

分區管制對台北都會區土地使用變遷的影響： 一電腦模擬*

賴世剛** 陳志閣***

論文收件日期：95年2月6日

論文接受日期：95年4月6日

摘 要

本研究運用MIT所設計研發的StarLogo模擬軟體進行土地使用變遷研究之設計，在模擬規則中以經濟財產權值指標所建立之開發機率，配合代表土地使用分區影響方式的容許機率作為土地使用變遷的準則，最後以基因演算法一百回所獲得的參數來進行本研究之土地使用模擬模型之分析。

從本研究之模擬結果可獲得幾個重要結論：（1）利用本研究所建立之基因演算法而獲得之相關參數配合土地使用轉換規則，確實可以模擬出某些都市土地使用分布的型態樣貌；（2）模擬範圍內之土地使用分區確實會對土地使用的產生與分布造成影響，但影響的對象則為限制工業土地使用數量的發展與影響商業土地使用的碎形樣貌及（3）從本研究之模擬圖層與單因子多變量分析進行比較後可推論，土地使用分區對於土地使用分布的影響並非影響其分布的碎形樣貌，而是決定了其分布的位置。

關鍵詞：複雜、土地使用變遷模擬、土地使用分區、基因演算法、碎形

* 作者感謝行政院國家科學委員會的經費補助（NSC92-2415-H-305-008）

** 國立台北大學土地與環境規劃研究中心主任，Email: lai@mail.ntpu.edu.tw

*** 國立台北大學都市計劃研究所碩士，Email: bestialize2001@yahoo.com.tw

Effects of Zoning on the Land-use Change in the Taipei Metropolitan Area: A Computer Simulation

Shih-Kung Lai* and Chih-Ke Chen**

Abstract

This research employed the StarLogo software designed by Massachusetts Institute of Technology to analyze land use change. It assessed the probability of development based on economic property right indices and the probability of possible land uses allowed in the zoning system embedded in the simulation rules. The parameters generated from the two analyses are then used to calibrate the simulation model.

There are three important results from this research: (1) using the parameters gained from the genetic algorithm method, the model could indeed simulate partially the pattern of land uses for the Taipei metropolitan area; (2) the zoning system in the simulated area would influence the appearance and the pattern of land uses. It would limit the development of the industrial land-use and affect the fractal pattern of commercial land-use; and (3) after comparing the spatial patterns of simulation results and conducting the one-way ANOVA analysis, it can be concluded that the effects of the zoning are not on the fractal pattern of land uses, but on specific location.

Keywords: complexity, simulating model of land-use change, zoning, genetic algorithm method, fractal

一、前言

最近十年來，運用電腦模擬都市的歷程中，許多研究者利用細胞自動體（cellular automata，簡稱CA）來進行有關都市的模擬。早期包括Couclelis（1985; 1988; 1989）檢測CA在都市規劃使用的可能性上；Cecchini與Viola（1990; 1992）則使用CA模擬都市成長的過程，並指出都市就像一連續成長的複雜物體，整體的結構是局部簡單決策執行累積的結果（White and Engelen, 1993）。

而近期，由於相關數位圖層的提供以及在一些電腦軟體如StarLogo或Swarm的支援下，都市模擬更趨發展成熟。Clarke、Hoppen與Gaydos（1997）以一個具有自我修正性的CA模型，成功地描繪出舊金山海灣（San Francisco Bay）地區的都市化成長；White、Engelen與Uljee（1997）則在CA模擬中加入了環境上的因素，建立了俄亥俄州（Ohio）辛辛那提市（Cincinnati）土地使用型態的變遷模型；Deal與Fournier（2000）則以StarLogo模擬軟體建立芝加哥（Chicago）肯尼郡（Kane County）的米爾河流域（Mill Creek Watershed）地區2020年的都市成長預測模型。國內近期則有蔡宜鴻（1999）以CA模擬嘉義縣中埔鄉之土地使用變遷，林士弘（2002）也以CA進行台北都會區土地使用變遷模擬等；另外，Webster與Wu（1999a; 1999b）更嘗試運用CA模擬的方式來探討是否給予住宅區土地所有權人財產權，而允許其可要求工業區開發者針對所造成的污染進行補償，使得住宅區土地所有權人與工業區開發者之間成本效益的變化，以及住宅區與工業區分布的型態則呈現在其研究結果中。利用電腦模擬來探究都市空間的演變儼然成為一種新的風潮（Beneson and Torrens, 2004）

當從都市模擬的研究主題進行區分時，過去都市模擬的類型大致可分成四大類：第一類為以都市或人口作為整個都市模擬的主體，而進行探討其都市化的過程或都市蔓延的現象，如Batty與Xie（1994）以及Clarke、Hoppen與Gaydos（1997）。第二類為以土地使用作為模擬的主體而進行了解其在都市成長過程中分布的型態，如White與Engelen（1993）、White、Engelen與Uljee（1997）、蔡宜鴻（1999）與林士弘（2002）等。第三類為Webster與Wu（1999a; 1999b）以經濟學理論作為模擬規則之基礎，進行都市之模擬研究。第四類則以個體基礎模型（agent-based modeling）為主，以考慮在空間上可移動的物件，包括開發者及居民，Parker等（2003）有對這方面的模式作一回顧，且這類研究正蓬勃發展（例如，Batty, 2005）。此外，Lai（2006）以細胞自動體及個體基礎模型之外的複雜系統架構，建立一空間垃圾桶模式，以探討都市發展的過程中，各種活動在既有的

空間及制度限制下如何展開。本文著重在第二類以土地使用作為電腦模擬探討的主體。

從上述第二類以土地使用為對象，進行土地使用型態變遷的都市模擬中，可以發現研究者在進行模擬規則制定時，主要是依照各種土地使用彼此互動的關係，如聚集與排斥；或是各種土地使用對鄰近設施的需求，如道路，來決定各種土地使用的產生與分佈的位置，但是其卻往往忽略了土地本身的特性對於某種土地使用是否能產生的關鍵因素，尤其以具有土地使用分區管制的都市而言，如White與Engelen（1993）之都市土地使用型態模擬研究即是一例。在具有土地使用分區的國家或都市，各種土地使用的產生是分別被限定在政府所劃定的一定範圍之內，也就是說，開發者開發土地使用的權利受到政府的管制而無法恣意施行，其欲開發的土地使用除了須考慮與周圍之既有使用是否能配合之外，還尚需獲得土地使用分區的允許，才會且能進行相關土地使用之開發，反之則否。然而過去之相關研究確忽略了此影響土地使用產生與變遷的重要因素。

除了缺少對土地使用分區影響因素進行相關的研究與分析外，過去以土地使用形態變遷為主題的都市模擬，其土地使用間互動的涵義也未曾說明。若將其各種土地使用變遷與互動的過程以財產權理論概念的角度觀之，則可以說是土地開發者進行經濟財產權之操弄，進而進行土地使用轉變決策的制定。根據Coase（1960）的看法，認為沒有任何地主可以「擁有」土地，地主頂多擁有該土地使用的「權利」（例如耕作、建築、其他方式的改善、出租與出售），並操弄該土地的使用權利獲得利益（賴世剛，2002）。上述之權利即所稱之經濟財產權（economic property rights），而開發者開發土地即利用其所擁有之土地經濟財產權以獲得利益價值。一般來說，土地經濟財產權的價值是會變動的，影響其變動的因素則包括有土地本身既有之影響因素，如其所在的分區類型；或是受到土地周圍使用類別之影響，如周圍為商業使用或是道路使用等。不同的分區類型與不同的周圍土地使用則將造成開發者欲開發之土地的經濟財產權值有不同的變化。

由此可知，當開發者欲進行土地使用之開發與決策時，由於欲開發土地之經濟財產權值會受到本身土地分區因素與周圍土地使用因素的不同而改變，因此，將會成為開發者進行何種土地使用開發的決策依據，進而產生不同的土地使用。此外，由於過去之都市模擬在規則的參數搜尋上，往往仰賴AHP（Analytic Hierarchy Process）或是試誤法（trial and error）的方式來進行，除了可能過於主觀外，也可能造成尋找參數時，時間成本的耗費，本研究也嘗試進行改進過去的做法。

綜合上述，有鑒於過去相關都市土地使用型態之模擬在規則制定上有欠周密，

本研究將嘗試以台北市、台北縣與基隆市所組成的都會區域其內部之各種土地使用作為研究對象，在規則建立的過程中加入分區影響因素，並以財產權理論基本的觀點作為模擬規則建立的基礎。此外，在規則的參數搜尋上，本研究將嘗試以基因演算法的概念加以融入於規則建構中，企圖縮短並降低過去搜尋參數所需耗費的時間成本與主觀性。第二節略述本研究的理論基礎；第三節闡明研究設計；第四節說明模擬結果；第五節及第六節為討論與結論。

二、理論基礎

在本研究中之理論基礎可從三個方面說明，包括複雜科學、財產權分析及基因演算法，茲分別說明如后。

複雜科學起源於聖塔菲學院（Santa Fe Institute）（賴世剛、高宏軒，2001；蔡宜鴻，1999），而這理念則可追溯到四十多年前，由於科學的進步，許多研究者認為舊有的研究方法其對所研究的個體均假設為均質是有不適當的，所以不斷的提高其研究內容的複雜性（Batty and Torrens, 2001）。

複雜科學對過去的研究方法提出了一些異議，認為系統中的元素並非皆為簡單的均質性，且不是每個系統都以均衡的狀態呈現。複雜科學強調個體單元的重要性，希望透過由觀察個體的特性，個體與個體間的互動，個體與環境的互動，探究系統突現出的某些特性。這種局部—總體（local-global）互動所突現的秩序，往往是過去一般傳統研究方法所無法發現的。

由上可知複雜科學的研究具備了兩個主要的特質，第一是系統的廣泛度，即系統並不限制個體的一致性與均質性。也就是說，在系統中的個體是具有歧異性的；第二則是系統在空間及時間向度進行的過程中會有非預期的結果產生，已存在的物體互動之整體會改變或是會有新的狀態突現（emergence）。

本研究的基本前提是，都市實質環境係由個別的土地開發決策互動而產生的結果，因而複雜科學的概念適用於本研究。而個別土地開發行為其目的不外乎謀求財產權的極大化。根據Barzel（1997）對財產權的定義可知，財產權在經濟的相關文獻中包含兩個重要的涵義，第一為由Alchain（1965）與Cheung（1969）所發展出來，指的是使用財產某一部份的能力；另一為較為人所熟知且流傳較久的，指的是國家分派給人使用。Barzel認為上述第一種可稱為經濟財產權（economic property rights），第二種則為法律財產權（legal property rights）。而本研究在後續所進行設計與探討的則為經濟財產權，因為經濟財產權可以充分描述土地開發行為的誘

因。Barzel進一步的針對經濟財產權提出解釋，其認為：

「經濟財產權為個人使得某一物品或資產成為該個人所有的能力，更具體的說，個人能直接消費物品或得到資產所帶來的服務，或者是透過交易的方式來消費。」

Lai (2001) 則以土地的觀點具體的指出經濟財產權的特性與涵義，可變動的經濟財產權可以說是那些影響土地價值的屬性，如到交通網絡的可及性等。如果某人擁有某物的經濟財產權，便可透過此種權利的操弄而獲得利益（效用）。

在土地使用變遷規則建立後，由於自然界之問題通常是非常複雜的，所以遇到之問題為非簡單之線性函數，而在解非線性函數的解時，許多研究者選擇採用基因演算法作為其求解之方法。

基因演算法的基本概念基礎為達爾文所提出的天擇說，亦即「物競天擇、適者生存」，也就是說大自然界的生物在其演化的過程中會不斷的淘汰不適合的物種，而最後能存活下來之物種應為最能適應大自然的環境。而基因演算法即是運用這一步一步的淘汰不適合解的演化過程來求得全域最佳解（global optimal solution），其為二十世紀後期由密西根大學的教授John Holland與他的學生依照達爾文的理論建立所建立的基本演算過程。在這個啟發下，Goldberg (1985) 在他的著作中系統化地研究基因演算法的機制，確定了三種基本演算子：選擇（selection）、交配（crossover）、突變（mutation）（張宏旭，2000）。

一般來說，進行基因演算法應經過初始設定，隨機建立初始族群，解碼及計算適合度，選擇與複製，基因交配，突變與建立終止條件等流程。在本研究中，基因演算法的運用為模擬規則之參數校估，主要為改進過去相關都市模擬文獻進行參數校估時，大部分皆以試誤法來進行，往往一次進行一個而需要過多的時間，同時過於主觀。若以基因演算之方法，則可透過求解之染色體間，其基因不斷的交配與突變，有條理的淘汰較劣而產生較優之解之方式，並搭配電腦的運用，使能更快速地尋到最優之參數解。

三、研究設計

從相關文獻中發現，由於過去土地使用變遷模擬模型在規則的建立上仍有可改進的地方，因此，本研究將嘗試參考過去文獻建立規則的方式及相關理論基礎以進行改良，如增加土地使用變遷之影響因素及加入基因演算法搜尋參數的方式，並提

出以下兩個假說，期能從模擬結果來進行相關的驗證，增加模擬規則與模擬模型的可信度：（一）土地使用的變遷為依循著某一規則而進行，而本研究所新建立之土地使用轉換規則與其經校估後所得之參數值則可模擬出某些都市土地使用變遷過程與分佈型態；及（二）土地使用分區管制此一變數對土地使用的變遷之模擬規則具有一定之影響力，即其對模擬結果之影響可達顯著水準。本研究利用碎形維度式來驗證第一項假說，並以單因子多變量分析來驗證第二項假說。

在說明研究設計之前，本文先敘明研究範圍及對象。在本研究中，研究的空間範圍為以台北市、台北縣與基隆市所組成之都城區域為主要之模擬空間範圍。時間範圍因考量土地使用分區管制規則在台北市為民國七十二年發布實施，而許多政府的普查資料，如房屋或工廠數量，多以民國八十九年（西元2000年）起每五年為一個單位來進行，故模擬的時間範圍定為民國七十二年至民國八十九年，總計共十八年。模擬對象參考民國八十三年之國土利用現況調查資料之第三級土地使用分類的定義後進行整理而得，本研究將其歸納為住宅使用、工業使用與商業使用三種。

本研究電腦模擬平台乃採用由美國麻省理工學院所設計研發的StarLogo模擬軟體來進行，其允許使用者進行由下而上的研究方式以探討許多複雜系統之本質，例如鳥類群聚的現象，交通系統擁塞的現象等。StarLogo模擬軟體需操作的對象有三個：包括有observer（觀察者）、patch（環境）與turtle（行為者），必須在電腦使用介面上所提供的程式語言撰寫處分別對上述三項進行指令的輸入以建立模擬之環境並進行模擬。在相關運用上，Deal與Fournier（2000）即利用StarLogo來設計芝加哥（Chicago）肯尼郡（Kane County）米爾溪（Mill Creek）流域地區2020年的都市成長模型並進行相關研究；邱詩純（2002）年則利用與StarLogo相類似之模擬軟體NetLogo進行百貨公司廣場行人移動自我組織之研究。由於本研究之目的為探討土地使用變遷過程及分佈型態，即開發者在追求利益之時，其欲開發土地之經濟財產權值由於會受到周圍土地之使用類型與相關建設，以及土地使用分區的影響因素而改變，因此，開發者將依據欲開發土地經濟財產權值改變的結果作為何種土地使用開發選擇之依據，進而造成各種土地使用變遷及形成各種分佈的型態。本研究雖然採用的是StarLogo模擬軟體來進行，但土地使用轉換規則與模式則卻與CA變化的模式較為接近。

研究設計將依照下述四大部分來進行，包括第一部分的網格型態建立；第二部分的模擬規則建立；第三部分的基因演算法以決定最佳化參數；以及第四部分的最佳化參數電腦模擬分析。

(一) 網格型態的建立

由於本模擬為實質空間具象之研究，而模擬所需之環境則有賴相關地理圖層的輸入。因此，本研究即透過地理資訊系統將相關之數位圖層預做收集與整理以利輸入模擬軟體中作為環境圖層。在便利性與資料充足之考量下，相關環境圖層以民國八十九年之台北市、台北縣與基隆市之數位圖層為主。本研究將其進行整理成模擬所需要的基本環境網格資訊及型態，包括都會區界、國道與省道道路線、捷運路線與土地使用分區等。分區圖層之整理方式，為依照民國八十九年之土地使用分區數位圖層，將其中台北市土地使用分區圖所定之住宅區，與台北縣及基隆市都市計畫圖中所劃定之住宅區合併作為分區圖層之住宅區，相同方法將台北市土地使用分區所定之工業區與台北縣及基隆市都市計畫所定之工業區合併劃為分區圖層之工業區，並將台北市土地使用分區所定之商業區及台北縣及基隆市都市計畫所劃定之商業區合併劃為分區圖層中之商業區。除此之外，在八十九年之數位圖層中，若未有台北市分區與都市計畫而適用區域計畫之非都市土地使用管制者，則將其中之鄉村區與工業區合併劃為分區圖層中之可發展區。若未屬於上述之各項分區者則皆歸納為限制發展區。本研究將以此作為後續模擬所需之分區環境。

在整理與輸入相關之環境圖層之後，須進行的是各種土地使用分布之輸入。由於本研究之模擬目的與時間定為民國七十二年及民國八十九年間之各種土地使用分布變化，但由於欲建立民國七十二年初始狀態時，各種土地使用分布與網格數在資料缺乏下較不可行。因此，本研究之初始狀態建立方式乃以民國八十三年之國土利用調查所得之台北縣各土地使用現況分布圖與網格數，預先進行各種土地使用之整理以供資料計算，即將各土地使用先進行歸納整理並計算其網格數。而後，再根據民國八十三年度台北縣統計要覽之相關資料，即房屋建築面積之總樓地板面積、工廠登記家數與商業登記家數與上述所整理之各土地使用網格數來求得相關統計要覽之資料與網格數間之比例關係。最後配合民國七十二年之統計要覽之資料，即房屋建築面積總樓地板面積、工廠登記家數與商業登記家數依比例來推估民國七十二年之各土地使用網格數並以隨機分布的方式將其分派到各圖層中，以作為模擬之初始狀態。亦即，本研究擬以所推估的民國七十二年土地使用分布狀況與八十九年實際土地使用分布狀況作為模式檢驗的起始及預測時間點。其推估數量結果如表一、表二與表三。表一及三的網格數雖非逐年增加，但是若比較民國七十二年及八十九年的資料，可發現是有增加的趨勢。至於網格大小的標準化，乃受限於電腦運算所花的時間，且網格大小只影響分析的空間解析度，應不會影響模擬結果的分析。例如，林如珍（1998）以不同的網格尺寸衡量台北縣三重市及南投縣名間鄉的碎形結

表一 各年度之房屋建築面積之總樓地板面積與住宅土地使用網格數對照表

年	民國八十三年		民國七十二年		民國八十九年	
	房屋建築面積總樓地板面積（平方公尺）	住宅土地使用現況網格數	房屋建築面積總樓地板面積（平方公尺）	住宅土地使用推估網格數	房屋建築面積總樓地板面積（平方公尺）	住宅土地使用推估網格數
台北縣	6839933	541	47104	4	77476	7
台北市			1680693	133	3489183	276
基隆市			463177	37	139233	11
總計	6839933	541	2190974	174	3705892	294

表二 各年度之工廠登記家數與工業土地使用網格數對照表

年	民國八十三年		民國七十二年		民國八十九年	
	工廠登記家數（家）	工業土地使用現況網格數	工廠登記家數（家）	工業土地使用推估網格數	工廠登記家數（家）	工業土地使用推估網格數
台北縣	25393	224	3275	29	2173	19
台北市			10831	96	27435	242
基隆市			384	3	342	3
總計	25393	224	14490	128	29950	264

構，其所得的結果均一致。

本研究的網格型態分為固定之分區型態，即各網格所屬分區的狀況，與可開發之土地使用型態，即土地使用之現況。每個網格皆具有一固定之分區型態來代表各網格之分區屬性，此一網格型態將不會隨者模擬之進行而有所改變，即假設分區的劃設不隨時間而變動。依據研究目的，本研究之分區經整理後，網格之分區屬性包括有七種，分別為限制發展區、可發展區、住宅區、工業區、商業區、國道與省道以及捷運路線等。每個網格除了至少具有一固定之分區型態外，還將可能存在第二

表三 各年度之商業登記家數與商業土地使用網格數對照表

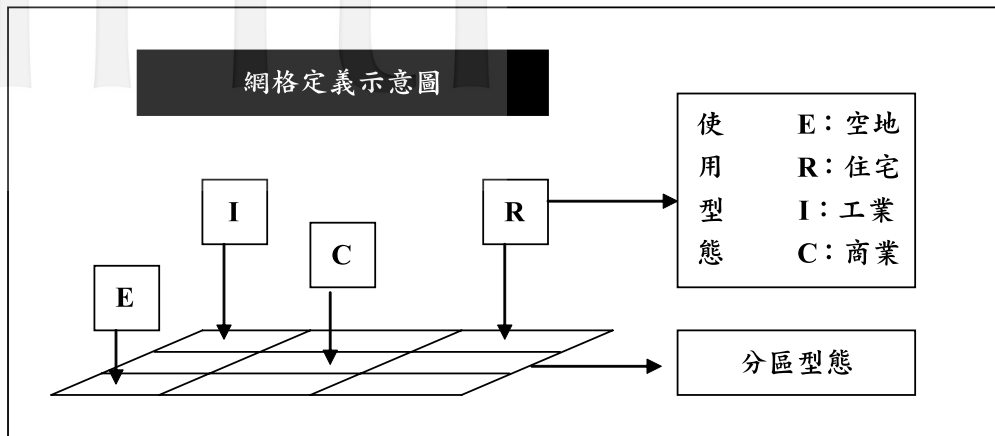
年	民國八十三年		民國七十二年		民國八十九年	
	工廠登記家數(家)	工業土地使用現況網格數	工廠登記家數(家)	工業土地使用推估網格數	工廠登記家數(家)	工業土地使用推估網格數
台北縣	88561	25	73479	21	66393	19
台北市			51993	15	107824	30
基隆市			9203	3	10482	3
總計	88561	25	134675	39	184699	52

種型態，即可開發之土地使用型態，包括住宅、工業、商業及空地四種。可開發之土地使用將在所允許之分區網格中出現（存在），如圖一。也就是其將只能出現在住宅區、工業區、商業區及可發展區之分區網格上。其相關特性整理如表四。簡言之，在一固定的分區範圍內，依分區管制規則所允許的土地使用類別，土地使用可作任意的空間分布。

（二）模擬規則的建立

都市內之土地使用型態變化雖然看似複雜，但是就如同Jacobs（1961）所述，都市的變化其實是依照著某種規則在進行的（White and Engelen, 1993）。因此，本研究將建立一土地使用轉換規則作為後續各種土地使用變遷模擬進行之依據。為了建立模擬規則，本研究參考先期國內外已進行有關都市土地使用變遷模擬之研究，如White與Engelen（1993）、White、Engelen與Uljee（1997）、蔡宜鴻（1999）與林士弘（2002）等相關文獻後，發現其模擬規則的制定主要皆建立在各種土地使用變化將受到周圍土地使用與道路之影響的基礎上。本研究除了延續上述相關之影響因素外，更嘗試融入土地使用分區之影響因素以探討各種土地使用形成的原因。此外，本研究將以財產權之基本論述說明各土地使用轉換的原因。本研究之模擬規則主要根據下述三個邏輯來進行，即：

第一：開發者在進行土地開發型態之決定時，會受到周圍土地使用型態之影響；而周圍土地使用型態之影響程度則因其使用型態以及欲開發土地之使用型態之不同而有所不同。



圖一 網格定義示意圖

表四 網格型態與特性表

網格屬性	定義	特性
固定之分區型態 (道路及住宅、工業與商業分區狀況)	限制發展區	其型態不能進行轉變。
	可發展區	
	住宅區	
	工業區	
	商業區	
	國道與省道	
可開發之土地使用型態 (使用現況)	捷運	存在可發展區、住宅區、工業區與商業區之分區網格上並可進行型態上之轉變。
	住宅使用	
	工業使用	
	商業使用	
	空地使用	

第二：土地使用分區的因素限制某些土地使用開發。

第三：每一土地使用的型態與最終土地使用的分布型式，為開發者追求利益的前提下，並在欲開發土地之經濟財產權值受周圍環境以及土地使用分區交互影響的因素下，開發者制定土地使用開發決策之相互影響的結果。

都市是其內部個體透過與其他人互動而進行空間決策所產生的結果（Lai, 2001）。都市的型態與個體進行決策互動之結果息息相關，而個體之決策則多半是為了追求本身利益，並經由計算比較利益得失來制定。由於土地並非獨立的個體，其屬性常常會受到外在因素的影響，因此其經濟財產權值也就會受到外在環境的影響而不斷的在變動。對於一塊土地之經濟財產權值而言，影響其最重要的因素莫過於周圍各種土地使用的型式，包括產業或道路，而土地受影響之屬性則包括外部性或可及性。對於開發者而言，為了獲得較大利益，其將會針對欲開發土地周圍的各種土地使用型式，進行其對欲開發土地之經濟財產權值影響的評估，以制定開發決策。然而，開發者能夠如此恣意的開發嗎？對於像台灣或那些具有相同土地使用分區管制的地區或國家而言，答案是否定的。因為當開發者決定進行某種土地使用之開發時，是受到土地使用分區管限制制的。因此，在土地使用分區的限制之下，開發者僅能就土地使用分區中所容許開發之土地使用類別從事選擇，並比較可獲得之各種經濟財產權值效益來進行土地之開發。

從以上之論述可知，土地使用之變動為受周圍土地使用之型態及土地使用分區管制之雙重影響下，開發者進行土地使用選擇的結果。因此，以下將以二階段土地開發模式此建立土地使用轉換規則式，作為土地使用變遷模擬依循的準則。由於土地的經濟財產權屬於概念的陳述，難以操作。本研究擬以經濟財產權值指標來表示。經濟財產權值指標即指一開發者欲開發之土地受周圍土地使用之影響，形成某一種土地使用所能產生的總經濟財產權值。至於某種開發型態是否容許在某分區中進行，則以容許度參數值表示之。容許度參數值即可代表某一土地使用分區對另一土地使用項目容許的程度。這樣的設計是因為在本研究中，土地使用項目的分類過於粗略，使得某一分區得以某種容許程度允許另一土地使用的開發。

下式（1）為計算開發者欲開發之土地受周圍鄰近八塊土地使用之影響，開發者所能擁有之開發各種土地使用的經濟財產權值，即經濟財產權值指標。

$$S_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \dots\dots\dots (1)$$

$$0 \leq x_j \leq 8$$

$$0 \leq a_{ij} \leq a$$

S_i ：i使用經濟財產權值指標。為開發者欲開發之土地受所有周圍土地之影響，開發成i種土地使用所能產生之經濟財產權值總合。

x_j ：為根據Moore規則，周圍某一土地使用j之數量。

a_{ij} ：為土地使用j影響周圍鄰近土地轉換成i土地使用之經濟財產權參數值，受限於一數值a內。

對於上式（1）中，根據本研究內容可知， $i=1,2,3$ ，分別為住宅、工業與商業開發之土地使用，而周圍之土地使用 $j=1,2,3,4,5$ ，則分別可為住宅、工業、商業、國道與省道以及捷運。

但式（1）中必須要注意的是，周圍各種土地對開發者欲開發之土地的經濟財產權值的影響，即 a_{ij} ，並非為無限的，而是受限在一最大限制數 a 中。其代表的意思為每一塊周圍之土地對於開發者欲開發土地形成各種土地使用可產生的經濟財產權值的影響是在一定的限度內。舉例來說，即若欲開發土地的周圍八個網格中其中一塊土地為住宅，其對欲開發土地開發成商業土地使用能產生的經濟財產權值是有限的，即在一限度 a 內。 a 為一外生變數，其大小則端看模擬所需時間與準確度之需求而可進行改變，在本研究中將其訂在 $0 \leq a \leq 9$ ，並應經後續參數校估而得。此上限9的設定，主要代表一相對的概念，並無實際經濟意義，具體而言，其乃經由基因演算法比照實際土地使用資料，以漸進方式校估而得，請參見（三）基因演算法校估參數之說明。

當透過式（1）之計算後獲得每個土地轉換成各種土地使用之經濟財產權值指標後，如何決定何種土地使用的產生呢？由於土地使用的產生與轉變並非僅靠周圍土地使用之影響即能立即確定的，尚其他的影響因素，如資本與勞力等，因此本研究以機率的方式來表示，即經濟財產權值指標會影響開發者選擇何種土地使用開發之機率，而本研究將建立開發機率式，即式（2）來說明每一塊土地轉換成何種土地使用的機率。即，

$$P_i = \frac{S_i}{8 \times a \times c} \dots\dots\dots (2)$$

其中， $0 \leq P_i \leq 1$

P_i ：開發機率。土地開發成 i 土地使用之機率。

S_i ： i 使用之經濟財產權值指標。為開發者欲開發之土地受所有周圍土地之影響，開發成 i 種土地使用所能產生之經濟財產權值總合。

a ：周圍之一土地能影響欲開發土地開發成某一種使用之經濟財產權值變化之最大值。

c ：外生之機率校估參數。

式（2）中，由於開發者欲開發之土地周圍皆有八個網格，而周圍每個網格對欲開發土地開發成某一種土地使用之經濟財產權值的影響皆在一限度 a 內，因此 $8 \times a$ 即代表周圍八塊土地對欲開發土地開發成某一種土地使用能產生之經濟財產權值之最大值。而土地開發成 i 土地使用之開發機率之計算方式則定義為：土地受周圍

土地使用之影響能產生之經濟財產權值指標，即 S_i ，與土地所能受影響之最大值間之比例關係。除了上述之說明外，本研究認為，由於土地之開發非即時且迅速的，尚包括開發者之資金籌措，社會與政治等非空間性質之影響，即土地開發使用之決定尚存在有許多非能以空間方式（網格間的關係）能呈現之影響因素。因此，本研究在建立各土地之開發機率時，在分母之部分乘以 c ，即代表即使當欲開發土地受周圍土地使用之影響而達到轉換成某種土地使用之經濟財產權值指標為最大值 $8 \times a$ ，其也只能決定土地開發成某種土地使用 c 分之一的機率。 c 在本研究中將為一外生變數，其數值為何將端視研究者透過校估結果來決定。又，由於 S_i 的值受限於鄰近土地的分布狀態而定，除非考慮所有的分布狀態，否則 $\sum P_i \neq 1$ 。

對於土地開發者而言，其欲開發何種土地之決策依據，即先可根據上式（1），計算開發成住宅、工業與商業之經濟財產權值指標之變化，然後，在根據式（2）計算土地開發機率，以了解各種土地使用被開發之機率。

但是，根據轉換規則邏輯之敘述，若土地受到了土地使用分區因素之限制，是無法任意進行各種土地使用之開發的。因此，除了計算轉換成各種土地使用所能產生的經濟財產權值之指標以及開發機率外，以下將再進一步說明第二階段土地使用分區容許與限制土地使用轉換之方式。

以本研究之模擬地區，台北縣市與基隆市地區之土地使用分區的角度來觀看，若將其都市土地之使用分區大致區分整理成住宅區、工業區及商業區，對於住宅區而言，其所完全容許使用之對象為住宅使用本身，而對於工業與商業使用而言，則多是容許使用強度較小或公害較輕微之工業與商業使用進入，並非限制所有的工業與商業之使用進入。商業區與工業區之管制的方式亦同。也就是說，土地若受到分區的管制，開發者在某一分區開發另一種土地使用之經濟財產權則受到部分之限制，但開發者在住宅區並非完全不能進行商業使用，而是有一些商業使用是被容許而有一些商業使用則被限制。

因此，雖然某一塊土地，先經式（1）之計算轉換成各種土地使用所能產生之土地經濟財產權值指標，在依據式（2）了解轉換成各種土地使用之開發機率，並透過蒙第卡羅法決定了某一種土地使用是可以開發的，但其將因為這種欲開發之土地使用位在不同之土地使用分區上而限制其能開發的可能性。例如，某一塊周圍環繞住宅使用之土地，經計算後是非常適合且能夠發展商業，但其卻可能因為此土地為住宅區而受到限制不能發展。根據國內相關之規定，並非所有的商業使用皆不能在住宅區發展，因此本研究給定各土地使用分區容許機率的方式作為其容許其它土地使用產生（或說轉換）之機會。

透過以上描述，由於具有土地使用分區之土地僅容許某些其他土地使用之產生，因此，在本研究之土地使用轉換規則中將嘗試在具有分區的土地上建立容許機率，用來代表某一分區容許別種土地使用產生的機率，也可以說某種土地使用在另一分區下可以產生的機率。詳細地說，若一土地使用分區容許另一土地使用的產生，則會有一機率值代表此土地使用分區容許另一土地使用產生的機率，當某種土地使用分區容許另一種土地使用的容許機率值為1的時候，代表此土地使用分區不限制具有上述性質土地使用的產生；反之，當其容許機率值為0的時候，則在此土地使用分區上將不會有上述性質之土地使用的產生。上述之關係我們將以式(3)來代表。

式(3)之 P_{iz} 代表某一土地使用分區 z 容許某一土地使用 i 產生的機率，必須經由參數校估以獲得。由於在本研究中所使用之模擬軟體具有產生隨機數的功能，所以容許機率 P_{iz} 參數將透過不斷產生隨機數並將由校估的方式來獲得。但也由於模擬軟體所能產生之隨機數僅限為正整數，因此本研究建立一容許度(即 b_{iz})，而 P_{iz} 將等於模擬軟體所產生之隨機正整數，即容許度 b_{iz} ，除以給定產生隨機正整數的最大值 b 進行相除的機率來代表，如下式。

$$P_{iz} = \frac{b_{iz}}{b} \dots\dots\dots (3)$$

其中， $0 \leq b_{iz} \leq b$ 且 $0 \leq P_{iz} \leq 1$ ，而

b_{iz} ：土地使用分區 z 給予 i 種土地使用類型之容許度，受限在一給定範圍最大值 b 內。

P_{iz} ：在 z 土地使用分區內，容許 i 種土地使用產生之容許機率。

b ：為一外生校估參數。

舉例來說，令 b_{21} 為住宅區容許工業使用產生之容許度參數值， $0 \leq b_{21} \leq b$ 。當 $b_{21}=0$ 可代表住宅區完全不容許任何工業的產生，但若容許度 b_{21} 經校估後為 b 值，則代表住宅區容許任何工業的產生，因為其容許機率將等於1。從式(3)中可知，當 b_{21} 越高而越接近 b 時，則代表在住宅區容許工業的容許機率越大，也就是說工業使用在住宅區中產生的機率也就越大。

綜合上述，整體的土地使用轉換規則為土地轉換將由開發者根據式(1)計算周圍各種土地使用影響欲開發土地轉換成各種土地使用之經濟財產權值指標，然後再根據式(2)計算土地開發成各種土地使用之開發機率，最後並在土地使用分區容許機率之容許下，即式(3)，進行土地使用進行轉變。

(三) 基因演算法校估參數

在本模型之模擬規則中，參數共有兩大類型，第一類為周圍之土地使用影響欲開發土地轉換成各種土地使用經濟財產權值與指標變化之參數；第二類則為土地使用分區之容許度參數值，參數總共有21個，如表五與表六所示。本研究將利用基因演算法進行上述參數之校估。

本研究初步先定義參數值可能產生之範圍，作為基因演算法中，各基因（參數）轉換之依據。由於本研究考量在尋找好的參數值的過程中，若基因能選擇的參數值範圍太大將會影響獲得最佳解之模擬時間，因此本研究分別定義周圍之各種土地使用能影響欲開發土地轉換成各種土地使用之經濟財產權參數值為一正整數且介於0至9之間，即式（1）之 a 等於9；而土地使用分區容許度參數值則同為一正整數

表五 周圍土地影響欲開發土地經濟財產權值之參數對照表

周圍土地型態 (j)	影響各種土地使用產生之經濟財產權值 (i)	參數值 (a_{ij})
住宅使用	住宅使用	a_{11}
	工業使用	a_{21}
	商業使用	a_{31}
工業使用	住宅使用	a_{12}
	工業使用	a_{22}
	商業使用	a_{32}
商業使用	住宅使用	a_{13}
	工業使用	a_{23}
	商業使用	a_{33}
國道與省道	住宅使用	a_{14}
	工業使用	a_{24}
	商業使用	a_{34}
捷運	住宅使用	a_{15}
	工業使用	a_{25}
	商業使用	a_{35}

表六 土地使用分區容許欲開發土地轉換各種土地使用之容許度參數對照表

土地使用分區 (<i>j</i>)	容許何種土地使用 (<i>i</i>)	參數值 (b_{ij})
住宅區	工業	b_{21}
	商業	b_{31}
工業區	住宅	b_{12}
	商業	b_{32}
商業區	住宅	b_{13}
	工業	b_{23}

且介於0至9之間，即式(3)之b等於9。另外，透過幾次的預先模擬，發現外生變數c等於20時能產生較合理的模擬結果，因此，訂c為20。

在基因演算法中，決定參數是否為最佳化之依據為依研究目的所建立之適應度函數(fitness function)。由於本研究之研究時間範圍起點為以民國七十二年之住宅、工業與商業使用網格數量在分區圖層上隨機分布來進行模擬，而迄點則希望模擬結果能符合民國八十九年土地使用網格數。因此，本研究將以八十九年之各土地使用網格數來建立適應度函數以進行模擬規則之參數校估。但是，民國八十九年之各土地使用網格數之獲得，將參考上述計算民國七十二年之各土地使用網格數之方式，配合民國八十九年之台北縣市與基隆市統計要覽資料來推估民國八十九年各土地使用之網格數。經計算得民國八十九年之住宅土地使用網格數為294個、工業土地使用網格數為264個及商業土地使用網格數52個，可參考表一、表二與表三。

下式(4)為依據上述推估方式所得之各土地使用網格數所建立的適應度函數。唯有染色體之基因參數值經模擬後，越接近民國八十九年之推估值時，其適應度函數值才會越大，存活於下一世代的機率也就越高，也就越能在下一世代中出現，進而再透過染色體內之基因的交換與突變來產生更好之染色體(即較佳的一組基因)。基因演算法將透過所設定之演算代數模擬完成後，來獲得能較接近民國八十九年推估之土地使用網格數的參數值。

$$\frac{1}{(r-294)^2 + (i-264)^2 + (c-52)^2} \dots\dots\dots (4)$$

其中，*r*：模擬八十九年之住宅使用網格數

i：模擬八十九年之工業使用網格數

c：模擬八十九年之商業使用網格數

四、模擬結果分析

首先，本研究將先利用基因演算法進行最佳化參數之搜尋。在進行100代之基因演算後，表七為所獲得之一組最佳化基因參數值：

表七表格前十五個參數代表 a_{ij} ，即為土地使用j影響周圍土地轉換成i土地使用之經濟財產權參數值，例如住*工，即代表住宅土地使用影響周圍土地轉換成工業土地使用之經濟財產權參數值；表格後六個參數值則為 b_{iz} ，為土地使用分區z給予i種土地使用類型之容許度，例如住宅區*工業，即代表住宅土地使用分區給予工業土地使用之容許程度。

本研究將先以t檢定之方式檢定經一百回基因演算法演算代數後所得之上述參數值之顯著性。由於模擬之過程利用到蒙第卡羅模擬法來進行，也就是以電腦產生隨機數的方式與本研究制定之開發機率及容許機率之間的比較來決定何種土地使用型態的轉換，因此每次之模擬結果可視為一樣本值。本研究將假設運用上述參數進行土地使用變遷模擬所獲得之所有可能模擬結果其分配為常態，進而分別以相同之參數進行五次之模擬以獲取樣本值。而後，本研究針對五次模擬之樣本值結果進行樣本平均值之計算並與民國八十九年之土地使用推估網格數進行t分配之檢定。

經五次之模擬結果得知住宅之土地使用模擬網格數平均值為288.8，工業土地使用模擬網格數平均值為267.6及商業土地使用模擬網格數平均值為57.6，與民國八十九年之住宅土地使用推估網格數294，工業土地使用推估網格數264及商業土地使用推估網格數52經過t檢定後得到住宅土地使用之檢定值為-0.80437，工業土地使用之檢定值為0.452954，商業土地使用之檢定值為2.292311，在百分之九十五之信賴水準下，皆在合理範圍內（右邊臨界值-2.776，左邊臨界值2.776），沒有足夠證據否定透過本研究一百回之基因演算法所獲得之二十一個參數值，配合本研究所訂

表七 最佳化參數值對照表

參數代碼	住*住	住*工	住*商	工*住	工*工	工*商	商*住	商*工	商*商	道*住	道*工	道*商	捷*住	捷*工	捷*商	住宅區*工業	住宅區*商業	工業區*住宅	工業區*商業	商業區*住宅	商業區*工業
參數值	7	4	0	2	9	0	6	3	1	5	8	2	6	1	0	4	5	1	1	3	6

定之轉換規則，已有能力模擬出從民國七十二年至民國八十九年之住宅、工業以及商業土地使用網格數的變化。

本研究在此將利用White與Engelen（1993）參考Frankhauser與Sadler（1991）所提供之一種碎形維度計算公式，如下式（5），進行碎形維度計算與碎形結構之檢測來進行假說一之驗證。

$$\lg B_T = c + D \lg r \dots\dots\dots (5)$$

其中， B_T ：所佔據網格數之總量

C ：常數

D ：碎形維度

r ：物件之半徑長度

本研究參考White與Engelen（1993）以圖層之中心點作為 $r=0$ ，半徑 $r=1$ 代表距中心點一個網格，並以每五個網格距離計算在此範圍內各土地使用網格數一次。雖然圖層為一 220×210 之網格圖層， r 最高可達105，但由於本研究之模擬範圍台北縣市及基隆市區域並非一完整之圓，因此，僅有 r 在75以內，每個網格才皆具有各種分區及土地使用之型態，若超過 $r=75$ ，則計算將會受到非模擬範圍之背景網格影響。因此，本研究 r 之最大值將計算至 $r=75$ ，而每五個網格計算一次，從 $r=0$ 至 $r=75$ ，將計算16次，此時，其 B_T 即為其相對應 r 半徑範圍內欲計算之各土地使用網格數。

根據五組模擬樣本並經過碎形維度計算式之計算後，本研究將其計算所得之各土地使用分布碎形維度 D 值與各土地使用碎形結構計算式之解釋能力 R^2 值整理如表八。

表八 模擬分析（一）之各土地使用碎形維度 D 值與碎形結構 R^2 值

類別 組別	住宅土地 使用碎形 維度 D 值	工業土地 使用碎形 維度 D 值	商業土地 使用碎形 維度 D 值	住宅土地使 用碎形結構 式 R^2 值	住宅土地使 用碎形結構 式 R^2 值	住宅土地使 用碎形結構 式 R^2 值
第一組	3.093	3.070	3.185	0.950	0.895	0.986
第二組	3.385	3.172	3.249	0.841	0.944	0.930
第三組	3.389	3.043	3.536	0.925	0.885	0.965
第四組	2.655	2.662	2.526	0.973	0.979	0.896
第五組	2.881	3.141	2.685	0.955	0.951	0.907
平均值	3.0806	3.0176	3.0362	0.9288	0.9308	0.9368

從表八之各組各土地使用碎形維度D平均值以及碎形結構式 R^2 平均值可知，碎形維度D之平均值以住宅土地使用為最高，為3.0806；商業土地使用次之，為3.0362；工業土地使用最低，為3.0176。碎形維度D值在本研究式中，為代表土地使用之碎形樣貌，也代表距離模擬圖層中心點r值與各土地使用型態分布網格數 B_r 的之間變化的關係。從式（5）中似乎可以說明，當D值越大，則代表當距離模擬圖層中心點r值增加一單位時，土地使用網格數 B_r 增加的數量也就越大，似乎說明其聚集於模擬圖層中心的傾向也就愈低。此時，土地使用型態網格數也較容易受r值之變化而產生較大之變化。因此，從上述相關各土地使用碎形維度D之平均值可知，住宅土地使用將比商業土地使用與工業土地使用更易受距離模擬圖層r值之改變而改變其網格數量，且聚集於模擬圖層中心點的傾向最低，其次為商業，最低則為工業，此可能為一種其中一種土地使用分布形式之解釋。

除此之外，從表八之各土地使用碎形結構式之解釋能力 R^2 平均值可以發現，各土地使用之解釋能力皆非常高，且皆大於0.9。由此可知，各土地使用之分布型態其距離模擬範圍之中心點與其所分布的數量間有高度的線性關係，即為碎形結構的關係。也就是說，各土地使用在模擬範圍內的分布，呈現出非常高度的碎形樣貌。並滿足假說一之說明即：「土地使用的變遷為依循著某一規則而進行，而本研究所建立之土地使用轉換規則與其經校估後所得之參數值則可模擬出某些都市土地使用變遷過程與分布型態。」

由於欲了土地使用分區是否會對土地使用分布產生顯著的影響，本次模擬將以前述經t檢定結果成顯著之參數，扣除掉土地使用分區影響因素之參數值，即令 b_{ic} 為9，進行土地使用變遷之模擬，並進行假說二之驗證。此意味著每一分區可允許各種土地使用的開發。

在同樣進行五次扣除土地使用分區影響參數之模擬後，本研究得到表九之五組扣除土地使用分區影響參數之各土地使用模擬網格數及碎形維度D值。

將上述之模擬結果與先前未扣除土地使用分區影響因素之模擬結果進行單因子多變量分析後，其呈現之結果如表十所示：

透過表十之單因子多變量分析表可知，土地使用分區之有無，在百分之九十五之信賴水準下，不對住宅土地使用模擬網格數、商業土地使用模擬網格數、住宅土地使用碎形維度與工業土地使用碎形維度產生顯著影響。但會對工業土地使用模擬網格數與商業土地使用碎形維度產生顯著影響。本研究認為，土地使用分區所以會對工業使用數量產生顯著的影響，且在沒有分區的情況下，工業數量會增加的原因或許是因為由於住宅與商業區劃設的原因，排擠了工業在模擬範圍內能產生的機

表九 扣除土地使用分區影響因素之各土地使用模擬網格數與碎形維度D值

類別 組別	住宅土地 使用模擬 網格數	工業土地 使用模擬 網格數	商業土地 使用模擬 網格數	住宅土地 使用碎形 維度D值	工業土地 使用碎形 維度D值	商業土地 使用碎形 維度D值
第一組	261	284	59	2.990	2.813	2.868
第二組	294	313	76	3.066	3.071	2.376
第三組	296	336	62	2.973	3.186	2.401
第四組	291	361	55	3.375	3.092	2.233
第五組	310	375	62	3.301	3.391	2.309
平均值	290.4	333.8	62.8	3.141	3.1106	2.4374

會；土地使用分區也對商業分布的碎形維度產生顯著的影響，在沒有分區的情況下，商業碎形維度較低，也代表其將更傾向於聚集於模擬圖層的中心。

雖然單因子多變量分析的六個變量分析結果並非完全顯著，但本研究從上述單因子變異數分析結果仍相信假說二「土地使用分區管制此一變數對土地使用的變遷之模擬規則具有一定之影響力，即其對模擬結果之影響可達顯著水準。」但其並不會對住宅及商業之土地使用數量與住宅及工業土地使用碎形分布產生影響，而僅限於減緩工業土地使用數量的增加及影響商業土地使用的碎形分布。

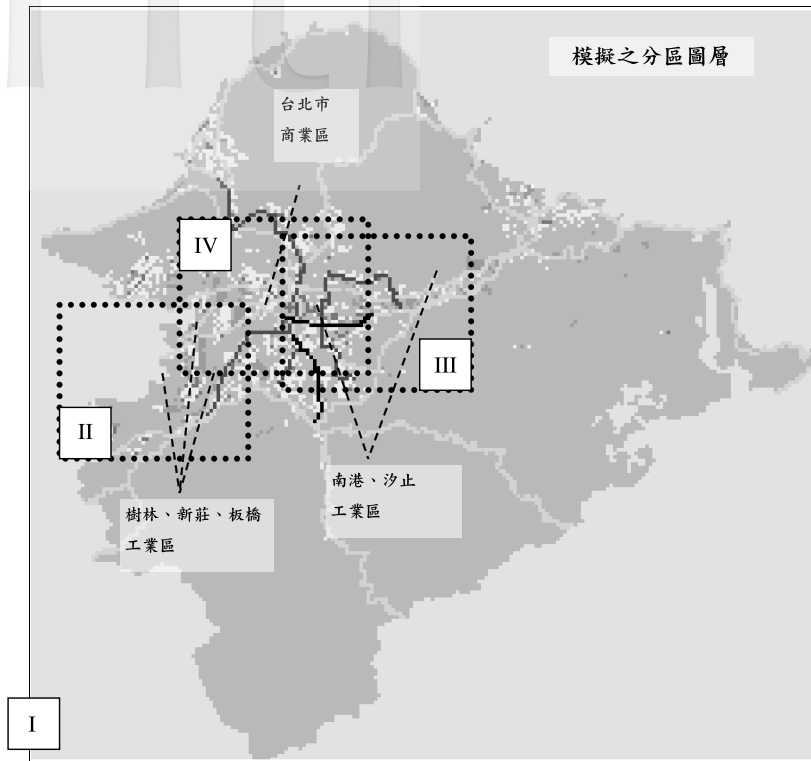
由於模擬為實質空間的具象研究，因此本研究將有無土地使用分區之模擬結果進行更進一步之模擬圖層的比較，圖二為原始模擬之環境圖層，表十一則為各個圖樣之說明。取圖三，為有土地使用分區影響因素下之樹林、新莊與板橋區之土地使用分布，與圖四，為沒有土地使用分區影響因素下之樹林、新莊與板橋區之土地使用分布。

從下圖三發現住宅區內以住宅使用聚集為主，其他則為零星之工業使用與商業使用；工業區內皆以工業使用聚集為主，其他則為零星之住宅使用與商業使用。然而，從圖四中則可發現板橋、新莊與樹林工業區中，住宅使用與工業使用在各地點內皆有聚集的現象發生，但不同於圖三之地點，商業使用則為零星遍布於各個地區。

表十 單因子多變量分析表

來源	依變數	型III平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
校正後的模式	住宅土地使用模擬網格數	6.400 ^a	1	6.400	.022	.886
	工業土地使用模擬網格數	10956.100 ^b	1	10956.100	12.641	.007
	商業土地使用模擬網格數	67.600 ^c	1	67.600	1.352	.278
	住宅土地使用碎型維度	9.120E-03 ^d	1	9.120E-03	.134	.724
	工業土地使用碎型維度	2.162E-02 ^e	1	2.162E-02	.503	.498
	商業土地使用碎型維度	.896 ^f	1	.896	7.551	.025
截距	住宅土地使用模擬網格數	838681.600	1	838681.600	2869.740	.000
	工業土地使用模擬網格數	904204.900	1	904204.900	1043.213	.000
	商業土地使用模擬網格數	36240.400	1	36240.400	724.808	.000
	住宅土地使用碎型維度	96.771	1	96.771	1418.133	.000
	工業土地使用碎型維度	93.887	1	93.887	2185.337	.000
	商業土地使用碎型維度	74.901	1	74.901	630.977	.000
ZONING	住宅土地使用模擬網格數	6.400	1	6.400	.022	.886
	工業土地使用模擬網格數	10956.100	1	10956.100	12.640	.007
	商業土地使用模擬網格數	67.600	1	67.600	1.352	.278
	住宅土地使用碎型維度	9.120E-03	1	9.120E-03	.134	.724
	工業土地使用碎型維度	2.162E-02	1	2.162E-02	.503	.498
	商業土地使用碎型維度	.896	1	.896	7.551	.025
誤差	住宅土地使用模擬網格數	2338.000	8	292.250		
	工業土地使用模擬網格數	6934.000	8	866.750		
	商業土地使用模擬網格數	400.000	8	50.000		
	住宅土地使用碎型維度	.546	8	6.824E-02		
	工業土地使用碎型維度	.344	8	4.296E-02		
	商業土地使用碎型維度	.950	8	.119		
總和	住宅土地使用模擬網格數	841026.000	10			
	工業土地使用模擬網格數	922095.000	10			
	商業土地使用模擬網格數	36708.000	10			
	住宅土地使用碎型維度	97.326	10			
	工業土地使用碎型維度	94.252	10			
	商業土地使用碎型維度	76.747	10			
校正後的總數	住宅土地使用模擬網格數	2344.400	9			
	工業土地使用模擬網格數	17890.100	9			
	商業土地使用模擬網格數	467.600	9			
	住宅土地使用碎型維度	.555	9			
	工業土地使用碎型維度	.365	9			
	商業土地使用碎型維度	1.846	9			

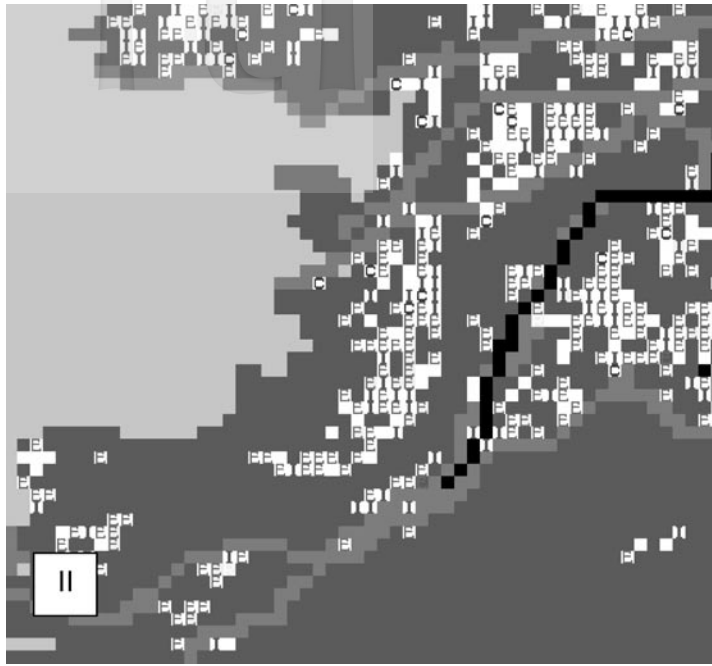
- a. R平方=.003 (調過後的R平方=-.122)
- b. R平方=.612 (調過後的R平方=.564)
- c. R平方=.145 (調過後的R平方=.038)
- d. R平方=.016 (調過後的R平方=-.107)
- e. R平方=.059 (調過後的R平方=-.058)
- f. R平方=.486 (調過後的R平方=-.421)



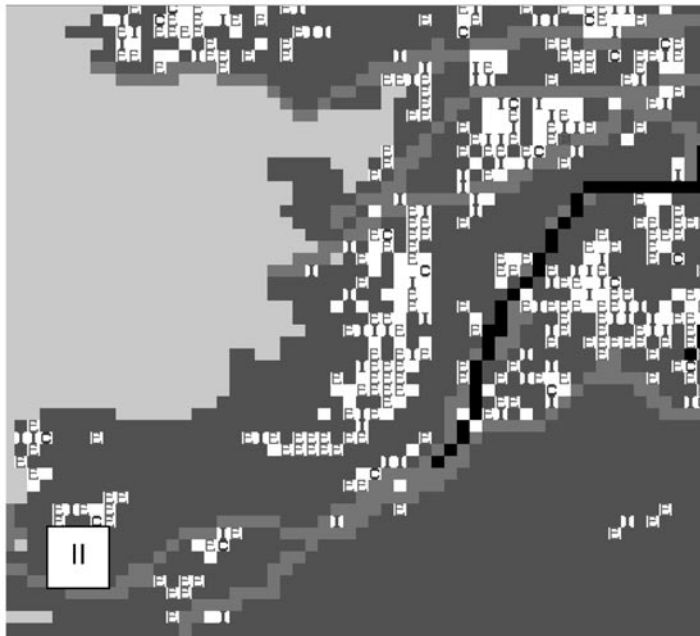
圖二 模擬之分區圖層與分析範圍示意圖

表十一 模擬圖層之圖樣與型態對照表

圖樣	型態	圖樣	型態
□	住宅區	■	初期捷運線
■	工業區	■	道路與捷運線重疊處
■	商業區	E	空地
■	可發展區	R	住宅土地使用
■	限制發展區	I	工業土地使用
■	國道與省道	C	商業土地使用



圖三 第一組樣本模擬期數 $t=18$ 之II區各土地使用分布圖



圖四 第一組扣除土地使用分區影響因素樣本模擬期數 $t=18$ 之II區各土地使用分布圖

五、討 論

模擬的目的，即是希望透過電腦科技的進步，屏除過去由上而下主觀建構模式所產生的問題，而是改採用個體為基礎模式建立（agent-based modeling）的概念，期待給予每個在研究系統中各個最基本的單元對於所面對的問題，能自行產生解決方式的行為模式，就如同現實社會中每個個體的行為一樣，並透過其彼此間的互動，來創造出一個近似現實社會的模擬系統。如此，研究者將可透過這樣一個模擬系統，了解社會可能發展的趨勢與可能產生的問題，進而作為制定決策的依據。

從過去土地使用變遷模擬模型的發展歷程中，已證實模擬模型確實可以模擬出與現實世界中許多都市土地使用分布相同的特性，如冪次法則與碎形（White and Engelen, 1993）。土地使用變遷模擬模型除了可以了解土地使用分布的一般性的特性，許多研究者當然更期望能夠透過模擬模型預測各個地區未來可能的發展以作為相關決策的依據，就如同上述所提到之模擬的目的的一樣，因此，近期也有學者進行這方面之研究，如Deal與Fournier（2000）之米爾河流域（Mill Creek Watershed）地區2020年的都市成長預測模型。

雖然土地使用變遷模擬模型之建構方式大致相同，也不斷在進行改進，如本研究將過去所忽略的土地使用分區對土地使用會產生影響的特性，以及以基因演算法的方式來求取相關參數等融入於模型當中，但仍舊有許多人抱持著懷疑：「未來的土地使用確實會如模擬系統般的發展嗎？」答案到現在為止可以說仍就是不確定的，或許這是因為影響土地使用變遷的影響因素是非常繁雜的，包括空間因素—透過網格間距離遠近所產生的土地使用變遷，與非空間因素—突然的政治經濟決策或國際情勢演變。而對於模擬模型而言，如何將非空間因素予以融入，則尚有待發展。唯一可以確定的是，只要能夠針對模擬模型的規則訂定更為細緻，如增加更多與重要的局部性因素，土地使用的分類更為仔細，就可如同White, Engelen與Uljee（1997）所述：「像道路……與一些現況之土地使用分布型態，就可彼此互動並限制都市發展的可能型態。如此，儘管系統可能具有隨機性，但它將會使都市土地使用型態的預測變得更可信賴。」

因此，未來土地使用變遷模擬模型的發展，本研究認為除了應朝向如何將非空間決定性因素融合於其中，也就是將可能的臨時用地變更或經濟決策方面的資訊在模擬過程中的予以加入，並需要更完善的基礎資料建置，如過去各土地使用的發展地點等，因為模擬模型的資料校估需要的是完整的資料背景來增進參數的準確性，如此，以模擬結果來作為規劃決策之用將更有保障。

此外，關於土地使用分區在模擬模型中對各土地使用分布所造成的影響，從本研究之模擬結果中可以知道，首先，觀察模擬結果之土地使用分布圖層（圖三與圖四）後可以發現，住宅土地使用與工業土地使用之聚集分布明顯地受到了土地使用分區的影響。在具有土地使用分區影響因素的模擬圖層中，住宅使用與工業使用明顯的在其受允許機率較大的地方聚集成長；反之，在扣除土地使用分區影響因素之模擬圖層中，住宅使用與工業使用則同樣會聚集成長，但卻與上述地點有所差異，也就是雖然住宅與工業土地使用仍會聚集，但其分布卻不受土地使用分區地點所限制。此外，商業使用的分布則在具有土地使用分區的模擬圖層中，其分布較為集中，而扣除土地使用分區影響因素的模擬圖層中，則較不集中。

而後，觀察模擬結果分析之土地使用分區影響因素單因子多變量分析，從分析表十中可知，土地使用分區僅對工業土地使用網格數及商業土地使用碎形分布的影響較為顯著，其餘則否。

比較土地使用在可見的模擬圖層之分布與透過單因子多變量分析之碎形維度分析所得的結果，似乎有所出入。為什麼在可見的圖層上各土地使用分布有顯著的不同，但多變量分析的結果各土地使用分布的碎形維度卻僅有商業土地使用產生顯著。難道土地使用分區僅對商業土地使用的分布造成影響？

原因即在於，本研究之土地使用碎形維度僅決定了土地使用分布的碎形樣貌，卻無法決定其碎形樣貌的位置座標。如圖五與圖六，雖然黑色網格碎形樣貌相同（碎形維度皆約為0.940），但其分布的位置座標卻不同。也就是說，土地使用分區對於各土地使用的影響，其影響了商業土地使用的碎形樣貌與位置，但卻未影響到住宅與工業土地使用的碎形樣貌，而僅影響了其座標位置。這樣的觀察引發一有趣的問題，即直覺上分區管限制了開發形態，也應改變土地使用分佈的樣貌，但本研究卻發現分區對土地使用分佈的樣貌其影響是有限的，原因為何？可能的解釋

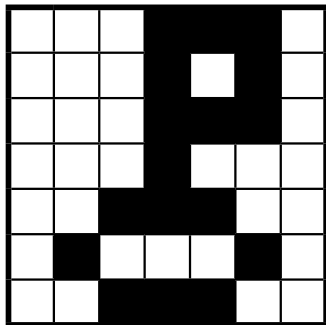


圖 六

$$r = 0 \quad B_T = 1$$

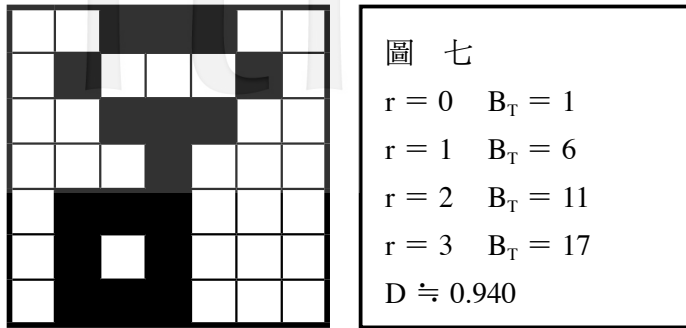
$$r = 1 \quad B_T = 6$$

$$r = 2 \quad B_T = 11$$

$$r = 3 \quad B_T = 17$$

$$D \doteq 0.940$$

圖五 Log範圍一半徑示意圖（一）



圖六 Log範圍—半徑示意圖（二）

之一是都市實質發展其過程也許與制度發展沒有強烈的關係，但這個解釋需要進一步求證及深入探討。

六、結 論

透過上述之電腦分析結果與相關之討論後，本研究認為以經濟財產權與經濟財產權值指標的變化說明土地使用彼此互動所產生的結果，並作為土地使用轉換的依據，有助於了解土地使用進行轉換的背景原因，即土地互動影響的內容與土地使用轉換的決定因素。而從基因演算法所獲得的二十一個參數值可知，住宅使用與工業使用對於周圍土地經濟財產權參數值的影響，以能產生相同類型的土地使用能達到較高的經濟財產權值。也就是說，住宅使用與工業使用具有極高吸引相同類型使用的特性。而從分區容許度參數值來看，則可發現工業區允許其他土地使用的程度最低，開發者在工業區能進行的經濟財產權也就受到較高的限制。

從土地使用分區影響因素的單因子多變量分析可知，土地使用分區會對土地使用分布產生影響，而其影響的內容包括有：影響模擬範圍內工業土地使用產生的數量及商業土地使用分布的碎形樣貌。而對於其他土地使用產生的數量及分布的碎形樣貌則無顯著影響。但若進一步的與模擬圖層進行比較，土地使用分區影響的方式主要為各土地使用分布的位置而非樣貌。也就是說，不論是否有分區管制的因素，碎形的都市空間樣貌是一極具韌性的特色。

此外，在配合電腦技術的進步，本研究認為以基因演算法的方式進行各土地使用間影響參數值的校估，而從校估的結果來看，可發現所獲得的參數值皆達到顯著水準。因此，透過此一基因演算法之參數校估方式確實可減少需耗費時間與人力之

試誤法校估缺失，也可彌補運用主觀方法給予參數值可能產生的問題。

最後，本研究在資料取得上，尤其是土地使用現況圖形資料，受到許多限制，可能對參數校估的結果有所影響，但對研究結果的影響可能有限，因為所有的參數校估係根據一組固定的資料進行，其間的誤差可能因使用同一組校估資料而抵消。此外，本研究模式並未考慮可移動的物件，如開發者及居民等，而目前針對這種限制的模式發展，如個體基礎模型（agent-based modeling），可考慮作為本研究未來後續的發展方向之一。然而，從本研究之模擬模型與模擬結果來看，本研究之土地使用變遷模型確實能模擬出近似真實世界的各土地使用分布型態，不但有利於作各影響因素其影響程度的觀察與分析，並可提供可見的動態土地使用變遷過程。

參考文獻

- 邱詩純，(2002)，〈百貨公司廣場行人移動自我組織現象之研究〉，交通大學交通運輸研究所碩士論文。
- 林士弘，(2002)，〈結合宮格自動機與地理資訊系統在台北盆地土地使用變遷模擬之研究〉，台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 林如珍，(1998)，〈以準碎形空間混合度指標探討都市土地使用形態的自我組織—整體空間發展受限模式之應用〉，中興大學法商學院都市計劃研究所碩士論文。
- 張宏旭，(2000)，〈基因演算法在設施配置規劃上之應用〉，成功大學土木工程學系碩士論文。
- 蔡宜鴻，(1999)，〈以 GIS 及 CA 為基礎的土地使用發展預測模擬方法〉，成功大學都市計劃研究所碩士論文。
- 賴世剛，(2002)，〈開發許可制與土地使用分區管制比較研究〉，《規劃師》，第 4 期，第 18 卷，pp64-67。
- 賴世剛、高宏軒，(2001)，〈都市空間系統自我組織臨界性之初探〉，《國立臺灣大學建築與城鄉研究學報》，第 10 期，pp31-44。
- Alchian, A. A. (1965), "Some Economics of Property Rights," *Il Politico*, Vol. 30(4): 816-29.

- Batty, M. (2005), "Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals," The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Batty, M and Xie, Y. (1994), "From Cells to Cities," *Environment and planning B*, Vol. 21: 31-48.
- Batty, M. and Torrens, P. M.(2001),"Modeling Complexity: the Limits to Prediction," <http://www.casa.ucl.ac.uk/paper36.pdf>
- Barzel, Y. (1997),"Economic Analysis of Property Rights," *Cambridge University Press*, New York.
- Benenson, I. and Torrens, P. M. (2004),"Geosimulation: Automata-based Modeling of Urban Phenomena," John Wiley & Sons, Ltd., *West Sussex*, England.
- Cecchini, A., and Viola, F. (1990) "Eine Stadtbausimulation," *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule fur Architektur und Bauwesen*, Vol. 36: 159-162.
- Cecchini, A., and Viola, F. (1992) "Ficties - Fictitious Cities: A Simulation for the Creation of Citiities. paper presented at the Internationa Seminar on Cellular Automata for Regional Analysis, DAEST, *Universitario di Architettura*, Venice, Italy.
- Cheung, S. N. S. (1969), "A Theory of Share Tenancy," *University of Chicago Press*, Chicago.
- Clarke, K. C., Hoppen, S., and Gaydos, L. (1997), "A Self-modifying Cellular Automaton Model of Historical Urbanization in the San Francisco Bay Area," *Environment and planning B*, Vol. 24: 247-261.
- Coase, R. H. (1960), "The Problem of Social Cost," *Journal of Law and Economics*, Vol. 3 (1): 1-44.
- Couclelis, H. (1985), "Cellular Worlds: A Framework for Modeling Micro-macro Dynamics," *Environment and Planning A*, Vol. 17: 585-596.
- Couclelis, H. (1988), "Of Mice and Men: What Rodent Populations Can Teach Us about Complex Spatial Dynamics," *Environment and Planning A*, Vol. 29: 99-109.

- Couclelis, H. (1989), "Macrostructure and Microbehavior in A Metropolitan Area," *Environment and Planning B*, Vol. 16: 141-154.
- Deal, B. and Fournier, D. F. (2000), "Ecological Urban Dynamics and Spatial Modeling," <http://www.rehearsal.uiuc.edu/NSF/report/Sstarlogo2000.html>
- Frankhauser, P. and Sadler, G. (1991), "Fractal Analysis of Agglomerations," paper presented at International Symposium des Sonderforschungsbereich 230: Natürliche Konstruktionen-Leichtbau in Architektur und Natur: Teil 2, *Universities of Stuttgart and Tübingen*, West Germany.
- Goldberg, D. E. (1985), "Dynamic System Control Using Rule Learning and Genetic Algorithms," in *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Vol. 9: 588-592.
- Jacobs, J. (1961), "The Death and Life of Great American Cities," *Vintage Books*, Random House, New York.
- Lai, S-K(2001), "Property Rights Acquisitions and Land Development Behavior," *Planning Forum*, Vol. 7, 21-27.
- Lai, S-K (2006), "A Spatial Garbage-Can Model," *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 33, No. 1: 141-156.
- Parker, D.C., Manson, S.M., Janssen, M.A., Hoffmann, M.J., and Deadman, P. (2003), "Multi-agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review," *Annals of American Association of Geographers*, Vol. 93, No. 2: 314-337.
- Webster, C. J. and Wu, F. (1999a), "Regulation, Land-Use Mix, and Urban Performance. Part 1: Theory," *Environment and planning A*, Vol. 31: 1433-1442.
- Webster, C. J. and Wu, F. (1999b), "Regulation, Land-use Mix, and Urban Performance. Part 2: Simulation," *Environment and planning A*, Vol. 31: 1529-1545.
- White, R. and Engelen, G. (1993), "Fractal Urban Land-Use Patterns: A Cellular

Automata Approach," *Environment and planning A*, Vol. 25: 1175-1199.

White, R., Engelen, G., and Uljee, I. (1997), "The Use of Constrained Cellular Automata for High-Resolution Modeling of Urban Land-Use Dynamics," *Environment and planning B*, Vol. 24, 323-343.