

臺中市政府 106 年度
市政發展研究論文獎助計畫

博士論文

臺中市都市土地利用生態經濟預警系統
模擬與分析之研究

Simulation and Analysis of Eco-Economic Early-Warning
System for the Urban Land Use of Taichung City

論文節錄重點

指導教授：何友鋒
博 士 生：伍南彰

中華民國 106 年 9 月 30 日

摘要

都市土地乃都市人口生活與經濟活動之標的物，合宜的都市土地供給與利用為提昇都市經濟與都市永續發展的必要條件。近年來由於都市土地利用供需失調，各級產業土地資源需求轉變頻繁，農林用地遭侵蝕違規使用，迭有土地不當利用情形，產生污染並破壞生態環境，危及都市經濟與生態平衡之發展。都市土地利用生態經濟發展為多重要因不斷交互波動衝擊結果的完整體現，具有動態性、因果性、回饋性、敏感性等特徵，其發展之良莠受到都市計劃措施、土地資源供需、土地開發管理等相關政策施為的綜合制約影響。惟面對複雜多變的土地利用行為，目前國內缺乏都市土地利用生態經濟預警相關之研究與因應機制，長期存在土地利用效益低落與生態環境衝擊之問題，實有加強土地利用變化趨勢觀測、落實即時預警與改善策略施為之必要。故如何因應土地利用歷史發展因素與未來多變之需求波動，建立完善的都市土地利用生態經濟發展預測與警示機制，以利動態改善策略的施為，為土地利用決策與管理者亟須面對之重要課題。

本研究以生態都市永續發展觀點，進行都市土地利用生態經濟結構剖析、定量測算和策略模擬，採行多理論、多模型與個案實證研究，依據臺中市土地利用生態經濟歷年發展狀況，從預測及預警兩階段構思預警系統，建置適切並可及時政策評價的都市土地利用生態經濟監測預警動態模擬系統，提昇土地利用風險防制能力。本研究藉由生態經濟學與土地生態經濟學理論，探討土地利用生態經濟運行機制；以系統工程學為核心，應用模糊德爾菲專家諮詢及敏感度分析，建構都市土地利用預測預警指標體系；結合系統動態學、遺傳演算類神經網路，建構都市土地利用生態經濟預警系統動態模擬模型；透過景氣對策信號機制評價都市土地利用生態經濟警情；經由情境模擬進行土地利用政策尋優。研究發現多方法協同可系統化應用於都市土地利用動態研究；透過都市建築用地、交通用地與森林用地面積複合調控模擬，較單一情境模擬政策評價為佳，可較為有效穩定都市人口成長，達成土地有效利用、提升財政稅收與健全生態環境之政策目標。

基於系統性排警思維，除建議設置「都市土地利用生態經濟預警系統動態模擬專責機構」外，對於建立中臺區域土地利用預警體系、推動土地多目標使用與建築物修繕、加強土地利用管理與再生利用等配套策略措施，亦應兼籌並顧有效調控土地利用，達到臺中市都市永續發展之目標。

【關鍵字】生態經濟、都市土地利用生態經濟、模糊德爾菲、系統工程、系統動態學、類神經網路

臺中市都市土地利用生態經濟預警系統模擬與分析之研究
Simulation and Analysis of Eco-Economic Early-Warning
System for the Urban Land Use of Taichung City

論文節錄重點

目錄

壹、 研究緣起	1
貳、 研究目的與重點	
一、研究目的	1
二、研究重點	2
參、 文獻探討	
一、生態經濟學理論	2
二、土地生態經濟學理論	3
三、都市土地利用生態經濟預警原理	6
肆、 研究設計、研究架構及分析方法	
一、研究範圍	9
二、研究設計	9
三、研究分析方法	10
四、研究架構	11
伍、 分析結果及研究發現	
一、分析結果	13
二、分析發現	30
陸、 結論及政策建議	
一、結論	34
二、政策建議	38
柒、 參考文獻	43

表目錄

表 1	都市土地利用生態經濟系統回饋環路結構推定模式一覽表	13
表 2	臺中市都市土地利用生態經濟系統指標體系篩選一覽表	15
表 3	都市土地利用生態經濟系統整體動態模型主要變數表	20
表 4	1991-2011 臺中市土地利用生態經濟發展景氣信號一覽表	23
表 5	都市土地利用生態經濟系統 GANN 預警模型參數設定表	24
表 6	GANN 網路學習訓練與測試模擬結果	25

圖目錄

圖 1	生態經濟學學科體系示意圖	3
圖 2	生態經濟系統體系示意圖	4
圖 3	土地生態經濟系統運作示意圖	5
圖 4	都市土地利用生態經濟系統構成示意圖	5
圖 5	都市土地利用生態經濟預警系統動態結構圖	7
圖 6	都市土地利用生態經濟預警機制示意圖	7
圖 7	都市土地利用生態經濟預警系統結構示意圖	7
圖 8	都市土地利用生態經濟預警技術操作流程圖	8
圖 9	研究範圍示意圖	9
圖 10	都市土地利用生態經濟預警系統模擬與分析研究流程圖	12
圖 11	都市土地生態經濟系統指標因子篩選程序示意圖	14
圖 12	臺中市都市土地利用生態經濟系統影響指標體系樹狀圖	16
圖 13	臺中市都市土地利用生態經濟系統動態回饋圖	18
圖 14	臺中市都市土地利用生態經濟系統動態流圖	19
圖 15	都市土地利用生態經濟系統動態模型效度關係圖	21
圖 16	1991-2011 年臺中市土地利用生態經濟發展景氣狀態圖	23
圖 17	GANN 網路學習訓練誤差統計圖	24
圖 18	2012-2033 年臺中市土地利用生態經濟發展景氣狀態圖	26
圖 19	複合策略一(CS1)2012-2033 年臺中市土地利用生態經濟發展 景氣狀態圖	29
圖 20	複合策略二(CS1)2012-2033 年臺中市土地利用生態經濟發展 景氣狀態圖	29
圖 21	三維度都市土地利用生態經濟預警系統架構圖	39
圖 22	臺中市土地利用生態經濟預系統動態模擬專責機構運作示意圖	41

壹、研究緣起

長久以來我國都市土地利用向以滿足土地使用者各項生活及生產活動之需求，以確保獲取最大開發經濟效益為目的。在高度都市化發展之下，人口快速成長與都市急遽發展，人為土地利用導致資源耗竭及環境品質惡化之現象，故如何及時警示土地過當利用提出排警導正措施，促進都市土地利用生態經濟系統永續發展與土地合理利用，為都市土地規劃及管理不可輕忽之課題。

本研究探討都市土地利用生態經濟系統，嘗試以系統工程方法為核心，結合模糊德爾菲專家問卷調查法及系統動態學之建模技術，研究系統空間結構型態及運作機制，並歸納系統指標體系，探究系統各變數間之因果反饋關係，據以建構高動態性之生態都市土地利用系統動態模擬模型；後續再以臺中市土地利用為例，將過去二十年來各項系統指標歷史發展數據導入模擬模型，計算模擬未來二十年間土地利用動態發展預測之結果，並利用系統模型預警法中類神經網路之優質擬合功能，結合信號機制，建構系統預警模擬模型，應用遺傳演算類神經網路（GANN）方法實施略策情境模擬，研擬臺中市都市土地利用預警略策與排警措施建議，從預測與預警兩階段構思完整監測機制，建構一套可因地制宜、動態性高、即時性強，亦可策略模擬的「臺中市都市土地利用生態經濟監測預警動態模擬系統」，期以建立臺中市土地利用風險防制機制，促進臺中市都市建設永續發展。

貳、研究目的與重點

一、研究目的

本研究基於生態都市永續發展理念，擬對生態經濟與土地利用理論作一全面性探討，剖析構成都市土地利用生態經濟系統運作原理，作為本研究之基礎，期最終建立一套適切的預測與預警系統，以引導臺中市都市永續發展。

本研究目的如下：

- （一）探討都市土地利用生態經濟系統影響要素及彙整指標變數集；
- （二）研析都市土地利用生態經濟系統運作特性及建立指標體系；
- （三）建立都市土地利用生態系統動態模擬模型與警情判定機制；
- （四）進行都市土地利用生態經濟系統策略情境模擬與政策評價；
- （五）提出臺中市都市土地利用生態經濟預警系統適當排警策略。

二、研究重點

本研究透過生態經濟學等多種理論及研究方法，進行國內外相關文獻探討並進行實證研究，建構可客觀、有效反映都市土地利用預測及預警機制，以導正土地利用行為與規避開發風險。本研究之重點分從理論、方法、功能與實證研究等面向，說明如下：

（一）理論研究重點：

以生態經濟學等多理論協同研究，探討都市土地利用生態經濟系統運作與影響要因；應用系統動態學建模方法，模擬都市土地利用生態經濟系統行為，建構系統預測模擬模型；再結合類神經網路技術建構預警模擬模型，規劃預測與預警監測機制，落實理論運用具有創新意義。

（二）方法運用重點：

以多模型方法集成研究，運用具備高預測性的系統動態方法、提昇指標客觀性的模糊達爾菲方法、具強大模擬警兆指標與警情關係的類神經網路等多種方法，有效動態模擬高複雜的土地利用生態經濟系統運行，通過對警兆指標分析，監測生態都市土地利用警情變化與建立排警機制。

（三）系統功能重點：

模擬多個指標演化趨勢，藉由結合多理論方法應用，強化系統模擬預測效能，具有提供政府掌握土地規劃及經濟動態變化趨勢，依據異常態勢同步調控政策；可於經濟波動前適時進行策略調控模擬，迅速獲得策略調控措施參考資訊，以實施政策干預有效調控土地利用朝向健全發展。

（四）實證研究重點：

臺中市自民國七十年代起房地產市場蓬勃發展，各期土地重劃依序開發，土地利用發展活絡多樣，具有特定表徵意涵，以歷年來臺中市土地開發情形探討生態經濟及土地利用未來趨勢，針對土地利用警情進行評判，並提出策略措施建議，可作為臺中市政府土地利用主政者施政之參考。

參、文獻探討

本研究藉由相關文獻回顧，研析生態經濟學、土地生態經濟系統之構成及預警運作機制，建立都市土地利用生態經濟指標體系研究架構，俾利以臺中市為研究範圍的實證研究作業。

一、生態經濟學理論

生態經濟學以都市生態學理論為基礎，綜合生態學與經濟學運行原理，

著重探討人類健康水準、環境品質與社會經濟交互永續發展，為結合自然與社會科學複合發展的一門新興學科。

(一) 生態經濟學之研究對象：

主要包含下列四點：1. 強調研究人類經濟活動與自然生態之間的關係；2. 強調研究生態系統的經濟面向發展；3. 強調研究生態變化的社會經濟因素；4. 強調研究生態經濟系統的矛盾運動。

(二) 生態經濟學之內涵

生態經濟學為綜合自然與社會科學發展的科學，近年來因全球日益嚴重的環境污染問題，生態經濟學者通過對環境問題的認識，希藉由改變人類經濟行為獲得資源永續發展利用之可能性。其內涵如圖 1 所示：

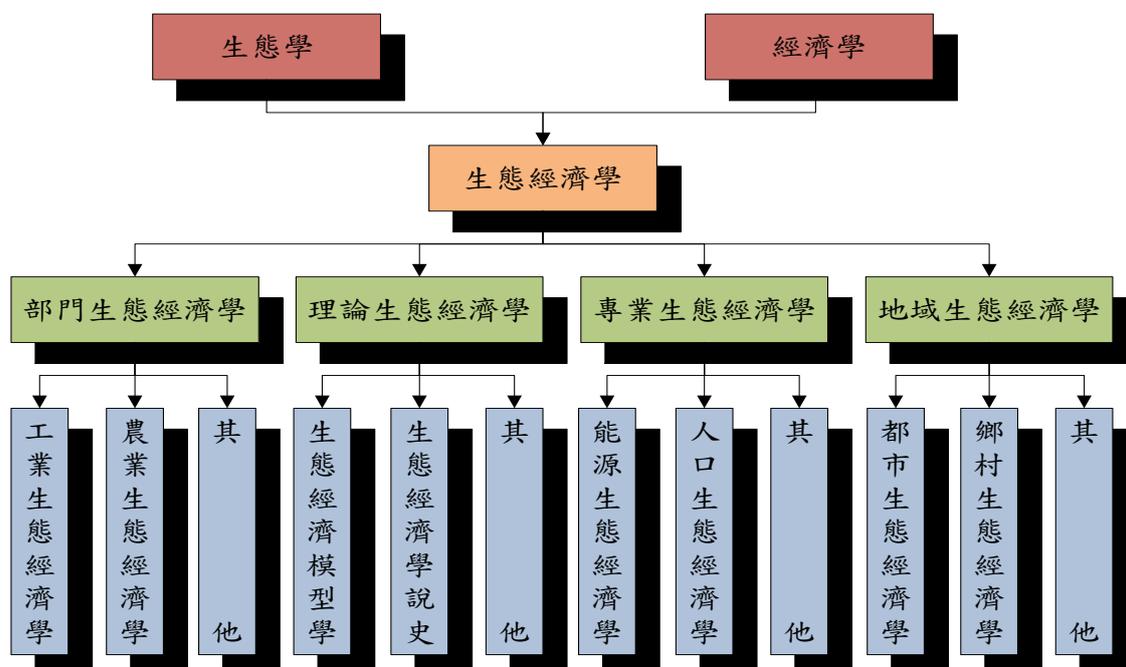


圖 1 生態經濟學學科體系示意圖

資料來源：姜學民，1985；嚴茂超，2001，本研究整理。

(三) 生態經濟系統體系

生態經濟系統為生態與經濟系統之綜合，可對應為部門、專業與地域生態經濟系統等系統，各包含依據專業特性與領域範圍之子系統（圖 2）。

二、土地生態經濟學理論

生態經濟發展必須以一定土地範圍為依托，土地生態經濟學為衍生自生態經濟學的新興學科，其研究對象為由土地生態與土地經濟系統耦合而成的「土地生態經濟系統」。

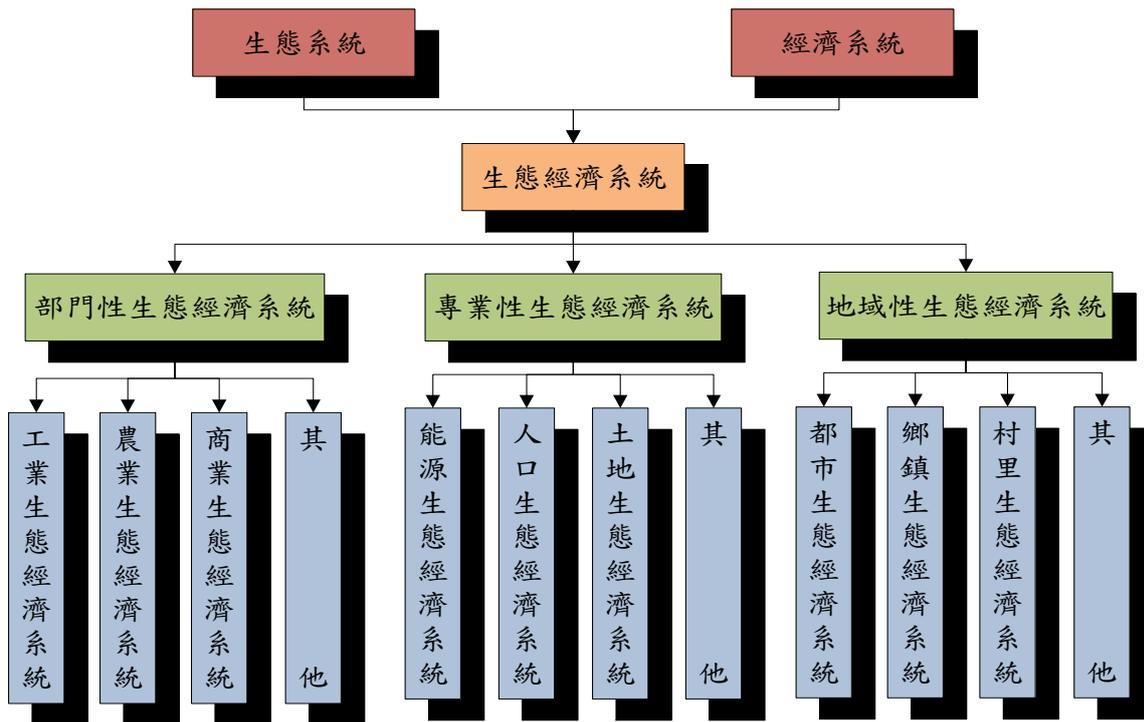


圖 2 生態經濟系統體系示意圖

資料來源：嚴茂超，2006.9，本研究整理。

(一) 土地生態經濟系統之功能

從土地生態經濟系統觀點出發，土地生態經濟系統發展具有生活、生產與生態等三大功能。

1. 生活功能：都市土地為人口集居之範圍，各類建築物、綠地與公共服務設施滿足居住、工作需求，良好生活機能之都市，將加速都市化之過程。
2. 生產功能：都市土地因交通網絡的串連，各級產業用地與生產具有高度集中現象，促使農林漁牧生產發展，支持人口集居與產業經濟發展。
3. 生態功能：都市因生活與產業污染，建物密集綠覆面積減少，應將外圍郊區建設成為生態屏障維護環境品質，防範人口與都市土地過度增長。

(二)、都市土地利用生態經濟系統之構成

土地生態經濟系統為土地自然生態系統與土地經濟系統耦合而成的複合系統，其系統結構運作如圖 3 所示。本研究即據以探討綜合專業與地域性的臺中市都市土地利用生態經濟系統發展之複合行為模式。(圖 4)

(三) 都市土地利用生態經濟系統之結構要素

都市土地利用生態經濟系統由土地生態與經濟系統構成，其要素如下：

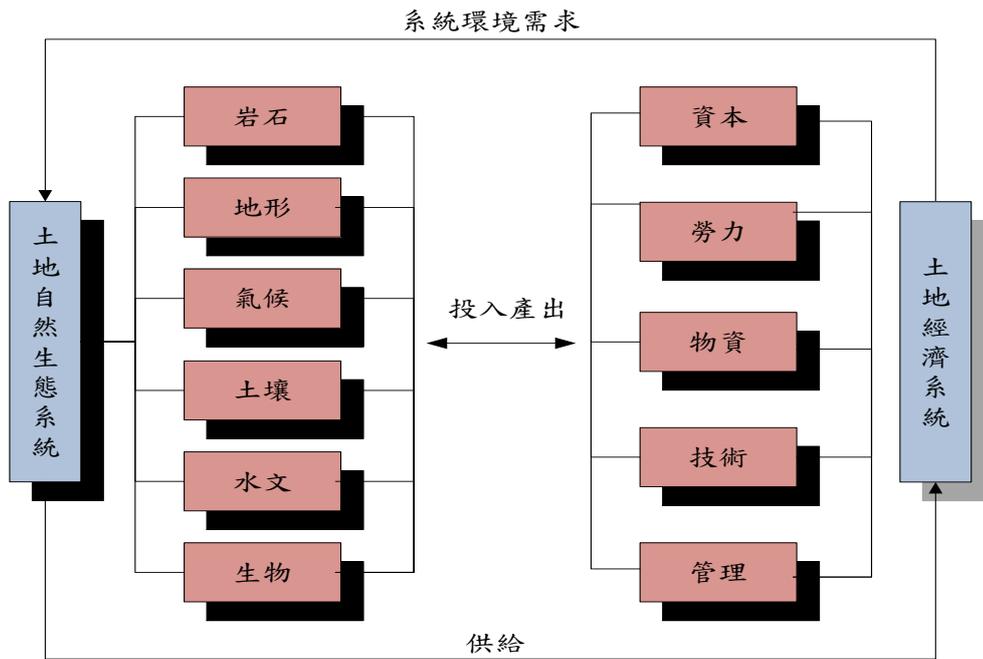


圖 3 土地生態經濟系統運作示意圖

資料來源：張兆福等，2006，本研究整理。

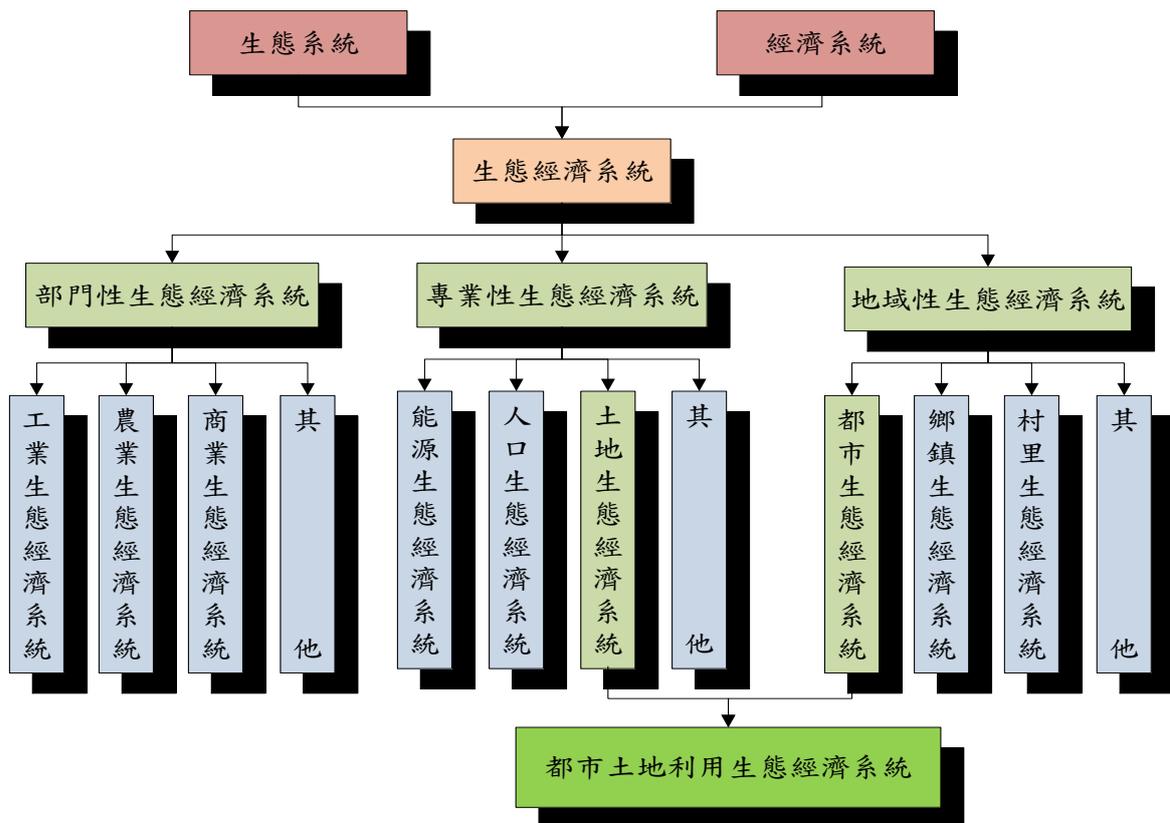


圖 4 都市土地利用生態經濟系統構成示意圖

資料來源：嚴茂超，2001.9，本研究整理。

1. 人口要素：人口係指生活在一定社會制度與一定地域範圍內，具有一定數量與質量的人口之總稱。
2. 環境要素：環境為由物理、生物與經濟社會系統三大範疇構成，通過物質及能量相互依存、制約。
3. 資源要素：資源為人類社會經濟發展相聯繫的各種客觀要素之總稱，包含自然、經濟與社會資源。
4. 科技要素：科技為科學與技術之總稱，科學為自然、社會與思維知識體系；技術為依據科學原理發展的操作工藝與技能。

三、 都市土地利用生態經濟預警原理

「預警(Early-Warning)」從監督行為的實施與監督客體的經濟行為發生的時序關係上界定為事前監督，是一個預先估測和揭示監督客體的運行態勢，通過一定方法判斷狀態是否偏離預期目標，發出預警信號的過程。

(一) 都市土地利用生態經濟預警概念與目的

都市土地利用過程中，通過發展指標數據之蒐集、預測與評價，確定土地利用變化對外界影響趨勢，適時提出惡化警戒訊息與相應的調控措施。預警之目的為監測調控妥適的土地利用，實現生態都市永續平衡發展。

(二) 都市土地利用生態經濟預警指標特性

預警指標包含警情與警兆指標。警情指標為系統研究對象的描述指標；而警情為指發展過程中出現的異常現象或問題。警兆為發生異常變化導致警情爆發前出現的先兆，描述警兆的統計指標即稱作警兆指標。

(三) 都市土地利用生態經濟預警內涵

預警執行與生態經濟發展評估及生態安全預測具密切關係，三者有密切依存關係，先有評估、預測，最後方為預警。預警應包含警情監測、警情評估、預警模擬及排警對策，包含 1. 明確警義；2. 尋找警源；3. 預警指標辨識；4. 警度預報；5. 排警決策等階段性功能。

預警體系建立目的為降低環境政策造成的傷害，通過對於環境資訊的監測及早進行防範及遏止動作。預警模型應包含動態模型、情境預測及預警機制，彼此關聯環環相扣並具評估回饋關係。故建立都市土地利用生態經濟預警機制，需運用雙模式分工流程架構。(圖 5)

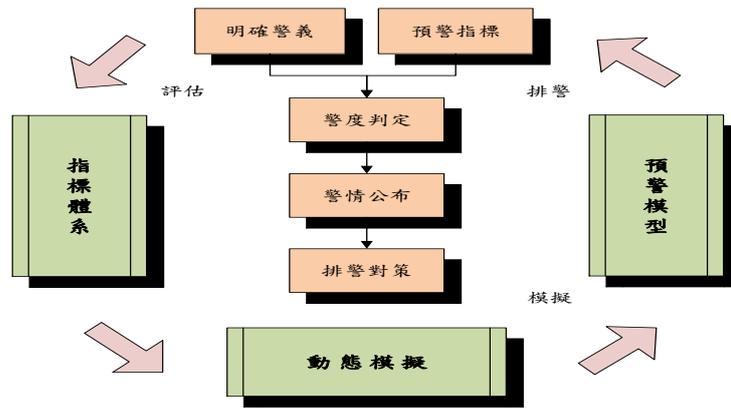


圖 5 都市土地利用生態經濟預警系統動態結構圖

資料來源：吳靜宜，2011；本研究整理。

(四) 都市土地利用生態經濟預警運行機制

1. 預警運作原理與過程

預警為篩選具敏感性、可操作統之指標，判斷系統發展趨勢是否偏離系統門檻值與偏離程度，據以發布警情及時調控排除警患。(圖 6)

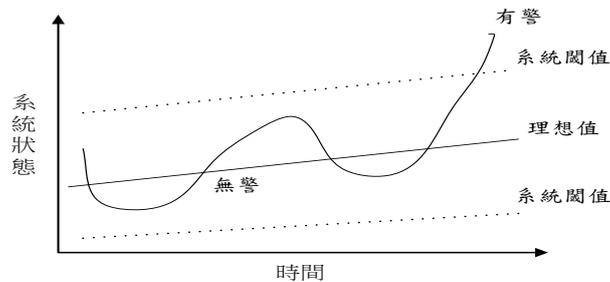


圖 6 都市土地利用生態經濟預警機制示意圖

資料來源：李鳳全等，2005；本研究繪製。

2. 都市土地利用生態經濟預警系統構成 (圖 7)

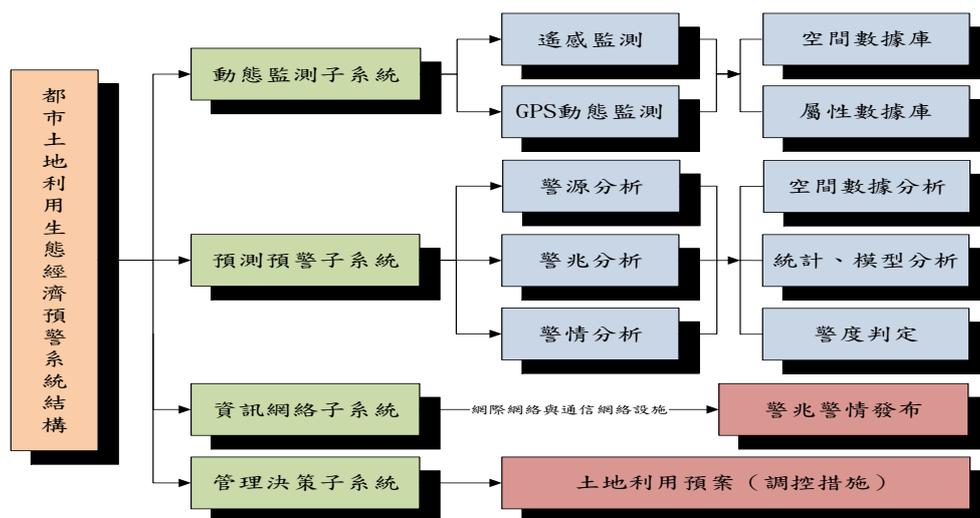


圖 7 都市土地利用生態經濟預警系統結構示意圖

資料來源：王建龍等，2006；本研究整理。

肆、研究設計、分析方法及研究架構

一、研究範圍

都市土地利用受到土地空間領域範圍、規模、區位、地質結構、自然資料及經濟、社會系統歷史時空演化等制約條件之影響，不同的時間背景產生迥異的土地利用狀態及發展結果，具有時間滯延與動態發展之特性，必須具備大量的土地利用空間與時間歷史數據資料，除作為模型制定、檢驗及修正之用，亦為預測之重要基礎。本研究之研究空間及時間範圍，如下所示：

(一) 空間範圍

系統邊界之意義，係為能夠以最少組成元件產生所要研究的動態行為，相對於系統目的而言，系統邊界為對研究對象所代表的空間變數，以及研究對象觀察的時間幅長，系統空間邊界決定了系統規模的大小。本研究以臺中市為實證研究範圍，合計共 29 個行政區，面積 2215 平方公里。(圖 9)

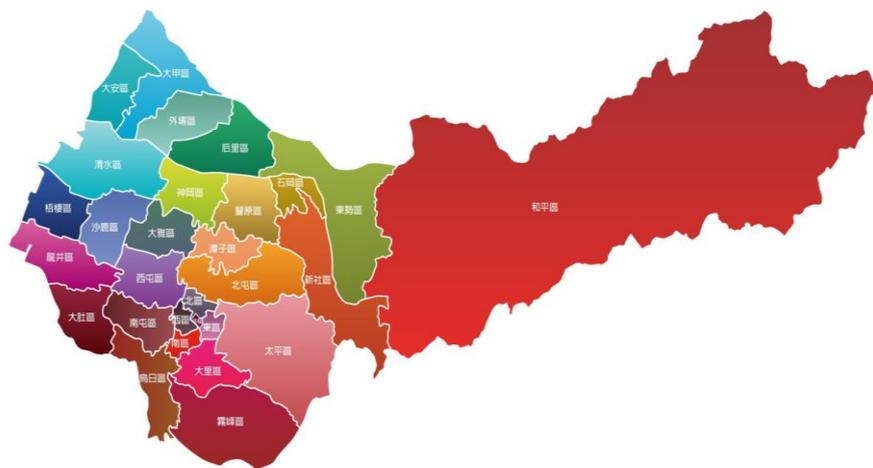


圖 9 研究範圍示意圖

(二) 時間範圍

本研究以 1991~2011 之統計數據為模型建構與討論基礎，以每一年為時間單位，至 2033 年為模型預測模擬目標年，時間範圍共計 44 年整。

二、研究設計

本研究設計內容如下五點所示：

(一) 系統理論課題及研究方法探討

著重於生態經濟學及土地利用系統之意義、功能與預警方法說明，分析土地利用行為於環境、資源、社會與經濟發展等系統領域，相互衍生之問題癥結，彙整相關課題作為系統運作機制研究及資料蒐集範圍之依據。

（二）系統運作機制研究及歷史資料蒐集

經由生態經濟學相關文獻回顧及對生態都市土地利用指標體系相關研究之探討，剖析系統運作機制及變數要因，蒐集具公信力的臺中市土地利用歷史數據資料，作為建構模擬動態模型及檢測時之關鍵檢核數據。

（三）系統預測及預警指標體系建立

藉由指標體系之研究結果，歸納生態經濟與土地利用次系統及影響指標，利用德爾菲專家諮詢方法，建構具代表性的指標體系與指標變數集，據以進行後續模擬模型建立與策略情境模擬作業。

（四）系統動態預測及預警模型之建構與模擬

利用系統動態學技術研定模擬模型，再導入臺中市土地利用歷史發展數據，模擬預測系統動態行為，最後應用類神經網路建立預警模擬模型反映警情，並依情境模擬結果，提出排警因應策略建議。

（五）系統實證分析及後續研究建議

臺中市為實證研究對象，依據建立的都市土地利用生態經濟預警系統模擬模型，進行模擬分析後，加以排警策略情境模擬，分析土地利用對生態經濟之影響，探求最適策略建議，提供臺中市土地利用決策者參考辦理。

三、研究分析方法

本研究主要之研究分析方法為系統工程法、模糊德爾菲法、系統動態學及類神經網路等四種方法，茲分述如下：

（一）系統工程法（Systems Engineering）

本研究運用系統工程方法，將複雜的都市土地利用生態經濟系統影響變數，以電子計算機技術解構為次系統及組成變數，剖析變數間因果影響關係，並將各次系統組成部份和變數結合整體考量，從整體層面掌控都市土地利用之本質特性及規律原則，建構完整之系統模型。

（二）模糊德爾菲法（Fuzzy Delphi Method）

系統指標篩選方式以文獻歸納為基礎，為考量降低調查次數及訪查意見模糊性，本研究運用模糊德爾菲法專家問卷調查，可獲得專家完整表達的意見，增進指標篩選客觀及代表性，據以進行生態都市土地利用系統指

標評選及體系建置作業，作為建構系統動態模擬模型之基礎。

（三）系統動態學（System Dynamics）

系統動態學主要應用變數間因果關係瞭解整個系統內交互影響的動態行為，進而經由系統分析及電腦模擬等程序建構動態模擬模型，利於分析釐清多變量、非線性、有時延的複雜系統，進行系統未來趨勢預測及決策建議之規劃研究。

（四）遺傳演算類神經網路（Genetic Artificial Neural Network, GANN）

本研究先以系統動態學模擬模型預測及評估臺中市 2033 年土地利用發展趨勢，再藉由類神經網路的優質擬合功能，結合景氣信號機制建構臺中市都市土地利用生態經濟系統預警模擬模型，並實施略策情境模擬，研擬最適預警略策與排警措施建議，以供臺中市政府土地利用決策者之參考。

四、研究架構

本研究都市土地生態經濟預警系統模擬與分析研究架構，詳圖 10 所示。整體研究架構各研究步驟應行工作項目及內容說明如下：

（一）研究確認

包含研究動機與目的、研究範圍與內容確立等二個項目，確認研究主軸及研討方向，界定系統研究空間與時間範圍，以及研究重要性之闡述。

（二）資料蒐集

包含生態經濟學等理論與方法相關研究資料，以及臺中市土地利用行為歷史及現況發展數據資料之蒐集與比較分析工作。

（三）文獻回顧

包含對生態經濟學等理論文獻探討，應用系統動態學及遺傳演算類神經網路方法剖析生態經濟預測及預警方法，作為研究理論與方法之基礎。

（四）研究課題與變數確定

包含應用模糊德爾菲專家諮詢結果彙整、系統課題探討，據以建立系統指標體系及指標變數集，以利後續模擬模型建立與策略情境模擬作業。

（五）動態模型模擬與分析

包含應用系統動態學 VENSIM 程式語言撰寫模擬方程，系統動態模擬模型，導入臺中市歷史資料數據模擬預測與分析未來趨勢等工作。

（六）預警模型模擬

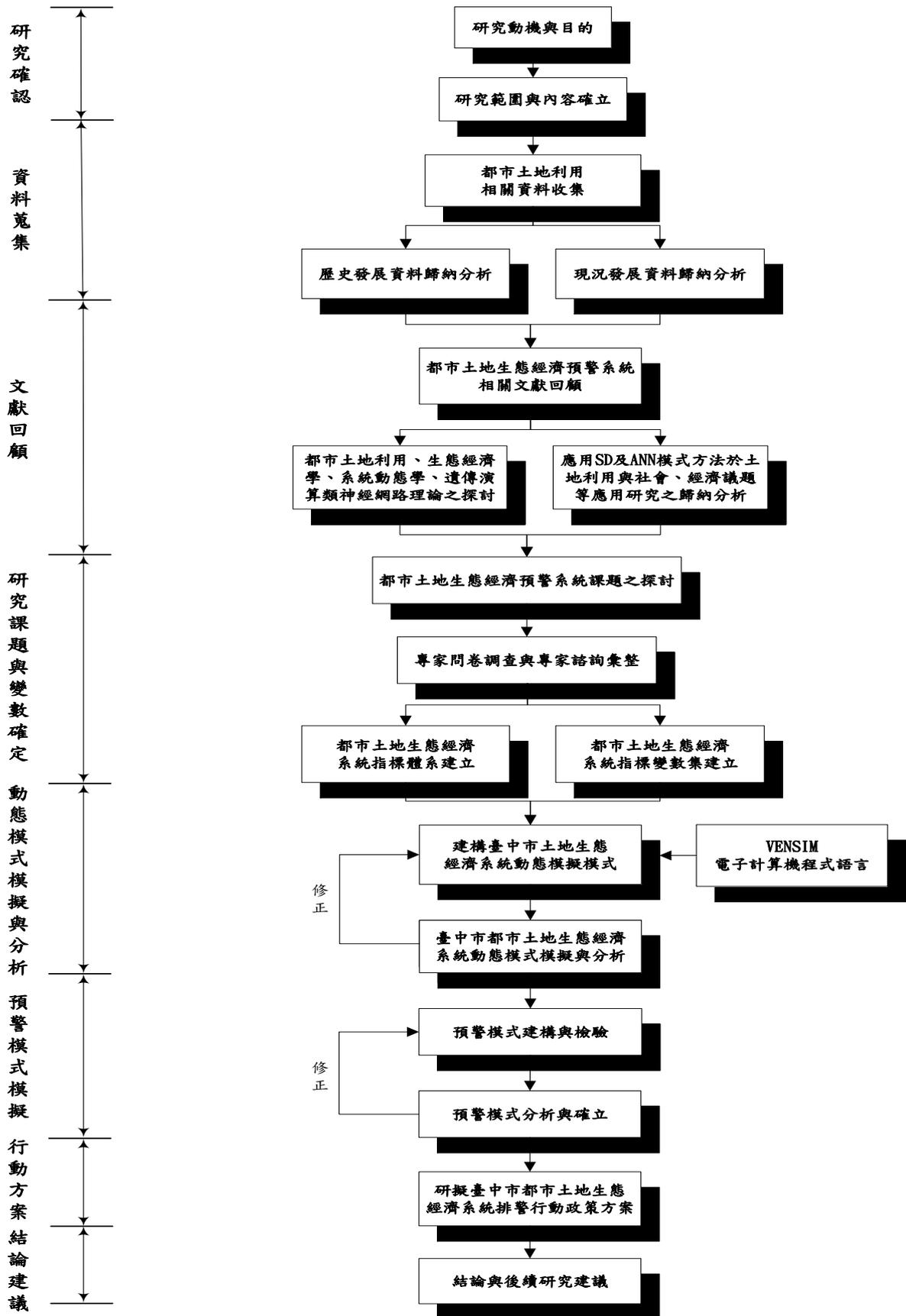


圖10 都市土地利用生態經濟預警系統模擬與分析研究流程圖

依據模擬系統動態行為結束，進一步應用 GANN 整合類神經網路高度自學習性之擬合功能，建構預警模擬模型，反映都市土地利用生態經濟警情。

(七) 行動方案

依據預警模擬模型進行情境策略模擬及評估結果，研擬排警行動策略方案建議，強化都市土地利用動態預警效能，提供臺中市政府施政參考。

(八) 結論與建議

總結本研究過程中遭遇之困難、限制及心得結論，並就與本研究目的內容有關之其他議題方向與政策建議，提出具體建議事項。

伍、分析結果及研究發現

本研究經由相關理論探討，彙整瞭解系統之組成、運作及指標體系後，據以進行系統指標體系、動態模擬模型與預警系統模擬模型實證研究，分析結果及研究發現如下：

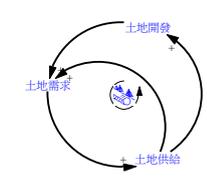
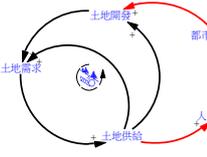
一、分析結果

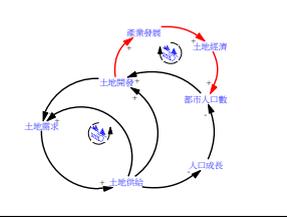
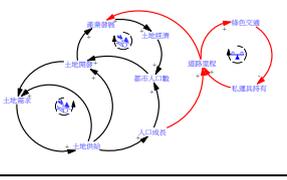
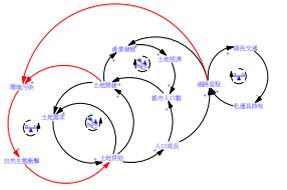
(一) 臺中市都市土地利用生態經濟系統動態指標體系

1. 都市土地利用生態經濟系統架構擬定

綜合都市土地利用發展分析，具備高度動態運作過程特徵之都市土地利用生態經濟系統，可依據生活、生產與生態等三大構面，進而假設劃分為建設用地子系統、都市人口子系統、產業經濟子系統、交通運輸子系統及環境生態子系統等五個子系統（表 1）。

表 1 都市土地利用生態經濟系統回饋環路結構推定模式一覽表

構面	系統回饋環路模式	系統環路運作原理	子系統	指標特徵
生活功能	 <p>Diagram illustrating the feedback loop for land development. It shows a cycle where land supply leads to land development, which increases land demand, which in turn leads to more land supply.</p>	<ul style="list-style-type: none"> 都市化集居過程中為足基本的居住與消費需求，增顯土地經濟效益誘發更大量的土地作為建設用地使用，對生態環境構成嚴重衝擊。都市土地利用由土地需求、供給及開發行為三要素構成，呈正回饋關係，為建設用地系統運作基本模式。 	<ul style="list-style-type: none"> 建設用地子系統 	<ol style="list-style-type: none"> 土地開發 土地需求 土地供給
	 <p>Diagram illustrating the feedback loop for urban population growth. It shows a cycle where urban population growth leads to increased land demand, which leads to land development, which then leads to further urban population growth.</p>	<ul style="list-style-type: none"> 都市人口面臨出生、死亡、遷徙導致人口數成長或降低異動，直接影響都市土地利用強度，並牽動土地需求及供給變化，都市人口之增減與都市土地利用強度及頻率關聯性，亦構成正回饋因果關係。 	<ul style="list-style-type: none"> 都市人口子系統 	<ol style="list-style-type: none"> 都市人口 人口成長

生產功能	產業經濟效益		<ul style="list-style-type: none"> 都市土地開發隨人口增加增強，一、二、三級產業蓬勃發展，產業聚集效應帶動土地經濟收益，提昇都市生活水準，吸引更多鄉村人口移入都市地區，反之亦然。土地開發與產業發展、土地經濟及都市人口為正相關因果關係。 	<ul style="list-style-type: none"> 產業經濟子系統 	<ol style="list-style-type: none"> 產業發展 土地經濟
	交通運輸網絡		<ul style="list-style-type: none"> 各級產業物資及人口交通需求，道路里程密集及汽機車私有運具增加，能源消耗及空氣品質惡化，政府應推動綠色交通抑制汽機車成長降低污染，二者呈負回饋關係，為平衡都市土地利用關鍵性因素。 	<ul style="list-style-type: none"> 交通運輸子系統 	<ol style="list-style-type: none"> 綠色交通 道路里程 私運具持有
	生態資源環境		<ul style="list-style-type: none"> 都市土地與產業高度開發，侵蝕森林綠地破壞生態環境導致資源耗竭，開發行為超越土地承載能力建築用地取得不易，影響土地供給仰制土地過度開發，形成負回饋因果關係，為平衡都市土地利用生態經濟發展重要關鍵因素。 	<ul style="list-style-type: none"> 環境生態子系統 	<ol style="list-style-type: none"> 環境污染 自然生態衝擊

資料來源：本研究整理。

2. 都市土地利用生態經濟系統指標變數集初擬

本研究收集 1468 個指標因子，判斷各指標解釋定義、量化標準、數據可獲得性後，初步擇取 47 個指標因子，擬再利用模糊德爾菲法專家問卷調查，篩選出具備客觀性及代表性指標體系及變數集。(圖 11)

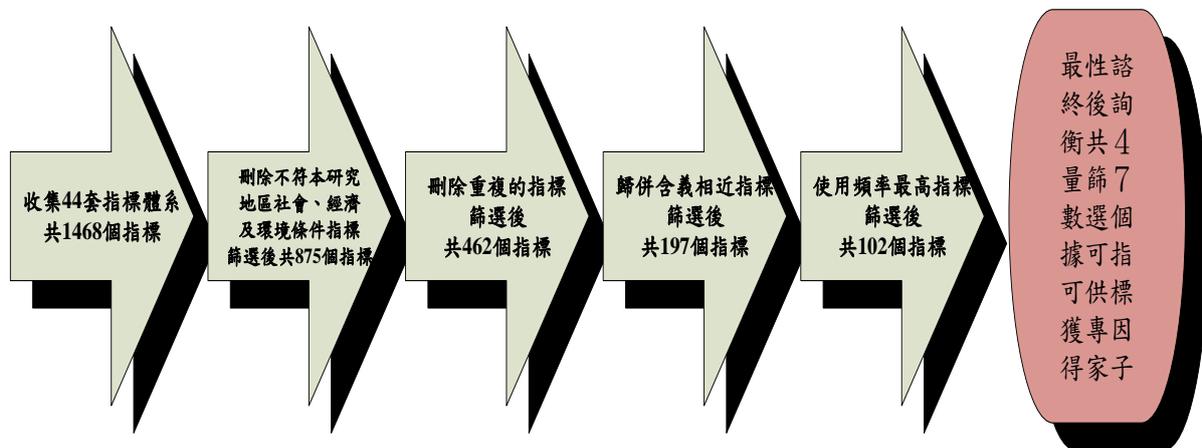


圖 11 都市土地利用生態經濟系統指標因子篩選程序示意圖

資料來源：本研究整理

3. 都市土地利用生態經濟系統指標體系建立

47 個指標經過模糊德爾菲法專家問卷調查分析結果(表 2)，最終擇取各子系統共計 32 個指標，據以建立指標變數集及指標體系。(圖 12)

表 2 臺中市都市土地利用生態經濟系統指標體系篩選一覽表

分類	評估因子	最大值		最小值		最大值	最小值	最佳值		最佳值	Gi	Zi	總 排序
		mi				幾何平均	幾何平均	mi	ma	幾何平均	專家共識	檢定	
		n	max	min	max	值	值	n	x	值	值	值	
都市人口子系統 (5/8)	都市總人口數	6	10	4	8	8.1577	5.9423	5	10	7.4446	7.2459	0.2154	6
	都市人口密度	6	10	5	9	8.8068	6.5542	5	10	7.8692	7.4769	-0.747	
	人口成長率	6	8	3	8	7.4051	5.1892	4	8	6.7641	6.2906	0.2160	
	人口自然增加率	5	9	5	6	6.8335	5.2022	5	8	6.2673	7.1009	0.6314	10
	人口社會增加率	6	10	3	7	7.7678	5.3068	5	8	6.6494	7.0650	1.4610	18
	人口教育水準	8	10	3	9	8.4933	5.6392	4	9	6.7866	7.0894	1.8540	12
	人均壽命	6	10	2	8	7.5196	5.1435	5	9	6.6226	5.9452	-0.623	
	人口老化指數	6	10	3	8	8.1264	5.7852	5	9	7.1323	7.2662	0.3412	5
建設用地子系統 (7/10)	建築用地面積	6	10	3	8	7.9982	5.9306	4	9	7.1274	7.1579	0.0675	7
	工業用地面積	6	10	4	8	7.8723	5.7746	4	9	7.0922	7.0084	0.4468	29
	商業用地面積	6	9	3	8	7.6978	5.4886	3	9	7.0416	7.0033	0.2066	31
	每人平均住宅樓地板面	4	10	2	8	8.1103	5.0208	3	10	7.1237	6.9663	-0.910	
	公共設施用地面積	7	10	4	9	8.4441	5.4372	5	10	7.5248	6.1381	1.0069	
	交通用地面積	8	10	4	9	8.6248	5.9381	5	9	6.8434	7.0566	1.6866	21
	公園綠地面積	8	10	6	9	8.8080	7.1641	6	9	8.0403	7.4874	0.6439	2
	農業用地面積	7	9	4	8	7.9617	5.7761	5	8	6.8094	7.1011	1.1856	9
	森林土地面積	8	10	5	9	8.8032	6.1384	6	9	7.2348	7.0162	1.6649	27
	自然保護區面積	5	10	4	8	8.0040	5.7576	4	9	6.8565	6.8138	-0.7536	
產業經濟子系統 (6/12)	國內生產毛額 (GDP)	6	10	2	8	7.4106	5.3601	4	9	6.6050	6.3200	0.0505	
	國民平均所得	6	10	2	8	7.4353	5.2982	4	9	6.6634	6.3078	0.1371	
	稅捐總收入	7	10	2	8	7.9423	5.5829	5	9	6.7510	7.0611	1.3594	20
	失業率	4	10	1	8	7.6684	5.2870	3	9	6.5748	6.7794	-1.618	
	恩格爾係數	5	9	2	8	7.1257	4.9356	4	8	5.9991	5.9421	-0.783	
	都市供水量	6	10	4	8	8.1260	5.8353	5	9	7.1012	7.1045	0.2907	8
	都市供電量	5	10	4	8	8.0409	6.0266	5	9	7.2275	7.0919	0.9857	11
	一級產業產值	7	9	3	8	8.0026	5.1219	5	9	6.1968	7.0840	1.8807	14
	二級產業產值	7	10	4	8	8.3199	5.3213	5	9	6.4193	7.0676	1.9985	15
	工廠登記家數	6	10	4	8	7.4369	5.1335	4	9	6.2505	5.2304	0.3034	
三級產業產值	6	10	3	8	7.9812	5.7872	4	9	7.0104	7.0479	0.1940	22	
營利登記家數	6	10	3	8	7.3766	4.9688	4	9	6.2164	5.5938	0.4077		
交通運輸子系統 (5/8)	人均道路面積	5	10	2	8	8.1048	5.8386	4	9	7.2043	7.3923	-0.733	
	道路里程密度	6	9	2	8	7.7720	5.4057	4	9	6.5990	7.0465	0.3663	23
	人均每年大眾運輸旅次	7	10	3	8	8.1388	5.4087	7	9	7.9265	7.0463	1.7302	24
	小汽車擁有率	8	10	4	9	806201	5.9601	5	9	6.9785	7.0662	1.6599	16
	機車擁有率	7	10	3	8	8.4222	4.6996	5	9	6.2641	7.0166	2.7226	26
	自行車道專用道長度	5	10	4	9	8.1956	6.2254	5	9	7.1210	6.5149	-2.029	
	行人專用道長度	5	10	3	8	8.1693	6.0757	4	9	7.0240	7.4916	-0.906	
	交通運輸支出	6	10	3	8	8.0904	5.5886	4	9	7.5861	7.0886	0.5018	13
子系統	人均公園綠地面積	6	10	4	9	8.9868	6.7272	5	9	6.7719	8.3606	-0.740	
	每萬人口公園綠地面積	7	10	6	9	9.1774	7.1690	7	10	6.7509	8.8823	0.0084	1
	生物多樣性	6	10	4	9	8.4955	6.2386	5	9	6.3889	7.0492	-0.743	

人均每日垃圾量	6	10	3	8	7.9605	5.8673	5	9	6.7817	7.0662	0.0932	17
空氣污染率	6	10	2	9	8.3824	6.1024	5	9	7.9363	7.0002	0.0722	32
二氧化碳排放量	7	10	3	9	8.2458	6.1207	4	9	7.3490	7.0170	0.1251	25
資源回收率	6	10	4	8	8.1264	6.0971	5	9	7.2828	7.2961	0.0293	4
污水處理量	6	10	4	9	8.6342	6.2263	5	9	6.8111	7.0092	0.0592	28
河川污染指數	5	10	4	8	8.1019	6.1359	4	9	6.3752	7.0048	0.0346	30
公園綠地建設支出	6	10	3	8	8.0717	6.0650	4	9	5.9623	7.3398	0.0067	3
環境保護支出	7	10	3	9	8.3397	5.9729	4	9	6.6863	7.0640	0.3668	19

· 篩選指標數：32/47

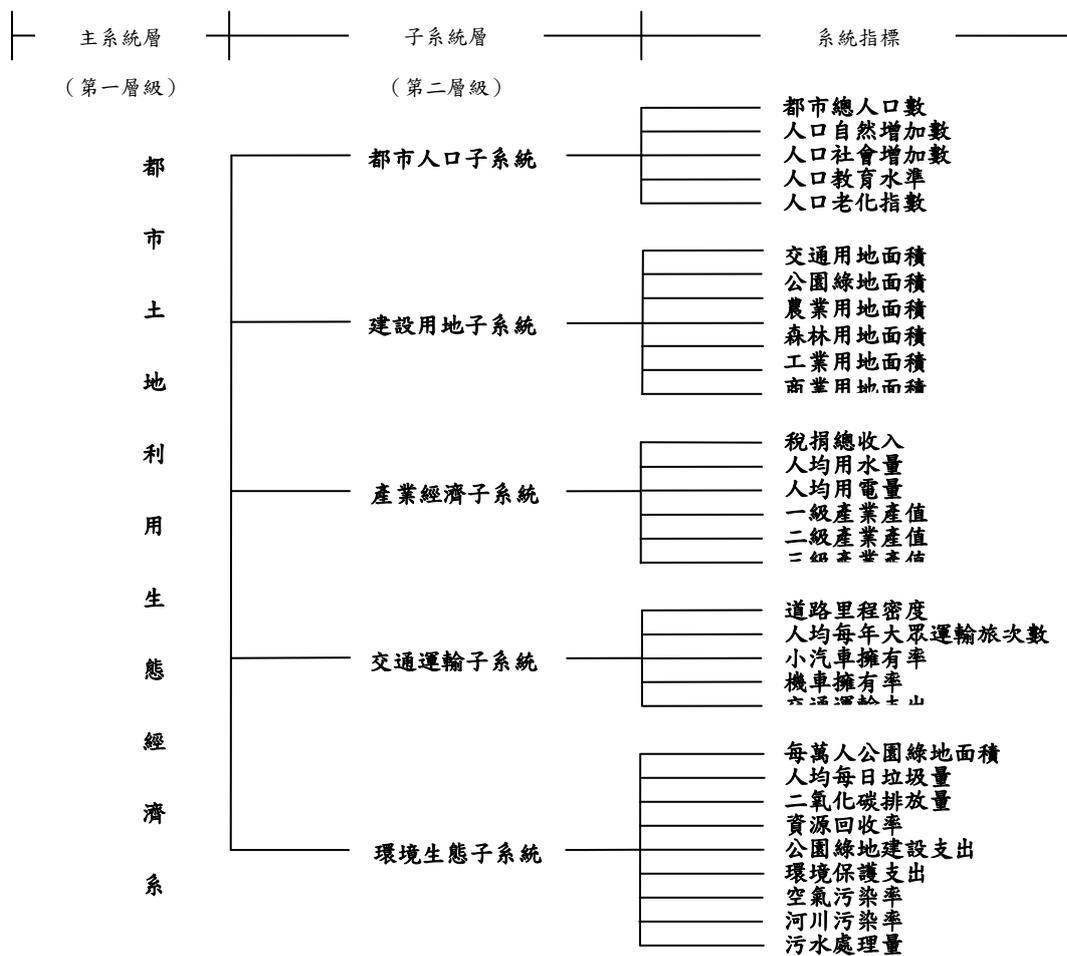


圖 12 臺中市都市土地利用生態經濟系統影響指標體系樹狀圖

(二) 臺中市都市土地利用生態經濟系統動態模擬模型建立

本研究以Vensim軟體作為操作工具，將對系統行為因果關係轉化為及系統動態模型，應用程序包含模型擬定、建置與檢驗三個步驟。

1. 都市土地生態經濟系統整體動態行為

本研究分析系統運作特性，歸納為都市人口、建設用地、產業經濟、交通運輸、環境生態等五個子系統及32個指標，清楚描述各子系統指標變數因果回饋關聯性，據以建立整體系統動態回饋圖。(圖13)。

2. 系統動態模型建構

依據臺中市都市土地利用生態經濟發展特性，整合都市人口、建設用地、產業經濟、交通運輸及環境生態等子系統，建構系統動態流圖詳圖 14 所示。共有 5 個回饋環路，其中 2 個正回饋環路，3 個負回饋環路，都市土地利用生態經濟發展波動在系統中受正負因果回饋環路相互作用之影響，整體模型為具有自我增長與衰退的動態結構。

外生變數為來自模型以外具有變異影響的變數(自變數)。外生變數干擾影響系統，本身不受系統影響，可作為政策控制實現目標的政策介入變數；內生變數關係表徵系統運作方式，其變動受到系統其他變數影響，用以表達系統對外部刺激的反應，積量及內生變數為模型驗證之指標。本研究以外生變數為政策模擬的主動集，以內生變數為被動集，運用影響—響應矩陣進行敏感性分析確認預警指標，構成預警模型之指標變數集。(表3)

3. 模型效度驗證與趨勢模擬

任何模型建構之後，皆應試驗模型效度，始可做為未來模擬的工具。都市土地利用生態經濟系統動態模型經由效度驗證後將進行觀察變量的趨勢分析，據以瞭解未來土地利用生態經濟發展變動，並藉以發現系統問題，找出政策介入點，以達到生態都市土地利用永續發展之目的。

整體而言，各子系統中變量之模擬值皆與歷史值近似，所有系統中觀察變量之均誤差值僅有 9.16%，結果滿足「單一變量的誤差不大於 10%」的門檻要求，相當準確的契合臺中市土地利用生態經濟發展真實之狀況，表明運用 SD 系統動態學方法建立之動態模擬模型具有優質穩定性，對於真實歷史趨勢具有準確預測能力，亦能對臺中市未來土地利用生態經濟發展演變，作出高度準確之預測。(圖 15)

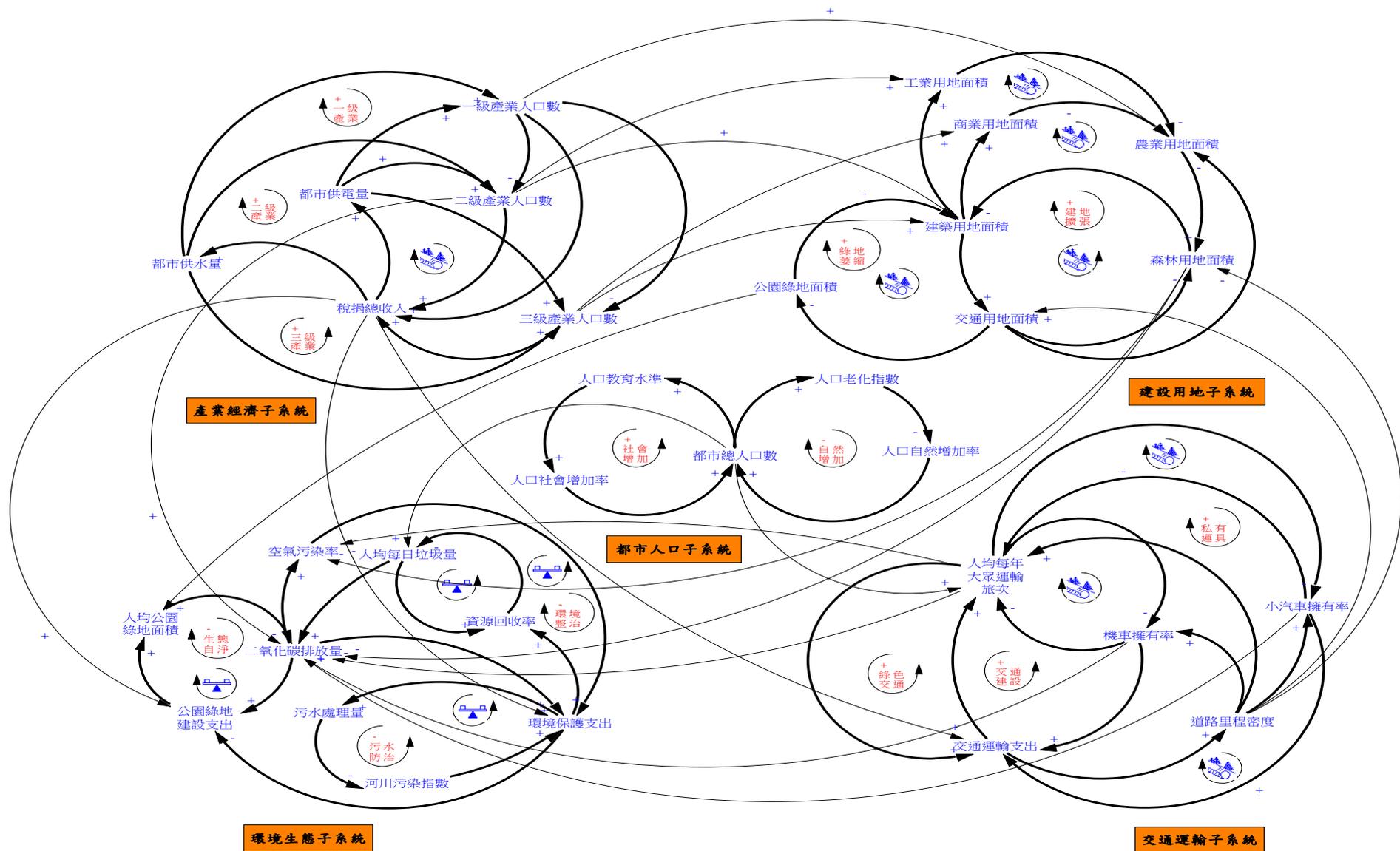


圖 13 臺中市土地利用生態經濟系統動態回饋圖 (32 指標)

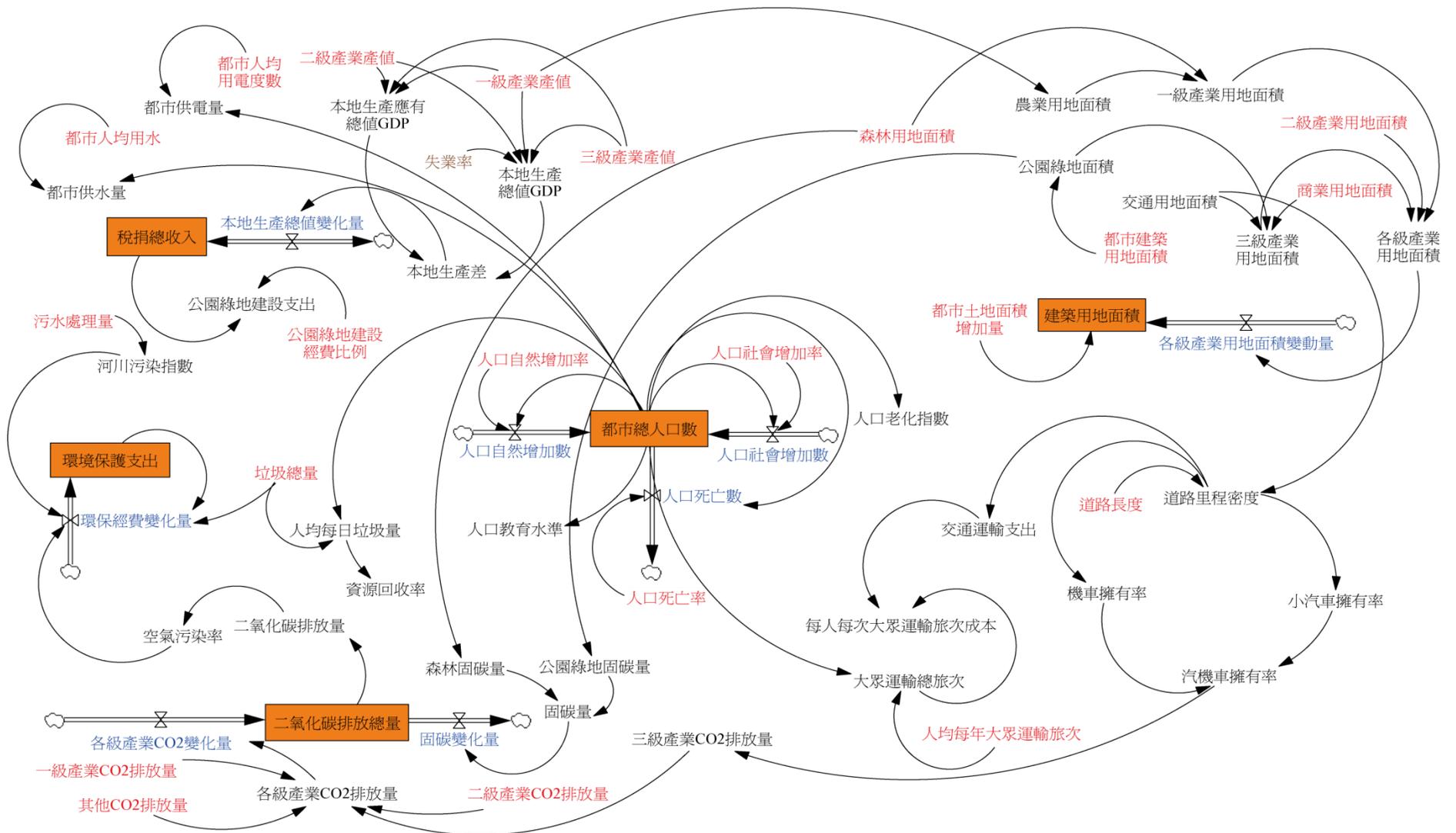


圖 14 臺中市土地利用生態經濟系統動態流圖

表3 都市土地利用生態經濟系統整體動態模型主要變數表

子系統	積量	率量	內生變數	外生變數
都市人口子系統	都市總人口數	人口自然增加數	人口教育水準	人口自然增加率
		人口社會增加數	人口老化指數	人口社會增加率
		人口死亡數		人口死亡率
建設用地子系統	建築用地面積	各級產業用地面積變動量	農業用地面積	交通用地面積
			公園綠地面積	森林用地面積
			一級產業用地面積	都市建築用地面積
			三級產業用地面積	二級產業用地面積
			各級產業用地面積	商業用地面積
				都市土地面積增加量
產業經濟子系統	稅捐總收入	本地生產總值變化量	都市供水量	一級產業產值
			都市供電量	二級產業產值
			本地生產總值GDP	三級產業產值
			本地生產應有總值GDP	都市人均用水
			本地生產差	都市人均用電度數
				失業率
交通運輸子系統	—	—	每人每次大眾運輸旅次成本	人均每年大眾運輸旅次
			大眾運輸總旅次	道路長度
			交通運輸支出	
			道路里程密度	
			機車擁有率	
			小汽車擁有率	
			汽機車擁有率	
環境生態子系統	環境保護支出 二氧化碳總排放量	環保經費變化量 各級產業CO ₂ 變化量 固碳變化量	各級產業CO ₂ 排放量	污水處理量
			固碳量	垃圾總量
			河川污染指數	公園綠地建設經費比例
			人均每日垃圾量	一級產業CO ₂ 排放量
			公園綠地建設支出	二級產業CO ₂ 排放量
			資源回收率	其他CO ₂ 排放量
			空氣污染率	
			CO ₂ 排放量	
			三級產業CO ₂ 排放量	

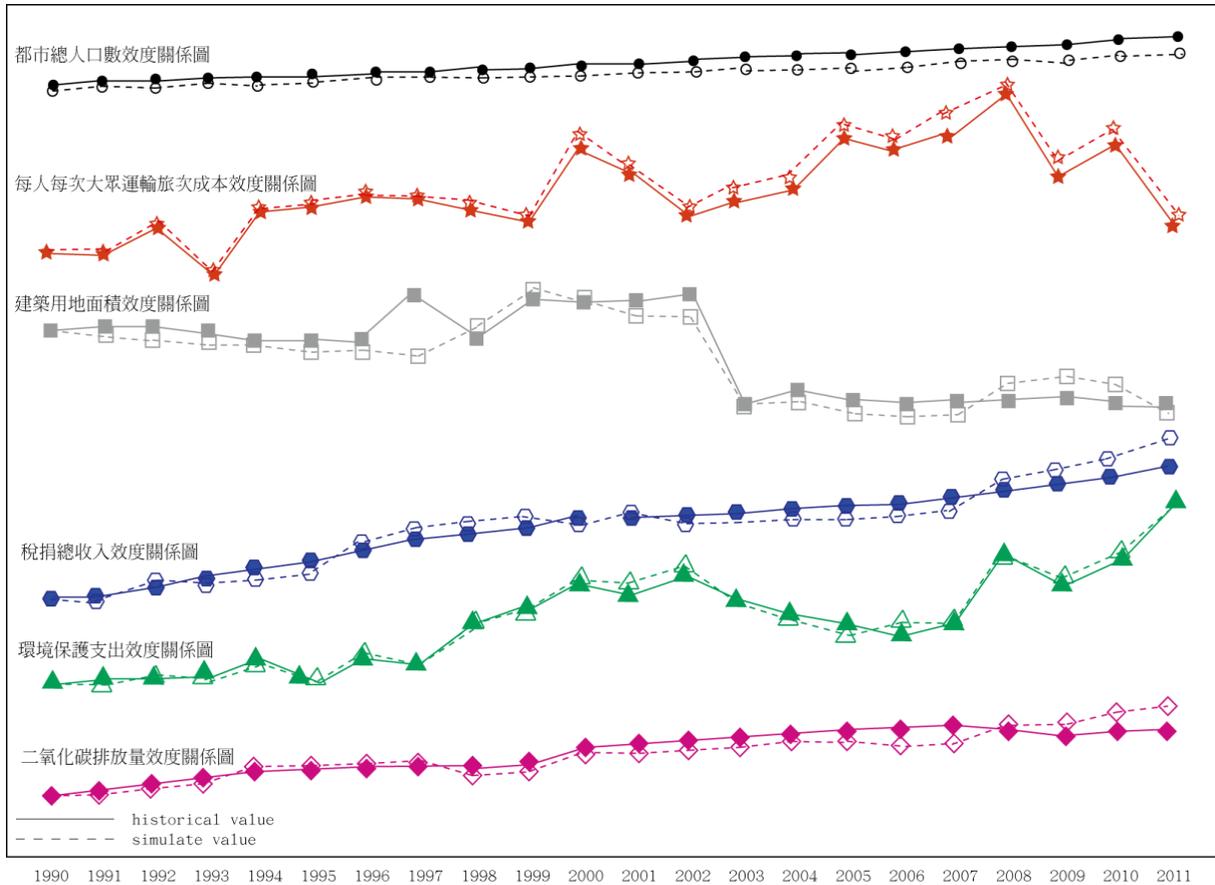


圖15 都市土地利用生態經濟系統動態模型效度關係圖

(三) 臺中市都市土地利用生態經濟預警系統模擬模型建立

本研究透過敏感性分析篩選警兆指標，藉由景氣對策信號機制評價土地利用警情，應用遺傳演算類神經網路建構預警系統模型，再經由政策尋優情境模擬，達到排除警情之預警目的。

1. 都市土地利用生態經濟預警體系

本研究依據都市土地利用生態經濟發展重要性、系統整體性、體系精簡性及數據可靠性等原則，篩選都市土地利用生態經濟警兆指標。

(1) 保留各子系統積量指標

子系統中積量為歷年累積之狀態，具有歷史因素與體現時間序列演變，基於經濟性、整體性與數據可靠性，將各子系統積量指標皆納入預警指標。

(2) 敏感度分析之內生變量測定

將主動集每一外生變數變異 10%，觀察內生變數變動幅度，將被動集變數與原先模擬數據對照，取 22 年間差距絕對值算術平均數，再與原先模擬值 22 年數據平均差進行對照。結果顯示被動集中對系統影響最大的變數，計有一級產業用地面積 (69)……等十項指標，據以下階段門檻值篩選。

(3) 設定門檻值篩選指標

將被動集中被觀測變數之響應值)加總，其算術平均數為 29.2，基於精簡性之原則，留存內生變數前二名為：一級產業用地面積 (69)、CO₂ 排放量 (69)，具有全面與較大的敏感性，可作為預警指標。

經由以上篩選，包含都市總人口數、建築用地面積、稅捐總收入、環境保護支出、CO₂ 總排放量、一級產業用地面積、CO₂ 排放量等共計 7 項預警指標，完成建構都市土地利用生態經濟預警指標體系。

2. 都市土地利用生態經濟發展景氣對策信號機制

本研究採綜合指標預警策略，通過建立總體預警準則將可對都土地利用狀態進行判斷。都市土地利用生態經濟發展總體運行之警情，採用評分法建立總體預警準則，對各指標預警區間依據過熱、趨熱、穩定、偏冷和過冷狀態，分別以紅、黃紅、綠、黃藍和藍燈表示，賦予對應分數 (5 分、4 分、3 分、2 分與 1 分) 表示其警度，據以計算每年各指標之得分。本研究設定指標個數為 N，則最高分為 5N，最低分為 N，進行加總後形成五個警界區間預警準則。(表 4)

表4 都市土地利用生態經濟發展綜合指標預警準則

分數	信號	警度評等	經濟意涵	排警措施
27-35	紅燈	5	過熱	採取緊縮政策控制經濟增長
23-26	黃紅燈	4	趨熱	仍屬健康範疇，但增長速度加快，短期內有轉熱或趨緩可能
19-22	綠燈	3	穩定	促進經濟穩定增長措施，轉黃燈時可以維持綠燈期措施，轉藍燈時應採取趨穩措施
15-18	黃藍燈	2	偏冷	仍屬健康範疇，但增長速度減慢，短期內有轉冷或趨穩可能
7-14	藍燈	1	過冷	採用強有力措施刺激經濟增長

本研究採行預警指標年變動率方式，結合景氣信號機制，印證 1991-2011 臺中市土地利用單項及綜合指標景氣評價 (表 4)，發現臺中市土地利用景氣自 1995 年以來呈現穩定偏冷狀態，顯現出長期性的低靡狀況。(圖 16)

表4 1991-2011年臺中市土地利用生態經濟發展景氣信號一覽表

參數名稱	都市總人口數變化率%	建築用地面積變化率%	稅捐總收入變化率%	環境保護支出變化率%	二氧化碳總排放量變化率%	二氧化碳排放量變化率%	一級產業用地面積變化率%	綜合評分	警度評等
1991	2.0336 4	0.0275 4	12.9497 4	1.5048 3	7.7307 4	7.7307 4	-2.6087 4	27	5
1992	2.4953 4	0.0040 4	12.8082 4	-0.5639 3	7.1448 4	7.1448 4	-1.2720 4	27	5
1993	2.6219 4	-0.0065 3	12.8451 4	43.1242 5	6.6917 3	6.6917 3	-0.3272 3	25	4
1994	2.0643 4	-0.0016 3	10.9199 4	40.1238 4	6.2614 3	6.2614 3	0.7371 3	24	4
1995	2.0495 4	-1.4539 3	10.2491 3	-38.6025 1	4.4543 3	4.4543 3	-2.4974 3	20	3
1996	2.0289 4	-0.0140 3	9.6018 3	14.0640 3	5.0571 3	5.0571 3	-0.5985 3	22	3
1997	1.9950 3	14.6115 5	9.5608 3	-4.9452 2	7.5093 4	7.5093 4	-1.3515 3	24	4
1998	1.5170 3	-15.9619 1	8.0383 3	31.4067 4	4.9686 3	4.9686 3	135.411 5	22	3
1999	1.5356 3	-0.1736 3	5.6119 3	12.8578 3	4.4455 3	4.4455 3	-1.0893 3	21	3
2000	1.5732 3	3.8732 3	6.2996 3	22.7494 3	8.4455 4	8.4455 4	-0.2149 3	23	4
2001	1.0516 3	-1.5965 3	-2.0100 2	-3.8217 2	2.6382 3	2.6382 3	-1.0895 3	19	3
2002	0.9062 3	0.7403 3	4.8741 3	8.0248 3	3.9159 3	3.9159 3	-0.1840 3	21	3
2003	0.8478 3	-6.0167 2	3.8578 3	-13.4650 2	3.7516 3	3.7516 3	-0.3090 3	19	3
2004	0.7340 3	2.4086 3	6.3834 3	-3.3099 2	3.4687 3	3.4687 3	-0.4230 3	20	3
2005	0.3095 2	0.0059 3	3.4182 3	-20.1628 1	2.5550 3	2.5550 3	-0.4281 3	18	2
2006	1.2365 3	-1.3444 3	4.8978 3	-8.3276 2	3.0073 3	3.0073 3	0.0945 3	20	3
2007	0.7329 3	-0.0012 3	5.2906 3	9.0151 3	1.2179 3	1.2179 3	-0.4616 3	21	3
2008	0.6628 3	-0.0119 3	-1.4613 2	54.7298 5	-4.1484 1	-4.1484 1	0.1755 3	18	2
2009	0.4455 2	-0.4952 3	-1.5228 2	-7.5469 2	-4.7532 1	-4.7532 1	-0.5512 3	14	1
2010	0.4802 2	-0.9417 3	10.3163 5	4.0472 3	5.5835 3	5.5835 3	-0.2438 3	22	3
2011	0.6032 2	0.0030 3	1.9850 2	119.6179 5	0.0000 2	0.0000 2	-0.1372 3	19	3

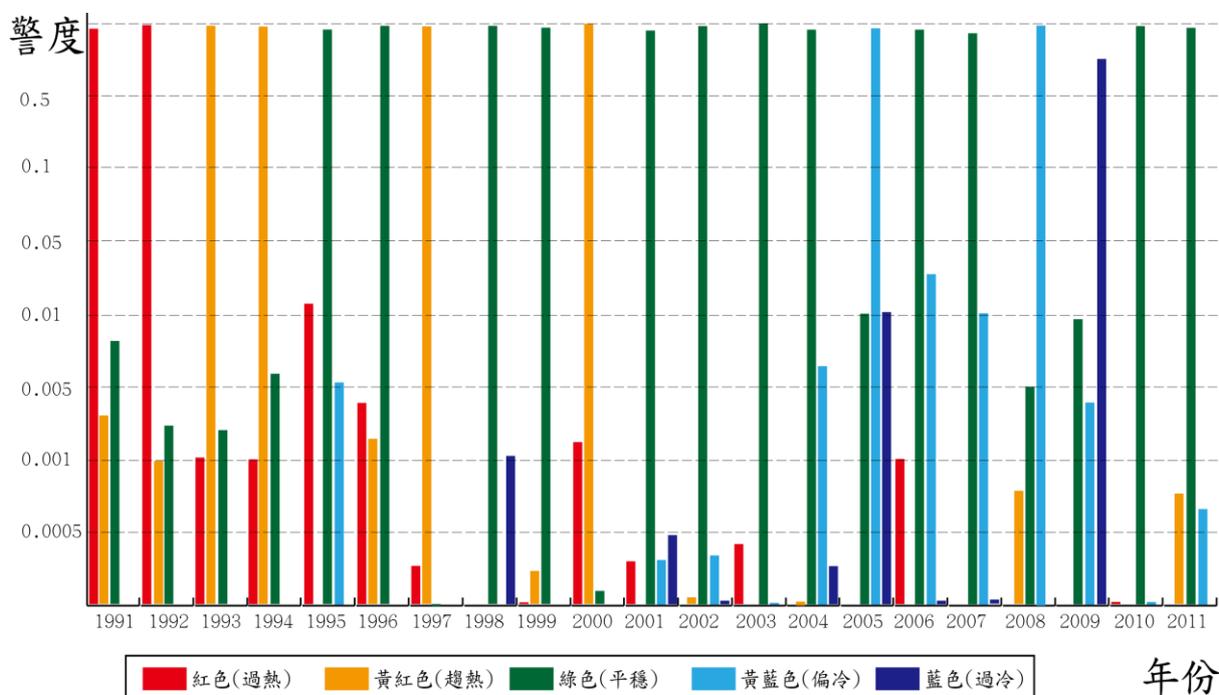


圖16 1991-2011年臺中市土地利用生態經濟發展景氣狀態圖

3. 遺傳演算類神經網路預警系統模擬模型

本研究利用 GANN 非線性處理與模型識別效能，以預警指標作為 GANN 輸入結點，輸出結點則對應都市土地利用警度，實現警兆集到警度集間非線性映射，可適切警示警情，利於擬定適切的排警對策。預警系統建置首先以一定數量的訓練及測試樣本集對 GANN 進行訓練與測試，得到預期的預警 GANN；再輸入警兆指標進行警度輸出推論。

(1) 決定網路結構和規模

GANN 模型參數率定，詳表 5。

表5 都市土地利用生態經濟系統GANN預警模型參數設定表

(2) 進行樣本訓練和測試

訓練由輸入樣本和理想輸出組成，其測試樣本以隨機方式產生，訓練樣本誤差均方根 0.00735，誤判率 0.0000；測試樣本誤差均方根 0.00748，誤判率 0.0000，顯示訓練成效佳可將結果建立預警知識庫。(圖 17、表 6)

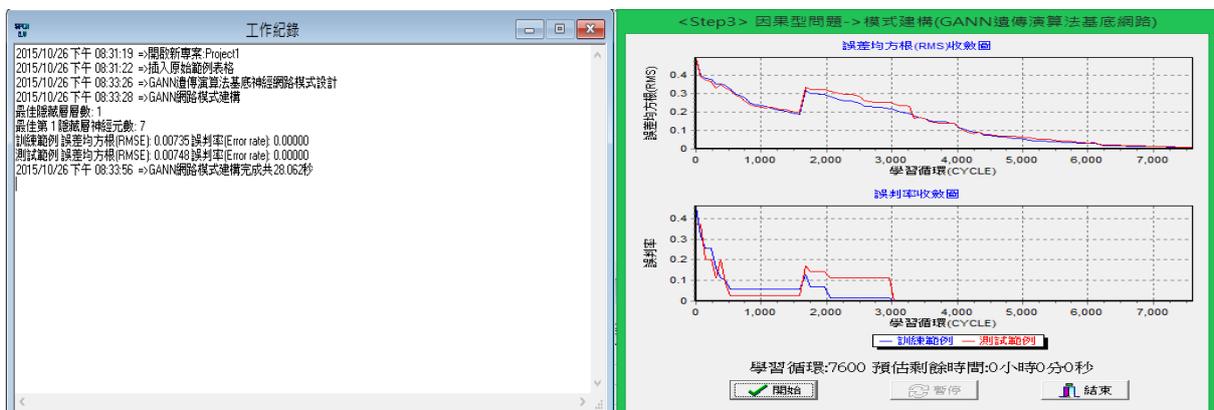


圖17 GANN網路學習訓練誤差統計圖

表6 GANN網路學習訓練與測試模擬結果

參數名稱	一級產業用地面積	過冷	偏冷	平穩	趨熱	過熱	預測過冷	預測偏冷	預測平穩	預測趨熱	預測過熱	訓練/測試
1991	-2.6087	0	0	0	0	1	0.00000	0.00000	0.00889	0.00322	0.98677	訓練
1992	-1.272	0	0	0	0	1	0.00000	0.00000	0.00385	0.00186	0.99127	訓練
1993	-0.3272	0	0	0	1	0	0.00000	0.00000	0.00349	0.99800	0.00132	訓練
1994	0.7371	0	0	0	1	0	0.00000	0.00000	0.00608	0.99764	0.00111	訓練
1995	-2.4974	0	0	1	0	0	0.00000	0.00596	0.99489	0.00000	0.01828	測試
1996	-0.5985	0	0	1	0	0	0.00000	0.00000	0.99953	0.00224	0.00471	訓練
1997	-1.3515	0	0	0	1	0	0.00000	0.00000	0.00003	0.99999	0.00025	訓練
1998	135.411	0	0	1	0	0	0.00177	0.00000	0.99888	0.00000	0.00000	測試
1999	-1.0893	0	0	1	0	0	0.00000	0.00000	0.99999	0.00027	0.00018	訓練
2000	-0.2149	0	0	0	1	0	0.00000	0.00000	0.00014	1.00000	0.00265	測試
2001	-1.0895	0	0	1	0	0	0.00046	0.00022	0.97986	0.00000	0.00035	訓練
2002	-0.184	0	0	1	0	0	0.00001	0.00036	0.99941	0.00006	0.00000	訓練
2003	-0.309	0	0	1	0	0	0.00000	0.00001	0.99994	0.00000	0.00455	訓練
2004	-0.423	0	0	1	0	0	0.00024	0.00778	0.98206	0.00002	0.00000	訓練
2005	-0.4281	0	1	0	0	0	0.01095	0.97014	0.01603	0.00000	0.00000	訓練
2006	0.0945	0	0	1	0	0	0.00001	0.03042	0.97876	0.00000	0.00160	測試
2007	-0.4616	0	0	1	0	0	0.00004	0.01324	0.97241	0.00000	0.00000	訓練
2008	0.1755	0	1	0	0	0	0.00000	0.98965	0.00564	0.00079	0.00000	測試
2009	-0.5512	1	0	0	0	0	0.99386	0.00442	0.01683	0.00000	0.00000	訓練
2010	-0.2438	0	0	1	0	0	0.00000	0.00002	0.99968	0.00000	0.00002	訓練
2011	-0.1372	0	0	1	0	0	0.00000	0.00074	0.99629	0.00072	0.00000	訓練

(3)推論樣本預警實證

將 2012-2033 年警兆資料輸入 GANN 網路，模擬臺未來警情，結果顯示臺中市土地利用生態經濟發展於 2012-2033 年呈現長期穩定，但有逐年偏冷趨勢的持平狀況，故有待策略積極施為提振利用效益。(表 7、圖 18)

表7 2012-2033年臺中市土地利用生態經濟發展景氣狀態反應權值一覽表

項目	都市總人口數變化	建築用地面積變化	稅捐總收入變化率	環境保護支出變化	二氧化碳總排放量	二氧化碳排放量	一級產業用地面積	推論過冷	推論偏冷	推論平穩	推論趨熱	推論過熱
2012	-8.647144529	-3.471616377	13.37535486	-42.53621725	13.41944635	13.41944635	-0.057123484	8.513525E-9	4.845144E-6	0.9995936	2.061856E-9	4.854167E-8
2013	0.041084634	0.632854969	5.152354571	43.27578299	4.533510727	4.533510727	0	2.061856E-9	0.0003322579	0.9979971	4.728292E-5	2.061856E-9
2014	0.041067762	0.628677609	4.847207587	44.00764479	4.336897034	4.336897034	0	2.061856E-9	0.0004952701	0.9974789	5.531063E-5	2.061856E-9
2015	0.041050903	0.624749946	4.673366834	44.00830957	4.156628343	4.156628343	0	2.061856E-9	0.0006767532	0.9969342	6.195959E-5	2.061856E-9
2016	0.041034058	0.620871055	4.464714354	44.00790187	3.990747789	3.990747789	0	2.061856E-9	0.0009238476	0.9961436	7.008351E-5	2.061856E-9
2017	0.062034454	0.617040032	4.273897059	44.00788612	3.837598896	3.837598896	0	2.061856E-9	0.0017177	0.9936979	8.495941E-5	2.061856E-9
2018	0.040983607	0.613255997	4.054649625	44.00877251	3.695770065	3.695770065	0	2.061856E-9	0.001660055	0.9938048	8.856088E-5	2.061856E-9
2019	0.040966817	0.60951909	3.939008895	44.00910671	3.564050937	3.564050937	0	2.061856E-9	0.002042806	0.9926209	9.727492E-5	2.061856E-9
2020	0.040950041	0.605825475	3.789731051	44.00935737	3.441397768	3.441397768	0	2.061856E-9	0.002574137	0.9910045	0.0001066861	2.061856E-9
2021	0.040933279	0.602177331	3.651354535	44.00967839	3.326905709	3.326905709	0	2.061856E-9	0.003199891	0.9891438	0.0001160559	2.061856E-9
2022	0.04091653	0.598624226	3.484848485	44.00987289	3.21978645	3.21978645	0	2.061856E-9	0.004039546	0.986751	0.0001250792	2.061856E-9
2023	0.040893796	0.595026726	3.404099561	44.01055824	3.11935004	3.11935004	0	2.061856E-9	0.004763869	0.9846606	0.0001343302	2.061856E-9
2024	0.040883074	0.591509077	3.292035398	44.01031189	3.024990013	3.024990013	0	2.061856E-9	0.005723635	0.9820072	0.0001431315	2.061856E-9
2025	0.040866367	0.588030821	3.187114462	44.01099602	2.936171129	2.936171129	0	2.061856E-9	0.006808879	0.9790799	0.0001516808	2.061856E-9
2026	0.040849673	0.584593233	3.095463301	44.01119944	2.85241922	2.85241922	0	2.061856E-9	0.008338325	0.9751086	0.0001605178	2.061856E-9
2027	0.040832993	0.581195602	2.997099581	44.01149553	2.773312715	2.773312715	0	2.061856E-9	0.009369951	0.972422	0.000167772	2.061856E-9
2028	0.040816327	0.577837238	2.909887359	44.01183498	2.698475549	2.698475549	0	2.061856E-9	0.0108628	0.9686785	0.0001753547	2.061856E-9
2029	0.040799674	0.574517462	2.827607175	44.01247785	2.627571183	2.627571183	0	2.061856E-9	0.01249732	0.9646707	0.0001826132	2.061856E-9
2030	0.040783034	0.571235614	2.720283856	44.01258457	2.560297543	2.560297543	0	2.061856E-9	0.01480656	0.9592232	0.000190145	2.061856E-9
2031	0.040766408	0.567991046	2.677029361	44.01237313	2.496382718	2.496382718	0	2.061856E-9	0.01618333	0.9559438	0.0001961303	2.061856E-9
2032	0.040749796	0.564783129	2.607232369	44.01318828	2.435581287	2.435581287	0	2.061856E-9	0.01824392	0.9512243	0.0002024344	2.061856E-9
2033	0.040733198	0.561611243	2.513661202	44.01357247	2.377671173	2.377671173	0	2.061856E-9	0.02117111	0.9447653	0.0002090056	2.061856E-9

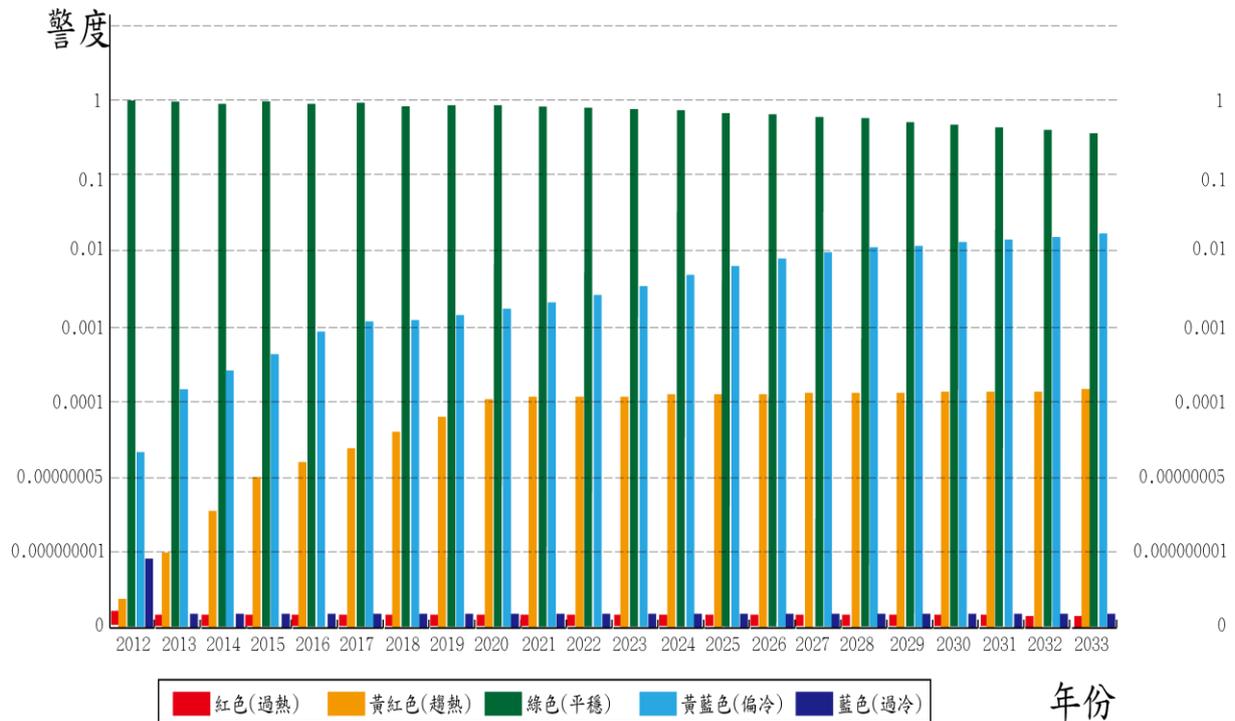


圖18 2012-2033年臺中市土地利用生態經濟發展景氣狀態圖

4. 臺中市都市土地利用生態經濟預警策略

本研究透過敏感性分析篩選適切外生變數，作為排警策略施力點；利用系統動態模型進行策略情境模擬分析，瞭解影響幅距；再藉由 GANN 網路預警系統進行政策評價，掌握政策的有效性。

(1) 外生變數敏感性變數分析

本研究「影響－響應矩陣」進行敏感性分析。主動集變數包含系統所有的外生變數，共計 23 項指標，被動集變數為警兆指標，計 7 項指標。將主動集變數變異 10% 進行試驗，將被動集變數與原先模擬數據對照，取 22 年間差距的絕對值算數平均數，再與原先模擬值 22 年數據平均差進行對照。研究結果顯示，影響最大之外生變數計有交通用地面積(15)、森林用地面積(15)、都市建築用地面積(15) 等三項指標，作為情境模擬之基礎，以瞭解策略施為後主動集變數之影響幅距，並以各子系統中都市總人口數、建築用地面積、稅捐總收入、環境保護支出、CO₂ 總排放量等 5 項積量指標變化狀況，進行下階段情境模擬政策評價。

(2) 策略情境模擬分析

本研究以土地利用平穩狀況為檢核依據，並以確保都市土地利用生態經濟健全發展為政策目標，以警兆指標變動趨勢觀察系統在主要外生變數

中，包含都市建築用地面積、交通用地面積、森林用地面積的單一與複合策略實施行為，對各子系統積量指標變動趨勢，觀察關鍵積量指標在主要外生變數輸入刺激下的行為特性，協助決策者發現有效的策略著力點。

根據內政部營建署之定義，探討土地利用發展與居住密度有絕對之關係：高密度發展為 600 人/ha 以上；中密度發展為 250 至 600 人/ha；低密度發展為 250 人/ha 以下。據此，本研究策略均以控管都市密度發展為主軸，進行策略模擬趨勢分析，包含土地建築政策（降低都市建築土地發展密度，確保生態經濟環境）、交通政策（增加交通道路面積，促進土地利用可及性及效益）及交通政策（增加交通道路面積，促進土地利用可及性及效益）等三項政策面向，施以中、低密度發展共計 S1~S6 六項策略，進行單一及複合情境模擬分析。

A. 單一情境模擬分析

分別針對主要外生變數都市建築用地、交通用地與森林用地面積等給予策略操控，模擬結果發現單一策略對於各警兆指標具有中長期的影響差異，其單一策略施為有引起模型局部變動差異之狀況。GANN 警情評價顯示單一策略無法確保土地資源有效利用、提升政府財政稅收能力與健全生態環境等多目標政策要求，警情依舊朝向偏冷發展。故知，若欲提供合宜的都市建築用地、提升稅捐收入、減少環保支出、降低 CO₂ 排放，並兼顧土地利用朝向長期穩定發展，實難於單一策略情境中操控達成。

B. 複合情境模擬分析

為強化確保都市土地資源有效利用、提升政府財政稅收能力與健全都市生態環境的多目標政策要求之達成，本研究以 2011 年為基期，將前述策略組合為二項複合策略：

(A) 複合策略一(CS1)

-- S1 低強度提昇土地利用面積：都市建築用地面積增加 160 平方公里

S3 低強度提昇交通路網面積：交通用地面積增加 16.36 平方公里

S6 高強度降低森林綠覆面積：森林用地面積降低 4.32 平方公里

CS1 策略以低強度增加建築、交通用地面積與高強度減少森林用地面積干擾後，相對於原模型與 S1、S3、S6 各別單一策略，從 SD 系統模擬結果顯示 5 項積量指標於 22 年間，因都市建築及交通用地面積的增加，提昇產業用地可及性刺激經濟發展，都市人口總數呈現穩定增加趨勢，稅捐收入與環保支出相對有大幅度提昇，惟因建築用地增加且高強度減少森林用

地面積，導致 CO₂ 總排放量大幅增加 1529.61 百萬噸，增幅遠大於 S1、S3、S6 各別單一策略，CS1 策略施為雖有利於都市土地利用效益與財政稅收，但產生的 CO₂ 排放量卻鉅幅增長，誕生出較為嚴峻的環境污染問題。

(B) 複合策略二(CS2)

-- S2 高強度提昇土地利用面積：都市建築用地面積增加 320 平方公里

S4 高強度提昇交通路網面積：交通用地面積增加 32.75 平方公里

S5 低強度降低森林綠覆面積：森林用地面積降低 2.16 平方公里

CS2 策略以高強度增加建築、交通用地面積與低強度減少森林用地面積干擾後，相對於原模型與 S2、S4、S5 各別單一策略，從 SD 系統模擬結果顯示 5 項積量指標於 22 年間，因都市建築及交通用地面積的大幅增加，提供充裕的產業及居住用地，經由交通路網與大眾運輸系統的建置，發揮土地利用效益刺激經濟發展，都市人口總數呈現穩定增加趨勢，稅捐收入與環保支出皆有大幅度提昇，雖因建築用地高強度增加，但由於緩慢的森林用地面積調節及抑制不當的林地開發行為，並配合環保支出的大幅挹注之下，維持較高效益固碳能力，CO₂ 總排放量僅有較小幅度增加，空污問題較易透過節能減碳措施與環保支出的提高，予以改善。

(C) 複合策略綜合評價分析 (CS1 v.s CS2)

CS1、CS2 模擬結果顯示系統於都市人口數、稅捐收入警兆指標皆有相同增幅，另在環保支出有不同程度增加，但兩種策略對都市建築用地面積與 CO₂ 總排放量有較大變動差異，CS1 策略施為下都市建築用地面積增加 27.24km² (增幅 7.57%)，而 CS2 策略則增加 782.7 km² (增幅 70.19%)，亟大幅度提昇了都市土地利用面積；另 CS1 策略下 CO₂ 總排放量鉅幅增加 1529.61 百萬公噸(增幅 84.69%)，遠高於 CS2 策略下的 122.34 百萬公噸(增幅 30.68%)，故從以上複合情境模擬分析評價結果顯示，CS2 策略施為下系統的整體表現，相較於各單一策略與 CS1 複合策略施為佳。

將 CS1、CS2 的 5 項積量指標 2012-2033 警兆資料帶入 GANN 網路，顯現臺中市土地利用未來警情，CS1 施為下 2019 前景氣有趨熱但逐漸平穩警情，惟 2020 年起呈現長期穩定逐年偏冷的持平狀況 (圖 19)。CS2 施為下則初期有偏冷狀況，惟 2016 起有長達 18 年穩定狀況趨勢。綜合評價結果顯示，CS2 策略模擬效果相較 CS1 策略施為，具有較佳的的政策優勢效益 (圖 20)。

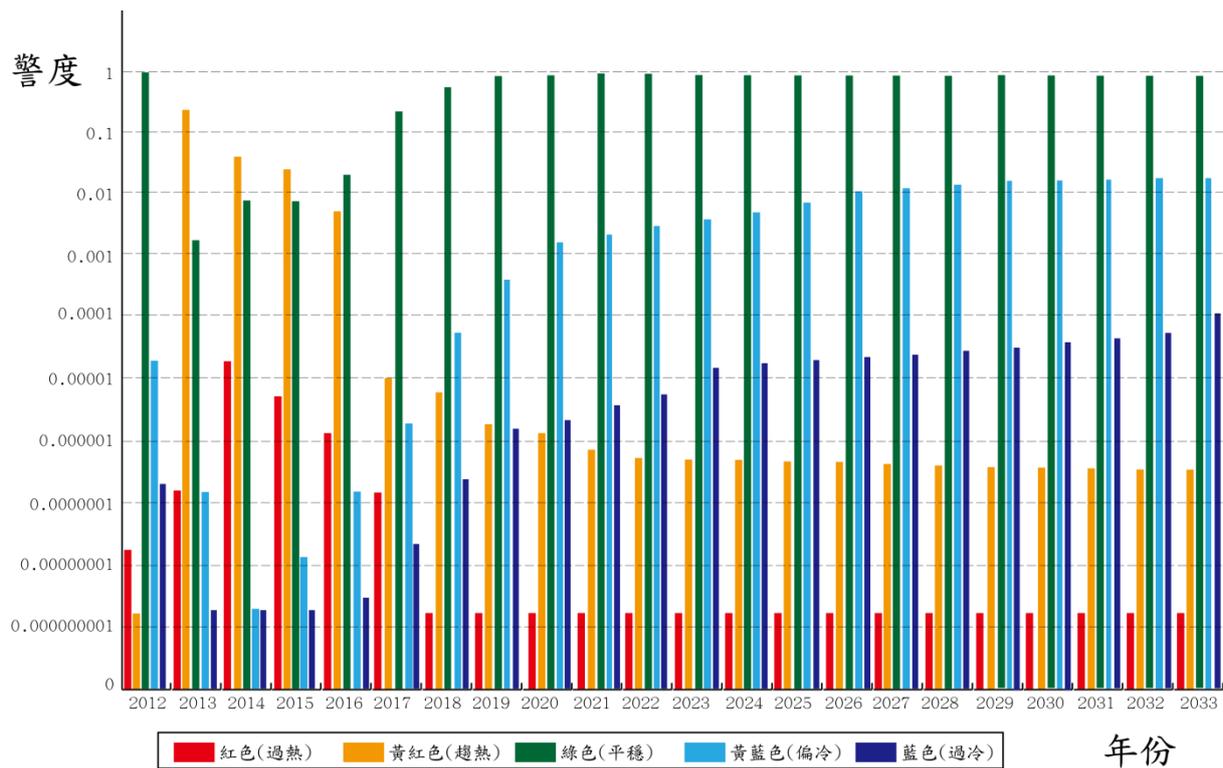


圖 19 複合策略一(CS1)2012-2033 年臺中市土地利用生態經濟發展景氣狀態圖

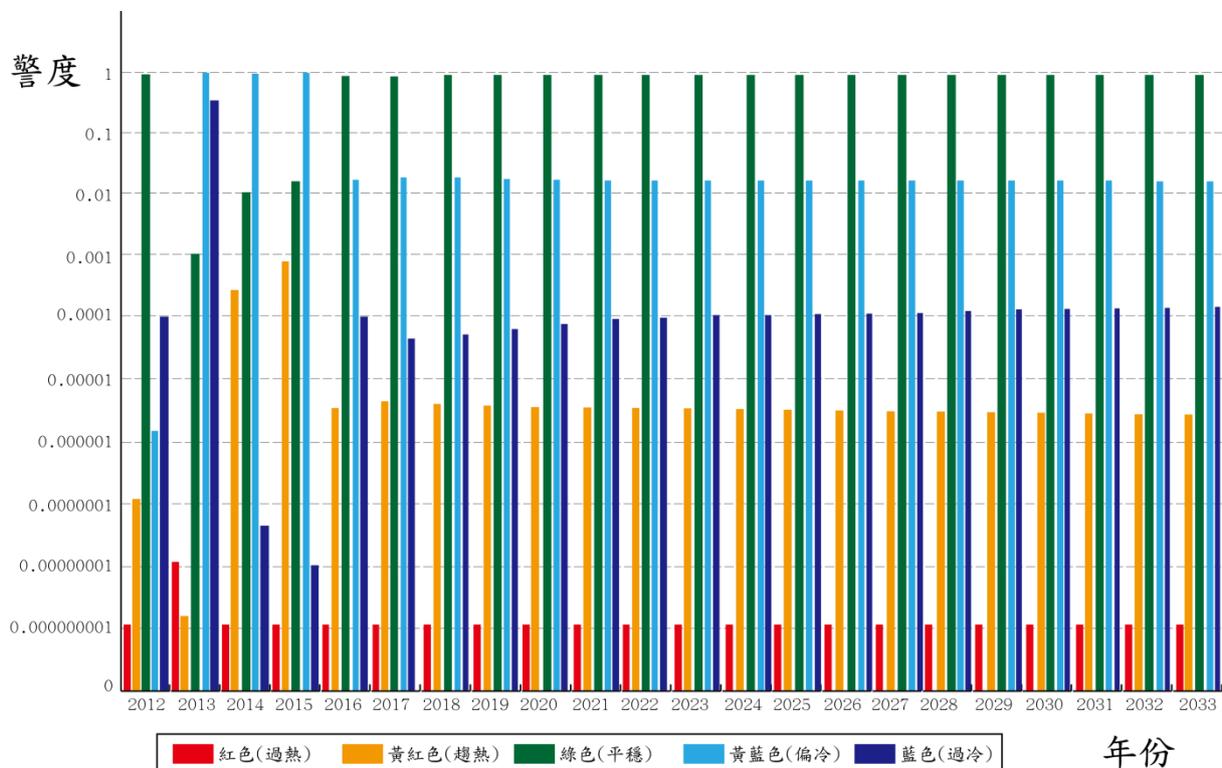


圖 20 複合策略二(CS1)2012-2033 年臺中市土地利用生態經濟發展景氣狀態圖

綜上，本研究為紓緩逐年偏冷的臺中市都市土地利用生態經濟發展景氣趨勢，於複合策略作為下，分析結果發現較高強度提升的都市建築用地與交通路網建設，以及緩和的森林生態綠地調控之複合策略綜合施為下，可將都市土地利用生態經濟發展長期偏冷狀況，逐步推向長期平穩發展，達到確保都市土地資源的有效利用、提升政府財政稅收能力與健全都市生態環境的政策目標。

二、研究發現

(一) 以系統工程可有效建構都市土地利用生態經濟系統

本研究透過文獻回顧，利用系統思維觀點將系統，視為層次複雜之主系統，藉由主從系統與指標變量層，界定指標規範釋義，透過模糊德爾菲專家問卷調查法，有效建立系統指標體系與指標因果回饋環圖。

1. 利用系統思維可有效探索都市土地利用生態經濟系統運作原理與問題

利用系統思維方法，有效分析系統涉及社會、經濟及環境系統範疇之競合問題，系統性釐清系統運作原理與機制。

2. 利用系統工程與系統動態技術可釐清都市土地利用生態經濟系統結構

利用系統動態學技術，將系統解構為都市人口、建設用地、產業經濟、交通運輸及環境生態等五個子系統，組構為一完整運作回路。

3. 都市土地利用生態經濟系統為高階次、高動態與高反饋性之複雜系統

利用系統思維與動態分析方法，從時間縱軸與運作橫軸面剖析系統運作機制，並透過歷史數據及指標體系，模擬預測及研擬因應對策。

(二) 以系統動態模擬模型可有效模擬驗證臺中市土地利用發展特性

本研究藉由所建構之模擬模型進行基本模擬與趨勢分析。研究發現臺中市都市土地利用生態經濟發展具有如下之發展特性：

一、穩定型發展：

臺中市為一增長型都市，都會整合後重大建設陸續推動，土地需求增加、環境污染加鉅，都市人口、產業發展、環境保護與土地供給利用將互為制約牽絆，在都市建築土地面積有限下，呈現緩慢穩定發展之態勢。

二、多面向整合：

臺中市都市土地利用由多系統構成，需整合社會、經濟與生態發展需求，為一複合型生態經濟系統，未來於都市經濟發展與環境保護政策規劃上，二者須兼顧平衡發展。

三、反應快速：

臺中市人口與各級產業蓬勃發展，牽動建築土地供需與利用變化，轉化為對空污、水污、垃圾等環境污染影響，計量當年度即呈現快速反饋現象，都市土地利用生態經濟系統內部變數對於外生變數之反應甚為迅速。

四、供需減緩：

臺中市建築用地供需在人口、產業、土地利用型態與環保政策等條件變遷下，未來土地利用將迥異於八十年代活絡之型態，在經濟發展與環境保育互為衝擊下，建築土地量額趨於減緩，未來都市更新重建為必然趨勢。

五、連鎖效應強：

在國際金融經濟接軌下，房地產市場將成為國際市場，土地利用與環境保護應有國際觀，產業經濟無邊界的發展將造成房地產市場正面成長，政府對於土地利用預警與環境污染防治，必須及早建立完善之因應機制。

(三) 以類神經網路預警模型可有效警示臺中市土地利用警情及情境模擬

本研究由系統動態學探討臺中市土地利用系統因果關係及建置動態模擬模型預測發展趨勢，並結合建構遺傳演算類神經網路預警系統進行警情模擬及政策評價，結果表明較高增加的都市建築用地、交通用地及緩和森林用地涵養的複合策略配套施為，可較為有效確保都市土地資源有效利用與提升生態經濟平衡。本研究模擬模型建構過程中效度、敏感性與策略模擬之研究發現如下：

1. 模型有效性檢驗

(1) 「都市土地利用系統動態模擬模型」

模型建構過程中實施反覆檢測，期能藉此不斷測試模型效度(Validity)方式來修正模型，其效度測試包含模型目的、結構行為、參數的確認等過程。本研究透過1990年至2011年共22年間數據的檢核，分析歷史值與模擬值間平均誤差值，並利用 χ^2 檢定模型可應用性。模擬結果顯示，各子系統中變量模擬值皆與歷史值近似，所有觀察變數平均誤差值更僅有9.16%，相當準確契合臺中市實際狀況，具有準確的預測能力，可作為輔助臺中市都市土地利用問題研究與管理實務之決策工具。

(2) 「都市土地利用生態經濟預警系統模擬模型」

本研究以遺傳演化類神經網路建構都市土地利用生態經濟預警系統模

擬模型，從模型分類研究預警系統。利用 1991-2011 年臺中市土地利用 7 個警兆變動率對進行訓練與測試，尋求 7 維空間 R7 到 5 維空間 R5 的近似模型映射過程，得到預期的預警模型，將 2012 年至 2033 年之警兆資料，輸入網路預警知識庫進行模擬，相當精確的警示臺中市土地利用生態經濟發展警情，分析顯示未來臺中市土地利用生態經濟發展將呈現長時期偏冷的低靡狀況，有待策略積極施為，提振市場景氣。

2. 模型變數敏感度分析

敏感性分析法係指在指標變動一單位狀況下，監測被指標變動幅距，找出對系統內對於外生變量變動有較大變異的變數，選取為監測都市住宅市場警兆指標。主動集變數包含系統中所有的外生變數，本研究將主動集每個變數變異 10% 進行試驗，觀察被動集變數變動幅度。將被動集中被觀測變數之響應值加總，計算其算術平均數為 29.2，作為篩選指標之門檻值，留存之指標包括一級產業用地面積、CO₂ 排放量等 2 項，結合系統內原 5 個積量，篩選出可確實反映警情的 7 個都市住宅市場警兆指標。

另研究發現主動集內影響程度較大之輔助變數以交通用地、森林用地面積、都市建築用地面積為最高，其次為道路長度，再者依序為一級產業產值、其他 CO₂ 排放量、人口自然增加率、人口社會增加率及人口死亡率等。研究發現，都市土地資源面向政策施為關鍵施力點，篩選出的都市建築用地、交通用地與森林用地面積等敏感指標可作為情境模擬基礎，進行相關土地利用政策評價。

3. 策略情境模擬分析

本研究以確保都市土地利用資源有效利用、提升政府財政稅收能力、健全都市生態環境為政策目標，以警兆指標之變動趨勢觀察系統模型在都市建築用地面積、交通用地面積、森林用地面積之單一策略與複合策略施為後的行為變動趨勢，檢核是否能達到平穩發展狀況。

(1) 單一策略情境模擬

研究發現單一策略對於各警兆指標具有短、中、長期的影響差異，其單一策略施為有引起模型局部變動差異之狀況。GANN 警情評價中亦顯示單一策略無法兼顧都市土地利用生態經濟發展確保都市土地資源的有效利用、提升政府財政稅收能力與健全生態環境的多目標政策要求，都市土地利用警情依舊朝向偏冷發展。由此可知，若欲提供合宜的都市建築用地、提升稅捐收入、減少環保支出、降低 CO₂ 排放等要素，並兼顧土地利用警

情朝向長期穩定發展，實難於單一策略情境中操控達成。

(2) 複合策略情境模擬

複合策略情境模擬改善模型行為，係針對主要外生變數都市建築用地、交通用地與森林用地面積等給予策略複合操控，透過多種策略的複合模擬，系統表現的行為趨勢遠較單一情境模擬理想。另經由 GANN 的檢驗，發現 CS2 以較高強度的都市建築用地、交通用地調增與較低強度森林用地調降，複合施為下使原本趨於偏冷的景氣趨勢，於 2016-2033 年有長期的平穩警情趨勢，模擬效果較 CS1 為佳，說明複合策略施為較有可能達到平穩的景氣狀態，並可避免單一策略局部施為下造成的劇烈變動。

(四) 以都市土地利用生態經濟預警系統可有效應用於政策模擬評價

本研究創新結合系統動態學與類神經網路技術，建構臺中市都市土地利用生態經濟預測與預警模擬模型，進行土地利用政策模擬評價。研究發現複合情境模擬中透過多種策略複合施為，系統最後所呈現的行為趨勢較單一情境模擬理想，就長期趨勢演化中，都市建築用地面積的調升可有效提供土地利用標的，供各級產業發展及都市人口居住彈性轉化使用，具有平抑地價上昂及提昇政府財政稅收意之效益；交通用地面積的增加，可增進交通網絡建設，提高都市土地利用之可及性、強化人貨暢流無阻有利於經濟發展；森林用地面積的調控，可調解不當開發使用降低森林承載負荷，促進自然林地固碳降污及涵養調節氣候之能力，有益都市居民之健康，三者同步施為下，將可有效穩定都市人口成長、確保充足的財政稅收支用以支應必要的環保支出，以及在增加提供都市可供建築土地利用下，亦能有效的抑制 CO₂ 排放量的進一步惡化，達成都市土地利用資源有效利用、提升政府財政稅收能力、健全都市生態環境之政策目標。

陸、結論及政策建議

本研究依據臺中市歷年土地利用生態經濟發展狀況，從土地利用生態經濟預測及預警兩階段鋪陳整體監測預警機制，建置具備動態適切、可即時政策評價的都市土地利用生態經濟監測預警動態模擬系統，提昇都市土地利用風險防制，促進都市土地利用生態經濟永續發展。

本研究結論與建議，首先歸納分析說明整體研究之成果；其次就未來土地利用政策推動與後續研究方向提出具體建議，希對臺中市政府土地利用主政者有所助益。

一、結論

都市土地利用是都市生態經濟體系的重要組成部分，其發展之良莠受制於都市計劃發展、都市土地資源供需狀況以及土地開發管理相關政策的總體施為結果。土地利用為都市建設與管理系統之重要構成要素，而土地利用生態經濟預警系統的建構為此管理體系中重要之一環，當土地管理者同時面臨促進土地利用效益及維護都市生態環境，以求經濟與保育二者平衡永續發展之施政目標時，應如何兼顧並重進行評估及制定決策時，本研究所建立之土地利用生態經濟預警機制即為提供土地利用管理者最佳之決策評估工具。本研究藉由瞭解都市土地利用之結構特徵與運作方式，以及影響土地利用變動之外在變數，建立影響都市土地利用變動因素之系統動態模型，希藉由系統動態的模擬方法，探討系統模型於因果回饋關係運作之下，多變數間的相互影響情況，並透過模型模擬及改善系統行為之過程，從中發現當系統受外在環境衝擊時最為關鍵敏感之要因，使管理決策者能夠選擇正確的政策槓桿著力點，協助決策者研擬相關政策，提高整體土地利用管理績效，亦可藉由模型的模擬操演預先驗證政策施為之成效。

綜上，從生態都市永續發展之前提下，進行都市土地利用的研究、定量預測和政策模擬，將可深刻瞭解影響土地利用生態經濟運行的主客觀變數要因，進而理解土地利用與都市生態經濟互動體系的互動原理、反應強度、頻率和持續時程，有助於都市土地利用主政者評比、擇定與實現最優政策方案，以期高效率調控都市土地利用、提高都市稅捐收入與實現優質生態環境之施政目標。本研究主要內容與成果如下：

1. 應用專家諮詢協同敏感度分析建構預警指標體系

基於對國內外都市土地利用運作及預警研究現狀的分析，將非均衡理論、週期波動理論和衝擊傳導理論相結合，歸納都市土地利用生態經濟預警基本理念、基本原則和基本方法，運用模糊德爾菲專家問卷法擇定都市土地利用生態經濟運作指標，並利用敏感度分析法建構都市土地利用生態經濟預警指標體系，模擬建築、交通與森林用地策略施為，進行政策尋優及評價。

2. 推動都市土地利用生態經濟預警系統動態模型及其應用研究

結合系統動態學、遺傳演算類神經網路的基本原理與預警步驟，進行應用及分析。系統動態學優勢為利用定量和實驗方法來研究社會經濟行為中複雜的資訊回饋與滯延作用特徵，並以模擬方法來研究政策的作用和系

統行為中滯延作用對系統動態行為之影響，其適合作為較長時期動態策略性的研究分析；再者，利用遺傳演算類神經網路自組織與自學習的映射擬合功能，通過警兆指標趨勢值，運用警情判斷準則進行綜合指標警情分析及評定。

3. 透過情境模擬進行都市土地利用生態經濟發展預測預警及策略評價

結合Vensim SDSS 5.9及GANN軟體技術，可建請創立「都市土地利用生態經濟發展策略與決策實驗室」，對臺中市土地利用預警定量模型分析與定性方法分析之結果進行比較分析，透過情境模擬進行策略評價，提出相關政策調控建議。實證分析的結果與臺中市土地利用發展實際情況吻合，顯示建構之都市土地利用生態經濟預警系統有效可行，應用價值高可為指導、模擬和調控都市土地利用提供可行模擬與評估之最佳工具。經由上述研究，本研究之結論如下：

(一) 以都市土地利用發展特徵面向掌握預警策略措施之有效性

1. 應儘速建立臺中市土地利用生態經濟預警系統

隨著臺中院轄市發展將進一步擴大中部城鄉差距，都市間競爭將更形劇烈，成為另一種無邊界的競爭模式，都市土地利用問題將更形複雜化，成為都市經濟最重要環節之一，將是評估都市整體產業經濟競爭力與都市生態環境永續發展的重要指標；由於都市土地利用具有顯著地域特性，其榮枯取決於產業發展與都市生態環境品質，為防止過度的土地重劃開發與不當的土地利用行為，實有及早建構臺中市土地利用生態經濟預警系統之必要，據以引導臺中市都市土地利用與生態環境朝向永續健全發展。

2. 都市建築用地供給與使用應予嚴格控管

都市土地利用主要為各級產業發展與居住生活所需之用地，研究發現近年來臺中市由於工商服務業的蓬勃發展，二、三級產業發展有逐年侵蝕一級產業用地與森林用地之現象，諸多農業與保育區透過市地重劃與區段徵收方式，將原使用用途單純且屬低建築強度的農地、森林用地或未編定土地，大面積轉換為可建築用地，其現象尤以為解決西、南屯區農業用地大規模未登記工廠違規使用問題，輔導以有條件的都市計畫變更編定，將一級產業用地轉變為二級產業用地最為嚴重，而在農業用地不足情況下又導致部分農業生產轉向山坡地進行違法的整地開墾，危及水土保持與自然山林固碳之功能，此不當土地利用情形若能未及早管控，未來生態保育用地遭受侵蝕問題恐將愈形單重，因此各級產業用地的有效調控與違規使用

行為，已然成為已編定管制的都市土地利用最受關注而亟待解決之課題。

3. 土地管制與環保策略措施具有較佳之策略評價

透過敏感性分析得知，土地管制策略與生態環保策略對於都市土地利用之調控具有較大影響力，政府亦常以都市計劃及土地改革策略作為做為改善與控管土地利用之手段，對於高污染產業並應藉由環境影響評估管控與加強環保措施，降低CO₂排放為容許產業營運之條件。依本研究情境模擬分析結果，以調控建築用地與交通用地供給量的升降為主要土地調控措施，另以森林用地的管控作為調節二氧化碳固碳量為環保主要之調控措施。研究發現，小幅度增加建築用地與交通用地面積，土地利用發展密度將與之成正比例降低，區位適宜的建築用地提供產業集中發展，將帶動政府稅捐收入相應增加，然其中長期將產生較為嚴重的二氧化碳排放，空氣品質下降幅度增大，相對環保支出亦將增加；而大幅度增加建築用地與交通用地，都市土地利用密度有著較大幅度的下修，利用臺中市29個行政轄區都市計畫通盤檢討之機制與透過都市更新整建維護之手段，並加強污染防治措施，提昇都市土地利用之效益。惟政府常基於財政壓力透過土地重劃改革手段，增加都市利用土地面積用以標售增加財政收入，短期雖可刺激景氣發展，但建築用地若供應過剩長期將造成土地建物閒置情形，不利於整體都市土地利用的健全發展；而環保面向中的森林用地的有效控制策略，將有著調節吸納過剩的可建築用地的良性效果，並提昇自然林地固碳功能，因此環保策略應為政府當局所側重的施為手段。

4. 有效掌握不同土地利用警情之警兆指標

經由GANN的反應權值分析，結果顯示臺中市土地利用生態經濟發展過熱時主要影響變數為建築用地面積、環境保護支出、總排放量、稅捐總收入、都市總人口數、與一級產業用地面積、CO₂排放量等變動之綜合影響；趨熱時主要受到建築用地面積、一級產業用地面積、環境保護支出、都市總人口數、CO₂總排放量、稅捐總收入與CO₂排放量等變動之制約，影響顯現均質性；平穩時則受到一級產業用地面積、環境保護支出、建築用地面積、都市總人口數、CO₂總排放量、稅捐總收入與CO₂排放量等變動情形之影響較為顯著；偏冷時以一級產業用地面積、環境保護支出、建築用地面積、都市總人口數、CO₂總排放量、稅捐總收入與CO₂排放量等變動情形具較大影響力；過冷時之主要影響變數則為一級產業用地面積、環境保護支出、建築用地面積、CO₂排放量、CO₂總排放量、稅捐總收入與都市總人口數等變動狀況等變動狀況；以上說明了不同警兆在不同警情中對於土地利

用有著不同程度的影響權重；為求策略施為的有效性，應從明晰都市土地利用生態經濟警兆著手，當可獲至確切策略施為模擬與評價之效益。

(二) 以方法論面向確認研究創新方法之可操作性及應用性

本研究進行量化模型建構，運用模糊德爾菲專家調查法作為都市土地利用指標評選工具，具體驗證其可操作性與客觀性，再則以系統動態法作為土地利用預測模型建構之方法，透過歷史值驗證模型效度，最後藉由遺傳演算類神經網路建構都市土地生態經濟預警模型，以利後續的政策情境模擬。總結本研究量化模型之建構，就模型操作過程與結果提出下列結論：

1. 運用模糊德爾菲專家問卷調查法可確實篩選代表性之指標

一般而言傳統指標準則之評價多採行德爾菲法，利用專家問卷方式獲取專家意見後，再經由專家意見的一致性檢定與反覆回饋等方式，歸納出指標準則。惟對於偏向公共議題的社會學科領域研究，專家意見常有表達不明確或模稜兩可的狀況，研究者常無法有效判別專家意見之要義予以精確歸納分析，故本研究運用模糊函數與德爾菲法整合後之模糊德爾菲法，能夠具體量化明確表徵專家意見，進而篩選具系統整體代表性之指標。本研究應用模糊德爾菲法結合電腦運算，結果符合預期假設，可明確呈現專家的三角模糊評價，評選出之指標亦相當貼近後續敏感性分析所呈現的主要影響變數。

2. 運用系統動態模型可明晰指標動態回饋之關係

本研究依據模糊德爾菲法篩選出之指標，作為系統動態模型建構之基礎。以系統動態學建構之模型經過相關數據模擬並進行模型修正後，將模擬值加以對照歷史值，顯現相當微小的誤差(平均誤差9.16%)，確認模型效度，亦確認系統動態模型可應用於都市土地利用研究領域範圍，可提供相關研究領域更加明確之量化基礎，驗證系統動態模型能夠有效釐清變數與都市土地利用間的互動反饋關係。

3. 運用類神經網路方法可識別土地利用警情及執行政策之評價

本研究進一步利用敏感度分析篩選市場警兆指標，並應用遺傳演算類神經網路建構都市土地利用生態經濟預警模型，經過相關數據輸入後建立識別知識庫，其樣本誤差均方根RMSE(訓練樣本0.00735;測試樣本0.00748)驗證模型有效性，再對2012-2033年臺中市土地利用生態經濟發展進行警情鑑別，藉此分析發現臺中市未來土地利用警情將呈現長期穩定，但有逐年偏冷趨勢的持平狀況，有待研擬因應措施，同時亦確認遺傳演算類神經網

路技術，可資應用於都市土地利用生態經濟預警研究之領域。

4. 運用複合策略較單一策略施為具有較佳之政策評價

為改善緩解臺中市土地利用逐年趨冷持平發展之預測狀況，利用都市建築用地面積、交通用地面積及森林用地面積作為策略施為槓桿著力點，政策模擬單一策略施為與複合策略綜合效用下都市土地利用警情變動情形，並藉由GANN進行策略施為效用評價，得知較高強度增加建築用地、交通用地與緩和的森林用地面積調控之複合策略施為，較可能達到都市土地利用平穩發展與兼顧環境保護的政策目標，同時亦顯現複合策略相較於單一策略施為，具有較佳之政策評價。

二、政策建議

都市土地利用生態經濟預警系統是一個持續性課題，有待建立具備制度化且常態性的土地利用生預警體系，以引導土地利用合宜健全地發展。對臺中市土地利用的實證研究發現，本研究所建構基於系統動態建模、遺傳演算類神經網路的都市土地利用生態經濟預警系統能滿足土地利用預警實際應用需求，後續研究可分從下述方向探研之。

(一) 都市土地利用生態經濟預警系統持續研究之建議

1. 加強都市土地利用微觀與質性議題之研究

受限於研究範圍與時間限制，本研究為從宏觀的都市土地生態經濟發展面向，探討都市土地利用系統之運作，建構都市土地利用生態經濟系統動態模型時，僅考量都市土地利用本身之供需、產業經濟及生態環境等變數，惟影響都市土地利用變動因素極為複雜多變，諸如區域土地環境條件、文化人文環境變遷對於土地利用之期待及需求、土地利用決策管理者與開發使用者的規劃理念及預期心理，乃至於土地利用行為樣態與利用品質等微觀與質性因素，亦會影響都市土地利用的整體發展，若能將前述因素納入系統擴大探究，定將能夠更精確地掌握整體都市土地利用生態經濟發展之變動。此外，本研究尚待進一步探討都市土地利用中資訊流滯延之影響效應，例如有關土地供給與管制、各級產業發展與環保措施等政策發佈後至對土地利用產生實質影響的滯延效果等因素，若系統可同時反映出資訊流滯延效應，並兼顧系統模型精簡性與代表性原則，避免系統過於龐大難以收斂，則將可更精準有效的協助決策者研擬具體妥適的土地利用政策。

2. 建立個別都市土地利用預警指標體系

本研究歸納相關準則指標，並考量現有可能之統計數據，再經由模糊德爾菲法建立都市土地利用生態經濟預警指標。惟考量個別都市土地利用特性與統計數據差異，建議個別都市建立能展現個別都市土地利用特性的預警指標，作為監測政策施行效益之檢討依據，並據以檢視整體系統互動關係，建構個別都市土地利用生態經濟預警系統。

3. 建立全國性都市土地利用預警體系

本研究針對都市土地利用生態經濟發展，利用系動態學、遺傳演算類神經網路，建構了單一的都市土地利用數據收集處理子系統、監測預報子系統、排警子系統之監測預警系統，然而落實具體運用時，應依條件建立地域、土地及功能等三維度都市土地利用生態經濟預警系統（圖21），即先由下而上逐級綜合資訊數據，彙總處理後再自上而下（宏觀至微觀）發佈警情報告及調控政策，以有效掌握全國都市土地利用生態經濟發展警情。

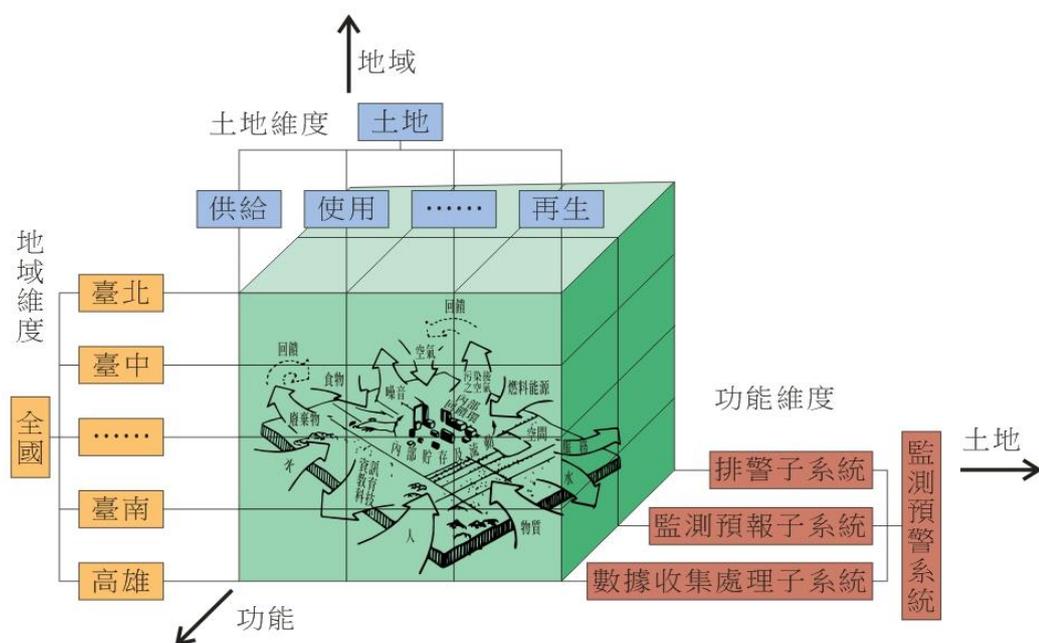


圖 21 三維度都市土地利用生態經濟預警系統架構圖
資源來源：劉正智，2010；本研究整理。

4. 逐步實現土地利用實時預警監控

都市土地利用生態經濟發展基礎資訊，為都市土地利用生態經濟預警預報指標體系之數據基礎，利用資訊化技術建立由各公務機關統計資料庫提供，包含土地利用、財政稅收與生態環境三大資訊系統數據庫在內的都市土地利用預警資訊系統，並增加預警指標數據頻率，從每年、每季提昇

至每月收集數據，為都市土地利用生態經濟系統實時預警監測奠定基礎。

5. 提高土地利用預警系統智慧化

由於都市土地利用生態經濟發展具備高度之複雜性，導致任何模型皆難以精確地描述實際的發展狀況。因此，要積極吸收土地利用與生態經濟相關專家學者寶貴意見，將專家系統作為都市土地利用生態經濟預警系統的重要組成部分，通過知識推理或自學習機制，不斷改進系統性能，建立具有專家知識表達與分析能力的智能化預警系統。

6. 土地利用開發建築行為預警系統擴展研究

本研究結合模糊德爾菲法、系統動態學與遺傳演算類神經網路，建構都市土地利用生態經濟預警系統動態模擬模型，經由研究實證其適用性，延續此一多方法協同研究，可將之擴展應用於土地開發利用行為中，具體而微的商業、辦公、廠房、倉庫與住宅等各類型土地開發建築設施物，構建整體都市土地與建築體系之預警研究。

（二）對未來都市土地利用政策推展之建議

1. 設置臺中市都市土地利用預警系統動態模擬專責機構

都市土地利用在未來國際的社經條件及金融環境變遷下，其傳導速率將更為快速，週期波動將更為模糊，衝擊將更為深切，為因應其快速變遷，須不斷模擬與觀察市場波動趨勢與走向，並進而掌握最適方案，作出最妥適決策，故建議可於職掌臺中市發展略策的臺中市政府研究考核委員會，下轄建置臺中市都市土地利用生態經濟預警系統動態模擬專責機構，以成立正式組織或任務編組形態進行運作，例如建置研究室或研究小組運作模式，即時實施動態模擬預測與即時預警監控，以定期月報及重大警情立即呈報方式，彙報臺中市最新土地利用生態經濟發展預測與即時警情警示資訊情報，提供上級研考會進一步分析評估，研擬因應的土地供給與管理策略建議方案，呈報決策者擇定方案實施之（圖22）。

2. 建立中臺灣五縣市區域土地利用預警體系

近年來在位處臺灣核心位置的臺中市帶動之下，中臺灣區域五縣市無論於政經發展、人口遷徙、交通與產業發展等已有蓬勃發展與唇齒相依之趨勢，自分佈於苗中彰地區傳統的中小型製造業，乃至於執光電科技產業牛耳的中部科學園區、臺中精密機械園區，形成縱貫中臺南北軸線的科技製造產業鍊帶，透過綿密交通網絡連結依附形成的各經濟生活圈，城鄉界

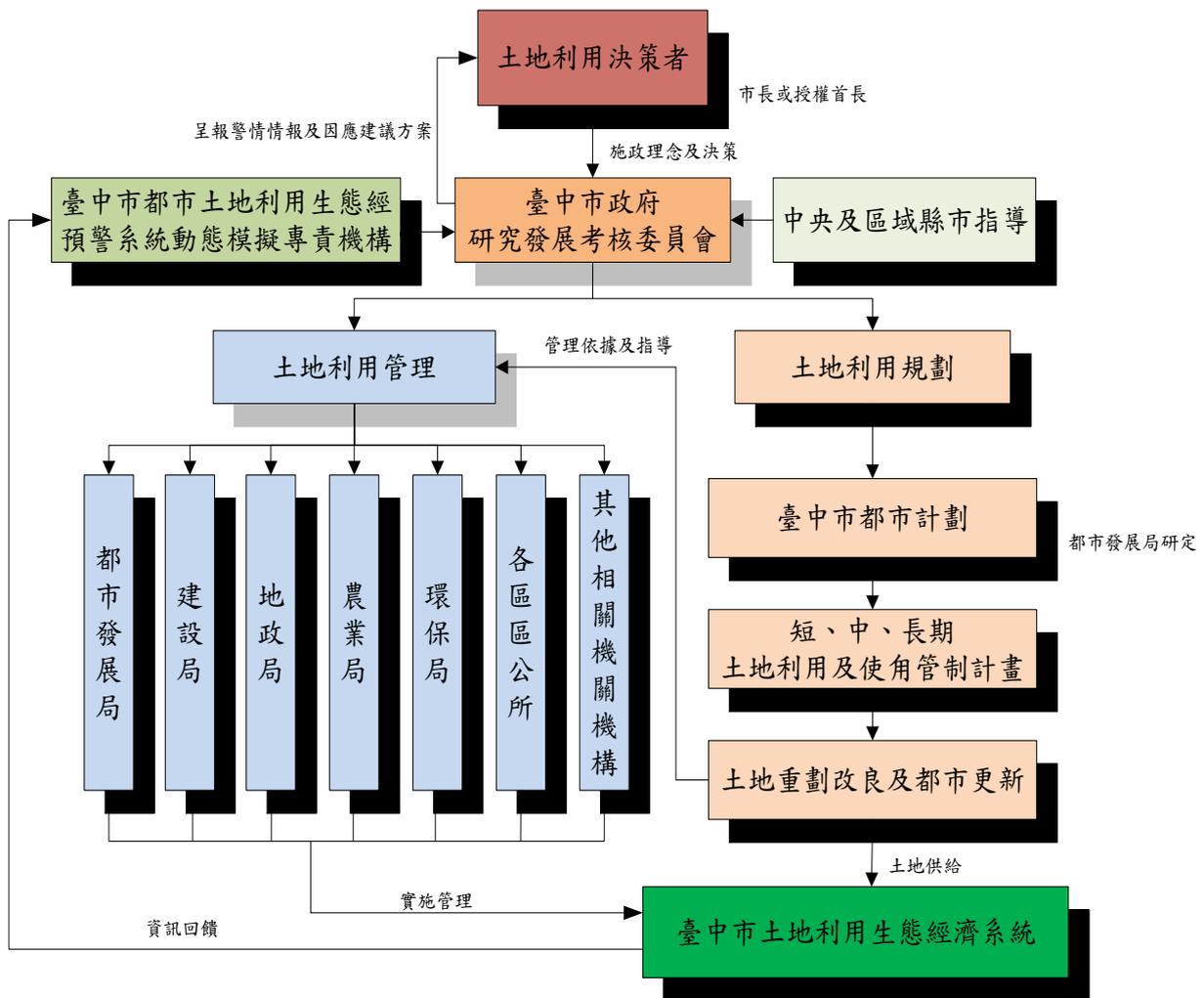


圖 22 臺中市土地利用生態經濟預系統動態模擬專責機構運作示意圖
資料來源：本研究彙整。

線範圍日益模糊，土地利用型態也相互牽連、益加錯綜複雜多變。因此本研究希藉由臺中市都市土地利用預警系統動態模擬機制的建立與未來實際運作的經驗，將之推廣運用至中臺區域土地利用生態經濟發展，建議可透過建立中臺五縣市首長會議管道，凝聚議題共創土地利用預測與預警之共識，再進一步形成執政略策聯盟機制，建制跨縣市的策略任務組織或委由中部學術機關，成立「中臺灣區域土地利用生態經濟預警系統動態模擬跨域協進機構」，負責建構中臺灣區域土地利用預警體系與聯繫協調機制，進行模擬與觀察中臺區域土地利用生態經濟波動趨勢與預警警示工作，並研擬最適因應策略方案建議，提供中臺區域縣市首長會議決策參考。

3. 推動土地多目標利用與加強建築設施物修繕

為提昇土地利用效益與兼顧維護生態環境，應透過修訂都市土地與非

都市土地容許使用項目，明定於一定比例綠化面積原則下，容許土地再增加多目標使用項目。此外，依據內政部營建署調查指出自1990年起新建築物許可申請數量比率已降至約3%，舊有建築則高達97%（蕭文雄等，2007），顯示數十年來土地利用行為下各類建築設施物已逐漸老舊，影響土地利用效益甚鉅，基於土地與建築永續利用的理念，如何加強建築設施物安全使用與修繕，已成為我國建築管理政策之重點。從2013年開始內政部營建署推動簡易住宅修繕補助，每戶最高可補助三萬元，影響所及各縣市亦推動類似修繕補助，臺中市政府更於2016年編列經費1,500萬補助屋齡15年以上老舊建物，進行外牆拉皮、增設昇降設備等修繕項目，每案最高補助金額可達總工程經費75%，推出迄今頗受各界好評。故建議可再擴大建築設施物修繕補助與適用範圍，例如主動提供免費建築物安全檢查調查待修需求，老舊屋齡門檻降低至10年，並提高補助費用額度與增列受理修繕工項，例如增加建築物外觀綠美化、節能減碳智慧建築或綠能設施、建築物機能性修繕及共用設施、增設停車昇降設備等項目，將能有效協助土地利用過程中建築設施物的有效維護與持續使用，降低建築用地需求促進土地利用效能，紓解土地開發頻繁所帶來的環境生態負荷壓力。

4. 都市土地利用管理與再生利用策略應力求嚴謹周延

我國土地利用政策係透過國土綜合開發計劃、區域計劃與都市計劃程序，由上而下進行規劃與管理，惟台灣地狹人稠，長期以來土地利用型態複雜多變，衍生出諸多違反山坡地、水保、土地使用管制與其他相關法令的不當土地及建築使用行為，突顯政府長期土地管理的不善，對於不合時宜的土地再生利用規劃，礙於產業利益衝突與民主政治等主客觀因素的影響，亦有捉襟見肘的困境。以農地違規工廠問題為例，農業用地依土地管制規定僅容許興建農舍及必要之農業設施，惟1970年代我國經濟起飛二級產業蓬發展，因工廠用地取得不易農地違規工廠情形日益嚴重，因違規工廠涉及民生問題，各地主管機關皆未嚴格取締拆除，亦未能及時規劃二級產業用地輔導遷廠。2015年經濟部公告「特定地區個別整體變更編定為丁種建築用地興辦事業計畫審查與作業要點」，明定違規工廠若符合工廠管理輔導法或獲地方主管機關輔導進駐，可申請將目前使用土地變更為丁種工業建築用地，經劃定186個特定地區，除特定農業區以外面積達124公頃的44個一般農業區裡的違規工廠，將可申請就地合法化。惟經濟部基於輔導產業發展協助違規工廠就地合化之措施，與都市計畫土地管制規定及農業主管機關農地回歸農用政策相互抵觸，周邊農地亦有遭受工業廢水汙染破

壞環境之虞，故政府應建立周全的土地再生利用計畫，應先調查違規工廠遷廠需求，透過土地重劃、區段徵收方式，以無公用計畫之公有土地為優先標的或輔導民間興辦，開闢區位、規模適當的合法工業園區輔導違規工廠遷入經營，另土地及建築主管機關亦應同步配合加強取締違規土地利用與違章建築，如此經由有效周全的土地再生利用與嚴格管理措施，短時間內先降低違規使用的污染衝擊、長時間後則輔導適宜區位土地利用，管理與輔導雙管齊下，方能避免土地不當利用、降低環境污染衝擊，兼顧土地利用效能與環境保護，達到臺中市都市土地利用生態經濟永續發展之最終目標。

柒、參考文獻

中文文獻

《一、生態經濟學》

1. 姜學民等，1985，《生態經濟學概論》，河南人民出版社，武漢市。
2. 吳峙山，1997，"開遠市生態經濟規劃研究"，《雲南環境科學》，1997 第一期，pp.335-342。
3. 李鳳全、章明卓、胡忠行、馬遠軍，2005，"城鄉交錯帶土地利用生態經濟預警研究"，《浙江大學學報(自然科學版)》，28(3)，pp.330-334。
4. 李陳、程久苗、鄭欣，2012，"沿江中小城市土地利用變化對生態經濟協調度的影響"，《中國集體經濟》，2012 第三期，pp.88-89。
5. 俞艷、何建華、遠艷斌，2008，"土地生經濟適宜性評價模型研究"，《武漢大學學報(信息科學版)》，33(3)，pp.273-276。
6. 郝慧梅、郝永利、田黨生，2011，"基于 RS 與 GIS 的 LUCC 生態服務功能價值動態核算"，《國土資源遙感》，43(91)，pp.115-120。
7. 陳雯、孫傳、段學軍、陳江龍，2007，"以生態—經濟為導向的江蘇省土也開發適宜性分區"，《地理科學》，27(3)，pp.312-317。
8. 程福祜、黃正夫，1985，《生態經濟問題》，人民出版社，上海市。
9. 張兆福、魏朝富、謝德體，2006，"土地生態經濟系統運行機制及其調控研究"，《綠色經濟》，pp.60-63。
10. 嚴茂超，2001，《生態經濟學新論—理論、方法與應用》，中國致公出版社出版社，北京市。

《二、都市土地利用》

1. 王萬茂、王群，2010，《土地利用規劃學》，北京師範大學出版社，pp.10-15，北京市。
2. 李永展，2002，"以都市指標系統檢談台北市之永續性趨勢"，《都市與計劃》，29(4)，pp.551-574。

3. 宋兆鴻，1994，《土地利用系統工程》，廣東地圖出版社，廣州市。
4. 洪于婷、鄒克萬，2006，"地方永續發展空間結構變遷之分析"，《都市與計劃》，33(4)，pp.321-344。
5. 曼德爾.R.B.，1987，《土地利用理論與實踐》，西北農業大學，咸陽市。
6. 黃書禮、游輝禎、鄭秀藝，1988，"土地使用適宜性分析—評估方法與應用"，《都市與計劃》，Vol.15，pp.1-29。
7. 華寶德、柴強、李玲，1998，《土地經濟學》，中國人民大學出版社，
8. 《臺中市市地重劃成果簡介》，2013，臺中市政府地政局重劃科，
9. 蔡為民、唐華俊，2007，《土地利用系統-健康評價》，中國農業出版社，pp.33-40，北京市。
10. 聯合國糧食及農業組織(FAO)，1985，"立法在發展家土地利用規劃中的作用"，聯合國(United Nations)。

《三、系統動態學》

1. 王承豪譯，Joseph, O'Connor, J. and McDermott, I.等著，1999，《系統思考實用手冊》，世茂出版社。
2. 何友鋒、吳宏基，2009，"都市綠色空間系統動態模式之研究"，《中華民國建築學會第二十一屆第一次建築研究成果發表會論文集》，中華民國建築學會。
3. 何友鋒，2010，"系統工程"，《都市及建築系統模擬與分析課程講義(二)》，朝陽科技大學設計學院建築及都市設計研究所，臺中市。
4. 吳怡彥，2008，"都市生態旅遊系統之研究"，朝陽科擇大學建築及都市設計研究所博士論文。
5. 吳靜宜，2011，"都市河川生態安全動態模擬預警模型之研究"，朝陽科技大學建築及都市設計研究博士論文。
6. 陶在樸，1999，《系統動態學—直擊「第五項修鍊」奧秘》，五南出版社。
7. 楊朝仲、張正、葉欣誠、陳昶憲、葉照憲，2007，《系統動力學—思維與應用》，五南出版社。
8. 劉正智，2010，"都市住宅市場預警系統動態模擬模式之研究"，朝陽科技大學建築及都市設計研究博士論文。
9. 謝長宏，1980，《系統動態學理論、方法與應用》，中興管理顧問公司，台北市。
10. 蘇懋康，1988，《系統動力學原理及應用》，上海交通大學出版社，上海市。

《四、預警系統理論》

1. 王春雷，2008，"我國房地產市場預警研究動態評述"，《當代經濟》，No.13，pp.150-151。
2. 王建龍、李江風，2006，"土地利用預警系統研究"，《資源開發與市場》，22(4)，pp.358-360。

3. 王賢磊、陳峰，2008，"預警準則在房地產預警運用中的誤區與修正"，《房
4. 內政部建築研究所，2010，《台灣房地產景氣動向季報附錄五房地產景氣對策訊號編製說明》，九十八年第四季，pp.96-97。
5. 李鳳全、章明卓、胡忠行、馬遠軍，2005，"城鄉交錯帶土地利用生態經濟預警研究"，《浙江師範大學學報（自然科學版）》，28(3)，pp.2-6。
6. 林昇甫、徐永吉，2009，遺傳演算法及其應用，五南出版社。
7. 孫旭丹、張立亭、陳竹安，2011，"土地利用預警研究進展"，《廣東農業科學》，No.12，pp.170-172。
8. 陳軍飛、王慧敏，2005，"城市生態系統診斷預警體系研究"，《城市問題》，2005年(6)，pp.5-10。
9. 新紅、劉文利，2008，"基於神經網路的經濟週期波動監測預警模型"，《華僑大學學報(哲學社會科學版)》，No.1，pp.63-68。
10. 葉怡成，2009，《類神經網路模式應用與實作》，儒林圖書有限公司，台北市。

英文文獻

1. Barlas, Y., 1985, "Validation of System Dynamics Models With a Sequential Procedure Involving Multiple Quantitive Methods", *Georgia Institute of Technology*. Atlanta, GA.
2. Costanza, R., 1980, *Embodied energy basis for economic evaluation*. *Science* 210, pp.1219 - 1224.
3. Costanza, R., and Daly, H.E., 1987, *Toward an ecological economics*. *Ecol. Model.*38: 1 - 7.
4. *Commission on SD(CSD)*, 2001, Indicators of Sustainable DEVELOPMENT: Guidelines and Methodologies, Economic & Social Affairs, United Nations.
5. Coyle, R.G., 1996, "System Dynamics Modeling: A Practical Approach.", Chapman & Hall, New York.
6. Ekvall, R.B., 1968, "Fields on the Hoof", Waveland Press, Inc.
7. FAO, 1976, "A Framework for Land Evaluation", *Soils Bulletin* ,No.32, p.72, Rome.
8. FAO, 1985, "The Role of Legislation in Land Use Planning for Developing Countries [M] ", Rome.
9. Forrester, J.W., 1969, *Urban Dynamics*, The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts.
10. Forrester, J.W., 1971, *World Dynamics*, Wright-Allen Press, Cambridge, Massachusetts.
11. Forrester, J.W., 1974, "Systems Analysis as a Tool for urban planning", in Nathaniel J. Mass, *Readings in Urban Dynamics* , Vol.1.
12. Forrester, J.W., 1990, *Principles of systems*, Cambridge Mass : Productivity Press.

13. Georgescu, N.R., 1971, *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press. Cambridge. Mass.
14. Grant, W.E., and Thompason, P.B., 1997, "Integrated eco-logical models : simulation of socio-cultural con - strains on ecological dynamics", *Ecological Modeling* 100, pp.43 - 59.
15. Hall, A.S.C., 1995, "Maximum Power: The ideas and applications of H.T.Odum", University Press of Colorado, USA, pp.230 - 239.
16. Hermann, C.F., 1967, "Validation Problems in Games and Simulations with Special Reference to Models of International Policies", *Behavior Science*, Vol.12, pp.219-224.
17. Herrera and Lozano, 2000, "Two – loop real – coded genetic algorithms with adaptive control of mutation step size", *Applied Intelligence*, No.13, pp.187-204.
18. Jan, C.G., 2003, "Policies for developing defense technology in newly industrialized countries: a case study of Taiwan", *Technology in Society*, Vol.25, No.3, pp.351-368.
19. Klaassen, L.H., Molle, W.T.M., and Paelinck, J.H.P., 1981, "The Dynamics of Urban Development", St. Martin's Press, New York.
20. Klimasauskas, C., 1993, "Neural Networks: An Engineering Perspective", IEEE, pp.50-53.
21. Maclaren, V.W., 1996, "Urban sustainability reporting", *Jouranal of the Amerri-can Planning Association*, 62(2), pp.184-202.
22. Macon, J., and Maunon, J.M., 1977, *Financing Urban and Rural Development through Betterment Levies*, Praeger Publishers, New York, pp.5.
23. Marquez, A.C., Bianchi, C., and Gupta, J., 2004, *Operational and Financial Effectiveness of e-collaborational Research*, Vol.159, No.2, pp 348-363.
24. Morecroft, J.D.W., 1985, "Learning from Behavioral Modeling and Simulation of Business Policy", *M.I.T. System Dynamics Group, Memo*, D - 3757.
25. Nancy R., 1994, *Introduction to computer simulation: a system dynamics modeling approach*, Portland, Ore: Productivity Press.
26. Nijkamp, P. and Perrels, A. 1994, *Sustainable Cities in Europe*, London: Earthscan Publications.
27. Noorderhaven, N., 1995, *Strategic Decision Making*, Addison – Wesley, U.K.
28. Odum, H.T., 1971, *Environment. Power and Society*, Wiley, New York.
29. Odum, H.T., 1988, "Energy, Environment and Public Policy - A Guide to the analysis of Systems", *UNEP Regional Seas and Studies*, No.95.
30. Odum, E.P., 1989, "Ecology and our endangered life – support systems", *Baker and Taylor Books*, Charlotte.
31. Odum, H.T., and Odum, E.C., 1992, "Energy and public policy, part I - II ", *Environmental Engineering Science*, University of Florida, USA.

32. Odum, H.T., and Odum, E.C., 1995, "environmental Minimodels and Simulation", *Center for Environmental Policy*, University of Florida.
33. Odum, H.T., 1995, *readings and exercises for energy and environment*, fall semester, Center for Environmental Policy, University of Florida.
34. Odum, H.T., 1996, *Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision - Making*, John Wiley, N.Y.
35. OECD, 1985, *The State of the Environment*, Paris: OECD.
36. Oliva, R., 2003, "Model calibration as a testing strategy for system dynamics models", *European Journal of Operational Research*, No.151, pp.552-568.
37. Opschoor, H., and Reijnders, L., 1991, *Towards sustainable development*, edited by O.Kuik and H.Verbruggen, pp.7-27, Boston: Kluwer Academic Publishers.
38. Randers, H.(ed), 1980, *Elements of the System Dynamics Method*, Cambridge Mass: Productivity Press.
39. Rechenberg, I., 1994, "Evolution Strategy, in Computational Intelligence: Imitating Life", Zurada, J.M., Marks, R.J., and Robinson, C., Eds., IEEE Press, Piscataway, N.J., pp.147-159.
40. Roberts, E.B., 1978, "An Introduction, in: Managerial Applications of System Dynamics", Waltham, MA: Pegasus Communications, U.S.A..
41. "Special Assessment and Service charges in Municipal Finance", 1970, *Government Finance Brief*, No.20, pp.11 - 12.
42. Saeed, K., 1998, *Towards sustainable development: essays on system analysis of national policy*, 2nd ed., Aldershot: Ashgate Publishing.
43. Stermain, J.D., 2000, "Business Dynamics: Thinking and Modeling for a complex world", McGraw-Hill.
44. Sustainable Seattle, 1994, *Toward a Sustainable Seattle: A Plan for Managing Growth*, Seattle: Seattle Planning Department.
45. Sutton, D.B., and Harmon, N.P., 1973, *Ecology: Selected Concepts*, New York: John Wiley and Sons.
46. Telling, A.E., 1990, *Planning Law and Procedure*, 8th Edition, London : Butterworths.
47. Ulgiati, S., and Odum, H.T., 1994, "Energy use, environmental loading and sustainability - An Energy analysis of Italy", *Ecological Modeling*.
48. Vennix, J.A.M., 1996, *Group model building: facilitating team learning using system dynamics*, Chichester, New York: J. Wiley.
49. WCED, 1987, *Our Common Future*. Oxford: Oxford Univ. Press.
50. Zimmerman, H.J., 1991, *Fuzzy set theory and it's applications*, Kluwer Academic Publishers. Boston.