

# 第一章 緒論

## 第一節 研究動機與目的

### 一、研究動機

地景生態學 (landscape ecology) 是一宏觀的生態研究，它將整個地景視為研究的對象 (陳朝圳等, 2001a)。而地景是由地貌過程及各種干擾作用所形成，具有特定結構、功能與變化的宏觀系統。其中地景變遷 (landscape change) 的研究更是加入了時間尺度的考量，有助於瞭解整個生態系統的穩定性與動態變化 (Forman and Godron, 1986)。因為森林生態系的變遷具有方向性，因此唯有透過監測地景變遷的時間序列，才能瞭解其變化的自然機制 (Antrop, 1998)。

地景變遷研究不僅是「人與地」傳統的理論研究課題，更是緊扣著全球環境變遷以及永續發展這兩個當代研究潮流中，急待尋求解答的應用研究課題。藉由地景變遷機制的掌握，研究者可以在科學的基礎上建立資源管理策略的目的。有關地景變遷方面的研究近年來也有了更多元的方法及理論出現，如：馬可夫模式 (蔡靜如, 1997; 丁志堅, 1997; 黃志成, 1997; 黃書禮、蔡靜如, 2000; 方琮雅, 2001; 林子尊, 2001; 黃德銘, 2001; 鄒國信, 2001; 鄧國禎, 2001; 許立達, 鄭祈全, 2002; 方梅萍, 2002; 呂仲耿, 2002; 陳永寬, 吳守從, 2001; 廖亞禎, 2002 等)、灰色理論 (鄧國禎, 2001; 林遠航, 2002 等)、地景指數 (林明志, 1993; 馮豐隆, 黃志成, 1997; 王素芬等, 1999; 鄭祈全, 1999; 簡炯欣, 1999; 張俊彥, 2000; 林裕彬等, 2001; 陳正華, 2001; 陳朝圳等, 2001b; 楊沛儒, 2001; 劉儒淵等, 2001; 鄭祈全等, 2001; 鄧東波, 2001; 陳永寬, 吳守從, 2001; 方梅萍, 2002; 吳守從, 陳永寬, 2002; 呂仲耿, 2002; 林裕彬等, 2002; 廖亞禎, 2002; 薛怡珍等, 2002 等)、碎形理論 (黃志成, 1997; 王素芬等, 1999; 鄭祈全等, 1999; 詹振雄, 2000; 林裕彬等, 2001 等)、Logit 模式 (李國忠, 黃德銘, 2001; 黃德銘, 2001; 鄭祈全等, 2001;

許立達、鄭祈全，2002 等)、類神經網路(張右峻，1997；林彥良，2001；簡大維，2001；陳孟威，2002；詹仕堅，2003 等)細胞自動化理論(Cellular Automata, CA)(汪禮國，1997；高宏軒、賴世剛，1998；林如珍，1998；蔡宜鴻，1999；陳宥任，2000；林祥偉、孫志鴻，2000；賴進貴，2000；賴進貴等，2000；李宣德、馮豐隆，2001；林士弘，2002；林峰田等，2002、賴進貴，2002 等)、系統動態方法(鄭英美，2001 等)、多變量分析(施明元，1995；蔡靜如，1997；林裕彬、林怡君，1999；白梅玲等，2000；蔡宗穎，2000；許香儀，2002 等)、多目標規劃法(蔡宗穎，2000 等)等方法之應用。

這 20 年來，地理資訊系統的發展使得空間模擬的研究工作更為便利，而網格式 GIS 的發展更提供大量的模擬工具，間接刺激新的地理模式發展。近年來所新興發展的細胞自動化理論，從空間組織的演化上切入，提供空間演化另一種觀點(汪禮國，1997；Clarke *et al.*，1997；White and Engelen，1997；White, *et al.*，1997；陳宥任等，2000 等)。

國內有關細胞自動化理論之研究，多用以預測都市地區之空間演化或土地使用變遷，如汪禮國(1997)、高宏軒、賴世剛(1998)、蔡宜鴻(1999)、華梅英(2000)、陳宥任(2000)、林祥偉等(2000)、賴進貴等(2000)、林士弘(2002)、林峰田等(2002)等研究。這是由於研究都市地區的應用價值高，如：選址、空間規劃等之應用；然而，都市的發展易受政治(策)、法令、交通等限制。再考慮細胞自動化理論的本質，其係基於細胞自動演化的觀點，因此，本研究期望能將細胞自動化理論應用於「非都市土地」，探討其地景變遷之歷程。

本研究將運用地理資訊系統的空間分析技術，並整合細胞自動化理論中有關可自我組織架構、反覆回饋之觀念，嘗試架構出一套適用於森林之地景變遷模擬系統，所得之操作過程與參數可作為相關研究之用。

## 二、研究目的

本研究將引用近年在國外被廣泛討論之細胞自動化理論，並配合地理資訊系統的空間分析技術，並結合細胞自動化理論中有關可自我組織架構及反覆回饋之理論，模擬森林地景變遷。

## 第二節 研究內容與範圍

### 一、研究內容

#### (一) 緒論

說明本研究之動機與目的、研究內容與範圍、研究方法與流程，其重點在於確立整體研究之方向。

#### (二) 文獻回顧

蒐集國內外相關之文獻，加以分析整理。而本研究之文獻回顧主要範疇為「國內地景變遷相關研究」、「影響地景變遷的各種因子」、「細胞自動化理論理論本質與應用」、「細胞自動化理論之相關研究」等相關資料蒐集分析，得於模擬模型建立、實證研究與結果分析時加以運用。

#### (三) 研究方法設計

說明本研究之模型建立方法、過程、立論及模型架構，以及資料來源、資料的預處理及演化規則說明等。

#### (四) 實證研究

首先進行實證基地歷年之地景變遷探討，瞭解基地之特性及影響地景變遷之各項因子，再訂立各種地景變遷規則，本研究以下列兩種設定分別進行模擬及成果展現：

1. 假設鄰近地區之影響係數均相同
2. 強調聚集效果之影響係數

#### (五) 結論與建議

包括本研究之模擬結果、模型的操作限制與成果誤差和提出後續研究方向之建議。



### 第三節 研究方法與流程

#### 一、研究方法

##### (一) 文獻回顧法

主要包括下列二大主題：

##### 1.地景變遷

- (1) 蒐集、整理並分析有關地景變遷之研究，探究其內容並瞭解國內有關地景變遷之研究趨勢。
- (2) 蒐集、整理並分析有關地景變遷模擬所使用之各項研究方法與工具。
- (3) 蒐集、整理並分析影響地景變遷之各種干擾因子。
- (4) 蒐集有關森林地景變遷之相關理論。

##### 2.細胞自動化工論

- (1) 瞭解細胞自動化工論之本質（包括：名詞釋義、發展歷程、理論特色、細胞組成等）。
- (2) 蒐集、整理並分析細胞自動化工論於相關領域之研究與應用。

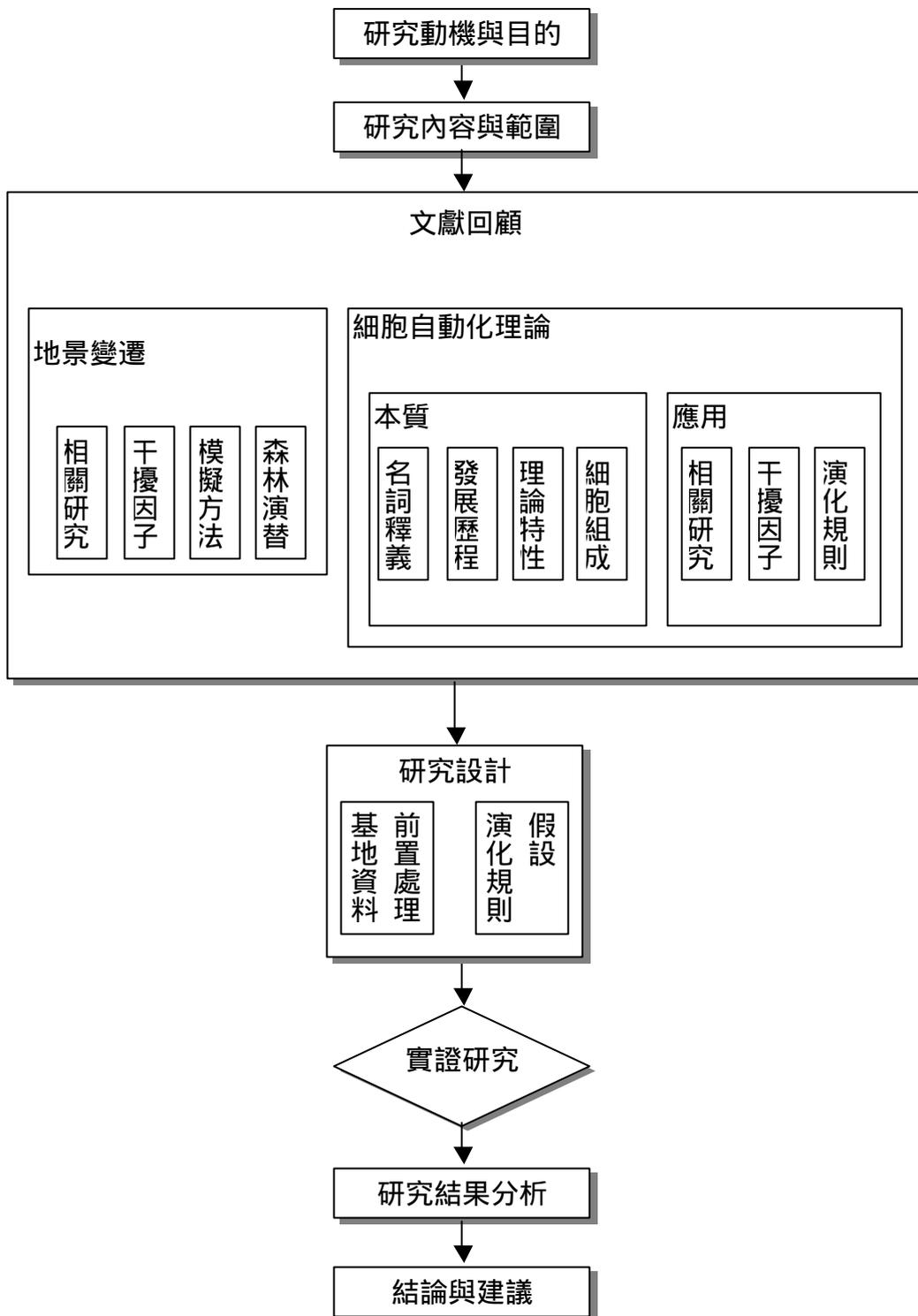
##### (二) 細胞自動化工論操作

1. 蒐集、整理並分析實證基地相關背景資料，以及歷年地景變遷情形。
2. 擬定研究區於細胞自動化工論模型之干擾因子權重。
3. 擬定研究區於細胞自動化工論模型之演化規則。
4. 在 GIS 軟體中，撰寫系統模擬程式。
5. 建構以細胞自動化工論模擬實證基地地景變遷模型。

## 二、研究流程

本研究之研究流程主要可分為五大部分(見圖二),包含:

- (一) 緒論：研究動機與目的、研究內容與範圍。
- (二) 文獻回顧：地景變遷、細胞自動化理論。
- (三) 研究設計：基地資料前置處理、演化規則設定。
- (四) 實證研究：實證基地、實證設計。
- (五) 結論與建議：研究結果分析、結論與建議。



圖二 研究流程圖

(本研究整理)

## 第二章 文獻回顧

### 第一節 地景變遷

#### 一、研究主題探討

地景變遷研究主要重點在於探討地景隨著時間變化，其結構與功能之所產生變異。地景變遷的產生包括基質的改變、主要為地景要素的面積比例產生顯著變化(即出現新地景要素並佔有相當面積等)，地景變遷研究的範圍包含：地貌演進、氣候變遷、嵌塊體發育與空間排列型態轉變、生態系統干擾、人類活動過程等因子對地景變化的影響 (Forman and Godorn, 1986; 肖篤寧等, 1993; 肖篤寧, 1993)。

有關地景變遷之研究，近年來在國內已蓬勃發展。國內已發表地景變遷之相關博、碩士論文，其對於「地景變遷」之詮釋呈現主要有下列三者：

#### (一) Land use change

一般多譯為「土地利用變遷」、「土地使用變遷」，如周朝富(1985)、杜昌柏(1993)、羅家強(1987)、羅家強(1987)、施明元(1995)、廖信誠(1996)、蔡靜如(1997)、丁志堅(1997)、陳美心(1998)、詹喬嵐(2000)、李國忠、黃德銘(2001)、許香儀(2002)、李敘文(2002)、曾昭恩(2002)、柯俐安(2002)、林士弘(2002)、詹仕堅(2003)、吳守從(2003)等。

#### (二) Landscape change

一般多譯為「地景變遷」、「景觀變遷」，如周學政(1986)、林明志(1993)、林佩佩(1995)、陳惠滿(1998)、楊沛儒(2001)、鄧國禎(2001)、林芳儀(2001)、廖亞禎(2001)、陳正華(2002)、陳美潔(2002)、呂仲耿(2002)等。

### (三) Landscape pattern change

一般多譯為「景觀格局變遷」，如方梅萍(2002)等。

更進一步探究其研究內容與方向，本研究發現以「土地利用變遷」及「土地使用變遷」為主題者，多用於都市地區之研究；而以「地景變遷」為主題者，其多為具林業、地理學等相關學術專業背景之研究；而以「景觀變遷」為主題者，其所牽涉之領域較偏重景觀、造園、生物、生態等領域之研究；另外，尚有以「景觀格局變遷」為主題者，其研究除探究地景之變化外，更會進一步以「景觀生態學」之「基質、廊道、嵌塊體」觀點，進一步分析之。據此，本研究之研究主題係定為第二者（即「Landscape change」），譯為「地景變遷」。

此外，本研究彙整國內有關地景變遷之研究（如表一），以瞭解相關研究之內容趨勢。

## 二、地景變遷研究方法探討

有關地景變遷之研究，若進一步分析其變遷之趨勢或牽涉到地景變遷預測，則需進行模擬，而有關地景變遷之模擬上，近年來在國內之地景變遷研究亦有多樣性的方法（見表一），經由文獻回顧的結果，主要歸納有下列幾項：

(一) 馬可夫模式

(二) 地景指數

(三) 灰色理論

(四) 碎形理論

(五) Logit 模式

(六) 系統動態方法

(七) 多變量分析

(八) 多目標規劃法

(九) 類神經網路

(十) 細胞自動機

(十一) 遙測

(十二) 其他

如林玲 (1984) 利用土地利用組合方法, 李建堂 (1987) 利用野外實際調查、蔡宗佑 (1998) 利用分類後比較法、影像重疊法、影像相減法等, 劉耀文 (2001) 利用基地設計尺度及區域整體尺度, 林育瑋 (2001) 林芳儀 (2001) 陳憲欽 (2001) 柯俐安 (2002) 利用 GIS 的空間分析功能。

表一 國內地景變遷相關文獻彙整表

研究者	年代	研究主題	地景變遷研究方法												研究區	研究內容與結果
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
林玲	1984	台灣山地保留地土地利用變遷之研究 - 以秀巒村為個案分析												*	秀巒村	1.以1966年秀巒村山地保留地土地調查資料、1984年山地保留地的地籍清冊資料、1985年台灣省山胞經濟調查資料，探討在1966-1984年土地利用上的變化，進而了解其變化的特性，合理性與原因。 2.在1966年-1984年的變化類型是：(1)未利用地大幅降低；(2)水田面積變化小；(3)旱地雜作用地大量改種溫帶果樹；(4)超限與降限面積明顯增加；(5)本村三個保留地段在同時期的變化率在28%左右。
周朝富	1985	大地衛星資訊探測台北地區土地利用變遷之研究												*	台北地區	1.利用大地衛星一號於1972年11月1日及大地衛星四號於1984年5月10日所掃描之兩期影像為研究材料，以可循環掃描獲取多期資料之衛星多譜資訊探測台北地區土地利用變遷之狀況。 2.1972年及1984年影像的分類準確度分別為64.2%及67.95%；以分類影像直接作比較的變遷探測法得到43.57%的探測準確度；以影像差異法作變遷探測的方法，得到63.94%的探測準確度；差異法較分類後比較法為優異。
李建堂	1987	山地保留地土地利用變遷之研究 - 屏東縣霧台鄉個案分析												*	屏東縣霧台鄉	1.利用生態體系架構來分析不同時期的土地利用狀況，並由土地利用圖分析其變遷情形。 2.霧台鄉的土地利用變化，主要為旱作地、草生地面積的大量減少，林地面積則大量增加，尤其造林地面積增加很多。
羅家強	1987	航照判釋應用於桃園市土地利用變遷之研究 - 台灣都市化地區個案研究												*	桃園市	1.運用航照判釋佐以實地抽查，以都市機能、人口結構作為評估精確度的項目。 2.所建立之判釋準則，在桃園市土地利用調查上，達到83.8%的精度。
曾柏園	1988	多重衛星遙測影像在土地利用變遷調查中運用研究												*	中歷台地區	1.探討不同的衛星遙測掃描器對土地利用變遷調查的影響程度。研究設計針對大地四號衛星承載的TM及MSS掃描系統載台，以不同的掃描系統攝取之影像，在相同的輻射條件、相同的地區及相同的分類法則下，進行自動化的遙測影像判讀， 2.若應用MSS與TM兩系統做土地利用變遷調查因空間解像力不同，造成分類結果正確率只有80.64%，光譜解像力不同，導致分類結果正確率僅62.53%。綜合光譜及空間解像力之不同，使正確率下降至58.26%。
蘇泰霖	1992	由景觀生態學觀點探討坡地遊憩區遊憩活動區位適宜性之研究				*								*	嘉義鹿寮溪水庫	1.以專家問卷法建立評估準則。並以ARC/INFO進行遊憩活動區位適宜性之疊圖分析，以提供山坡地遊憩活動區位評估之參考。 2.藉由景觀生態觀點研擬的山坡地遊憩區遊憩活動區位適宜性分析模式，於規劃階段透過坡地環境及遊憩活動相互關係之分析，以尋求遊憩活動區位的合理分配，以避免不當活動區位設置造成坡地環境的破壞。
白金城	1993	都會區空間結構發展模式之研究												*	台中都會區	1.於台中都會區空間結構發展過程中，以人口、產業活動、土地使用與交通路網等幾項變數之間相互的影響做為都會區各鄉鎮都市機能的發展特徵，並分析都會區機能發展模式、分佈型態與區位之間的關係。 2.綜合土地使用、交通路網、人口、產業等各層面考量分析，了解台中都會區人文社經與土地使用空間結構發展模式之關係。
杜昌柏	1993	都會區土地使用變遷之研究												*	台中都會區	1.應用遙感探測技術，配合地理資訊系統，探討都會區土地使用變遷與人文社經因素之間的關係。 2.台中都會區人口有向台中市集中的現象；在產業方面，以第二、三級產業為主；而由土地使用變遷之分析，可得知台中都會區不同階層都市體系之分佈狀況；在人文社經因素與土地使用變遷之整體模式中，以人口方面的因素影響最為顯著。
林明志	1993	關渡地區鳥類群聚動態與景觀變遷之關係	*											*	關渡地區	1.研究關渡地區在1979-1993年間鳥類群聚動態和景觀變遷之關係，利用景觀與鳥類資料，配合遙測與地理資訊系統進行分析。 2.本區的景觀有兩種明顯的變化：堤防以南紅樹林急速的成長；堤防以北人為干擾區域的擴張。

表一 國內地景變遷相關文獻彙整表 (續一)

研究者	年代	研究主題	地景變遷研究方法												研究區	研究內容與結果
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
施明元	1995	台中市土地利用空間發展之研究												*	台中市	1.應用遙測技術配合GIS,探討台中市1986、1990、2003年都市土地利用發展特性變化及其與人文社經因素間之關係。 2.台中市土地利用空間發展型態為空間連續性之發展;在1986年台中市仍以市中心為主要核心,而建物開發及空地利用有往近郊屯區發展之現象。再者,影響台中市土地利用主要以「各里道路面積」之影響最顯著。
廖信誠	1996	都市邊緣地區土地利用變遷與逕流特性關係之研究												*	景美溪集水區	1.利用遙測技術分析不同時期之衛星影像,以取得即時之土地利用型態,並藉地理資訊系統建立集水區水文分析資料庫,再連結HEC-1運動波模式進行模擬演算,以分析及了解不同時期降雨-逕流物理機制之變化情形。 2.經篩選1986年12月及1994年10月共兩張理想之SPOT衛星影像及其對應之1987年與1994年各一整年內共8場暴雨事件進行檢定與驗證,結果顯示模式之模擬能力良好。
蔡靜如	1997	台北盆地土地利用變遷趨勢之研究	*					*							台北盆地	運用1981年與1995年網格式的GIS軟體IDRISI作為空間分析的工具,最後以因素分析、群落分析、判別分析擷取出影響地景變遷的因素。
丁志堅	1997	運用馬可夫鏈模式度量土地利用變遷之研究	*												雲林縣沿海4鄉鎮及69村里	1.以馬可夫模式推導不同時期的土地利用變遷理論趨勢值,度量土地利用變遷趨勢,然後應用群集分析於研究區69村里,來度量土地利用在時間與空間的變化情形。 2.以鄉鎮為空間單元較以村里為空間單元所能度量的範圍有限。
林新岳	1997	東埔梅山地區航照圖、衛星影像應用於土地利用變遷監測之研究											*		東埔、梅山地區	1.建立東埔、梅山地區資料庫,將地籍、坡度、土地利用等資料整合成數值資料檔,再分析各年度之間的土地使用變遷情形並分析東埔、梅山地區原住民保留地土地使用的時間序列發展變化,以瞭解不同年度間土地利用變化的情形。 2.建立一套資源監測資訊系統,提供作為決策管理者之參考依據,以輔助決策單位對土地使用之管理。
馮豐隆、黃志成	1997	惠蓀林場土地利用之地景排列和變遷		*											惠蓀林場	1.利用GIS篩選和套疊功能,擷取土地利用之地景變化資訊,以提供森林經營和監測之方法。 2.以GIS進行土地利用圖檔之管理,可便於擷取各年代之地景結構參數,並透過參數之生態意義做為地景監測之指標,其中以t檢定得知:1996-1997年間的土地利用具有地景歧異度之統計差異。
黃志成	1997	森林地景監測之研究 - 以惠蓀林場為例	*		*										惠蓀林場	1.建立地景資料庫並透過機率模式進行地景預測,再使用Kriging推估林份結構母數,再利用區域化變數,整合空間模式及碎形理論以瞭解地景母數在空間中的變異及尺度特性。 2.研擬土地利用地景監測系統之理論架構,包括資料蒐集子系統、資料庫子系統、分析模式子系統及決策支援子系統
戴梓卿	1997	建立山坡地土地利用變遷監測系統之研究						*								藉由迴歸之原理,以新建立之迴歸分析法分別由三個小試區之兩不同時期第二波段之影像,經判釋後將小試區內未發生變遷之像元灰度值取出以進行迴歸,推估全區之變遷範圍,並與非監督式分類後比較法及影像相減法之經驗法等進行比較。
陳美心	1998	土地利用變遷對水源涵養效益之影響 - 以大埔水庫集水區為例											*		大埔水庫集水區	1.應用遙測技術取得集水區內不同年代土地利用變遷資訊,並用GIS建立完整水庫集水區地形資料,配合水文模式,求得森林與其他土地使用間水源涵養量之相關函式。並以經濟角度評估,將林地轉換為不同土地利用方式進行水資源之效益評估。 2.當土地利用變遷時,其地表逕流量會隨著林地減少而增加,且受土地利用不同而有所影響,可得其地表逕流量與土地利用關係為:林地 < 果園 < 旱田、水稻 < 草地 < 裸露地 < 道路、建物。
郭振民	1998	應用遙測與地理資訊系統於分佈型降雨-逕流模式之研究										*	*		八掌溪上游集水區	1.用GIS與遙測技術建立集水區的地文因子與分析土地利用變遷情形,提供降雨-逕流模式之輸入資料。並在模式參數率定過程方面,以全域最佳化方法比較傳統的單目標函數法與模糊多目標函數法對模式率定結果之差異。 2.八掌溪上游集水區森林逐漸為檳榔所取代,道路與都市地開發也逐漸增加,此種土地利用變遷情形會使尖峰流量顯著增加。

表一 國內地景變遷相關文獻彙整表 (續二)

研究者	年代	研究主題	地景變遷研究方法												研究區	研究內容與結果	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
蔡宗佑	1998	鳳山溪上游集水區土地利用變遷之研究													*	鳳山溪上游集水區	1.本研究以分類後比較法、影像重疊法及影像相減法進行土地利用變遷分析，在分類後比較法中以非監督式分類法對原始影像、地形效應修正後之影像、主題切除後之影像、地形效應修正和主題切除後之影像，及經NDVI分析之五種影像進行分類。 2.分類後比較法中以經過地形效應及主題切除後之影像分類準確度較高；影像重疊法進行變遷偵測與篩選訓練樣區，不但能縮減地面調查範圍，亦可節省時間、人力及經費。
王素芬等	1999	地理資訊系統和碎形維度於森林地景空間變化上之應用		*		*										林業試驗所六龜生態經營區	1.配合生態多樣性觀念的修正碎形維度為指標，分別以模擬的地景資料和航空照片，探討各種經營作業下，對地景可能造成的影響，以及真實地景資料之維度情形。 2.森林伐採時，沿區塊邊界作業及採用不規則形狀的作業方式，以減少人為干擾對地景多樣性產生的影響。而開闢林道時，要考慮地景完整性，不宜任意穿越地景區塊。
林裕彬、林怡君	1999	以景觀生態觀點探討蘆竹地區之農田景觀結構							*							桃園縣蘆竹鄉	1.以 GIS 建立景觀生態資料庫，並求取景觀結構基本參數，以敘述統計與單因子變異數分析，評估農田景觀生態之結構變化。 2.農田景觀生態結構於南崁溪以北之基質為旱作，以南則為水稻田，且水稻田之景觀受人為干擾較大於旱田與廢耕地景觀。
鄭祈全	1999	森林地景變遷之監測研究			*											六龜生態經營區第 1,2,3,4,5,10 及 12 林班	1.應用數位航測製作試區 1988 與 1996 年二期之林型圖建檔於 GIS 中，並在含基質與不含基質二種情況下，計算地景組成與地景排列等指數，以分析砍伐與林道開闢對地景之影響。 2.砍伐與林道開闢會增加地景區塊數和區塊類型數，以致改變區塊類型之變異和豐富度及區塊分佈特性，進而影響地景指數。
鄭祈全等	1999	應用碎形維度監測森林地景結構與變遷之研究				*										六龜生態經營區第 1,2,3,4,5,10 及 12 林班	1.應用 GIS 和地景形狀指數有關的碎形維度做為指標，探討森林地景的空間變化與時間變遷情形，以及人為干擾的影響。 2.試區在 1988 年至 1996 年期間，從地景空間結構而言，同時考慮砍伐和林道人為干擾時，較僅考慮單一干擾對試區的森林地景造成較明顯的影響。
簡炯欣	1999	關刀溪長期生態試驗地之地景變遷及其代表性分析		*												關刀溪長期生態試驗地	比較研究區與惠蓀林場之坡度、坡向、海拔高、年平均溫度、年降雨量、全天空光域、水分梯度指數及溫度指數等8項有關生育地因子，探討研究區之生育狀況是否可代表惠蓀林場，並做為森林資源調查與監測處理之參考。
白梅玲等	2000	福山試驗林之景觀分類							*							福山試驗林	1.以 GIS 建立福山試驗林的量化環境資料庫，以多變量分析方法進行景觀分類，並討論各景觀單元的性質，做為比較的基礎。 2.景觀分類可用作生態調查或是設置樣區與建構景觀生態模式之依據。
姜聖華	2000	花蓮地區都市擴張行為之研究	*													花蓮地區	1.運用GIS計算地景生態上各個地景指標。 2.馬可夫預測結果其差異性可預期。
張俊彥	2000	以塊區形狀進行公園綠地評估之應用研究		*												鄰近太平市福元百貨的公園預定地及鄰近大坑風景區之邊緣地帶	1.利用經建圖繪出景觀生態分析圖，輔以航照圖和現地調查進行二次實際案例之操作，以評估不同替選方案在整體環境於空間地域角色的重要性。 2.都市公園塊區之延展性、密實度及圓周性高者，具有較大之內部核心區，有利於內部物種生存，適合運用於外部環境干擾較大的都市內部區位。

表一 國內地景變遷相關文獻彙整表 (續三)

研究者	年代	研究主題	地景變遷研究方法												研究區	研究內容與結果	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
許立達、鄭祈全	2000	應用馬可夫模式探討六龜生態系經營區之地景變遷	*													六龜生態系經營區	比較 1988 及 1996 年之土地覆蓋變化，並應用馬可夫模式分析地景過去之變遷及預測未來假想之土地覆蓋情況長期模擬的結果顯示除非人工造林，否則天然林終將取代所有的人工林。
詹振雄	2000	以破碎幾何理論模擬與分析都市成長模式之研究				*										台北市	1.透過L-Systems將都市分解呈核心、方向與限制三種成長元素，能充分描述台北市的成長行為並圖像化 2.運用破碎幾何理論可以發現碎形特徵的連續性
詹喬嵐	2000	集水區土地利用變遷對地表逕流之影響												*		鹽水溪集水區	1.利用遙測取得集水區之土地利用型態資料，並由GIS套疊分析技術進而建立集水區水文分析資料庫，同時以HEC-1水文模式模擬降雨~逕流之關係。再求取試區之水文參數資料庫，進而探討集水區土地利用變遷對逕流之影響。 2.美國土壤保持局所定義之CN值套入本研究試區之土地利用均有偏大之傾向，本研究乃將CN值予以修正，並以HEC-1運動波模式驗證，結果顯示修正後之CN值較為合理。
蔡宗穎	2000	水產養殖土地利用變遷之多變量預測模式建立 - 以屏東縣水產養殖為例							*							屏東縣水產養殖用地	1.用多變量分析方法中的主成分分析來整合並分析連續變量，進而建立複迴歸模式，並透過統計檢定以重複修正模式。 2.所計算出的複迴歸式符合迴歸分析的各項基本假設，為一最佳線性不偏估計式，且R-Square值為0.985，顯示該迴歸式的適配度良好，因此未來可依該迴歸式的各自變數有效推估屏東縣養殖魚塭面積。
方琮雅	2001	桃園台地水域用地空間結構變遷之研究	*													桃園台地	1.將原始土地利用分成四個種類，以馬可夫模式推導出不同時期的土地利用變遷理論趨勢值，度量土地變遷的趨勢。 2.水域嵌塊體的變遷特性，能反映桃園台地的成長情形。
李國忠、黃德銘	2001	陳有蘭溪流流域土地利用變遷與社經發展之實證分析				*										台大實驗林陳有蘭溪流流域	1.利用GIS結合logit模式探討墾民不當墾植的背景因素，如人文條件、社經發展等因素對土地利用變遷的影響。 2.人文變遷影響土地利用，土地利用變遷的狀況影響社區經濟發展，而社區經濟發展又回饋給人文變遷，成為一循環機制直到三者間取得平衡。
林子尊	2001	農地重劃景觀生態變遷之研究	*													臺灣農地重劃區	以地景生態學之理論原理探討臺灣農地重劃區之土地利用變遷與嵌塊體變遷情形。
林育璋	2001	土地利用區位及立地條件之空間分析 - 以中市為例												*		中市	1.以建成地在時間序列下的空間擴散形式為例，從空間資訊的角度切入，並提出量測都市土地利用變遷的方法及指標，從區位分析以及立地條件分析來探討土地利用在空間結構上的改變。 2.建成地的開發先後與區位有很大之關係：國中小學的區位分析中，可看出建成地開發先後之機制，而道路則因外在因素使變遷結果較不明顯；立地條件中的形狀，可輔助說明建成地開發機制，但影響力則無區位因素明顯。
林芳儀	2001	景觀變遷對於鳥類群聚時空分布之影響 - 以關渡自然公園為例												*		關渡自然公園	1.瞭解1994至1999年景觀變遷情形，並探討此對於鳥類群聚時空變動之影響；並對各生態同功群的空間分布加以探討。 2.自然演替之景觀變遷以低莖草澤及高莖草澤有大量擴展趨勢；人為干擾所造成景觀的改變主要為苗圃景觀的消失，及南側沿道路旁廢土傾倒造成灌叢等旱生植被的擴大；在鳥類群聚方面，陸鳥性生態同功群則在相對量豐度方面有增加之趨勢。
林裕彬等	2001	景觀生態計量方法於農業景觀生態系統之空間結構探討	*		*											桃園縣蘆竹鄉	1.將研究區分為五區，應用景觀生態理論探討研究區農業景觀生態系統，分析稻田及埤塘景觀之空間結構及相關性。區內稻田景觀皆呈現小異質性特性，旱田則在南北向上呈小差異性景觀，而東西向則是呈不規則異質性的現象。
陳正華	2001	南仁山生態保護區地景變遷之研究	*													南仁山生態保護區	利用1976、1989、1997年之航空照片為材料，做為南仁山保護區的變遷過程，將各土地使用類型作一分析討論。

表一 國內地景變遷相關文獻彙整表 (續四)

研究者	年代	研究主題	地景變遷研究方法												研究區	研究內容與結果	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
陳朝圳等	2001	人? 干擾對南仁山生態保護區地景之影響	*													南仁山生態保護區	1.利用 GIS 數化三期土地利用型圖,並分析 Shannon 多樣性、最大多樣性及均勻度指標,以 t 檢定其間之差異性。 2.三期土地利用及不同干擾狀況對地景多樣性及地景組成皆有顯著的影響,1976 年具有較高的地景多樣性,而致 1997 年有下降之趨勢,其下降程度干擾區大於天然地區。
陳憲欽	2001	以 GIS 輔助都市計畫之規劃													*	草屯鎮	1.藉由草屯鎮都市計畫區人口成長的推估,結合地理資訊系統處理圖形與屬性資料整合都市空間資訊之能力,進行都市計畫區內空間相對位置及各項公共設施空間分佈與服務範圍之分析與展示,以獲得都市資源分配與使用空間規劃之分佈資訊。 2.建立輔助都市計畫區內防災動線或相關緊急應變措施的參考資料。
黃德銘	2001	新中橫公路陳有蘭溪流域土地利用變遷與社經發展之研究	*			*										陳有蘭溪集水區	1.藉由GIS算出各期土地利用變遷面積量,並交叉分析得到各土地利用類型的相關關係 2.採用logit模式探討各因子對土地利用變遷的空間分析
楊沛儒	2001	地景生態城市規劃 - 基隆河流域 1980-2000 的都市發展、地景變遷及水文效應		*												基隆河流域	1.以地景生態指標來測度基隆河流域河谷段的土地嵌合體空間形式變化。 2.10公頃以上之大型森林斑塊數量、城市及自然斑塊形式與地景分異化等地景生態指標與水文系統的變化具有高度相關性。
鄒國信	2001	台北都會郊區土地利用變遷研究 - 以樹林市為例	*													樹林市	利用馬可夫鏈轉置機率矩陣配合GIS來探討土地利用變遷趨勢,利用GIS分析土地利用變遷。
劉儒淵等	2001	溪頭地區地景結構對細蝶族群在嵌塊體中分佈之影響		*												溪頭地區	1.探討溪頭地區地景結構對細蝶在地景中分佈之因素,並預測出細蝶在嵌塊體中出現的機率與密度,更由微地景尺度,精確描述出細蝶在嵌塊體內部之分佈情形及其與植群之關係。 2.影響細蝶在地景中之嵌塊體分佈與否之因子為嵌塊體距離溪流與平均坡度,而影響細蝶密度之主要因子為嵌塊體內緣比。
劉耀文	2001	以景觀生態探討官田水雉棲地之保育													*	官田葫蘆埤及其周邊菱角田	1.應用Forman等人提出之景觀生態原則探討水雉棲地保育,依棲地設計尺度及區域整體尺度兩種主要探討架構。 2.棲地設計尺度之保育策略著重於生態點的營造、生態廊道之建立、邊緣結構及形狀之改善及應用交融鑲嵌之鑲嵌體來提高棲地之品質;區域整體尺度之保育策略著重於如何增加棲地面積及整體生態網絡之建立。
鄭祈全等	2001	應用地理資訊系統監測森林地景變遷之研究	*			*										六龜生態經營區第 1,2,3,4,5,10 及 12 林班	1.應用 GIS 結合地景結構指數及 logit 機率模式,探討天然及人為因素對地景結構的影響,以及地景變遷之影響因子。 2.地景指數分析結果顯示在天然區隔與人為改變對森林地景結構具有明顯之影響,而 logit 模式結果顯示影響地景變遷的因子包括地形與邊緣效應。
鄭英美	2001	應用系統動態方法探討土地資源利用之研究 - 以淡水河及蘭陽溪流域為例						*								淡水河與蘭陽溪流域	1.運用系統動態方法建構土地資源利用模型,以1980和1990兩年期的土地利用變遷資料,推估2011年的土地利用狀況。 2.模擬結果顯示,政府從事相關土地政策中,所導致水源涵養及地表逕流等問題應加以考量;另在蘭陽溪流域之地層下陷,透過徵收抽水量使用費可減輕其問題;檳榔園就地合法以及放寬山坡地開發標準,將為環境帶來更大的生態浩劫。
鄧東波	2001	從景觀生態學觀點探討都市綠地-以台北市信義計畫區為例	*													台北市信義計畫區	探討都市綠地空間圖示的景觀生態意義及變化,並藉由辨識衛星影像,抽取綠地資料,且以地理統計方法及景觀生態指標量測信義計畫區的綠地空間演變及探討綠地空間圖示的景觀生態意義。
鄧國禎	2001	鯉魚潭水庫集水區地景變遷之研究			*											鯉魚潭水庫集水區	以集水區為實驗區1977年、1985年、1993年及2000年之航空照片判釋轉繪數化成土地利用型圖,整合GIS導入地景生態的觀念,並藉由灰色理論一灰預測及馬可夫理論推導未來變遷情形,並監測整體之土地使用的變遷和格局。

表一 國內地景變遷相關文獻彙整表 (續五)

研究者	年代	研究主題	地景變遷研究方法												研究區	研究內容與結果
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
謝怡昇	2001	數值航攝影像應用於土地利用強度之研究												*	--	1.研究結合數值航攝影像與GIS之技術，以應用於探求土地利用強度之相關資訊，主要從數值航攝影像中萃取三維空間資訊，利用地理資訊系統轉換成建蔽率及容積率等土地利用強度資訊。 2.利用單像個別量測並利用前方交會計算高程之方式，可達精度之要求。而轉換後之建蔽率、容積率亦較建築物原計畫之建蔽率、容積率數據大約 1.1 1.2 倍。
陳永寬、吳守從	2001	應用馬可夫鍊模式預測南仁山生態保護區地景變遷	*	*											南仁山生態保護區	1.以 Shannon 多樣性指數探討地景生態系統變化，並由 t 檢定其間差異，再將分類結果與馬可夫模式結合，推導不同時期植群變遷之理論趨勢值。 2.南仁山生態保護區之地景生態系統已逐漸趨於穩定，最終將成一高鬱閉度森林植物社會。
方梅萍	2002	台中市景觀格局的變遷及其影響因素之研究	*	*											台中市	1.以景觀生態學為理念，地理資訊系統為工具，輔以馬可夫模式及景觀多樣性指數，分析景觀格局變遷。 2.景觀多樣性指數指出：台中市景觀格局朝向多樣性與均勻化方向發展；由馬可夫模式可知：台中市景觀格局面積轉移最多的為農業用地轉變為閒置地。
吳守從、陳永寬	2002	結合航測資訊與地景指數探討南仁山生態保護區之干擾因子			*										南仁山生態保護區	1.以 Shannon 多樣性指數探究各影響機制干擾區與非干擾區之地景生態系統變化，並由 t 檢定其間差異，探討經營管理課題。 2.水分因子、東北季風等自然因素，以及道路開發、人工造林、邊緣效應等人為因素，為影響研究區植群社會發展之機制。
呂仲耿	2002	利用空間資訊探討水源涵養保安林地景變遷	*	*											台北信義南港保安林	利用地景指數與地景變遷機率分析，探討保安林擴編解除的問題 坡度55% 以上地區之水系有增加的趨勢
李敘文	2002	潭子鄉人口特性及土地使用變遷之研究												*	潭子鄉	1.以潭子鄉的居住人口和土地為研究對象，探討國際分工經濟型態和台灣經濟政策主導的計畫經濟，如何影響小區域的生活方式，及都會化發展過程中，中心都市對其腹地內的鄉鎮如何影響，並試圖對各要項的結果提出解釋。 2.潭子鄉的土地使用區位受都市計畫和開發早晚有關，計畫區內工業用地以台中加工出口區為中心；住宅區以開發早的潭陽村及新近規劃的甘蔗村、福仁村為主；計畫區範圍外的地區維持農耕地為主的土地使用方式。
林裕彬等	2002	景觀生態指數於集水區整體景觀時空間型態變遷探討			*										淡水河流域的五堵、寶橋、金瓜溪、三峽、磺溪	1.以 FRASTATS 計算景觀生態指標，探討集水區景觀之時間、空間變遷及其景觀生態意義，並以因子分析探討整體景觀變遷。 2.嵌塊體指數結果顯示：五堵及寶橋子集水區之嵌塊體呈現較明顯破碎化之趨勢。而邊緣指數中，邊緣密度以寶橋子集水區最高、其次為五堵集水區，顯示此區之景觀嵌塊體易受外力影響而改變。
林遠航	2002	多目標決策理論在土地利用規劃應用之研究 - 以桃園縣發展成亞太空運中心為目標之個案研究			*										桃園縣	1.以時間序列法及灰預測作為各項規劃指標之預測方法；目標規劃法及妥協規劃法作為土地利用規劃方法；層級分析法及TOPSIS排序法作為土地利用方案之評估方法。 2.藉由規模與規劃的結合，產生之土地利用規劃方案，較利於評估規模是否恰當。
施怡真	2002	台中市都市周邊重劃擴張與舊市區更新間關係之探討												*	台中市惠來重劃區與中區	1.透過對產、官、學界人士深度訪談，及分析台中市各行政區相關之人口特性、公共設施開闢、住宅發展等現況資料，以獲得台中市都市周邊重劃擴張與執行舊市區更新的情形，進而探討出台中市周邊土地重劃與舊市區更新間之關係。 2.多數受訪者認為台中市目前多實施都市周邊市地重劃，乃是舊市區更新面臨較多的阻礙。而重劃區內土地低度使用或閒置問題，亦造成土地重劃與都市發展間無法依都市成長之需相互配合。

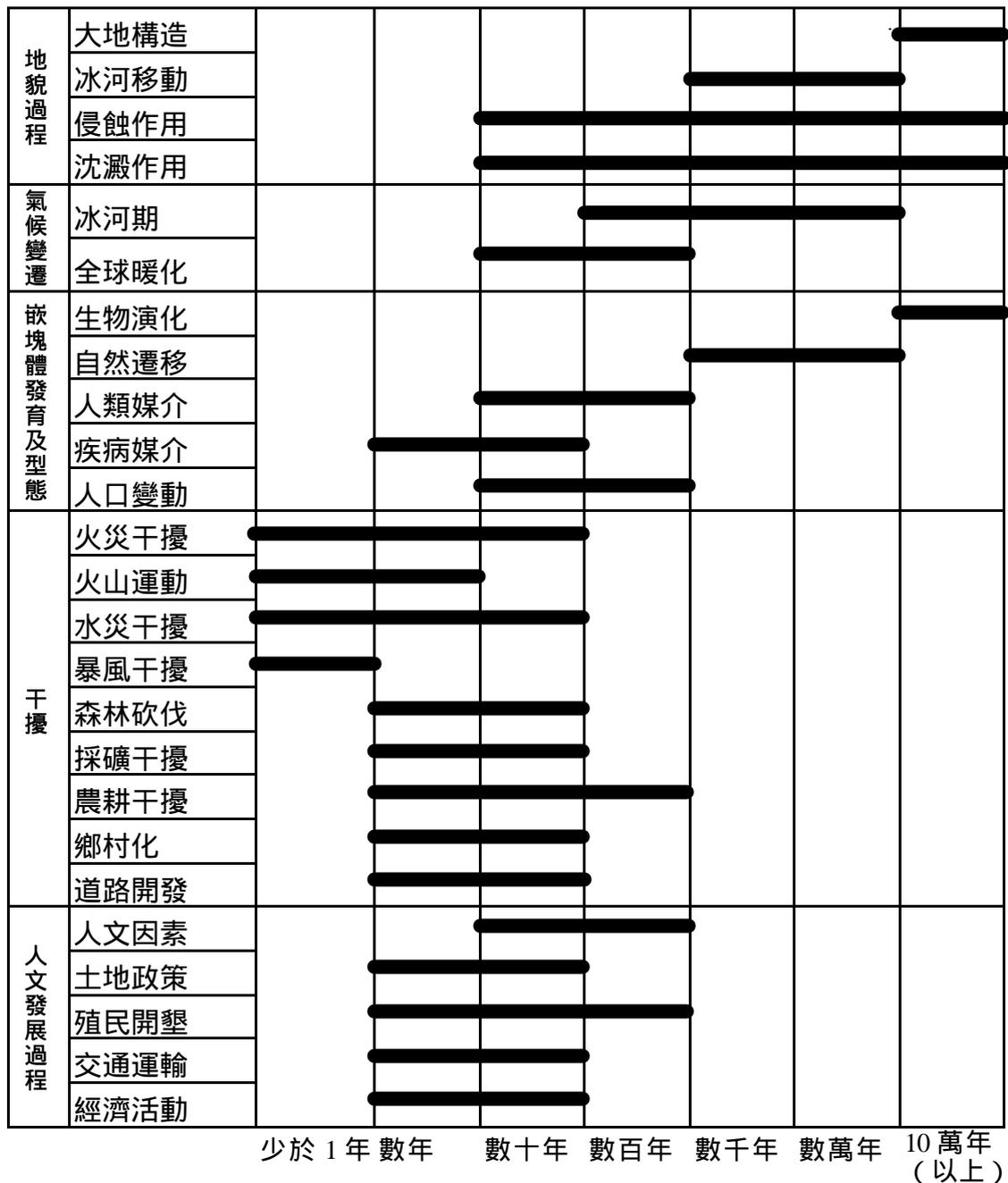
表一 國內地景變遷相關文獻彙整表 (續六)

研究者	年代	研究主題	地景變遷研究方法												研究區	研究內容與結果	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
柯俐安	2002	都市計畫區中土地使用分區變更與資源環境供給面關係之研究													*	高雄縣大社、阿蓮、燕巢都市計畫區	1.探討土壤母質、質地深度0-30cm、質地深度30-60cm、質地深度60-90cm、質地深度90-150cm、地形(坡度)、土壤形態、土壤石灰性、水文、表土酸鹼性、距道路距離、距公共設施距離等，對土地使用分區變更的影響程度。 2.資源環境供給面因素對每一種土地使用分區變更的影響並不一致，其中土壤母質、土壤形態、排水、坡度等四因子在本研究皆相同。另以質地深度及距道路距離、距公共設施距離因素對土地使用分區變更影響較顯著。
丁志堅	2002	屏東平原土地利用變遷分析與模式建立													*	屏東平原	1.採用「作用力-決定因子」的理論架構，以文獻分析及質化訪談剖析在政策、經濟及技術作用力的影響下，不同環境及個體如何影響土地利用變遷。 2.驗證各項環境決定因子及個體決定因子，並得出屏東平原土地利用變遷的解釋模式。
許香儀	2002	以區位及社經環境觀點建構都市土地使用變遷模式之研究—以台中市重劃區為例												*		台中市重劃區	1.以模糊德爾菲法建立都市土地使用變遷評估指標之體系，以GPS及GIS兩大系統之功能特性來建置資料，並以多變量方法建構都市土地使用變遷模式。 2.證明區位環境與社經環境因素對都市土地使用的發展變化是具影響的，且兩者之間的因果關係可以透過數學模式予以描述。
黃凱易	2002	九九峰自然保留區地覆變遷之監測與分析		*										*		九九峰自然保留區	1.應用 GIS 結合四期 SPOT 影像、全球定位系統與其它空間資料，評估九九峰崩塌地質生自然恢復之狀態。 2.崩塌地植生稍有恢復，然多出現在基腳至近山腰處，而山腰至坡頂稜線區則較少。
廖亞禎	2002	校園土地利用地景變遷 - 以中興大學台中校區為例	*	*												中興大學台 大校區	1.以地景結構指數探討研究區的變遷過程，並以馬可夫模式的理念，配合GIS來探討校園土地利用型之地景結構與變化。 2.校園在穩定狀態下土地利用以綠地為主，建物的分配建議增加建坪數、戶外平面部份增加綠覆率，以提升環境品質。
嚴科偉	2002	大規模自然擾動對景觀空間結構影響之探討												*		台大實驗林 四大集水區	1.以1999年4月、10月及2001年9月之SPOT遙測衛星影像，應用GIS及FRAGSTATS建立台大實驗林區內各集水區之景觀生態指標。進而研究集水區內景觀之結構、功能與空間在九二一地震及桃芝颱風兩個大型自然擾動後的變遷。 2.地景指數結果顯示：集水區之景觀結構呈破碎化、均勻化，形狀變規整，因擾動增加各嵌塊體間的交互影響而趨向不穩定。
吳守從	2003	南然山生態保護區森林植群動態變化及其經營管理策略之探討	*	*	*	*	*									南仁山生態 保護區	2. 利用數位航測技術與GIS，結合地景生態理論與馬可夫模式，探討森林植群分佈狀況及動態變遷模式，及影響其植群社會發展因子之作用程度與影響範圍。 2. 就管理面而言，天然影響因素（東北季風與水份因子）長久以來便已存在，當可視為一恆定之常態因素，故其因應之道僅需避免對脆弱地帶（如東北季風吹襲及缺乏水份之區域）造成破壞即可；而人為干擾與遊憩壓力，則是目前管理單位所必須積極面臨的課題。

(本研究整理)

### 三、影響（干擾）因子探討

地景變遷係原於地景要素的干擾，包含自然環境、生態系組成及人類活動等綜合性因子的相互作用，使地景要素的穩定性與空間結構發生改變（陳正華，2001）。Marcucci（2000）曾對地景變遷主題進行文獻分析，將各種干擾（包括：地貌過程、氣候變遷、嵌塊體的發育及型態、干擾、人文發展過程）與地景變遷研究的時間尺度進行歸類（如圖三）。



圖三 地景變遷研究之時間尺度

(修改自 Marcucci, 2000)

由圖三可知，Marcucci (2000) 所提出的影響地景變遷之因子，共計有五大類，茲分述如下：

(一) 地貌過程

包括大地構造、冰河移動、侵蝕作用、沈澱作用。

(二) 氣候變遷

包括冰河期、全球暖化。

(三) 嵌塊體發育及型態

包括生物演化、自然遷移、人類媒介、疾病媒介、人口變動。

(四) 干擾

包括火災干擾、火山運動、水災干擾、暴風干擾、森林砍伐、採礦干擾、農耕干擾、鄉村化、道路開發。

(五) 人文發展過程

包括人文因素、土地政策、殖民開墾、交通運輸、經濟活動。

本研究更進一步整理有關地景變遷相關研究所研擬之地景變遷影響因子(詳見表二)，歸納表二之地景變遷干擾因子，可知在真實的情況中，由於進行地景變遷模擬之干擾因子受限於時間尺度、資料特性、研究工具及其他研究限制等，因此，研究所研擬之干擾因子，經彙整後共可分為下列二類：

(一) 自然干擾

包括：水分因子、坡度、東北季風。

(二) 人為干擾

包括：鄰近土地使用類別、森林砍伐、道路開闢(縣道可及性、高速公路可及性)、邊緣干擾、工廠開闢、空氣品質、人口密度。

表二 相關研究研擬地景變遷影響因子彙整表

作者	年份	研究主題	影響因子	影響因子屬性		
				自然干擾	人為干擾	鄰近作用
施鴻志、周士雄	1996	都市計畫	1.經濟因素：整體使用模式、單塊土地 2.社會因素			
White and Engelen	1997	Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modeling	1.每一種活動對土地所產生的需求總量 2.土地本身的特質 3.鄰近地區的使用所產生的互動關係			
汪禮國	1997	細胞自動體模式（Cellular Artomata）與都市空間演化	細胞狀態：為非決定性有限狀態自動體轉換至決定性有限狀態自動體。			
高宏軒、賴世剛	1998	以有限理性典範探討都市空間複雜結構中的演化過程	1.人為的計畫管制 2.鄰近土地使用類別			
蔡宜鴻	1999	以 GIS 及 CA 為基礎的土地使用發展預測模擬方法	1.鄰近土地使用類別：商業使用、工業使用、住宅使用、農業使用 2.道路系統			
華梅英	2000	GIS 應用於汐止地區人口變遷之研究	1.原預計考慮坡度、工廠、空氣品質、人口等因子。 2.受限於技術操作，故僅考慮人口本身單一變數。			
陳宥任	2000	都市土地使用與運輸網路動態關係—以細胞自動體為基礎之探索	1.鄰近土地使用類別：住宅區、商業區、空地、道路與河流 2.道路系統			
賴進貴	2000	細胞自動體理論與地理資訊系統結合之初探研究	鄰近網格型態：活的、死的			
賴進貴等	2000	細胞自動體理論的空間演化模擬研究	鄰近網格型態：農地、建地、林地、河川水庫、其他水體、道路、荒地			
陳正華	2001	南仁山生態保護區地景變遷之研究	1.自然干擾：東北季風 2.人為干擾：森林砍伐、道路開闢、邊緣干擾			
陳朝圳等	2001a	衛星影像應用於森林生態系之地景變遷研究	人為干擾			
陳朝圳等	2001b	人？干擾對南仁山生態保護區地景之影響	道路開闢			
李宣德、馮豐隆	2001	運用「細胞自動化」概念在森林生態系模擬	建議依據不同環境生育地因子的現況、功能及生長、演替等來擬定變遷因子。			
陳永寬、吳守從	2001	應用馬可夫鍊模式預測南仁山生態保護區地景變遷	人為干擾			
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	1.人口密度、縣道可及性、高速公路可及性 2.鄰近的考量：不同鄰近距離、鄰近土地型態類別			
林峰田等	2002	宮格自動機於土地利用變遷模擬之結合機制	1.人口密度、縣道可及性、高速公路可及性 2.鄰近的考量：不同鄰近距離、鄰近土地型態類別			
吳守從、陳永寬	2002	結合航測資訊與地景指數探討南仁山生態保護區之干擾因子	1.自然干擾：水分因子、東北季風 2.人為干擾：道路開闢、人工造林、邊緣效應			
賴進貴	2002	學術時髦或創新？細胞自動機本質之探討	運用 CA 時，必須考慮屬性、時間、空間結構三個面向的因素			
吳守從	2003	南仁山生態保護區森林植群動態變化及其經營管理策略之探討	1.自然干擾：水分因子、東北季風 2.人為干擾：道路開闢、人工造林、邊緣效應			

(本研究整理)

## 四、森林演替探討

### (一) 演替之定義

演替 ( Succession ) 簡而言之，是為植群之整體動態變化 ( Dynamic changes ) 的過程 ( 劉棠瑞、蘇鴻傑，1997 )。

當一土地之植群被毀滅，或由於種種因素形成一片沒有植群之新生地時，此種裸露狀態並非長久持續，不久便有植物之散殖體到達地面而適合該地環境之植物，即開始發育，族群漸有增加，同時新植物不斷侵入，建立其族群。當族群之數量，到達土地之負載力時，鬱閉之社會便告形成。此種社會對局部環境具有改變之能力，遂產生許多微生育地，而環境資源之供應及性質亦發生變化，同時，族群間發生激烈之競爭，失利之族群遂告消失，而被另一族群所取代。如此繼續演變下去，最後某些植物族群由於能進行更新，不再被取代而維持不衰，遂構成一穩定之社會。植物這一連串之演變過程，即稱之「演替」( 劉棠瑞、蘇鴻傑，1997 )。

### (二) 演替之種類

Clements ( 1916 ) 提出演替之理論及命名法，並首先將演替分為兩大類，即：初級演替 ( Primary succession ) 及次級演替 ( Secondary succession )，說明如下：

#### 1. 初級演替

凡演替發生於從未有植群覆蓋之新生地，而在沒有滅毀性之干擾因素下進行者，稱之。此種新生地可由地文之變遷過程而產生，例如：冰河之撤退、土地之崩坍、三角洲及沖積平原之形成、岩漿之冷卻、裸岩之風化、湖泊之淤積及海中新島的形成等現象，均可出現新陸地。此種土地通常不太適於植物生長及一切生物社會之發育，故演替進行之速度很慢。

初級演替是一種長期的變遷，其作用為不可逆的，因其常與地文或土壤發育同時發生，或經常重複，而發生循環之現象。

## 2.次級演替

當原有植群覆蓋之土地受到干擾時，例如：火災、伐木、耕種等因素，原來之生物社會，可能部分或全部遭到毀滅，在此種地區發生之演替現象，稱之。其與初級演替最大之不同點在於：生育地原來有植群之生長，故土壤之發育已具備植物生長之適宜條件，同時可能有一部份植物留在原地未被消滅，且土壤之有機物及氮素，遠比新生地所有者豐富。

次級演替相對於初級演替，因干擾因素可有週期性之發生，或經常重複，而發生循環之現象。

### (三) 演替之階段

Clements (1916) 提出演替序列 (Sere) 的觀念：當演替進行之後，由於率先侵入之植群會改變所產生之新環境，卻有利於另一植群之發育，故本身被取代。此種取代作用一直進行，直到最後一組植物能天然更新而維持不被取代為止。其最後之安定社會，稱為極盛相 (climax)。

Graham (1955) 將三種初級演替序列，劃分為十個典型之階段，列表說明如下 (見表三)：

表三 初級演替序列之典型階段表

階段	乾性序列	中性序列	濕性序列
1	乾燥岩石或土壤	潮濕岩石或土壤	水面（湖泊、河岸）
2	殼狀地衣	（略）	沈水水生生物
3	葉狀地衣及蘚苔	（略）	浮水植物或部分浮水植物
4	癩苔及一年生草本	大多為一年生草本	挺水植物
5	多年生禾本及其他草本	多年生禾本及其他草本	莎草類、水苔等
6	混生草本		
7	灌木類		
8	陽性樹種		
9	中性樹種		
10	陰性樹種		

（引自 Graham, 1955；劉棠瑞、蘇鴻傑，1997）

由表三可知：

1. 中性序列之階段較少，因土壤水分已呈適中之狀態，其發育過程由草本、灌木而進入喬木，生活型趨於高大。
2. 乾性及濕性序列之後五個階段，完全與中性序列相同，此等階段實係伴著土壤之發育與形成而來，以下分別說明之：
  - （1）在乾性序列中，岩石或乾燥土壤基質上為耐旱之地衣所生長，其後由於岩石漸次風化，而有淺薄之土壤及有機物生成，蘚苔類及一年生草木，得以逐漸侵入，待土壤發育良好後，演替加速進行，而得與中性序列有相同之階段出現。
  - （2）在濕性序列中，當水面為集水區之泥沙堆積，水深便變淺，此時水底可產生水生植物，後由於植物遺體之有機物堆積，造成湖泊之淤淺，復有浮水植物及露出水面之挺水植物出現，淤積加速進行，最後水面消失，土壤基質升高，而導致與中性序列相同階段之進行。

## 第二節 細胞自動化理論

### 一、細胞自動化理論之本質

#### (一) 細胞自動化理論的發展歷程

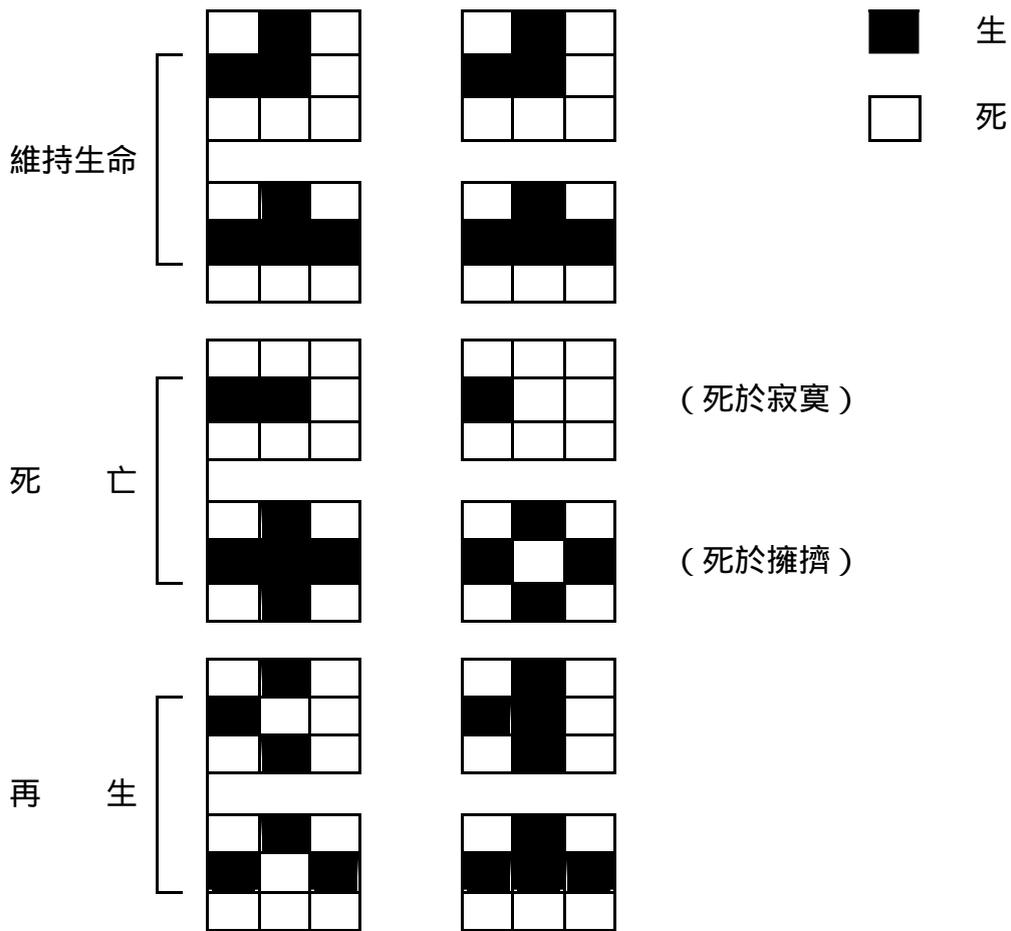
細胞自動化理論原文為 Cellular Automata(簡稱 CA), 一般譯為細胞自動化理論、細胞自動體、元胞自動機、宮格自動機、單元自動機、或點格自動機等。其最早是由 John von Neumann (1966) 所提出。

細胞自動化理論的理論源自於計算機科學的發展。1950年代, John von Neumann 尋求發展具有自我複製能力 (self-replicating) 的電腦, 促成自我複製機器人 (self-replicating automata) 的發展。1970年, John Conway 依據 John von Neumann 的想法進一步發展成電腦上的生命遊戲 (Game of Life)(如表四、圖四所示), 自此細胞自動化理論的概念逐漸普及到相關領域 (Firebaugh, 1988)。

表四 生命遊戲規則表

鄰近區細胞之狀態	檢視之細胞狀態	
	活細胞	死細胞
一個活細胞	死亡	死亡
二個活細胞	存活	死亡
三個活細胞	存活	再生
大於三個活細胞	死亡	死亡

(修改自汪禮國, 1997)



圖四 生命遊戲的生死規則

(修改自汪禮國, 1997)

## (二) 細胞自動化理論的特徵與組成

### 1. 特性：

細胞自動化理論中的小方格細胞們會像有機生物一般，有移動、成長、滅亡與自我複製等類似的行為。就形式而言，細胞自動化理論具有三個特徵：

(1) 平行計算 (parallel computation)

每一個細胞個體都同時同步的改變。

(2) 局部的 (local)

細胞的狀態變化只受周遭細胞的影響。

(3) 一致性的 (homogeneous)

所有細胞均受同樣的規則所支配。

## 2.組成：

細胞自動化學理論的產生方式是由一些簡單的演化規則所產生出來的複雜現象。其最基本的組成要素是形狀相同的小方塊個體，每個個體都依循著相同的演化規則去進行演化，每個個體反映出的演化現象單獨看來只是簡單的變化。但若以整體巨觀的角度觀之，便可發現整體系統變的複雜起來，它可以隨著時間產生不同的狀態（蔡宜鴻，1999）。

細胞自動化學理論的組成要素包括：網格、網格型態、鄰近空間、演化規則等四項（Batty *et al.*, 1997），說明如下：

### （1）網格（cells）

細胞自動化學理論是由一個個的網格（或稱細胞）所構成。理論上這些網格可以由任意幾何形狀（六角形、四邊形等），甚至是立體的空間，不過目前大部分的細胞自動化學理論研究都是以規則排列的方格為主，其空間結構和網格式地理資訊系統的結構相同。

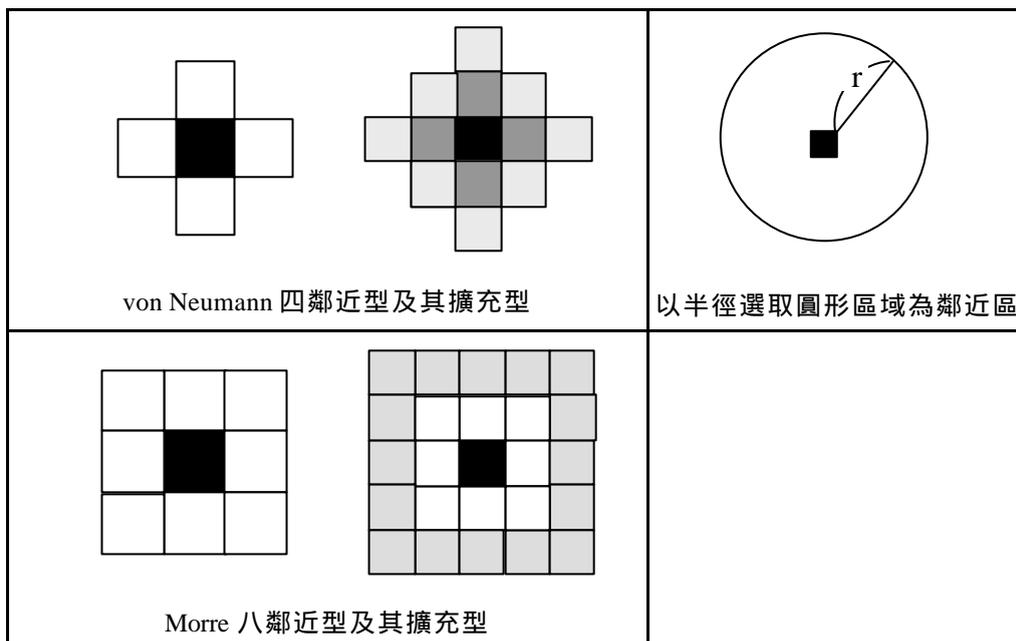
### （2）網格型態（cell states）

每個網格的內容是由一組有限的型態來顯示，這些型態可以是二元的，如：活的、死的；空的、已經被佔據的。也可以是多元的，例如：建地、空地、商業用地、住宅用地等土地利用類型。在任一時間，每個網格都將呈現這一組型態中的某一類，也只能以一類來顯示。

### （3）鄰近區（neighborhoods）

細胞自動化學理論中每一個網格的型態，會隨著其鄰近地區內的網格型態來進行變化。設計一個細胞自動化學理論模型時需要界定鄰近區的大小。原始細胞自

動化理論的鄰近區是中心網格上下左右四個網格所構成的 Von Neumann Neighborhood，或以其周遭八個網格所構成的 Morre Neighborhood ( Batty *et al.*, 1997 )。以網格式的資料結構而言，鄰近區可以是中心網格或一定半徑內的所有網格。茲將各種不同之鄰近區型態，整理如圖五。



圖五 各種不同的鄰近區型態

(修改自林士弘, 2002)

#### (4) 演化規則 ( transition rules )

每一個網格在下一時間點的型態，是由其目前的型態及其鄰近區內網格型態的組合而決定。由一條條明確的規則決定下一時間點型態的演變。

在上述的時空結構下，細胞自動化理論的演化循環是在一個離散的時間序列下 ( ..., t-1, t, t+1, ... )，所有網格依據演化規則進行同步更新。細胞自動化理論的演化過程呈現一種「if-then」的明確機制，且其演

化單元即成其周遭環境，換言之演化單元本身具有空間的特性，因此是一種空間觀點的演化模式。

### (三) 細胞自動化理論的三面向

細胞自動化理論模式的核心即為「演化規則」，每一項規則中所包含的因子，以及這些因子本身及其相互的影響，其關係如何定位，牽繫著整個細胞自動化理論模式的演化。賴進貴(2002)提出：在每一條演化規則中，包含了三個面向的因素：屬性、時間、空間。茲說明如下：

#### 1. 屬性

就屬性的層面而言，每一個網格的演化所受到哪些因素的影響、其權重為多少等，這些是偏重屬性層面的因素。針對屬性層面，每一個細胞自動化理論模式需要確定每一條規則所涵蓋的因素。目前的細胞自動化理論普遍採用的作法主要有下列幾種：

- (1) 專家訪談結合 AHP 的作法，如：Wu (1998)；
- (2) 由研究者逕行選定要納入的因子，如：Clarke *et al.* (1997)；
- (3) 由真實資料，利用蒙地卡羅 (Monte Carlo) 方法計算出權重。

#### 2. 時間

細胞自動化理論的演變是在離散的時間序列中進行持續的演化，每該段時間內是靜止的，而在特定時間做全面的更新。時間因素對於細胞自動化理論的影響和其應用之目的有關。

### 3.空間

目前一般的細胞自動化學理論模式其空間結構都是以「方正的規則網格」為單元，其網格有兩個層面的意義：它代表細胞自動化學理論演化的「基本單位」，同時也是影響演化的「鄰近區」。

這兩個層面的意義對於細胞自動化學理論之演化分別有其影響，而網格的空間結構可以進一步從「網格大小和結構」、「鄰近區大小」以及「距離作用」三個層面來探討：

#### (1) 網格大小和結構

作為演化的單元，每一個網格的大小應該要能代表真正的土地利用變遷單元，但由於實際的土地坵塊大小差異甚大，若能直接以向量的結構來表現實際的土地坵塊，將會提昇細胞自動化學理論模式的真實性。

Shi and Pang (2000) 嘗試以 Voronoi 做為細胞自動化學理論的資料結構，其目的在於測試打破現有細胞自動化學理論的限制。若用規則網格來進行，這些網格被視為一個作用的單元，約略等於一個實際的向量多邊形。網格訂定應該要有所根據，目前許多分析都是以資料的解析度做為依據，並沒有明確的制式標準可言。White *et al* (1997) 在土地利用變遷研究上所使用的網格解析度即為 500 公尺  $\times$  500 公尺網格大小，應是為了適合當時研究而定。

#### (2) 鄰近區大小

每一個網格也是構成鄰近區的一部分。在 CA 的規則中，每一個演化是受到鄰近區的組成影響。鄰近區大小、如何影響網格，是規則中的重要部分。鄰近區訂定的假設是這個地區的組成，將影響到中心網格的演變。

在土地利用模式中，有許多研究者是以一定半徑去選取一個圓形區域中的網格，並假設這個地區是均質的。如果採用半徑—面積做為比例，如 White and Engelen (1993)用了 133 格，則網格大小並不構成立即的影響。然而如果是以 3 × 3 或 5 × 5 的網格之間的接鄰關係為基礎，則網格大小的影響就會非常大，考量必須很周詳。

賴進貴 (2000) 曾利用 GRASS 系統發展出一個細胞自動化理論模式，並針對影響其運作的可能問題進行研究測試，結果顯示就解析度的影響而言，同樣的原始地理現象，再以不同解析度的網格來表現後，所發展出來的演化結果差異甚大。

### (3) 距離作用

不同網格之間的影響，反映在「鄰近區的大小」，也反應因為「距離大小」所帶來的權重關係。不同的因素或現象的影響距離是不一樣的。

此外，距離所帶來的權重也有「正」、「負」的差異。有些現象是正向的因素，有些則是負向的。

## 二、細胞自動化理論之應用

### (一) 國外細胞自動化理論之相關研究

有關國外細胞自動化理論運用於空間之研究，由最初針對 CA 的特性和與地理學結合，並進一步與碎形、混沌、複雜科學等結合，最後運用於空間分析、發展與模擬等，茲將其彙整如表五：

表五 國外運用細胞自動化理論於空間研究一覽表

研究方向及說明	研究者
CA 最初是由地理資訊科學理論派的學者所發展，其針對 CA 的特性和與地理學的關係進行探討	Tobler ( 1979 ) Couclelis ( 1988, 1991, 1997 )
由於碎形、混沌、複雜科學等相關理論與技術的發展，使 CA 進一步與自我組織和複雜系統結合	Wu and Webster ( 2000 )
偏重 CA 的分析與運算功能，將 CA 和空間分析、空間統計、地圖運算結合，期能提昇 GIS 的分析與運算功能	Burrough ( 2001 )
	Pullar ( 2001 )
	Stocks and Wise ( 2000 )
	Takeyama and Couclelis ( 1997 )
將 CA 運用於都市研究，帶入都市經濟、微觀作用等觀點	Wu and Webster ( 1998, 1999a,b )
提出灰階網格 ( Grey Cells ) 的概念，運用於 CA 模式的設計上，使 CA 網格的紀錄方式更具彈性，期能提昇其準確度	Li and Yeh ( 2001 )
將 CA 定位成 Agent 的概念，讓 CA 和不同的經營使用者需求更加結合	Berger ( 2001 )
	Ligtenberg <i>et al.</i> ( 2001 )
利用 CA 來預測美國某一地區未來土地利用之變化趨勢，其分析模式整合地面覆蓋、坡度、交通網路、保護區四種資料	Clarke <i>et al</i> ( 1997 )

( 整理自賴進貴，2002 )

## (二) 國內細胞自動化理論之相關研究

有關國內細胞自動化理論之研究，茲將其依研究者、年份、研究主題及內容，彙整如表六：

表六 國內細胞自動化理論相關文獻彙整表

研究者	年份	研究主題	內容
陳建元	1996	資訊收集對單維細胞自動體中模仿行為的影響：以囚犯困境空間模式為基礎的電腦模擬	將 CA 與囚犯困境理論結合，利用電腦模擬，探討在空間因素考量下，規劃行為中資訊收集範圍對整體空間系統演化的影響。
汪禮國	1997	細胞自動體模式與都市空間演化	以複雜理論探討都市空間演化問題，發現在將都市視為一複雜體假設下，出現與生命遊戲相類似的規則。
高宏軒、賴世剛	1998	以有限理性典範探討都市空間複雜結構中的演化過程	將 CA 與以有限理性理論結合，視都市為一複雜空間系統，探討土地使用變遷及模擬，以觀察個體單元間的互動結果所呈現的整體土地使用型態。

表六 國內細胞自動化理論相關文獻彙整表（續一）

研究者	年份	研究主題	內容
林如珍	1998	以準碎形空間混合度指標探討都市土地使用型態的自我組織—整體空間發展受限模式之應用	以準碎形維度測量實際都市空間的自我組織現象。
蔡宜鴻	1999	以 GIS 及 CA 為基礎的土地使用發展預測模擬方法	結合 GIS 及 CA 預測土地使用發展，其演化規則係利用分析層級程序法制訂權重，分析轉移因子間的優先順序，並以蒙地卡羅法抽取所需土地網格進行演算。
華梅英	2000	GIS 應用於汐止地區人口變遷之研究	結合 GIS 及 CA 建立預估模式，計算未來人口可能之發展及變遷，以供未來社經活動及整體性規劃評估之參考。有關規則之訂定，參考囚犯困境的模仿行為及生命遊戲中鄰近細胞生存數對本身影響的理論。
陳宥任	2000	都市土地使用與運輸網路動態關係—以細胞自動體為基礎之探索	以電腦模擬一個 CA 都市，尋求都市空間自我組織現象，歸納出控制系統複雜程度的三個參數值為：規則總數、歧異度與規則種類。
林祥偉、孫志鴻	2000	人工智慧空間資訊分析師—以模糊邏輯為演化規則的細胞自動化理論	利用 GIS，建立以模糊邏輯、遺傳演算和細胞自動化理論為核心的法則式知識模型。
賴進貴	2000	細胞自動化理論與地理資訊系統結合之初探研究	利用 GRASS 開發 CA 模組，並利用生命遊戲探討 CA 整合 GIS 模擬之研究及網格大小和演化規則之間的關係。
賴進貴等	2000	細胞自動化理論的空間演化模擬研究	以淡水河流域的土地利用資料為例，將 CA 和由空間組織型態所蘊含的機率二者結合，以更貼近現實世界的實際變遷。
李宣德、馮豐隆	2001	運用「細胞自動化」概念在森林生態系模擬	提出 CA 的概念，在未來的 GIS 中引入人工智慧的觀念，以增進電腦自我學習、組織、架構的能力，並與 CA 中有關可自我組織架構、反覆回饋的觀念，嘗試架構出一套新的森林預測模擬系統，以預測模擬未來空間中森林使用的發展狀況。
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	結合 GIS 和 CA，運用現有的空間資料進行分析，以預測台北市都市發展型態的變遷。整合 GIS 的元件軟體，並以台北盆地地區的資料進行評估比較，藉此找出土地變遷的演化參數和規則。
林峰田等	2002	宮格自動機於土地利用變遷模擬之結合機制	結合 GIS 與 CA，依據 1994 年國土調查資料、縣市土地使用計畫分區圖、區域計畫土地使用計畫分區圖、各年度人口調查資料、道路系統圖及縣市統計要覽等資料，建構土地使用轉移規則，模擬 1998 年的台北都會區之都市發展模擬系統。
賴進貴	2002	學術時髦或創新？細胞自動機本質之探討	以土地利用為主題，針對 CA 的本質、功能、資料、組織架構等層面，分析 CA 的優點與限制，從而提出 CA 未來應用與發展的問題及方向，期能對於 GIS 的長期發展有貢獻。

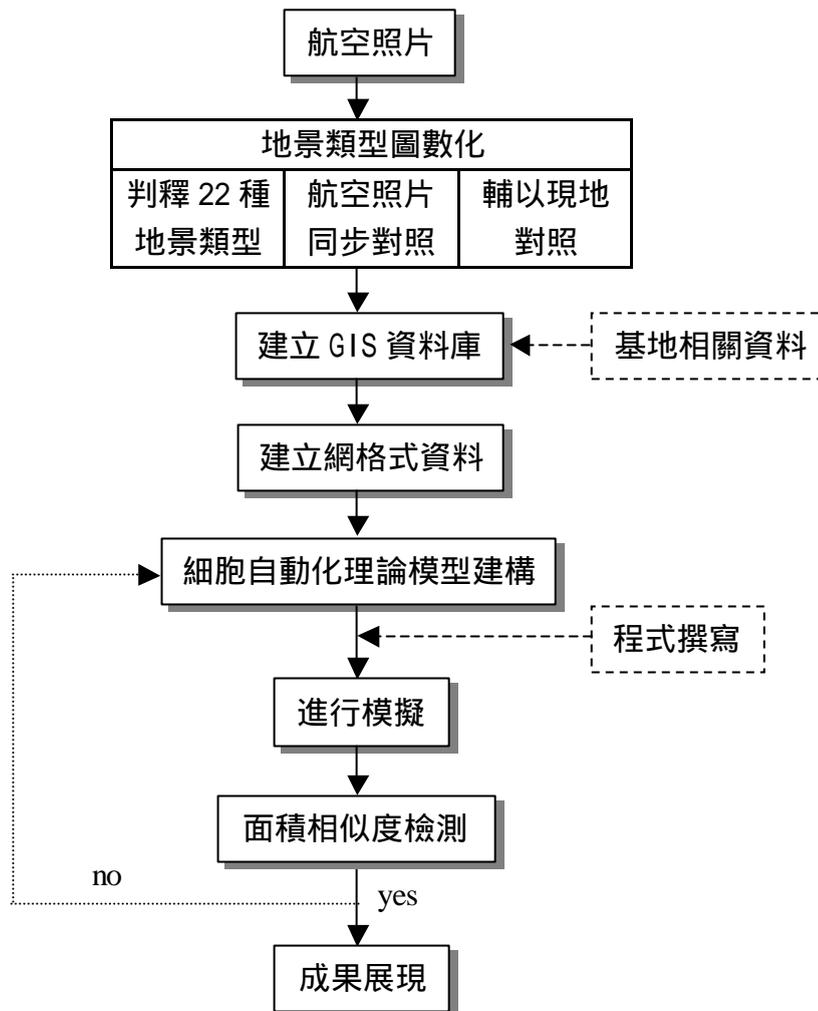
（本研究整理）

### 第三章 研究設計

細胞自動化工論所探討的空間是在一個封閉的有限區間中進行模擬，本章主要是擬定有關細胞自動化工論模擬時，所涉及到的各項細胞設定原則，包括：細胞自動化工論模型類型、細胞大小、鄰近區型態、細胞演化之規則等，藉以設計細胞自動化工論模型。

#### 第一節 研究架構

本研究依據地景變遷及細胞自動化工論之文獻回顧，以及考量研究區本身之特性，將探究有關研究區之地景變遷干擾因子，並更進一步建構模擬模型，以量化之結果呈現研究區之森林地景變遷情形（探討空間分佈、面積大小等）。本研究之研究架構如圖六所示。



圖六 實證研究架構圖

(本研究整理)

## 第二節 研究工具與材料

### 一、研究工具

本研究主要利用 ArcView8.1 軟體進行 GIS 空間分析，同時透過 ArcObject 程式之撰寫，完成模擬之進行。

#### (一) ArcView8.1

ArcView 為目前在台灣應用相當廣泛的一套 GIS 應用軟體，由美國 ESRI 公司所發展，其主要功能及特色在於能簡易地展示、查詢、分析空間資料並可方便地製作地圖及各種統計圖表。ArcView 支援多種資料格式輸入與輸出及多種資料庫存取功能，並可與所有支援之資料格式作地理上之連結功能 (Hot Link)。ArcView 具有強大之分析功能，可應用之領域相當廣泛，包括：環境污染監測防治、自然資源保育及運輸規劃、社會人文及統計分析、都市計畫及土地管理、公共設施管線管理、國防安全及軍事應用等。

ArcView8.1 的基本模組及擴充模組 (Extension)，其功能與特性，茲說明如下：

#### 1.ArcMap

ArcMap 為 ArcView8.1 的主要模組，功能包括：空間資料分析、屬性資料分析、地圖製作及資料編修等。ArcMap 提供了兩種顯示資料的方式，Data View 及 Layout View。前者提供資料瀏覽及分析功能；後者則提供輸出地圖設計功能。

#### 2.ArcCatalog

ArcCatalog 之主要功能在於組織及管理所有的資料，包括資料瀏覽、搜尋、預覽、建立以及詮釋所建立的資料與編輯等功能。

#### 3.ArcToolbox

ArcToolbox 主要用於資料格式的轉換 (Conversion

Tools ) , 以及定義資料層的投影方式 ( Define Projection )。 ArcToolbox 中的工具已依據功能的屬性予以分類 , 讓使用者能夠迅速尋見所需的功能 , 另外 , 程式的執行則透過 Tools 及 Wizard 的方式引導使用者。

#### 4.擴充模組

ArcGIS Spatial Analyst : 網格資料分析包括地形、網格資料運算、環域分析、近鄰分析等。

### (二) ArcObject 程式

#### 1.COM 元件

COM ( Component Object Model ) 是一種元件的標準 , 它在程式庫、應用程式、和系統軟體之間 , 建立了一套互動的標準 , COM 是軟體工程中物件間連接的協定 , 它們經由介面 ( Interface ) 溝通。

介面是 COM 物件使用的基本單位 , 介面中包含許多方法和屬性。介面一旦被定義後 , 程式設計者就可以呼叫這個 COM 元件 , 來完成所需的工作。

#### 2. VBA 程式

VBA 可以很安全且容易的產生新的、 Button、 Tool、 Combo Box、 Edit Box , 這些在 ArcObject 又稱為 UIControl , 將程式指定在物件控制的事件中 ( Object Control Box ) , 然後就可以加入 ArcMap 或是 ArcCatalog 的介面中。

利用 VBA 建立和編輯一個簡單的巨集指令 , 再建立一個新的 Command , 之後 , 自訂 UIControl 工具 , 最後 , 便可以進行 VBA 程式的撰寫。

## 二、研究材料

本研究之研究材料圖檔來源為陳朝圳老師從事之南仁山長期生態研究，所建立之南仁山生態保護區地景類型圖。其係經由航空照片拍攝、判釋及轉繪所建構之資料，本研究復將其依研究目的及需求，進行地景類型分類，有關其過程之內容，茲說明如下：

### (一) 航空照片

照片之背景年份為 1976、1989 及 1997 年三期，共選取 91 張航空照片進行判釋，其基本資料如表七所示：

表七 南仁山生態保護區三期航空照片基本資料

拍攝日期	航線編號	照片編號
1976 年 11 月 13 日	65P60	3、7、11、15、19、23、27
	65P60	145、149、153、157、161、165、169、173、177
	65P61	5、9、13
	65P61	19、23、27、31、35、39
1989 年 05 月 09 日	78P26	2511、2515、2519、2523、2527、2531、2535
	78P26	2541
	78P26	2717、2721、2725、2729、2733、2737、2741、2745
	78P26	2747、2749、2751
1997 年 10 月 25 日	86P68	53、55、57、59、61、63、65、67、69、71、73、75、77、79、81、83
	86P70	209、211、213、215、217、219、221、223、225、227、229、231、233、235、237、239、241、243、245、247、249、251、253

(引自陳正華，2001)

### (二) 地景類型判釋與建檔

#### 1. 地景類型判釋

有關南仁山生態保護區之地景類型，陳正華(2001)利用航空照片進行判釋，其判釋標準係依據林務局第三次台灣森林

資源及土地利用調查標準，判釋結果將南仁山生態保護區區分為 11 種地景類型；而有關植生之判釋，則是參考前人植群調查結果，由於南仁山生態保護區之植群分佈主要受到地形及氣候影響，所表現之植群密度、樹高並不相同，因此可配合航空照片所判釋之樹冠鬱閉度及樹高等級，將植生區分為 11 種植群類型；總計劃分為 22 種地景類型，如表八所示：

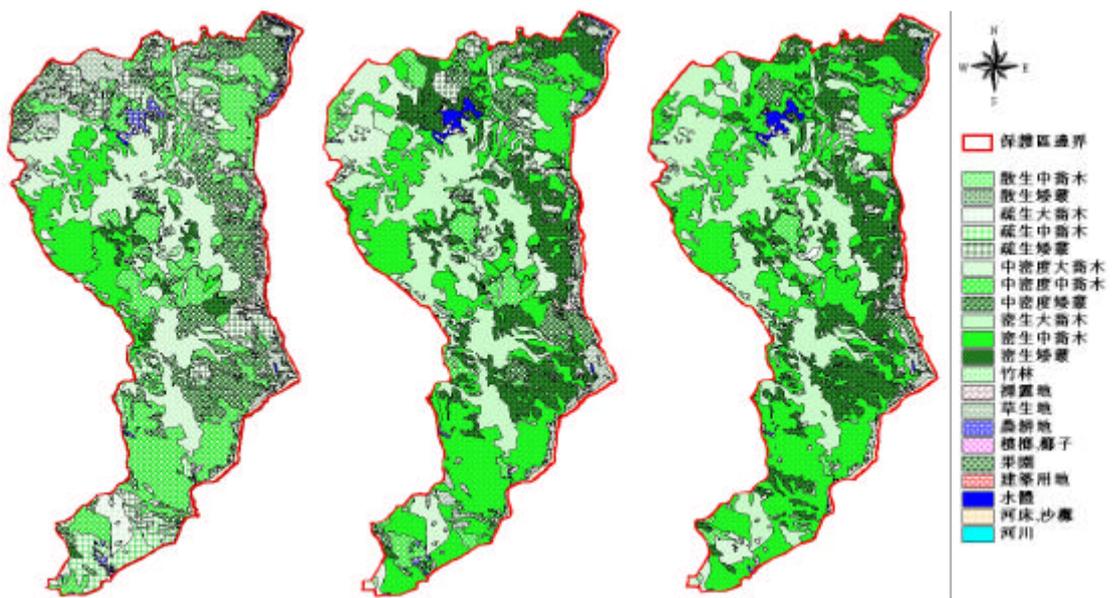
表八 地景類型判釋類別及說明

地景要素類型	判釋類別	內容及說明
土地利用類型	草生地	包含草地、牧草地
	農耕地	包含水稻田、旱作及墾荒地，形狀規整
	裸露地	崩塌地、裸露地，形狀不規整
	河床沙灘	位於水體旁
	水體	包括溪流、湖泊、魚池、水塘
	建築用地	形狀規整之矩形
	檳榔、椰子	排列整齊，層次不明顯，樹冠小
	竹林	排列不整齊，層次不明顯，樹冠小
	果園	排列整齊，層次不明顯，樹冠大
	墓地	形狀為規整之矩形，排列不整齊
	溪流	併入「水體」中
植群類型	散生中喬木	樹冠鬱閉度 0-10%；樹高 5-10 公尺
	散生矮叢	樹冠鬱閉度 0-10%；樹高 5 公尺以下
	疏生大喬木	樹冠鬱閉度 10-40%；樹高 10 公尺以上
	疏生中喬木	樹冠鬱閉度 10-40%；樹高 5-10 公尺
	疏生矮叢	樹冠鬱閉度 10-40%；樹高 5 公尺以下
	中密度大喬木	樹冠鬱閉度 40-70%；樹高 10 公尺以上
	中密度中喬木	樹冠鬱閉度 40-70%；樹高 5-10 公尺
	中密度矮叢	樹冠鬱閉度 40-70%；樹高 5 公尺以下
	密生大喬木	樹冠鬱閉度 70-100%；樹高 10 公尺以上
	密生中喬木	樹冠鬱閉度 70-100%；樹高 5-10 公尺
	密生矮叢	樹冠鬱閉度 70-100%；樹高 5 公尺以下

(引自陳正華，2001)

## 2.地景類型圖建檔

陳朝圳老師以南仁山生態保護區 1976、1989 及 1997 年之航空照片為材料所判釋出 22 種地景類型，轉繪至 1/5000 的相片基本圖上，並經 GIS 軟體 Arc/Info 數化建檔，產生地景類型圖如下（圖七）：



圖七 南仁山生態保護區 1976、1989、1997 年地景類型判釋類別圖

(台灣長期生態研究網站 b,c,d)

### (三) 地景類型分類

本研究利用上述陳正華(2001)之地景類型判釋類別，其係以地景指數來探討地景的多樣性、均勻度及碎形維度，因此將地景判釋為 22 種類型；然而，本研究主要是探討形成森林不同序列之地景變化，因此，復參考陳朝圳等(2001)「衛星影像應用於森林生態系之地景變遷研究」，其將航空照片判釋之結果以最大概似法進行監督性分類，將研究區分為草生地、農耕地、裸露地、水體、森林等五種地景分類。

此外，由於本研究欲探討森林之地景變遷，因此有關於「森林」之地景類型一項，以「森林演替之序列」(Graham, 1955)中，草本—灌木—喬木之演替序列：草本產生後，會再形成灌木、最後才出現喬木，因此，本研究復將「森林」一項，又區分為「灌木」與「喬木」。至此，本研究將研究區之地景類型，分類如表九：

表九 南仁山生態保護區地景類型分類表

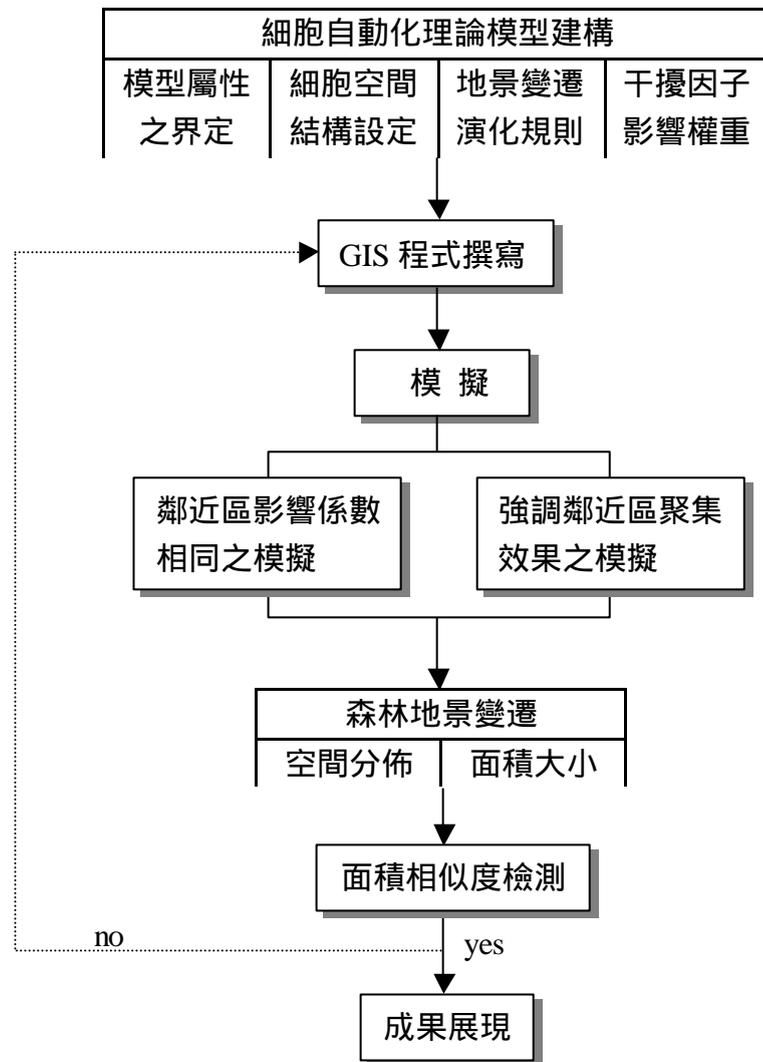
地景類型	整合項目
水體	水體、溪流
裸露地	裸露地、河床沙灘、建築用地、墓地
農耕地	農耕地、檳榔、椰子、果園、竹林
草生地	草生地
灌木	散生矮叢、疏生矮叢、中密度矮叢、密生矮叢
喬木	散生中喬木、疏生大喬木、疏生中喬木、中密度大喬木、中密度中喬木、密生大喬木、密生中喬木

(本研究整理)

### 第三節 細胞自動化理論模擬模型之架構

#### 一、模型架構

本研究之細胞自動化理論模型設計架構如圖八所示：



圖八 細胞自動化理論模型架構圖

(本研究整理)

#### 二、模型說明

##### (一) 模型類型

本研究將研究區之空間組成單元界定在「地景類型」的層次上，即水體、裸露地、農耕地、草生地、灌木、喬木，在細胞自動化理論模型中，是屬於「二維」細胞自動化理論模型。

在二維 CA 的模擬環境中，電腦螢幕上所排列的方格（網格式資料）可以想像為空間單元，每一方格所表示的是系統內的個體，而不同顏色所代表的是不同的地景類型。此外有關個體間的作用，又必須從下列兩方面來考量：

### 1.作用的範圍

指個體與其鄰近細胞的互動範圍（包含：網格大小、網格形狀、鄰近區之界定等）。

### 2.如何作用

指系統與個體之間的關係與行為該如何界定（包含：演化規則設定、因子權重設定等）。

將在第四節 細胞自動化理論模型設計一節中，逐項詳述說明之。

## （二）轉移函數

有關整個細胞自動化理論模型之模擬模式建立，可由下述之「轉移函數」來表示之：

$$T = \{ N_t, L_t, A_t \} \dots\dots\dots (公式 1)$$

意即：轉移函數 T 為鄰近區（ $N_t$ ）、地景類型（ $L_t$ ）及影響因子（ $A_t$ ）交互作用的函數（公式 1）。

## 第四節 細胞自動化理論模型設計

### 一、設計說明

#### (一) 研究假設

##### 1. 以地景類型定義細胞狀態

依據傳統 CA 的定義，細胞內所儲存的值只有兩者：存(1)和歿(0)，細胞本身並沒有屬性可以影響轉移函數。因此，模型中改以不同的細胞值來代表不同的地景類型，以使細胞的狀態可以轉換成任一種地景類型而不只是侷限於 1 和 0。

##### 2. 地景變遷受鄰近區的地景類型組成影響

除了考量不同的地景類型值外，CA 以鄰近區的地景類型組成(網格組成)，包含類型及數量，來決定演化規則，因此，轉移函數將會受到鄰近土地數目的影響。意即：對本研究之 CA 所定義的模型：一個鄰近區多為「灌木」的「草生地」地景類型，當「灌木」地景類型的數量到達某一種程度時，系統會因為鄰近區「灌木」的多數，而使「草生地」朝向「灌木」發展。

##### 3. 森林地景變遷僅考慮成長而不考慮衰退的情況

由於研究區已於 1993 年劃設為「南仁山生態保護區」，區內的人為開發及使用的狀況減少，因此，本研究假設森林地景之變遷最後會朝向一個安定社會(即極盛相)，且演替序列依照 Graham(1955)之演替階段，於本研究之地景類型分類中，則為：水體 裸露地 農耕地 草生地 灌木 喬木。

#### (二) 操作說明

本研究使用 Visual Basic 直接存取 ArcView8.1 中所建立的網格式資料，以進行模型的建立，而輸出的結果則利用 ArcView8.1 作為後續分析。有關資料的預處理和成果展現，都

在 ArcView8.1 的環境中進行。元件軟體則利用 VBA 為聚集語言工具，直接對網格式資料進行存取，使其獨立於 ArcView8.1，因此，具有相同結構之資料，皆可利用本元件進行分析。

## 二、模型型態

### (一) CA 類型

本研究以「二維」的細胞自動化理論模型來進行模擬。由於「一維」的細胞自動化理論模型適合應用於線形的空間，而「三維」的細胞自動化理論模型涉及三度空間之計算與演化規則、模型設計等過於艱深且複雜，因此，本研究考量研究區之空間結構，將研究區之「地景類型」視為面狀的空間結構，而以「二維」的細胞自動化理論模型來進行模擬。

### (二) 細胞型態

細胞的型態設定為「方正的規則網格」。由於考量資料型態：「方正的 CA 網格」與「網格式 GIS」兩者的資料結構相同，因此，基於 CA 理論可與 GIS 結合，故利用 GIS 之空間分析功能，再輔以 CA 之理論進行設計，擬將本研究欲進行之地景變遷模擬得到最佳效果。

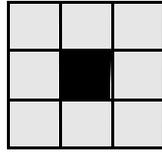
### (三) 鄰近區

#### 1. 鄰近區形式

本研究中，鄰近區的定義採用 Moore Neighborhood( Batty *et al.*, 1997 ), 以中央網格周遭八個網格所構成的區域為鄰近區，如圖九。

## 2. 網格距離

網格距離以中心網格之上、下、左、右各一個網格單元之距離，為網格距離。



圖九 鄰近區的定義範圍

(本研究整理)

## 三、影響因子

影響地景變遷的因素相當多，但數理模型不可能同時考慮所有的影響因子，因此勢必加以簡化。然簡化的過程難免造成誤差，故在選擇影響因子時，必須力求降低誤差，盡量使之接近真實現象。

經由文獻回顧歸納影響地景變遷之因子主要如下：

- (一) 自然干擾：水分因子、坡度、東北季風。
- (二) 人為干擾：鄰近土地使用類別、森林砍伐、道路開闢（縣道可及性、高速公路可及性）、邊緣干擾、工廠開闢、空氣品質、人口密度。

再者，回顧有關前人針對研究區地景變遷之研究，所探討過地景變遷影響的因子（整理於表十），如：東北季風、森林砍伐、道路開闢、邊緣干擾、水分因子、人工造林。

本研究則希望能由細胞自動化理論，對於地景變遷影響因子中的「鄰近土地使用類別」（於本研究中則是指「鄰近地景類型」）一項，來探討研究區之地景變遷。

表十 南仁山生態保護區相關研究之地景變遷影響因子彙整表

研究者	年代	地景變遷影響因子
陳正華	2001	1.自然干擾：東北季風 2.人為干擾：森林砍伐、道路開闢、邊緣干擾
陳朝圳等	2001a	人為干擾
陳朝圳等	2001b	道路開闢
吳守從、陳永寬	2002	1.自然干擾：水分因子、東北季風 2.人為干擾：道路開闢、邊緣效應

(本研究整理)

#### 四、轉換規則假定

在探討「鄰近地景類型」如何對整體地景變遷造成影響時，本研究擬由下列兩種不同之研究設計來探討之：

##### (一) 鄰近區影響係數相同之模擬 (不考慮中心網格類型)

假設鄰近區之影響係數皆相同時，中心網格之演化則是以鄰近區之地景類型種類與數量來決定。

在附錄一中，列舉在本研究區之森林地景變遷中之模擬規則說明。

##### (二) 強調中心網格聚集效果之模擬

強調鄰近區之聚集效果時，中心網格之網格類型為下一次演化的重心，當鄰近區之網格與中心網格類型相同時，對其加權計算，中心網格之演化則是依鄰近區之地景類型得分最高者來決定。

## 第四章 實證研究

### 第一節 實證基地—南仁山生態保護區現況概述

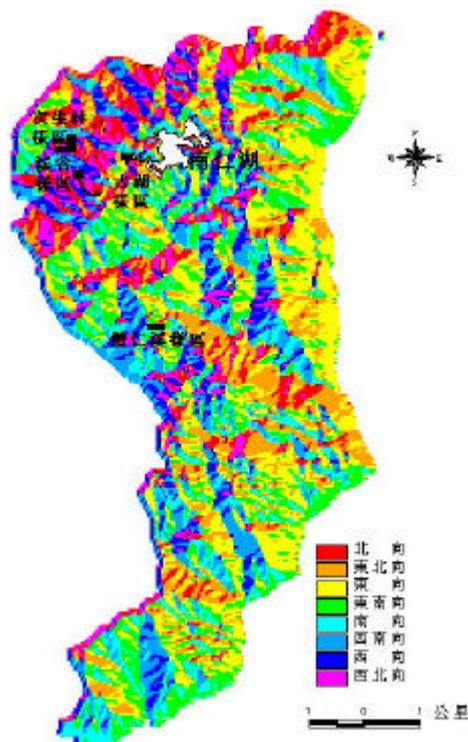
#### 一、地理環境

南仁山森林座落於東經 120 度 50 分、北緯 22 度 05 分左右的地理位置上（王穎，1985）。地處熱帶與亞熱帶交界的南仁山區，座落恆春半島東側，屬台灣島中央山脈的最南段餘脈，左臨九棚溪、東面太平洋、西與南止於港口溪，是台灣僅存的低海拔原始森林（趙國容，2001；謝佳禎，2002）。

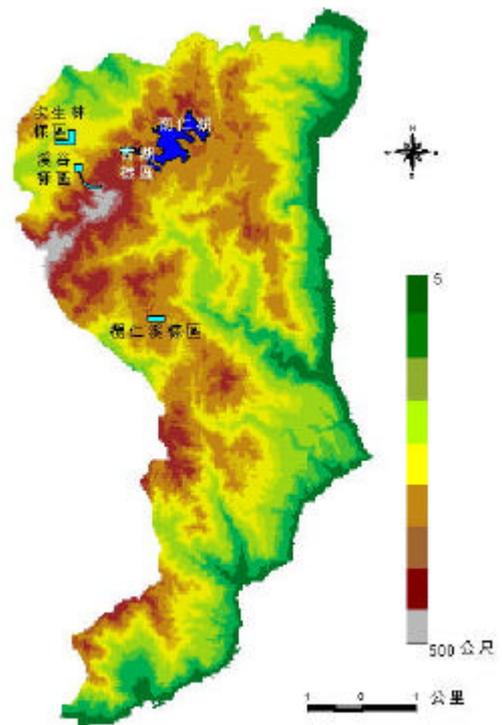
南仁山生態保護區全區之地形地勢大體上以主山脊線向東西兩面傾斜，坡度陡峻，兼具丘陵、山谷、沼潭、溪流、山坡、草原等變化多端之地貌。該地區位置偏僻交通不便罕見人跡，除南山路之窪地為管理處轄有面積 30 公頃之南仁湖外，其餘均屬國有林班地。全區多為濃密原始林所覆蓋（僅小部份地區遭濫墾或改植人造林），其間孕育著上千種植物與各類野生動物，每年十月則有大批灰面鷲在此過境，景觀壯麗。完整之動物相及珍貴之植群，除富於學術研究價值外，並可以提供環境教育及景觀欣賞使用，是墾丁國家公園之精華所在。

南仁山於 1982 年墾丁國家公園成立時，劃設為生態保護區，本研究即是以南仁山生態保護區為研究範圍，保護區佔地 5,844 公頃，全區低山丘陵綿延，如：九棚山、南仁山、埤亦山及萬里得山等，海拔高度約在 10-500 公尺之間。保護區內主要的河流為匯入港口溪的吧沙加魯溪及由鹿寮出海的鹿寮溪等，河床陡峻，雨季溪水高漲，旱季則成乾涸（陳正華，2001）。

至 1995 年，台灣長期生態研究網在南仁山生態保護區成立南仁山長期生態研究站，並分別設立古湖、次生林、溪谷、溪谷樣帶及欖仁溪等五個永久樣區，以進行生態基本資料之收集、觀測等長期生態研究。



圖十 南仁山生態保護區坡向圖  
(台灣長期生態研究網站 e)



圖十一 南仁山生態保護區高程圖  
(台灣長期生態研究網站 f)

## 二、氣候

國科會長期生態研究群於 1995 年 8 月開始在南仁山森林進行整合性的生態研究，目前區內共設有四座氣象站，分別位於溪谷（海拔 150m）、南仁湖（海拔 320m）及南仁山頂（海拔 470m），記錄溫度、濕度、雨量、風速、風向及光量等基本資料（鄭鈞騰，2001）。

### （一）氣溫

南仁山區年平均溫度約攝氏 23-24 度，而月平均溫度的變化隨不同地點而略有差異（謝桂禎，2002），最冷月均溫為 1 月 17.56℃，最暖月均溫為 7 月 26.23℃，冬夏季溫差在 4-8℃（陳正華，2001）。

### （二）雨量

本區年降雨量約 3401.00mm，有 86.80% 的降雨量集中於

夏季 5-9 月之間，主要來源為梅雨期的滯留鋒面、熱帶性低氣壓、颱風和由颱風所引進的西南氣流；冬季則由東北季風帶來少量的降雨（陳正華，2001）。

### （三）濕度

本區的濕度極高，平均相對濕度約 75% 左右，全年變化不大（陳正華，2001）。

### （四）風速

本區每年 5 月至 9 月盛行西南季風，平均風速約 2.37m/sec；10 月至翌年 3 月盛行東北季風，平均風速約 5.00m/sec。比較各氣象站之月平均風速變化如下（陳正華，2001）：

1. 南仁湖站因設於無地形遮蔽處，因此風速較高而月變化小；
2. 溪谷站設於地形遮蔽較大處，其風速較低且月變化小；
3. 南仁山頂及欖仁溪兩站之風速月變化較劇烈，尤其是冬夏季差異最大。

### （五）東北季風

恆春半島每年十月至隔年三月盛行東北季風，風速強勁，俗稱落山風。東北季風平均風速每秒 4-8 公尺，最大可達每秒 10-17 公尺以上（趙偉村，1997），長時間的強風對植物社會具有相當大的影響，造成低矮林相、彎曲樹幹和破裂林冠等現象（謝長富等，1992）。本區日照和雨水充足，季風與颱風也不缺，學者專家咸認為東北季風是影響南仁山森林生態最大的環境因子（謝桂禎，2002）。

## 三、植群組成與分佈

南仁山生態保護區保留了台灣僅存的低海拔原始森林。其森林為本省海拔 500 公尺以下所僅存的低地雨林，地處熱帶，

但受東北季風的影響甚鉅。致使許多臺灣中、北部分布於海拔 1000 公尺以上的植物下降到 500 公尺以下，而在海拔 300 公尺左右與分布在背風隱蔽處之熱帶森林相接。此種亞熱帶，甚至溫帶森林與熱帶森林呈現壓縮植被帶而同時存在的現象，為南仁山生態保護區獨特的「植被壓縮效應」現象。

依據劉棠瑞、劉儒淵（1977）及謝長富等（1991）針對南仁山地區所做之植群調查發現，此植物社會可分為強風坡型、向風緩坡型、背風型及溪谷型等四種植物社會，有關其基本資料及特性，茲說明如表十一：

表十一 南仁山植物社會基本資料及特性彙整表

生育地 資料項目	強風坡型	向風緩坡型	背風型	溪谷型
分佈	東北向	東、北、東南向	西、西南向	溪流兩岸 50m 附近
東北季風影響	直接影響	較緩和	較少影響	無影響
樣區數	72	123	82	23
坡面坡度	30 度以上	--	--	--
平均樹高 (m)	4.63+0.88	6.13+1.45	8.41+1.73	9.45+1.35
平均胸徑 (m)	5.2	6.6	8.4	8.54
植株密度 (株 / 公頃)	20065	12219	7505	4257
植株總數	14420 株	14951 株	6026 株	979 株
植株種類	83 種	106 種	99 種	81 種
植群層次分化	不明顯	不明顯	明顯	明顯
主要優勢樹種	紅花八角、嶺南桐、長尾栲、南仁山鈴木、小葉赤楠、小葉木犀、松田冬青	紅花八角、長尾栲、革葉冬青、奧氏虎皮楠、錐果櫟、小葉木犀	長尾栲、革葉冬青、江某、錐果櫟、烏來冬青、奧氏虎皮楠、紅花八角	江某、銹葉野牡丹、水金京、假赤楊、山龍眼、星刺栲

(整理自趙偉村，1997；陳正華，2001)

#### 四、森林動態

森林動態 ( forest dynamics ) 指的即是森林組成結構隨時間而產生的變化，也就是森林中所有物種的生長、死亡及取代，並包括了外力干擾後森林的恢復過程 ( 趙國容，2001 )。

南仁山森林的行政區隸屬於屏東縣滿州鄉，距今二十餘年前，此地仍為小型山村聚落。1976 年的空照圖顯示，南仁湖當時乃是一片水稻田。保護區成立之前，此處森林由林務局所管轄，部分土地被租予私人經營，區內部分原始林遭砍伐種植相思樹或檳榔，而經歲月更迭及多年的自然消長，如今已成混生林 ( 侯平君，2000 )。

陳朝圳 ( 1997 ) 利用航空照片及相片基本圖集資料，配合電腦軟體進行正射投影校正及地圖製作，得知南仁山生態保護區自 1976 年至 1989 年，13 年之間，闊葉林面積增加，而草生地面積減少，認為主要原因是自設立保護區後，其中居民遷出，對區內開發及使用的狀況減少，致使草生地自然發展演替成闊葉林。

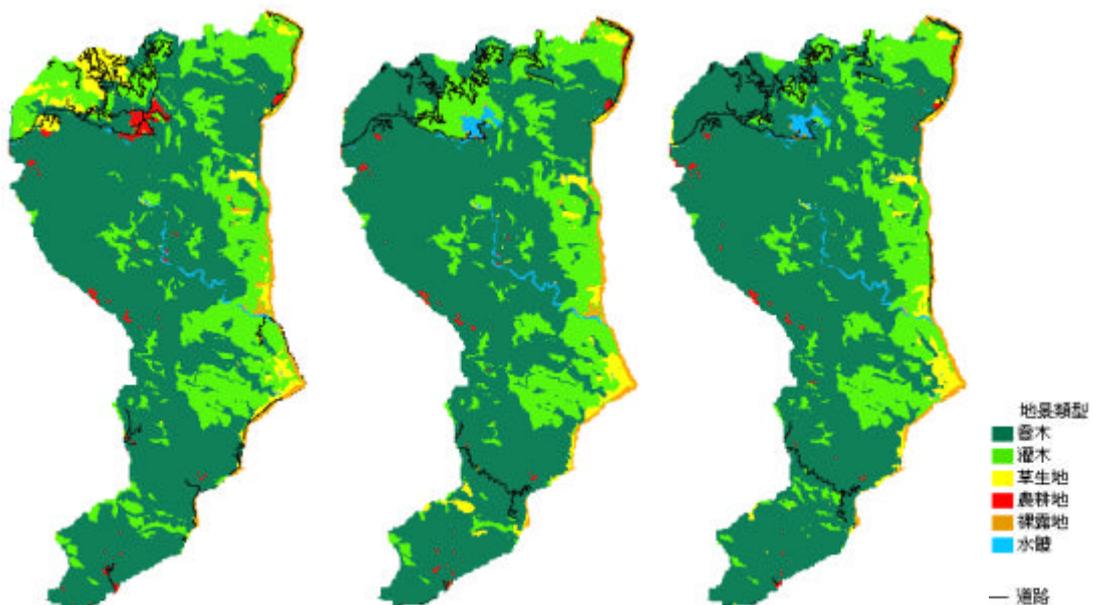
有學者認為：森林組成結構會隨時間而產生生長、死亡及取代的變化，植物群落亦會經由一有方向性的裸化 遷入 建立 競爭 穩定過程，達到一動態平衡 ( 此過程即為演替 )。在這樣具方向性的演變後，植物社會的組成是可預測的 ( 謝桂禎，2002 )。但也有學者強調，植物社會所受到的干擾是頻仍的，從來沒有一座森林能免於外在干擾，不是尚未到達吾人所認定的平衡點，就是正遠離之 ( 趙國容，2001 )。無論如何，今日山區的森林大多未達穩定狀態是有目共睹的，經過長時間的人為干擾後，許多區域仍處於演替過程中。而除了人為干擾，自然干擾 ( 如：東北季風及颱風 ) 也持續影響著這座森林 ( 謝桂禎，2002 )。

## 第二節 南仁山生態保護區不同時期之地景變遷

### 一、地景類型圖建構

本研究利用陳朝圳老師以南仁山生態保護區 1976、1989 及 1997 年之航空照片為材料所判釋出 22 種地景類型，轉繪至 1/5000 的相片基本圖上，經 GIS 軟體數化建檔後得出地景類型圖。依研究所需，再將此 22 種地景類型重新依前述六種地景類型，重製地景類型圖，如圖十二：

本研究利用 GIS 軟體 ArcView8.1 的空間分析及套疊功能，由圖中可萃取有關面積、週長及地景類型等空間資料，以進行地景結構、地景轉移機率、其他統計及空間分析等計算。



圖十二 南仁山生態保護區 1976、1989、1997 年地景類型圖  
(本研究整理)

### 二、地景結構之變化

為瞭解南仁山生態保護區不同時期之地景結構變化，本研究以各時期地景類型之空間資料，統計各地景類型之面積分佈如表十二及圖十三所示，由統計結果可知：南仁山生態保護區之地景要素主要是由「喬木」與「灌木」所組成，而面積高於

地景中其他地景要素類型的森林，可視為此森林地景的基質，其面積組成比例，在 21 年之間由 64.16% 增為 72.27%；而灌木則由 25.19% 降低為 21.16%。

除了喬木與灌木這兩類主要地景要素，研究區其他各地景類型之面積分佈，雖然佔研究區之面積比例並不大，但可發現每一地景類型面積之變化有一定之趨勢如下：

(一) 逐年增加者：喬木、水體。

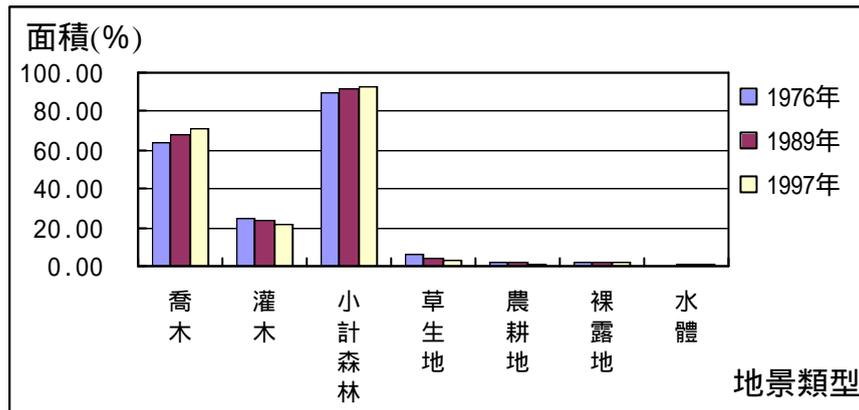
(二) 逐年減少者：灌木、草地、農耕地、裸露地。

此現象以地景變遷典型(主要地景要素的面積比例產生顯著變化)檢視，表示地景系統已產生變化。

表十二 南仁山生態保護區不同時期各地景類型面積分佈及轉換網格數一覽表

地景類型		1976 年		1989 年		1997 年	
		百分比	轉換網格數	百分比	轉換網格數	百分比	轉換網格數
森 林	喬木	64.16%	12533	68.06%	13292	71.27%	13915
	灌木	25.19%	4898	23.31%	4543	21.16%	4120
小計(森林)		89.35%	17431	91.37%	17835	92.42%	18035
草地		5.75%	1127	3.63%	709	3.23%	628
農耕地		2.05%	422	1.61%	324	1.35%	282
裸露地		2.49%	397	2.45%	397	2.03%	308
水體		0.36%	63	0.94%	175	0.96%	187
總計		100%	19440	100%	19440	100%	19440

(本研究整理)



圖十三 南仁山生態保護區不同時期各地景類型面積分佈圖

(本研究整理)

### 三、地景變遷率之變化

#### (一) 地景變遷率名詞釋義

地景變遷率是指不同時期之各個地景要素維持不變的面積與轉換為另一種地景要素的面積，其轉換面積佔該要素總面積之百分比變化，便是該要素於這兩個不同時期的地景變遷率。

地景變遷率可利用 GIS 套疊不同時期的土地利用類型圖，以取得嵌塊體在  $t$  時期之地景要素類型及  $t+1$  時期之類型資料，經由各類型面積統計及百分率計算，可得知各地景要素類型由  $t$  時期至  $t+1$  時期間，轉移為其他類型或維持不變之比率。本研究將利用地景變遷率之分析探討地景要素類型之變遷方向及地景系統穩定性的影響。

#### (二) 南仁山生態保護區三期之地景變遷率

為了探討地景變化的程度及方向，本研究計算南仁山生態保護區不同時期之地景變遷率，統計其結果如表十三、表十四、表十五。

表十三 南仁山生態保護區 1976-1997 之地景變遷率 (單位：%)

1997 1976		森林		小計 (森林)	草地	農耕地	裸露地	水體	合計
		喬木	灌木						
森林	喬木	62.31	1.19	63.50	0.22	0.35	0.05	0.04	64.16
	灌木	5.60	18.88	24.48	0.60	0.06	0.05	0.00	25.19
小計(森林)		67.91	20.07	87.98	0.82	0.41	0.10	0.04	89.35
草地		2.88	0.95	3.83	1.80	0.06	0.05	0.01	5.75
農耕地		0.39	0.05	0.44	0.11	0.87	0.02	0.61	2.05
裸露地		0.05	0.08	0.13	0.49	0.01	1.84	0.02	2.49
水體		0.04	0.01	0.05	0.01	0.00	0.02	0.28	0.36
合計		71.27	21.16	92.42	3.23	1.35	2.03	0.96	100

(本研究整理)

表十四 南仁山生態保護區 1976-1989 之地景變遷率 (單位：%)

1989 1976		森林		小計 (森林)	草地	農耕地	裸露地	水體	合計
		喬木	灌木						
森林	喬木	61.88	1.67	63.55	0.26	0.28	0.04	0.03	64.16
	灌木	3.59	20.62	24.21	0.84	0.07	0.07	0.00	25.19
小計(森林)		65.47	22.29	87.76	1.10	0.35	0.11	0.03	89.35
草地		2.38	0.92	3.30	2.38	0.02	0.04	0.01	5.75
農耕地		0.16	0.03	0.19	0.03	1.21	0.02	0.60	2.05
裸露地		0.02	0.06	0.08	0.11	0.02	2.27	0.01	2.49
水體		0.03	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.29	0.36
合計		68.06	23.31	91.37	3.63	1.61	2.45	0.94	100

(本研究整理)

表十五 南仁山生態保護區 1989-1997 之地景變遷率 (單位：%)

1997 1989		森林		小計 (森林)	草地	農耕地	裸露地	水體	合計
		喬木	灌木						
森林	喬木	66.62	1.13	67.75	0.11	0.15	0.02	0.03	68.06
	灌木	3.68	19.16	22.84	0.42	0.02	0.03	0.00	23.31
小計(森林)		70.30	20.29	90.59	0.53	0.17	0.05	0.03	91.37
草地		0.53	0.82	1.35	2.17	0.06	0.04	0.01	3.63
農耕地		0.37	0.00	0.37	0.11	1.11	0.01	0.01	1.61
裸露地		0.05	0.05	0.10	0.41	0.01	1.92	0.01	2.45
水體		0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.90	0.94
合計		71.27	21.16	92.43	3.23	1.35	2.03	0.96	100

(本研究整理)

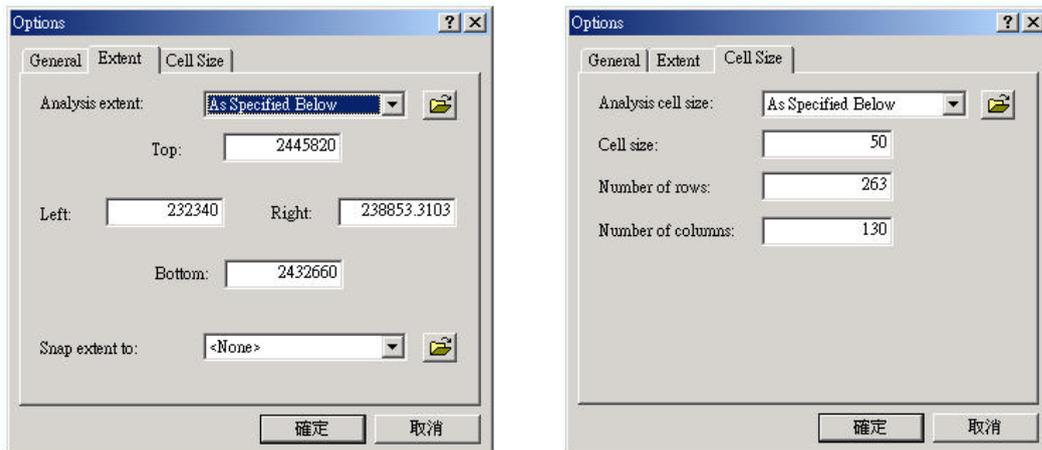
### 第三節 細胞自動化學理論模型建構

#### 一、網格式資料建立

從應用面而言，網格愈小則實際應用愈精確，然而，實際面則受限於現有之數化資料之是由航空照片判釋後，再轉繪至 1/5000 的相片基本圖上，因此，過小之網格劃設，並無法提高分析之精確度，反而增加電腦系統分析之負擔。

因此，在從應用面之需求，以及實際面之情形考量，本研究以所劃分之三期六類地景類型中，出現之最小區塊面積，為網格之基本單元，再將向量式資料轉換為網格式資料。本研究將研究區之空間資料以 50 公尺  $\times$  50 公尺大小之網格為基本單元，成為 263  $\times$  130(共 34,190 個網格)之二維矩陣空間資料庫。

其中南仁山生態保護區所佔有之網格數，即實際可以進行模擬的網格，共有 19,440 個網格。有關網格劃分的範圍和網格大小之設定，如圖十四所示。



圖十四 南仁山生態保護區網格分析的範圍和網格大小之設定

(本研究整理)

## 二、地景類型權重決定：

本研究在強調中心網格聚集效果之模擬時，對於與中心網格相同型態之鄰近區，將其所得之得分值予以權重計算，而權重之給定係採用成偶比對法（pair-wise comparison）。成偶比對法係利用二因子逐一成對相互比較以求權重值，作法說明如下：

- （一）兩因子成對比較，其相對權重值分配之依據為：兩者比較，認為較重要者給予 1，較不重要者給予 0；認為同等重要或難分輕重，則分別給予 0.5。
- （二）設定權重僅有 1、0.5、0。
- （三）為確使所有因子之比較皆為正值，加入一項控制因子（虛擬因子），其權重分配值為 0，故任一因子與其比較權重值皆得 1。
- （四）小計各行之和。再計算各因子佔一百分之權重。

權重之相對重要程度，係依地景類型中樹木存在之多寡、以及對於演變成為有利植物生長之環境之程度而定。經過比對及計算，以喬木為例，可得下列地景類型之相對重要度分析表（表十六）。

表十六 地景類型相對重要程度比較表（以喬木為例）

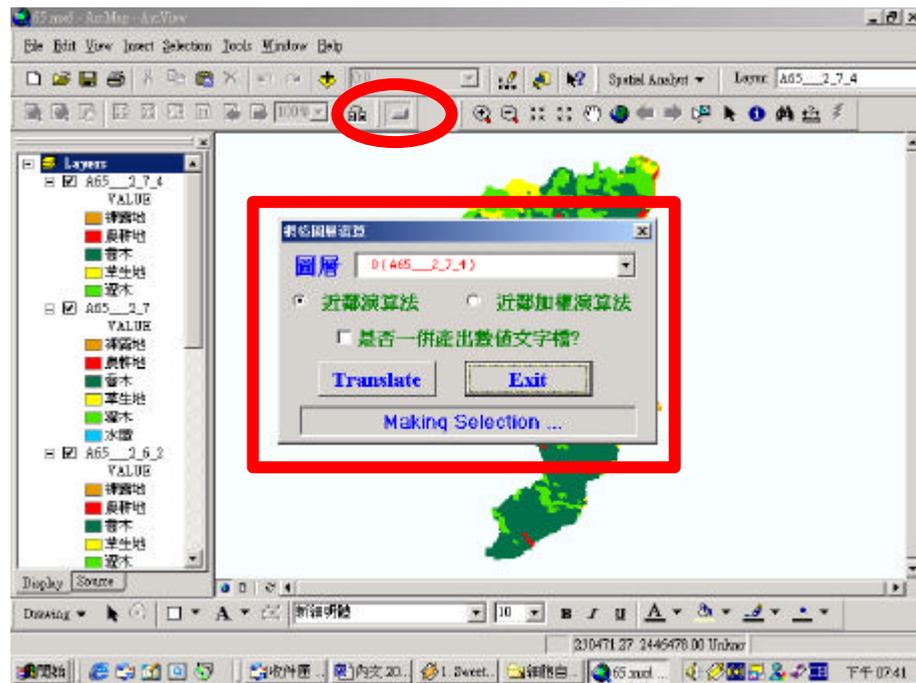
地景類型 比對序號	1. 喬木	2. 灌木	3. 草地	4. 農耕地	5. 裸露地	6. 水體	7. 虛擬因子
1-2	1	0					
1-3	1		0				
1-4	1			0			
1-5	1				0		
1-6	1					0	
1-7	1						
2-3		0.5	0.5				0
2-4		0.5		0.5			
2-5		0.5			0.5		
2-6		0.5				0.5	
2-7		1					0
3-4			0.5	0.5			
3-5			0.5		0.5		
3-6			0.5			0.5	
3-7			1				0
4-5				0.5	0.5		
4-6				0.5		0.5	
4-7				1			0
5-6					0.5	0.5	
5-7					1		0
6-7						1	0
總計	6	3	3	3	3	3	0

（本研究整理）

由上表可知，權種之比率，喬木：灌木：草地：農耕地：裸露地：水體 = 6：3：3：3：3：3。意即當中心網格為喬木時，鄰近區之網格亦為喬木者，其得分為其他網格型態之二倍。

### 三、程式設計

本研究將「細胞自動化理論」包裝成空間分析模組，並整合在以 ArcView8.1 為操作環境的介面（如圖十五）。目前主要的功能說明如下：



圖十五 細胞自動化理論在 ArcView8.1 下的執行紐與操作介面  
(本研究整理)

### (一) 圖層選取

選取圖層中屬性為「網格式資料」的的圖層，因為 ArcView8.1 中可讀取網格式資料及向量式資料，而 CA 的理論是以網格式資料為基礎，因此，在「細胞自動化理論的介面」中，限制僅能讀取並操作「網格式資料」。

### (二) 鄰近區影響係數相同之模擬

而有關其操作之步驟說明如下：

1.網格式類型共分為六種：

網格式類型	喬木	灌木	草生地	農耕地	裸露地	水體
代號	A	B	C	D	E	F

2.以  $3 \times 3$  為一組網格式單元 (含 1 個中心網格式、8 個鄰近區)。

3.計算每一組網格式單元其鄰近區之類型與數量。

4.以最多數之網格為下一時間之網格類型。

(1) 只有一個最多數 最多數者。意即，權重比：

喬木：灌木：草生地：農耕地：裸露地：水體 =  
1：1：1：1：1：1

ex：4A3B1C(鄰近區組成) A(中心網格演變類型)

(2) 有二個或二個以上的最多數  $A > B > C > D > E > F$

ex：4A4B(鄰近區組成) A(中心網格演變類型)  
3B3C2F(鄰近區組成) B(中心網格演變類型)

5.邊緣網格之計算：

不限定鄰近區之網格數需為 8 個，而演算方法同一組網格單元之中心網格。

(三) 強調中心網格聚集效果之模擬

有關其操作之步驟說明如下：

1.網格類型共分為六種：

網格類型	喬木	灌木	草生地	農耕地	裸露地	水體
代號	A	B	C	D	E	F

2.以  $3 \times 3$  為一組網格單元 (含 1 個中心網格、8 個鄰近區)。

3.計算每一組網格單元其鄰近區之類型與數量，但遇與中心網格類型相同之鄰近區，其計算值需  $\times 2$  倍。意即，權重比 (以中心網格為喬木為例)：

喬木：灌木：草生地：農耕地：裸露地：水體 =  
2：1：1：1：1：1

ex：鄰近區組成 4A3B1C、中心網格 B

則：4A3B1C( 鄰近區組成) B( 中心網格演變類型)

因為：A—4 分 B—3 ×2=6 分 A—1 分

4.若遇加權後之得分相同者：則中心網格演變類型之優先順序如表十七所示：

表十七 中心網格加權得分相同時之演變類型優先順序表

原中心網格類型	中心網格演變類型優先順序
A	A B C D E F
B	B A C D E F
C	C B D A E F
D	D C E B F A
E	E D F C B A
F	F E D C B A

( 本研究整理 )

5.邊緣網格之計算：

不限定鄰近區之網格數需為 8 個，而演算方法同一組網格單元之中心網格。

( 四 ) 數值之文字檔產出

為對照產出圖形結果之用。

( 五 ) 資料儲存

由程式中可展現網格式圖層的三項資料：

- 1.WorkspaceFactory：存在的路徑。
- 2.RasterBand：儲存多少欄、列、深度像素的統稱。
- 3.RasterDataset：實際儲存的網格式資料。

## 第四節 細胞自動化理論模型模擬結果

本研究依據上述訂定的演化規則，利用 VBA 語言在 ArcView8.1 環境中撰寫程式進行模擬，設計兩種不同之模擬模型，分別進行研究區之 1976 年-1989 年、1989 年-1997 年之地景變遷模擬。

本模型之模擬終點設定，係由於考量到本研究假設「森林」地景變遷為成長的情況，因此，設定模擬終點為：當起始年的「森林」（包含喬木及灌木）之網格數量達到目標年之網格數量時。

此外，為更進一步檢測並比較各次模擬之面積相似度（即與目標年之各地景類型面積之預測值面積相似度），因此，擬將本研究之四個模擬模型（兩種模擬模型設計各模擬 2 種年度之地景變遷）各進行三次遞迴，以比較並分析每個模擬模型之面積相似度。

本研究所設計之兩種模擬模型，其說明及模擬結果如下：

### 一、設定鄰近區影響係數皆相同

將鄰近地區之影響係數設為相同的意義是：假設不論鄰近區是何種地景類型，只要周邊的網格類型以喬木為最多時，則該網格就會朝向「喬木」的網格類型發展。

因此，在影響整體的森林地景變遷中，鄰近地區的地景類型相互間的影響程度並無差異，表現之權重為：

喬木：灌木：草生地：農耕地：裸露地：水體

= 1：1：1：1：1：1

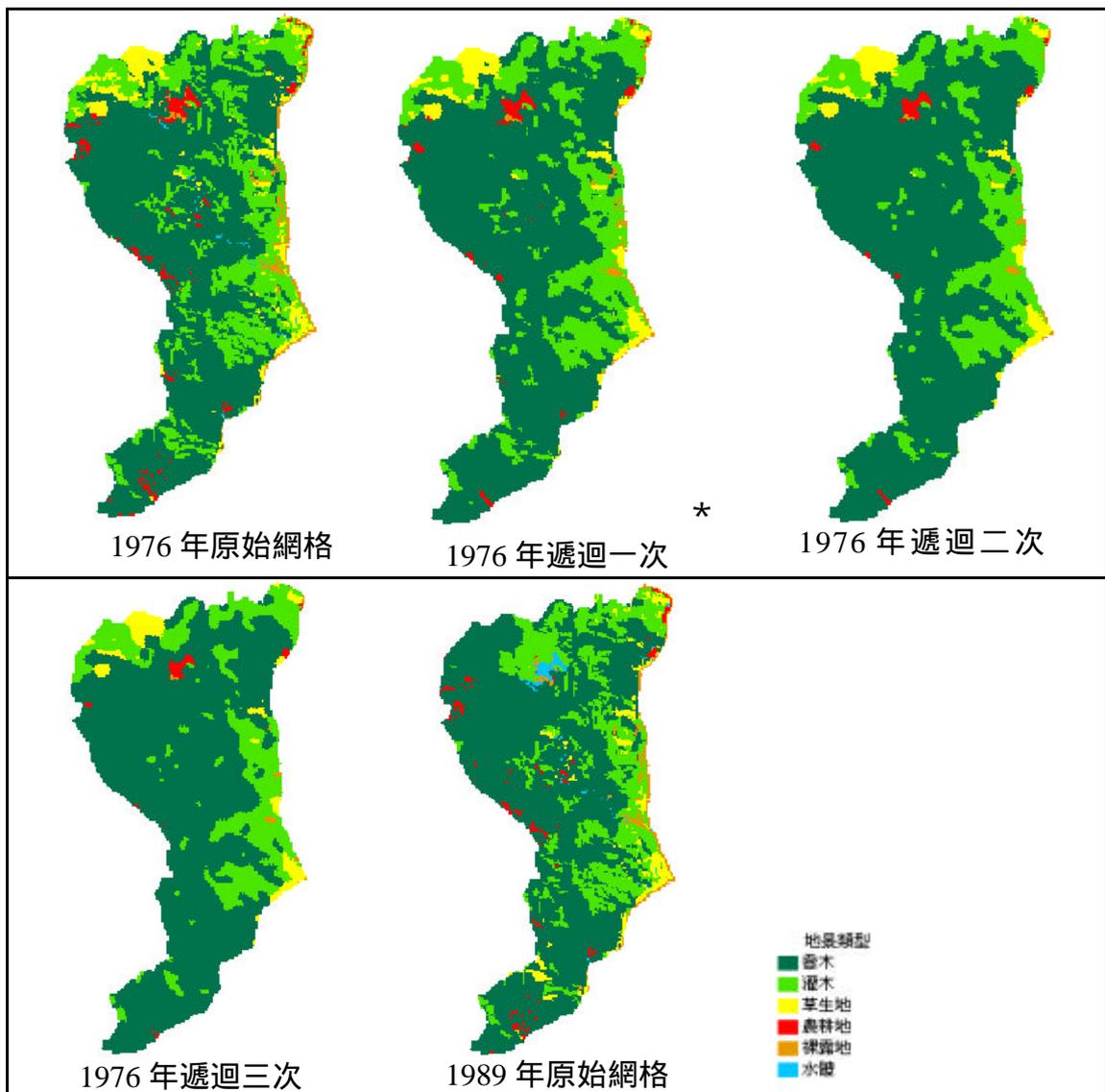
而假設鄰近區影響係數皆相同的模擬結果，本研究將三期（1976、1989、1997 年）之資料，分別以 1976 年（起始年）模擬至 1989 年（目標年）、1989 年（起始年）模擬至 1997 年（目標年），表十八、表十九、圖十六、圖十七則是展現利用這樣的權重進行模擬的結果。

表十八 1976-1989 年鄰近區影響係數皆相同之變遷結果

地景類型		1976 年 原始網格	* 1976 年 遞迴一次	1976 年 遞迴二次	1976 年 遞迴三次	1989 年 原始網格
森林	喬木	12533	13476	14039	14469	13292
	灌木	4898	4593	4294	4052	4543
(小計森林)		17431	18069	18333	18521	17835
草生地		1127	910	804	716	709
農耕地		422	253	187	144	324
裸露地		397	206	116	59	397
水體		63	2	0	0	175
總計		19440	19440	19440	19440	19440
面積相似度		--	97.8%	95.7%	93.9%	--

註：\* 模擬終點所在之模擬模型

(本研究整理)



圖十六 1976-1989 年鄰近區影響係數皆相同之變遷結果

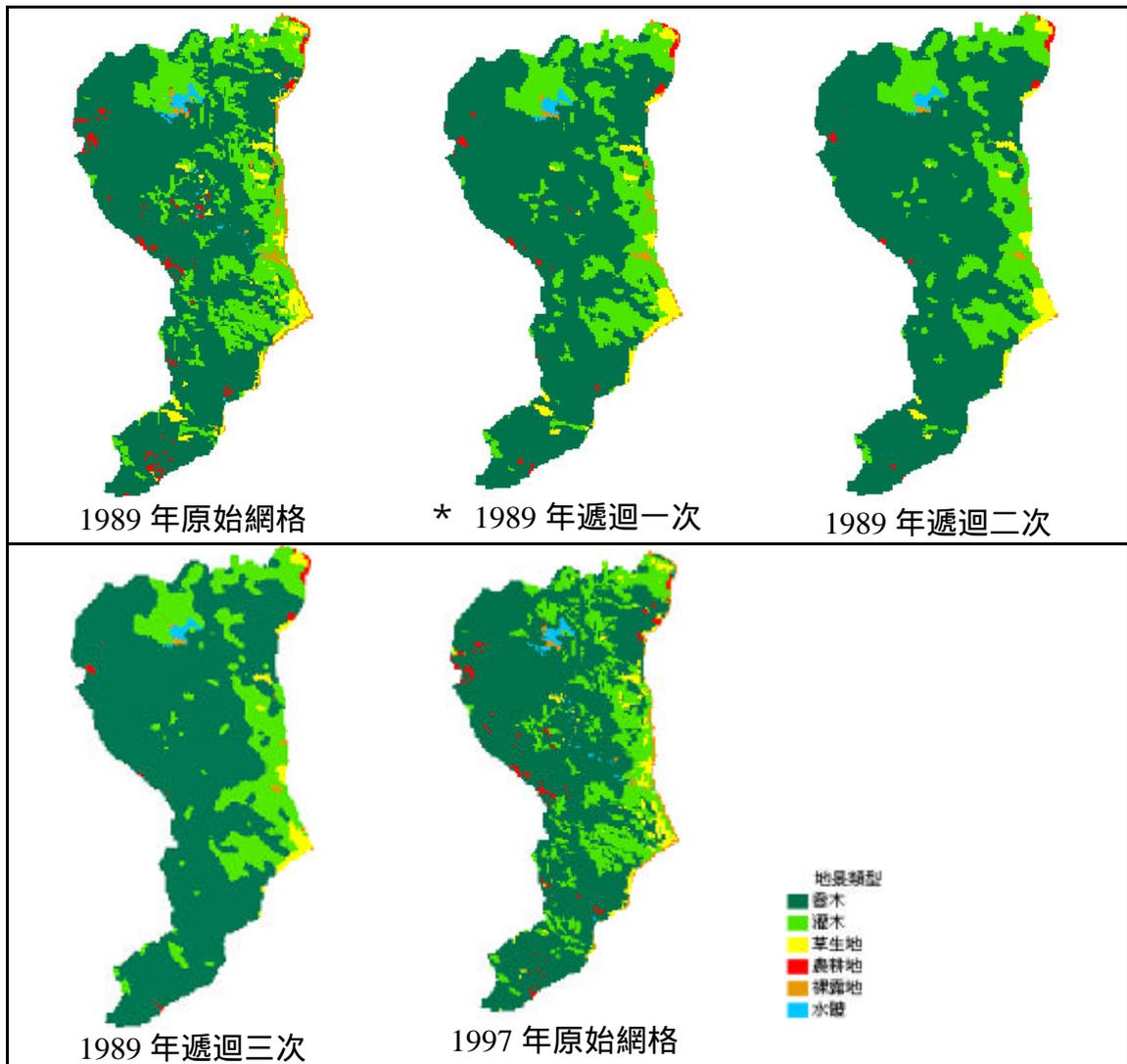
(本研究整理)

表十九 1989-1997 年鄰近區影響係數皆相同之變遷結果

地景類型		1989 年 原始網格	* 1989 年 遞迴一次	1989 年 遞迴二次	1989 年 遞迴三次	1997 年 原始網格
森林	喬木	13292	14191	14736	15005	13915
	灌木	4543	4243	3917	3726	4120
(小計森林)		17835	18434	18653	18731	18035
草生地		709	547	483	452	628
農耕地		324	158	106	94	282
裸露地		397	189	101	86	308
水體		175	112	97	77	187
總計		19440	19440	19440	19440	19440
面積相似度		--	97.9%	95.6%	94.4%	--

註：\* 模擬終點所在之模擬模型

(本研究整理)



圖十七 1989-1997 年鄰近區影響係數皆相同之變遷結果

(本研究整理)

## 二、強調聚集效果之影響係數

一般而言，地景的發展會依循聚集性的原則，意即：中心網格易朝向佔鄰近網格中較多數的地景類型發展。而強調聚集效果之影響係數的意義則是在於，鄰近地區之發展會以和中心網格相同之使用其影響力為最大，而此即為產生所謂的聚集效果。

因此，在影響整體的森林地景變遷中，鄰近地區的網格類型以與中心網格類型相同者的權重為最大，所表現之權重，依照研究所採用的成偶比對法可發現：與中心網格型態相同之鄰近區網格，其權重為其他網格型態的 2 倍。：

而強調中心網格聚集效果之模擬結果，本研究將三期（1976、1989、1997 年）之資料，分別以 1976 年（起始年）模擬至 1989 年（目標年）、1989 年（起始年）模擬至 1997 年（目標年），當「森林」（包含喬木及灌木）之網格數量達到下一期之網格數量時，及停止模擬。

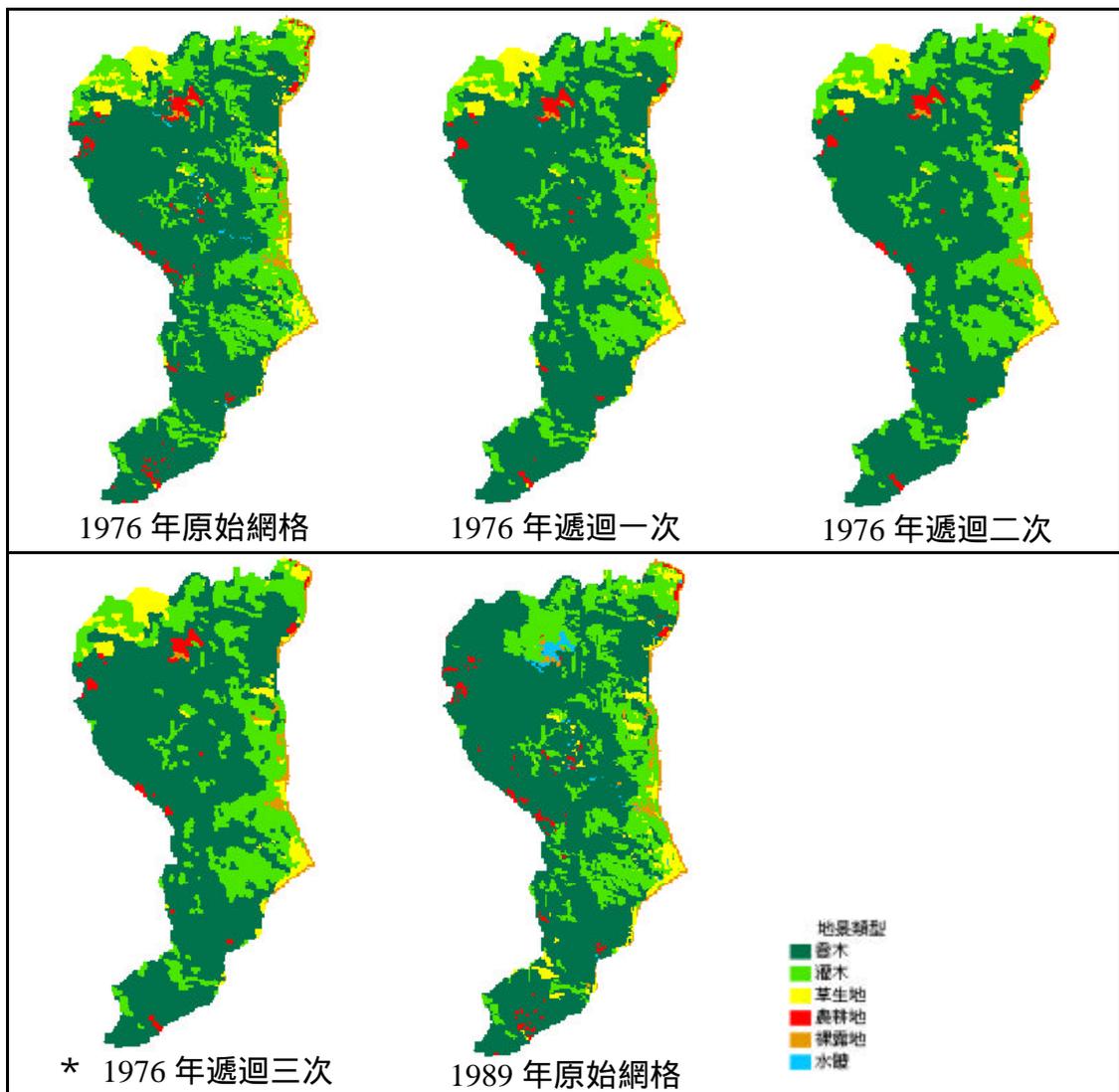
表二十、表二十一、圖十八、圖十九則是展現利用這樣的權重進行模擬的結果。

表二十 1976-1989 年強調中心網格聚集效果之變遷結果

地景類型		1976 年 原始網格	1976 年 遞迴一次	1976 年 遞迴二次	* 1976 年 遞迴三次	1989 年 原始網格
森林	喬木	12533	12803	12866	12900	13292
	灌木	4898	4926	4941	4936	4543
(小計森林)		17431	17729	17807	17836	17835
草地		1127	1019	986	978	709
農耕地		422	332	307	300	324
裸露地		397	355	338	326	397
水體		63	5	2	0	175
總計		19440	19440	19440	19440	19440
面積相似度		--	96.4%	96.5%	96.6%	--

註：\* 模擬終點所在之模擬模型

(本研究整理)



圖十八 1976-1989 年強調中心網格聚集效果之變遷結果

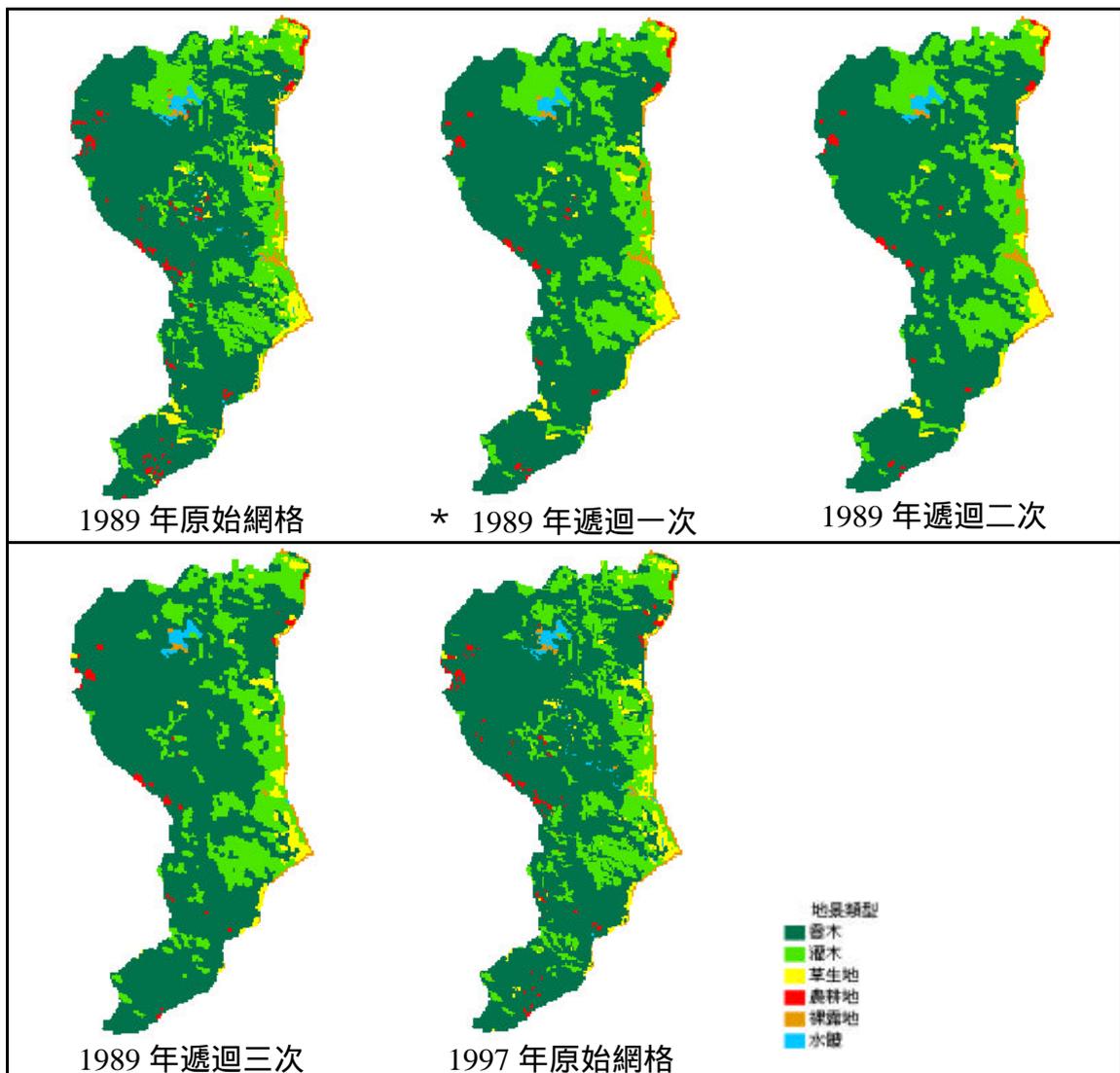
(本研究整理)

表二十一 1989-1997 年強調中心網格聚集效果之變遷結果

地景類型		1989 年 原始網格	* 1989 年 遞迴一次	1989 年 遞迴二次	1989 年 遞迴三次	1997 年 原始網格
森林	喬木	13292	13543	13619	13515	13915
	灌木	4543	4591	4581	4753	4120
(小計森林)		17835	* 18134	18200	18268	18035
草生地		709	600	577	540	628
農耕地		324	228	202	179	282
裸露地		397	343	328	322	308
水體		175	135	133	131	187
總計		19440	19440	19440	19440	19440
面積相似度		--	97.4%	97.5%	96.6%	--

註：\* 模擬終點所在之模擬模型

(本研究整理)



圖十九 1989-1997 年強調中心網格聚集效果之變遷結果

(本研究整理)

## 第五節 結果討論

### 一、結果說明

#### (一) 設定鄰近區影響係數皆相同

依照前述之模擬結果可以發現：森林的地景類型，其分佈運用「鄰近區影響係數皆相同」之模擬時，研究區之地景變遷將快速地傾向主要地景類型（包含喬木及灌木）之形成，且許多原本較小面積的地景類型（如裸露地、水體）聚集也會快速地被合併，而變成較大面積的主要地景類型（包含喬木及灌木）聚集。

#### (二) 強調聚集效果之影響係數

在「強調聚集效果」之模擬時，研究結果發現，依照各地景類型分佈的情形來看，其較能顯示地景變遷之情形。無論是區內部分之農耕地（原為原始林遭砍伐種植相思樹或檳榔等），經歲月更迭及多年的自然消長，由圖中可看出，其以逐漸成為混生林，被周圍的喬木及灌木之地景類型所取代。

#### (三) 綜合說明

在 1976-1989 年之變遷模擬時，無論是在鄰近區影響係數皆相同之變遷結果或是在強調聚集效果之變遷結果中，可以發現：水體明顯的減少了。然而，研究區實際的情況卻是：水體增加了（產生了南仁湖），造成此一現象的原因是，原本位於南仁湖之地景類型為水稻田，在 1982 年成立保護區之前，當時乃是一片水稻田，其土地租予私人經營，而在保護區成立後，禁止人為的砍伐或耕作，才致使此區能成為南仁湖。

而整體而言，研究區之喬木及灌木的面積傾向增加，而草生地及其他地景類型之面積傾向減少，足見自設立保護區後，居民遷出，對區內開發及使用的狀況減少，因此，使得南仁山生態保護區得以自然演替，傾向於喬木和灌木的地景類型發展。

## 二、結果比較

### (一) 森林面積

經由上述兩種不同設定所模擬之各二個年期之模擬結果，檢測其面積相似度（即與目標年之各地景類型面積之預測值面積相似度），將其重新彙整於表二十二）：

表二十二 四個模擬模型遞迴三次之面積相似度比較表

模型別	起始年-目標年	年期	遞迴一次	遞迴二次	遞迴三次
鄰近區影響 係數皆相同	1976-1989	13	<u>* 97.8 %</u>	95.7 %	93.9 %
	1989-1997	8	<u>* 97.9 %</u>	95.6 %	94.4 %
強調中心網 格聚集效果	1976-1989	13	96.4 %	96.5 %	<u>* 96.6 %</u>
	1989-1997	8	* 97.4 %	<u>97.5 %</u>	96.6 %

註：1. \* 模擬終點所在之模擬模型

2. 斜體字者表該次模擬之面積相似度之最高值

(本研究整理)

本研究發現：利用「鄰近區影響係數皆相同」之模擬時，由於研究區之地景變遷快速地傾向主要地景類型（包含喬木及灌木）之形成，因此，兩個年期的地景變遷皆在第一次遞迴時，即達到模擬終點（即起始年「森林」（包含喬木及灌木）之網格數量達到目標年之網格數量時），且模型之面積相似度達到 97.8%、97.9% 的準確性。

而「強調聚集效果之影響係數」之模擬時，研究區之地景變遷是由原始網格型態，漸次依照其鄰近區之網格型態來形成下一次遞迴之地景類型分佈。因此，在第一個年期（13 年）時，需要遞迴到第三次才能達到模擬終點（面積相似度為 96.6 %），而在第二個年期（8 年）時，則在第一次遞迴實則達到模擬終點（面積相似度為 97.4 %）。

## (二) 空間分佈

由所產生圖檔之空間分佈顯示：利用「鄰近區影響係數皆相同」之模擬時，由於研究區之地景變遷快速地傾向主要地景類型（包含喬木及灌木）之形成，因此，其他佔有較小面積的地景類型（如：裸露地、水體等），則很快地便被主要地景類型所取代，因此，就空間分佈而言，較不易顯示出目標年之地景類型空間分佈情形。

而「強調中心網格聚集效果」之變遷模擬時，研究區之地景變遷是由原始網格型態，漸次依照其鄰近區之網格型態來形成下一次遞迴之地景類型分佈。因此，在每一次的遞迴中，都能很清楚的看出整體地景變遷之空間分佈情形，與利用「鄰近區影響係數皆相同」之模擬相較，較能反應出研究區真實的地景變遷。

## 三、模型推估

由上述對於本研究之「森林面積」及「空間分佈」探討，本研究復以此模型，依照「鄰近區影響係數皆相同」及「強調中心網格聚集效果」之兩種模擬方法，以 1997 年為起始年，預估未來 8-13 年之間，本研究區之各地景類型面積及其空間分佈情形。

(一) 鄰近區影響係數皆相同

依據前述之結果討論,無論在推估年期為 8 年或 13 年,「遞迴一次」之模擬其模型模擬結果面積相似度均為最高(面積相似度達 97.8% 以上),因此,擬採「遞迴一次」來推估未來 8-13 年之間,南仁山生態保護區之各地景類型面積,如表二十三所示。

表二十三 鄰近區影響係數皆相同推估 2005-2010 年之變遷結果

地景類型		1997 年原始網格	1997 年遞迴一次 (推估 2005-2010 年)
森林	喬木	13915	14912
	灌木	4120	3697
(小計森林)		18035	18609
草生地		628	466
農耕地		282	120
裸露地		308	132
水體		187	113
總計		19440	19440

(本研究整理)

(二) 強調中心網格聚集效果

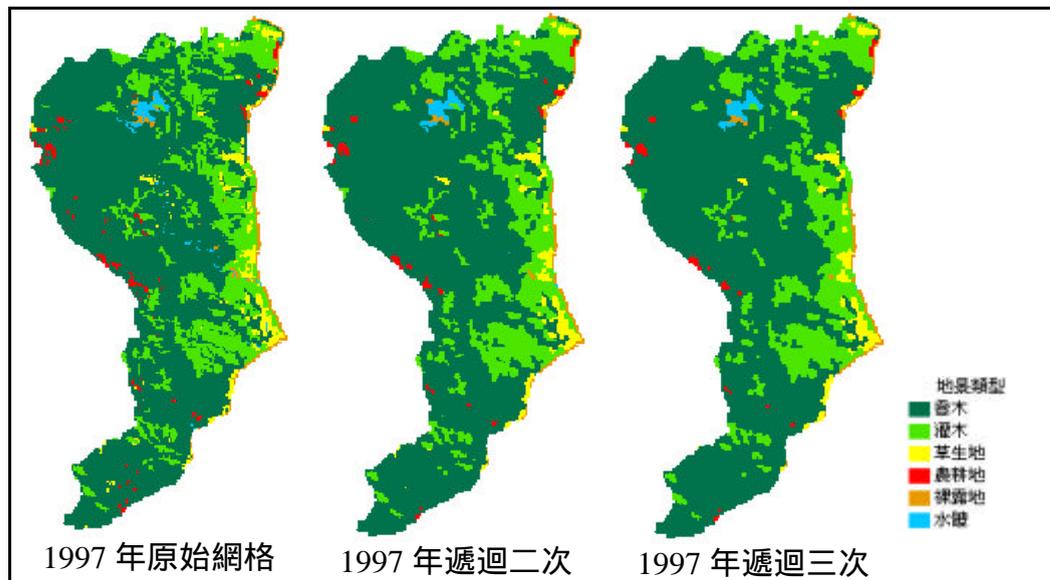
依據前述之結果討論,擬採用推估年期為 13 年時模型面積相似度最高之「遞迴三次」之模擬(面積相似度達 96.6% 以上),來推估 2010 年時,南仁山生態保護區之各地景類型面積,如表二十四所示。

而在推估未來 2002 年(推估年期為 8 年)時南仁山生態保護區之各地景類型面積,則擬採模型面積相似度最高之「遞迴二次」之模擬(面積相似度達 97.5%),來推估 2005 年時,南仁山生態保護區之各地景類型面積,如表二十四所示,而其空間分佈則如圖二十一所示。

表二十四 強調中心網格聚集效果推估 2005 及 2010 年之變遷結果

地景類型		1997 年 原始網格	1997 年遞迴二次 (推估 2005 年)	1997 年遞迴三次 (推估 2010 年)
森林	喬木	13915	14248	14292
	灌木	4120	4114	4100
(小計森林)		18035	18362	18392
草生地		628	526	518
農耕地		282	179	166
裸露地		308	237	230
水體		187	136	134
總計		19440	19440	19440

(本研究整理)



圖二十 強調中心網格聚集效果推估 2005 及 2010 之變遷結果

(本研究整理)

## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

本研究以地理資訊系統的網格空間資料庫為基礎，利用細胞自動化理論與成偶比對法，架構一套地景變遷模擬系統。這套模擬系統以網格狀之地景類型作為模擬的空間結構與起始基礎，配合網格自我發展條件以及鄰近的地景類型，模擬出森林地景變遷之分佈情形。而經過對細胞自動化理論的文獻回顧以及在南仁山生態保護區的實證研究後，本研究有以下幾點結論：

#### 一、結合 GIS 和 CA

本研究結合 GIS 和 CA 的功能，使 GIS 軟體可以表現動態的空間重組過程，並可以利用 GIS 的空間分析功能，以利後續研究結果的分析及成果展現。

#### 二、瞭解各地景類型面積大小及空間分佈情形

本模擬系統可以較明確的顯示出未來森林地景中，各地景類型所佔有的面積大小及數量，以及其空間分佈情形，並且可以清楚的模擬出森林地景在空間中的演變過程。而透過顯示於操作的介面中，能夠直接由圖形的轉變，及時的看到地景變遷及形成的情形。此外，將影響地景變遷的影響因子融入演化規則中，可以及時的反應出不同的影響因子所造成不同的地景變遷情形，讓森林經營管理者能夠對於未來的森林地景變遷，預先瞭解其在空間中分佈的狀況。

#### 三、以「鄰近區地景類型」為地景變遷影響因子的 CA 模型

由於影響地景變遷的因素相當多，本模型中使用目前可取得的資料，於模擬南仁山生態保護區時，考慮其地景變遷之影響因子為「鄰近區」一項，並設計了「鄰近區影響係數皆相同」及「強調中心網格聚集效果」兩種地景變遷模擬模型，其結果之比較，以「強調中心網格聚集效果」之地景變遷模擬模型其地景類型空間分佈與現況較接近，面積相似度可達 96.6% 以

上。雖然無法完全與現實的狀況完全相符，也表示出影響本研究區地景變遷分佈之因素，尚可由其他權重方法或影響因子考量，來進一步提升模型之準確性。

#### 四、以「成偶比對法」為權重考量

本研究在「強調中心網格聚集效果」之地景變遷模擬模型中，所採用的權重比較方式是成偶比對法，此法在本研究所假設森林地景變遷僅考慮成長而不考慮衰退的情況下，在配合森林之演替序列，於本研究區中所劃分的六項地景類型：水體、裸露地、農耕地、草地、灌木、喬木中，可以很清楚且不流於主觀意識地將各地景類型之權重予以顯示出來。

#### 五、保護區之設立有助於森林地景穩定成長

本研究之兩種模擬設計中，各分別對於 1976-1989 年、1989 年-1997 年二個年期做推估，又南仁山生態保護區係於 1982 年劃設生態保護區，因此，此二年期中，第一個年期受到人為的干擾較第二個年期尤為嚴重，而由本模型模擬結果之面積相似度顯出，無論是在哪一種模擬設計中，以模擬終點來看，第二個年期的面積相似度（97.9% 與 97.%）皆高於第一個年期的面積相似度（97.8% 與 96.6%）。足見生態保護區之設立，有助於森林地景的穩定成長。

## 第二節 建議

本研究乃為一初步模型之研究，未來可利用更多的資料和更嚴謹的模式來建構更大型的系統，以應用於實際影響森林地景變遷的各項因子及分析之用，有關未來研究方向之建議如下：

### 一、地景變遷影響因子的選擇

由於 CA 是以一種「細胞自動演化」的觀點，而在現實的情形中，以南仁山生態保育區為例，其在劃定生態保護區(1982年)之後，其地景類型的演變，可以以一種自然演化的觀點視之，惟仍須考慮影響該區甚鉅的一些地形或氣候因子，如：東北季風等；而在劃定生態保育區之前，該地受人為活動的影響（如：農耕、道路開發），亦應於模型設計中，加以考量。

### 二、網格型態的定義

本研究將地景類型由原始資料的 22 類依研究需求合併為 6 類，因此所定義之網格型態共為 6 種，未來在 CA 模型設計中，可依不同研究需求再行定義不同之網格型態。

### 三、網格大小的決定

本研究以所劃分之三期六類地景類型中，出現之最小區塊面積，為網格之基本空間單元，因此劃定網格大小為 50 公尺 × 50 公尺，有關網格大小的劃分，從應用面而言，網格愈小則應用愈精確，然而，從實際面上尚需考量資料取得之精確度，以及將產生電腦系統分析時之負擔。未來在 CA 模型設計中，可依不同研究需求再行決定不同之網格大小。

### 四、距離作用的影響

除了考慮各項可能的變遷因子外，對於每一個影響因子背後所隱含的距離作用，其如何對中心網格的地景類型變遷產生影響，都是在 CA 模型設計中，可以被列入考量的。

## 五、權重決定之方法

對於地景變遷因子之權重決定，尚可有層級分析法（AHP）、德爾菲法（Edlphi Method）、模糊德爾菲法、模糊層級分析法（FAHP）、蒙地卡羅法等，惟每一種權重決定方法有其適用之條件與限制，未來之研究設計可針對各種不同之權重決定方式，加以進行比較及分析其優勢與劣勢。

## 六、三維之 CA 模型設計

本研究所設計之 CA 模型為「二維」之 CA 模型，但實際的情況中，牽涉到植群之生長及變遷（尤以喬木為重），其垂直方向上的變異（如樹高、胸高米徑寬等）較大，而水平方向的變異則較小。未來若能發展出三維之 CA 模型，除針對水平面向的森林地景變遷外，更進一步探討垂直面向的森林地景變異，將會使模型預測更具真實性。

## 七、相似度之檢驗

本研究僅針對模型之「面積相似度」進行檢定，雖可得知面積大小的相似度值，但對於實際的空間分佈上就只限於從圖面上觀察而得。未來研究可針對每一網格型態進行「空間分佈相似度」之比對，以使模型預測更具可信度。

## 八、自動化的規則校正

利用大量的資料和自動化的規則來校正模型，使模型能自動去吻合真實森林地景變遷的規則和權重大小，或是利用歸納真實的森林其地景變遷型態，使模型中的地景變遷樣式近似真實的演化過程，將使預測時更有可信度。

## 引用文獻

### 一、期刊、書籍、專章、學位論文

1. 丁志堅，1997，運用馬可夫鏈模式度量土地利用變遷之研究，國立臺灣大學地理環境資源學研究所碩士論文。
2. 丁志堅，2002，屏東平原土地利用變遷分析與模式建立，國立臺灣大學地理環境資源學研究所博士論文。
3. 方梅萍，2002，台中市景觀格局的變遷及其影響因素之研究，東海大學景觀研究所碩士論文。
4. 方琮雅，2001，桃園台地水域用地空間結構變遷之研究，國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文。
5. 王元亨，1992，海上築城不是夢—臺南新市區（安平特定區）地景變遷概論，中華民國建築師雜誌 18（4）：96-102。
6. 王素芬、陳永寬、鄭祈全，1999，地理資訊系統和碎形維度於森林地景空間變化上之應用，航測及遙測學刊 4（2）：33-53。
7. 王儀臻、李建堂，1998，關渡紅樹林沼澤地景觀變遷之研究，中國地理學會會刊 26：115-128。
8. 王穎，1985，墾丁國家公園南仁山生態保護區水域鳥類生態研究，墾丁國家公園管理處保育研究報告第 2 號。
9. 台灣省農林廳林務局，1995，第三次台灣森林資源及土地利用調查，台灣省農林廳林務局。
10. 白金城，1993，都會區空間結構發展模式之研究，逢甲大學土地管理研究所碩士論文。
11. 白梅玲、李培芬、張琪如，2000，福山試驗林之景觀分類，中華林學季刊 33（3）：291-312。
12. 吳守從，2003，南仁山生態保護區森林植群動態變化及其經營管理策略之探討，國立臺灣大學森林學研究所博士論文。
13. 吳守從、陳永寬，2002，結合航測資訊與地景指數探討南仁山生態保護區之干擾因子，航測及遙測學刊 7（2）：3-22。
14. 呂仲耿，2002，利用空間資訊探討水源涵養保安林地景變遷，國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。
15. 李宣德，2000，森林空間動態模式之建立與應用，國立中興大學森林學研究所碩士論文。
16. 李宣德、馮豐隆，2001，運用「細胞自動化」概念在森林生態系模擬，台灣林業 27（6）：22-26。
17. 李建堂，1987，山地保留地土地利用變遷之研究 - 屏東縣霧台鄉個案分析，國立台灣大學森林研究所碩士論文。
18. 李國忠、黃德銘，2001，陳有蘭溪流域土地利用變遷與社經發展之實證分析，國立臺灣大學農學院實驗林研究報告 15（3）：157-176。
19. 李培芬，1993，以遙測和地理資訊系統研究景觀變遷，遙感探測 18：54-76。
20. 李培芬、林明志、許嘉恩，1994，竹圍紅樹林之景觀變遷，遙感探測 20：73-88。
21. 李敘文，2002，潭子鄉人口特性及土地使用變遷之研究，彰化師範大學地理學系在職進修專班碩士論文。
22. 杜昌柏，1993，都會區土地使用變遷之研究，逢甲大學土地管理研究所碩士論文。

23. 汪禮國，1997，細胞自動體模式 ( Cellular Automata ) 與都市空間演化，國立中興大學法商學院都市計畫研究所碩士論文。
24. 肖篤寧 ( 主編 )，1993，景觀生態學：理論、方法及應用，地景企業股份有限公司。
25. 肖篤寧、趙羿、孫中偉、張國樞，1993，瀋陽西郊景觀格局變化的研究。
26. 周素卿、高傳棋，1996，舊地圖與都市土地利用變遷：以臺北加蚋仔地區為例，國立臺灣大學理學院地理學系地理學報 21：1-38。
27. 周朝富，1985，大地衛星資訊探測台北地區土地利用變遷之研究，國立台灣大學森林研究所碩士論文。
28. 周學政，1986，地理景觀變遷偏好之分析—以東北角海岸風景特定區為個案研究，國立台灣大學地理研究所碩士論文。
29. 林一宏，1998，由地景變遷與地域屬性論八里的發展，臺北縣立文化中心季刊 56：49-57。
30. 林于尊，2001，農地重劃景觀生態變遷之研究，國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文。
31. 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。
32. 林如珍，1998，以準碎形空間混合度指標探討都市土地使用型態的自我組織—整體空間發展受限模式之應用，中興大學都市計畫研究所碩士論文。
33. 林育璋，2001，土地利用區位及立地條件之空間分析—以中和市為例，中國文化大學地學研究所碩士論文。
34. 林佩佩，1995，關渡自然公園預定地景觀變遷對鳥類群聚結構的影響，國立臺灣大學動物學研究所碩士論文。
35. 林明志，1993，關渡地區鳥類群聚動態與景觀變遷之關係，輔仁大學生物學研究所碩士論文。
36. 林芳儀，2001，景觀變遷對於鳥類群聚時空分布之影響 - 以關渡自然公園為例，國立臺灣大學動物學研究所碩士論文。
37. 林金樹，1996a，利用脊路徑分析法探討土地利用變數結構之研究，中華林學季刊 29 ( 2 )：59-78。
38. 林金樹，1996b，都會區土地利用的變數結構之研究—以臺南市為例，中華林學季刊 29 ( 2 )：79-92。
39. 林彥良，2001，類神經網路應用於水庫集水區暴雨時期產砂量推估之研究，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
40. 林玲，1984，台灣山地保留地土地利用變遷之研究—以秀巒村為個案分析，台灣大學地理研究所碩士論文。
41. 林峰田等，2002，宮格自動機於土地利用變遷模擬之結合機制，中華地理資訊學會年會暨學術研討會光碟片：共 10 頁。
42. 林祥偉、孫志鴻，1998，多準則決策技術與地理資訊系統整合之研究，國立台灣大學理學院地理學系地理學報 24：29-41。
43. 林祥偉、孫志鴻，2000，人工智慧空間資訊分析師—以模糊邏輯為演化規則的細胞自動化理論，地理資訊學會 2000 年年會暨學術研討會論文集。
44. 林新岳，1997，東埔梅山地區航照圖、衛星影像應用於土地利用變遷監測之研究，逢甲大學土地管理研究所碩士論文。
45. 林裕彬、林怡君，1999，以景觀生態觀點探討蘆竹地區之農田景觀結構，私立中國文化大學地理研究報告 12：107-129。
46. 林裕彬、曾正輝、鄧東波，2002，景觀生態指數於集水區整體景觀時空間型態變遷

- 探討，農業工程學報 48 (1): 64-81。
47. 林裕彬、鄧東波、吳振發，2001，景觀生態計量方法於農業景觀生態系統之空間結構探討，農業工程學報 47 (2): 74-91。
  48. 林裕彬、鄧東波、鄭瑞鈞，2000，以嵌塊體形狀指數與統計方法於埤塘景觀變遷之研究，私立中國文化大學地理研究報告 13: 95-125。
  49. 林遠航，2002，多目標決策理論在土地利用規劃應用之研究—以桃園縣發展成亞太空運中心為目標之個案研究，中國文化大學地學研究所博士論文。
  50. 邱顯立，2000，棲蘭山地區森林空間分布與變遷，國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
  51. 侯平君，2000，南仁山森林生態系長期生態研究，行政院農委會林業試驗所森林資源保育與經營研討會論文集：87-97。
  52. 侯錦雄，1992，山地村聚落景觀變遷之先趨研究—以泰安鄉錦水村泰雅族部落為例，東海學報 33: 1211-1230。
  53. 侯錦雄，1994，鄉村景觀變遷之研究—錦水村山地聚落景觀評估，東海學報 35: 59-76。
  54. 姜善鑫、于靜元，1993，嘉南平原洪患區的土地利用變遷之研究，國立臺灣大學理學院地理學系地理學報 16: 1-20。
  55. 姜聖華，2000，花蓮地區都市擴張行為之研究，國立東華大學自然資源管理研究所碩士論文。
  56. 施怡真，2002，台中市都市周邊重劃擴張與舊市區更新間關係之探討，逢甲大學土地管理研究所碩士論文。
  57. 施明元，1995，台中市土地利用空間發展之研究，逢甲大學土地管理研究所碩士論文。
  58. 施鴻志、周士雄，1996，都市計畫，建都文化事業有限公司。
  59. 柯俐安，2002，都市計畫區中土地使用分區變更與資源環境供給面關係之研究，逢甲大學土地管理研究所碩士論文。
  60. 徐美玲，2001，以土地利用距離變數推測宜蘭海岸防風林的變遷，地理學報 30: 71-87。
  61. 高宏軒，1998，都市複雜空間系統演化自我組織臨界性之探索—有限理性典範的應用，中興大學都市計畫研究所碩士論文。
  62. 高宏軒、賴世剛，1998，以有限理性典範探討都市空間複雜結構中的演化過程，人與地 174: 27-36。
  63. 高傳棋，1996，蘆洲百年來土地利用變遷與其都市化過程之研究-1-，臺北縣立文化中心季刊 50: 19-26。
  64. 高傳棋，1997，蘆洲百年來土地利用變遷與其都市化過程之研究-2-，臺北縣立文化中心季刊 51: 64-71。
  65. 高傳棋，1997，蘆洲百年來土地利用變遷與其都市化過程之研究-3-，臺北縣立文化中心季刊 52: 71-76。
  66. 張右峻，1999，利用類神經網路探討土地利用型態與環境變遷之研究，逢甲大學土地管理研究所碩士論文。
  67. 張俊彥，2000，以塊區形狀進行公園綠地評估之應用研究，造園學報 6(1): 117-131。
  68. 許立達、鄭祈全，2000，應用馬可夫模式探討六龜生態系經營區之地景變遷，臺灣林業科學 15 (1): 41-49。
  69. 許立達、鄭祈全，2002，應用 GIS 及 Logit 模式分析六龜地區林地變遷，航測及遙測學刊 7 (2): 61-74。
  70. 許香儀，2002，以區位及社經環境觀點建構都市土地使用變遷模式之研究—以台中市重劃區為例，逢甲大學土地管理研究所碩士論文。

- 71 郭振民, 1998, 應用遙測與地理資訊系統於分佈型降雨-逕流模式之研究, 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。
- 72 陳文福, 1995, 以 Landsat-TM 及 SPOT 衛星影像監測高山地區土地利用變遷之研究, 中華水土保持學報 26 (3): 183-196。
- 73 陳文福、廖信誠, 1996, 都市邊緣地區土地利用變遷之逕流特性研究—以景美溪集水區為例, 中華水土保持學報 27 (4): 311-324。
- 74 陳文福、戴梓卿, 1997, 應用迴歸法於都市邊緣山坡地土地利用變遷之偵測—以臺北市南港區山坡地為例, 水土保持學報 29 (4): 337-366。
- 75 陳正華, 2001, 南仁山生態保護區地景變遷之研究, 國立屏東科技大學森林學研究所碩士論文。
- 76 陳永寬、吳守從, 2001, 應用馬可夫鏈模式預測南仁山生態保護區地景變遷, 國立臺灣大學農學院實驗林研究報告 15 (4): 317-328。
- 77 陳孟威, 2002, 類神經網路應用於石門水庫集水區暴雨產砂量推估之研究, 國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 78 陳俊欽, 1992, 瀕臨消失的人類生態樂土—蘭嶼文化與自然景觀變遷的省思, 造園季刊 11: 42-47。
- 79 陳宥任, 2000, 都市土地使用與運輸網路動態關係—以細胞自動體 (Cellular Automata) 為基礎之探索, 國立台北大學都市計畫研究所碩士論文。
- 80 陳建元, 1996, 資訊收集對單維細胞自動體中模仿行為的影響: 以囚犯困境空間模式為基礎的電腦模擬, 國立中興大學都市計畫研究所碩士論文。
- 81 陳美心, 1998, 土地利用變遷對水源涵養效益之影響—以大埔水庫集水區為例, 逢甲大學土地管理學系碩士論文。
- 82 陳美潔, 2002, 房地產神話中的老人安養魔境—以天母地景變遷為例, 國立臺灣大學建築與城鄉研究所碩士論文。
- 83 陳惠滿, 1998, 北投聚落景觀變遷的研究—人文生態觀點之探討, 國立師範大學地理學系碩士論文。
- 84 陳朝圳, 1997, 全球變遷: 南仁山森林生態系長期生態研究—生態資料庫管理系統之建立, 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告。
- 85 陳朝圳、吳守從、鍾家正, 1996, 地理資訊系統應用於南化水庫集水區土地利用變遷之研究, 國立中興大學實驗林研究彙刊 18 (2): 98-112。
- 86 陳朝圳、陳正華、吳守從, 2001a, 衛星影像應用於森林生態系之地景變遷研究, 國立屏東科技大學森林學報, 39: 62-75。
- 87 陳朝圳、陳正華、吳守從, 2001b, 人為干擾對南仁山生態保護區地景之影響, 林業研究 23 (2): 25-34。
- 88 陳憲欽, 2001, 以 GIS 輔助都市計畫之規劃, 朝陽大學營建工程系碩士在職專班碩士論文。
- 89 陳繼藩, 1992, 統計檢定法於土覆蓋/土地利用變遷之應用, 航空測量及遙感探測 23: 59-65。
- 90 曾昭恩, 2002, 台中市都市生態系統空間結構分析之研究, 朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士論文。
- 91 曾柏園, 1988, 多重衛星遙測影像在土地利用變遷調查中運用研究, 國立台灣大學地理研究所碩士論文。
- 92 華梅英, 2000, GIS 應用於汐止地區人口變遷之研究, 東南學報 23: 175-188。
- 93 馮豐隆 黃志成, 1997, 惠蓀林場土地利用之地景排列和變遷, 中華林學季刊 30(4): 387-400。

- 94 馮豐隆、黃志成、陳英彥，1993，地理資訊系統應用於惠蓀實驗林場土地利用變遷之研究，遙感探測 19：71-95。
- 95 黃至成，1997，森林地景監測之研究 以惠蓀林場為例，國立中興大學森林學系研究所博士論文。
- 96 黃書禮、蔡靜如，2000，臺北盆地土地利用變遷趨勢之研究，都市與計劃 27 (1)：1-23。
- 97 黃凱易，2002，九九峰自然保留區地覆變遷之監測與分析，林業研究 24(3)：35-47。
- 98 黃德銘，2001，新中橫公路陳有蘭溪流域土地利用變遷與社經發展之研究，國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。
- 99 楊沛儒，2001，地景生態城市規劃—基隆河流域 1980~2000 的都市發展、地景變遷及水文效應，國立台灣大學建築與城鄉研究所碩士論文。
- 100 詹仕堅，2003，使用類神經網路在洪水推估之研究 - 以集水區地文特徵為基礎，國立臺灣大學地理環境資源學研究所博士論文。
- 101 詹振雄，2000，以碎形幾何理論模擬與分析都市成長模式之研究，國立成功大學建築學研究所碩士論文。
- 102 詹喬嵐，2000，集水區土地利用變遷對地表逕流之影響，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
- 103 賈立人，1994，林口臺地景觀變遷之研究，臺北師院學報 7：327-377。
- 104 鄒國信，2001，台北都會郊區土地利用變遷研究—以樹林市為例，中國文化大學地學研究所碩士論文。
- 105 廖亞禎，2002，校園土地利用之地景變遷—以中興大學台中校區為例，國立中興大學園藝學系研究所碩士論文。
- 106 廖信誠，1996，都市邊緣地區土地利用變遷與逕流特性關係之研究，國立中興大學水土保持學類研究所碩士論文。
- 107 趙偉村，1997，南仁山亞熱帶雨林永久樣區樹種分佈類型之研究。國立台灣大學植物研究所碩士論文。
- 108 趙國容，2001，南仁山低地與林木本植物社會之短期動態，國立台灣大學植物學研究所碩士論文。
- 109 劉一新 (譯)，1999，森林地景分析及設計，行政院農業委員會林業試驗所。
- 110 劉棠瑞、劉儒淵，1977，恆春半島南仁山區植群生態與植物區系之研究，台灣省立博物館科學年刊 30：151-178。
- 111 劉棠瑞、蘇鴻傑，1997，森林植物生態學，台灣商務印書館股份有限公司。
- 112 劉儒淵、曾家琳、賴明洲，2001，溪頭地區地景結構對細蝶族群在嵌塊體中分佈之影響，國立臺灣大學農學院實驗林研究報告，15 (3)：177-189。
- 113 劉耀文，2001，以景觀生態探討官田水雉棲地之保育，國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文。
- 114 蔡宗佑，1998，鳳山溪上游集水區土地利用變遷之研究，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 115 蔡宗穎，2000，水產養殖土地利用變遷之多變量預測模式建立—以屏東縣水產養殖用地為例，國立臺灣大學地理學研究所碩士論文。
- 116 蔡宜鴻，1999，以 GIS 及 CA 為基礎的土地使用發展預測模擬方法，國立成功大學都市計畫研究所碩士論文。
- 117 蔡博文、張長義、丁志堅，1997，地理資訊系統與空間分析功能—雲林沿海地區土地利用變遷分析，國立臺灣大學理學院地理學系地理學報 23：1-11。

- 118 蔡博文、張長義、張康聰，2001，蘭陽平原養殖土地利用變遷分析，中國地理學會會刊 29：93-101。
- 119 蔡博文等，2001，運用空間自相關分析於養殖土地利用變遷研究，地理學報 29：121-129。
- 120 蔡靜如，1997，台北盆地土地利用變遷趨勢之研究，國立中興大學都市計劃研究所碩士論文。
- 121 鄭祈全，1999，森林地景變遷之監測研究，臺灣林業科學 14 (4)：493-507。
- 122 鄭祈全、許立達、賴玉菁，2001，應用地理資訊系統監測森林地景變遷之研究，臺灣林業科學 16 (1)：1-9。
- 123 鄭祈全、詹進發、許立達，1999，應用碎形維度監測森林地景結構與變遷之研究，臺灣林業科學 14 (4)：397-407。
- 124 鄭英美，2001，應用系統動態方法探討土地資源利用之研究 - 以淡水河流域及蘭溪流域為例，國立台北大學資源管理研究所碩士論文。
- 125 鄭鈞騰，2001，南仁山低地雨林二氧化碳濃度的動態變化及對臨床幼苗光合作用的影響，國立屏東科技大學森林系碩士論文。
- 126 鄧東波，2001，從景觀生態學觀點探討都市綠地 以台北市信義計畫區為例，中國文化大學地學研究所碩士論文。
- 127 鄧國信，2001，台北都會郊區土地利用變遷研究—以樹林市為例，中國文化大學地學研究所碩士論文。
- 128 鄧國禎，2001，鯉魚潭水庫集水區地景變遷之研究，國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 129 賴進貴，2000，細胞自動理理論與地理資訊系統結合之初探研究，中國地理學會會刊 28：109-126。
- 130 賴進貴，2002，學術時髦或創新？—細胞自動機本質之探討，2002 中華地理資訊學會年會暨學術研討會光碟片：共 11 頁。
- 131 賴進貴、王韋立、紀明德，2000，細胞自動理理論的空間演化模擬研究，地理資訊學會 2000 年年會暨學術研討會論文集。
- 132 戴梓卿，1997，建立山坡地土地利用變遷監測系統之研究，國立中興大學水土保持學類碩士論文。
- 133 薛怡珍、李國忠、邱祈榮、賴明洲，2002，台大實驗林森林地景動態監測—以和社地區為例，生態系經營—永久樣區理論與實務探討研討會論文集：85-96。
- 134 謝怡昇，2001，數值航攝影像應用於土地利用強度之研究，國立政治大學地政學系碩士論文。
- 135 謝長富、孫義方、謝宗欣、王國雄，1991，墾丁國家公園亞熱帶雨林永久樣區之調查研究，墾丁國家公園保育研究報告第 76 號。
- 136 謝長富、陳尊賢、孫義方、謝宗欣、鄭育斌、王國雄、蘇夢淮、江斐瑜，1992，墾丁國家公園亞熱帶雨林永久樣區之調查研究，墾丁國家公園管理處保育研究報告第 85 號。
- 137 謝桂禎，2002，南仁山森林生態系的特色，屏東科技大學熱帶農業研究所碩士論文。
- 138 簡大為，2001，應用 HEC-1 模式、類神經網路與迴歸分析推估逕流量之研究，中華大學土木工程學系碩士班碩士論文。
- 139 簡炯欣，1999，關刀溪長期生態試驗地之地景格局代表性分析，特有生物研究 4(1)：75-85。
- 140 羅家強，1987，航照判釋應用於桃園市土地利用變遷之研究 - 台灣都市化地區個案研究，中國文化大學地學研究所碩士論文。

- 141 羅悅心, 1999, 氣候變遷對台灣中部山區植物群系影響之模擬研究, 國立台灣大學森林學研究所碩士論文。
- 142 嚴科偉, 2002, 大規模自然擾動對景觀空間結構影響之探討, 國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所碩士論文。
- 143 蘇泰霖, 1992, 由景觀生態學觀點探討坡地遊憩區遊憩活動區位適宜之研究, 逢甲大學建築及都市設計研究所碩士論文。
- 144 Antrop M., 1998, Landscape change: Plan or Chaos? *Landscape and Urban Planning* 41:155-161
- 145 Batty, M., Couclelis, H. and Eichen, M., 1997, Urban systems as cellular automata, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2):159-305
- 146 Berger, T., 2001, Agent-based spatial models applied to agriculture: A simulation tool for technology diffusion, resource use changes and policy analysis, *Agricultural Economics*, 25(2-3):245-260
- 147 Burrough, P.A., 2001, GIS and Geostatistics: Essential partners for spatial analysis, *Environmental and Ecological Statistics*, 8(4):361-377
- 148 Clarke, K. C., Gaydos, L. J. and Hoppen, S., 1997, A self-modifying Cellular Automaton Model of Historical Urbanization in the San Francisco Bay Area, *Environment and Planning b*, 24,247-261
- 149 Clements, F. E., 1916, Plant succession: analysis of the development of vegetation. *Publ. Carnegie Inst., Wash.* 242:1-512
- 150 Couclelis, H., 1988, Of mice and men: what rodent populations can teach us about complex spatial dynamics, *Environment and Planning A*, 20:99-109
- 151 Couclelis, H., 1991, Requirements for planning-relevant GIS: a spatial perspective, *Papers in Regional Science*, 70.9-19
- 152 Couclelis, H., 1997, From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24:165-174
- 153 Delorme, M and Mazoyer, J., 1999, Cellular automata: a parallel model,
- 154 Firebaugh, W.M., 1988, *Artificial Intelligence*, Boyd and Fraser: Boston, p.740
- 155 Forman, R. T. T. and Godron, M., 1986, *Landscape Ecology*, John Wiley and Sons, New York
- 156 Graham, S. A., 1955, An ecological classification of vegetation type. *Mich. For. Note* 11.2
- 157 Gaylord, R. J., 1996, Kazume Nishidate, *Modeling nature:/cellular automata simulations with Mathematica, ???*
- 158 Li, X.and Yeh, A.G.O., 2001, Zoning land for agricultural protection by the integration of remote sensing, GIS, and cellular automata, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(4):471-477
- 159 Ligtenberg, A., Bregt, A.K.and van Lammeren, R., 2001, Multi-actor-based land use modeling: Spatial planning using agents, *Landscape and Urban Planning*, 56(1-2):21-33
- 160 Manneville, P., 1989, Cellular automata and modeling of complex physical systems:proceedings of the winter school, Les Houches, France, 21(49):67-81.
- 161 Marcucci, D. J., 2000, Landscape history as a planning tool, *Landscape and Urban Planning*
- 162 Pullar, C., 2001, MapScript: A map algebra programming language incorporating neighborhood analysis, *GeoInformatica*, 5(2):145-163
- 163 Shi, W. and Pang, M.Y.C., 2000, Development of Voronoi-based cellular automata - an integrated dynamic model for geographical information systems, *International Journal of Geographical Information Science*, 14(5):455-474
- 164 Stocks, C.E. and Wise, S., 2000, The role of GIS in environmental modeling, *Geographical and Environmental Modelling*, 4(2):219-235
- 165 Takeyama, M. and Couclelis, H., 1997, Map dynamics: integrating cellular automata and

- GIS through geo algebra, *International Journal of Geographical Information Science*, 11(1):73-91
- 166 Tobler, W., 1979, Cellular geography, in: Gale S. and Olsson G. (eds.) *Philosophy in Geography*, 379-386
- 167 Turner, M.G., 1987, Spatial simulation landscape changes in Georgia: a comparison of 3 transition models. *Landscape Ecology* 1(1):29-36
- 168 von Neumann, J., 1966, Theory of self-reproducing automata, in A.X. Burks(ed.) 1949 Univ. of Illinois on the Theory and Organization of Complicated Automata
- 169 White, R. and Engelen, G., 1993, Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modeling, *Environment and planning B: Planning and design*, 24: 235-246.
- 170 White, R., Engelen, G. and Ujce, I., 1997, The use of constrained cellular automata for high-resolution modeling of urban land use dynamics, *Environment and Planning B*, 24: 323-343
- 171 Wu, F., 1998, SimLand: a prototype to simulate land conversion through the integrated GIS and CA with AHP-derived transition rules, *International Journal of Geographical Information Science*, 12(1):63-82
- 172 Wu, F. and Webster, C.J., 1998, Simulation of land development through the integration of cellular automata and multicriteria evaluation, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 25:103-126
- 173 Wu, F. and Webster, C.J., 1999a, Regulation, land-use mix, and urban performance. Part 1: Theory, *Environment and Planning A*, 31(8):1433-1442
- 174 Wu, F. and Webster, C.J., 1999b, Regulation, land-use mix, and urban performance. Part 2: Simulation, *Environment and Planning A*, 31(9):1529-1545
- 175 Wu, F. and Webster, C.J., 2000, Simulation artificial cities in a GIS environment: Urban Growth under alternative regulation regimes, *International Journal of Geographical Information Science*, 14(7):625-648

## 二、網頁資料

1. 長期生態研究網站 a：南仁山試驗地圖籍資料庫研究區地理位置圖  
[http://lter.npust.edu.tw/tern/c\\_chinese/c\\_research\\_resource/gis\\_database/nanjenshan/large\\_scale/geolocation.html](http://lter.npust.edu.tw/tern/c_chinese/c_research_resource/gis_database/nanjenshan/large_scale/geolocation.html)
2. 長期生態研究網站 b：南仁山試驗地圖籍資料庫 1976 年土地利用類型分佈圖  
[http://lter.npust.edu.tw/tern/c\\_chinese/c\\_research\\_resource/gis\\_database/nanjenshan/small\\_scale/保護區\\_1976\\_土地利用型.jpg](http://lter.npust.edu.tw/tern/c_chinese/c_research_resource/gis_database/nanjenshan/small_scale/保護區_1976_土地利用型.jpg)
3. 長期生態研究網站 c：南仁山試驗地圖籍資料庫 1989 年土地利用類型分佈圖  
[http://lter.npust.edu.tw/tern/c\\_chinese/c\\_research\\_resource/gis\\_database/nanjenshan/small\\_scale/保護區\\_1989\\_土地利用型.jpg](http://lter.npust.edu.tw/tern/c_chinese/c_research_resource/gis_database/nanjenshan/small_scale/保護區_1989_土地利用型.jpg)
4. 長期生態研究網站 b：南仁山試驗地圖籍資料庫 1997 年土地利用類型分佈圖  
[http://lter.npust.edu.tw/tern/c\\_chinese/c\\_research\\_resource/gis\\_database/nanjenshan/small\\_scale/保護區\\_1997\\_土地利用型.jpg](http://lter.npust.edu.tw/tern/c_chinese/c_research_resource/gis_database/nanjenshan/small_scale/保護區_1997_土地利用型.jpg)
5. 長期生態研究網站 e：南仁山試驗地圖籍資料庫坡向分析圖  
<http://lter.npust.edu.tw/tern/nanjenshan/jpg/坡向.jpg>
6. 長期生態研究網站 f：南仁山試驗地圖籍資料庫數位高程圖  
<http://lter.npust.edu.tw/tern/nanjenshan/jpg/數位高程.jpg>
7. 全國博碩士論文摘要檢索系統  
<http://datas.ncl.edu.tw/cgi-bin/theabs/1/flyweb.cgi?o=dcdm>