

台中市都市永續發展系統動態模擬模式之研究

何友鋒* 王小璘** 陸建浩*

關鍵詞：永續發展、系統動態學、動態模擬模式

摘要

台中市誠如台灣地區其他都市一樣，面臨嚴重的都市問題，其中以土地和資源不合理的規劃與使用為甚，導致生活的空間與時間超出了當時當地的環境容量，都市生態環境受到極大破壞。有鑑於此，本研究結合永續發展與都市生態學理論，將台中市視為一個整體，以系統分析的方法，利用德爾菲專家意見調查篩選台中市都市永續發展指標，並以系統動態學的技術，探討系統內部各子系統之間的反饋關係，建構動態模式，利用台中市歷史數據及資料模擬台中市都市社會經濟的動態變化，以追求台中市永續發展的角度，規劃台中市未來都市合理的經營及管理策略。

A Study on the Dynamic Simulation Model for the Sustainable Development of Taichung City

Yu-Feng Ho* Hsiao-Lin Wang** Chien-Hao Lu*

KEYWORDS : sustainable development, system dynamic, dynamic simulation model

ABSTRACT

In Taichung City considerable concern exists about urban problems, such as the deterioration of living conditions, overcrowding and empty dwellings, traffic congestion, the shortage of open space and many other aspects of urban social, economic and environmental situations. Most of the existing planning methods in this context addressed only one or two of these three aspects. The purpose of this study is to develop an integrated framework for establishing a sustainable urban structure to maintain a balanced relationship between human needs and urban ecology. A dynamic simulation model, combining urban ecological theory with system dynamic techniques is suggested so that sustainable multiple urban development objectives can be pursued to achieve a better quality of life for every citizen, now and for generations to come.

*朝陽科技大學建築及都市設計研究所

Graduate School of Architecture and Urban Design,
Chaoyang University of Technology.

** 東海大學景觀學系

Department of Landscape Architecture, Tunghai
University,Taichung.

2002 年 3 月 25 日受稿，2002 年 9 月 10 日通過

一、前言

台灣地區都市化，結果不僅在都市內部，而且也在都市外部，造成了許多不良效果，都市規模越大，對周圍環境的影響範圍也越大，影響程度亦越深。這些影響使人類社會與生態環境之間失去了原有平衡。台中市發展同樣受到都市化持續發展的結果，造成都市無限擴張，人口集中、公共設施不足，空間結構不良，造成都市內交通、環境惡化等問題。為了解決都市化所帶來的種種問題，必須從都市系統的內部探討問題的癥結，全面地認識都市這一系統的特殊性及複雜性，以永續發展的理念尋求解決的途徑，維持都市社會經濟發展與環境質量的平衡，創造優美的都市生活環境。

「永續發展」的概念自聯合國於1972年在斯德哥爾摩所召開的「人類環境會議」中首先提出，其目的在能滿足當代的需要而同時不損及後代滿足其本身需要之發展，並強調整合發展與保育兩種行為，使保育觀念融入開發的過程中，以達永續利用生態系統的目標（WCED, 1987）。1990年OECD提出都市機能與自我調節成長，以及最少廢棄物產生的兩個都市永續發展的基本原則。因此，永續發展決策係從生態、環境和社會三方面取得協調平衡，追求社會全面的進步，

促使環境與發展並重，兼顧社會各層面的均衡，創造一種社會經濟利益與環境及能源的利害關係相調和的狀態，達到全面改善並提高都市生活品質，建立一個「生態、生活、生產」並重的都市發展體系，以促使環境資源得以永續利用與發展為目的。

多年來，國內外有關都市永續發展的研究取得了非常豐富的成果，例如從自然環境、資源管理、都市產業與社會經濟發展等因素，探討自然保育與經濟發展的協調，及追求生態永續與都市發展的平衡。例如生物多樣性對於都市永續發展的價值（馮豐隆，1997）；自然資源與能源對於都市永續發展的限制（Ibrahim and Rosen, 1999；李漢鏗等，2000；Roy, 2001）；產業發展對都市生態環境容受力的衝擊（蕭新煌，1999；Robin, 2000）；建立都市永續發展的指標體系（黃書禮，1996；Hugo, 1999；葉俊榮，2000；Roseland, 2000）；輔助都市永續發展管理的資訊系統（Rao, 2000；Nisar, 2000）等。但是當今都市永續發展的問題存在於都市發展對都市生態系統結構的改變，使都市生態環境受到極大的破壞，尤其人們以消費導向的都市生活與生產方式，不但缺乏資源再生利用機制，亦不符合生態系統循環利用資源的原則。所以如何提出一個可行的都市管理策略，是都市永

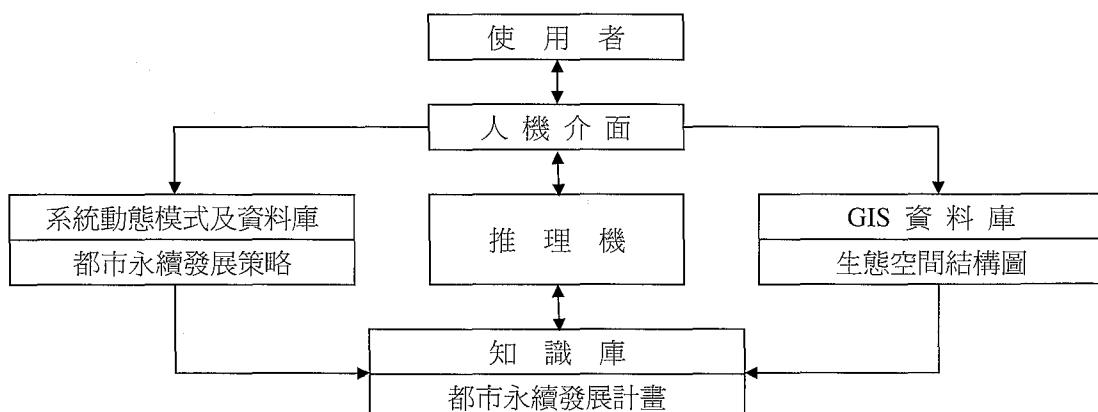


圖 1 都市永續發展知識庫系統架構圖

續發展應積極的研究議題。

都市是以人類社會為主體，由各種空間與設施等元素所組成的多變量、非線性的生態系統，元素之間存在非常複雜和相互依賴的關係。因此，都市永續發展研究應從都市系統發展的時間和空間兩方面進行系統研究，不僅須要數量方面的知識，也需要質量方面的判斷（圖1）。本研究以都市生態系統平衡的觀點，分析台中市都市內部的人類活動與都市環境之間的各項平衡，利用系統動態學的技術，建構台中市都市永續發展模式，透過模擬，探討系統在時間方向的變化，從環境生態角度，提出達到都市永續發展目標應採取的管理策略，改善都市環境品質，提昇居民生活水準。

二、理論與研究方法

（一）永續發展

永續發展的意義，在確保自然資源的品質及其所提供的服務的前提下，使經濟發展的淨利益增加到最大的限度（Barbier，1995）；在滿足當代人的需求，又不危害後代人滿足其需求的能力（WCED，1987）。因此，永續發展可分解為生態的永續性、經濟的永續性和社會的永續性三方面。從生物圈的概念，認為永續發展是尋求一種最佳的生態系統，以支持生態的完整性和人力願望的實現，使人類的生存環境得以持續。從經濟學的觀點，永續發展是結合人、生物、環境三者互動關係，強調自然界之維生系統所提供之諸如能源、食物供給與同化汙染物之功能，永續發展是整合「生態永續」與「經濟發展」之考量。從社會學的觀點，社會的永續發展是一種無代價的發展，即使有代價也必須將其控制在都市系統所能容納的範圍內，而不能危害都市自然生態的自我

總結，所以社會永續發展標誌著現代都市的綜合質量。

簡言之，社會永續發展的目標在於追求都市經濟與生態的平衡發展，社會有效合理的控制。因此，可從生態經濟學與都市成長管理加以探討其原理與應用。其中強調生態經濟協調發展理論的學者認為將經濟規律和自然規律的要求統一結合起來的生態經濟學，在未來的新世紀發展中，必將發揮越來越大的作用。因為經濟活動影響生態系統，同時受生態系統的制約，所以經濟為主導，生態為基礎的理論使人們體認：保護自然生態平衡就是保護經濟發展的基礎，就是保護生產力。在追求生態經濟效益的目標時，必然發展成將經濟、社會、生態效益統一的結果，追求整體效益的最佳化。

衡量我國現階段正邁入新興工業國家之列，對於永續發展的工作著重在：1. 永續發展要以保護自然環境為基礎。2. 永續發展鼓勵經濟成長。3. 永續發展以全面改善並提高生活品質為目的。因此，兼顧生態、經濟和社會三方面的永續發展和協調均衡，將是我國永續發展的重要工作。

（二）都市生態學

都市生態學是運用生態學原理來研究都市居民與環境的關係的科學，其緣起可追溯至聯合國教科文組織在1977年「人與生物圈」計畫，提出從生態學的角度來研究都市，指出都市實際上是一個以人類活動為中心的生態系統。1978年研究小組又提出從系統的、整體的、多目標的角度來研究都市生態系統的特性、結構、功能、平衡，強調都市中自然環境與人造環境，生物群落與人類社

會，物理生物過程與社會經濟過程之間的相互聯繫及作用。此類研究的方向有三：1.著重於都市自然生態系統的研究，從傳統生態學理論出發，將都市視為一種特定的環境，研究在這種環境中各種生物的生態問題（Robert, 1995；Tjallingii, 2000）。2.將都市視為人類生態系統，其主要探討重點是以人類社會為主體的生態系統，將社會系統和經濟系統包括在都市生態系統之中，即人類生態系統（王如松，1991；Newman, 1999）。3.將都市視為單個特殊的有機體，來研究都市的誕生、成長、衰老和死亡過程，將研究擴大到都市與周圍腹地之間，都市與都市之間，以及都市、鄉鎮之間的關係（熊瑞梅，1998；賴世剛，1999）。

上述研究已取得許多成果，如Rickaby (1987) 利用生態學的原理評估都市形態的能源效益。Slocumbe (1993) 利用生態學的理論發展出一套完整的環境開發方法與技術。Li and Guo (2000) 從人口的動態變化建構生態模型，透過模型的模擬觀察漸變的生態行為、變遷的氣候圈、多樣物種的保存與生物資源永續利用等狀態，提供具科學性的預測模擬方法。詹士樑、黃書禮 (2000) 以生物控制論為基礎建構都市生態規劃之靈敏度模型，透過系統性的工具，提供地區未來發展的方向，強化地區民眾相互之間的認同。

故本研究以都市生態學為理論基礎，都市人類社會為研究主體，分析都市內部的人類活動與都市環境之間的各項平衡關係，是項可行性研究及替選方案的綜合評估工作，主要研究解決在滿足實質、環境、社會、經濟及法令等條件下，尋求都市人口與就業的平衡、住宅與社會服務的平衡、都市規模與都市資源的平衡、都市

廢棄物與環境容量的平衡，使得都市得到最佳的經營及管理。

(三) 系統分析

系統是相互關係的若干組成部份，結合成具有特定功能的有機整體，且系統具有集合性、關聯性、目的性和環境適應性。系統分析是以系統的探討來協助決策者選擇他的行動，其過程是搜索所有的目標與達成目標之不同手段，並從效果來衡量這些目標與手段 (Quade, 1965)。這種科學方法須考慮所有不確定因素，找出能夠實現目標的各種可行方案 (Clenland and King, 1975)。由此可知系統分析具有對目標的搜索與確定、對達成目標可行方案之研究、綜合使用各種計量及非計量的工具、重視整體性，不忽視直覺與判斷等特點。根據不同的標準分類，系統可區分為：自然與人為、靜態與動態、確定與不確定、開放與封閉、實體與抽象、次級與超級系統等。

系統分析方法的應用眾多，例如唐明月、吳壽山 (1993) 以系統分析法，從不同的屬性，區隔出每個階段的認知特性，改善系統績效評估過程中對各種規範之不必要的困惑。高正忠 (1994) 以類神經網路、專家系統和模糊集合理論等人工智慧理論工具，其應用於輔助焚化爐操控系統之適用性及可行性。何友鋒 (1995) 以系統分析方法研究住宅社區規劃問題，從實質生活環境、經濟活動、社會因素與法令規定等因子，建立可量化、包含目標式與限制式的多目標規劃模式，並以模糊數學規劃法求解多目標規劃算式，求解方案後利用綜合評估模式來對於求解方案進行經濟、技術與社會評估，以回饋情報至模式。

有關應用於都市系統的相關研究，

不論是從微觀的都市內部個別功能探討都市結構和行為，或是從宏觀的整體系統探討系統的組成和互動關係，方法上均以系統理論為基礎，例如系統動態、複雜理論、控制論等。將都市視為一個永續發展系統，其具有符合因果關係，且往往形成因果關係環，因與果在時間與空間上具有分離性；是多變量、非線性的系統；各元素之間具有複雜性的相互依賴關係；具有反饋直觀性等基本特徵。因此，本研究以系統分析的觀點、原理和方法以及電子計算機技術的輔助，將研究對象分解為不同子系統的組成部分和變數，以明確的目標與不同的替代方案，分別研究變數間的影響關係；亦將各個子系統的組成部分和變數整合加以考慮，從整體掌握事物的本質和規律，建構完整的系統模型，以對都市永續發展的重大問題進行決策的分析與評估，建立台中市都市永續發展動態模擬模式。

(四) 系統動態學

由於都市永續發展動態模擬模式的複雜性，以及隨機因素的影響，利用傳統的數學方法建構都市永續發展動態模擬模式，可能同時要建立上百個帶有時滯的偏微分方程，測量幾百個參數，而對這樣的方程組合分析求解亦是不可能的。系統動態學是一個分析研究多變量、非線性、有時延性的複雜系統問題的學科，以其特殊的方法建構系統的模擬模式，其特徵是能夠處理行為隨時時間變化的動態系統問題，特別是研究和規劃複雜的都市永續發展的多變量、多目標、多層次的未來行為和長遠決策的問題，正足以滿足解決都市永續發展的問題。

國內外學者曾利用系統動態學來研究人口成長、天然資源、資本投資、環境污染等問題，嘗試以分析的架構來瞭解社會發展動態的問題，有相當的成果。例如 Meadows 等人（1972）利用系統動態學之理論與方法，對全球的人口、資源、資本投資、環境污染和生活品質五大因素之間的聯繫和發展問題，提出了全球指數增長的趨勢將逐漸過渡到某種穩定平衡狀態的觀點。Cagdas and Berkoz (1996) 運用系統動態學探討伊斯坦堡市中心的動態行為，將模式中主要區分為土地子系統與相對應的人口子系統所包含的變數，從人口活動與土地開發利用的觀點進行模式模擬。結果成功的模擬出伊斯坦堡市中心土地開發與就業人口分布的趨勢，並據此提出未來使用分區管制與人口成長管理的修正策略。黃書禮(1996)承續「台北市都市發展指標系統之建立與策略研擬」所建立的決策者指標，利用系統動態學建立系統模型，模擬台北市永續指標間之因果互動性，並進一步模擬台北市在順勢發展、強調經濟成長及追求永續發展三種情境類型的發展結果，提供都市管理師研擬相關策略與決策的參考依據。秦大唐和趙形潤利用系統動態學進行北京城市生態系統仿真模型研究，從環境角度提出了達到北京市生態系統發展策略（沈清基，1998）。蕭新煌等人(1999)在永續台灣2011經濟組中，根據T21模型建立台灣2011的系統動態模型，已完成水污染、空氣污染、廢棄物及土壤污染三個CGE子模型架構之規劃，對台灣環境進行模擬。

三、建構系統動態模擬模式

(一) 指標變數集及系統回饋環圖

建立：

建立都市永續發展指標必須依循客

觀性、科學性、可測性及可比性的原則。本研究根據相關研究成果(Liverman, 1988; Opschoor, 1992; UNCHS, 1995; 黃書禮, 1996; 鄒克萬, 2000)、台中市都市建設及實質發展經驗，並考慮都市管理的改善，研擬124個指標，邀請各大學院校具社會、經濟、文化、建築、都市計畫、環境等專業的30位專家學者，經2次德爾菲專家問卷調查分析，以專家回饋值的算數平均數為篩選標準，提出台中市都市永續發展指標體系如表1(何友鋒, 2000a)，將台中市都市永續發展模式歸納為人口、土地、工業、服務業、社會經濟及環境污染等6個子系統，保留36項指標作為建立台中市都市生態動態模擬模式的變數集。本研究採專家訪談法探討各個變數之間的因果關係，並考慮台中市都市發展的特性，建構台中市都市永續發展系統架構圖(圖2)。架構圖中表明各子系統互動的關係，由此

建構系統變數間的回饋環路，得20個正回饋環路，25個負回饋環路，其中人口的變數集決定人口活動的行為特性及影響人口規劃的相關系統指標；土地的變數集決定土地開發利用的合理規模；工業變數集決定都市經濟生產能力及特性；服務業變數集決定都市的經濟產業發展性質；社會經濟變數集決定都市政策在都市空間規劃上，所具有的空間政策決策能力；環境污染變數集則決定都市環境品質的優劣。

(二) 模式建構與模擬：

都市永續發展指標變數繁多，本研究假設模型之行為為一連續狀態，系統行為之改變並非機率問題，而是由行為背後影響變數的因果循環所造成。模式以台中市都市計畫區為系統空間範圍，蒐集台中市1981-1996年的資料代入系統模式，設定三年的時測間距進行系統模擬，西元2016年為預測時間邊界。

在系統架構關係探討中發現，複雜的都

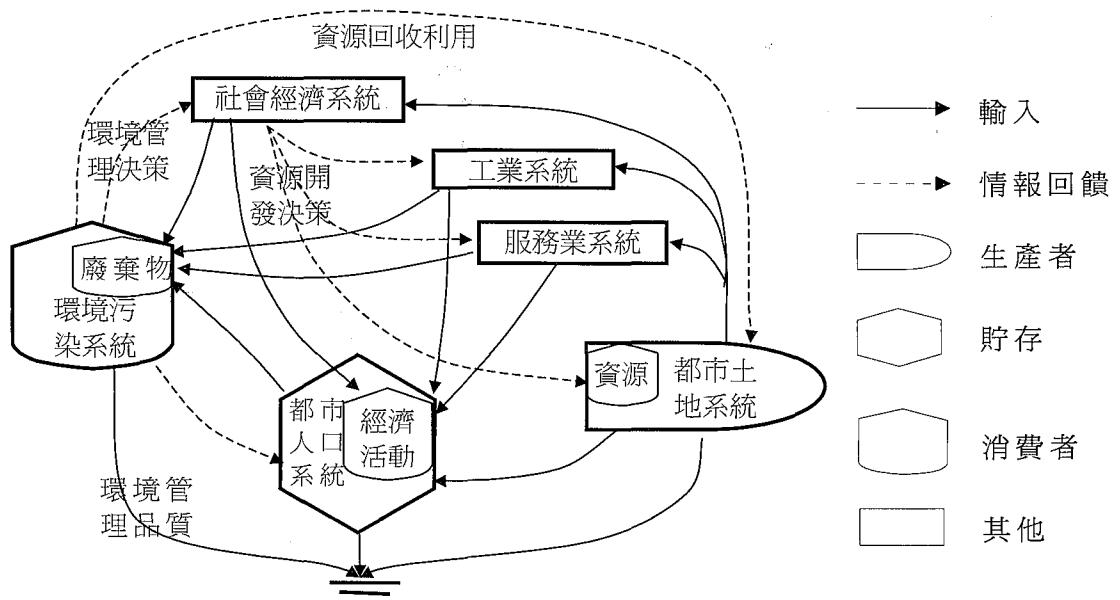


圖2 台中市都市永續發展系統架構圖

市永續發展模式是個多變量、多輸入、多輸出、多目標、多參數與多干擾的系統，子系統間不同層次與跨領域的影響，存在著不明確的因果關係。本研究以人口、環境污染、能源及土地資源等變數，將各子系統聯結成為台中市都市永續發展動態模擬模式，模式中有63個指標變數，179個方程式，其中有8個積量方程式、8個初值方程式、17個率量方程式、142個輔助方程式和4個常數方程式（何友

鋒，2000b），並以Dynamo電腦程式模擬台中市都市永續發展的策略。

模式的效度依據 Forrester and Senge (1980) 之模型行為重現，利用台中市1986年至1996年的總人口數、土地面積、工業產值、服務業產值、地方財政與污水總量的歷史數據，將模擬結果與實際系統行為作比較，依模式的穩定性、振盪的型態、時相關係與週期的長短等特徵進行檢驗（謝長宏，1987）。

表1 台中市都市永續發展指標細項表

子系統	指標項		指標項		指標項	
人口子系統	總人口數	0.121*	都市供水量	0.117*	總用電量	0.113
	都市人口密度	0.125*	都市供電量	0.117*	教育程度比例	0.114
	都市人口成長趨勢	0.118*	每人平均用水量	0.116*	出生率	0.113
	都市人口分布	0.114	勞動人口比例	0.110	總用水量	0.113
	區域人口平均所得	0.113	都市人口年齡結構	0.113	都市人口失業率	0.112
	每人平均用電量	0.114	家庭平均人口（戶量）	0.108	都市流動人口比例	0.114
	區域環境品質指數	0.121*	死亡率	0.113	年出生總人口數	0.112
土地子系統	綠（藍）帶面積	0.121*	每人平均使用都市土地面積	0.116	每人每日通勤時間	0.116
	每人享有公園綠地面積比例	0.121*	土地面積	0.113	住宅用地面積比例	0.114
	每個人平均居住樓地板面積	0.115	新開發土地面積	0.114	公共設施面積比例	0.117*
	都市實際用地面積	0.117*	空屋率	0.114	區域土地價格（地價指數）	0.114
	都市化土地開發成長率	0.118*	供水普及率	0.116	每人每日塞車時數	0.115
	住宅總樓地板面積	0.114	供電普及率	0.113	都市化面積比例	0.118*
工業子系統	都市土地開發面積比例	0.117*	綠地開發建設速率	0.117*	—	
	工業污染物生成量	0.123*	國民生產毛額	0.114	廠家成長比率	0.114
	工業用地面積	0.116*	單位工業產值能源消耗量	0.114	工業結構	0.114
	工業總耗電量	0.118*	工業勞力需求量	0.114	平均所得所需工作時數	0.111
	工業總用水量	0.118*	工業就業人數	0.113	工業固定資本的遷出	0.112
	工業總耗油量	0.114	工業產值	0.116*	廠家生產率（產值）	0.113
	污染防治成本比率	0.114	勞力供給與就業比率	0.114	隨工業遷出的人口數	0.114
服務業子系統	工業廠家數比例	0.112	工業年投資率	0.114	平均員工勞動生產力	0.116*
	服務業廠家數比例	0.114*	服務業總耗電量	0.113	車輛自有率	0.111
	服務業污染物生成量	0.113	服務業產值	0.117*	服務業服務人口數	0.113
	服務業廠家數成長率	0.114*	服務業人口占總人口比例	0.117*	房屋自有率	0.109
	服務業用地面積	0.112	國民平均年所得	0.116*	每人平均消費比率	0.113
	消費者物價指數	0.113	服務業用地面積比例	0.113	消費旅程時數	0.112
社會經濟子系統	服務業就業人口數	0.116*	服務業平均所得	0.112	服務業年投資率	0.113
	服務業總用水量	0.113	服務業總耗油量	0.111	服務業人口成長比例	0.113
	環境保護支出比例	0.120*	社會福利支出比例	0.113	各使用分區面積規則比例	0.113
	國民平均所得	0.113	電力開發支出比例	0.110	政治文化事業人口比例	0.111
	大眾運輸普及率（使用率）	0.113	水資源開發支出比例	0.113	政府機關高教文化就業人口數	0.110
	教育文化支出比例	0.117*	行政決策效率	0.113	行政文教區用地面積	0.112
環境污染子系統	交通運輸支出比例	0.116*	平均每人享有歲出決算金額	0.113	政治參與率	0.113
	公共衛生支出比例	0.116*	貧富差距指數	0.113	識字率	0.113
	警政社會安全支出比例	0.116*	住宅投資比例	0.111	—	
	衛生下水道普及率	0.117	噪音污染指數	0.117	營建廢土回收比例	0.117
	空氣污染物含量	0.123*	工業廢棄物產量比例	0.121*	服務業廢棄物產量比例	0.117
	污染對居住性的影響	0.117	每人廢水排放量	0.117	污染防治資產消除污染率	0.116

附註：1.篩選標準：人口子系統：0.115；土地子系統：0.117；工業子系統：0.116；

服務業子系統：0.113；社會經濟子系統：0.116；環境污染子系統：0.118。

2.*：選取指標

模擬結果顯示（表2），模式中的工業產值與地方財政二項指標，因為數據資料的時隔間距較大，造成實際歷史值與模擬值的差距變動較大，但模擬值的發展型態與正負向的時相關係與歷史實際發展的變化趨勢相當接近，由此推斷本模型可用來模擬台中市都市永續發展模式的動態變化，規劃台中市合理的生態系統。茲將各子系統動態模擬模式分別說明如下：

1. 人口子系統：

本系統之主要積量變數為人口數，主要的積量方程式為 $P.K = P.J + DT^*(BP.JK + MPG.JK - DP.JK)$ （圖 3）。其中影響人口總量的主要因素有出生人口數、死亡人口數與遷移人口數三種率量，率量方程式為 $BP.KL = BR.K^*P.K$ ； $DP.KL = DR.K^*P.K$ ； $MPG.KL = FP.K^*EQI.K$ 。系統中出生人口數與死亡人口數隨總人口數的消長變化，而區域環境品質整體綜合的評估（區域指數）為影響人口遷移的主要原因。本研究利用都市引力作用的模擬機制，

表 2 台中市都市永續發展動態模擬數值對照表

年		1986	1988	1991	1994	1996	平均差
總人口數 (人)	歷史值	695562	730736	832654	876384	774197	1.4%
	模擬值	686500	722100	814400	862200	767000	
土地面積 (公頃)	歷史值	14525	14605	15232	15300	14705	1.1%
	模擬值	14800	14920	15160	15230	15070	
工業產值 (百萬)	歷史值	119346	—	584790	—	263180	18.1%
	模擬值	141300	—	602300	—	444400	
服務業產值 (百萬)	歷史值	571946	—	2521137	—	1407684	5.5%
	模擬值	469500	—	2632000	—	1365000	
地方財政 (百萬)	歷史值	895	2957	2274	2946	1193	6.0%
	模擬值	504	1448	2978	3281	2177	
污水總量 (10 ⁶)	歷史值	124.7	157.1	226.7	244.7	200.6	4.6%
	模擬值	117.9	144.8	219.1	239.0	192.5	

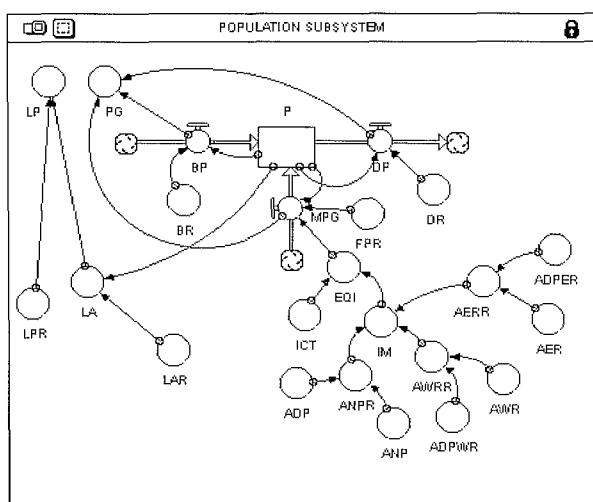


圖 3 人口子系統動態模擬圖

ADP:區域平均所得	ADPER:區域平均供電量
ADPWR:區域平均供水量	AER:平均供電量
AERR:電供應指數	ANP:國民平均所得
ANPR:國民所得指數	AWR:平均供水量
AWRR:水供應指數	BP:出生人口數
BR:出生率	DP:死亡人口數
DR:死亡率	
EQI:環境品質指數	
FPR:流動率	
IM:區域指數	
ICT:時間轉換係數	
LA:勞動人口數	
LAR:勞動率	
LP:就業人口數	
LPR:就業率	
MPG:遷入人口數	
P:人口數	
PG:人口淨增加數	

以水、電資源的供給比例及國民所得的高低三項地區數值與大環境數值的比值作為代表環境品質優劣的區域指數，進而配合時間轉換係數尋求因為都市環境品質變動造成社會變遷的遷移人口數。

模式模擬結果顯示，台中市人口成長迅速，由1981年至2001年，人口由60.7萬人增至100萬人，成長約1.7倍。根據模式預測到2016年，台中市人口將增加到235.3萬人，成長約4倍。如此規模的成長主要受到出生人口數的影響，因為台中市目前持續以每年約兩萬人的比例成長，其他負性影響因素，如死亡人口數、遷移人口數等，分別受醫學發達、環境品質的改善等因素影響，降低了負性回饋的強度，所以綜合觀之，系統呈現正向成長的趨勢。就業人口的發展，以服務業就業勞工數的發展趨勢較工業高，其工業與服務業就業勞工數的比值雖然仍維持在1:2，但總數卻由1996年的11.8萬人比23.5萬人，昇高至2016年的34.1萬人比67.7萬人。

2. 土地子系統：

本系統之主要積量變數為土地面積，主

要的積量方程式為 $L.K = L.J + DT^*$ ($LD.JK - RL$) (圖4)。其中影響土地面積的主要因素有土地使用面積與還原土地面積二種率量，率量方程式為 $LD.KL = DLD.K * DL.K / LAT$; $RL.KL = RLR.K * L.K$ 。本研究將都市土地依使用性質區分為居住、產業及公共設施之綠地等三種土地類別，探討都市土地的變化與都市發展脈絡，建構系統因果關係環，調整都市土地的使用。關係環中因為都市擴張造成土地使用面積增加，相對的使都市土地開發比例降低，衝擊用地需求的平衡，影響土地的開發意願，形成內部調節環路。而公共設施隨用地開發、擴張而增加的情形，形成內部正向環路。另外，台中市都市計畫土地甚少變更還原為非都市計畫土地，造成土地還原率近乎零值。

模式模擬結果顯示，台中市土地面積的開發隨著時間的增加成長，系統中的較特殊的趨勢變化，以1981年大量住宅用地的開發，造成短時間人口與住宅用地之間的關係呈現負成長的降低趨勢，但整體隨著人口的持續成長，與有限的土地面積，呈現人口密度穩定成長的趨勢。透過系統變數觀察，若以2006年的計畫粗密度每公頃201人為基準，該年的模

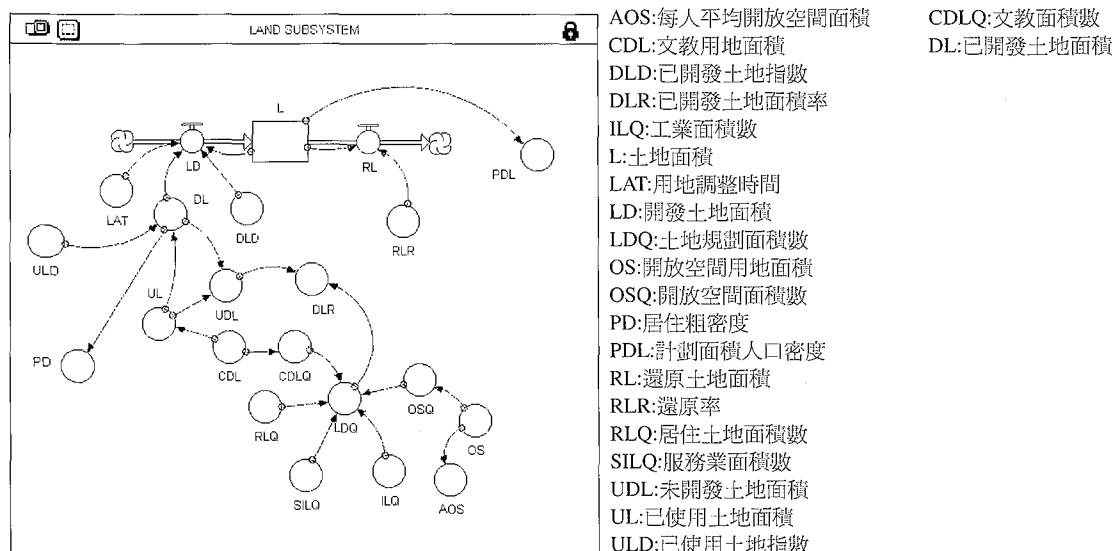


圖4 土地子系統動態模擬圖

擬值高達每公頃263人，為計畫值1.31倍。開放空間面積亦由1996年的145.54公頃成長為2016年的1178公頃。顯示早期台中市都市發展受腹地的限制，市政府歷年來規劃多處重劃區以滿足各種土地使用的需求，其中尚有多處重劃區空置未開發，致土地需求的壓力曲線呈平緩的成長趨勢。但是高密度發展的台中市，將造成綠地開放空間、給排水及垃圾處理等設施及設備的需求大增。

3. 工業子系統：

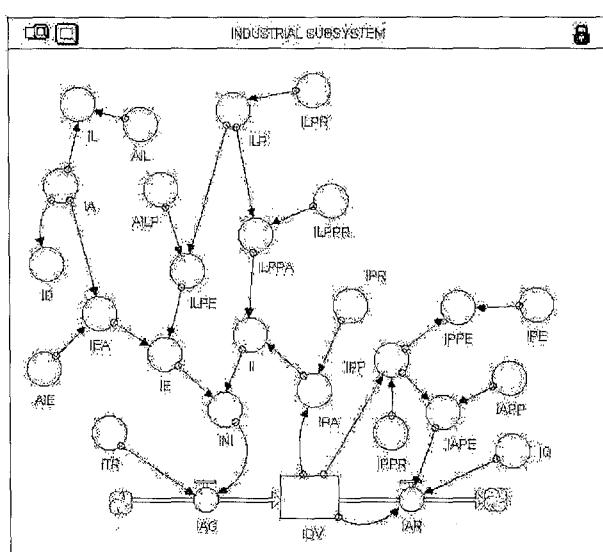
本系統之主要積量變數為工業資產，主要的積量方程式為 $IOV.K = IOV.J + DT^*(IAG.JK - IAR.JK)$ (圖 5)。其中影響工業資產的主要因素有資產增加與資產減少二種率量，率量方程式為 $IAG.KL = INI.K * ITR.K$ ； $IAR.KL = IQ.K * IOV.K$ 。本研究從資金流建構工業子系統，工業產值的增加由工業就業率、勞動生產率、工業資產收入的投資限制等因子構成負性環路。工業產值的減少由工業污染防治成本與工業資產減少所構成。對整體系統而言，工業子系統的工業就業人口受人口子系統的勞動人口就業率的影響，

造成工業資產支出的波動；此外，由工業廠家數與土地面積推估工業密度，串聯工業廠家數與工業用地面積需求的關係，達到系統間的聯繫。

模式模擬結果顯示，台中市工業資產呈現緩慢的穩定成長趨勢，資產總額由1996年的6023億元，成長至2016年的6437億元，成長幅度僅7%。其中工業廠家數由1996年9989家成長至2016年的15990家，成長比率為1.6倍；工業資產收入由1996年的2920億元，成長至2016年的3298億元，成長幅度為13%；工業資產支出由1996年的2781億元，成長至2016年的3567億元，成長幅度為28%。整體而言，工業資產與工業廠家數雖然呈現成長的趨勢，但資產支出的比例有擴大的趨勢，且在2016年時超出資產收入，顯示工業未來的發展將面臨獲利降低的問題。

4. 服務業子系統：

本系統之主要積量變數為服務業產值，主要的積量方程式為 $SIOV.K = SIOV.J + DT^*(SIAG.JK - SIAR.JK)$ (圖 6)。其中影響服務業產值的主要因素有資產增加與資產減



AIE:工廠平均支出	AIL:工業平均用地面積
AILP:平均工業就業人口	IAR:工業資產減少數
IAG:工業資產增加數	IAPP:工業污染防治成本
IAPE:工業污染防治費	IE:工業資產支出
ID:工業密度	II:工業資產收入
IEA:工廠支出	ILP:工業勞工就業率
IL:工業用地面積	ILPPA:勞工生產額
ILPE:薪資支出	ILPPR:勞工生產力
ILPPR:勞工生產力	ILPR:工業勞工率
ILPR:工業勞工率	INI:工業資產淨收入
INI:工業資產淨收入	IOV:工業產值數
IOV:工業產值數	IPA:工業生產額
IPA:工業生產額	IPE:工業污染消除率
IPE:工業污染消除率	IPP:工業污染生成量
IPP:工業污染生成量	IPPE:工業環境污染量
IPPE:工業環境污染量	IPPR:工業污染生成率
IPPR:工業污染生成率	IPR:工業生產力
IPR:工業生產力	ITR:工業經營效率
ITR:工業經營效率	IQ:工業資產降低比率

圖 5 工業子系統動態模擬圖

少二種率量，率量方程式為 $SIAG.KL = SITR.K * SINI.K$ ； $SIAR.KL = SIQ.K * SIOV.K$ 。本研究從資金流建構服務業子系統的因果關係環，服務業產值的增加受服務業就業人口、服務業生產效能、服務業資產支出等因子，形成系統內部負性環路。服務業產值的減少由服務業污染防治費用、服務業資產減少所構成。對整體系統而言，服務業子系統的服務業就業人口受人口子系統的勞動人口就業率的影響，造成服務業資產支出的波動；此外，由服務業企業數與土地面積推估服務業密度，串聯服務業企業數與服務業用地面積的關係，達到系統間的聯繫。

模式模擬結果顯示，台中市服務業資產呈現穩定成長的趨勢，資產總額由1981年（2965億元）至1994年（25260億元）的54%，減緩為1995年（26320億元）至2016年（36060億元）的16%。其中服務業廠家數由1996年40490家成長至2016年的73620家，成長比率為1.8倍；服務業資產收入由1996年的6089億元，成長至2016年的11970億元，成長幅度為97%；服務業資產支出由1996年的5236億元，成長至2016年的10540

億元，成長幅度為 101%。整體而言，服務業資產、服務業廠家數、資產收入與支出均呈現成長的趨勢，其中資產支出成長比例雖呈現大於資產收入成長比例的趨勢，但 2016 年的資產邊際支出仍小於資產邊際收入，顯示服務業仍有發展的空間，但須注意資產經營管理的課題。總而言之，從台中市產業的發展趨勢，發現服務業產值高於工業產值，顯示台中市未來的產業類型將以服務業為主，屬於一個消費、服務性質的商業都市。

5. 社會經濟子系統：

本系統之主要積量變數為地方財政資產，主要的積量方程式為 $LFP.K = LFP.J + DT^*(LR.JK - LE.JK)$ （圖 7）。其中影響地方財政資產的主要因素有地方財政收入與地方財政支出二種率量，率量方程式為 $LR.KL = LRI.K * LFPI.K$ ； $LE.KL = LEI.K * LFPI.K$ 。本研究從資金流建構服務業子系統的因果關係環，本研究就台中市歲入結構中，稅課收入之自徵的地價稅、房屋稅，及統籌分配稅之營業稅、所得稅四項變數建構地方財政收入之系統架構，模擬歲入決算數的增加，形成系統內部的正性環

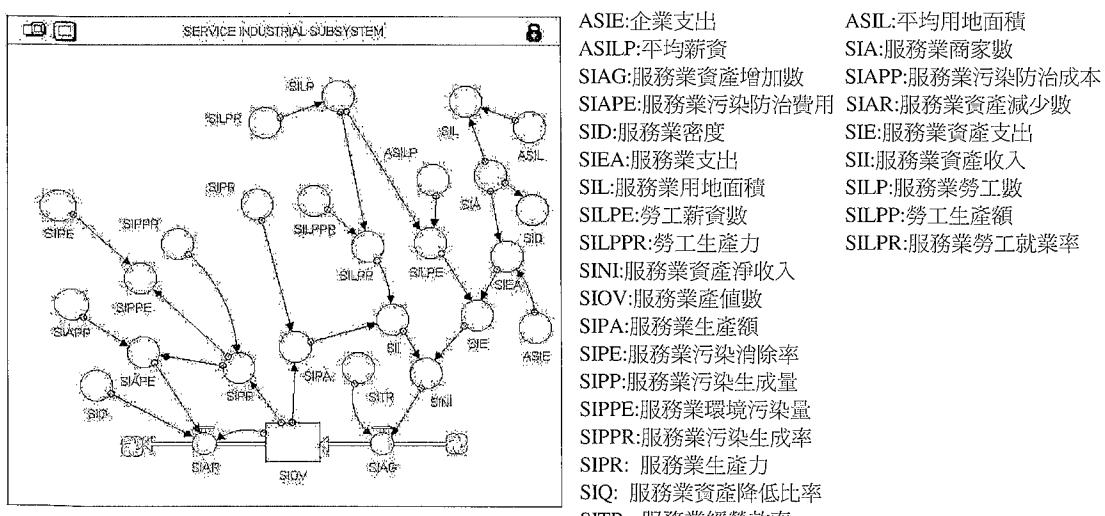


圖 6 服務業子系統動態模擬圖

路。地方財政支出由教育文化、警政社會安全、政權、交通運輸、行政與民政等變數，與預算執行效率形成系統內部的負性環路。

模式模擬結果顯示，台中市稅收部分以所得稅為主。從每人平均歲出決算數的檢討歲出決算比例的消長，1996年至2016年均以教育文化、交通運輸及警政社會安全三項支出為首，但其分配比例的變化以教育文化支出由53%降低為44%，交通運輸支出由18%升高為28%，警政社會安全支出由16%降低為13%。整體而言，各項經費的支出以教育文化為主，但隨著都市的擴張，道路、交通等基礎建設，將耗費更多的經費預算，造成經費分配使用的限制。

6. 環境污染子系統：

本系統之主要積量變數為水污染、空氣污染及廢棄物污染三類污染量，水污染的主要積量方程式為 $WP.K = WP.J + DT^*$ ($WPI.JK - WPR.JK$)，空氣污染的主要積量方程式為 $AP.K = AP.J + DT^*$ ($API.JK - APR.JK$)，廢棄物污染的主要積量方程式為 $RD.K = RD.J + DT^*$ ($RDI.JK - RDR.JK$) (圖 8)。其中影響各

類污染量的主要因素有污染生成量與污染去化量二種率量，主要的率量方程式分別為 $WPI.KL = (HSA.K + PSA.K) * CMD + ISA.K$ 、 $WPR.KL = WWPA.K$ ； $API.KL = SPI.K + DFI.K + COHSI.K$ 、 $APR.KL = APRC$ ； $RDI.KL = QP.K$ 。 $RDR.KL = RDA.K$ 。本研究依據水、空氣及廢棄物三種污染性質區分建立次系統，在各個次系統中建構污染生成與去化的循環環路，分別觀察各項污染的變化。系統污染量的增加主要受人口、工業與服務業子系統等各種污染源生成量的影響，如家用污水量受人口子系統的總人口數與家庭用水總量的影響；畜牧業污水量受畜牧總數與每頭的污染係數的影響；工業污水量受各類工業用地面積與污染比例的影響；廢棄物量受清運人口數與每人平均垃圾量的影響等關係，經各子系統間的串聯形成一個循環的都市生態環路，強化子系統間的關聯性。另外根據現有的技術，因為目前的污染防治已有相當的成效，所以在降低污染的負性調節機制中，污染的處理量則由污水處理廠最大處理量、焚化爐與垃圾掩埋場的廢棄物去化量等

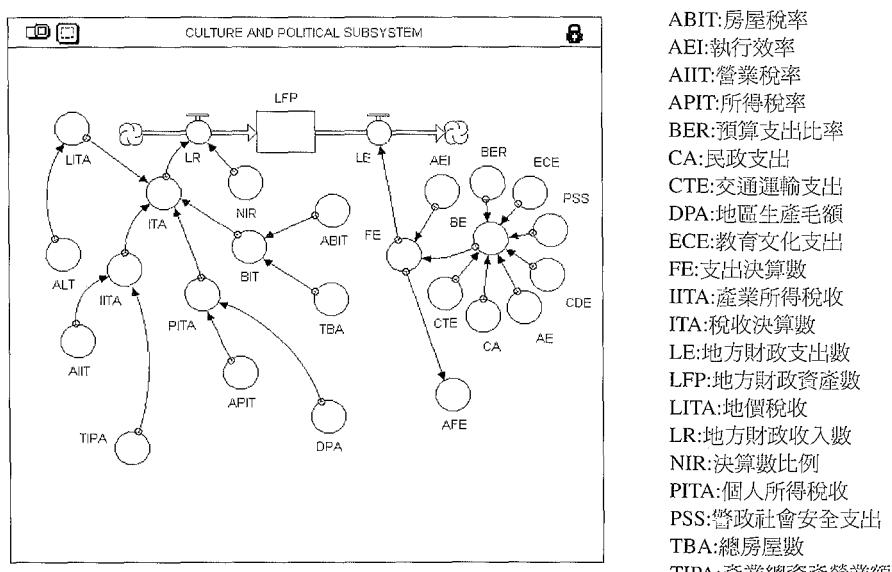


圖 7 社會經濟子系統動態模擬圖

因素構成，並由此結果反應出整體都市環境的品質優劣。

根據台中市1986年至1996年的污水總量的歷史數據進行模式檢驗，發現模擬結果的振盪的型態、時相關係與週期的長短等特徵與歷史曲線十分接近，模擬數值的平均差為4.6%，顯示模式校度可被接受。模式模擬結果顯示，水污染曲線的斜率自2011年後有加劇的情形，面對人口與水污染總量呈現成長的趨勢，台中市未來將面臨都市人口大量成長、每人平均享有開放空間面積狹小、維生資源缺乏與環境污染加劇等問題（童翔新，1996）。觀察水污染量的模擬趨勢，發現家庭用水污染量的趨勢與水污染量相似，尤其2011年家庭水污染量呈現大幅度的成長，在污水處理能力未能提昇的狀況下，將加重水污染量超出污水處理量的極限。

觀察廢棄物污染的狀況，台中市自1995年起平均每日垃圾處理量已高達1100公噸／

日，早已超出垃圾焚化爐最大的處理量900公噸/日甚多，過剩的垃圾量若僅依賴垃圾掩埋場的處理，將加重垃圾場用地的需求與垃圾二次公害的環境污染問題。尤其在2009年之後，垃圾總量呈現正值，顯示台中市將面臨垃圾處理的問題。

四、系統策略模擬

(一) 敏感度分析：

模式中變數及之參數值，係利用台中市歷年的社經資料預測或統計得之，這些參數值會隨著都市社經條件的變化而改變。因此，了解策略模擬時應注意哪些變數的變動，對都市永續發展有什麼影響，是項非常重要的工作。本研究利用矩陣圖法（狩野紀昭，1990），以主動集中每個變數本身數值的10%進行敏感度分析，依系統整體的因果關係，選擇14個主動變數、12個被動變數，利用主動變數共

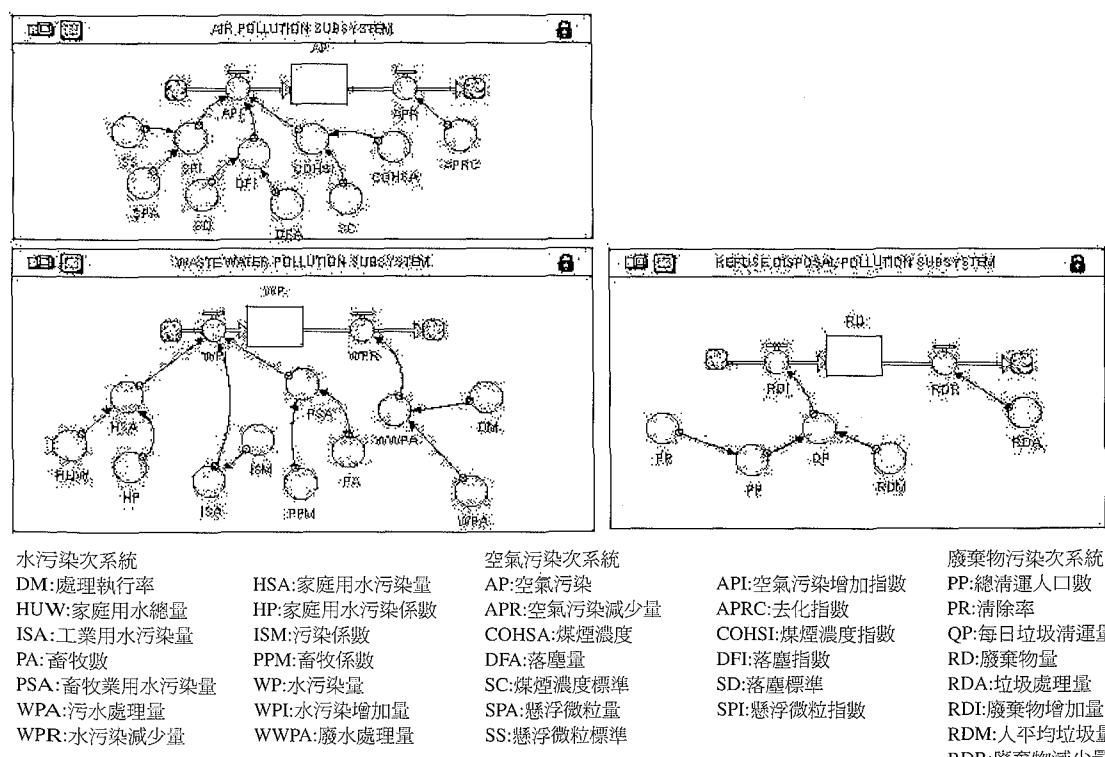


圖8 環境污染子系統動態模擬圖

14 次的變化，每次主動變數的變化都會引起被動集中 12 個變數發生相對應的變化，這樣共得到 168 條曲線，從每條曲線可計算出該變數的變化幅度值。由於變化幅度值可能呈現正值的正性影響與負值的負性影響，故以各項變量變化值的算數平均值與平均差為標準進行標準化，區分為 0 分：無變化者；1 分：影響程度低（低於平均差範圍者）；2 分：中度影響（落於平均差範圍內者）；3 分：影響程度高（高於平均差範圍者）。以此判斷變數之間的相關程度，並計算其影響值與響應值。分析結果顯示影響值較大的主動集變數有：出生率、地區平均供水量與就業率三項。最敏感的被動變數是污染，其次是人口（表 3）。

（二）策略模擬：

本研究依據模式模擬結果，對台中市未來面臨的問題，如人口管理、土地利用及環境污染等項目，研擬下列五項策略：減緩人口成長速率，避免資源過度開發利用；提供足夠的綠地面積，滿足戶外活動的空間需求；維持基本配水量，滿足生活機能的需求；提昇污水處

理量及垃圾焚化處理量，減少污染。並依據對應於策略的敏感變數進行模擬，茲將各項模擬結果說明如下：

（1）調控都市人口適度成長：

就都市計畫與都市管理而言，人口密度是評估的重要指標。根據鄰里單元觀念，適當的人口密度約在 100 人/公頃至 200 人/公頃之間，居住粗密度則在 160 人/公頃至 330 人/公頃之間。本研究依據台中市都市永續發展模擬模式，預測台中市 2016 年粗密度為 386 人/公頃的模擬結果，期望降低至粗密度 300 人/公頃，以此為標準將上述五項策略分別代入模式模擬，對各項策略模擬結果作一比較分析（圖 9）。

模擬結果顯示原始模型於 2016 年人口粗密度為 386 人/公頃，人口總數為 235.3 萬人；實施人口策略可將人口粗密度降低為 318 人/公頃，人口總數為 134.2 萬人；實施水資源策略可將人口粗密度降低為 287 人/公頃，人口總數為 128.5 萬人；實施開放空間策略可將人口粗密度降低為 237 人/公頃，人口總數

表 3 變數矩陣表

被動集		指標變數												AS
主動集		P	MPG	L	PD	IOV	ID	SIOV	SID	LFP	AFE	WP	RD	
輔助變數	BR	3	3	2	2	2	2	2	2	1	3	2	1	25
	LPR	1	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	11
	ULD	1	1	3	1	0	1	0	1	0	0	0	0	8
	RLQ	1	1	2	3	0	1	0	1	0	0	0	0	9
	ILPR	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	1	1	6
	IA	0	0	0	0	2	3	0	0	1	0	1	1	8
	SILPR	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	1	1	6
	SIA	0	0	0	0	0	0	2	3	1	0	1	1	8
	AEI	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	1	7
	APIT	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	5
	ADPWR	2	2	2	2	0	0	0	0	1	2	3	2	16
	WPA	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3	1	7
	RDM	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3	7
	IRD	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3	7
PS		11	12	9	11	8	9	8	9	10	9	17	17	—

註：1. AS：影響值，AS = Σ 列值，表示變數主動影響的加總值。

2. PS：響應值，PS = Σ 行值，表示變數被動影響的加總值。

3. 各變量符號請參各子系統動態模擬圖。

為 112.6 萬人；實施污水防治策略可將人口粗密度降低為 241 人/公頃，人口總數為 117.1 萬人；實施廢棄物策略可將人口粗密度降低為 232 人/公頃，人口總數為 110.7 萬人。

各項策略中以人口策略略高於預期居住粗密度目標 300 人/公頃，但此策略有效降低人口總數，使人口總數由 235.3 萬人降至 134.2 萬人。其餘水資源、開放空間、污染防治三項策略，人口粗密度雖低於目標值，但人口總數有偏低的現象。以人口成長比例而言，台中市 1996 年人口總數約 88 萬人，以 1986 至 1996 年的人口成長平均數約 2 萬人推估 2016 年的人口總數約有 130 萬人。由此可見，以人口策略所達成之模擬結果比較符合台中市的發展。

為了達到都市人口有效管理與成長的目的，應加速台中市重劃區的建設，採取據點發展策略，建立成長中心，促進區域發展，或開發台中新住宅社區，促進台中市老舊窳陋地區的更新，並依照人口分布及社區位置設置地區及小商業中心，以降低中心商業區的擁擠，滿足社區居民日常生活所需的便利性。對快速發展地區，應依其既有發展之條件，繼續謀求發展，惟對其人口與產業活動，應防止過度集中。

(2) 增加都市開放空間面積：

以每人擁有的綠地開放空間面積，做綜合性的評估，發現台中市 1996 年之 $1.5 \text{ m}^2/\text{人}$ ，與台灣其他都市及世界先進都市之平均值相去甚遠。因此，為維護都市生活環境品質的優越，提供居住及工作場所所需的開放空間面積，兼顧都市人口與都市產業規模的發展與都市空間環境的塑造，遂訂定以每人擁有的最小開放空間面積 3.5 平方公尺 為標準，以達到增加開放空間面積的目標（林芳民，1997）。

模擬結果顯示（圖 10），原始模型於 2016 年平均開放空間面積為 $3.3 \text{ m}^2/\text{人}$ ；實施人口策略時，平均開放空間面積提高為 $3.2 \text{ m}^2/\text{人}$ ；實施水資源策略時，平均開放空間面積維持為 $2.9 \text{ m}^2/\text{人}$ ；實施開放空間策略時，平均開放空間面積提高為 $3.5 \text{ m}^2/\text{人}$ ；實施污水防治策略時，平均開放空間面積降低為 $2.4 \text{ m}^2/\text{人}$ ；實施廢棄物策略時，平均開放空間面積降低為 $2.3 \text{ m}^2/\text{人}$ 。

各項策略中僅開放空間策略達到設定的目標值。所以為了達到提高每人享有開放空間面積的目的，台中市集居地區之住宅及公共建設，應隨生活水準的提高及人口的增加，利用推動「都市更新」或「都市再開發」，提升市中心商業區的綠地面積；將台中縣市各交通要道兩側 30-50 公尺，選擇適當農地釋出，建造景觀林園綠帶；應用生態造林技術，培育

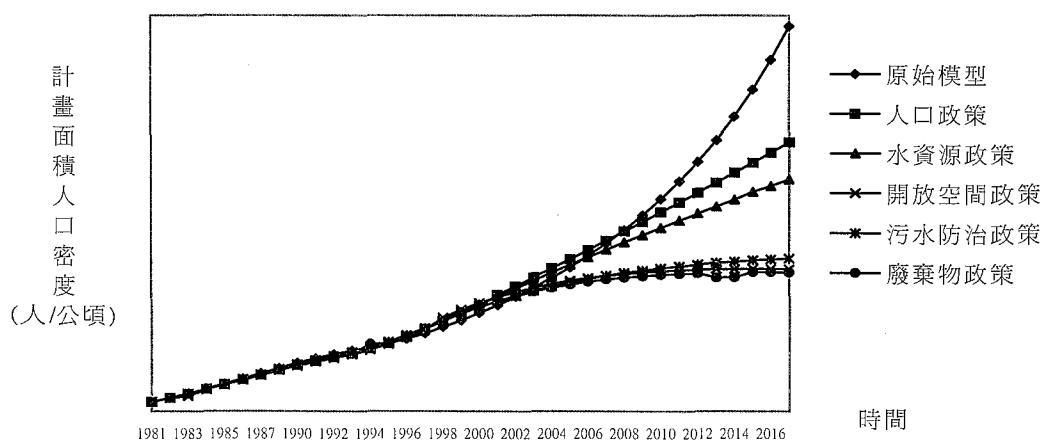


圖 9 都市人口策略模擬比較圖

健壯優質之都市森林，配合交通動線導入休閒旅遊，獎勵民間建造市民都市森林公園；推動鐵路地下化、綠川整治計畫、柳川河岸空間美化計畫、火車站前廣場暨街道景觀改善計畫，利用其土地增設開放空間，塑造街道景觀，美化整體市容，帶動台中市的永續經營與發展。

(3) 確保水資源的永續利用：

都市必須透過大量的供給才足以維持都市生命的延續，對大自然的依賴尤以水資源為最。為了避免資源供給的限制，造成資源短缺的威脅，提高都市資源利用的自主性，本研究依據「國土綜合開發計畫」及「推動節約用水措施實施計畫」之目標，台中地區每人每日用水量以不超過 300 公升為基準（經濟部水資源局，1999），進行策略模擬。

模擬結果顯示（圖 11），原始模型於 2016 年地區平均供水量為 325.13 公升；實施人口策略時，地區平均供水量提高至 448.4 公升；實施水資源策略時，地區平均供水量提高至 322.61 公升；實施開放空間策略時，地區平均供水量提高至 360.88 公升；實施污水防治策略時，地區平均供水量提高至 338.79 公升；實施廢棄物策略時，地區平均供水量提高至 381.88 公升。

模擬結果顯示，各項策略的實施改善了都市生活環境品質，提高生活水準，亦增加了

都市用水需求的壓力，所以各項策略的模擬結果，雖然均未達到預期的基準，但是水資源策略的實施有效的降低供水量，減緩水資源需求。因此，各項策略中以水資源策略較符合提高都市水資源永續利用的管理策略。

換句話說，為了達到節約水資源，資源永續利用的目標，除了增設水庫涵水容量，保護水源地的使用之外，應改變過去的用水習慣，建立以綠色都市的生態觀，結合綠建築的觀念（林憲德，1996），採用節水器具，節約日常水資源的使用量。設置雨水貯留供水系統，將雨水以天然或人工的方法與以貯存，經過簡單的淨化處理後，再利用作為生活雜用水。設置中水系統，將都市雨水、生活廢水匯集經過處理後，達到規定的水質標準後，使用於非飲用及非身體接觸用水。以維護都市資源的質與量，使其滿足都市人口的需求，提供都市人們向自然學習和融入體驗的機會，在其順應自然的過程中，回歸以生態為中心、自然為一體，使都市資源得以永續利用發展。

(4) 減少都市環境污染：

都市環境品質的好壞，可以從污染指標一窺究竟，尤其當總污染量超過都市最大處理量時，過多的污染在未經過處理的情形下排放至都市環境中，造成都市環境品質的降低。所以本研究以水污染與垃圾污染二類，顧及環境

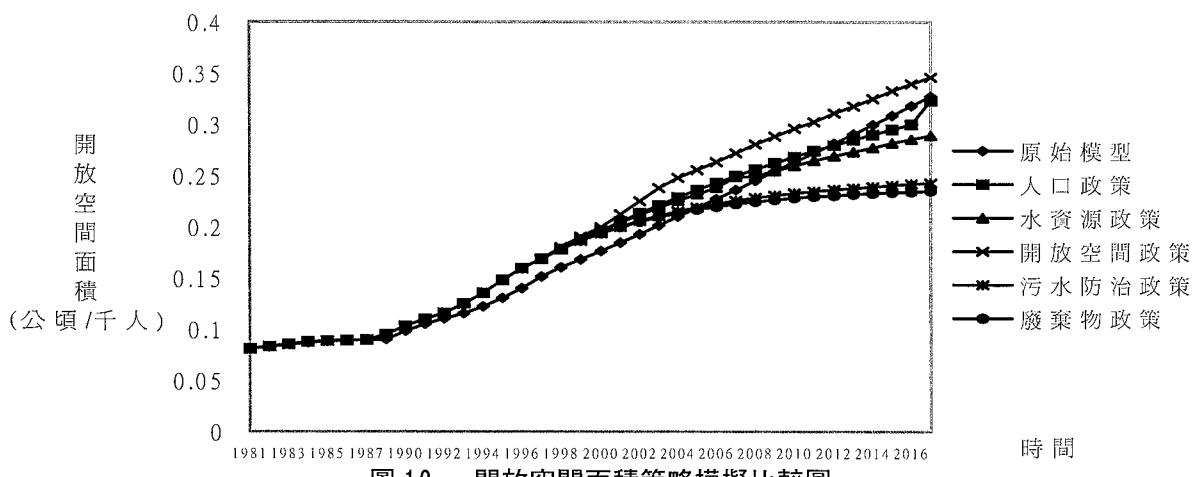


圖 10 開放空間面積策略模擬比較圖

生態與都市的發展狀態，以減少每人的污染生成量，提高都市的污染處理量，進行策略實驗模擬。

模擬結果顯示（圖 12、圖 13），原始模型於 2016 年每人污水排放量為 236.69 公升，平均垃圾生成量為 2.87 噸；實施人口策略時，每人污水排放量為 358.72 公升，平均垃圾生成量為 2.46 噸；實施水資源策略時，每人污水排放量為 239.79 公升，平均垃圾生成量為 2.23 噸；實施開放空間策略時，每人污水排放量為 288.13 公升，平均垃圾生成量為 1.68 噸；實施污水防治策略時，每人污水排放量為 263.45 公升，平均垃圾生成量為 1.75 噸；實施廢棄物策略時，每人污水排放量為 305.51 公升，平均垃圾生成量為 1.1 噸。

由於各項策略的實施改善了都市生活環境品質，隨著生活水準的提高，提高台中市的吸引力，造成污染生成量的提高，所以在水污染項目中，各項策略的模擬結果均高於原始模型，其中人口政策對污染管制並無明顯的效果，只有透過對水資源的管理策略，才能有效的降低水污染的問題，但此策略對廢棄物並無太大效用；廢棄物政策恰巧與水資源策略相反，均呈單方面的管理功用；所以將各項策略作交叉分析，發現以污水防治及開放空間策略呈現出較一致的穩定發展趨勢，其中又以污水防治政策對污水管制的效用較佳，對垃圾問題

亦能有效處理。因此，各項策略中以污水防治及開放空間策略較符合污染防治，促進都市永續經營的管理策略。

為了達到減少污染問題的目的，台中市應以建設精銳的綠色科技島中部基地為願景，發展高科技、低污染的產業，選擇適當地點處理污染性廢棄物，減少產業對環境的污染，引導台中市產業發展，提供就業機會，間接促進附近土地開發建設。檢討垃圾處理設施、雨污水下水道等公共設施用地需求，加速辦理雨污水下水道建設計劃，積極籌建水源，增建垃圾焚化處理場。提高都市環境的適意性，減少住工混雜情形及環境受污染的程度。

本研究擷取上述策略有效經營都市發展的管理方法，作綜合性的策略研擬，以台中市都市永續發展動態模擬模式模擬，其結果顯示如圖 14。策略實施的模擬結果與原始模擬結果作一比較整理如表 4，顯示策略的實施後，2016 年的都市人口總數將僅為原始模式運行的 0.57 倍，密度則為原始模式運行的 0.82 倍；每人平均綠地面積約 4.5 平方公尺，為原始模式運行供給的 1.36 倍；污水總量將有效的降低為原始模式運行的 0.16 倍；滿足 2016 年垃圾處理量的需求。使得 2016 年的台中市人口得以有效管理，提昇每人所擁有的綠地面積，水污染及垃圾量亦獲得控制。結果證實透過策

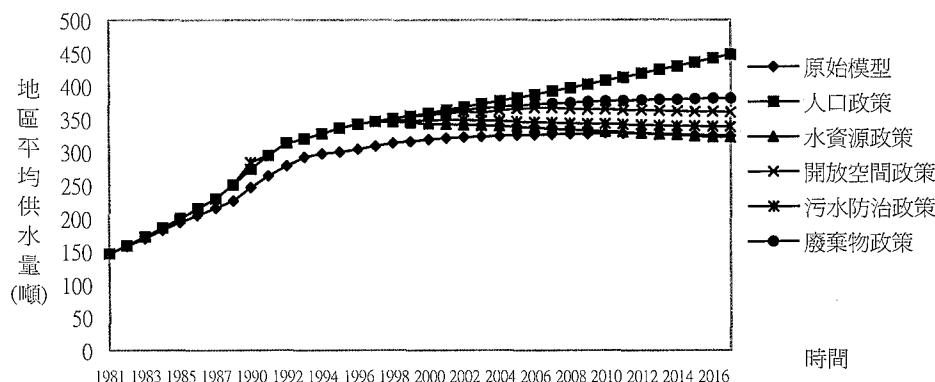


圖 11 水資源策略模擬比較圖

略的制定，可以維持台中市都市生態的平衡，創造優質的都市環境。並且在土地及自然資源有限的條件限制下，都市人口規模有漸趨穩定發展的趨勢，而土地也將因人口的增加發揮它最大的效用。

五、結論與建議

本研究從永續發展的角度，研擬都市永續發展指標，以生態鏈的因果關係瞭解都市問題，利用系統動態學的方法，建構台中市都市永續發展動態模擬模式，藉此模式模擬台中市都市永續發展的可行策略，規劃台中市健全的都市發展願景。本研究得下列幾點結論及建議：

一、結論

(一) 都市是一個非常複雜的非線性系統，系統各元素之間具有複雜性，依賴性及回饋性。本研究依永續發展的概念，建構台中市都市永續發展模式，模式包括36項指標，人口、土地、工業、服務業、社會經濟及環境污染等6個子系統。藉以分析系統內部的人類活動與環境之間的各項平衡關係，使得都市得到最佳的經營及管理。

(二) 本研究透過都市永續發展指標的因果關係，利用系統動態學的技術，建構模擬模式，對都市永續發展模式隨

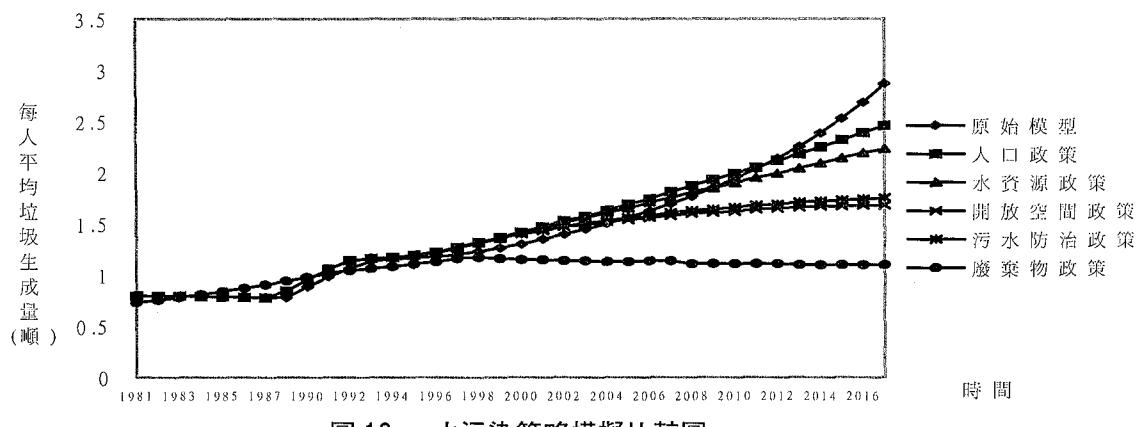


圖 12 水污染策略模擬比較圖



圖 13 垃圾污染策略模擬比較圖

時間變化的動態行為進行分析，預測都市未來的發展趨勢，並為規劃者提出替選的管理策略。

(三) 本模式系統策略模擬結果顯示：

1. 調控都市人口適度成長：

控制台中市都市人口成長速度，使2016年人口密度維持在318人/公頃，僅為自然成長的0.57倍；並能有效管理人口分布，健全區域均衡發展，避免資源過度的開發利用。

2. 增加都市開放空間面積：

積極開闢台中市都市計畫公園綠地；利用台中市鐵路、高速公路、中彰快速道路等交通要道兩側，設置景觀林園綠帶；選擇市郊廢耕農地，獎勵農民開發具景觀休憩功能

之都市森林，增加都市公共開放空間面積，提供市民多元、多樣的休閒遊憩的戶外場所。使台中市在2016年達到每人4.5平方公尺，為2001年的1.36倍。

3. 確保水資源的永續利用：

調整台中市水資源消費型態，加強宣導節約用水的觀念，建設都市中水系統，增加水資源的處理後再使用，並有效控制大量耗水的洗車業等消費服務業的設置，以維持水資源的永續使用，可使2016年維持每人每日322.61公升的基本需求。

4. 減少都市環境污染：

調整台中市工業結構為精密工業、資訊工業等高科技、低污染工業等策略，降低污染生成量的增加，將可使2016年的污染生成

表4 台中市都市永續發展動態模式模擬值比較表

年	1981	1986	1991	1996	2001	2006	2011	2016
人口總數 (1×10^3 人)	原始模型	607.2	669.3	753.9	862.2	1027.0	1300.0	1814.0
	策略模擬	607.2	666.7	766.9	940.8	1078.0	1189.0	1276.0
水污染 (1×10^3 CMD)	原始模型	3.627	374.4	998.8	2011.0	3180.0	4908.0	7679.0
	策略模擬	3.627	210.2	562.6	1186.0	1592.0	1891.0	2075.0
綠地面積 (平方公尺)	原始模型	0.81	0.89	1.1	1.7	2.2	2.7	3.3
	策略模擬	0.81	0.89	1.2	2.5	3.4	3.9	4.5
垃圾量 (公噸)	原始模型	0.0	-4342	-9241	-13130	-12030	-7322	5754
	策略模擬	0.0	-7875	-17130	-25520	-26260	-24850	-21520

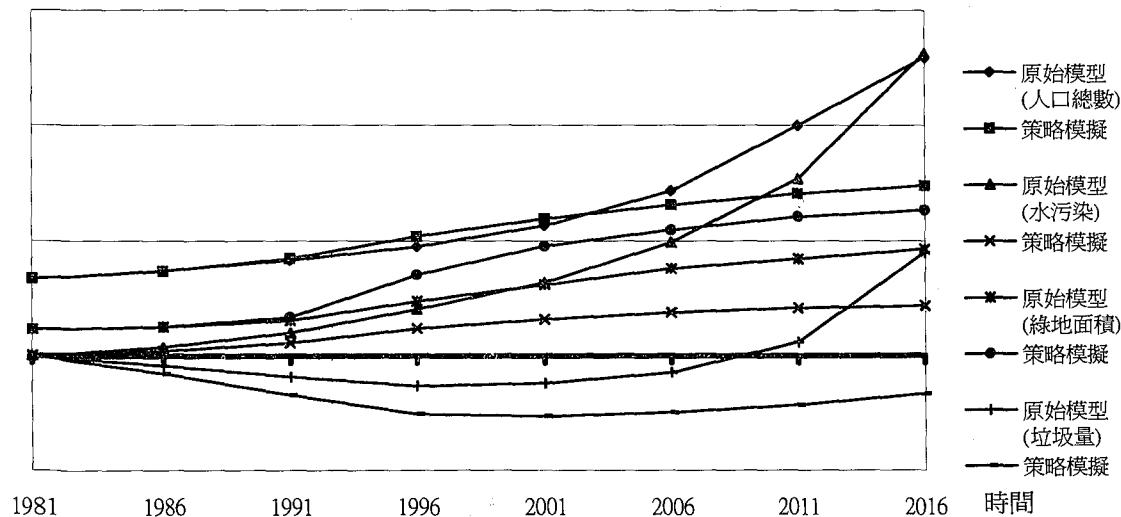


圖14 台中市都市永續發展系統策略模擬比較圖

量降低為2001年的0.68倍；同時增設環境污染處理設備，提高污染處理容量，將可確保2016年保有垃圾處理的能力，避免垃圾棄置造成的環境污染問題。

二、建議

- (一) 本研究利用數化工具，將模式中對系統影響較大的變數進行敏感度分析找出最具敏感的變數，進而提出改善方案，以達環境決策支援系統的目的。未來可依此方向，建構台中市都市永續發展資料庫管理系統，健全系統未來的發展與整合應用。
- (二) 台中市都市系統空間結構方面的研究，可以利用空間分析系統及遙感探測的科技與技術，建構台中市都市生態系統地理資訊系統資料庫，分析台中市都市生態環境的問題，探討台中市都市生態系統空間結構的合理性、生態功能協調的可行性，為台中市都市永續發展管理策略提供科學的根據。
- (三) 今後可整合中部四縣市的資源，進行台中都會區系統動態模擬模式之研究，提供台中都會區未來永續發展基礎建設的磐盤。亦可持續擴大系統層級，探討地方與中央、台灣與全球資源的永續發展課題。
- (四) 本研究依據研究的問題與目標，採用「專家訪談法」探討變數間的因果關係。此法雖可建立變數間因果關係，但同時也遭遇部分變數因單位不同，而無法納入系統模式中計算。爾後對因果關係的建立，可透過「專家小組會議」的方式，專家們聚集一堂，根據研究問題與目標，經共同討論來決定變數及其因果關係。

誌謝

本研究承蒙國科會專題研究補助(NSC-89-2415-H-324-003)，特此誌謝。

參考文獻

- 1.王如松，1991，“走向生態城—城市生態學及其發展策略”，*<都市與計劃>*，第18卷，第1期，pp.1-17.
- 2.何友鋒，1995，*<住宅社區規劃之多目標線性規劃與綜合評估模式之研究>*，國科會專題研究計畫成果報告。
- 3.何友鋒、王小璘，2000a，*<都市生態系統動態模擬模式之研究>*，國科會專題研究計畫成果報告，pp47-52。
- 4.何友鋒、王小璘，2000b，同上，pp71-92。
- 5.李漢鏗、陳秋楊、陳昶憲，2000，*<水土資源永續指標體系及其評量與評價方法—子計畫：水質永續指標體系及其評量與評價方法之建立>*，國科會專題研究計畫成果報告。
- 6.沈清基，1998，*<城市生態與城市環境>*，同濟大學，pp176-182。
- 7.林芳民，1997，*<台中市都市計畫年報>*，台中市政府工務局。
- 8.林憲德，1996，*<熱溼氣候的綠色建築計畫>*，詹氏書局，台北。
- 9.狩野紀昭，1990，“矩陣圖”，*<課題達成型有效的QC改善歷程手法>*，pp.46-48，桃園：和昌。
- 10.高正忠，1994，*<以環境系統分析技術探討廢棄物清理問題>*，國科會專題研究計畫成果報告。
- 11.唐明月、吳壽山，1993，*<系統績效評估方法的研究>*，國科會專題研究計畫成果報告。
- 12.黃書禮，1996，*<台北市都市永續發展指*

- 標與策略研擬之研究》，台北市政府都市發展局。
- 13.黃書禮，1996，〈都市永續性指標系統動態分析研究〉，國科會專題研究計畫成果報告。
 - 14.馮豐隆，1997，〈在生態系經營理念下永久樣區之設立與檢討〉，國科會專題研究計畫成果報告。
 - 15.童翔新，1996，〈台中都會區永續成長指標之基本研究－水質、空氣和土壤指標〉，台中：逢甲環科。
 - 16.詹士樑、黃書禮，2000，〈生物控制論方法應用在都市生態規劃之可行性探討－以靈敏度模型為例〉，國科會專題研究計畫成果報告。
 - 17.葉俊榮，2000，〈永續台灣的評量系統〉，國科會專題研究計畫成果報告。
 - 18.鄒克萬，2000，”都市永續性結構分析”，〈都市與計劃〉，第27卷，第2期，pp.141-164.
 - 19.經濟部水資源局編印，1999，〈台灣地區中部區域水資源綜合發展計畫〉，pp4-6，經濟部水資源局。
 - 20.熊瑞梅，1998，〈都市空間結構發展與碎形應用模式之初探〉，國科會專題研究計畫成果報告。
 - 21.賴世剛，1999，〈如果都市不是樹，也許它是機器〉，國科會專題研究計畫成果報告。
 - 22.蕭新煌、朱雲鵬、劉小如、蔣本基，1999，〈永續台灣2011研究計畫〉，國科會專題研究計畫成果報告。
 - 23.謝長宏，1987，〈系統動態學理論－理論、方法與應用〉，中興管理顧問公司。
 - 24.Barbier, E.B., 1995, "Economic, Natural Resources, Scarcity and Development", <Conventional and Alternative Views>.
 - 25.Cagdas, G., and Berkoz, L., 1996, "Dynamic behavior of the city center in Istanbul", <Computer, Environment, and Urban system>, Vol. 20, No.3, pp153-164.
 - 26.Clemen, D.I., and King, W.R., 1975, <Systems Analysis and Project Management>, McGraw-Hill, pp70.
 - 27.Forrester, J.W., and Senge, P.M., 1980, "Test for Building Confidence in System Dynamics Models", <System Dynamics>, New York, North-Holland.14, pp209-228.
 - 28.Hugo, P., 1999, "Sustainable cities: How to realize an ecological breakthrough: A Dutch approach", <International Planning Studies>, Abingdon, Jun., Vol.4, No.2, pp.213-136.
 - 29.Ibrahim, D., and Rosen, M. A., 1999, "Energy, environment and sustainable development", <Applied Energy>, Volume: 64, Issue: 1-4, pp. 427-440.
 - 30.Li, D., and Guo, Z., 2000, "Some aspects of ecological modeling developments in China", <Ecological Modelling>, Volume: 132, Issue: 1-2, pp. 3-0.
 - 31.Liverman, D. M., Hanson M. E., Brown B. J., and Merideth R. W., 1988, "Global sustainability toward measurement", <Environment Management>, 12(2), pp133-143.
 - 32.Meadows, D. H., et al., 1972, <The Limits to Growth>, New York, USA:Universe Books.
 - 33.Newman, W.G., 1999, "Sustainability and cities: extending the metabolism model", <Landscape and Urban Planning>, Volume: 44, Issue: 4, pp. 219-226.
 - 34.Nisar, T.R., Gopal R, K., Murthy, J.S.R., 2000, "GIS-based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis", <Agricultural Systems>, Volume: 63, Issue: 2, pp. 75-95.
 - 35.Opschoor, H., and Reijnders, L., 1992, "Towards Sustainable Development

- Indicators, in Onno Kuik and Harmen Verbruggen”, <In Search of Indicators Sustainable Development>, Netherlands; Kluwer Academic Publishers, 1st e.
- 36.Quade, E. S., 1965, <Cost-Effectiveness: An Introduction and Overview>, RAND Corporation.
- 37.Rao, M. N., Waits, D.A., Neilsen, M.L., 2000, “A GIS-based modeling approach for implementation of sustainable farm management practices”, <Environmental Modelling and Software with Environment Data News>, Volume: 15, Issue: 8, pp. 745-753.
- 38.Rickaby, P.A., 1987,< An Approach to the Assessment of the Energy Efficiency of Urban Built Form>, Butterworths.
- 39.Robert, B., 1995, ” Biodiversity dynamics: from population and community ecology approaches to a landscape ecology point of view”, <Landscape and Urban Planning>, Volume: 31, Issue: 1-3, pp. 89-98.
- 40.Robin, R., 2000,” Sustainable product-service systems”, <Futures>, Volume: 32, Issue: 3-4, April, 2000, pp. 289-299.
- 41.Roseland, M., 2000, “Sustainable community development: integrating environmental, economic, and social objectives”, <Progress in Planning>, Volume: 54, Issue: 2, pp. 73-132.
- 42.Roy, L., 2001, “Theory of sustainable groundwater management: an urban case study”, <Urban Water>, Volume: 3, Issue: 3, pp. 241-252.
- 43.Slocombe, D.S., 1993, “Environmental Planning Ecosystem Science and Ecosystem Approaches for Integrating Environment and Development”, <Environmental Management 17>, pp.289-303.
- 44.Tjallingii, S. P., 2000,” Ecology on the edge: Landscape and ecology between town and country”, <Landscape and Urban Planning>, Volume: 48, Issue: 3-4, pp. 103-119.
- 45.UNCHS, 1995, “Using Indicators in policy”, <Indicators Newsletter 3> : 1-8. United Nations Center for Human Settlements (Habitat).
- 46.World Commission on Environment and Development (WCED), 1987, “Our Common future”, <Oxford University Press>, New York.