但分析結果並非人口數而是土地使用強度。Wilson (1983) 由水供給為出發點，分析地下水可利用性以及用水需求量，決定在不缺水情況下，該地區若作住宅使用，在不依賴公共供水系統而自行抽取地下水時，所需之最小基地面積 (Minimum Lot Size)。Pizor and Nieswand (1984) 則同時考慮地下水產出量、地下水質與稀釋污水之能力，並假定人類用水率不變之狀況下，一地區若自行抽取地下水，且將污水透過消化槽 (Septic Tank) 排至地下之住宅使用，在有限之地下水源與不污染地下水之原則下，所能容受之開發密度。

基本上，人口成長門檻值法，主要適用於研擬一地區之都市成長管理策略，較偏於政策性之階段。一地區在求得人口成長門檻後，可依此門檻值，擬定發展計畫，或者亦可謀求解求資源供給之不足或防治環境品質惡化之對策，以應成長之需。一般均以簡單之估算式，求取人口成長門檻值，因此，往往受限於某一影響容受力指標 (例如：水供給、污水處理) 之既定計畫，並假設人對資源使用方

式與需求量為固定的，忽略了人與資源間之動態互動關係。再者，不同之容受力指標，往往得到不同之人口成長門檻。因此，人口成長門檻值法之關鍵在於確定何者為重要之容受力影響指標，以作為估算人口成長門檻值之依據。

### 3. 每人所需用地面積

此方法主要係根據自然環境對人類社會之功能與特性（例如：食物生產、淨化污染物質等），估量每人所需各種土地使用地之面積（Odum, 1970）。此方面研究過份強調自然環境保育，而忽略科技發展，較難應用於探討複雜之人與環境體系間之關係。

### 4. 生態系統模型

生態系統模型係以Odum（1971, 1983）為首。其目的在於綜合考慮人與環境間之複合體系，模擬其動態互動行為。此一學派在建立模型時，認為人與環境關係本著Lotka之最大功能原則（Maximum Power Principle），在交互運作時，係朝著使整體系統能作最大功效之目標而漸達平衡，此即環境對人類社會之容受力。有關這方面之研究有Odum and Odum（1972）以及Center for Wetlands, Univ. of Florida and Bureau of Comprehensive Planning, Florida Dept. of Administration（1976）。由於此學派以能量轉移（Energy Transformation）為建立模型之架構，因此其結果往往過於技術化，無法為決策單位採用，另外，資源之空間差異性亦被忽略。

## 四、生態系統模型與容受力分析

系統方法最常應用於資源管理者，主要可分為二種：其一為數學最適模型（Mathematical Optimization Model），其二為數學模擬模型（Mathematical Simulation Model）。前者主該著重於資源分配之問題上，而將一些受限制之函數極大（小）化，以求最適解。後者則適用於探討過於複雜之系統，且不易以數學方法處理分析之情形，而利用模型以模擬一個系統之動態行為。由於此種模型主要之功能，在於模擬一系統之動態互動行為，而非用以求最適解，故又稱為敘述模型（Descriptive Model）。

作者曾應用生態系統模型之理念，建立一都市——環境系統模型（Urban-Environmental System Model）（陳春生，1986），綜合探討土地使用、資源管理與環境體系間之因果關係，模擬都市成長對環境品質惡化之影響，以及資源耗竭之程度。同時，透過模型之模擬運作，估算台北都會區在既定之資源供給、環境品質標準、以及相關之公共設施建設計畫下，其發展之容受力。因此，所採用之方法係循一般系統理論（General System Theory）之開放系統（Open System）觀點所發展之系統模擬，

以一階微分方程式（First Order Differential Equations）表達系統間各組成份子之相互關係。是以本節首先介紹生態系統模型之發展及其理論架構，其次則介紹應用生態系統模型於分析環境對人為土地使用或開發之個案研究與模型建立之理念。

### （一）生態系統模型之發展及其理論架構

系統方法（Systems Approach）為新進用來輔助決策分析（Decision Analysis）之工具；它可以幫助決策者瞭解複雜之真實世界，分析其間各種事物之關係，並用於預測未來或評估政策之得失，以便於在數個適宜之替選方案中，界定較佳之行為準則，或選取較佳之行動方案。一般系統理論之發展，最早是由德國生物學家von Bertalanffy（1968）所提出；所謂系統（System）乃指由數個彼此相關之元素（Elements）所組合而成，其中各元素均直接或間接地與其他元素相連繫著，彼此間存著互動關係。系統依其本身與周圍環境之關係，可分為開放系統（Open System）與封閉系統（Closed System）。開放系統本身具有一項或數項輸入（Input）與輸出（Output），與周圍環境產生互動關係；封閉系統則自成一體系，與外界環境隔離。而真實世界多屬於開放系統，因此，一般系統理論發展出之開放系統理念，主要之目的即在建立一共通方法論，整合不同之專門學科，以便能夠解決真實世界之複雜問題。

系統既為真實世界之縮影，因此，具有複雜（Complexity）之特性；Simon（1981）曾指出一複雜的系統是具有階層性（Hierarchy），此階層性之產生是因系統可被再次分（Decompose）為數個彼此相關之次系統（Subsystem），次系統與次系統間，或次系統中之元素與元素間，均有著互動關係存在，經由此一互動關係，各次系統或各元素彼此之間會互相影響。系統模型便是利用此一特性，改變系統之變數值，模擬其對整體系統之影響，以進行政策衝擊之預測、分析。

由系統理論所發展出之系統模型（System Model），為利用時間微分數學方法，配合電腦之運作功能，去模擬、預測一系統中各組成元素，在時間系列（Time Series）下連續性變化之過程，或是系統各元素彼此間函數關係改變時對整個系統運作之影響。因為系統中各元素彼此間均存有互動關係存在，因此，系統模型為一決定性模擬模型（Deterministic Simulation Model）。由數學式可表示為〔von Bertalanffy, 1968〕：

$$\frac{dQ_i}{dt} = f(I_{1i}, \dots, I_{mi}; Q_1, \dots, Q_n; t) \quad (4)$$

$i=1, 2, 3, \dots, k$



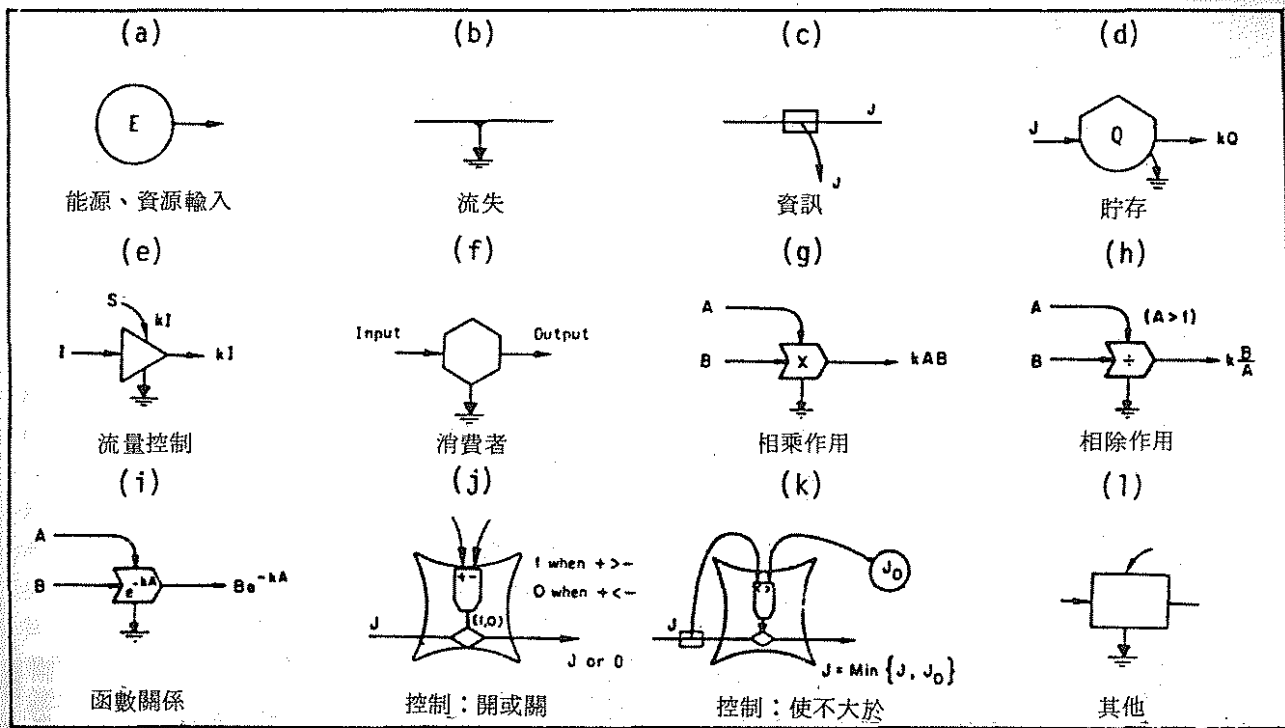


圖 2 生態系統模型能量循環圖例及釋意

$$\text{或 } \frac{dQ_i}{dt} = \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq i}}^k J_{mi} - \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq i}}^k J_{in} \quad (5)$$

$i=1,2,3,\dots,k$

$I_{11}, \dots, I_{mi}$ : 系統輸入對系統中任一元素之影響  
 $Q_i$ : 系統內組成元素  
 $J_{mn}$ : 從  $Q$  到  $Q$  之流率 (Rate of Flow);  $m, n \in i$   
 $t$ : 時間

4 式表示系統中任一元素,  $Q$ , 受時間、系統輸入及其他系統中元素之影響。5 式則表示  $Q$  於單位時間之改變, 等於在單位時間內所有之輸入減輸出。系統組成分  $Q$  在單位時間之改變率亦可表示為:

$$\frac{dQ_i}{dt} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{Q_i(t+\Delta t) - Q_i(t)}{\Delta t} \quad (6)$$

$i=1,2,3,\dots,k$

因此,  $Q$  在時間  $t$  之值將為:

$$Q_i(t) = Q_i(t-1) + \frac{dQ_i}{dt} \Delta t \quad (7)$$

$$= Q_i(t-1) + \left( \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq i}}^k J_{mi} - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq i}}^k J_{in} \right) \Delta t$$

$$Q_i(t) = Q_i(t-1) + \int_{t-1}^t \frac{dQ_i}{dt} dt \quad (8)$$

由於系統中每一流率 ( $J_{mn}$ ) 受到系統元素、時間、以及其他因素 ( $X_p, p=1,2,\dots,q$ ) 之影響, 因此, 流率可表示為:

$$J_{mn} = f(Q_i, X_p, t) \quad (9)$$

$i=1,2,3,\dots,k \quad p=1,2,3,\dots,q \quad m, n \in i$

$I$  數值之大小可從統計分析方法 (例如: 迴歸分析), 或經實驗中求得。

以往, 系統模型曾被應用於許多專業科學上, 主要有以 Odum (1971, 1983) 為首所發展出之生態系統模型 (Ecosystem Model), 以及以 Forrester (1968) 為首之系統動態模型 (System Dynamic Model)。前者利用系統理論建立生態系統模型, 用以模擬生態體系之行與變化, 同時配合模型架構, 發展出一組能量循環圖例 (Energy Circuit Diagram), 以描述生態系統之組成結構與各組成元素之機能, 以及各元素彼此間之互動關係。後者亦應用系統理論概念, 發展出一套系統動態方法 (System Dynamic Method), 建立 DYNAMO 電腦類集程式 (Computer Package), 用以模擬、分析一系統中各元素隨時間變化之過程。

作者鑑於環境體系之系統特性, 以及環境資源與土地使用之相互作用, 而造成系統之複雜性, 故擬以系統模型



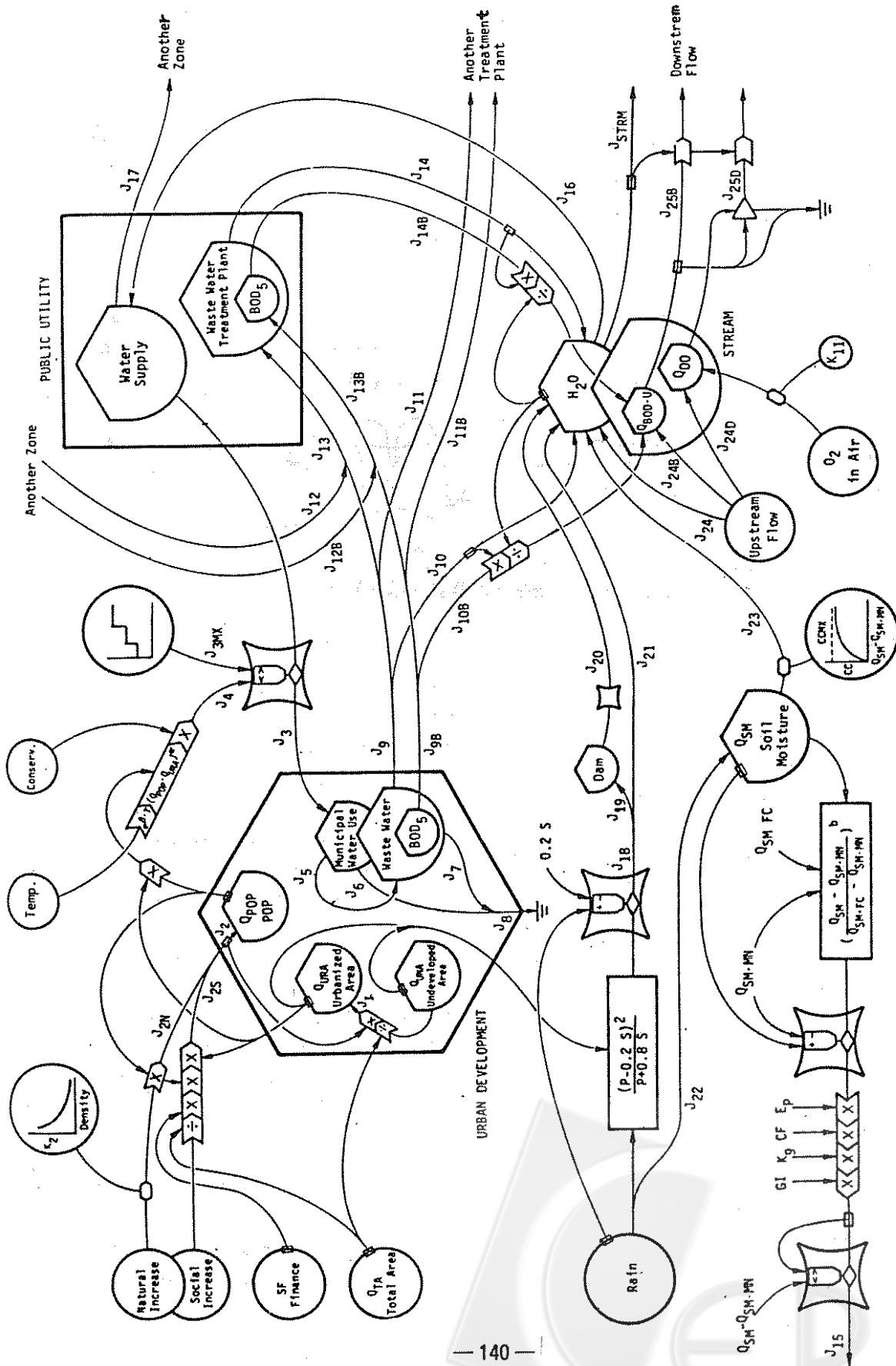


圖 3 台北都會區都市——環境系統模型  
資料來源：黃書禮、陳春生、游輝祺，1986。

之模擬方法探討之。同時，配合Odum (1983) 所發展出之能量循環圖例 (參見圖2) 為模型架構，建立一台北都會區都市——環境系統模型 (參見圖3 與表1)，以模擬台北都會區在各種不同資源管理方案之下，自然環境體系對都市發展之容受力。能量循環圖例係應用特定之符號語言與路徑所構成之路網系統，可用來表示系統之概念，以便於轉換、計算或代表一些較複雜之過程。

### (二) 生態系統模型與容受力分析

一般而言，水資源與土地資源為人類社會賴以生存所不可或缺，為對都市發展最重要之資源，兩者具有密切之關連性。傳統之土地使用規劃與管理，多半未考慮水資源與土地資源供給面之限制，然而，在既定之資源供給條件下，自然環境體系對於都市發展是具有一定之容受力。是故，不當之土地使用，往往會破壞水資源體系之平衡，進而影響水資源之供給；例如：開發坡地引起沖刷，進而減少下游水源之供應及破壞水質；家庭污水及工業廢水未經衛生下水道收集直接排入河川，影響河川水質，超過河川自淨之容受力，也影響到水質資源之可利用性。因此，從環境資源利用之觀點，必須瞭解水資源系統之水文特性，亦即其對都市發展具有一定之容受力，以避免因從事土地使用時，對水資源造成不利之影響，或超限使用，而影響生活環境品質。

由於水資源系統具有極其複雜之水文特性，加以人為因素之介入，例如土地使用、都市發展、人口之增加、政策衝擊等因素，使得水資源系統更形複雜，因此，唯有透過系統方法 (System Approach) 的模擬模型 (Simulation Model)，方能探討各組成分子間之互動關係及系統之動態行為，也才能明瞭水資源、土地資源與外在人為因素之相互關係。模擬通常乃由於系統過於複雜，不容易處理分析，而利用類似模型以表示一個系統之動態行為。

應用生態系統模型之建立以進行都市發展容受力分析之個案研究，Gilliand (1983) 稱其為生態都市系統方法 (The Eco-Urbansystem Approach)，且將其分為內部門檻 (Internal Thresholds) 法及外部極限 (External Limits) 法二種。茲說明如下：

1. 內部門檻法：此法認為一生態——都市系統包括人、都市發展、以及環境等三大系統。同時，界定及量化環境與都市、土地使用與人口活動的互動關係，以模擬此複合系統之動態行為。在模型之操作過程時，則以限制整個系統內部各組成部門間之流動率 (Flow Rate) 之方式；例如：限制都市廢水排放到河川之質與量，以避免超過河川之自淨力，模擬該自然環境體系所能承受之都市成長。應用此一觀念之個案研究有Great Lakes Research Advisory Board (1978) 應用生態系統方法進行Great

$Q_{URA}$  : 都市化用地面積

$$\dot{Q}_{URA} = J_1$$

$Q_{UNA}$  : 未開發用地面積

$$\dot{Q}_{UNA} = -J_1$$

$Q_{POP}$  : 總人口數

$$\dot{Q}_{POP} = J_2 \\ = J_{2N} + J_{2S}$$

$Q_{SM}$  : 土壤含水量

$$\dot{Q}_{SM} = J_{22} - J_{15} - J_{23}$$

$Q_{RSV}$  : 水庫存水量

$$\dot{Q}_{RSV} = J_{19} - J_{20}$$

$Q_{STRM}$  : 河川流量

$$\dot{Q}_{STRM} = J_{10} + J_{14} + J_{20} + J_{21} + J_{23} + J_{24} - J_{16} \\ - J_{STRM}$$

$Q_{BOD,U}$  : 河川最終生化需氧量

$$\dot{Q}_{BOD,U} = J_{MW.BODU} - J_{DO}$$

$Q_{DO}$  : 河川溶氧量

$$\dot{Q}_{DO} = J_{RA} - J_{DO}$$

表1 台北都會區都市——環境系統模型系統方程式

Lakes管理研究，分析其對人為因素之容受力。Grove (1979) 也應用此一方法來界定Lake Tahoe流域之環境容受力。Western Federal Regional Council (1979) 更應用此一方法來進行Lake Tahoe之環境評估。此法之優點主要乃在於能整合法令管制於模型之架構，且以土地使用計畫或管理方式為容受力之分析結果。因此，其較適合於都市及土地使用規劃之應用。而其缺點乃在於假設人類科技水準及生活型態不變，因此，祇適於模擬分析短期之容受力。

2. 外部極限法：此法主要是限定所界定系統之輸入。模擬在既定之輸入下，所能容受之人口成長，而每一項輸入可以個別地或綜合地加以限制。此法主要是以Odum從



事之研究為首，而且是以一系統之能量輸入（例如：石油、水力等）來分析該系統之容受力。在理念上，此法係應用Lotka之最大功能原則（Maximum Power Principle）建立模型。換言之，一系統之運作係以使系統內能產生最有用之功（Work）之總能量流動（Energy Flow）極大化。Odum（1983）認為一生態體系是具有內部平衡作用，在演化過程會自己趨向極適化（Self-Optimization），若該系統之能量輸入改變，則該系統將自己調適而達另一極適化之境界。應用此一方法的個案研究有Odum and Odum（1972）所建立之系統模型，模擬不同土地管理方案對人與環境體系之功效，證實自然環境對人類環境之重要性。另外，Odum（1976）亦以能量之品質（Energy Quality）為出發點分析地球對人類社會之容受力。Western Federal Regional Council（1979）則同時考量此觀點，進行Lake Tahoe之環境評估。此法的優點乃在於說明及提供當科技水準、生活型態、生活水準等外在因素改變時，系統內部之調適與變化狀態。Bonnicksen and Lee（1982）則認為此種系統模型過分強調自然生態體系之原則，忽略人類社會與自然環境間互相調適之關係，再者，由於模型架構側重於以系統輸入之改變，探討系統內部之行為，缺乏決策過程，因此，較難應用於政治過程之運作。另外，此種方法所分析求得之容受力，並非決定於人類社會（Socially-Determined），有違容受力分析在都市及土地使用規劃之釋意。

總之，應用生態系統模型進行容受力分析，可考量人與環境體系中，各組成分子間之互動關係，因此，可免除採用人口門檻值時，由於不同之資源指標導致不同人口門檻值之困擾，且可將容受力作動態性之分析。模型之建立與容受力分析，主要可分為下列幾個步驟：(1)建立具有因果關係之概念性系統模型，並確立各組成部門；(2)界定系統輸入及內部流（Internal Flow），同時加以量化；(3)明確地限定環境門檻（Environmental Threshold），亦即超過此一門檻值，將會產生生態破壞（Ecological Damage）；(4)以模擬方式，決定該地區之容受力（Gilliland, 1988）。

## 五、結語

到目前為止，並沒有任何唯一可被接受之容受力理論，但是，卻有許多相互競爭理論（Contending Theories）以生態原則為共同之基礎。理論之選擇可引導分析及規劃方法之建立，許多不同之容受力方法論（Carrying Capacity Methodology）已廣為生態學家、遊憩學家、環境學家、規劃師及研究者所使用。

當我們探討應用容受力分析的觀念於規劃上所產生之

缺點時，可發現主要是在於分析容受力時所採用之技術過程及其應用層面。對於分析過程而言，最主要之問題是經費及技術上之需求。而在應用層面上，特別是關於成長管理方面，應用容受力分析產生之缺點是政治上及立法上是否可行的問題。談到技術需求，並沒有一定之標準方法用來指導容受力分析，也沒有任何可被接受的指南來指導如何去進行容受力分析，因此，當一個規劃師應用容受力觀念從事規劃時，必須找有經驗的人士共同參與，或從其他規劃機構所做的個案加以揣摩及學習。

容受力分析，一般而言，是不容易做的。而其難易程度決定於所要達到的複雜性是如何？用來估算容受力大小之方法，從自然資源調查（Natural Resource Inventory）之主觀研判（Subjective Interpretation）到簡單之算術計算（Arithmetic Calculation），再到更複雜之電腦模型技巧，不同之假設常包含許多變數，變數之選擇及假設之決定均會影響容受力分析結果之可信賴程度，也使得變數之選擇及假設之決定受到困擾。

另一個應用容受力分析於土地及都市規劃所產生之缺點為經費之限制。尤其應用電腦模型時，不但耗費金錢，也耗費時間。應用容受力觀念於規劃之應用層面上，往往會產生政治問題及立法問題。當容受力分析之結果被轉換成成長管理計畫（Growth Management Schemes）時，往往會遭遇政治阻力或立法挑戰。假如容受力分析能夠做好，則它是一個強有力之工具來支持成長管理，否則，反而會削弱成長管理之預期效用。

Godschalk and Parker（1975）認為使用容受力觀念應用於規劃層面產生的問題有定義、估算、方法論等幾項產生。直接為容受力下一定義並不是那麼容易，我們雖可將容受力解釋為：環境體系在不遭受嚴重破壞之條件下，所能承受之人口成長極限或實質開發之程度。但是，如果我們更進一步地觀察，可發現容受力不僅包含環境容受力，尚包含設施容受力、經濟容受力和知覺容受力，所以容受力觀念應是上述四種指標之綜合。同時，每一種容受力觀念之應用層面也不同，因此，進行容受力分析時所採用之方法也就不同。

估算每一種不同型態之容受力時，因為容受力本身不是一種靜態的量（Static Quantity），很少能夠找出一個絕對極限，容受力是會隨著對環境資源的額外投資（Additional Investment）而改變。因此，容受力估算方法必須是動態的，而非靜態的。同時，當新的科學技術被引進時（Technology Emerges），也會使估算結果改變。

任何地區之都市發展容受力都是許多變數之函數，在這些變數之中，有些是容易估算的，而有些則不容易估算

。由於無法完全考慮到所有的變數，因此，容受力分析之結果，對於成長管理策略之研擬，將只能提供部份之解答。成長管理策略之研擬，主要是為了維持及改善該地區之生活環境品質，而非限制該地區之成長。經由良好之管理，適度地成長不會導致環境品質之破壞。

經由上面的敘述，若要經由容受力分析來決定一地區與成長有關之決策，須要有四種基本型態之輸入（Input）：(1)首先必須對該地區特定問題詳加說明；(2)必須建立問題指標（Problem Indicators），例如：水供給、水質、空氣品質等；(3)必須要有條件性之預測模型（Conditionally Predictive Models）；(4)必須要有足夠之資訊系統（Information System）來提供操作模型時所用之資料。由於此四項輸入，並不是那麼容易進行，因此，造成進行容受力分析時產生之主要課題。容受力分析之步驟應如何進行？任何談論到容受力之問題時，必須考慮到要如何處理此一動態觀念。容受力主要是跟人口改變率有關，多數地區之成長問題，都是由於人口變化過於急劇所導致。而如今能夠被用來估算成長衝擊之方法並不多，例如：處理環境及社會衝擊的方法仍然相當粗略，需要再進一步之發展。

綜上所述，應用容受力分析作為規劃工具，雖有其瑕疵之處，但應用在都市或區域成長管理之研究，仍不失為一種非常有用的方法。

### 參考文獻

黃書禮、陳春生、游輝禎

- 1986 <環境容受力分析與都市成長管理——台北都會區個案研究>《國立中興大學都市計畫研究所專題研究報告》No.75-01, 行政院國家科學研究委員會專題研究補助計畫報告（MSC75-0301-H005-03）。

陳春生

- 1986 <環境容受力分析與都市成長管理之研究——以台北都會區水資源為個案>國立中興大學都市計畫研究所碩士論文。

Bishop, A. B., et al.

- 1974 Carrying Capacity in Regional Environmental Management, EPA-600/5-74-021. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.

Bonnicksen, T.M. and Lee, R.G.

- 1982 "Biosocial Systems Analysis: An Approach for Assessing the Consequences of Resource Policies" Journal of Environmental Manage-

ment, 15: 47-61.

Bucks County Planning Commission.

- 1973 Performance Zoning. Doleystown, PA: Bucks County Planning Commission. Center for Wetlands, Univ. of Florida and Bureau of Comprehensive Planning, Florida Department of Administration

1976 South Florida Study.

Clark, J.

- 1976 The Sanibel Report: Formulation of a Comprehensive Plan Based on Natural systems. Washinton, D.C.: The Conservation Foundation.

Forrester, J.W.

- 1968 Principles of systems. Cambridge, MA: the MIT Press.  
1973 World Dynamecs 2nd,ed, Cambridge, MA: the MIT Press.

Gilliland, M.W.

- 1983 "Models for Evaluating Human Carrying Capacity: A Case Study of the Lake Tahoe Basin, California Nevada", in Application of Ecosystem Modelling in Environmental Management. Part B, edited by S. E. Jorgensen and W.J. Mitsch, 249-281, N.Y.: Elsevier Scientific Publishing Co.

Godschalk, D. R. and Parker, F. H.

- 1975 "Carrying Capacity: A Key to Environmental Planning", Journal of Soil and Water Conservation. 30 (4):160-165.

Great Lakes Research Advisory Board

- 1978 The Ecosystem Approach to Great Lakes Management. Special Report to the International Joint Commission.

Grove, C.P.

- 1979 A Conceptual Framework for Defining Environmental Thresholds and Carrying Capacities for the Lake Tahoe Basin. South Lake Tahoe, CA: Grove-Band and Associates.

Juneja, N.

- 1974 Medford-Performance Requirements for the Maintenance of Social Values Represented by the Natural Environment of Medford Township, N.J. Medford, N.J.: Medford Township Office



- Lotka, A. J.  
1925 Elements of Physical Biology. Baltimore, MD: Williams and Wilkins.
- Maryland-National Capital Park Planning Commission  
1977 Fourth Annual Growth Policy Report : Carrying Capacity and Adequate Public Facilities. Montgomery County, MD: Maryland-national Capital Park Planning Commission.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L. Randers,T., and Behrens, W.W. III  
1974 The Limits to Growth, New York: A Potomac Associates Book.
- McHarg,I.L.  
1969 Design with Nature. New York: Natural History Press.
- Odum, E.P.  
1971 Fundamentals of Ecology. Philadelphia, PA: W. B. Saunders Co.
- Odum, E. P. and Odum H.T.  
1972 "Natural Areas as Necessary Components of Man's Total Environment", in Transactions of the Thirty-seventh North American Wildlife and Natural Resources Conference, 178-189. Washington, Washington, D.C.: The Wildlife Management Institute.
- Odum, H.T.  
1971 Environment, Power, and Society. New York: John Wiley and Sons.  
1976 "Energy Quality and Carrying Capacity of the Earth", Tropical Ecology, 16,(1)  
1983 Systems Ecology. New York: John Wiley and Sons.
- Pizor, P.J. and Nieswand, G.H.  
1984 "A Quantitative Approach to Determining Land Use Densities from Water Supply and Quality", Journal of Environmental Management, 18:49-56.
- Rahenkamp, Sachs Wells & Associates  
1976 Master Plan: Summary Report to the Residents of Spatra Township. Philadelphia, PA: Rahenkamp, Sachs, Wells and Associates.
- Randers, J. and Meadows, D.H.  
1973 "The Carrying Capacity of Our Global Environment: A Look at the Ethical Alternatives". in Toward Global Equilibrium: Collected Papers, edited by D.L. Meadows and D.H. Meadows, pp.315-335. Cambridge MA: Wright-Allen Press, Inc.
- Rappaport, R.A.  
1968 Pigs for the Ancestors. New Heaven, CT: Yale University Press.
- Ricci, P.F.  
1978 "Policy Analysis Through Carrying Capacity", Journal of Environmental Management, 6:85-97.
- Schneider, D.M., Godschalk, D.R., and Axler, N.  
1978 The Carrying Capacity Concepts as a Planning Tool. Chicago, IL: American Planning Association Press.
- Simon, H.  
1981 The Sciences of the Artificial, 2nd ed. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Volterra, V,  
1926 "Variation and Fluctuation of Numbers of Individuals" in Animal Species Living Together. In Animal Ecology, edited by R. N. Chapman, PP. 409-448. New York: McGraw Hill.
- Von Bertalanffy, L.  
1968 General System Theory. New York: George Braziller.
- Wallace, et al.  
1976 Environmental Resources of the Toronto Central Waterfront : Inventory-Interpretation and Performance Requirements for Future Action. Philadelphia, PA: Wallace McHarg Roberts and Todd.
- Western Federal Regional Council  
1979 Lake Tahoe Environmental Assessment. San Francisco, CA: U. S. Department of Agriculture Forest Service.
- Wilson, L.  
1983 "A Land-Use Policy Based on Water Supply". Water Resources Bulletin, 19(6):937-941.