



東海大學

環境科學與工程學系

碩士論文

以馬可夫細胞自動機模擬都市變遷對環境的衝擊-以台中市為例

**Using CA-MARKOV Model to Simulate Urban Changes on
Environmental Impacts**

研究生：賴啟宇

指導教授：陳鶴文博士

陳維燁博士

中華民國 104 年 07 月

東海大學碩士班研究生
論文指導教授推薦書

環境科學與工程學系賴啟宇君所提之論文

題目：以馬可夫細胞自動機模擬都市變遷對環境的衝擊-以台中市
為例

Using CA-MARKOV Model to Simulate Urban Changes on
Environmental Impacts

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授：

陳懿文
陳昭輝

(簽章)

104年 9 月 15 日

東海大學環境科學系碩士班

論文口試委員審定書

環境科學與工程學系碩士班賴啟宇君所提之論文

題目：以馬可夫細胞自動機模擬都市變遷對環境的衝擊-以台中市為例

Using CA-MARKOV Model to Simulate Urban Changes on Environmental Impacts

經本委員會審議，認為符合碩士資格標準。

論文口試委員召集人 張嘉玲 (簽章)

委員 王毓麟

葉任宗

陳懿文

陳維輝

中華民國 104 年 7 月 28 日

致謝

在東海大學的兩年研究所生活中，謝謝陳鶴文與陳維燁兩位老師對我的指導，兩位老師常跟我說：研究生與大學生最大的不同，是需要自己提出問題來與老師討論，給予我自由學習的環境，並接觸到許多專業軟體，如 ArcGIS 與 ERDAS，讓我學到一技之長，真的非常感謝兩位老師。

另外要感謝張嘉玲老師、葉佳宗老師與王毓麒博士願意擔任我的口試委員，並針對研究上提出許多建議，給了我許多的幫助。

研究生的生活中，最常相處的就是研究室的學長姐、學弟妹們，非常感謝培軒在我碩一時，教我 ArcGIS，每當遇到問題時，都會幫我解決；也非常感謝柏均在課外活動上（英雄聯盟）給了我很大的幫助。最後謝謝瑋倫，這位從大學時就是我的室友，在英文翻譯上給了很大的幫忙，也謝謝你願意在我論文口試前，讓我去你家打擾，並幫我修改論文初稿。非常感謝研究室的同學們，謝謝你們包容我，也祝福還未畢業的，努力做研究，趕快畢業。

中文摘要

隨著全球變化議題的探討，人們逐漸意識到土地利用狀態與地表覆蓋是全球環境變化的主要因素，土地利用變遷常是為了滿足人類生活所產生，其是由政治、社會、經濟、環境與文化等多方面因素下交互作用的結果。為了瞭解在土地利用變遷下，對環境所造成的衝擊，本研究以馬可夫細胞自動機模型建立台中市土地利用變遷模式，利用馬可夫在時間處理上的優點與細胞自動機在空間上的優勢，並搭配土地適宜性與隨機變量模擬台中市 2017 年土地利用情形。

研究成果顯示台中市在 1995 至 2006 年間綜合動態數值為 9.68%，可見整體土地利用變化程度高，其中農業用地減少速度最快，工業用地增加速度最快。在模擬 2006 年土地利用類型的精確度評估上，Kappa 值為 0.64，屬於高度的吻合度，表示模型能有效預測。接著利用 2006 年土地利用成果圖當基準年模擬 2017 年，並由景觀格局分析可以得到台中市農業用地因都市擴張，正面臨破碎化；另外，在地表逕流量推估中，可以發現在筏子溪周圍為淹水可能發生之區域，需針對該區域建置雨水下水道系統、並規劃滯洪空間、利用大樓屋頂設立雨水貯集系統與綠屋頂概念、並將道路覆以多孔性材質將能有效降低地表逕流量，進而降低淹水發生的機率。

關鍵字：細胞自動機、馬可夫鏈、土地變遷、土地適宜性、景觀指數

Abstract

There are more and more people to discuss the change of global environment. They come to realize that the status of land use and the area of land cover were the most factors to affect this issue. In order to figure out the environment's influence caused by the change of land use. We built the Land Use Change model by using CA-MARKOV. The advantage of MARKOV is processing time variable, and the CA is good at processing spatial variables. By the way, we combine these 2 models to simulate the 2017's land use in Taichung city, Taiwan.

The study shows that the dynamic degree is 9.68% in 1995-2006. According to the results, the change of overall land use is high. The agricultural land is the fastest decrease; however, the fastest increasing is industrial land. First, in the accuracy assessment, the Kappa value is 0.64. It means that it can predict effective. Second, the agricultural land is fragmentation. Third, the flooded are may occur around the Fa-Tzu river. However, we suggest that it need to build the storm water sewer system, plan detention space and build the green roofs and so on. It may reduce the chances of flooding occurring.

Key Words : Cellular Automata, Markov, Land use change, Suitability, Landscape Metrics

總目錄

致謝.....	I
摘要.....	II
ABSTRACT.....	III
總目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
第 1 章 緒論.....	1
1.1 研究緣起.....	1
1.2 研究目的.....	1
第 2 章 文獻回顧.....	2
2.1 土地變遷模型介紹.....	2
2.1.1 CLUE 模型.....	2
2.1.2 GTR 模型.....	2
2.1.3 GEOMOD 模型.....	3
2.1.4 IMAGE 模型.....	3
2.1.5 What if? 模型.....	3
2.1.6 SLEUTH 模型.....	4
2.1.7 馬可夫細胞自動機模型.....	4
2.2 國內外馬可夫細胞自動機研究現狀.....	5
2.3 景觀格局.....	10
2.3.1 景觀指數應用.....	12
第 3 章 研究方法.....	17
3.1 研究架構.....	17
3.2 研究背景.....	19
3.3 資料蒐集.....	20
3.3.1 土地利用類別重分類.....	20
3.3.2 蒐集影響因子.....	24
3.4 研究工具.....	24
3.4.1 ArcGIS 10.3.....	24
3.4.2 FRAGSTATS 4.2.....	24
3.4.3 SPSS 18.0.....	25
3.4.4 MATLAB R2015a.....	25
3.5 研究方法.....	26
3.5.1 細胞自動機.....	26
3.5.2 馬可夫鏈.....	28

3.5.3	馬可夫細胞自動機.....	30
3.5.4	模型因子建立.....	33
3.5.5	土地利用動態度分析.....	36
3.5.6	二元邏輯回歸分析.....	36
3.5.7	精確度評估.....	38
3.5.8	景觀指數.....	40
3.5.9	集水區.....	43
3.5.10	地表逕流量.....	44
第 4 章	結果與討論.....	46
4.1	土地利用變遷分析.....	46
4.2	土地適宜性分析.....	49
4.2.1	土地變遷因子建立.....	49
4.2.2	因子共線性診斷.....	61
4.2.3	二元邏輯迴歸分析.....	64
4.3	土地利用變遷模擬.....	74
4.3.1	土地變遷模型參數設定.....	74
4.3.2	土地利用變遷模擬結果.....	79
4.4	景觀格局分析.....	83
4.4.1	1995 至 2006 年間景觀格局分析.....	83
4.4.2	2006 至 2017 年間景觀格局分析.....	85
4.5	環境衝擊分析.....	89
4.5.1	建立集水區.....	89
4.5.2	暴雨頻率 2 年降雨延時 30 分鐘.....	91
4.5.3	暴雨頻率 3 年降雨延時 30 分鐘.....	91
4.5.4	暴雨頻率 5 年降雨延時 30 分鐘.....	92
4.5.5	淹水潛勢區改善方案.....	96
第 5 章	結論與建議.....	97
5.1	結論.....	97
5.2	建議.....	97

圖目錄

圖 2-1 WHAT IF ?模型架構圖	3
圖 2-2 景觀指數層級概念圖	11
圖 3-1 研究流程圖	18
圖 3-2 研究背景圖	19
圖 3-3 研究樣區內土地利用重分類示意圖 (a) 1995 年 (b) 2006 年	23
圖 3-4 形狀由左至右分別是三角形、正方形、六角形	27
圖 3-5 由左至右分別是 Von Neumann 型半徑為 0、1、2.....	27
圖 3-6 由左至右分別是 Moore 型半徑為 0、1、2.....	27
圖 3-7 坡向方位圖	33
圖 3-8 坡度坡向計算參考圖	33
圖 3-9 坡度計算示意圖	34
圖 3-10 空間距離變量計算示意圖	35
圖 3-11 集水區計算示意圖 (a) 高程數值 (b) 流向計算結果 (c) 流向編號 (d) 匯流點..	43
圖 4-1 1995 年土地變遷影響因子 (a) 與最近公園的距離 (b) 與最近居民點的距離 (c) 與最近批發零售的距離 (d) 與最近河川的距離.....	52
圖 4-2 1995 年土地變遷影響因子 (a) 與最近政府機關的距離 (b) 與最近學校的距離 (c) 與最近主要道路的距離 (d) 與最近火車站的距離.....	53
圖 4-3 1995 年土地變遷影響因子 (a) 與最近交流道的距離 (b) 與最近商港的距離 (c) 與市中心的距離 (d) 高程.....	54
圖 4-4 2006 年土地變遷影響因子 (a) 與最近公園的距離 (b) 與最近居民點的距離 (c) 與最近批發零售的距離 (d) 與最近河川的距離.....	55
圖 4-5 2006 年土地變遷影響因子 (a) 與最近政府機關的距離 (b) 與最近學校的距離 (c) 與最近主要道路的距離 (d) 與最近火車站的距離.....	56
圖 4-6 2006 年土地變遷影響因子 (a) 與最近交流道的距離 (b) 與最近商港的距離 (c) 與市中心的距離 (d) 高程.....	57
圖 4-7 土地變遷影響因子 (a) 工業區 (b) 坡向平 (c) 坡向東北 (d) 坡向東.....	58
圖 4-8 土地變遷影響因子 (a) 坡向東南 (b) 坡向南 (c) 坡向西南 (d) 坡向西.....	59
圖 4-9 土地變遷影響因子 (a) 坡向西北 (b) 坡向北	60
圖 4-10 1995 年土地適宜性分析 (a) 農業用地 (b) 森林用地 (c) 民生用地 (d) 工業用地	70
圖 4-11 1995 年土地適宜性分析 (a) 工業區 (b) 其他用地	71
圖 4-12 2006 年土地適宜性分析 (a) 農業用地 (b) 森林用地 (c) 民生用地 (d) 工業用地	72
圖 4-13 2006 年土地適宜性分析 (a) 工業區 (b) 其他用地	73
圖 4-14 模型迭代週期與 Kappa 係數關係圖	75

圖 4-15 2006 年之土地利用預測成果圖	80
圖 4-16 2017 年之土地利用預測成果圖	82
圖 4-17 集水區示意圖	90
圖 4-18 2 年暴雨強度降雨延時 30 分(由左至右為 1995、2006、2017 年).....	93
圖 4-19 3 年暴雨強度降雨延時 30 分(由左至右為 1995、2006、2017 年)	94
圖 4-20 5 年暴雨強度降雨延時 30 分(由左至右為 1995、2006、2017 年).....	95



表目錄

表 2-1 國內 CA-MARKOV 相關研究統整.....	6
表 2-2 國外 CA-MARKOV 相關研究統整.....	7
表 2-3 景觀指數應用.....	14
表 3-1 土地利用類型分類表.....	21
表 3-2 景觀指數統整表.....	41
表 3-3 逕流係數統整表.....	44
表 3-4 台中市短延時降雨強度公式表.....	45
表 4-1、1995 與 2006 年土地利用類型變化情況.....	46
表 4-2 土地利用動態度分析.....	47
表 4-3 1995 至 2006 年土地轉移機率矩陣.....	48
表 4-4 土地變遷因子定義.....	50
表 4-5 1995 年因子共線性診斷.....	62
表 4-6 2006 年因子共線性診斷.....	63
表 4-7 1995 年二元邏輯迴歸係數統整表.....	68
表 4-8 2006 年二元邏輯迴歸係數統整表.....	69
表 4-9 情境一之土地變遷參數設定.....	75
表 4-10 情境一之土地變遷模型驗證表.....	76
表 4-11 情境二之土地變遷參數設定.....	77
表 4-12 情境二之土地變遷模型驗證表.....	78
表 4-13 景觀層級之景觀指數分析.....	87
表 4-14 類別層級之景觀指數分析.....	88

第1章 緒論

1.1 研究緣起

隨著全球環境變化議題的探討，人們逐漸意識到土地利用狀態與地表覆蓋是全球環境變化的主要因素（劉淳鈺，2012）。土地利用變遷常是為了滿足人類生活而產生的現象，是由政治、社會、經濟、環境與文化等因素交互作用下的結果，同時對環境造成最直接且嚴重的衝擊（Lambin et al., 2001; Weng, 2001; Hasse and Lathrop, 2003）。

土地利用變遷（Land Use Cover Change，簡稱LUCC）是一個非常複雜且非線性的空間系統（Verburg et al., 2002），各土地類型間結構複雜，需要從時間與空間的觀點探討與分析。土地利用變遷系統在轉變的過程中通常會顯露出隨機性、無序性、多樣性、差異性、不均勻性等複雜的特點，其過程並不是一種連續的過程，常會因為突發事件而發生突變的狀況。土地利用變遷模擬對於規劃管理與學術研究是重要的（Deng et al., 2008），使都市規劃者為市民提供必要的設施與服務（Li and Yeh, 2002）。土地利用變遷模式的運用能夠有效地了解影響土地變遷的速率與複雜的自然、社會、生物與經濟驅動力（林裕彬等人，2011）。

全球氣候變遷導致極端氣候現象發生頻繁，地球升溫使蒸發作用增強，大氣濕度改變、強降雨頻率增加，例如：暴雨造成全球颶風災害頻傳（中央研究院，2011）。由於都市化的現象導致地表不透水面積增加，使得洪峰延滯期縮短、洪峰流量增大，都市淹水頻率逐漸上升，探討都市土地利用類型對淹水的影響顯得日益重要。

1.2 研究目的

為了瞭解土地變化，擬定之研究目的如下：

1. 本研究利用馬可夫細胞自動機進行土地變遷的模擬，並將模擬結果轉為環境上的衝擊，藉此了解在土地變遷的過程中對於環境上破壞。
2. 利用景觀格局分析與地表逕流量分析研究樣區內各集水區情況，並針對環境衝擊較大之區域提出改善策略。

第2章 文獻回顧

2.1 土地變遷模型介紹

2.1.1 CLUE 模型

土地利用變化及其效應(Conversion of Land Use and its Effects, 簡稱 CLUE)是一套基於多尺度且動態的土地利用變化空間模型。該模型是基於國家層級而開發出來,應用於中美洲、厄瓜多、中國、爪哇與印尼(Verburg, 2010)。CLUE 模型主要由以下四種模組所組成:人口模組、需求模組、產量模組與空間分配模組(Verburg, 2000; Veldkamp, 1997)。人口模組利用歷史人口資料進行人口趨勢預測,並算出各地區各時間點之總人口、城市人口、農村勞動力人口、農業勞動力人口的增長率與人口結構變化;需求模組應用於計算國家農產品需求時主要考慮膳食結構變化、人口增長與進出口數量;產量模組以空間分析的方法計算產量水平的變化;空間分配模組受到人口、需求模組結果的影響,為模型中核心部分,該模組利用統計分析在不同土地利用狀態、自然生態環境條件與社會經濟相互影響的條件下,根據需求模組進行土地利用變化預測。

2.1.2 GTR 模型

GTR (Generalized Thunen-Ricardian) 模型為傳統杜能模型的擴展,將城市化作為土地變遷的主要驅動因子,與自然因素並列為該模型中主要的兩大因子,其中可分為 Thunen 與 Ricardian 兩大模組。Thunen 模組中城市中心人口數和城市與農村間的距離為主要因素;Ricardian 成分包含了當地自然條件(海拔高度和坡度)(Konagaya, 1999)。龍花樓等人(2001)利用 GTR 模型模擬長江沿線未來 30 年的土地利用變化,並提出相關應對策略,以達成土地利用持續性的願景。

2.1.3 GEOMOD 模型

GEOMOD 模型最初由馬里蘭大學 (University of Maryland) 和美國紐約州立大學 (State University of New York) 聯合開發，是一個基於地理的土地利用變化模擬模型(鄭燕鳳,2009)，經過不斷修改先後出現 GEOMOD1 和 GEOMOD2 模組。該模型假設所有的轉變都是由有意識的人類活動下所造成的，並假設這些人類活動及其造成的土地類型轉變遵循以下基本原則，及相鄰開發原則、最大功率原則、擴散原則與均數變化原則 (史培軍等人,2000)，主要用來預測以開發土地和未開發土地之間的變化。

2.1.4 IMAGE 模型

IMAGE 模型 (Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect) 是一個基於經濟環境模型為架構來模擬全球人類活動對環境的影響，該模型嘗試在農業需求、土地覆蓋變化、生物多樣性、水資源短缺、植被情形和溫室氣體建構一個全球變化模型。

2.1.5 What if?模型

WHAT IF?是美國 Klosterman 教授和 ESRI 公司聯合開發的可操作規劃支援軟體，是一個基於 GIS 的可操作規劃系統，以假設或政策為導向的模型，其考慮土地利用規劃的實施、公共基礎設施的階段性擴建計畫和開放空間保護計畫的建立等，透過對人口、就業密度等社會經濟資料和地形坡度、水體分布、植被覆蓋等自然環境資料，可預測未來人口規模、就業機會與密度分布等。其模型架構如圖 2-1 所示。

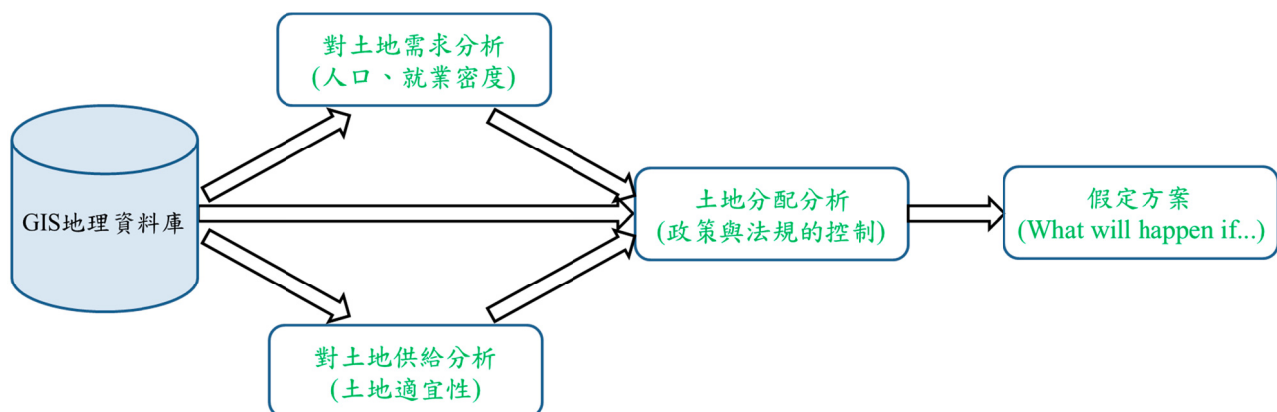


圖 2-1 WHAT IF?模型架構圖

2.1.6 SLEUTH 模型

SLEUTH 為 Slope、Land use、Exclusion、Urban、Transportation、Hillshade 的縮寫，其中都市模組是基於細胞自動機原理的都市土地變遷的模型(NCGIA，2003)

2.1.7 馬可夫細胞自動機模型

馬可夫細胞自動機模型 (Cellular Automata MARKOV Model，簡稱 CA-MARKOV Model) 結合馬可夫鏈時間與細胞自動機空間鄰域的優點，是一個至下而上的 (Bottom-up) 模型，強調從局部推演到整體，常用於土地利用變遷、自然變遷之研究 (林裕彬，2011)。由於馬可夫細胞自動機與地理資訊系統 (Geographic Information System，簡稱 GIS) 具有天然相性 (Natural affinity)，其計算單元與 GIS 網格格式 (Raster data) 相同，近年來越來越多學者以馬可夫細胞自動機為基礎，進行區域性土地變遷之研究。

2.2 國內外馬可夫細胞自動機研究現狀

本研究整理國內外相關研究，在國內馬可夫細胞自動機 (CA-MARKOV) 相關研究方面僅有少數研究，張正亮等人 (2006) 利用 CA-MARKOV 有效預測九九峰地區植生復育與地景變遷的情形。鄒克萬等人 (2014) 結合 CA-MARKOV 與空間多準則評估 (Multi-criterion Evaluation, 簡稱 MCE) 模擬極端洪水對土地利用型態的影響，並推估出淹水深度較高之區域，將逐漸轉為低人口密度使用。另外也有相關研究結合了景觀指數，從景觀角度分析土地破碎化程度，如吳佩玲等人 (2012) 利用 CA-MARKOV 預測埔里鎮景觀變化，並利用景觀指數分析出埔里鎮森林用地與農業用地受到破碎化。整理如表 2-1。

在國外則有較多相關研究的文獻，楊國清等人 (2007)、鄭燕鳳 (2009)、Xu *et al.* (2013)、魏永坤等人 (2014) 皆利用 CA-MARKOV 分析土地利用格局的變化，在土地變遷模型修正方面，劉縣明 (2007) 透過土地轉移矩陣，吳艷艷 (2009)、凌成星等人 (2012) 也透過對模型參數的修正與約束條件確定了空間變量的權重與土地轉移規則。在細胞自動機原理中，細胞大小與鄰域範圍會影響模型預測準確度，Wang *et al.* (2012) 提出細胞越小會提升模型準確度，但鄰域範圍影響不大。Sang *et al.* (2011) 透過分析得出都市發展的土地資源與人口增長會導致空間變化。劉淑燕等人 (2010)、李小龍等人 (2014) 指出在土地變遷的模擬中政策與地理條件是一個較難以掌握的因素。Mitsova *et al.* (2011) 則針對政策影響下對環境敏感區域的土地變遷研究，並利用景觀指數分析在綠建築政策下對城市嵌塊體的影響。肖明等人 (2012)、Arsanjani *et al.* (2013) 認為結合自然、社會經濟與距離因子對於土地變遷模型有良好預測。Subedi *et al.* (2013) 認為 CA-MARKOV 模型在都市用地、交通建設與農業用地有良好的預測結果。另外在模型限制上，鄭清華等人 (2010) 指出愈模擬的樣區中若自然條件不穩定，不適合做長期土地變遷之預測。詳細內容整理如表 2-2。

表 2-1 國內 CA-MARKOV 相關研究統整（本研究整理）

作者	時間	文獻名稱	研究內容
張正亮等人	2006	運用馬可夫鏈模型與細胞自動機理論模擬植生復育之研究：以九九峰地區為例	利用 CA-MARKOV 模擬九九峰地區土地變化情形，研究結果顯示能夠有效預測植生復育與地景變遷的過程。
吳佩玲等人	2012	結合馬可夫鍊與細胞自動機理論建構景觀變遷之模式：以台灣埔里鎮為例	利用 CA-MARKOV 模擬埔里鎮景觀變遷，模擬之 Kappa 值達到 0.8360，表示該模型能夠準確地預測土地變遷，並以景觀指數分析得到森林用地與農業用地受到破碎化。
鄒克萬等人	2014	以馬可夫鍊細胞自動機模型模擬極端洪水對都市土地利用型態之影響：以台北市為例	利用 CA-MARKOV 與空間多準則評估（MCE）模擬台北市極端洪水對土地利用型態的影響，研究結果顯示淹水深度較高的地區將逐漸作為低人口密度使用。

表 2-2 國外 CA-MARKOV 相關研究統整（本研究整理）

作者	時間	文獻名稱	研究內容
楊國清等人	2007	基於 CA-Markov 模型的土地利用格局變化研究	利用 CA-MARKOV 模擬廣州市土地利用格局的變化，並利用景觀特徵（嵌塊體數目、嵌塊體形狀指數、嵌塊體分維數、景觀多樣性指數）來探討土地破碎化的情形。
劉縣明	2007	CA-Markov 複合模型及其在城市土地利用中的應用研究	利用 CA-MARKOV 模型模擬江西省新建縣的城市用地的變化，透過修正模型係數來確定土地轉移矩陣。
吳艷艷	2009	Markov-CA 模型支持下的武漢市土地利用變化模擬與預測	利用 CA-MARKOV 模型模擬武漢市土地利用變化與預測，透過對模型參數的調正與修正，確定了空間變量的權重與土地轉移規則。
鄭燕鳳	2009	基於 GIS 的 CA_MARKOV 模型的土地利用變化研究	利用 CA-MARKOV 模型模擬招遠市土地利用變化，對土地利用現況、土地利用變化的影響因素進行分析，並對未來土地利用進行模擬。
鄭清華等人	2010	基於 CA-Markov 模型的伊犁河三角洲景觀格局預測	利用 CA-MARKOV 模型模擬伊黎河三角洲的景觀格局預測，由於該研究樣區中自然條件不穩定，故不適合做長期景觀格局知預測。
劉淑燕等人	2010	基於 CA-Markov 模型的黃土丘陵區土地利用變化	利用 CA-MARKOV 模型模擬黃土丘陵區的土地利用變化，研究指出坡耕地受到地理條件、政策措施等一系列因子影響較難以預測，其他土地類型間互相轉變的面積較小，屬於穩定的動態變化，故較容易預測。
Sang <i>et al.</i>	2011	Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model	利用 CA-MARKOV 模型模擬都市與村莊地區土地利用格局變化，結果顯示都市發展的土地

作者	時間	文獻名稱	研究內容
			資源與人口增長會導致空間變化。
Mitsova <i>et al.</i>	2011	A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation, Landscape and Urban Plannin	利用 CA-MARKOV 模型模擬俄亥俄州、印第安納州和肯塔基州在綠建築的政策上對環境敏感區域的土地利用變化，並利用景觀指數分析在綠建築政策下對城市嵌塊體的影響。
Wang <i>et al.</i>	2012	Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model	利用 CA-MARKOV 模型模擬北京昌平區土地利用變化，並探討不同細胞大小與鄰域範圍對模型預測的準確度，研究結果顯示細胞越小會提升模型準確度，但是鄰域範圍對模型準確度沒有明顯變化。
肖明等人	2012	基於 CA_Markov 模型的昌化江流域土地利用動態變化	利用 CA-MARKOV 模型模擬海南昌化江下游區域之土地利用動態變化，結合降雨、坡度與距離等因子對於模型有良好預測。
凌成星等人	2012	基於 CA-MARKOV 模型的北京濕地資源變化預測研究	利用 CA-MARKOV 模型模擬北京濕地資源變化與預測，透過確定模型參數、約束條件與轉換規則（包含溫度、濕度、降雨量與地形因素）進行預測，研究結果顯示濕地面積總量持續減少，符合濕地資源合理化與動態變化趨勢。
Arsanjani <i>et al.</i>	2013	Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion	利用 CA-MARKOV 模型並以自然與社會經濟因子來模擬伊朗德黑蘭在 2016 與 2026 都市擴張情況，預測結果 Kappa 值為 0.89，表示該模型能夠有效預測未來土地利用狀況。

作者	時間	文獻名稱	研究內容
Subedi <i>et al.</i>	2013	Application of a Hybrid Cellular Automaton – Markov (CA-Markov) Model in Land-Use Change Prediction: A Case Study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida	利用 CA-MARKOV 模型模擬佛羅里達州馬鞍溪流流域的土地利用變化，研究結果顯示在都市用地、交通建設與農業用地有良好的預測結果。
Xu <i>et al.</i>	2013	Evaluation of Spatiotemporal Dynamics of Simulated Land Use/Cover in China Using a Probabilistic Cellular Automata-Markov Model	利用 CA-MARKOV 模型模擬中國土地利用變化情形，研究結果顯示 Kappa 值皆在 0.8 以上表示該模型能夠準確地預測未來土地利用狀況。
魏永坤	2014	基於 IDRISI CA-Markov 模型的閔行區土地利用變化及預測	利用 CA-MARKOV 模型模擬閔行區土地利用變化，利用 Landsat TM 衛星影像進行土地利用格局辨識，並計算研究時間內各時期土地利用變化矩陣，探討土地利用變化幅度、速度與轉移方向，預測結果顯示閔行區土地時空變遷差異性大，實際上農業用地轉為非農業用地會因所處的都市化階段不同而有不同。
李小龍等人	2014	基於 CA-MARKOV 模型的土地利用變化預測研究-以新疆昌吉市為例	利用 CA-MARKOV 模型模擬新疆昌吉市土地利用變化，研究結果顯示昌吉市建設用地增加快速、建設用地占用耕地現象將持續下去，但隨著相關政策會使耕地在總量方面上緩慢增長不至於消失，發揮土地的經濟、生態、社會效益，實現綠洲土地利用的可持續性發展。

2.3 景觀格局

景觀由嵌塊體、基質、廊道所組成之異質性區域，對於將景觀結構數量化，或使景觀格局地表示更加客觀、直觀，成為重要的議題（趙羿等人，2001），可透過三種方式：(1)文字敘述、(2)圖表敘述、(3)景觀指數（Landscape metrics）（Huslshoff，1995）。

景觀格局通常是指空間格局（或稱景觀結構），指的是形狀、大小不同的景觀在空間上的分布與排列，是許多生態過程於各種不同尺度下使用的結果。常為人類活動、自然與生物間相互作用所產生的現象，其中以人類活動對自然景觀所造成的干擾成了目前景觀生態學研究中重點之一（楊家良，2009）。影響景觀格局的改變可分為「分割」、「碎裂」、「耗損」、「貫穿」與「縮減」等五種，景觀的嵌塊體數目會隨著「碎裂」與「分割」而增加，隨者「耗損」而減少。

景觀指數層級從小到大共可分為網格層級（Cell level）、嵌塊體層級（Patch level）、類別層級（Class level）與景觀層級（Landscape level），如圖 2-2 所示，但網格層級發展尚未成熟（吳振發等人，2011），本研究只介紹後三者：

1. 嵌塊體層級（Patch level）

嵌塊體亦稱為塊區、斑塊、綴塊，本研究統一稱為嵌塊體，指的是一塊均質類型且與周圍類型不同的區域。嵌塊體層級指數常用於計算特徵指數如：形狀、面積、最近鄰距離（Euclidean Nearest-Neighbor Distance，簡稱 ENN）等。嵌塊體層級較常作為類別層級與景觀層級的基礎，較少直接被應用，除了在生態棲地保育時，需要了解景觀中最優先保育的嵌塊體為何（蕭宇昂，2012）。

2. 類別層級 (Class level)

類別為嵌塊體得總和，將同一類型的嵌塊體加總進行景觀指數分析，常使用總面積、平均嵌塊體大小、聚集程度、邊界總長度 (Total Edge, 簡稱 TE)、邊界密度 (Edge Density, 簡稱 ED)。常用於解讀破碎化的指標，為較多都市規劃者注意與計算的重點。

3. 景觀層級 (Landscape level)

景觀層級為研究區域內所有嵌塊體的總和，是將嵌塊體的特徵加以量化，例如平均嵌塊體的大小、聚集程度、最大嵌塊體指數 (Largest Patch Index, 簡稱 LPI)。

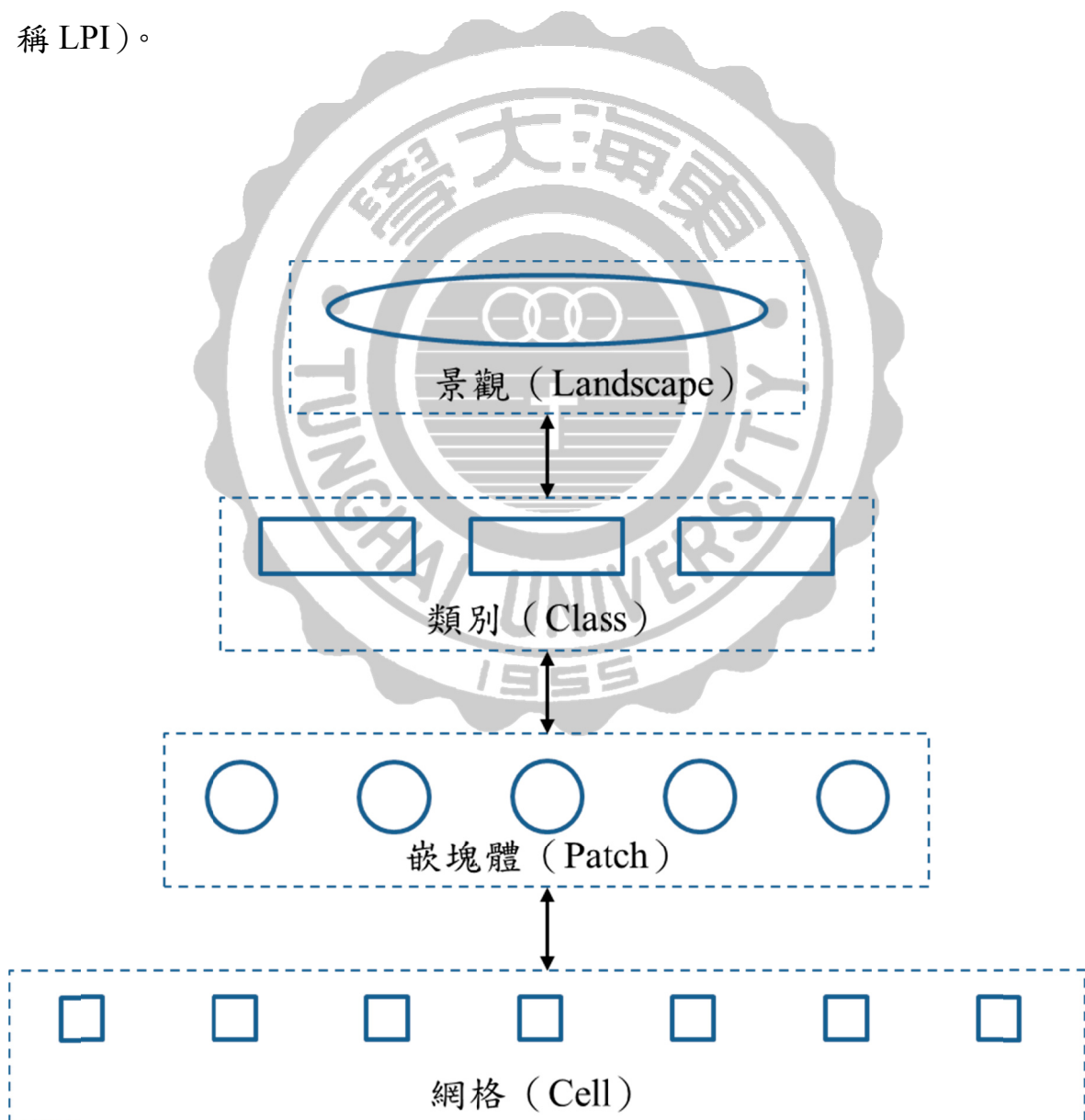


圖 2-2 景觀指數層級概念圖 (本研究重繪)

2.3.1 景觀指數應用

景觀指數是一種可以分析與解釋景觀結構的量化方法。景觀指數常應用探討人與景觀的關係，如林裕彬等人（2000）利用景觀指數解釋自然與人為對景觀形成之影響。另外有有多篇研究著重於景觀指數對森林、農業與生物的影響。在森林方面，鄭祈全等人（1999）利用碎形維度探討森林地景的變遷。在農業方面，黃慈愛（2003）、陳意昌（2004）與邱淑美（2005）利用景觀指數分析農業用地景觀格局之影響。在生物方面研究也相當多，許芳毓（2005）嘗試以景觀指數判斷都市植生破碎程度，並提出適當之綠化策略。黃偉銘等人（2006）使用景觀格局解釋鳥類族群之生物多樣性；林士強（2006）利用景觀指數分析墾丁國家公園景觀改變對其所造成之影響。陳坤鈺（2009）利用景觀指數配合影像變遷偵測，分析景觀變遷對環境的衝擊。董玟彥（2011）利用景觀指數探討銀合歡擴散對景觀變遷程度的影響。

景觀指數的應用往往伴隨著數學與統計模型，如鄭祈全等人（2001）利用景觀指數結合 logit 機率模式探討自然與人為因素對地景結構之影響。鄧東波（2001）利用景觀指數並結合地理統計量測綠地的空間結構，評估都市設計是否達到生態都市的理想。林志東（2004）、林裕彬等人（2004）以景觀指數分析土地利用類型之型態、特徵與空間結構變化，並進行定量分析。魏彤竹（2004）將地景結構量化並分析校園地景空間格局。

地理資訊系統在輔助景觀規劃時相當有利，使一般使用者能夠完整的認知地理空間狀況，鄭祈全（1999）利用景觀指數並結合地理資訊系統分析經營作業對森林地景的影響。方梅萍（2002）與廖亞禎（2003）利用景觀指數結合馬可夫鏈模式以地理資訊系統建立景觀格局資料，探討景觀格局變遷之空間分布。

蕭宇昂（2012）利用相關景觀指數與地理資訊系統，探討埔里景觀變遷情形。本研究將相關文獻與採用之景觀指數整理如表 2-3。本研究依照過去文獻整理出較常使用的有：嵌塊體數目（NP）、嵌塊體密度（PD）、最大嵌塊體指數（LPI）、邊界總長度（TE）、形狀指數（LSI）、平均嵌塊體大小（AREA_MN）、平均最近鄰指數（ENN_MN）等。



表 2-3 景觀指數應用

作者	時間	文獻名稱	景觀指數
鄭祈全	1999	森林地景變遷之監測研究	嵌塊體豐富度、Simpson 多樣性指數、Simpson 均勻度指數、多樣性指數、修正 Simpson 均勻度指數、Shannon 多樣性指數、散置和並排指數
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	碎形維度指數
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	嵌塊體面積、邊界總長度、嵌塊體形狀指數
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	嵌塊體數目、平均嵌塊體大小、最大嵌塊體指數、邊界總長度、平均嵌塊體形狀指數
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	平均嵌塊體大小、嵌塊體面積標準差、平均臨近距離、邊界總長度、邊界密度、平均形狀指數、面積加權平均形狀指數
方梅萍	2002	台中市景觀格局的變遷及其影響因素之研究	Shannon 多樣性指數、Shannon 均勻性指數、優勢度指數
黃慈愛	2003	農地休耕對鄉村農業地景變遷影響之研究-以台東縣關山地區為例	平均嵌塊體大小、嵌塊體密度、形狀指數、平均嵌塊體分維數、連接度
廖亞禎	2003	校園土地利用之地景變遷-以國立中興大學為例	嵌塊體數目、嵌塊體密度、形狀指數、碎形維度指數

陳意昌	2004	農地重劃地區土地利用與景觀變遷之研究	嵌塊體密度、平均嵌塊體大小、嵌塊體面積標準差、嵌塊體面積變異係數、最大嵌塊體指數、平均形狀、面積加權平均形狀指數、多樣性指數、分維數、均勻度
林志東	2004	花蓮北部平原地區土地利用分析	景觀面積百分比指數、最大嵌塊體指數、Shannon 多樣性指數、Shannon 均勻度指數、Simpson 多樣性指數、修正 Simpson 多樣性指數、Simpson 均勻度指數、修正 Simpson 均勻度指數、碎形維度指數、平均碎形維度、面積加權後平均碎形維度、聚集度指數、散佈性指數
作者	時間	文獻名稱	景觀指數
林裕彬 吳振發 鄧東波	2004	景觀生態面指數分析汐止地區 1990~2001 年土地利用時空鑲嵌特徵	嵌塊體數目、平均嵌塊體大小、嵌塊體面積標準差、嵌塊體面積變異係數、邊界總長度、邊界密度、平均嵌塊體形狀指數、平均鄰近距離、平均最鄰近距離、散置和並排指數
魏彤竹	2004	運用地景生態學原則在評估東華大學校園空間規劃-以環頸雉為例	嵌塊體數目、嵌塊體類型比例指數、最大嵌塊體指數、邊界密度、地景祥狀指數、分布均勻度指數
邱淑美	2005	農村路網系統對景觀生態格局衝擊分析與評估	嵌塊體密度、平均嵌塊體大小、平均嵌塊體分維數、多樣性指數、相對豐富度、破碎化
許芳毓	2005	都市植生破碎度與綠化策略之研究-以台南市為例	嵌塊體密度、平均嵌塊體大小、平均最鄰近距離、平均分維數
黃偉銘 歐聖榮 張俊彥	2006	以鳥類為指標物種評估台灣鄉村地區景觀生態研究尺度	面積、嵌塊體大小，邊界密度、形狀指數

林士強	2006	利用景觀生態指數分析墾丁國家公園土地利用變遷之研究	嵌塊體數目、平均嵌塊體大小、嵌塊體面積標準差、邊界總長度、邊界密度、平均嵌塊體形狀指數、面積權重平均碎形指數、地景相似性指標、平均最鄰近距離、平均臨近指數
陳坤鈺	2009	利用空間技術與景觀生態指標於清境地區景觀變遷之研究	嵌塊體數目、土地種類面積、嵌塊體密度、平均嵌塊體大小、最大嵌塊體指數、平均形狀指數、平均碎形維度指數、Shannon 多樣性指數、Simpson 多樣性指數、Simpson 均勻度指數、修正 Simpson 均勻度指數
董玟彥	2011	銀合歡擴散之景觀生態安全格局研究	土地種類面積、嵌塊體數目、嵌塊體密度、邊界總長度、邊界密度、平均嵌塊體大小、平均嵌塊體形狀指數、碎形維度指數、散置和並排指數、聚集度指數、多樣性指數、均勻度指數
蕭宇昂	2012	結合景觀指數與 CA-Markov 模型評估城鎮生態品質-以南投縣埔里鎮為例	景觀百分比、嵌塊體數量、平均嵌塊體大小、平均形狀指數、旋轉半徑指數、平均最鄰近指數

第3章 研究方法

3.1 研究架構

圖 3-1 為研究流程圖，首先依據研究動機與目的來建立研究範圍，進行模型前置步驟建立：

1. 蒐集 1995、2006 年土地利用成果數值檔，因土地利用成果數值檔的土地分類有所不同需進行重新分類，並網格化為 30m*30m 的網格式資料。
2. 蒐集 1995、2006 年土地變遷因子，並網格化為 30m*30m 的網格式資料，利用 SPSS 軟體進行邏輯回歸分析，建立一土地適宜性。
3. 蒐集 1995、2006 年政策，如工業區為政府之政策。
4. 建立細胞自動機鄰域範圍。
5. 引入隨機變量，提高土地變遷模型預測能力。

以上步驟建立完畢後，將 1995 年土地利用成果數值檔為起始年進行 CA-Markov 模擬 2006 年土地利用狀況，並以 Kappa 值來判斷模型準確度，當 Kappa 值大於標準值時，代表模型預測結果是可信的，最後，以 2006 年土地利用成果圖當作起始年，利用前述建立之土地變遷轉移機率矩陣當作門檻值，以 CA-Markov 模型模擬，預測 2017 年土地利用狀況。進行各時間點景觀格局分析，並搭配集水區的概念計算對各集水區中單位地表逕流量，最後提出改善策略。

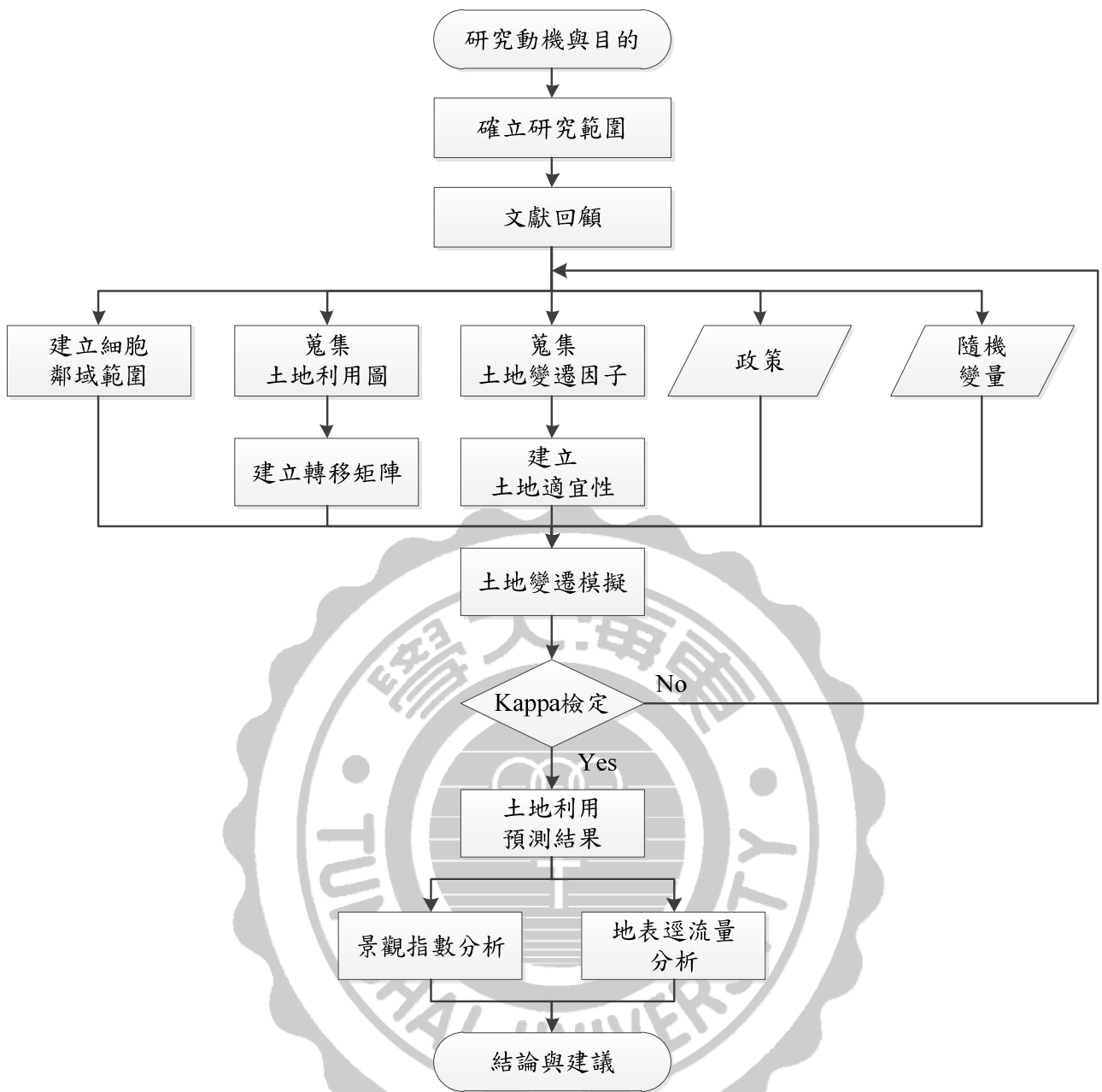


圖 3-1 研究流程圖

3.2 研究背景

本研究依照資料可取得性與研究目的選定台中市（東勢區、石岡區與新社區除外）作為研究範圍如圖 3-2 所示。台中市位於台灣中部，北與苗栗縣接壤、南臨彰化縣、南投縣，面積約為 2215 平方公里；目前設籍人口數約為 273 萬人（台中市政府民政局）；在氣候條件方面，屬於副、亞熱帶氣候，氣溫年平均為 23.3 度、雨量年平均為 1773mm；主要河川有大安溪、大甲溪、烏溪與筏子溪；在工業條件方面有幼獅工業區、台中港加工出口區、台中工業區、關連工業區、中部科學園區、潭子加工出口區、太平工業區、大里工業區；在電力方面有台中發電廠。

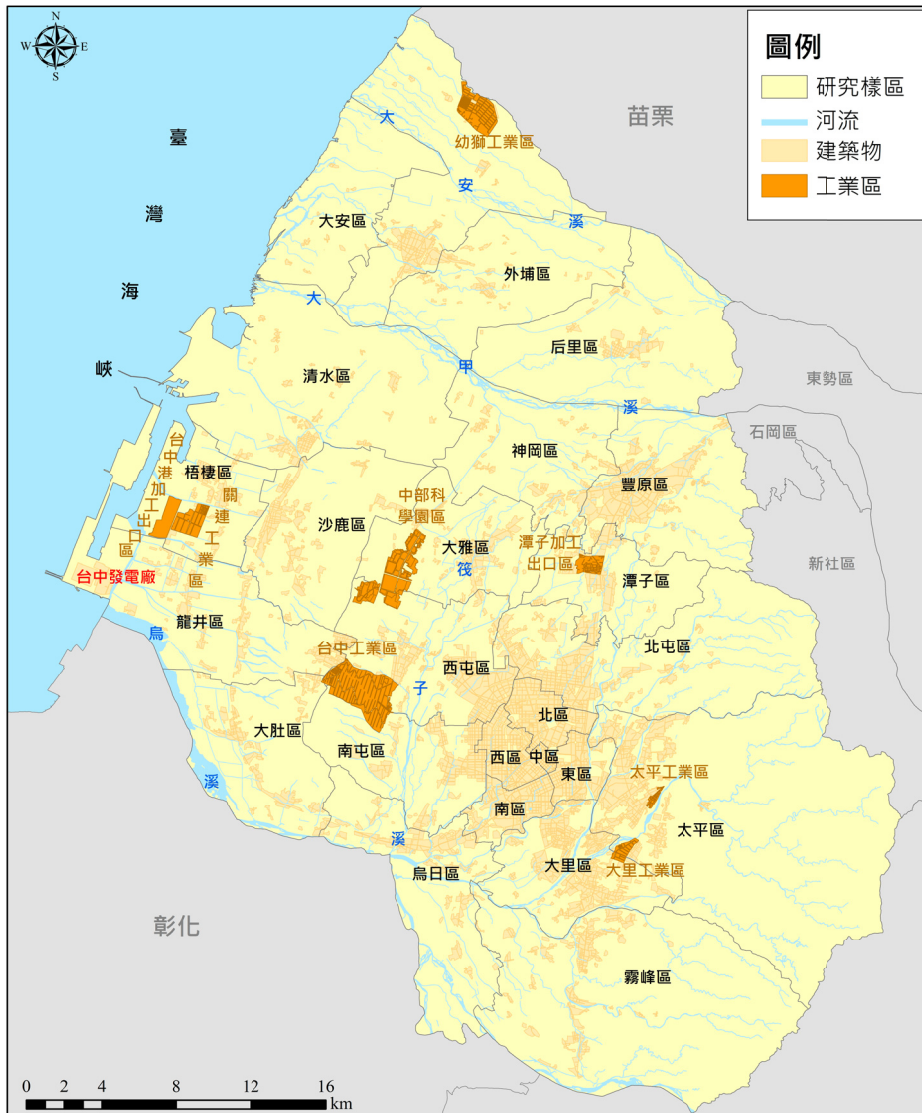


圖 3-2 研究背景圖

3.3 資料蒐集

本研究利用內政部國土測繪中心所繪製國土利用調查成果數值檔，時間分別為 1995 年與 2006 年。

3.3.1 土地利用類別重分類

在國土利用調查成果數值檔中，因 1995 年土地利用成果數值檔與 2006 年土地利用成果數值檔的土地分類不同，依照本研究目的進行重新分類與整理。

1995 年土地利用成果數值檔原分類為農業用地、交通用地、水利用地、建築用地、工業用地、遊憩用地、礦業及土石用地、軍事用地、其他用地等 9 類，並細分為 48 中類別及 97 小類別；而 2006 年土地利用成果檔則分為農業使用土地、森林使用土地、交通使用土地、水利使用土地、建築使用土地、公共使用土地、遊憩使用土地、礦鹽使用土地、其他使用土地等 9 類，並細分為 41 中類別及 103 小類別，依照本研究目的將此兩期土地利用成果數值檔進行重新分類，其定義如表 3-1 所示，共分為農業用地、森林用地、民生用地、工業用地、工業區與其他用地等六種土地利用類型，分類後的結果如圖 3-2 所示。

表 3-1 土地利用類型分類表

本研究分類	1995 第三級土地分類	2006 第三級土地分類
農業用地	稻作(0011)、旱作(0012)、廢耕地(0013)、養殖(0030)、畜禽舍(0041)、牧場(0042)、農業附帶設施(0050)	稻作(010101)、旱作(010102)、果樹(010103)、廢耕地(010104)、水產養殖(010200)、畜禽舍(010301)、牧場(010302)、溫室(010401)、倉儲設備(010402)、農產品展售場(010403)、其他設施(010404)
森林用地	林業(0020)	天然針葉樹純林(020101)、天然闊葉樹純林(020102)、天然竹林(020103)、天然竹林闊葉混淆林(020104)、人工針葉樹純林(020201)、人工闊葉樹純林(020202)、人工竹林(020203)、人工竹針闊葉混淆林(020204)、伐木跡地(020301)、苗圃(020302)、防火線(020303)、土場(020304)
民生用地	零售批發(3011)、服務業(3012)、一層住宅(3021)、低層住宅(3022)、中層住宅(3023)、高層住宅(3024)、機關(3031)、團體(3032)、托兒所、幼稚園(3041)、小學(3042)、中學(3043)、大專院校(3044)、特種學校(3045)、文教藝術館(3050)、醫療院所(3060)、慈善福利院(3070)、寺廟(3081)、教堂(3082)、宗祠(3083)、其他宗教建築(3084)、郵政電信(3091)、氣象(3092)、電力(3093)、瓦斯(3094)、自來水(3095)、加油站(3096)、雨水抽水站(3097)、其他公用事業(3099)、環保設施(3100)、墳墓(3111)、殯儀館、火葬場(3112)、消防安全設施(3120)、興建中(3130)、古蹟(3140)	零售批發(050101)、服務業(050102)、純住宅(050201)、兼工業使用住宅(050202)、兼商業使用住宅(050203)、兼其他使用住宅(050204)、宗教(050401)、殯葬設施(050402)、興建中(050403)、其他(050404)、政府機關(060100)、幼稚園(060201)、小學(060202)、中學(060203)、大專院校(060204)、特種學校(060205)、醫療保健(060300)、社會福利設施(060400)、氣象(060501)、電力(060502)、瓦斯(060503)、自來水(060504)、加油站(060505)、環保設施(060600)

本研究分類	1995 第三級土地分類	2006 第三級土地分類
工業用地	製造(4010)、工業相關設施(4020)、倉儲(4030)	製造業(050301)、倉儲(050302)
工業區	政府劃定之工業區(本研究建立)	政府劃定之工業區(本研究建立)
其他用地	其他未分類土地類型	其他未分類土地類型



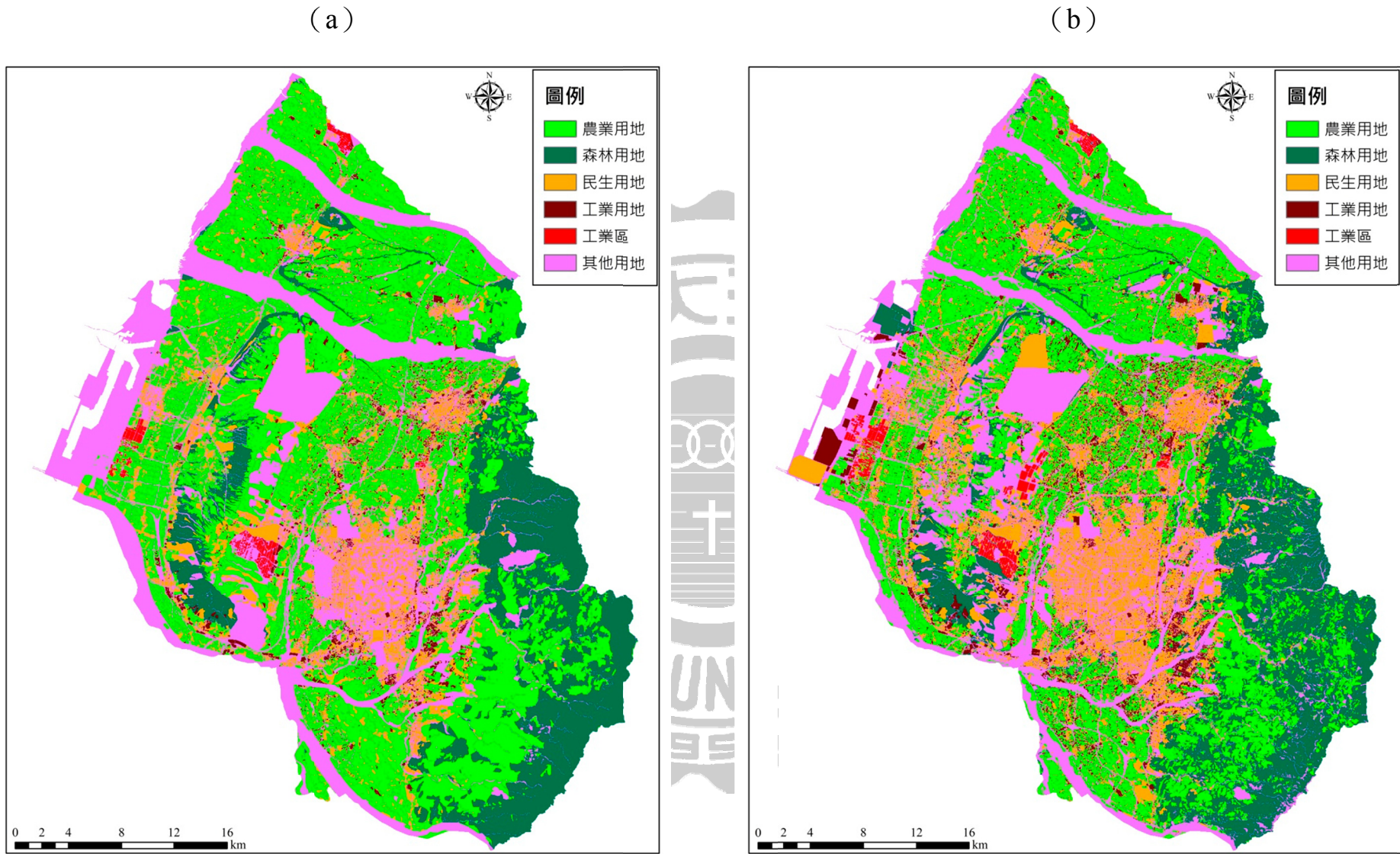


圖 3-3 研究樣區內土地利用重分類示意圖 (a) 1995 年 (b) 2006 年

3.3.2 蒐集影響因子

影響土地變遷的因素很多，包括了自然因素、社會經濟因素與空間距離因素。本研究依據資料可獲取性選取了 27 個與土地利用變遷相關的因子如下：到最近公園的距離、到最近居民點的距離、到最近交流道的距離、到最近主要道路的距離、到最近批發零售的距離、到最近政府機關的距離、到最近商業港口的距離、到最近學校的距離、到最近火車站的距離、高程、工業區、坡度、坡向。其中高程由 ASTER GDEM 所獲得，坡度、坡向是將高程資料利用 ArcGIS 中的 Slope 與 Aspect 模組所計算而來，其餘的是由國土利用成果數值檔中所提取出來，並先將其轉為 30m×30m 的網格式資料，再利用 ArcGIS10.3 的 Spatial Analyst 模組底下的 Distance 所計算。

3.4 研究工具

本研究分別利用 ArcGIS 10.3、FRAGSTATS 4.2、SPSS 18.0、MATLAB R2015a 分別運用其空間運算功能、景觀格局分析、資料統計與分析與 CA-MARKOV 模型計算。

3.4.1 ArcGIS 10.3

ArcGIS 是由美國環境系統研究所公司（簡稱 ESRI）所研發，是一門結合多領域的綜合性科學，包含量測學、統計學、地圖學、地理學與電腦資訊處理。ArcGIS 可進行地圖展示、空間分析與資料查詢。目前 ArcGIS 應用相當廣泛，包括了農林漁牧業、環境保護與監測、自然資源管理、交通規劃、軍事應用、公共設施管理與區域、都市管理應用上及地圖製作應用等。

3.4.2 FRAGSTATS 4.2

FRAGSTATS 4.2 被設計用來計算各種景觀指數的軟體，自 1995 年由 Dr. McGarigal 與 Barbara Marks of Oregon State University 發布最初版本（Version 2）以來，數百名專業人士都享受於使用 FRAGSTATS，由於它的普及，於 2002 年 Version 3 在 Chris Holmes 的協助下由 Dr. Kevin McGarigal 開發、Eduard Ene 編

輯程式，於 2012 年在 Chris Holmes 的協助下由 Dr. Kevin McGarigal 與 Dr. Cushman 開發 Version 4。

3.4.3 SPSS 18.0

SPSS 原名為社會科學統計包 (Statistical Package for Social Science)，由於使用者以不限於社會科學界，2000 年根據縮寫改為 SPSS。SPSS 於 1968 年由美國史丹福大學的三位研究生開發出來，1975 年芝加哥成立 SPSS 公司，1984 年 SPSS 公司推出第一個可以在 DOS 上運行統計分析軟體 PC 版本，2009 年由 IBM 公司收購。

SPSS 是一套結合許多統計分析所模組，讓使用者能夠快速地執行，本研究會利用以下模組：抽樣、共線性診斷與二元邏輯回歸等三個模組。

3.4.4 MATLAB R2015a

MATLAB 由 MATrix LABoratory 的縮寫，是由美國 The MathWorks 公司所出品的數學軟體。MATLAB 是一種數值計算功能、繪圖功能、程式語言功能、繪圖介面設計的功能、強大的工具箱 (Toolbox) 等聚集多種功能的一套軟體。1970 至 1980 年由美國新墨西哥大學 (University of New Mexico, 簡稱 UNM) 的教授 Cleve Barry Moler 獨立編寫第一個版本的 MATLAB，到了 1984 年，由 Cleve Barry Moler 等人成立 MathWorks 並在決策與控制會議 (IEEE Conference on Decision and Control) 推出 MATLAB 1.0，至今版本已推出到 MATLAB R2015a。

3.5 研究方法

3.5.1 細胞自動機

細胞自動機 (Cellular Automata, 簡稱 CA) 係由離散與有限狀態細胞共同組成, 這些構成的細胞會按照一些局部規則, 在離散的時間維度上進行細胞轉變行為, 遵循以上說明所構成的動力學系統便稱之為細胞自動機系統。

做為一個數理模型而言, CA 在數學、生物、物理、電腦等領域各自存在著嚴格的科學定義。標準的細胞自動機是由以下公式所組成:

$$A = (d, S, N, f)$$

其中 A 表示一個細胞自動機系統; d 為正整數, 代表細胞的維數; S 表示細胞狀態的集合; N 表示包含 n 個不同細胞狀態的空間向量, 代表所有鄰域中細胞的集合, 其用數學方式可以表示為: $N = (S_1, S_2, S_3, \dots, S_n)$, n 是細胞鄰居的個數; f 表示 S_n 映射到 S_n 上的局部轉換函數。細胞自動機的要素有下列四個: 細胞 (cells)、狀態 (states)、鄰居 (neighborhoods)、轉換規則 (rules)。

1. 細胞 (cells):

細胞又可稱為單元或基元, 是細胞自動機基本構成的元素, 理論上這些細胞是可以由任意形狀所構成, 不過目前多數研究皆以方格為主, 方便後續利用地理資訊系統運算。

2. 狀態 (states):

每個細胞中只有一組有限的狀態, 這些狀態是可以依操作內容不同而訂定。細胞狀態可以是 {0,1} 的二進位, 也可以是 $\{S_0, S_1, S_2, \dots, S_n\}$ 整數形式的離散集合。如本研究細胞狀態即為土地利用類型 (農業用地、民生用地、交通用地等)。

細胞的空間可以是任意的幾何空間, 如圖 3-4 所示, 其形狀可為三角形、正方形、六邊形等。

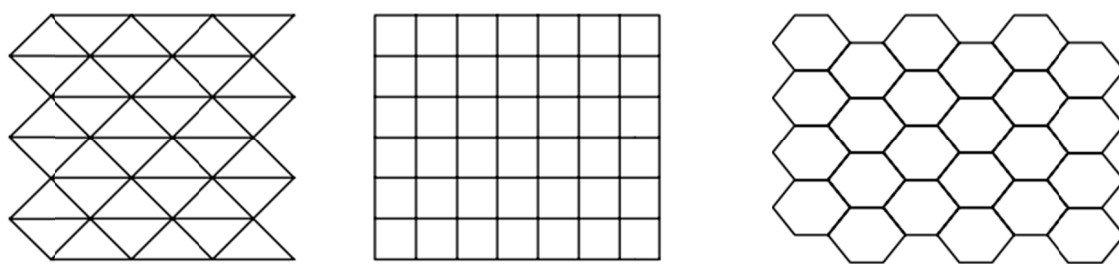


圖 3-4 形狀由左至右分別是三角形、正方形、六角形

3. 鄰居 (neighborhoods) :

一個細胞狀態的演變是決定於其他相鄰細胞的狀態，而其他相鄰之細胞狀態又是根據其相鄰細胞，可分為 Von Neumann 型與 Moore 型，如圖 3-5 所示，Von Neumann 型半徑常使用半徑為 0、1、2，本研究採用 Moore 型如圖 3-6，為本研究鄰域範圍，因其考慮範圍較為周全。

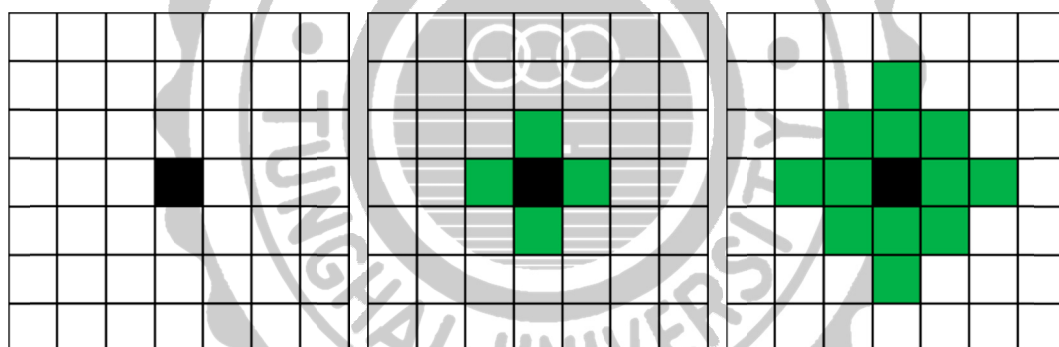


圖 3-5 由左至右分別是 Von Neumann 型半徑為 0、1、2

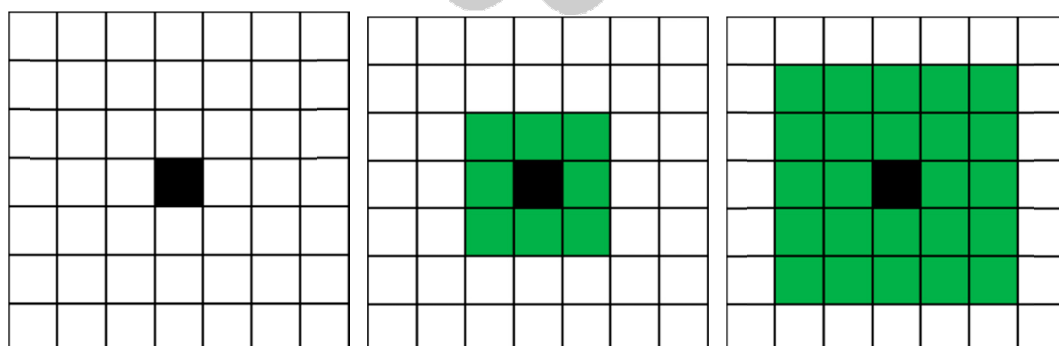


圖 3-6 由左至右分別是 Moore 型半徑為 0、1、2

4. 轉換規則 (rules) :

轉移規則是細胞演化的動力，轉移規則會依據鄰近的狀態來轉移 t 時間的細胞狀態。細胞依據離散 (discrete) 的時間，透過轉移規則同步把所有的細胞從 t 時間狀態轉移到 $t+1$ 時間狀態。轉換函數可以由下列式子表達：

$$S_{ij}^{t+1} = f_N(S_{ij}^t)$$

式中， S 表示 ij 的轉換函數，其定義為細胞從時間 t 到 $t+1$ 時的轉換； N 為細胞的鄰居，屬於的 f 一個輸入變量。

3.5.2 馬可夫鏈

馬可夫鏈是由俄羅斯數學家 Andrei A. Markov 於 1907 年所提出，最初僅是一個數學計算過程，直到二十世紀中才被用於模擬圖像的變化情形 (Baltzer et al., 1998)，馬可夫鏈的假設為現在狀態的機率分布會受到過去狀態的影響，有以下基本概念與運算原理：

1. 馬可夫過程：在事件發展過程中，如果狀態轉移過程無後效性，或是每次狀態轉移都與前一時間狀態有關，這樣的過程即為馬可夫過程。
2. 狀態轉移：在事件發展過程中，從某一狀態轉移到下一時間其他狀態的可能性，稱為狀態轉移機率，在本研究中即代表某一土地利用類型在下一個時間點的轉移機率。
3. 狀態轉移機率矩陣：假設某一事件發展過程中有 n 個可能的狀態，即 K_1 、 K_2 、 K_3 K_n ，另 P_{ij} 為狀態 K_i 轉為狀態 K_j 的狀態轉移機率，下面矩陣為狀態轉移機率矩陣：

$$P = P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & \cdots & P_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1} & \cdots & P_{nm} \end{bmatrix}$$

可利用式 3-1 進行土地變遷預測：

$$S_{t+1} = P_{ij} \times S_t \quad \text{式 3-1}$$

其中 S_t 、 S_{t+1} 分別為 t 、 $t+1$ 時刻的狀態； P_{ij} 為狀態演變機率矩陣。

由於土地利用類型的轉變具有無向性，即當前的土地利用型態在下一時刻有數種可能，如當前如果是農業用地，下一時刻可能會轉變為民生用地、工業用地。土地類型的變化常具有雙向性，可以從當前類別轉為其他類別，也會從其他類別轉為當前類別，在這種隨機轉變的過程中，土地利用的類型、程度、形式不斷改變。這種包含眾多難以用數學方式準確描述與表達的土地變化過程恰好符合馬可夫研究的條件（吳艷艷，2009）。



3.5.3 馬可夫細胞自動機

本研究結合馬可夫在時間處理上的優點與細胞自動機在空間上的優勢建立一馬可夫細胞自動機模型，其原理為利用馬可夫的土地轉移機率矩陣結合空間變量、細胞鄰域範圍與隨機變量來進行土地利用轉變機率計算與建立土地利用轉變規則。土地利用變遷模擬可分為三大要素：約束條件、模型參數與轉移規則。

1. 確定 CA-Markov 模型的約束條件

模型約束條件可分為局部約束條件、全局約束條件。

- 局部約束條件

細胞自動機中唯一且重要的轉移規則為細胞鄰居的集合，當前細胞易轉變為佔周圍較多數的細胞型態，其計算方式如式 3-2：

$$P(i) = \frac{\sum_n con(i)}{n-1} \quad \text{式 3-2}$$

式中， $P(i)$ 為各土地利用類型的機率， $con(i)$ 為細胞鄰域中農業用地、森林用地、民生用地、工業用地、工業區、其他用地的數量， n 為細胞鄰居的數量。細胞的鄰域半徑須依據土地類型的種類來設定（Huang，2015）。

- 全局約束條件

土地利用變遷模擬過程中，需考慮地形、交通條件與空間距離因素等影響，其可以利用式 3-3 表示：

$$P_i = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)} \quad \text{式 3-3}$$

式中， P_i 為土地類型 i 出現的機率， $x_1 \sim x_n$ 為自變量為影響土地類型 i 的驅動因素， β_1 、 β_2 、 \dots 、 β_n 為自變量之係數。

2. 確定 CA-Markov 模型的參數

隨機因子的採用與確定模型迭代週期。

- 隨機因子設定

根據譚菊（2010）提及將隨機因子納入模型後，可使模擬結果與實際結果較相符，可以式 3-4 表示：

$$R = 1 + (-\ln\gamma)^\alpha \quad \text{式 3-4}$$

式中， γ 為 [0,1] 間的隨機數， α 為控制隨機因子大小的參數，取 1 至 10 之間的整數。

- 模型迭代週期

土地變遷模型迭代週期是需要人工參與學習的步驟，其是個抽象的時間概念，要將其與真實世界的時間相對應是一個難題（吳艷艷，2009）。常用的作法為用已知時間的土地利用成果圖校準模擬週期，當模擬結果與真實結果土地利用類型分類一致性的數目最為接近時（亦可使用 Kappa 值來作為判斷），記錄當下模型迭代週期。

3. 確定 CA-Markov 模型的轉移規則

本研究採用局部約束條件、全局約束條件與隨機因子，利用時空的動態因素，並搭配時間序列上得到各土地類型間轉變的機率矩陣，其可被設定為各土地間轉變機率的門檻值，最後進行土地利用狀態的轉移。

- 土地利用轉變的門檻值

利用研究初期與末期的圖像，利用 ArcGIS 中 Intersect 模組進行套疊分析可獲得研究時間內各土地類型間轉變的機率，並作為土地轉變之門檻值。

- 土地利用轉變規則設定

依據上述提及與吳艷艷於 2009 年提到可以將土地利用轉變規則定義為式 3-5：

$$P_l = p_{ij}^t(l) \times p(l) \times R(l) \quad \text{式 3-5}$$

式中， P_l 為是土地利用類型 l 機率值， $p_{ij}^t(l)$ 為成為土地利用類型 l 的機率， $p(l)$ 為鄰居規則計算中成為土地利用類型 l 之機率， $R(l)$ 為土地利用類型 l 的隨機變量。

將同一網格位置上各土地利用類型機率值歸一化到(0,1)區間，並找出最大的機率出現在何土地利用類型與其相對應之門檻值做比較，例如在網格 (i, j) 的位置上找出機率最大值為土地利用類型 A_1 ，前一時刻網格 (i, j) 的土地利用類型為 B ，並找出土地利用轉移矩陣中原來土地利用類型 B 轉變為土地利用類型 A_1 的機率值 $P_{A_1(threshold)}$ ，符合式 3-6、式 3-7：

$$P_{A_1} \geq P_{A_1(threshold)}, \text{ 轉變為土地利用類型 } A_1 \quad \text{式 3-6}$$

$$P_{A_1} < P_{A_1(threshold)}, \text{ 轉變為其他土地利用類型} \quad \text{式 3-7}$$

如果 $P_{A_1} < P_{(A_1)threshold}$ ，則繼續尋找在網格 (i, j) 的位置上第二個大的機率值 P_{A_2} ，並找出土地轉移矩陣中原來土地類型 B 轉變為土地利用類型 A_2 的機率值 $P_{A_2(threshold)}$ ，符合式 3-8、式 3-9：

$$P_{A_2} \geq P_{A_2(threshold)}, \text{ 轉變為土地利用類型 } A_2 \quad \text{式 3-8}$$

$$P_{A_2} < P_{A_2(threshold)}, \text{ 轉變為其他土地利用類型} \quad \text{式 3-9}$$

如果 $P_{(A_2)} < P_{(A_2)threshold}$ ，則繼續尋找在網格 (i, j) 的位置上第三大的值，直到

$$P_{A_n} \geq P_{A_n(threshold)}, n = 1 \sim 6 \quad \text{式 3-10}$$

如若不成立則保持原來的土地利用類型。

3.5.4 模型因子建立

1. 坡向

坡向是由 ArcGIS 中 Aspect 模組計算，其原理是計算每個網格其相鄰方向上高程變化率最大的下坡方向，視為坡向。按照順時針的方向進行測量如圖 3-7 所示，角度範圍介於 0（正北）到 360（仍是正北）之間，不具有下坡方向的平坦地區將賦予值為-1，計算公式如下：

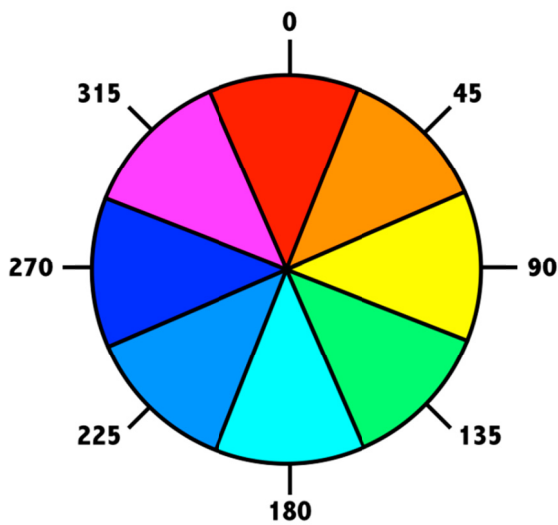


圖 3-7 坡向方位圖

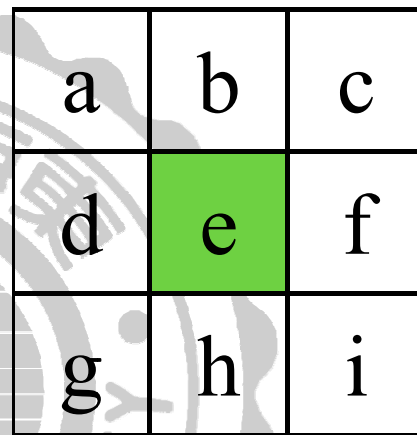


圖 3-8 坡度坡向計算參考圖

如圖 3-8，網格 e 在 x 方向上的變化率以式 3-11 進行運算：

$$[dz/dx] = \frac{((c+2f+i)-(a+2d+g))}{8} \quad \text{式 3-11}$$

網格 e 在 y 方向上的變化率以式 3-12 進行運算：

$$[dz/dy] = \frac{((g+2h+i)-(a+2b+c))}{8} \quad \text{式 3-12}$$

帶入網格 e 在 x 方向與 y 方向的變化率，坡向計算如式 3-13：

$$\text{Aspect} = 57.29578 + \text{atan2}([dz/dx] - [dz/dy]) \quad \text{式 3-13}$$

將坡向值依式 3-14、式 3-15 轉換為坡度方向：

$$\text{If Aspect} < 0 \text{ cell} = 90.0 - \text{Aspect} \quad \text{式 3-14}$$

$$\text{Else if Aspect} > 90.0 \text{ cell} = 360.0 - \text{Aspect} + 90.0 \quad \text{式 3-15}$$

2. 坡度

利用 ArcGIS 中 Slope 模組進行坡度計算，其原理為計算每個網格與其周圍 3×3 的網格鄰域在水平方向與高程方向的變化率，圖 3-9 為坡度計算示意圖，詳細公式如下：

如圖 3-8，網格 e 在 x 方向上的變化率以式 3-16 進行運算：

$$[dz/dx] = \frac{((c+2f+i)-(a+2d+g))}{8 \times x \text{ 方向網格大小}} \quad \text{式 3-16}$$

網格 e 在 y 方向上的變化率以下式 3-17 進行運算：

$$[dz/dy] = \frac{((g+2h+i)-(a+2b+c))}{8 \times y \text{ 方向網格大小}} \quad \text{式 3-17}$$

坡度百分比以式 3-18 計算：

$$\text{Slope} = \frac{[dz/dy]}{[dz/dx]} \times 100 \quad \text{式 3-18}$$

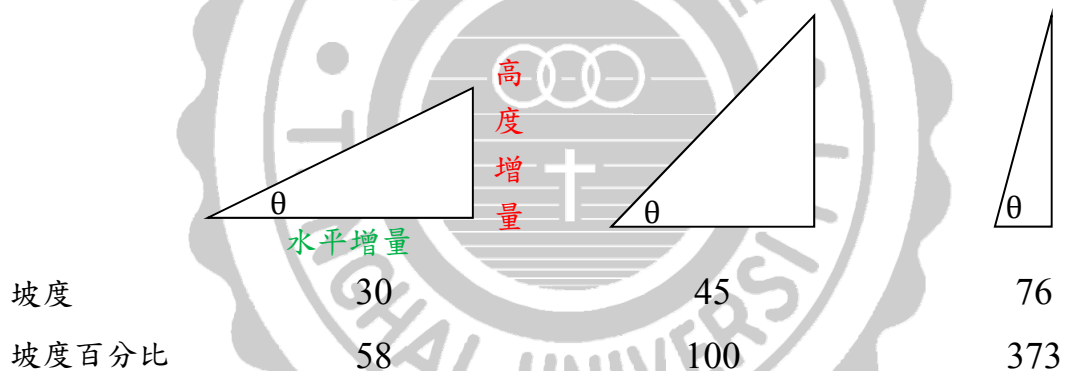


圖 3-9 坡度計算示意圖

3. 空間距離變量

空間距離變量以 ArcGIS 中 Euclidean Distance 模組計算，圖 3-10 為空間距離變量計算示意圖，找出各目標網格與最近之影響因子（參考網格）的歐基里德距離。

歐基里德距離計算如式 3-19：

$$\text{Distance}_n = \sqrt{(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2} \quad \text{式 3-19}$$

式中， n 為目標網格 n ， x_n 為目標網格 n 的 x 座標， y_n 為目標網格 n 的 y 座標， x 為參考網格的 x 座標， y 為參考網格的 y 座標。

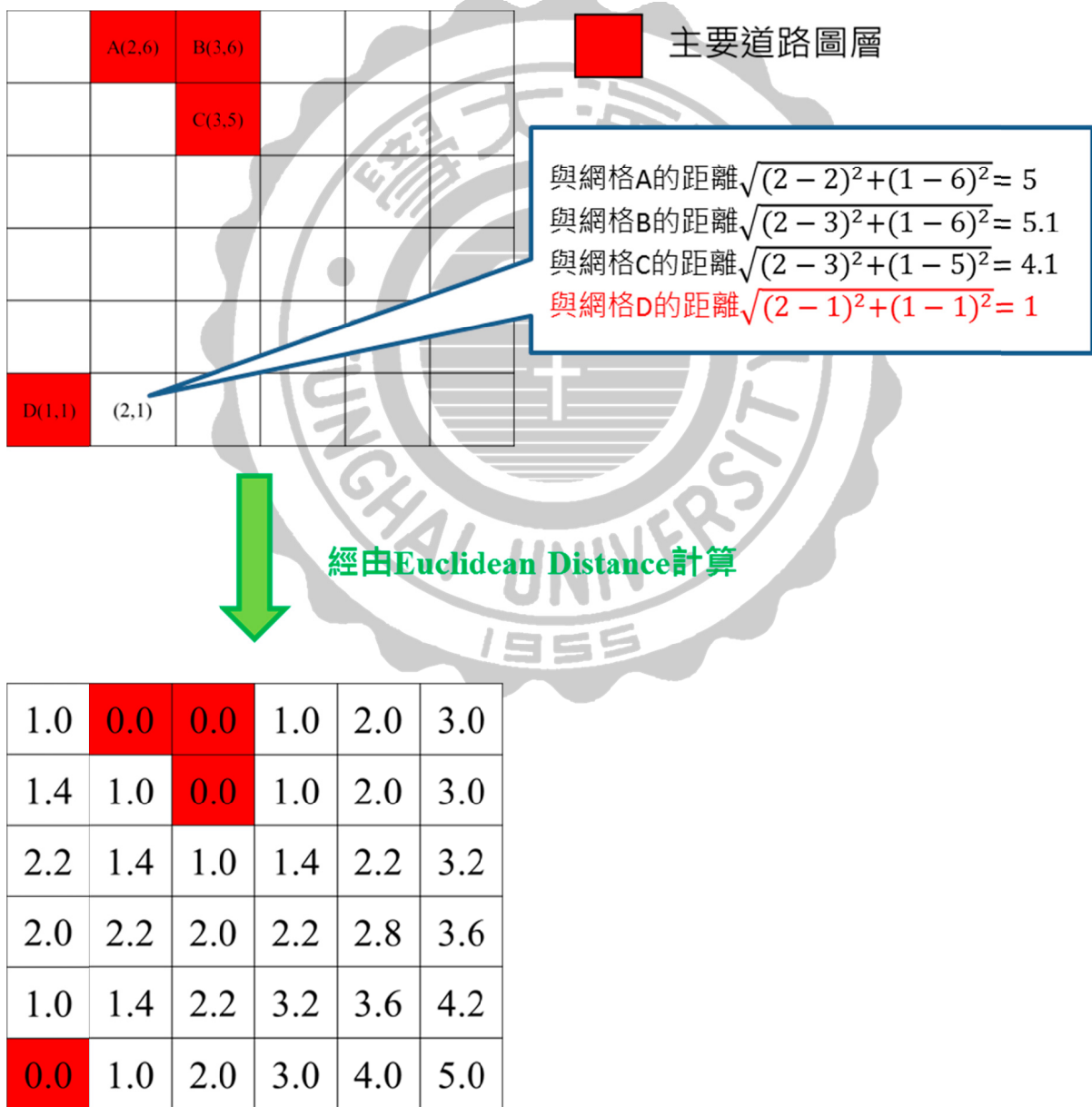


圖 3-10 空間距離變量計算示意圖

3.5.5 土地利用動態度分析

土地利用動態度分析為表達土地利用變化程度的指標，其中可分為單一動態度與綜合動態度，分別代表某類土地利用變化程度和土地利用整體變化程度，計算公式如式 3-20、式 3-21：

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad \text{式 3-20}$$

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad \text{式 3-21}$$

式中，K、LC分別代表單一動態度和綜合動態度，%； U_a 、 U_b 分別為研究初期及研究末期某一土地利用類型的面積， m^2 ； LU_i 為研究初期第*i*類土地利用類型面積， m^2 ； ΔLU_{i-j} 為研究時間內第*i*類土地利用類型轉化為非*i*類土地利用類型面積的絕對值， m^2 ；T為研究時間長度，年。

3.5.6 二元邏輯回歸分析

本研究使用了許多類別變量，當因變量為類別變數而不是一個連續變量時，線性回歸的方法不適用於此情況，二元邏輯回歸則可以很好的解決此問題（王濟川，2004）。

二元邏輯回歸方法基於將數據抽樣能替每一自變數產生回歸係數，將這一系列的係數與其相對應的自變數相乘可得到特定土地利用類型出現的機率，公式如式 3-22：

$$P_i = \frac{\exp(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)}{1 + \exp(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)} \quad \text{式 3-22}$$

式中， P_i 為土地類型*i*出現的機率， $x_1 \sim x_n$ 為自變量，影響土地類型*i*的驅動因素， β_1 、 β_2 、 \dots 、 β_n 為自變量之係數。

本研究利用 SPSS 統計軟體中的二元 Logistic 模組計算出回歸係數 β 、標準偏差 S.E.、Wald X^2 統計量、自由度 df、迴歸係數估計的顯著性水平 p 和勝算比 OR。回歸係數 β 可以解釋為其對應自變量一個單位的變化對土地類型變化的程度，以勝算比(OR)表示，當 $\beta_i > 0$ 且統計顯著時，表示在其他自變量不變的情況下，OR 隨自變量增加而增加，相反， $\beta_i < 0$ 且統計顯著時，OR 隨自變量增加而減少（謝花林，2011）。

由於樣本的選擇會影響二元邏輯回歸模型的結果，為了使樣本數夠多且因變量 0 與 1 的數量相同，本研究採用分層隨機抽樣，分別抽取 10000 筆數據進行二元邏輯迴歸分析。



3.5.7 精確度評估

常見精確度評估的方法有四種：整體精度（Overall Accuracy）、使用者精度（User's Accuracy）、生產者精度（Producer's Accuracy）、以及 Kappa 係數；使用者精度亦稱為 Commission Accuracy，為不該分類至該類別而被分類到該類別所造成的錯誤，生產者精度亦稱為 Omission Accuracy，是應分類至該類別而未被分類之誤差。而 Kappa 係數因同時考量使用者精度與生產者精度，故本研究採用整體精確度及 Kappa 係數作為判定的準則，各項說明如下：

1. 使用者精度（User's Accuracy）

使用者精度為任意土地類型中預測正確的網格數除以預測為此土地類型的網格數總和，表示土地類別經預測分類後，預測類別與實際類別一致性的機率，其公式如式 3-23：

$$U_A = \frac{X_{ii}}{\sum X_{+i}} \times 100\% \quad \text{式 3-23}$$

式中， U_A 為使用者精度， X_{ii} 為分類矩陣中欄列對角線的網格數目， X_{+i} 為分類矩陣中各列之網格數目。

2. 生產者精度（Producer's Accuracy）

生產者精度為針對單一類別的精度表示，預測正確的網格數目除以參考資料中屬於此土地類型的網格數總和，公式如是 3-24：

$$P_A = \frac{X_{ii}}{\sum X_{i+}} \times 100\% \quad \text{式 3-24}$$

式中， P_A 為生產者精度， X_{ii} 為分類矩陣中欄列對角線的網格數目， X_{i+} 分類矩陣中各欄之網格數目。

3. 整體精度 (Overall Accuracy)

對角之網格 (即預測與實際一致時) 總和除以總網格數, 其公式如式 3-25:

$$O_A = \frac{\sum_{i=1}^n X_{ii}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}} \quad \text{式 3-25}$$

式中, O_A 為整體精度, n 為分類矩陣之列數, X_{ii} 為分類矩陣中欄列對角之網格數目, X_{ij} 為分類矩陣中第 i 列第 j 行的網格數目。

4. Kappa 係數

Kappa 係數於 1960 年由 Cohen 提出, 用以表示分類結果與實際狀態相近程度, 常應用於衛星影像辨識的精確度分析; Kappa 係數綜合了使用者精度與生產者精度其公式如式 3-26:

$$\text{Kappa} = \frac{M \sum_{i=1}^r x_{ii} - M \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{M^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad \text{式 3-26}$$

式中, r 為土地類型的總數, x_{ii} 為分類矩陣中欄列對角線的樣點數目, x_{i+} 、 x_{+i} 為分類矩陣中各欄各列之樣點數目, M 為全部樣點數目。

3.5.8 景觀指數

本研究依照相關研究領域文獻，並按照層級挑選出以下景觀指數作為分析：

在類別層級方面，嵌塊體數目 (NP)、嵌塊體密度 (PD)、最大嵌塊體指數 (LPI)、邊界總長度 (TE)、形狀指數 (LSI)、平均嵌塊體大小 (AREA_MN)、平均最近鄰指數 (ENN_MN) 等。

在景觀層級方面，嵌塊體數目 (NP)、最大嵌塊體指數 (LPI)、邊界總長度 (TE)、形狀指數 (LSI)、平均嵌塊體大小 (AREA_MN)、平均最近鄰指數 (ENN_MN) 與 Shannon 多樣性指數 (SHDI)。詳細公式介紹整理如表 3-2。



表 3-2 景觀指數統整表 (本研究整理)

層級	中文	英文	公式	單位
類別層級	嵌塊體數目	NP	$NP = n_i$	-
			n_i 為嵌塊體類型 i 的數目	
	嵌塊體密度	PD	$PD = \frac{n_i}{A} \times 10,000 \times 100$	數量/100 公頃
			n_i 為嵌塊體類型 i 的數目 A 為總面積 (m^2)	
	最大嵌塊體指數	LPI	$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} \times 100$	%
			a_{ij} 為嵌塊體 ij 的面積 (m^2) A 為總面積 (m^2)	
	邊界總長度	TE	$TE = \sum_{k=1}^m e_{ik}$	公尺
			e_{ik} 為嵌塊體類型 i 的總邊界長度 (m)	
形狀指數	LSI	$LSI = \frac{0.25 \sum_{k=1}^m e_{ik}}{\sqrt{A}}$	-	
		e_{ik} 為嵌塊體類型 i 與嵌塊體類型 k 的總邊界長度 (m) A 為總面積 (m^2)		
平均嵌塊體大小	AREA_MN	$AREA_MN = \frac{CA_i}{n_i}$	公頃	
		CA_i 為嵌塊體類型 i 的面積 (ha) n_i 為嵌塊體嵌塊體類型 i 的數目。		
平均最近鄰指數	ENN_MN	$ENN = h_{ij}$	公尺	
		h_{ij} 為嵌塊體 ij 到最近的嵌塊體距離 (m)		

層級	中文	英文	公式	單位
景觀層級	嵌塊體數目	NP	NP = N	-
			N為總嵌塊體數目	
	最大嵌塊體指數	LPI	$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} \times 100$	%
			a_{ij} 為嵌塊體 ij 的面積(m ²) A 為總面積(m ²)	
	總邊界長度	TE	TE = E	公尺
			E為總邊界長度(m)	
	景觀形狀指數	LSI	$LSI = \frac{0.25 \times E}{\sqrt{A}}$	-
			E為總邊界長度(m) A 為總面積(m ²)	
平均嵌塊體大小	AREA_MN	$AREA_MN = \frac{CA_i}{n_i}$	公頃	
		CA_i 為嵌塊體類型 i 的面積(ha) n_i 為嵌塊體嵌塊體類型 i 的數目。		
平均最近距離	ENN_MN	ENN = h_{ij}	公尺	
		h_{ij} 為嵌塊體 ij 到最近的嵌塊體距離 (m)		
Shannon 多樣性指數	SHDI	$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)$	-	
		P_i 為景觀類型 i 所占的比率		

3.5.9 集水區

集水區劃設需要利用流向與匯流點，流向使用 ArcGIS 中 Hydrology 裡的 Flow Direction 模組計算，其原理為計算目標網格與其鄰域範圍內最陡下坡方向，其示意圖如圖 3-11 (a) (b) (c) 所示；匯流點則是使用人工判讀方式在匯流處建立點圖層如圖 3-11(d)。利用上述所建立出來的圖層利用 ArcGIS 中 Hydrology 裡的 Watershed 模組進行集水區劃設。

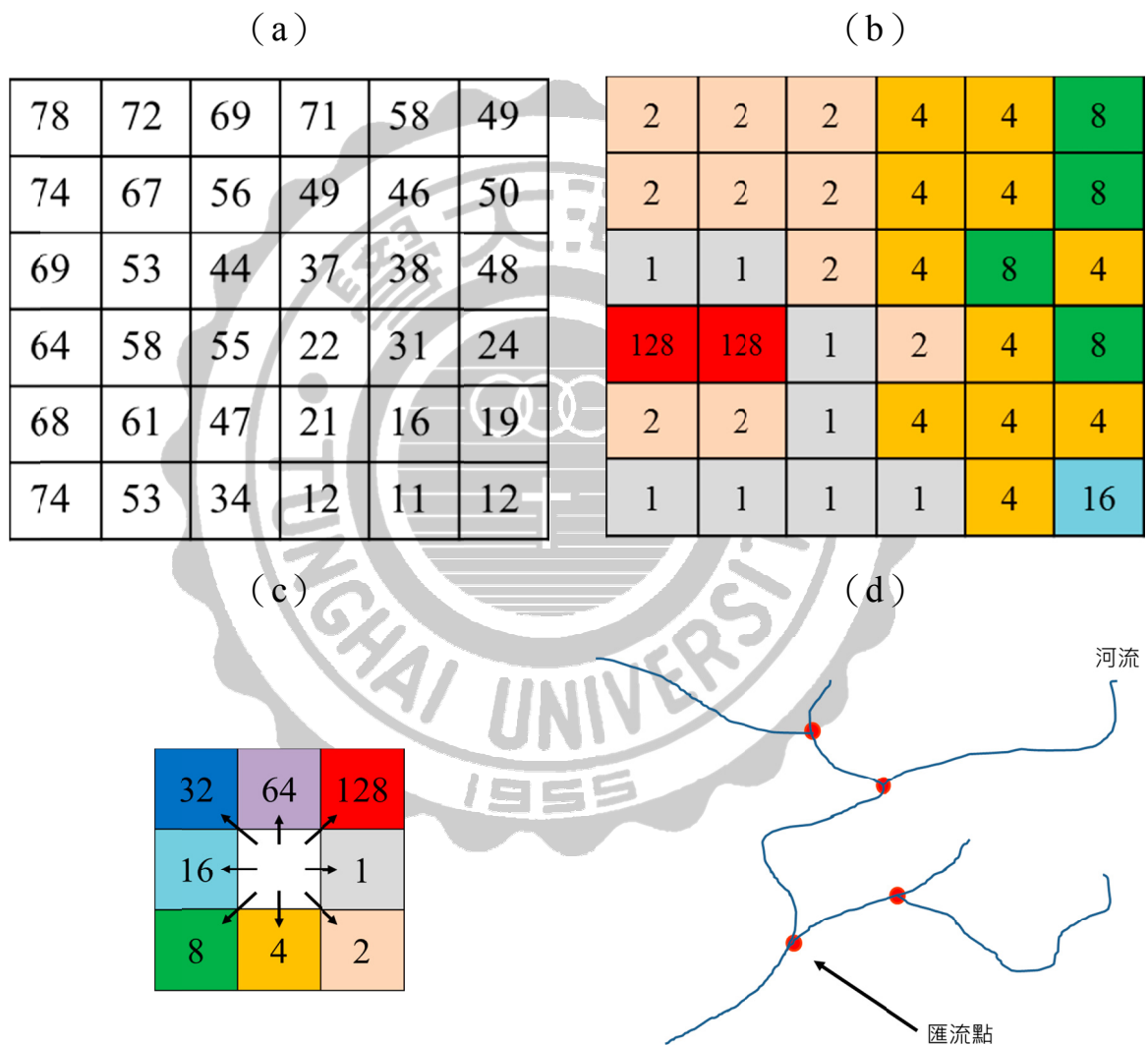


圖 3-11 集水區計算示意圖 (a) 高程數值 (b) 流向計算結果 (c) 流向編號 (d) 匯流點

3.5.10 地表逕流量

探討土地變遷對環境影響變化下，地表逕流量為重要的核心項目，其計算公式如式 3-27：

$$Q_p = \frac{C \times I \times A}{360} \quad \text{式 3-27}$$

式中， Q_p 為地表逕流量（立方公尺/秒）； C 為逕流係數（無單位）； I 為降雨強度（公厘/小時）； A 為集水區面積（公頃）。

本研究逕流係數（Runoff coefficient）之設定方式為：取公路排水設計規範建議範圍值的中間值，如表 3-3 所示，農業用地、森林用地、民生用地、工業用地、工業區與其他用地的逕流係數分別設定為 0.55、0.55、0.78、0.65、0.65 與 0.85；台中市短延時降雨強度公式如表 3-4 所示，頻率年分別取 2、3 與 5 年。

表 3-3 逕流係數統整表

土地利用類型	逕流係數建議值 (參考公路排水設計規範)	本研究採用 逕流係數
農業用地	0.45~0.60	0.55
森林用地	0.40~0.70	0.55
民生用地	0.66~0.89	0.78
工業用地	0.50~0.80	0.65
工業區	0.50~0.80	0.65
其他用地	-	0.85

表 3-4 台中市短延時降雨強度公式表

頻率年	短延時
2 年	$\frac{6713}{(t + 46.48)}$
3 年	$\frac{7208}{(t + 47.44)}$
5 年	$\frac{7831}{(t + 47.23)}$

註：「t」為降雨延時，單位分鐘。

資料來源：台灣省水利局（1988）



第4章 結果與討論

4.1 土地利用變遷分析

在土地利用變遷分析中，本研究分別從三個角度探討：土地利用程度分析、土地利用動態度分析、土地轉移矩陣。

4.1.1 土地利用程度分析

本研究分析 1995 年至 2006 年兩年之土地利用變化量如表 4-1 所示，可以發現農業用地、其他用地分別減少了 9.79%、0.07%，另外在民生用地、工業用地、森林用地、工業區分別增加 4.65%、2.67%、2.13%、0.42%。其中農業用地減少的原因可能為隨著生物科技的發達，導致單位面積所生產的糧食作物已大幅提升，對農業用地的需求降低；在民生用地方面，隨著人口、經濟快速成長，導致對民生用地的需求增加；在工業用地方面，因台中港加工出口區與關連工業區等工業區的出現，進而帶動周邊工業用地的聚集。

表 4-1、1995 與 2006 年土地利用類型變化情況

	農業 用地 (%)	森林 用地 (%)	民生 用地 (%)	工業 用地 (%)	工業區 (%)	其他 用地 (%)
1995 年	43.32	15.63	9.74	2.26	0.53	28.51
2006 年	33.53	17.76	14.39	4.93	0.95	28.44
變化程度	-9.79	2.13	4.65	2.67	0.42	-0.07

4.1.2 土地利用動態度分析

為了描述研究範圍中一定時間內土地利用資源數量的變化速度，可使用土地利用動態度來表示。單一土地利用動態度分析反映了該土地利用類型變化的速度，數值高表示其變化快速，數值低表示變化緩慢。

從表 4-2 可以看出在 1995 至 2006 年間綜合動態分析中，綜合動態數值為 9.68%，可見研究樣區內整體變化程度高。為了更進一步探討該地區中，何種土地利用類型為主要的變化貢獻量，故本研究嘗試以單一動態分析，在所有土地利用類型中，工業用地與工業區增加的速度最快，可推測該研究樣區經濟成長快速，其次為民生用地與森林用地；另外在農業用地方面，可以發現減少速度最快，可見農業需求大不如前。

表 4-2 土地利用動態分析

	農業 用地	森林 用地	民生 用地	工業 用地	工業區	其他 用地
單一動態(%)	-2.06	1.24	4.34	10.71	7.15	-0.02
綜合動態(%)	9.68					

4.1.3 土地轉移矩陣

本研究利用 1995 與 2006 年之土地利用成果數值檔，首先將其重新分為農業用地、森林用地、民生用地、工業用地、工業區與其他用地等 6 類，利用 ArcGIS 中網格化的功能轉換為 30m×30m 的網格資料，並以套疊分析求得 11 年間各土地類型間的轉移機率，如表 4-3 所示，農業用地主要轉為其他用地、森林用地、民生用地，轉換面積比例分別為 15.08%、11.23%和 7.17%，可以看出農業用地需求下降，逐漸向其他、森林與民生用地轉變。

森林用地主要轉變為農業用地與其他用地，轉換面積比例分別為 14.52%和 12.24%，可見人類經濟活動導致森林用地破碎化，逐漸向農業與其他用地轉變。

民生用地主要轉變為其他用地、農業用地與工業用地，轉換面積比例分別為 16.21%、7.62%和 5.08%，可以看出民生用地在研究時間內主要轉換為其他用地，可能是為了因應道路的擴建或是政策因素所導致。

工業用地主要轉變為民生用地、其他用地與農業用地，轉換面積比例分別為 19.33%、15.94%和 7.92%，在空間分布上工業用地常緊鄰民生與其他用地，在正常時間演化下容易轉為民生與其他用地。

工業區主要轉變為為民生用地與其他用地，轉換面積比例分別為 9.38%和 7.42%，雖然工業區為政策，但是因早期工業尚未進駐而轉為民生用地與其他用地。

其他用地主要轉變為民生用地與農業用地，轉換面積比例分別為 13.23%和 12.82%，其他用地是由水體與道路所組成，在研究範圍內因較小河川容易因為天災、自然環境變化而導致乾涸且常緊鄰農業區，故容易轉為民生與農業用地。

從上述分析中可以得到，研究樣區內各土地利用類型間彼此皆會相互轉移，為了瞭解不同土地利用類型間轉移的關係，並找出各土地利用類型空間分布的情形，進行土地適宜性分析，利用一系列空間距離變量與類別變量來找出各土地利用類型在空間上的適宜程度。

表 4-3 1995 至 2006 年土地轉移機率矩陣

2006 年		轉移機率(%)					
		農業用地	森林用地	民生用地	工業用地	工業區	其他用地
1995 年	農業用地	61.57	11.23	7.17	4.40	0.54	15.08
	森林用地	14.52	70.01	2.58	0.64	0.00	12.24
	民生用地	7.62	3.00	67.95	5.08	0.13	16.21
	工業用地	7.92	2.12	19.33	53.89	0.80	15.94
	工業區	0.77	0.72	9.38	0.74	80.98	7.42
	其他用地	12.82	5.63	13.23	4.23	0.89	63.20

4.2 土地適宜性分析

為了瞭解各土地利用類型在空間分布上的適宜程度，先建立土地變遷因子，即可進行共線性診斷，此分析方法以變異數膨脹係數(Variance Inflation Factor，簡稱 VIF)作為判斷標準，可確定土地變遷因子中是否有相關性程度高的因子存在。最後以二元邏輯迴歸分析，即可了解各土地類型之適宜程度。

4.2.1 土地變遷因子建立

依照相關文獻提及與資料可取得性，本研究選取自然因素、社會經濟因素與空間距離變量，共 27 個分別為：與最近公園的距離、與最近居民點的距離、與最近批發零售的距離、與最近河川的距離、與最近政府機關的距離、與最近學校的距離、與最近主要道路的距離、與最近火車站的距離、與最近交流道的距離、與最近商港的距離、與市中心的距離、高程、工業區、坡度 I、坡度 II、坡度 III、坡度 IV、坡度 V、坡度 VI、坡向平、坡向東北、坡向東、坡向東南、坡向南、坡向西南、坡向西、坡向西北、坡向北，其詳細定義如表 4-4 所示。

表 4-4 土地變遷因子定義

因子名稱	定義
公園	參照國土利用調查分類系統中第三級分類中公園綠地廣場類別
居民點	參照國土利用調查分類系統中第二級分類中住宅類別
批發零售	參照國土利用調查分類系統中第三級分類中零售批發類別
河川	參照國土利用調查分類系統中第一級分類中水利用地類別（海面除外）
政府機關	參照國土利用調查分類系統中第三級分類中機關類別
學校	參照國土利用調查分類系統中第二級分類中學校類別
主要道路	省道、快速道路
火車站	參照國土利用調查分類系統中第三級分類中鐵路車站類別
交流道	交流道
商港	參照國土利用調查分類系統中第三級分類中商港類別
市中心	台中火車站
高程	ASTER GDEM 資料
工業區	政府劃定之工業區
坡度 I	坡度百分之五以下
坡度 II	坡度超過百分之五至百分之十五
坡度 III	坡度超過百分之十五至百分之三十
坡度 IV	坡度超過百分之三十至百分之四十
坡度 V	坡度超過百分之四十至百分之五十五
坡度 VI	坡度超過百分之五十五
坡向平	經 ArcGIS 中坡度計算值為-1
坡向東北	經 ArcGIS 中坡度計算值為 22.5~67.5
坡向東	經 ArcGIS 中坡度計算值為 67.5~112.5
坡向東南	經 ArcGIS 中坡度計算值為 112.5~157.5
坡向南	經 ArcGIS 中坡度計算值為 157.5~202.5
坡向西南	經 ArcGIS 中坡度計算值為 202.5~247.5
坡向西	經 ArcGIS 中坡度計算值為 247.5~292.5
坡向西北	經 ArcGIS 中坡度計算值為 292.5~337.5
坡向北	經 ArcGIS 中坡度計算值為 0~22.5、337.5~360

土地變遷因子按時間的不同分為三類：1995 年、2006 年與不隨時間改變的影響因子。

1995 年土地變遷因子如圖 4-1 至 4-3 所示，與最近公園的距離範圍由 0 至 11824.6 公尺、與最近居民點的距離範圍由 0 至 4802.3 公尺、與最近批發零售的距離範圍由 0 至 10626.9 公尺、與最近河川的距離範圍由 0 至 3125.3 公尺、與最近政府機關的距離範圍由 0 至 9936.3 公尺、與最近學校的距離範圍由 0 至 7178.5 公尺、與最近主要道路的距離範圍由 0 至 14450.5 公尺、與最近火車站的距離範圍由 0 至 16464.1 公尺、與最近交流道的距離範圍由 0 至 22966.8 公尺、與最近商港的距離範圍由 0 至 37352.7 公尺、與市中心的距離範圍由 0 至 34242.9 公尺、高程範圍由-15 至 1148 公尺。

2006 年土地變遷因子如圖 4-4 至圖 4-6，與最近公園的距離範圍由 0 至 7182.5 公尺、與最近居民點的距離範圍由 0 至 4786.2 公尺、與最近批發零售的距離範圍由 0 至 7215.1 公尺、與最近河川的距離範圍由 0 至 4886.0 公尺、與最近政府機關的距離範圍由 0 至 9866.0 公尺、與最近學校的距離範圍由 0 至 6831.6 公尺、與最近主要道路的距離範圍由 0 至 14450.5 公尺、與最近火車站的距離範圍由 0 至 16464.1 公尺、與最近交流道的距離範圍由 0 至 22966.8 公尺、與最近商港的距離範圍由 0 至 37950.7 公尺、與市中心的距離範圍由 0 至 34242.9 公尺、高程範圍由-15 至 1148 公尺。

不隨時間改變的土地變遷因子如圖 4-7 至圖 4-9，其資料格式為 0、1 所組成的類別變數。

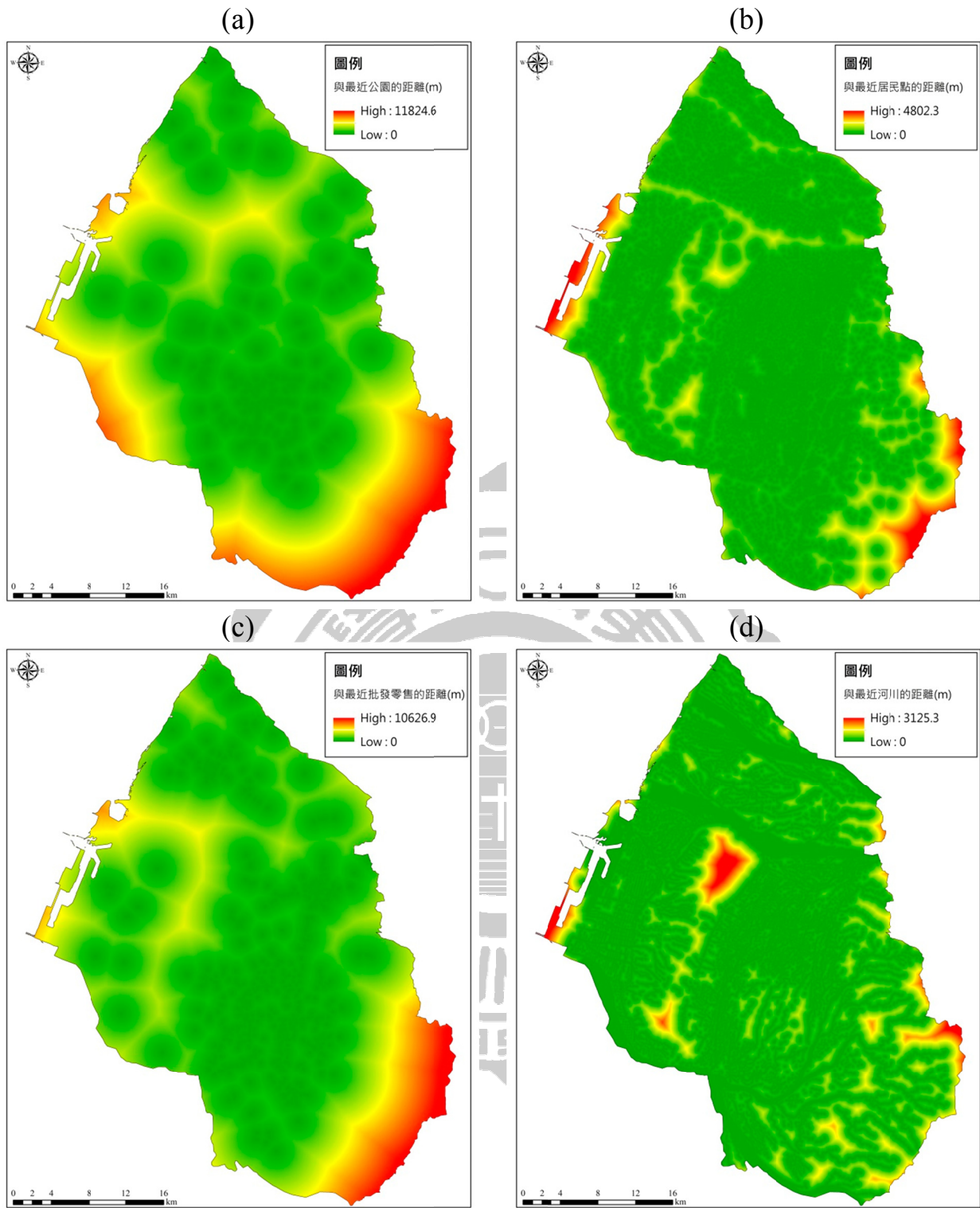


圖 4-1 1995 年土地變遷影響因子 (a) 與最近公園的距離 (b) 與最近居民點的距離 (c) 與最近批發零售的距離 (d) 與最近河川的距離

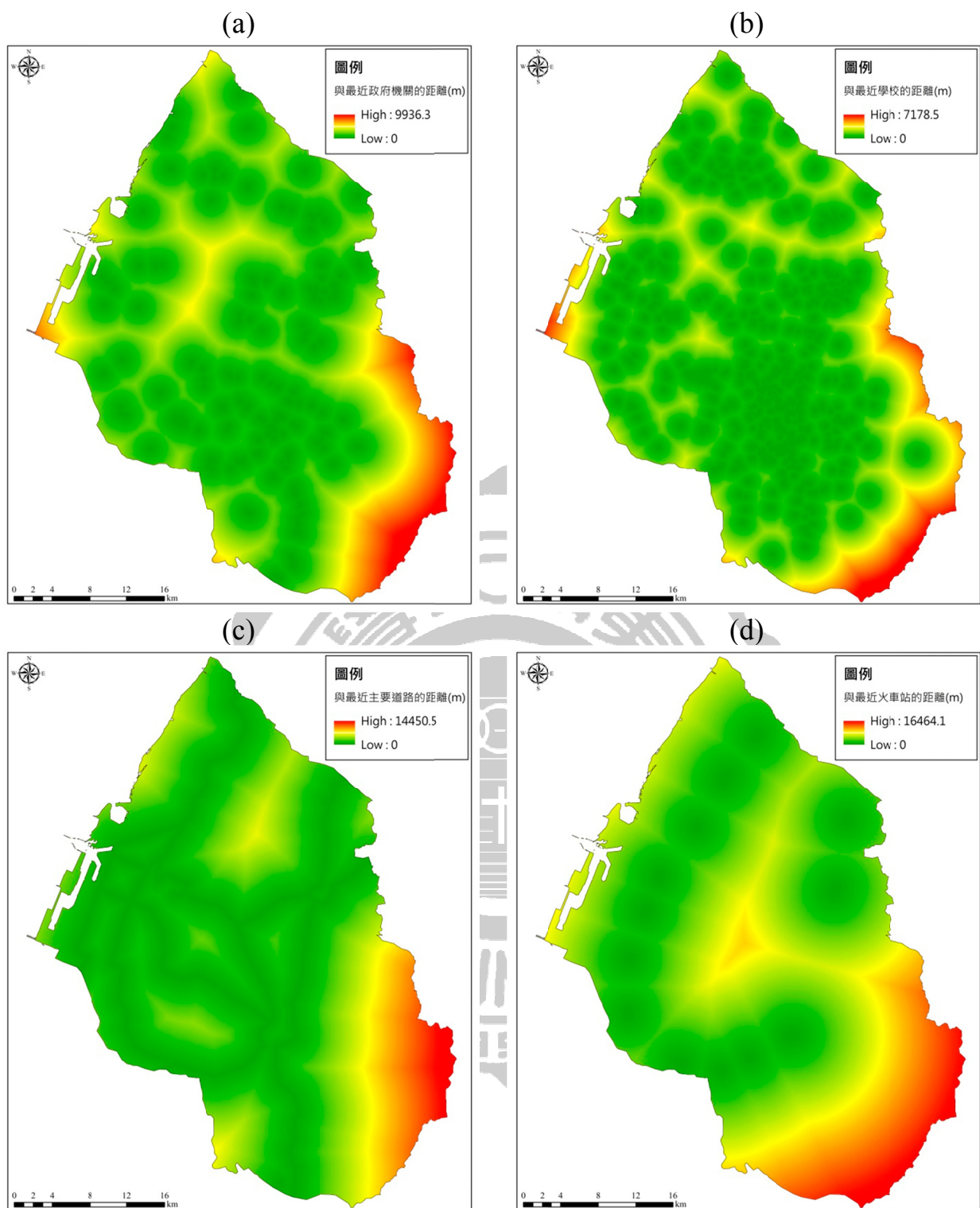


圖 4-2 1995 年土地變遷影響因子 (a) 與最近政府機關的距離 (b) 與最近學校的距離 (c) 與最近主要道路的距離 (d) 與最近火車站的距離

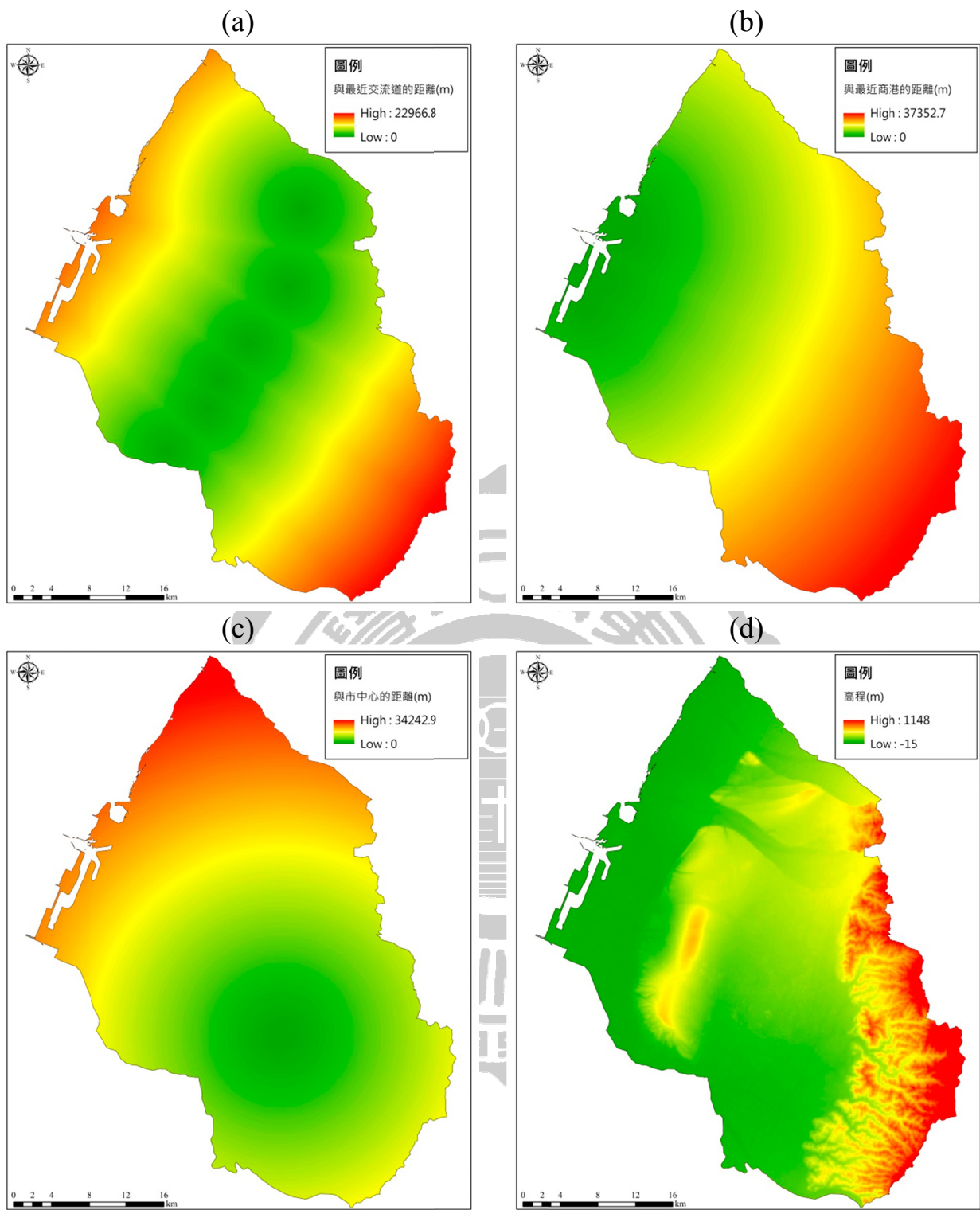


圖 4-3 1995 年土地變遷影響因子 (a) 與最近交流道的距離 (b) 與最近商港的距離 (c) 與市中心的距離 (d) 高程

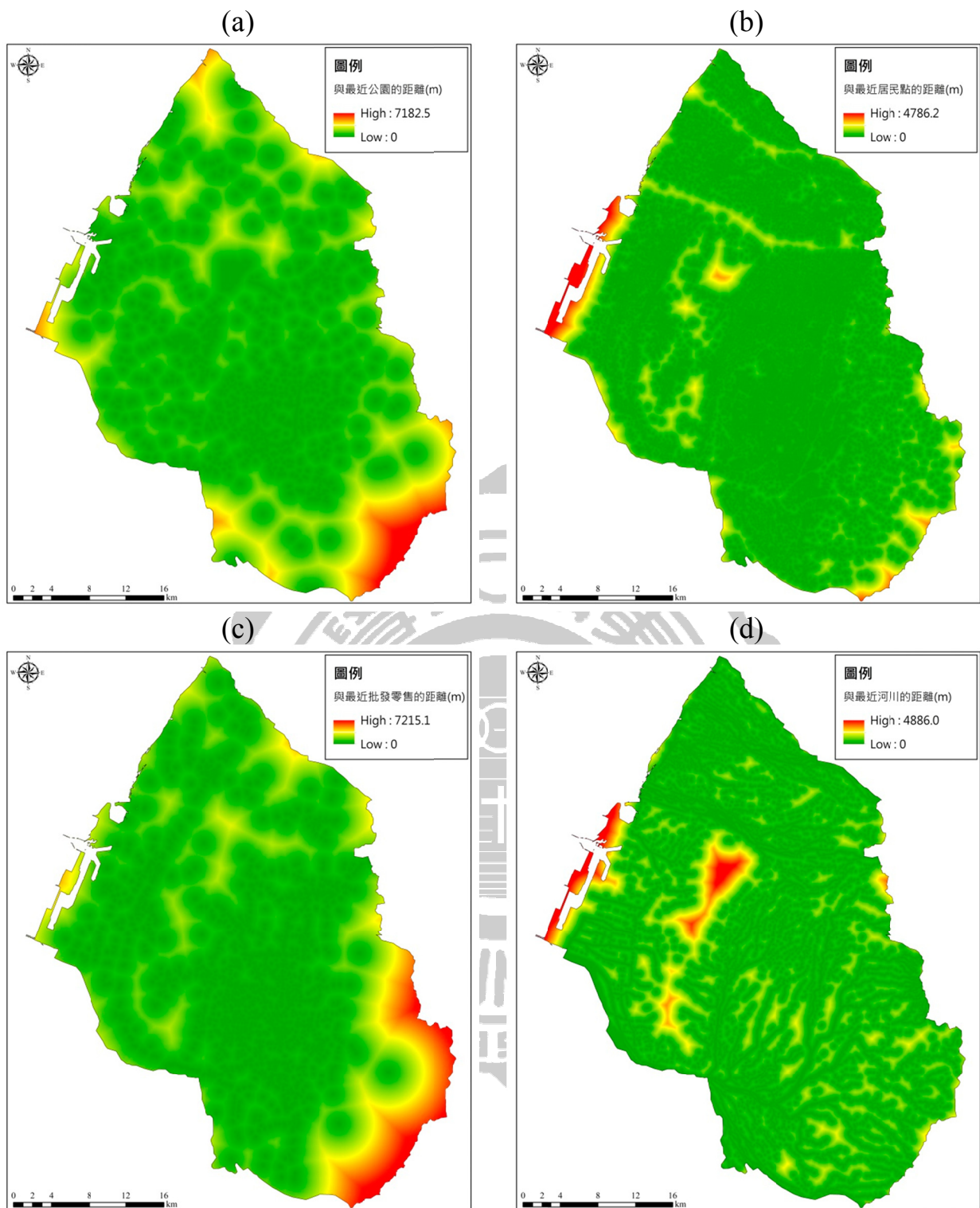


圖 4-4 2006 年土地變遷影響因子 (a) 與最近公園的距離 (b) 與最近居民點的距離 (c) 與最近批發零售的距離 (d) 與最近河川的距離

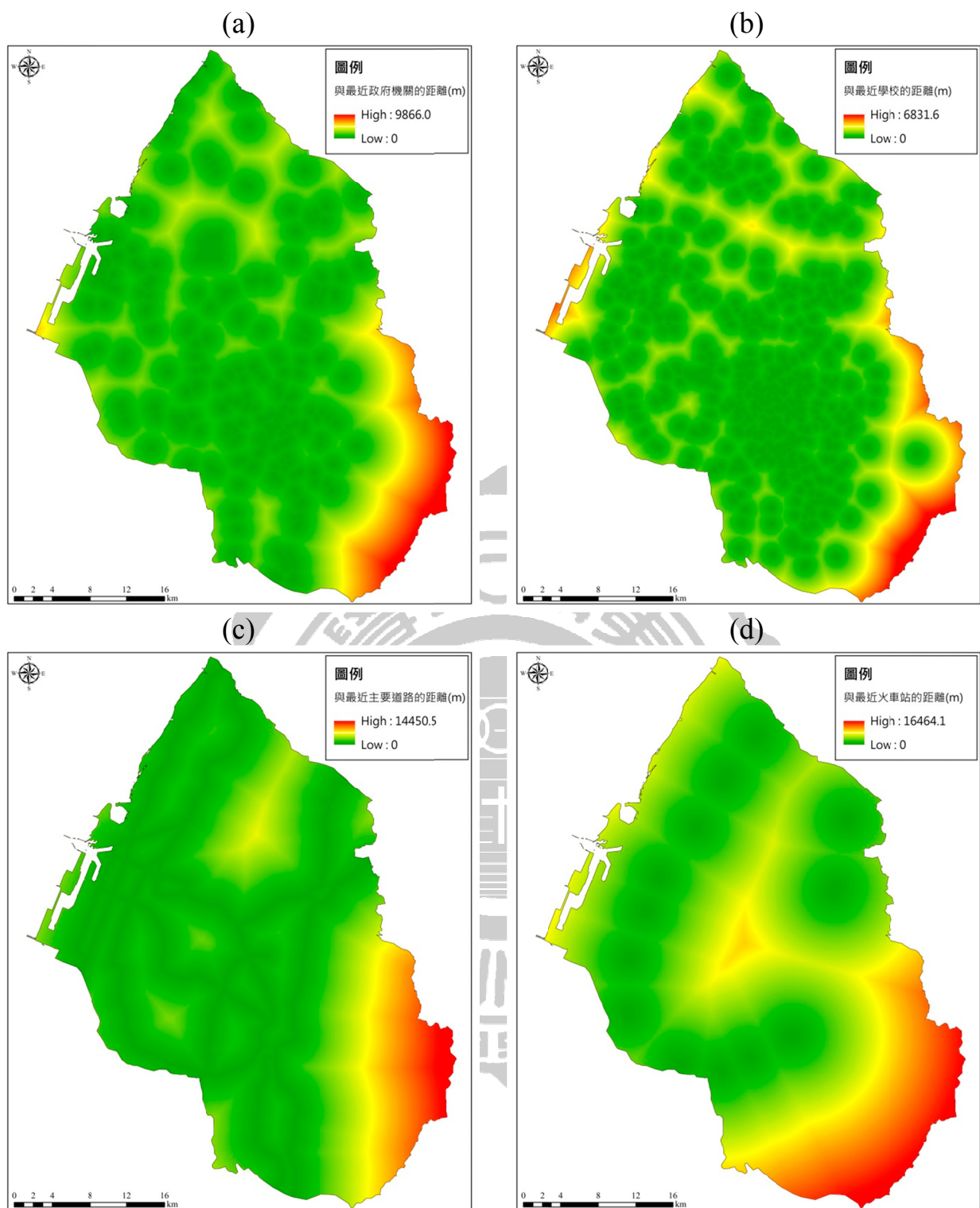


圖 4-5 2006 年土地變遷影響因子 (a) 與最近政府機關的距離 (b) 與最近學校的距離 (c) 與最近主要道路的距離 (d) 與最近火車站的距離

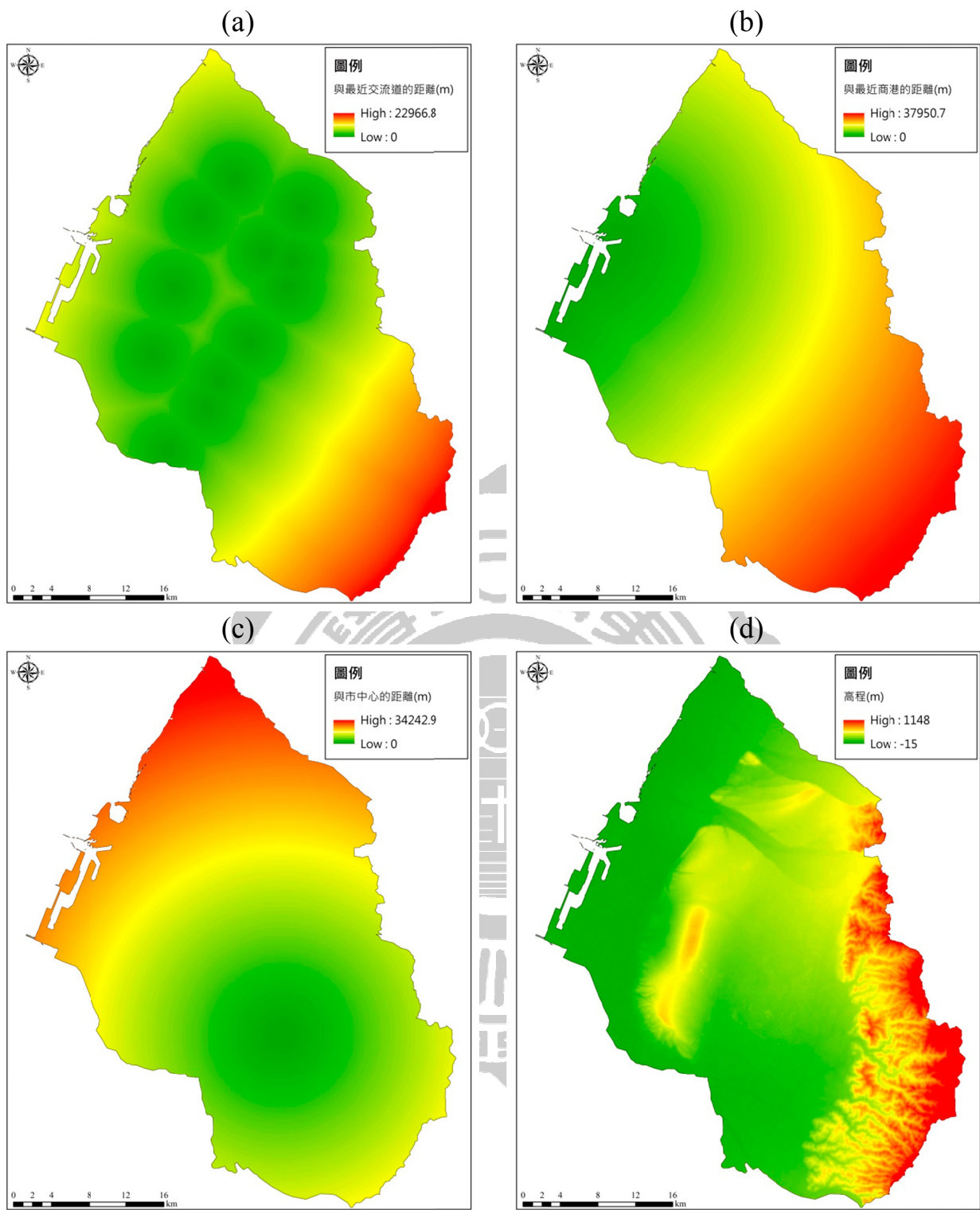


圖 4-6 2006 年土地變遷影響因子 (a) 與最近交流道的距離 (b) 與最近商港的距離 (c) 與市中心的距離 (d) 高程

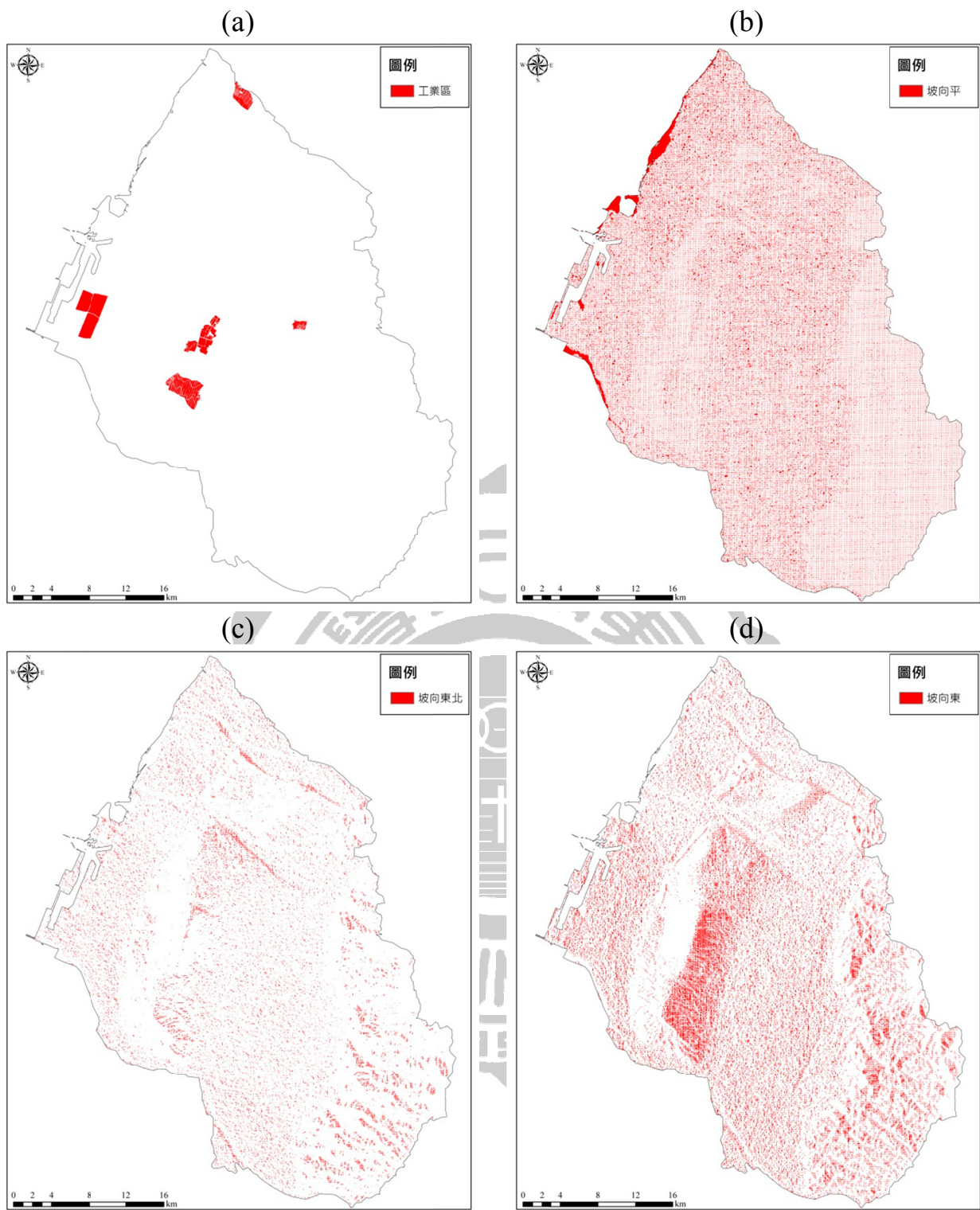


圖 4-7 土地變遷影響因子 (a) 工業區 (b) 坡向平 (c) 坡向東北 (d) 坡向東

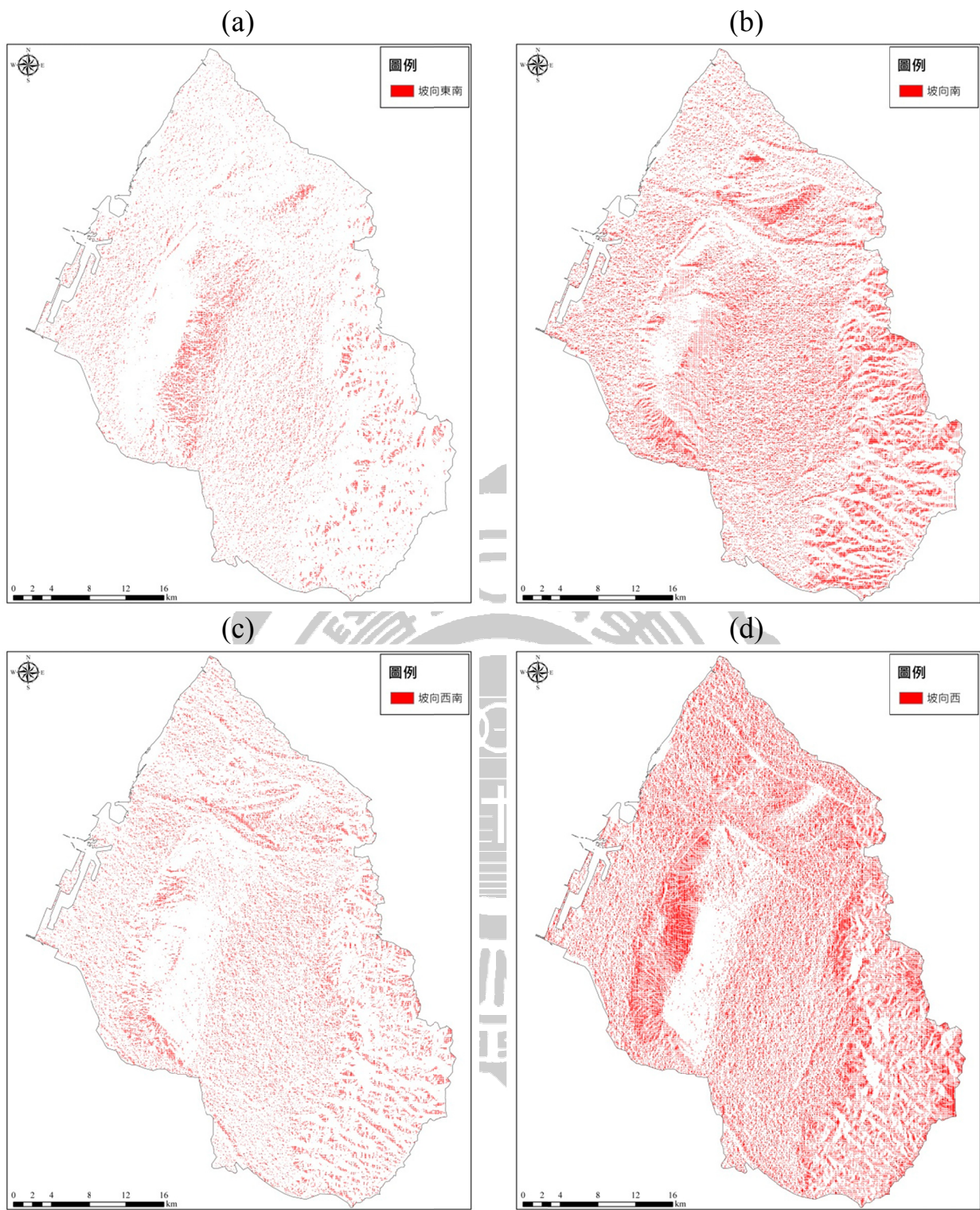


圖 4-8 土地變遷影響因子 (a) 坡向東南 (b) 坡向南 (c) 坡向西南 (d) 坡向西

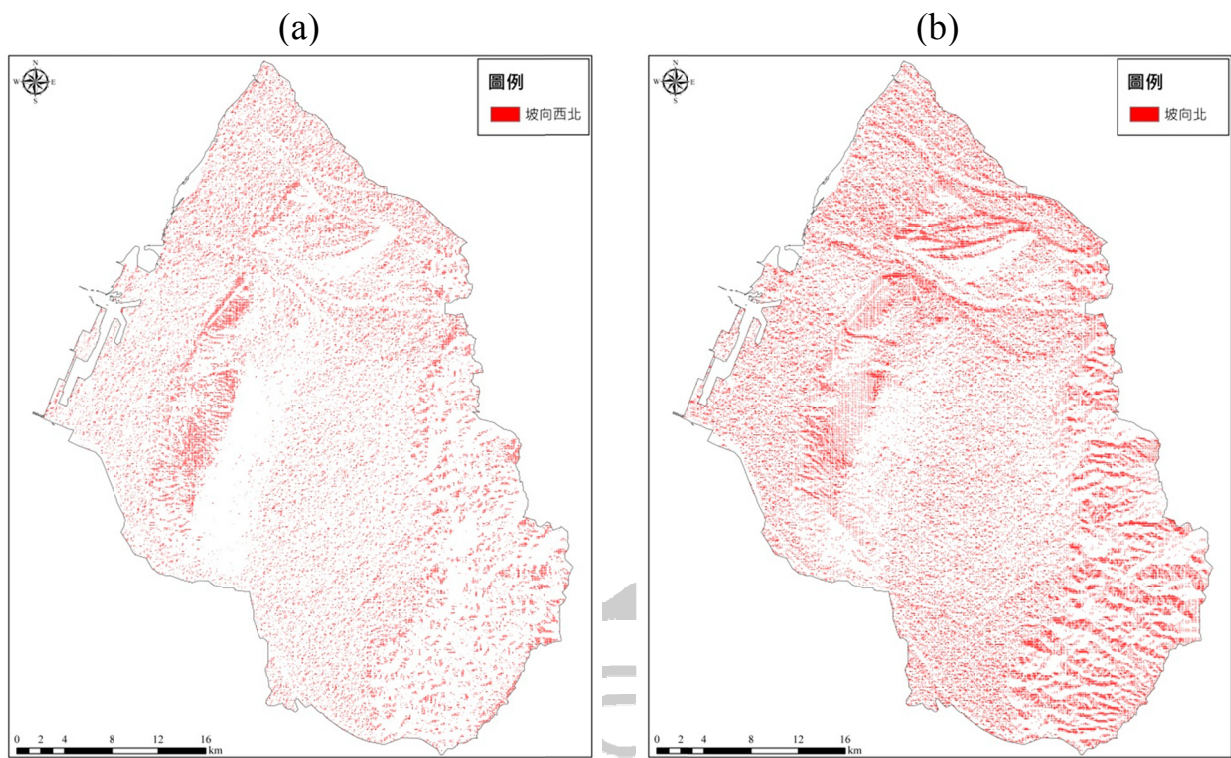


圖 4-9 土地變遷影響因子 (a) 坡向西北 (b) 坡向北



4.2.2 因子共線性診斷

為了避免因子間相關性過高，導致模型預估造成偏差，在因子進入到迴歸模型前須先進行共線性診斷，根據吳宗正（1997）的看法需將變異數膨脹係數高於 10 的因子捨去。如表 4-5 與表 4-6 所示，1995 與 2006 年中，所有因子的變異數膨脹係數皆小於 10，皆可進入迴歸模型。



表 4-5 1995 年因子共線性診斷

自變量	因變量											
	公園	居民點	批發零售	河川	政府機關	學校	主要道路	火車站	交流道	商港	市中心	高程
公園	-	3.883	2.659	3.873	3.857	3.838	3.841	3.830	3.872	3.731	3.855	3.416
居民點	2.505	-	2.459	2.322	2.479	2.315	2.497	2.505	2.499	2.436	2.479	2.503
批發零售	5.464	7.834	-	7.965	7.473	7.916	7.977	7.928	7.017	7.241	7.939	6.708
河川	1.402	1.302	1.403	-	1.405	1.401	1.401	1.405	1.392	1.376	1.394	1.283
政府機關	5.464	5.445	5.153	5.502	-	4.618	4.969	5.484	5.468	5.451	5.493	5.428
學校	3.673	3.434	3.687	3.704	3.119	-	3.544	3.669	3.700	3.614	3.472	3.711
主要道路	3.986	4.017	4.028	4.018	3.639	3.843	-	3.950	3.968	3.888	3.978	3.619
火車站	3.769	3.821	3.797	3.821	3.809	3.773	3.746	-	3.657	3.505	3.729	3.820
交流道	3.154	3.156	2.781	3.133	3.143	3.149	3.115	3.026	-	2.834	2.813	2.432
商港	3.836	3.882	3.623	3.909	3.955	3.882	3.852	3.662	3.577	-	2.845	3.233
市中心	1.952	1.946	1.956	1.950	1.963	1.837	1.941	1.919	1.749	1.401	-	1.934
高程	3.570	4.055	3.412	3.706	4.004	4.053	3.645	4.057	3.121	3.287	3.991	-

表 4-6 2006 年因子共線性診斷

自變量	因變量											
	公園	居民點	批發零售	河川	政府機關	學校	主要道路	火車站	交流道	商港	市中心	高程
公園	-	3.021	2.960	3.007	2.867	2.847	2.952	2.989	3.021	2.857	2.808	2.889
居民點	2.441	-	2.359	1.882	2.441	2.194	2.441	2.437	2.437	2.375	2.420	2.300
批發零售	6.471	6.382	-	6.604	6.288	6.157	6.365	6.577	6.557	6.601	6.430	6.388
河川	1.819	1.409	1.828	-	1.690	1.819	1.827	1.826	1.739	1.649	1.793	1.565
政府機關	6.672	7.030	6.693	6.500	-	6.501	6.252	7.027	6.831	6.808	7.021	6.661
學校	4.688	4.470	4.638	4.951	4.601	-	4.959	4.960	4.972	4.969	4.944	4.907
主要道路	5.166	5.287	5.096	5.286	4.702	5.269	-	5.265	5.080	5.282	5.273	4.631
火車站	3.809	3.843	3.833	3.846	3.848	3.837	3.833	-	3.097	3.847	3.768	3.780
交流道	6.272	6.261	6.227	5.968	6.094	6.267	6.026	5.046	-	3.911	6.085	4.956
商港	5.635	5.797	5.956	5.378	5.771	5.952	5.954	5.956	3.717	-	4.368	4.850
市中心	1.871	1.996	1.961	1.975	2.011	2.001	2.008	1.971	1.954	1.476	-	2.010
高程	4.143	4.081	4.190	3.708	4.105	4.272	3.795	4.254	3.423	3.525	4.324	-

4.2.3 二元邏輯迴歸分析

將上述因子利用 SPSS 中二元 Logistic 模組進行分析，本研究採用向前最大概似法（Forward LR），根據 Score 檢定與概似比參數估計逐步選擇模型中顯著的自變量。各類型土地適宜性計算結果如圖 4-10 至圖 4-13。

表 4-7 為 1995 年各土地利用類型邏輯迴歸分析結果，農業用地出現機率與最近公園的距離、與最近居民點的距離、與最近批發零售的距離、與最近學校的距離、與最近火車站的距離、與最近交流道的距離、與最近商港的距離、與最近市中心的距離、是否為工業區、是否為坡向平、是否為坡向東北、是否為坡向南、是否為坡度 III、是否為坡度 VI 等因子有關。重要的解釋變量為與最近居民點的距離越近、與市中心的距離越遠、與最近學校的距離越近、與最近火車站的距離越遠、與最近商港的距離越遠時農業用地出現的機率越高（詳見附表 4-1）。

森林用地出現機率與最近公園的距離、與最近批發零售的距離、與最近政府機關的距離、與最近學校的距離、與最近主要道路的距離、與最近火車站的距離、與最近交流道的距離、與最近商港的距離、與市中心的距離、高程、是否為工業區、是否為坡向平、是否為坡向西、是否為坡向東北、是否為坡向東南、是否為坡度 I、是否為坡度 II、是否為坡度 III、是否為坡度 VI 等因子有關。重要的解釋變量為高程越高、不是坡度 I、不是坡度 II、與公園的距離越遠時森林用地出現的機率越高（詳見附表 4-2）。

民生用地出現機率與最近公園的距離、與最近居民點的距離、與最近河川的距離、與最近政府機關的距離、與最近學校的距離、與最近主要道路的距離、與最近交流道的距離、與最近商港的距離、與市中心的距離、高程、是否為工業區、是否為坡向北、是否為坡向東北、是否為坡度 I、是否為坡度 II、是否為坡度 III 等因子有關。重要的解釋變量為與最近居民點的距離越近、與市中心的距離越近、與最近河川的距離越遠時民生用地出現的機率越高（詳見附表 4-3）。

工業用地出現機率與最近公園的距離、與最近居民點的距離、與最近批發零售的距離、與最近河川的距離、與最近主要道路的距離、與最近火車站的距離、與最近交流道的距離、與最近商港的距離、是否為工業區、是否為坡度 I、是否為坡度 II、是否為坡度 III、是否為坡度 VI 等因子有關。重要的解釋變量為是工業區、與最近居民點的距離越近、與最近商港的距離越近、與最近批發零售的距離越近、與最近交流道的距離越近、與最近商港的距離越遠時工業用地出現的機率越高（詳見附表 4-4）。

工業區出現機率與最近公園的距離、與最近居民點的距離、與最近批發零售的距離、與最近河川的距離、與最近政府機關的距離、與最近主要道路的距離、與最近火車站的距離、與最近交流道的距離、與市中心的距離、高程、是否為工業區、是否為坡向東、是否為坡向東南、是否為坡度 III 等因子有關。重要的解釋變量為是工業區、與最近居民點的距離越遠、與市中心的距離越遠時工業區出現的機率越高（詳見附表 4-5）。

其他用地出現機率與最近公園的距離、與最近居民點的距離、與最近批發零售的距離、與最近政府機關的距離、與最近學校的距離、與最近主要道路的距離、與最近交流道的距離、與最近商港的距離、與市中心的距離、高程、是否為工業區、是否為坡向西、是否為坡度 III、是否為坡度 IV、是否為坡度 V、是否為坡度 VI 等因子有關。重要的解釋變量為與居民點的距離越遠、高程越低、是坡度 III 時、與最近公園的距離越近時其他用地出現的機率越高（詳見附表 4-6）。

表 4-8 為 2006 年各土地利用類型邏輯迴歸分析結果，其中農業用地出現機率與最近公園的距離、與最近居民點的距離、與最近批發零售的距離、與最近政府機關的距離、與最近學校的距離、與最近主要道路的距離、與最近火車站的距離、與最近交流道的距離、與最近商港的距離、與市中心的距離、高程、是否為工業區、是否為坡向東、是否為坡向東北、是否為坡向東南、是否為坡度 I、是否為坡度 IV、是否為坡度 VI 等因子有關。重要的解釋變量為與最近居民點的距離越近、與市中心的距離越遠、與最近公園的距離越遠、與最近火車站的距離越遠、高程越低時農業用地出現的機率越高（詳見附表 4-7）。

森林用地出現機率與最近公園的距離、與最近居民點的距離、與最近批發零售的距離、與最近河川的距離、與最近火車站的距離、與最近交流道的距離、高程、是否為工業區、是否為坡向平、是否為坡向西南、是否為坡向東北、是否為坡向東南、是否為坡度 I、是否為坡度 II、是否為坡度 III、是否為坡度 VI 等因子有關。重要的解釋變量為高程越高、不是坡度 I、不是坡度 II、與最近公園的距離越近、與最近交流道的距離越遠時森林用地出現的機率越高（詳見附表 4-8）。

民生用地出現機率與最近公園的距離、與最近居民點的距離、與最近批發零售的距離、與最近河川的距離、與最近學校的距離、與最近主要道路的距離、與最近火車站的距離、與最近交流道的距離、與最近商港的距離、與市中心的距離、高程、是否為坡向西、是否為坡向西南、是否為坡向東南、是否為坡向南、是否為坡度 III、是否為坡度 IV、是否為坡度 V、是否為坡度 VI 等因子有關。重要的解釋變量為與最近河川的距離越遠、與最近批發零售的距離越近、與最近學校的距離越近、與市中心的距離越近時民生用地出現的機率越高（詳見附表 4-9）。

工業用地出現機率與最近居民點的距離、與最近批發零售的距離、與最近河川的距離、與最近政府機關的距離、與最近學校的距離、與最近主要道路的距離、與最近火車站的距離、與最近商港的距離、與市中心的距離，是否為坡向平、是否為坡向東南、是否為坡度 I、是否為坡度 II、是否為坡度 III、是否為坡度 IV 等因子有關。重要的解釋變量為與最近批發零售的距離越近、與最近居民點的距離越遠、與市中心的距離越近、是坡度 I、與最近學校的距離越遠時工業用地出現的機率越高（詳見附表 4-10）。

工業區出現機率與最近公園的距離、與最近居民點的距離、與最近批發零售的距離、與最近河川的距離、與最近政府機關的距離、與最近學校的距離、與最近主要道路的距離、與最近火車站的距離、與最近交流道的距離、與最近商港的距離、與市中心的距離、是否為工業區、是否為坡向東、是否為坡向東南、是否為坡向南、是否為坡度 I、是否為坡度 II、是否為坡度 III 等因子有關。重要的解釋變量為是工業區、與最近居民點的距離越遠、與市中心的距離越遠、與最近政府機關的距離越近時工業區出現的機率越高（詳見附表 4-11）。

其他用地出現機率與最近公園的距離、與最近居民點的距離、與最近批發零售的距離、與最近河川的距離、與最近政府機關、與最近學校的距離、與最近主要道路的距離、與最近交流道的距離、與市中心的距離、高程、是否為工業區、是否為坡向西、是否為坡度 II、是否為坡度 III、是否為坡度 IV、是否為坡度 V、是否為坡度 VI 等因子有關。重要的解釋變量為與最近居民點的距離越遠、與市中心的距離越近、與最近河川的距離越近、不是坡度 V 時其他用地出現的機率越高（詳見附表 4-12）。

表 4-7 1995 年二元邏輯迴歸係數統整表

因子	土地類別					
	農業用地	森林用地	民生用地	工業用地	工業區	其他用地
公園	0.00010	0.00028	-0.00005	0.00008	-0.00033	-0.00013
居民點	-0.00154	-	-0.00508	-0.00252	0.00260	0.00199
批發零售	0.00007	-0.00031	-	-0.00045	-0.00051	0.00008
河川	-	-	0.00111	0.00030	-0.00085	-
政府機關	-	0.00028	-0.00024	-	-0.00062	-0.00014
學校	-0.00032	0.00018	-0.00039	-0.00026	-	0.00022
主要道路	-	-0.00004	-0.00012	-0.00017	-0.00065	-0.00004
火車站	0.00008	-0.00011	-	-0.00008	0.00020	-
交流道	-0.00004	0.00012	0.00003	-0.00008	-0.00015	-0.00006
商港	0.00003	-0.00008	-0.00004	0.00006	-	-0.00001
市中心	0.00008	-0.00009	-0.00005	-	0.00016	-0.00003
高程	-	0.01249	0.00062	-	-0.00397	-0.00707
工業區	-0.38444	-3.74180	-1.01906	0.62796	6.87616	-0.66368
坡向平	-0.13532	1.04275	-	-	-	-
坡向東北	0.20096	-1.04726	-0.27473	-	-	-
坡向東	-	-	-	-	0.63607	-
坡向東南	-	-0.57711	-	-	0.53870	-
坡向南	-0.13768	-	-	-	-	-
坡向西南	-	-	-	-	-	-
坡向西	-	0.35715	-	-	-	-0.15929
坡向西北	-	-	-	-	-	-
坡向北	-	-	-0.16634	-	-	-
坡度 I	-	-2.37019	0.93407	2.47168	-	-
坡度 II	-	-1.15083	1.18227	2.21690	-	-
坡度 III	-0.25733	0.23735	1.23511	1.46529	-0.87954	-0.85191
坡度 IV	-	-	-	-	-	-1.20038
坡度 V	-	-	-	-	-	-1.41404
坡度 VI	-0.64601	0.63453	-	-16.12711	-	-2.19650
常數	-1.10031	-0.46851	1.49851	-1.19648	-2.78361	1.83445

註：「-」代表因子與土地利用類型無關

表 4-8 2006 年二元邏輯迴歸係數統整表

因子	土地類別					
	農業用地	森林用地	民生用地	工業用地	工業區	其他用地
公園	0.00037	-0.00049	0.00007	-	-0.00056	-0.00024
居民點	-0.00245	0.00094	-0.00049	0.00075	0.00428	0.00214
批發零售	-0.00019	0.00038	-0.00072	-0.00119	0.00039	0.00009
河川	-	-0.00018	0.00115	-0.00027	-0.00137	-0.00064
政府機關	0.00010	-	-	-0.00015	-0.00134	-0.00018
學校	-0.00009	-	-0.00065	0.00041	-0.00173	0.00028
主要道路	0.00006	-	-0.00004	-0.00003	-0.00024	-0.00007
火車站	0.00008	-0.00009	-0.00005	-0.00003	0.00018	-
交流道	-0.00005	0.00010	0.00003	-	-0.00017	-0.00003
商港	0.00002	-	-0.00002	-0.00001	0.00011	-
市中心	0.00008	-	-0.00004	-0.00003	0.00017	-0.00003
高程	-0.00197	0.00689	0.00144	-	0.00216	-0.00196
工業區	-1.67350	-1.62075	-	-1.62198	8.89660	-0.89817
坡向平	-	0.67041	-	-0.16658	-	-
坡向東北	0.24949	-0.43596	-	-	-	-
坡向東	0.10959	-	-	-	0.91548	-
坡向東南	0.23656	-0.46424	0.19029	-0.15534	0.99865	-
坡向南	-	-	0.13364	-	0.29166	-
坡向西南	-	-0.29144	0.31259	-	-	-
坡向西	-	-	0.13892	-	-	-0.08578
坡向西北	-	-	-	-	-	-
坡向北	-	-	-	-	-	-
坡度 I	0.09295	-2.07249	-	2.81701	16.21927	-
坡度 II	-	-1.28030	-	2.58385	16.40412	0.10005
坡度 III	-	-0.20704	-0.36795	1.72486	14.59231	-0.26941
坡度 IV	0.26143	-	-1.04402	0.72371	-	-1.04150
坡度 V	-	-	-1.39569	-	-	-1.30972
坡度 VI	-0.82146	0.36550	-2.45707	-	-	-1.00185
常數	-1.26986	-0.65253	1.41224	-1.26579	-21.45246	0.92313

註：「-」代表因子與土地利用類型無關

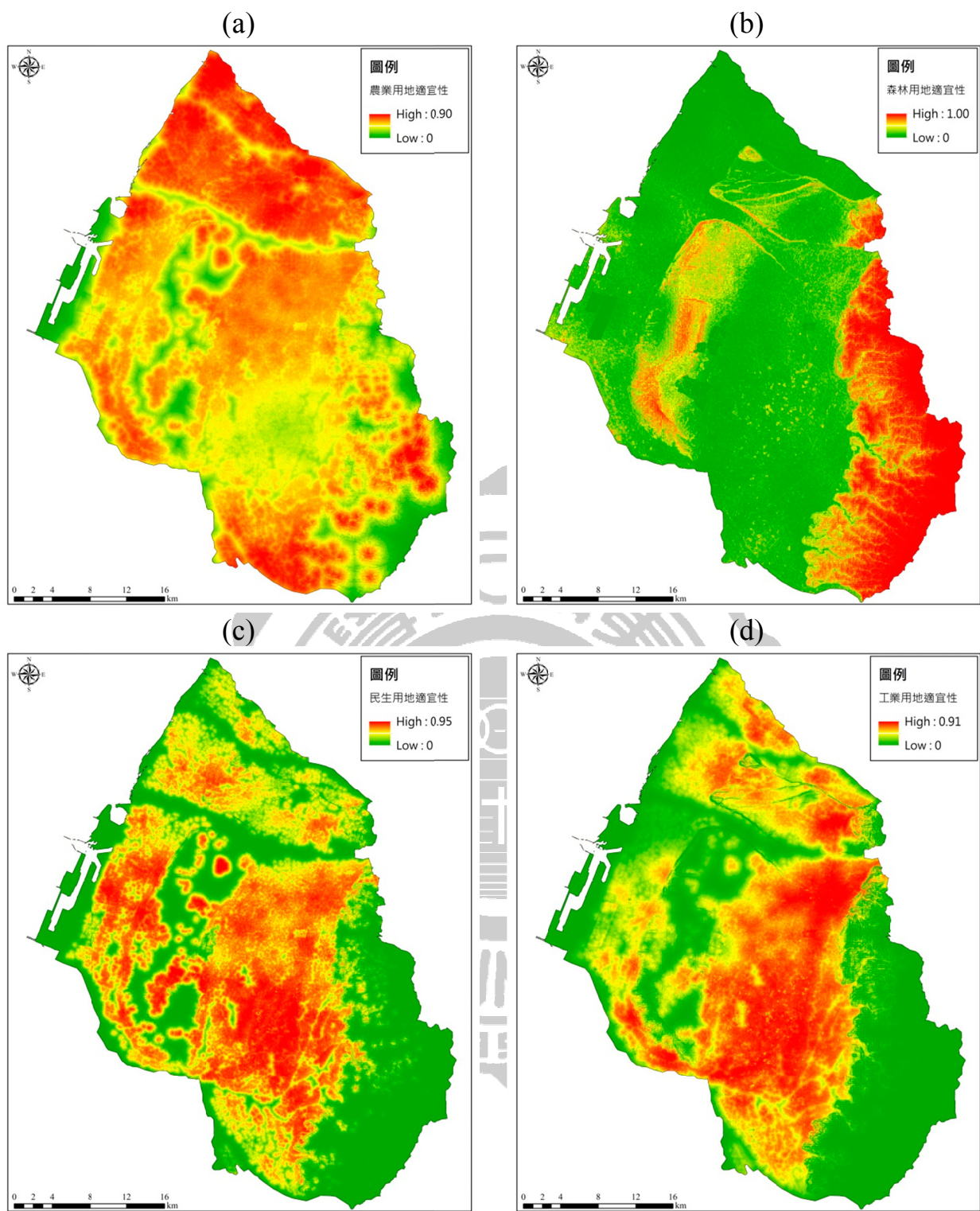


圖 4-10 1995 年土地適宜性分析 (a) 農業用地 (b) 森林用地 (c) 民生用地 (d) 工業用地

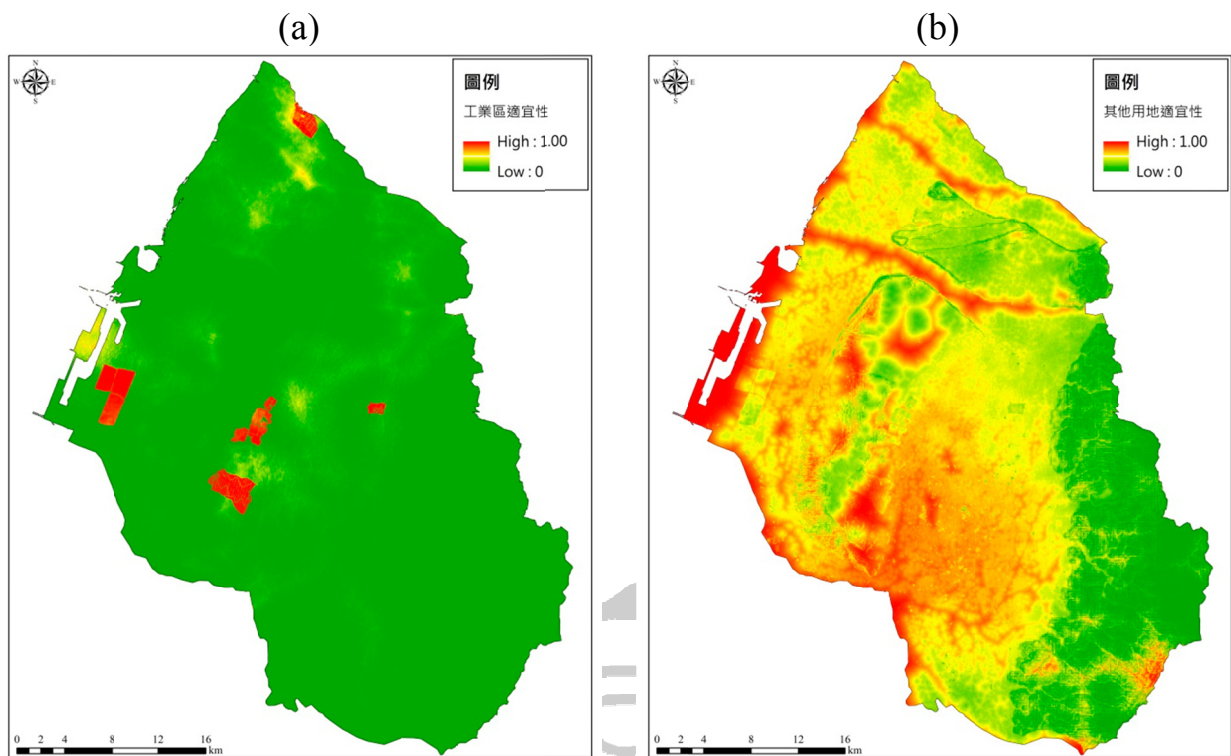


圖 4-11 1995 年土地適宜性分析 (a) 工業區 (b) 其他用地



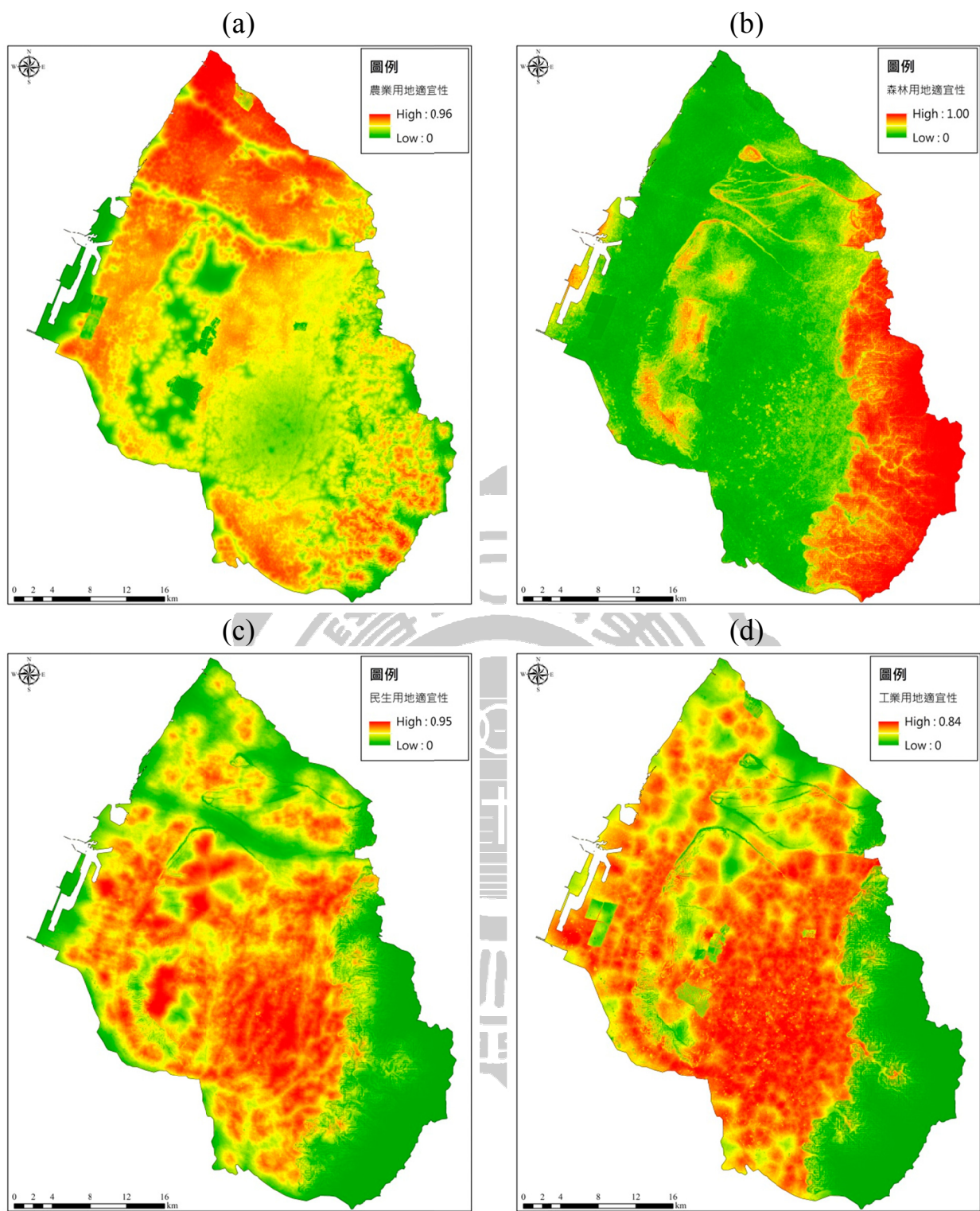


圖 4-12 2006 年土地適宜性分析 (a) 農業用地 (b) 森林用地 (c) 民生用地 (d) 工業用地

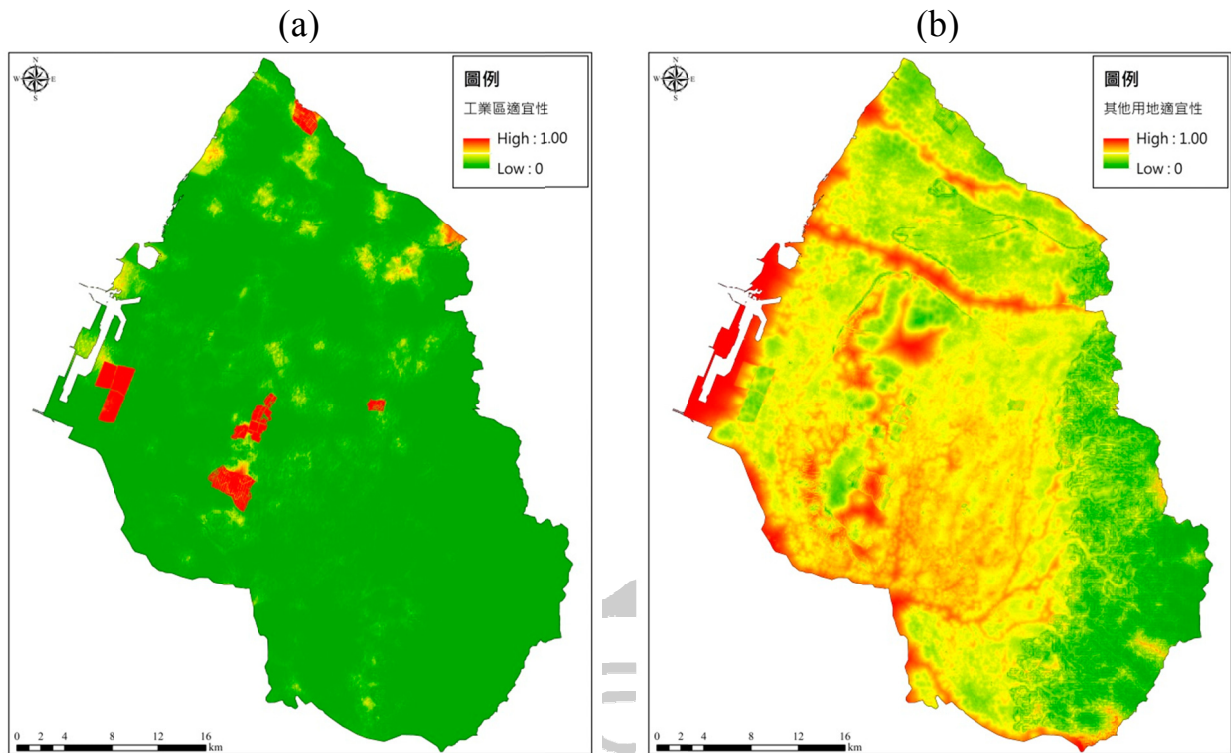


圖 4-13 2006 年土地適宜性分析 (a) 工業區 (b) 其他用地



4.3 土地利用變遷模擬

進行土地利用變遷模擬前，須先進行模型參數設定，確定鄰域範圍、隨機變量的採用與確定模型迭代週期。

4.3.1 土地變遷模型參數設定

1. 情境一

將鄰居半徑與隨機變量依照表 4-9 設定，各土地利用類型鄰域半徑皆設為 5，民生用地引入隨機變量，進行馬可夫細胞自動機計算；為了了解模型中迭代次數與真實時間的關係，首先進行迭代 100 次並利用 Kappa 值驗證，如圖 4-14 所示，迭帶次數在 2 次時有最佳的模擬結果，Kappa 值為 0.43，表示模型中迭代次數兩次對應真實時間為 11 年（1995 到 2006 年間相差 11 年）；表 4-10 為情境一之土地變遷模型驗證表，本研究分別從使用者精度、生產者精度與 Kappa 值分析：

使用者精度分析中在農業用地（59.39%）、森林用地（67.78%）與工業區（69.73%）有較佳的結果，民生用地（38.91%）、工業用地（45.17%）、工業區（36.31%）與其他用地（44.61%）則有較差的結果。

生產者精度分析中在農業用地（69.9%）、森林用地（64.15%）、民生用地（61.45%）與其他用地（64.40%）有較佳的結果，工業用地（7.47%）、工業區（36.31%）則有較差的結果，代表實際是工業用地中有 92.53% 預測為其他土地利用類型，代表在工業用地模擬上明顯無法有效預測。

最後從整體模擬情形計算出 Kappa 值為 0.43，其介於 0.4-0.6 區間，屬於中等的吻合度（moderate）。

表 4-9 情境一之土地變遷參數設定

土地類型	鄰域半徑	隨機變量
農業用地	5	-
森林用地	5	-
民生用地	5	$1 + (-\ln\gamma)^2$
工業用地	5	-
工業區	5	-
其他用地	5	-

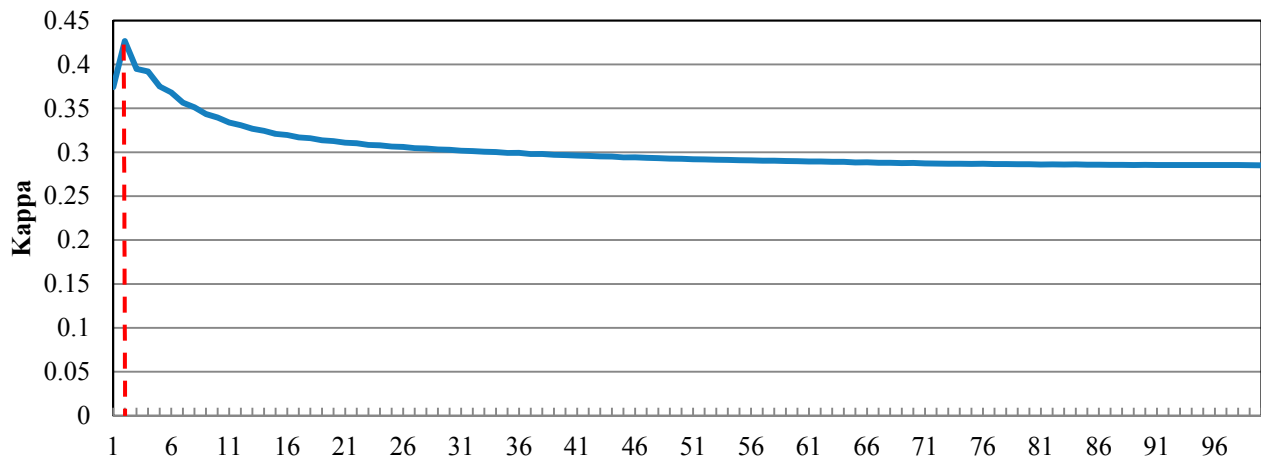


圖 4-14 模型迭代週期與 Kappa 係數關係圖

表 4-10 情境一之土地變遷模型驗證表

實際 \ 預測	農業 用地	森林 用地	民生 用地	工業 用地	工業區	其他 用地
農業用地	262527(格)	32901(格)	47522(格)	1067(格)	350(格)	31196(格)
森林用地	47559(格)	127585(格)	10119(格)	575(格)	66(格)	12993(格)
民生用地	35890(格)	4050(格)	99022(格)	1289(格)	502(格)	20396(格)
工業用地	20020(格)	769(格)	19951(格)	4125(格)	39(格)	10349(格)
工業區	2551(格)	0(格)	535(格)	85(格)	3881(格)	3636(格)
其他用地	73511(格)	22939(格)	77328(格)	1991(格)	728(格)	142130(格)
使用者精度(%)	59.39	67.78	38.91	45.17	69.73	64.40
生產者精度(%)	69.90	64.15	61.45	7.47	36.31	44.61
整體準確度(%)			57.07			
Kappa			0.43			

2. 情境二

將鄰居半徑與隨機變量依照表 4-11 設定，各土地類型鄰居半徑皆設為 5，民生用地引入隨機變量；由於其他用地主要由水體與道路所組成，較難準確的預測，以及工業區為政府之政策，故本研究將 2006 年土地利用類型為其他用地與工業區直接覆蓋到預測結果圖上；表 4-12 為情境二之土地變遷模型驗證表，可得知預測結果與實際結果之 Kappa 值為 0.64，介於 0.61-0.80 區間，屬於高度的吻合度（substantial）。

表 4-11 情境二之土地變遷參數設定

土地類型	鄰域半徑	隨機變量
農業用地	5	-
森林用地	5	-
民生用地	5	$1 + (-\ln\gamma)^2$
工業用地	5	-
工業區	5	-
其他用地	5	-

表 4-12 情境二之土地變遷模型驗證表

實際 \ 預測	農業 用地	森林 用地	民生 用地	工業 用地	工業區	其他 用地
農業用地	262527(格)	32901(格)	47522(格)	1067(格)	350(格)	31196(格)
森林用地	47559(格)	127585(格)	10119(格)	575(格)	66(格)	12993(格)
民生用地	35890(格)	4050(格)	99022(格)	1289(格)	502(格)	20396(格)
工業用地	20020(格)	769(格)	19951(格)	4125(格)	39(格)	10349(格)
工業區	0(格)	0(格)	0(格)	0(格)	10688(格)	0(格)
其他用地	0(格)	0(格)	0(格)	0(格)	0(格)	318627(格)
使用者精度(%)	71.73	77.18	56.07	58.46	91.78	80.96
生產者精度(%)	69.90	64.15	61.45	7.47	100	100
整體準確度(%)				73.43		
Kappa				0.64		

4.3.2 土地利用變遷模擬結果

1. 2006 年土地利用變遷預測成果

依照 4.3.1 的分析，將模型參數設定如表 4-10 會有最佳預測結果。首先以 1995 年土地利用成果數值檔作為起始年，將 1995-2006 年間土地轉移機率矩陣、1995 年土地適宜性、鄰域範圍與隨機變數進入馬可夫細胞自動機模型，預測 2006 年土地利用情形，可求得 2006 年土地利用類型如圖 4-15 所示，可以發現民生用地有逐漸向外擴張的趨勢，導致農業用地面積減少；工業用地因其與民生用地在空間分布上較近，在預測時容易分類為民生用地，導致工業用地面積減少。另外在東邊地森林用地，依造山坡地土地可利用限度分類標準，多屬於五級坡地與六級坡地，應行造林以維持自然林木，故無法在此區域進行開發。

以模擬結果來看台中市目前發展重心還是偏向於舊台中市區域、大肚台地周邊、大甲區與豐原區。



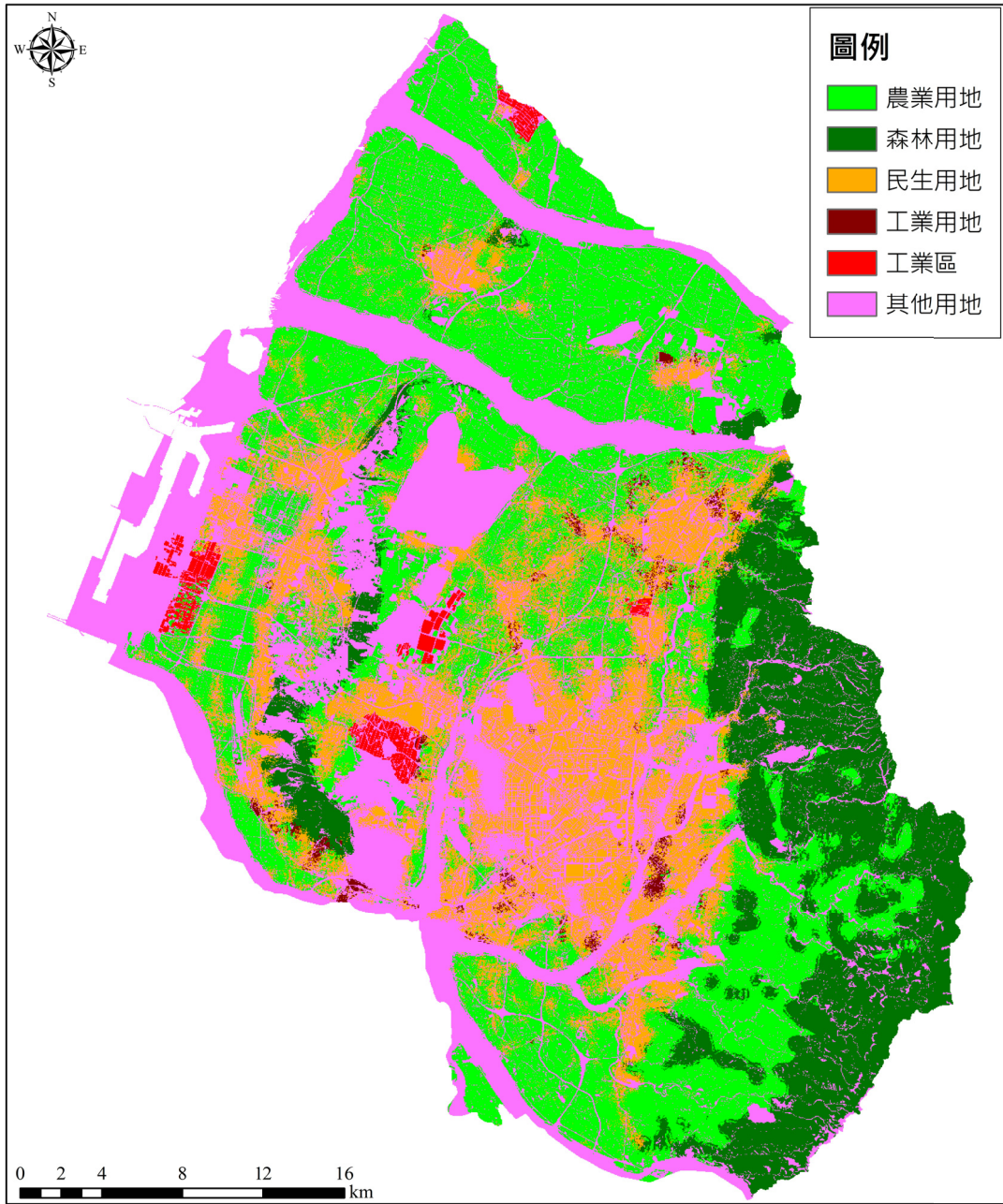


圖 4-15 2006 年之土地利用預測成果圖

2. 2017 年之預測成果圖

依照前一小節之參數，以 2006 年土地利用成果圖作為起始年，沿用 1995-2006 年之土地轉移機率矩陣、2006 年各土地利用類型適宜性、鄰域範圍與隨機變數進行馬可夫細胞自動機模擬，模擬結果如圖 4-16 所示，以台中市區為圓心來看，隨著距離圓心由近到遠依序出現的用地分別為民生用地、工業用地、農業用地與森林用地，其可能原因為台中市區具有環境、經濟誘因與交通便利之因素吸引民眾居住在此，且工業用地通常緊鄰民生用地；此外距離台中市中心越遠越容易為農業用地，原因為農業用地所能提供的就業機會不多，且屬於郊區，環境、經濟與交通誘因不佳。

綜觀整體而言，民生用地具有聚集性的現象，會使周遭土地轉為民生用地，形成都市擴增。



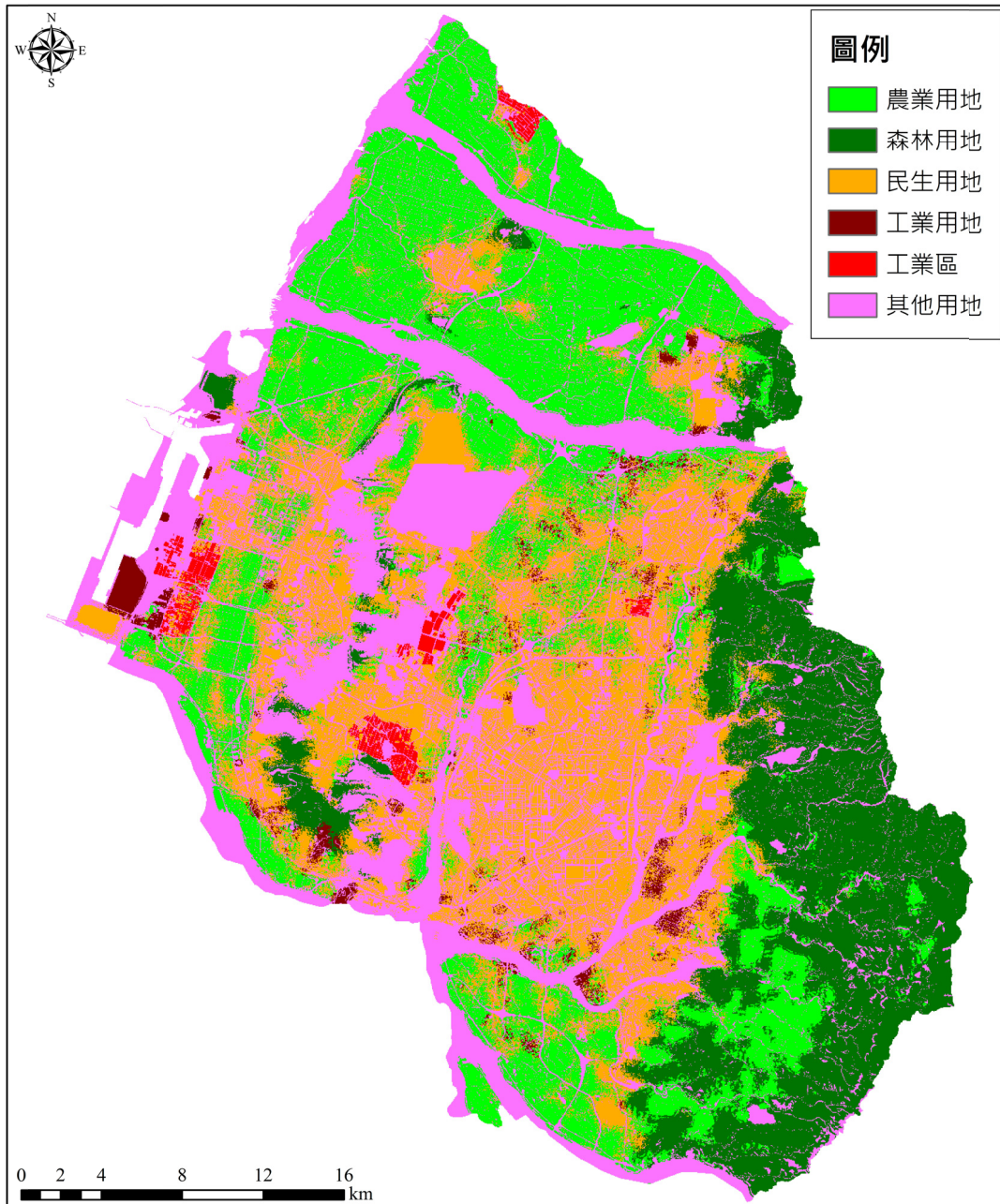


圖 4-16 2017 年之土地利用預測成果圖

4.4 景觀格局分析

為了瞭解台中市景觀組成，並探討是否因人為因素，而導致生態環境受到衝擊與破壞，本研究利用 Fragstats 軟體分別以景觀層級與類別層級計算景觀指數。

4.4.1 1995 至 2006 年間景觀格局分析

首先以景觀層級來看，如表 4-13 所示，嵌塊體數量由原來的 38,196 大幅上升至 58,098，代表景觀嚴重破碎化，導致嵌塊體數量增加；最大嵌塊體指數從 7.83 上升至 11.27，代表某土地利用類型在空間分布上有集中的趨勢而使最大嵌塊體大小上升；邊界總長度由 12,432,540 公尺上升至 17,062,560 公尺，可以看出嵌塊體越趨向複雜多變的形狀，而使邊界總邊度增加；形狀指數從 72.76 上升至 99.48；平均嵌塊體大小由 2.64 下降至 1.74 可見景觀更為破碎；平均最近距離由 87.58 小幅下降至 87.51，代表景觀間距離無明顯的改變；棲地多樣性指數由 1.35 上升至 1.50，表示研究樣區內土地利用類型豐富且多樣。

以類別層級來看如表 4-14 所示，嵌塊體數目中所有的土地類型皆為上升，代表各土地類別破碎化程度高；嵌塊體密度中農業用地從 1.06 上升至 2.76、森林用地由 0.30 上升至 1.69、民生用地由 5.39 上升至 8.03、工業用地由 2.04 上升至 5.63、其他用地由 11.50 上升至 12.80，代表 2006 年各土地利用類型相對 1995 年時破碎化程度高，土地類型交錯分布。

最大嵌塊體指數中下降的只有農業用地，由 4.86% 下降至 1.90%，可看出因農業需求大不如前，導致農業用地轉為其他土地利用類型而產生破碎化，使得最大嵌塊體指數下降，其餘土地類型皆為上升。

邊界總長度中農業用地由 7,956,030 公尺上升至 9,004,680 公尺、森林用地由 1,520,640 公尺上升至 3,506,340 公尺、民生用地由 5,143,350 公尺上升至 7,472,490 公尺、工業用地由 1,372,410 公尺上升至 3,142,530 公尺、工業區由 170,940 公尺上升至 249,870 公尺、其他用地由 8,701,710 公尺上升至 10,749,210 公尺，可以看出各土地利用類型嵌塊體越趨向複雜多變的形狀，而使總邊長增加。

形狀指數中農業用地由 95.52 上升至 122.81、森林用地由 31.38 上升至 66.47、民生用地由 129.74 上升至 155.14、工業用地由 71.73 上升至 111.28、工業區由 18.43 上升至 20.28、其他用地由 130.99 上升至 161.51，可見所有土地類型受到人為因素而使嵌塊體形狀趨向於正方形。

平均嵌塊體大小中除了工業區之外所有土地類型皆為下降，農業用地由 22.03 公頃下降至 6.52 公頃、森林用地由 27.98 公頃下降至 5.66 公頃可看出破碎程度增加，工業區由 4.99 公頃上升至 9.08 公頃；由於工業區為政府之政策，在空間分布上較為集中，導致平均嵌塊體大小增加。

平均最近距離中農業用地由 89.88 公尺上升至 91.51 公尺表示農業用地嵌塊體間距離增加導致破碎程度也隨之增加，森林用地由 209.75 公尺下降至 143.08 公尺、民生用地從 92.29 公尺下降至 86.33 公尺、工業用地由 125.42 公尺下降至 100.16 公尺、其他用地由 75.28 公尺下降至 74.50 公尺表示其在空間分布上較為集中，各土地利用類型之嵌塊體間距離較為接近。

4.4.2 2006 至 2017 年間景觀格局分析

首先以景觀層級來看如表 4-13 所示，嵌塊體數量由原來 58098 個減少為 42841 個，代表景觀層級中有某些土地類型在空間分布上有聚集的情形發生；最大嵌塊體指數由 11.27% 上升至 13.45%，代表景觀層級中有某土地類型在空間分布上有集中的趨勢；邊界總長度由 17,062,560 公尺下降至 16,105,080 公尺可以看出嵌塊體越趨向簡單的形狀，而使總邊長下降；形狀指數由 99.48 下降至 93.95，表示 2017 年嵌塊體形狀相較於 1995 年越接近正方形，表示受到人為因素影響；平均嵌塊體大小由 1.74 上升至 2.35 代表破碎化程度下降而導致平均嵌塊體大小增加；平均最近距離由 87.51 公尺下降至 73.43 公尺，可見各嵌塊體間距離較近，成空間聚集分布；shannon 多樣性指數由 1.50 下降為 1.47，代表破碎化程度下降。

以類別層級來看如表 4-14 所示，嵌塊體數目中森林用地與其他用地為減少，表示在空間分布上有集中之趨勢，農業用地與工業區無明顯增加，民生用地與工業用地為增加，可能的原因為其他土地類型轉為民生與工業用地，且不與原有之民生與工業用地嵌塊體相鄰，無法視為同一嵌塊體，而導致嵌塊體數目上升。

嵌塊體密度中，民生用地與工業用地分別從 8.03 與 5.63 上升至 8.44 與 7.45，森林用地與其他用地則是下降，農業用地與工業區保持不變。

最大嵌塊體指數中森林用地、民生用地、工業用地與其他用地為上升，表示上述四種土地利用類型在空間分布上有集中之趨勢，反之農業用地由 1.90% 下降為 1.75%，因農業用地轉向了其他土地利用類型，導致原來的農業用地嵌塊體被切割成數個嵌塊體，最大嵌塊體指數下降。

邊界總長度中農業用地與森林用地分別由 9,004,680 公尺與 3,506,340 公尺下降為 5,865,180 公尺與 2,549,130 公尺，表示嵌塊體數目因減少與合併現象發生，使其趨向集中；民生用地、工業用地、工業區與其他用地在邊界總長度上為上升，表示在空間分佈上由其他土地利用類型轉為當前類型，且與原有嵌塊體不連接而導致。

形狀指數中農業用地、森林用地與其他用地數值下降表示受到人為開發的影響嵌塊體形狀越趨於正方形，反之民生用地與工業用地上升代表嵌塊體形狀越偏離正方形。

平均嵌塊體大小中農業用地由 6.52 公頃下降至 3.70 公頃，其餘土地利用類型皆為上升，可見農業用地受到人為影響導致嵌塊體破碎，使得平均嵌塊體大小減少。

平均最近距離中所有土地利用類型皆為下降，表示在空間分布上各土地利用類型間距離較近，有聚集的趨勢。

表 4-13 景觀層級之景觀指數分析

時間	景觀指數						
	NP	LPI	TE	LSI	AREA MN	ENN MN	SHDI
1995	38,196	7.83	12,432,540	72.76	2.64	87.58	1.35
2006	58,098	11.27	17,062,560	99.48	1.74	87.51	1.50
2017	42,841	13.45	16,105,080	93.95	2.35	73.43	1.47



表 4-14 類別層級之景觀指數分析

景觀指數	時間	農業用地	森林用地	民生用地	工業用地	工業區	其他用地
NP	1995	1983	563	10122	3832	108	21588
	2006	5187	3163	15059	10556	106	24027
	2017	5160	1129	15842	13987	110	22496
PD	1995	1.06	0.30	5.39	2.04	0.06	11.50
	2006	2.76	1.69	8.03	5.63	0.06	12.80
	2017	2.75	0.60	8.44	7.45	0.06	11.99
LPI	1995	4.86	3.29	0.14	0.02	0.09	7.83
	2006	1.90	6.10	0.34	0.14	0.16	11.27
	2017	1.75	6.94	0.46	0.21	0.17	14.19
TE	1995	7,956,030	1,520,640	5,143,350	1,372,410	170,940	8,701,710
	2006	9,004,680	3,506,340	7,472,490	3,142,530	249,870	10,749,210
	2017	5,865,180	2,549,130	10,479,720	5,599,650	276,180	10,993,380
LSI	1995	95.52	31.38	129.74	71.73	18.43	130.99
	2006	122.81	66.47	155.14	111.28	20.28	161.51
	2017	106.34	49.47	180.86	146.36	20.90	153.43
AREA_MN	1995	22.03	27.98	0.97	0.60	4.99	1.33
	2006	6.52	5.66	0.96	0.47	9.08	1.19
	2017	3.70	15.27	1.32	0.65	10.03	1.48
ENN_MN	1995	89.88	209.75	92.29	125.42	85.08	75.28
	2006	91.51	143.08	86.33	100.16	88.53	74.50
	2017	83.46	90.86	77.87	82.09	82.59	74.13

4.5 環境衝擊分析

將 1995 年、2006 年與預測之 2017 年土地利用成果圖搭配集水區的概念進行各集水區內地表逕流量計算，並探討土地變遷下對環境上的衝擊，作法為將各年份土地利用成果圖與集水區圖層利用 ArcGIS 中 Intersect 模組套疊分析後，利用 Excel 中樞紐分析表功能計算出各集水區內每種土地利用類型面積，並計算單位面積地表逕流量，其中採用短延時 2 年、3 年、5 年暴雨頻率，降雨延時設為 30 分鐘。

4.5.1 建立集水區

將 ASTER GDEM 的高程資料，其為 30 公尺×30 公尺的網格式資料，首先利用 ArcGIS 中 Flow Direction 模組進行河流方向的計算，再者利用人工方式建立匯流點圖層，最後使用 Watershed 模組進行集水區劃分，如圖 4-17 所示，可將研究範圍分為 280 個集水區。



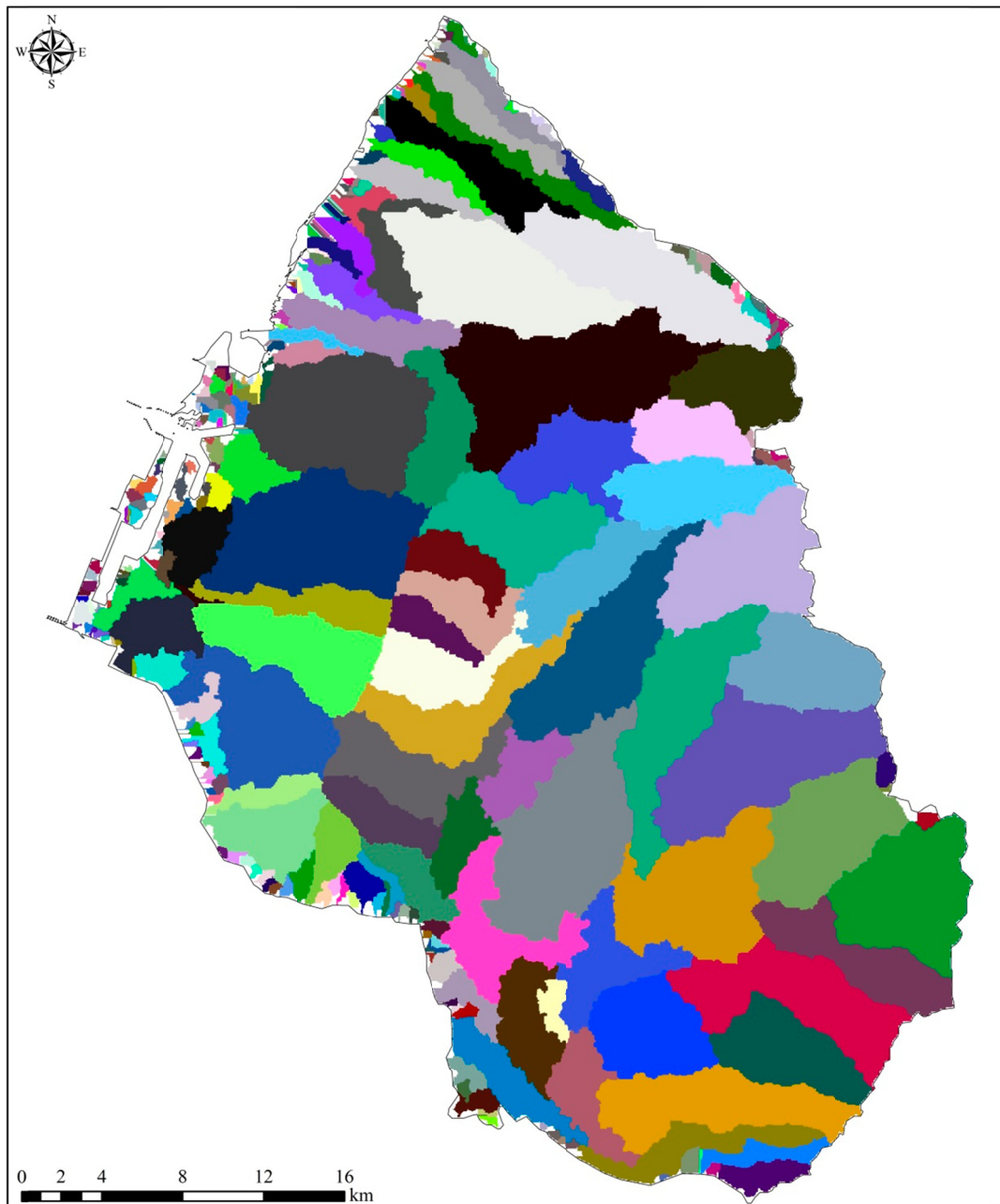


圖 4-17 集水區示意圖

4.5.2 暴雨頻率 2 年降雨延時 30 分鐘

設定暴雨頻率年為 2 年，降雨延時為 30 分鐘，計算每集水區中單位面積地表逕流量，依照數值大小共分為：小於 0.16 mm/ha（灰色）、介於 0.16 mm/ha 至 0.19 mm/ha（黃色）、介於 0.19 mm/ha 至 0.22 mm/ha（橘色）與大於 0.22 mm/ha（紅色）。

如圖 4-18 所示，在 1995 年，橘色區域共可分為三大塊：

1. 筏子溪以東之西屯區、南屯區、北區、中區、南區、西區、東區。
2. 台中港周圍梧棲區與龍井區。
3. 大甲溪近出海口；

2006 年與 1995 年相差不大，只有在靠近台中港之梧棲與龍井區單位地表逕流量下降；2017 年時，橘色區塊相較於 2006 年時向西延伸至筏子溪以西之西屯區、南屯區與烏日區，並向北延伸至北屯區、潭子區與豐原區。

4.5.3 暴雨頻率 3 年降雨延時 30 分鐘

設定暴雨頻率年為 3 年，降雨延時為 30 分鐘，計算每集水區中單位面積地表逕流量，如圖 4-19 所示，在 1995 年，橘色區域共可分為四大塊：

1. 筏子溪以東之西屯區、南屯區、北區、中區、南區、西區、東區。
2. 台中港周圍之梧棲區與龍井區。
3. 大甲溪近出海口並延伸至清水區的東側。
4. 大安溪；

到 2006 年時，相對於 1995 年：

1. 除了筏子溪以東外，還增加了筏子溪以西之西屯區與烏日區。
2. 減少為台中港周圍之梧棲區。
3. 清水區的東側。
4. 維持大安溪不變；

在 2017 年時，橘色區塊擴大為大雅區、西屯區、南屯區、潭子區、北區、中區、南區、東區、西區、大里區、烏日區、豐原區、神岡區、后里區、梧棲區、沙鹿區、清水區東側、大甲溪與大安溪等。

4.5.4 暴雨頻率 5 年降雨延時 30 分鐘

設定暴雨頻率年為 3 年，降雨延時為 30 分鐘，計算每集水區中單位面積地表逕流量，如圖 4-20 所示，在 1995 年紅色區域可分為三大塊：

1. 筏子溪以東之西屯區、南屯區、北區、中區、南區、西區、東區。
2. 台中港周圍之梧棲區與龍井區。
3. 大甲溪近出海口。

橘色區域有筏子溪以西之西屯區、南屯區與烏日區以及清水區東側、神岡區、大雅區北側、龍井區西側與大安溪。

2006 年時紅色區域可分為兩大塊：

1. 西屯區東南側、南屯區東北側、北區西北側與西區西北側。
2. 梧棲區西北側與台中港區。

橘色區域有大雅區、西屯區、南屯區、潭子區、北區、中區、南區、東區、西區、大里區、烏日區、豐原區、神岡區、后里區南側、梧棲區、沙鹿區、龍井區、清水區東側、大甲溪與大安溪。

2017 年時紅色區域可分為兩大塊：

1. 筏子溪以東之西屯區、南屯區、北區、中區、南區、西區、東區與筏子溪以西之西屯區、烏日區。
2. 梧棲區西北側與台中港區。

橘色區域為大雅區、西屯區、南屯區、潭子區、北區、中區、南區、東區、西區、大里區、烏日區、豐原區、神岡區、后里區南側、梧棲區、沙鹿區、龍井區、大肚區、清水區、大甲溪與大安溪。

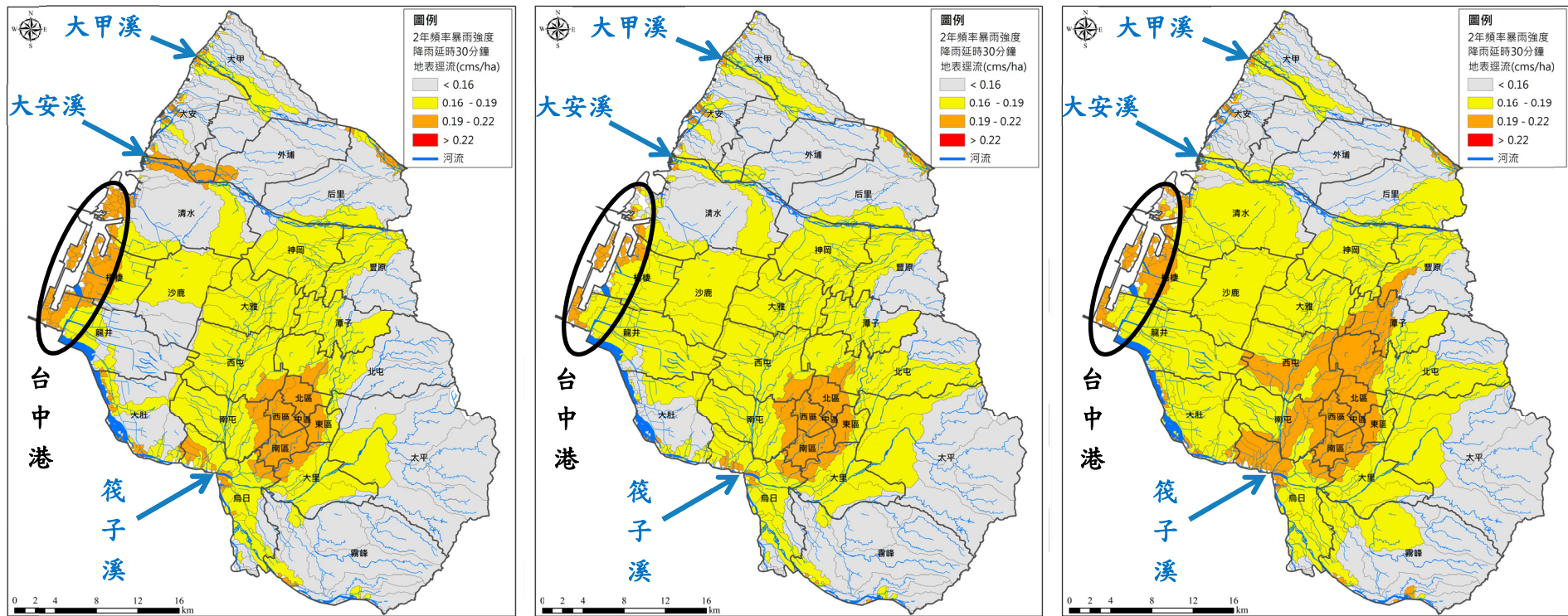


圖 4-18 2 年暴雨強度降雨延時 30 分(由左至右為 1995、2006、2017 年)

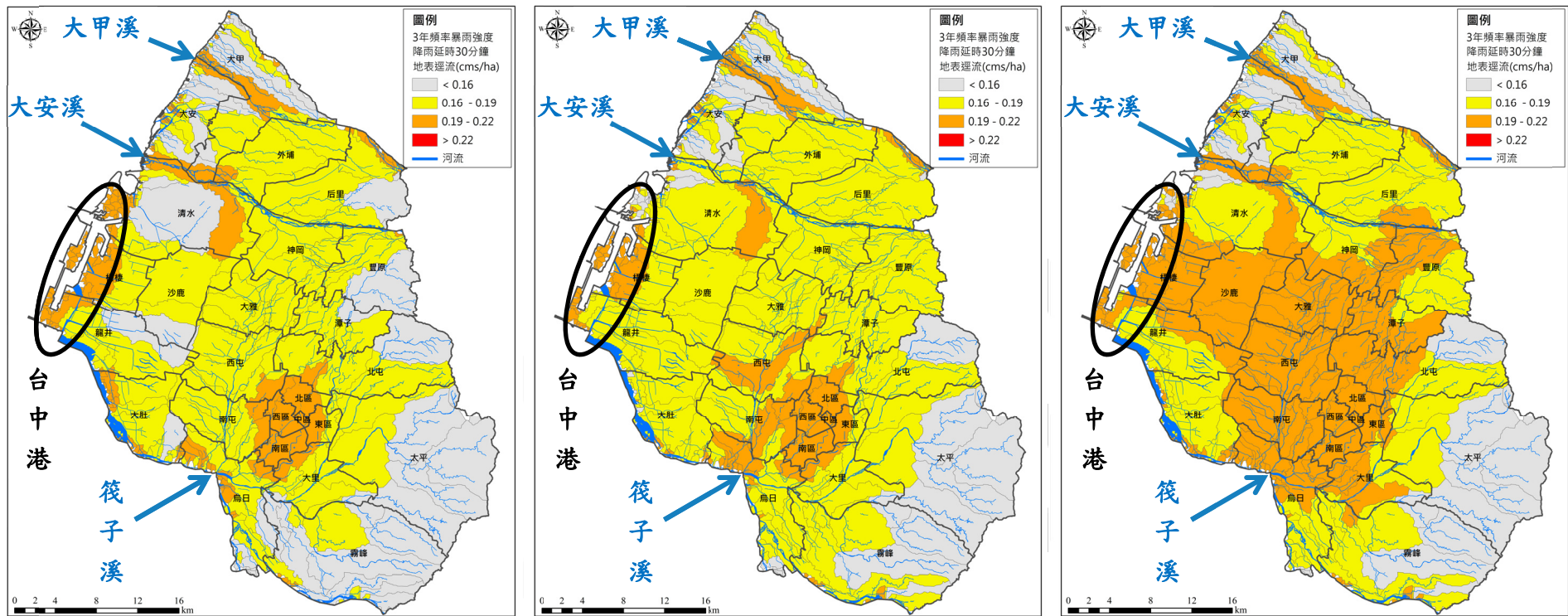


圖 4-19 3 年暴雨強度降雨延時 30 分(由左至右為 1995、2006、2017 年)

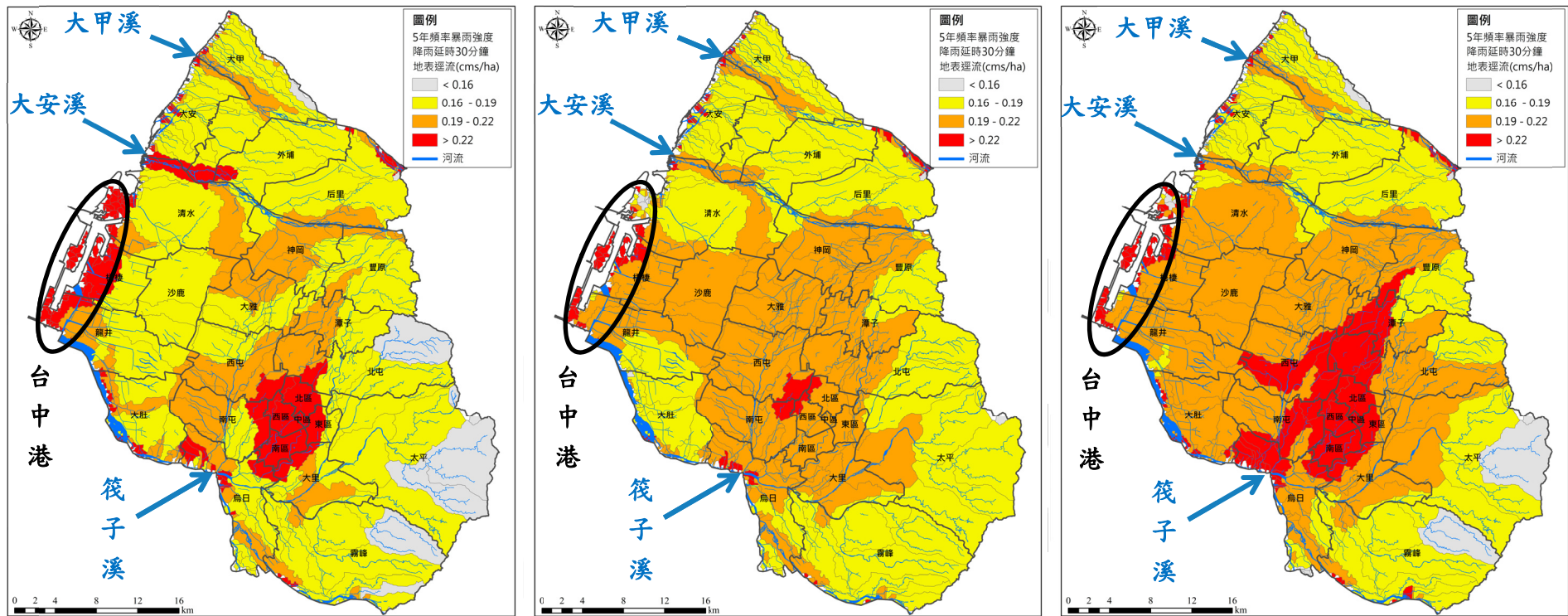


圖 4-20 5 年暴雨強度降雨延時 30 分(由左至右為 1995、2006、2017 年)

4.5.5 淹水潛勢區改善方案

依照前述單位地表逕流量分析，在 2017 年較有可能的淹水區域為筏子溪以東之西屯區、南屯區、北區、中區、南區、西區、東區與筏子溪以西之西屯區、烏日區，本研究建議針對此區域進行下列方案以減少地表逕流量來降低淹水發生機率：

1. 建置與改善雨水下水道系統
2. 規劃滯洪空間（如具有滯洪功能之景觀生態公園）
3. 建置屋頂雨水貯集系統
4. 推動綠屋頂
5. 將道路覆以多孔性材質指其具有較佳排水功能



第5章 結論與建議

5.1 結論

1. 本研究嘗試將馬可夫細胞自動機計算公式與土地利用轉變門檻值藉由 Matlab 模擬土地變遷情形，並利用 ArcGIS 呈現土地預測之結果，研究成果顯示，此模型具有解釋能力。
2. 馬可夫細胞自動機是一個由下而上的模型，無法考慮政策因素，僅考慮自然環境因素，故本研究將政策引入模型中進而提高模型預測準確度。
3. 由景觀指數分析中可以得到本研究樣區內在 1995~2006 年間景觀破碎化程度較高，代表都市化程度上升，其中以農業用地破碎化程度最高；2006~2017 年間因都市化程度在前一時段已趨向於飽和，景觀破碎化程度相較於前一時段已趨於平緩。可見台中市由開發中階段逐漸轉變為開發飽和。
4. 由單位地表逕流量分析可得到：隨著時間以西屯區、南屯區、北區、中區、南區、西區、東區為圓心向外增加單位地表逕流量，與土地利用成果圖比對，因研究期間內民生用地與工業用地增加快速，不透水層面積比例增加，導致單位面積地表逕流量增加，相對提升該區域淹水發生機率。對該區域建置雨水下水道系統、並規劃滯洪空間、利用大樓屋頂設立雨水貯集系統與綠屋頂概念、並將道路覆以多孔性材質將能有效降低地表逕流量。

5.2 建議

1. 本研究在工業用地預測準確度低，希望後續研究能夠針對工業用地適宜性來做分析，探討影響工業用地出現的因素。
2. 在城市發展隨機變量上。可以利用程式迴圈的功能不斷試出最佳的參數值，以提高模擬的準確度。
3. 在地表逕流量分析中，若能取得台中市雨水下水道管線圖層，則可以用地表逕流量減去雨水下水道排水量來初步估算該集水區中淹水情形。

中文參考文獻

1. 張正亮、張瑞津，2006，運用馬可夫鏈模型與細胞自動機理論模擬植生復育之研究：以九九峰地區為例，地理研究，第 45 卷，123-142 頁。
2. 吳佩玲、蕭宇昂，2012，結合馬可夫鍊與細胞自動機理論建構景觀變遷之模式：以南投市埔里鎮為例，台灣地理資訊學會年會暨學術研討會，A7-9。
3. 鄒克萬、顧家安、郭幸福，2014，以馬可夫鍊細胞自動機模型模擬極端洪水對都市土地利用型態之影響：以台北市為例，都市與計畫，第 41 卷，第 1 期，43-66 頁。
4. 劉淳鈺，2012，土地利用時空格局模擬-以中部科學工業園區台中基地之特定區計畫為例，逢甲大學土地管理所，碩士論文。
5. 林裕彬、朱宏杰、吳振發，2011，土地使用變遷模式回顧與比較，國土資訊系統通訊，第 77 期，46-53 頁。
6. 楊國清、劉耀林、吳志峰，2007，基於 CA-Markov 模型的土地利用格局變化研究，武漢大學學報-信息科學版，第 32 卷，第 5 期。
7. 劉縣明，2008，CA-Markov 複合模型及其在城市土地利用中的應用研究，南昌大學，碩士論文。
8. 吳艷艷，2009，Markov-CA 模型支持下的武漢市土地利用變化模擬與預測，武漢理工大學資源與環境工程學院，碩士論文。
9. 鄭燕鳳，2009，基於 GIS 的 CA_MARKOV 模型的土地利用變化研究，山東農業大學土地資源管理學院，碩士論文。
10. 鄭清華、羅格平、朱磊、周德成，2010，基於 CA-Markov 模型的伊犁河三角洲景觀格局預測，應用生態學報，第 21 卷，第四期，873-882 頁。
11. 劉淑燕、余新曉、李慶雲、李洪禹、雷鳳燕，2010，基於 CA-Markov 模型的黃土丘陵區土地利用變化，農業工程學報，第 26 卷，第 11 期，297-303 頁。
12. 肖明、吳季秋、陳秋波、金美佳，郝雪迎、張揚建，2012，基於 CA_Markov 模型的昌化江流域土地利用動態變化，農業工程學報，第 28 卷，第 10 期，

231-238 頁。

13. 凌成星、鞠洪波、張懷清、孫華，2012，基於 CA-MARKOV 模型的北京濕地資源變化預測研究，中國農學通報，第 28 卷，第 20 期，262-269 頁。
14. 魏永坤，2014，基於 IDRISI CA-Markov 模型的閔行區土地利用變化及預測，上海師範大學學報，第 43 卷，第 1 期，99-10 頁。
15. 李小龍、高敏華、包茹，2014，基於 CA-MARKOV 模型的土地利用變化預測研究-以新疆昌吉市為例，中國農學通報，第 30 卷，第 14 期，315-320 頁。
16. 中央研究院，2011，因應氣候變遷之國土空間規劃與管理政策建議書。
17. 徐嘉興、李鋼、陳國良，2012，基於 logistic 迴歸模型的礦區土地利用演變驅動力分析，農業工程學報，第 28 卷，第 20 期，247-255 頁。
18. 趙羿、李月輝，2001，實用景觀生態學，科學出版社，北京。
19. 楊家良，2009，以景觀指數分析方法探討鄉村地區生態綠網建置—以集集鎮及周邊地區為例，朝陽科技大學建築系，碩士論文。
20. 吳振發、張俊彥、林裕彬、張琪如，2011，景觀量測，五南圖書出版股份有限公司。
21. 蕭宇昂，2012，結合景觀指數與 CA-Markov 模型評估城鎮生態品質—以南投縣埔里鎮為例，東海大學景觀學系，碩士論文。
22. 龍花樓、李秀彬，2001，長江沿線樣帶土地利用變化時空模擬及其對策，地理研究，第 20 卷，第 6 期，660-668 頁。
23. 史培軍、宮鵬、李曉兵，2000，土地利用/覆蓋變化研究的方法與實踐，科學出版。
24. 鄭祈全，1999，森林地景變遷之監測研究，台灣林業科學，第 14 卷，第 4 期，397-407 頁。
25. 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，台灣林業科學，第 14 卷，第 4 期，397-407 頁，。
26. 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。

27. 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，台灣林業科學，第 16 卷，第 1 期，1-9 頁。
28. 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。
29. 方梅萍，2002，台中市景觀格局的變遷及其影響因素之研究，東海大學景觀學系，碩士論文。
30. 黃慈愛，2003，農地休耕對鄉村農業地景變遷影響之研究-以台東縣關山地區為例，國立台灣大學園藝學研究所，碩士論文。
31. 廖亞禎，2003，校園土地利用之地景變遷-以國立中興大學為例，林業研究季刊，第 25 卷，第 1 期，37-48 頁。
32. 陳意昌，2004，農地重劃地區土地利用與景觀變遷之研究，國立中興大學水土保持學系，博士論文。
33. 林志東，2004，花蓮北部平原地區土地利用分析，國立東華大學自然資源管理研究所，碩士論文。
34. 林裕彬、吳振發、鄧東波，2004，景觀生態面指數分析汐止地區 1990~2001 年土地利用時空鑲嵌特徵，都市與計畫，第 31 卷，第 3 期，239-268 頁。
35. 魏彤竹，2004，運用地景生態學原則在評估東華大學校園空間規劃-以環頸雉為例，國立東華大學自然資源管理研究所，碩士論文。
36. 邱淑美，2005，農村路網系統對景觀生態格局衝擊分析與評估，國立台灣大學園藝研究所，碩士論文。
37. 許芳毓，2005，都市植生破碎度與綠化策略之研究-以台南市為例，國立成功大學都市計畫學系，碩士論文。
38. 黃偉銘、歐聖榮、張俊彥，2006，以鳥類為指標物種評估台灣鄉村地區景觀生態研究尺度，造園景觀學報，第 12 卷，第 4 期，1-21 頁。
39. 林士強，2006，利用景觀生態指數分析墾丁國家公園土地利用變遷之研究，逢甲大學土地管理所，碩士論文。
40. 陳坤鈺，2009，利用空間技術與景觀生態指標於清境地區景觀變遷之研究，

逢甲大學土地管理所，碩士論文。

41. 董玟彥，2011，銀合歡擴散之景觀生態安全格局研究，中國文化大學景觀學系所，碩士論文。
42. 譚菊，2010，基於可控鄰域作用元胞自動機模型的城市擴張模擬，安徽農業科學，第 38 卷，第 22 期，12166-12169 頁。
43. 王濟川，2004，Logistic 迴歸模型：方法與應用，五南圖書出版有限公司。
44. 謝花林，2008，典型農牧交錯區土地利用變化驅動力分析，農業工程學報，第 24 卷第 10 期，56-62 頁。
45. 吳宗正，1997，迴歸分析-理論與應用，復文書局。

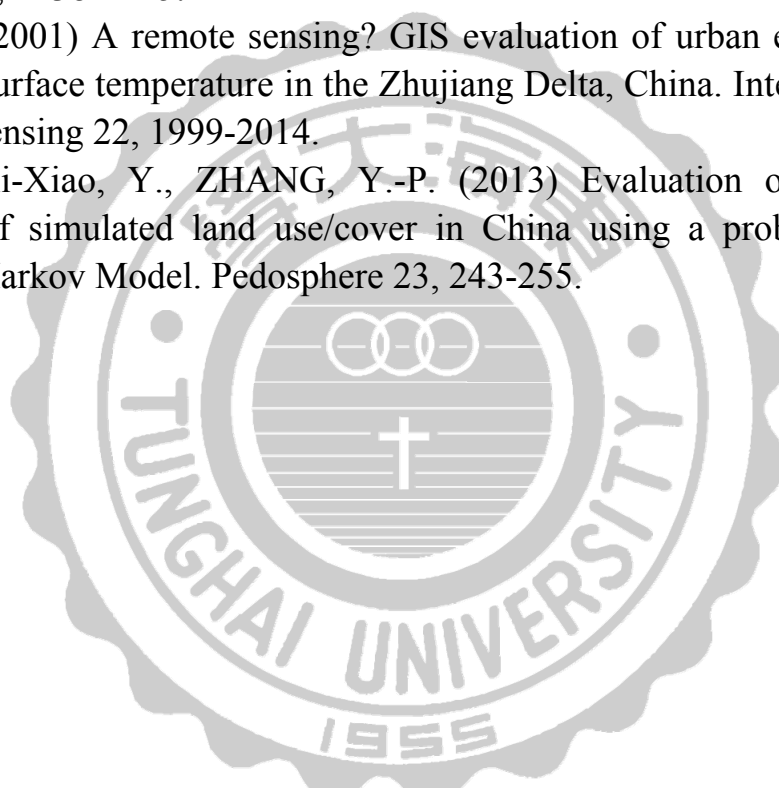


英文參考文獻

1. Arsanjani, J.J., Helbich, M., Kainz, W., Boloorani, A.D. (2013) Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21, 265-275.
2. Balzter, H., Braun, P.W., Köhler, W. (1998) Cellular automata models for vegetation dynamics. *Ecological modelling* 107, 113-125.
3. Crutzen, P.J., Andreae, M.O. (1990) Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science* 250, 1669-1678.
4. Deng, X., Su, H., Zhan, J. (2008) Integration of multiple data sources to simulate the dynamics of land systems. *Sensors* 8, 620-634.
5. Eastman, J. R. (2009) *IDRISI Taiga Guide to GIS and Image Processing*. USA: Clark Labs, Clark University.
6. Gigalopolis(2003) *Project Gigalopolis: Urban and land cover modeling*. University of Santa Barbara, Santa Barbara.
7. Hasse, J.E., Lathrop, R.G. (2003) Land resource impact indicators of urban sprawl. *Applied geography* 23, 159-175.
8. Huang, J., Wu, Y., Gao, T., Zhan, Y., Cui, W. (2015) An Integrated Approach based on Markov Chain and Cellular Automata to Simulation of Urban Land Use Changes. *Appl. Math* 9, 769-775.
9. Konagaya, K., Morita, H., Otsubo, K.(1999) Chinese landuse predicted by the GTR model. Discussion paper in the 1999 open meeting of the human dimensions of global environmental change reserch community, 212-219.
10. Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C. (2001) The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global environmental change* 11, 261-269.
11. Li, X., Yeh, A.G.-O. (2002) Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science* 16, 323-343.
12. Mitsova, D., Shuster, W., Wang, X. (2011) A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation. *Landscape and Urban Planning* 99, 141-153.
13. Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., Yun, W. (2011) Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. *Mathematical and Computer Modelling* 54, 938-943.
14. Subedi, P., Subedi, K., Thapa, B. (2013) Application of a Hybrid Cellular Automaton–Markov (CA-Markov) Model in Land-Use Change Prediction: A

Case Study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences* 1, 126-132.

15. Veldkamp, A., Fresco, L. (1997) Exploring land use scenarios, an alternative approach based on actual land use. *Agricultural systems* 55, 1-17.
16. Verburg, P.H., Chen, Y. (2000) Multiscale characterization of land-use patterns in China. *Ecosystems* 3, 369-385.
17. Verburg, P.H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., Mastura, S.S. (2002) Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. *Environmental management* 30, 391-405.
18. Wang, S., Zheng, X., Zang, X. (2012) Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model. *Procedia Environmental Sciences* 13, 1238-1245.
19. Weng, Q. (2001) A remote sensing? GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International journal of remote sensing* 22, 1999-2014.
20. Xu, C., Shi-Xiao, Y., ZHANG, Y.-P. (2013) Evaluation of spatiotemporal dynamics of simulated land use/cover in China using a probabilistic cellular automata-Markov Model. *Pedosphere* 23, 243-255.



附錄

附表 4-1 邏輯回歸結果-1995 年農業用地

因子	B 之估計值	S.E.	Wals	df	顯著性	Exp(B)
公園	0.00010	0.00001	80.34	1	0.00000	1.00010
居民點	-0.00154	0.00006	724.96	1	0.00000	0.99846
批發零售	0.00007	0.00002	13.95	1	0.00019	1.00007
學校	-0.00032	0.00002	183.11	1	0.00000	0.99968
火車站	0.00008	0.00001	105.77	1	0.00000	1.00008
交流道	-0.00004	0.00000	72.73	1	0.00000	0.99996
商港	0.00003	0.00000	91.37	1	0.00000	1.00003
市中心	0.00008	0.00000	677.20	1	0.00000	1.00008
工業區(1)	-0.38444	0.11796	10.62	1	0.00112	0.68083
坡向平(1)	-0.13532	0.04197	10.39	1	0.00126	0.87344
坡向東北(1)	0.20096	0.07753	6.72	1	0.00954	1.22258
坡向南(1)	-0.13768	0.04346	10.03	1	0.00154	0.87138
坡度 III	-0.25733	0.05898	19.03	1	0.00001	0.77311
坡度 VI(1)	-0.64601	0.10095	40.95	1	0.00000	0.52413
常數	-1.10031	0.06579	279.76	1	0.00000	0.33277

附表 4-2 邏輯回歸結果-1995 年森林用地

因子	B 之估計值	S.E.	Wals	df	顯著性	Exp(B)
公園	0.00028	0.00002	211.41	1	0.00000	1.00028
批發零售	-0.00031	0.00003	108.61	1	0.00000	0.99969
政府機關	0.00028	0.00003	109.66	1	0.00000	1.00028
學校	0.00018	0.00003	32.85	1	0.00000	1.00018
主要道路	-0.00004	0.00001	6.05	1	0.01393	0.99996
火車站	-0.00011	0.00001	56.72	1	0.00000	0.99989
交流道	0.00012	0.00001	170.85	1	0.00000	1.00012
商港	-0.00008	0.00001	194.56	1	0.00000	0.99992
市中心	-0.00009	0.00001	205.62	1	0.00000	0.99991
高程	0.01249	0.00038	1059.45	1	0.00000	1.01257
工業區(1)	-3.74180	1.00989	13.73	1	0.00021	0.02371
坡向平(1)	1.04275	0.07498	193.40	1	0.00000	2.83701
坡向西(1)	-0.35715	0.05662	39.80	1	0.00000	1.42925
坡向東北(1)	-1.04726	0.14054	55.52	1	0.00000	0.35090
坡向東南(1)	-0.57711	0.11852	23.71	1	0.00000	0.56152
坡度 I	-2.37019	0.08211	833.33	1	0.00000	0.09346
坡度 II	-1.15083	0.07561	231.64	1	0.00000	0.31637
坡度 III	0.23735	0.08224	8.33	1	0.00390	1.26788
坡度 VI(1)	0.63453	0.13086	23.51	1	0.00000	1.88614
常數	-0.46851	0.13815	11.50	1	0.00070	0.62594

附表 4-3 邏輯回歸結果-1995 年民生用地

因子	B 之估計值	S.E.	Wals	df	顯著性	Exp(B)
公園	-0.00005	0.00001	16.84	1	0.00004	0.99995
居民點	-0.00508	0.00014	1310.74	1	0.00000	0.99493
河川	0.00111	0.00009	139.16	1	0.00000	1.00111
政府機關	-0.00024	0.00002	99.04	1	0.00000	0.99976
學校	-0.00039	0.00004	108.21	1	0.00000	0.99961
主要道路	-0.00012	0.00001	74.94	1	0.00000	0.99988
交流道	0.00003	0.00001	32.74	1	0.00000	1.00003
商港	-0.00004	0.00000	104.46	1	0.00000	0.99996
市中心	-0.00005	0.00000	208.73	1	0.00000	0.99995
高程	0.00062	0.00031	3.86	1	0.04938	1.00062
工業區(1)	-1.01906	0.16516	38.07	1	0.00000	0.36093
坡向北(1)	-0.16634	0.05312	9.81	1	0.00174	0.84676
坡向東北(1)	-0.27473	0.09407	8.53	1	0.00349	0.75978
坡度 I	0.93407	0.13127	50.63	1	0.00000	2.54486
坡度 II	1.18227	0.13280	79.25	1	0.00000	3.26178
坡度 III	1.23511	0.14520	72.36	1	0.00000	3.43874
常數	1.49851	0.16388	83.61	1	0.00000	4.47502

附表 4-4 邏輯回歸結果-1995 年工業用地

因子	B 之估計值	S.E.	Wals	df	顯著性	Exp(B)
公園	0.00008	0.00001	38.56	1	0.00000	1.00008
居民點	-0.00252	0.00014	343.03	1	0.00000	0.99749
批發零售	-0.00045	0.00003	227.01	1	0.00000	0.99955
河川	0.00030	0.00009	11.41	1	0.00073	1.00030
主要道路	-0.00026	0.00004	48.32	1	0.00000	0.99974
火車站	-0.00017	0.00001	131.63	1	0.00000	0.99983
交流道	-0.00008	0.00001	104.35	1	0.00000	0.99992
商港	-0.00008	0.00000	310.70	1	0.00000	0.99992
工業區(1)	0.00006	0.00000	344.99	1	0.00000	1.00006
坡度 I	0.62796	0.12797	24.08	1	0.00000	1.87379
坡度 II	2.47168	0.22708	118.47	1	0.00000	11.84227
坡度 III	2.21690	0.22854	94.10	1	0.00000	9.17886
坡度 VI	1.46529	0.24598	35.48	1	0.00000	4.32880
常數	-16.12711	1579.99091	0.00	1	0.99186	0.00000

附表 4-5 邏輯回歸結果-1995 年工業區

因子	B 之估計值	S.E.	Wals	df	顯著性	Exp(B)
公園	-0.00033	0.00006	35.24	1	0.00000	0.99967
居民點	0.00260	0.00015	298.09	1	0.00000	1.00260
批發零售	-0.00051	0.00009	30.24	1	0.00000	0.99949
河川	-0.00085	0.00031	7.68	1	0.00558	0.99915
政府機關	-0.00062	0.00008	66.70	1	0.00000	0.99938
主要道路	-0.00065	0.00006	114.97	1	0.00000	0.99936
火車站	0.00020	0.00003	47.22	1	0.00000	1.00020
交流道	-0.00015	0.00003	36.48	1	0.00000	0.99985
市中心	0.00016	0.00001	226.81	1	0.00000	1.00016
高程	-0.00397	0.00110	13.14	1	0.00029	0.99604
工業區(1)	6.87616	0.13724	2510.44	1	0.00000	968.89783
坡向東	0.63607	0.13219	23.15	1	0.00000	1.88905
坡向東南	-0.53870	0.19179	7.89	1	0.00497	1.71377
坡度 III	-0.87954	0.37099	5.62	1	0.01775	0.41497
常數	-2.78361	0.27553	102.06	1	0.00000	0.06181

附表 4-6 邏輯回歸結果-1995 年其他用地

因子	B 之估計值	S.E,	Wals	df	顯著性	Exp(B)
公園	-0.00013	0.00001	119.71	1	0.00000	0.99987
居民點	0.00199	0.00007	934.29	1	0.00000	1.00199
批發零售	0.00008	0.00002	9.75	1	0.00179	1.00008
政府機關	-0.00014	0.00002	42.59	1	0.00000	0.99986
學校	0.00022	0.00003	52.38	1	0.00000	1.00022
主要道路	-0.00004	0.00001	9.27	1	0.00233	0.99996
交流道	-0.00006	0.00001	127.59	1	0.00000	0.99994
商港	-0.00001	0.00000	8.85	1	0.00294	0.99999
市中心	-0.00003	0.00000	109.87	1	0.00000	0.99997
高程	-0.00707	0.00027	663.63	1	0.00000	0.99296
工業區(1)	-0.66368	0.11239	34.87	1	0.00000	0.51495
坡向西	-0.15929	0.03986	15.97	1	0.00006	0.85275
坡度 III	-0.85191	0.07265	137.52	1	0.00000	0.42660
坡度 IV	-1.20038	0.13722	76.52	1	0.00000	0.30108
坡度 V	-1.41404	0.14553	94.41	1	0.00000	0.24316
坡度 VI	-2.19650	0.22235	97.59	1	0.00000	0.11119
常數	1.83445	0.07058	675.60	1	0.00000	6.26167

附表 4-7 邏輯回歸結果-2006 年農業用地

因子	B 之估計值	S.E,	Wals	df	顯著性	Exp(B)
公園	0.00037	0.00003	194.81	1	0.00000	1.00037
居民點	-0.00245	0.00009	761.88	1	0.00000	0.99755
批發零售	-0.00019	0.00003	33.96	1	0.00000	0.99981
政府機關	0.00010	0.00002	19.63	1	0.00001	1.00010
學校	-0.00009	0.00003	7.90	1	0.00495	0.99991
主要道路	0.00006	0.00001	22.55	1	0.00000	1.00006
火車站	0.00008	0.00001	91.90	1	0.00000	1.00008
交流道	-0.00005	0.00001	46.74	1	0.00000	0.99995
商港	0.00002	0.00000	20.29	1	0.00001	1.00002
市中心	0.00008	0.00000	657.91	1	0.00000	1.00008
高程	-0.00197	0.00022	77.81	1	0.00000	0.99803
工業區(1)	-1.67350	0.17822	88.17	1	0.00000	0.18759
坡向東(1)	-0.10959	0.04813	5.18	1	0.02279	1.11583
坡向東北(1)	0.24949	0.07870	10.05	1	0.00152	1.28338
坡向東南(1)	0.23656	0.07331	10.41	1	0.00125	1.26688
坡度 I	0.09295	0.03466	7.19	1	0.00732	1.09741
坡度 IV	0.26143	0.08425	9.63	1	0.00191	1.29879
坡度 VI	-0.82146	0.10727	58.65	1	0.00000	0.43979
常數	-1.26986	0.08214	239.03	1	0.00000	0.28087

附表 4-8 邏輯回歸結果-2006 年森林用地

因子	B 之估計值	S.E.	Wals	df	顯著性	Exp(B)
公園	-0.00049	0.00003	265.75	1	0.00000	0.99951
居民點	0.00094	0.00008	150.54	1	0.00000	1.00094
批發零售	0.00038	0.00003	145.01	1	0.00000	1.00038
河川	-0.00018	0.00007	6.83	1	0.00898	0.99982
火車站	-0.00009	0.00001	59.02	1	0.00000	0.99991
交流道	0.00010	0.00001	188.72	1	0.00000	1.00010
高程	0.00689	0.00023	882.62	1	0.00000	1.00691
工業區(1)	-1.62075	0.29372	30.45	1	0.00000	0.19775
坡向平(1)	0.67041	0.06026	123.77	1	0.00000	1.95505
坡向西南(1)	-0.29144	0.08009	13.24	1	0.00027	0.74719
坡向東北(1)	-0.43596	0.10909	15.97	1	0.00006	0.64665
坡向東南(1)	-0.46424	0.10265	20.46	1	0.00001	0.62861
坡度 I	-2.07249	0.07392	786.14	1	0.00000	0.12587
坡度 II	-1.28030	0.07158	319.93	1	0.00000	0.27795
坡度 III	-0.20704	0.07902	6.87	1	0.00879	0.81299
坡度 VI	0.36550	0.12487	8.57	1	0.00342	1.44124
常數	-0.65253	0.08369	60.79	1	0.00000	0.52073

附表 4-9 邏輯回歸結果-2006 年民生用地

因子	B 之估計值	S.E,	Wals	df	顯著性	Exp(B)
公園	0.00007	0.00003	4.31	1	0.03800	1.00007
居民點	-0.00049	0.00008	34.58	1	0.00000	0.99951
批發零售	-0.00072	0.00004	254.68	1	0.00000	0.99928
河川	0.00115	0.00007	288.29	1	0.00000	1.00115
學校	-0.00065	0.00004	259.35	1	0.00000	0.99935
主要道路	-0.00004	0.00001	7.11	1	0.00768	0.99996
火車站	-0.00005	0.00001	29.45	1	0.00000	0.99995
交流道	0.00003	0.00001	17.95	1	0.00002	1.00003
商港	-0.00002	0.00000	24.73	1	0.00000	0.99998
市中心	-0.00004	0.00000	103.95	1	0.00000	0.99996
高程	0.00144	0.00030	23.05	1	0.00000	1.00144
坡向西(1)	0.13892	0.04236	10.75	1	0.00104	1.14904
坡向西南(1)	-0.31259	0.06495	23.16	1	0.00000	1.36696
坡向東南(1)	0.19029	0.07717	6.08	1	0.01367	1.20960
坡向南(1)	0.13364	0.04759	7.89	1	0.00498	1.14298
坡度 III	-0.36795	0.07389	24.80	1	0.00000	0.69215
坡度 IV	-1.04402	0.15003	48.42	1	0.00000	0.35204
坡度 V	-1.39569	0.17302	65.07	1	0.00000	0.24766
坡度 VI	-2.45707	0.37048	43.98	1	0.00000	0.08569
常數	1.41224	0.08557	272.36	1	0.00000	4.10513

附表 4-10 邏輯回歸結果-2006 年工業用地

因子	B 之估計值	S.E,	Wals	df	顯著性	Exp(B)
居民點	0.00075	0.00007	113.76	1	0.00000	1.00075
批發零售	-0.00119	0.00005	656.90	1	0.00000	0.99881
河川	-0.00027	0.00006	18.09	1	0.00002	0.99973
政府機關	-0.00015	0.00003	30.57	1	0.00000	0.99985
學校	0.00041	0.00004	107.46	1	0.00000	1.00042
主要道路	-0.00003	0.00001	3.85	1	0.04972	0.99997
火車站	-0.00003	0.00001	11.24	1	0.00080	0.99997
商港	-0.00001	0.00000	8.64	1	0.00329	0.99999
市中心	-0.00003	0.00000	111.29	1	0.00000	0.99997
工業區(1)	-1.62198	0.17483	86.07	1	0.00000	0.19751
坡向平(1)	-0.16658	0.04270	15.22	1	0.00010	0.84655
坡向東南(1)	-0.15534	0.07169	4.69	1	0.03025	0.85613
坡度 I	2.81701	0.26896	109.70	1	0.00000	16.72672
坡度 II	2.58385	0.26966	91.81	1	0.00000	13.24810
坡度 III	1.72486	0.28029	37.87	1	0.00000	5.61172
坡度 IV	0.72371	0.35288	4.21	1	0.04028	2.06207
常數	-1.26579	0.28476	19.76	1	0.00001	0.28202

附表 4-11 邏輯回歸結果-2006 年工業區

因子	B 之估計值	S.E,	Wals	df	顯著性	Exp(B)
公園	-0.00056	0.00010	34.02	1	0.00000	0.99944
居民點	0.00428	0.00022	388.70	1	0.00000	1.00429
批發零售	0.00039	0.00013	8.45	1	0.00365	1.00039
河川	-0.00137	0.00019	54.76	1	0.00000	0.99863
政府機關	-0.00134	0.00009	202.12	1	0.00000	0.99866
學校	-0.00173	0.00013	184.29	1	0.00000	0.99827
主要道路	-0.00024	0.00006	15.39	1	0.00009	0.99976
火車站	0.00018	0.00003	43.09	1	0.00000	1.00018
交流道	-0.00017	0.00003	38.10	1	0.00000	0.99983
商港	0.00011	0.00001	71.92	1	0.00000	1.00011
市中心	0.00017	0.00001	364.30	1	0.00000	1.00017
高程	0.00216	0.00092	5.54	1	0.01862	1.00217
工業區(1)	8.89660	0.20151	1949.14	1	0.00000	7307.11123
坡向東(1)	0.91548	0.12152	56.75	1	0.00000	2.49797
坡向東南(1)	0.99865	0.17139	33.95	1	0.00000	2.71462
坡向南(1)	0.29166	0.13358	4.77	1	0.02901	1.33865
坡度 I	16.21927	842.60827	0.00	1	0.98464	11064653.78078
坡度 II	16.40412	842.60827	0.00	1	0.98447	13311292.60661
坡度 III	14.59231	842.60835	0.00	1	0.98618	2174492.47582
常數	-21.45246	842.60832	0.00	1	0.97969	0.00000

附表 4-12 邏輯回歸結果-2006 年其他用地

因子	B 之估計值	S.E,	Wals	df	顯著性	Exp(B)
公園	-0.00024	0.00003	84.94	1	0.00000	0.99976
居民點	0.00214	0.00008	706.71	1	0.00000	1.00214
批發零售	0.00009	0.00003	6.84	1	0.00892	1.00009
河川	-0.00064	0.00006	118.32	1	0.00000	0.99936
政府機關	-0.00018	0.00002	54.92	1	0.00000	0.99982
學校	0.00028	0.00004	63.86	1	0.00000	1.00028
主要道路	-0.00007	0.00001	24.94	1	0.00000	0.99993
交流道	-0.00003	0.00000	34.88	1	0.00000	0.99997
市中心	-0.00003	0.00000	151.42	1	0.00000	0.99997
高程	-0.00196	0.00022	77.04	1	0.00000	0.99804
工業區(1)	-0.89817	0.12242	53.83	1	0.00000	0.40732
坡向西(1)	-0.08578	0.03795	5.11	1	0.02381	0.91779
坡度 II	0.10005	0.03649	7.52	1	0.00611	1.10523
坡度 III	-0.26941	0.06273	18.44	1	0.00002	0.76383
坡度 IV	-1.04150	0.11687	79.42	1	0.00000	0.35292
坡度 V	-1.30972	0.12474	110.24	1	0.00000	0.26990
坡度 VI	-1.00185	0.13689	53.56	1	0.00000	0.36720
常數	0.92313	0.05553	276.38	1	0.00000	2.51715