

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

台北都會區土地使用變遷模式之研究--子計畫一：土地利用變遷與政策之互動影響分析-空間統計模式(II) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 95-2621-Z-002-016-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所

計畫主持人：林裕彬
共同主持人：林允斌
計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：王彥覃

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96年10月29日

台北都會區土地使用變遷模式之研究-子計畫二：土地利用變遷與政策之互動影響分析-空間統計模式(III)

中文摘要

土地利用變遷是地理學、生態學和社會科學領域中重要的研究議題之一，而土地利用變遷牽涉到時間、空間、人類行為及彼此間的交互作用，具有多重的複雜性與不確定性。就已都市化的集水區而言，模擬與監測都市的擴張對於土地利用格局的影響以及土地利用的規劃與管理是很重要的。本研究架構應用了都市成長模式 SLEUTH 模式與土地利用變遷模式 CLUE-S 模式，運用歷年 SPOT 衛星影像於台北寶橋集水區，預測都市擴張的情形，歷史與模擬的土地利用資料輸入嵌塊體分析獲得景觀生態指數，歷史的 SPOT 影像的景觀生態指數顯示出 1990 到 2000 年土地利用格局的改變。SLEUTH 模式準確地模擬歷史土地利用格局於寶橋集水區的都市擴散，預測從 2001 年 2010 年的聚集土地利用格局。CLUE-S 模式也預測相同的時期，獲得歷史土地利用格局的趨勢。SLEUTH 與 CLUE-S 模式顯現出都市擴張於寶橋集水區的重大影響，尤其在林地與建地上，依照試驗的結果，CLUE-S 模式對於模擬土地利用格局的發展，預測出較符合歷史土地利用格局的趨勢。

關鍵詞：土地利用變遷模式、CLUE-S 模式、SLEUTH 模式、景觀生態指數

Abstract

Land use change is one of the important research issues in geography, ecology, and social science fields. Land use change involving interactions of time, space, and human behaviors has the multiple complexities, and as a result, land-use change is difficult to predict. Monitoring and simulating urban sprawl and its effects on the land-use patterns is an essential part of land-use planning and management. This study describes a framework that applied the urban growth model SLEUTH (Slope, Land use, Excluded Land, Urban extent, Transportation, Hillshading) and the land-use change CLUE-S (Conversion of Land Use and its Effects) model with historical SPOT images to predict urban sprawl in the Paochiao watershed in Taipei County. The historical and predicted land-use data was input to Patch Analyst to obtain the landscape metrics. The landscape metrics of the historical SPOT images showed that land-use patterns changed between 1990 and 2000. The SLEUTH model accurately simulated the historical land-use patterns and urban sprawl of the Paochiao watershed, and predicted future clustered land-use patterns (2001-2010). The CLUE-S model also simulated land-use patterns for the same period and captured historical trends in the metrics of land-use patterns. The predicted land-use patterns of the SLEUTH and CLUE-S models show the significant impact that urban sprawl will have on land-use patterns in the Paochiao watershed, especially in the patterns of forest and built-up areas. According to the

experimental result, the CLUE-S model simulates the development of land-use patterns, and it comparatively conforms to the tendency of the historical land-use patterns.

Key words: Land use change model, CLUE-S model, SLEUTH model, Landscape ecological metrics

一、緒論

1.1 計畫緣起

土地利用變遷是一種具有時間、空間、系統、人類活動等多重複雜性的行為。在不同的社會系統、生態系統、土地利用系統、全球與區域環境變遷等因素影響下，形成複雜與彼此交互作用的系統(如圖 1、2)，並與人類對土地利用和土地覆蓋變遷、環境對衝擊的回饋作用間彼此相連，加上不同的空間與時間尺度，使得彼此間的關係更加複雜，當這些作用因子發生變化，便可能導致土地利用型態的改變。此複雜性可分為時間、空間及人類影響三個維度，也就是說土地利用是生物物理介於時間與空間維度與人為因素在空間及時間上交互作用的表現 (Veldkamp and Fresco, 1996)。Forman(1995)描述造成土地利用變遷的主要因素有六個，分別為森林砍伐、郊區都市化、交通建設、沙漠化、密集農業行為、植林；其中人類行為是造成土地利用變遷的主要動力來源，有足夠能力大幅改變環境，導致土地利用破碎化。

模式有助於瞭解影響土地利用變遷速率與複雜的社會經濟與生物驅動力，並估計土地利用改變造成的衝擊，土地利用變遷模式是根據現在與最近的發展趨勢，運用模式表現土地覆蓋變遷的數量、改變區位、空間格局的變化，運用模式能夠探討不同情境條件下，未來土地利用變遷趨勢，彌補現今人類土地利用變遷分析能力上的不足，有助於不同決策方案間的比較及合理決策制訂。

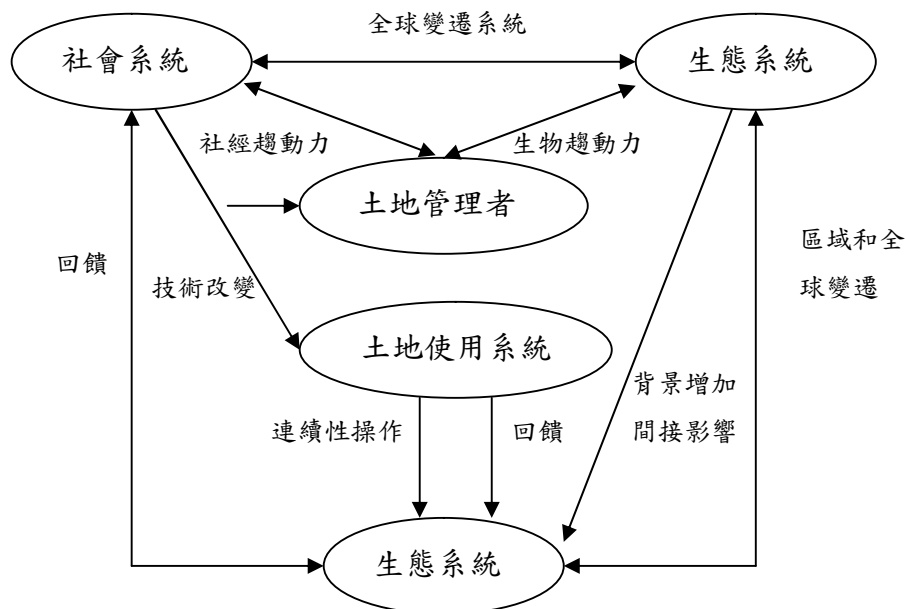


圖 1：土地利用或土地覆蓋變遷驅動力

(修改自 LUCC - Land-Use and Land-Cover Change

Available: <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/lucc.html>)

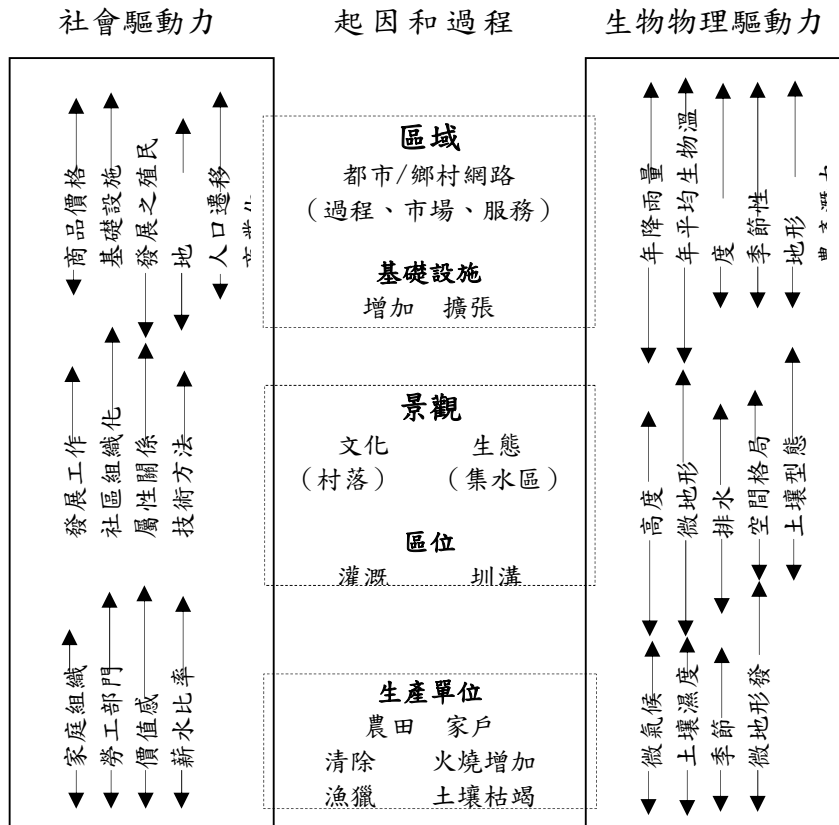


圖 2：多尺度土地利用變遷概念

(修改自 LUCC - Land-Use and Land-Cover Change

Available:<http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/lucc.html>)

土地利用與覆蓋變遷 (LUCC) 是一個跨領域的研究計畫，目的在於增加瞭解與預測土地利用和土地覆蓋的變遷。土地利用與土地覆蓋變遷模式是深入了解其複雜性的重要方法，作用和目的可以概括為：對土地利用和土地覆蓋變化情況進行描述、解釋、預測和制定對策。計畫中確立兩個主要研究方向：透過實際的案例研究，解釋不同條件下的動態特徵；建立全球或區域性土地利用或土地覆蓋變化模型，透過模式解釋土地利用或土地覆蓋與驅動力間的互動關係，並預測未來全球或區域之土地利用或土地覆蓋趨勢(Turner et al., 1993; Turner et al., 1995)。廣義的 LUCC 研究領域包括土地覆蓋變遷的格局(pattern)、土地利用變遷的過程(processes)、人類對土地利用和土地覆蓋變遷的反應、全球與區域模式整合、發展地表與生物物理過程及驅動者的資料庫等，有愈來愈多的研究者認為此議題為具有迫切的重要的關鍵性研究(Turner and William, 1990; Turner and Meyer, 1994; U.S. National Research Council, 1997; Lambin et al., 1999)。

土地利用模式與土地利用變遷模式是有效力的工具，可分析了解土地發展、人為活動和自然資源之間的關聯，也會影響生態系的結構與功能(Tuner and Meyer, 1994)。社會經濟過程土地利用變遷模式是根據現在與最近的發展趨勢，運用模式表現土地覆蓋變遷的數量、改變區位、空間格局的變化，運用模式能夠探討不同情境條件

下，未來土地利用變遷趨勢，彌補現今人類土地利用變遷分析能力上的不足，有助於不同決策方案間的比較及合理決策制訂。因此近年來發展的土地利用變遷分析、預測模式，由於不同研究領域具有不同的研究目的、主題、空間尺度、時間尺度、人為影響程度，因此發展出不同的模式，Brassoulis(2000)依模式特性分為統計與經濟模型(Statistical and Econometric Models)、空間互動模型(Spatial interaction models)、最佳化模型(Optimization models)、整合模型(Integrated models)等四類；Parker 等人(2003)將土地使用模型細分為九大類，包括有方程式基礎模型(Equation-Based Models)、計量經濟模型(Econometric Models)、統計模型(Statistical Models)、系統模型(System Models)、專家模型(Expert Models)、演化模型(Evolutionary Models)、細胞自動機(Cellular Automata)、行為者基礎模型(Agent-Based Models)與整合式模型(Hybrid Models)等。

本計畫所採用的土地利用變遷分析與預測模式有空間機率及細胞自動機(cellular automata)兩大類型模型，空間機率模型是運用統計方式計算土地利用變遷的機率。CLUE-S 模型即是屬於羅吉斯迴歸模型(Logistic Regression)，CLUE 模型為 CLUE-S 模型之前身。CLUE 模型是 Veldkamp 及 Fresco 於 1996 年 Ecological Modelling 期刊中提出，Verburg (2000) 的博士論文及發表的文章中應用 CLUE 模型深入的探討大陸不同尺度的土地利用格局特性(Verburg and Chen, 2000)、模擬土地利用的變遷(Verburg et al., 1999b)以及印尼 JAVA 地區在面臨高人口成長壓力下土地利用的變化趨勢(Verburg et al., 1999c)。由於 CLUE 模型對於區域空間尺度、空間解析度較高的土地利用變化地區預測能力較弱，因此逐漸發展出適合區域性、高空間解析度的 CLUE-S 模型。Verburg 等人(2002)於馬來西亞的 Klang-Langat 集水區及菲律賓的 Sibuyan 島進行 CLUE-S 模式效度的試驗與評估，研究結果發現 CLUE-S 模式有效的預測兩地區的土地利用變遷，其情境模擬方式有助於土地利用管理與規劃，若研究地區缺乏土地利用的歷史資料將不利於此模型的預測，可引用與研究區發展趨勢相近地區的資料進行模式參數設定。Verburg 等人(2004b)以土地利用格局的鄰近特性，其概念、方法之後被整合於 CLUE-S 模型中，運用 CLUE-S 模型的概念，以可及性、空間政策、鄰近互動變數解釋荷蘭住宅、工業、商業、遊憩區的變遷；整體而言，模型已應用於中國、菲律賓、美國中部、厄瓜多爾、哥斯大黎加、宏都拉斯等區域，研究的議題包括土地利用變遷、多元空間尺度整合、多領域整合、及方法論的探討等。CLUE-S (the Conversion of Land Use and its Effect at Small regional extent) 模式，以區位適宜性的分析，系統間空間與時間動態的競爭與交互作用關係為基礎，進行區域性土地利用變遷模擬。此模式對於轉移矩陣、轉移彈性、土地需求量、限制區域設定、鄰近區域影響的參數設定，皆可融入土地利用管制的構想，與土地利用管制策略研擬時的複雜結構一致，顯示模式十分適合應用於土地利用管制計畫實施效益或衝擊評估(吳振發，2006)。

細胞自動機模式，可藉以從局部格局推測整體格局的概念，可對複雜系統更進一步的深入研究。對於土地利用變遷的分析除了統計分析或機率模式觀點外，近年來細

胞自動機(Cellular Automata 簡稱 CA)的發展提供另外一種由空間組織的演化上切入的觀點(賴進貴、王偉力、紀明德, 2000)。本計畫預計使用的 SLEUTH 模式, 即為一種細胞自動機(CA)模式, 廣泛地應用在地理文獻於城市歷史都市發展的格局, 更進一步預測未來的都市發展。SLEUTH 模式是由 Clarke 與 USGS 合作的 Project Gigalopolis 計畫, 結合都市成長(UGM)模式與延伸出土地覆蓋變遷(Deltatron)模式而成。Clarke 等人(1996)於 San Francisco Bay 試驗模式, 發展方法、建立模式的互動和統計版本以及形象化和動態工具。Clarke(1997)提出模式建構使用 Deltatron 當作細胞自動機於土地覆蓋轉變的人工主體, 描述其轉變方法及概念。Clarke 與 Gaydos 於 1998 年在 San Francisco Bay 和 Washington/Baltimore 廊道提出兩區域的模式校準和預測結果, 比較初始設定和控制參數, 敘述模式在長期年代都市計劃中的可用性。Silva 與 Clarke 於 2002 年提出模式應用在葡萄牙 Lisbon 和 Porto 都會區, 檢視模式在歐洲的適用性並對兩都市的控制參數提出討論。Dietzel 與 Clarke(2004)於 San Joaquin County(CA, USA)提出將土地利用圖層分成 5、10、15 種類別, 探討模式在土地利用複製歷史格局的能力, 土地利用轉變在這 3 種類別中可以達到 72-93%的正確度, 驗證模式在結合 UGM 與 LCD 模式後複製土地利用格局的強健性。Solecki 與 Oliveri 於 2004 年提出在 SLEUTH 模式中降低氣候變遷方案的過程及結果; 整體而言, 模式已廣泛運用於美國、歐洲、亞洲等地, 以細胞自動機為基礎規則, 運用網格為轉換單元, 表達土地利用為複雜性系統的格局, 為土地利用變遷模式在細胞自動機模型的代表。

景觀生態主要在於探討景觀組成之結構、功能、變遷以及其間相互作用的關係; 景觀生態指數亦可敘述景觀生態之系統、型態及趨勢, 對於土地利用等人為活動與動植物分佈間之相互作用, 可了解生態系統之作用及其生態過程(史瓊雯, 2003)。景觀結構主要在分析生態系統之間的空間關係, 此關係即為能量、物質與物種分佈大小、形狀、數量及種類; 景觀功能主要在於探討空間元素間之相互作用; 景觀變遷則研究嵌塊體之結構與功能的變化。土地利用分析是描述一區域的經濟、環境、社會現象以及利用行為的衝擊程度, 景觀生態指標是描述土地利用結構的有效工具(Leito and Ahern, 2002)。應用景觀生態指數分析不同情境之土地利用格局, 並比較 CLUE-S、SLEUTH 模擬之土地利用模擬情境, 求取各模式所模擬之土地利用情境景觀生態指數, 比較各土地利用情境之空間格局, 不同模式下規劃管理策略對未來土地利用格局之影響程度, 同時應用歷史資料比較各模式之土地利用模擬之準確性。

1.2 計畫目的

本計畫主要目的在於建立適用台北都會區之空間統計土地利用變遷模擬模式, 作為未來土地利用變遷研究, 以及土地利用空間規劃及策略之情境模擬, 提供規劃與策略評估與決策參考。已完成土地利用變遷文獻回顧、土地利用變遷驅動力、土地利用、景觀生態指標理論關係探討、CLUE-S 模式之回顧, 並已應用 CLUE-S 模擬土地利用管制情境於寶橋集水區土地利用分析與預測未來土地利用變遷及策略對土地利用之影響。研究重點是 SLEUTH 土地利用模式之試驗, 內容包括此模式理論與架構及應用實例回顧, 並以此模式依據相同於 CLUE-S 之模擬條件及規劃與管制策略, 預測寶橋集水

區未來土地利用情境，應用景觀生態指數分析不同情境之土地利用格局，並比較 CLUE-S、SLEUTH 模擬之土地利用模擬情境，求取各模式所模擬之土地利用情境景觀生態指數，比較各土地利用情境之空間格局。在不同模式下規劃管理策略對未來土地利用格局之影響程度，同時應用歷史資料比較各模式之土地利用模擬之準確性，比較此二模式模擬不同規劃與管制策略下未來土地利用情境及其空間格局；研究重點在於發展台北都會區土地利用變遷模式，以 CLUE-S 及 SLEUTH 模式的試驗成果為基礎，發展適合台北都會區土地利用變遷模式架構，並以寶橋集水區為例進行土地利用變遷模擬與驗證，結果將與 CLUE-S 及 SLEUTH 模擬結果差異性及精確性，比較模式於台北都會區集水區之應用，並探討模式與時間、空間與人為維度之關係，最後配合總計畫及其它子計畫，整合建立土地利用空間統計模式及集水區尺度之土地利用規劃管理策略，提供策略之比較與模式結果之整合，建立一多維度之都會區土地利用模式。

二、文獻回顧

2.1 土地利用文獻回顧

土地利用是人類在土地上活動，受到經濟、文化、政治、歷史和土地所有權因子所影響；土地覆蓋則是土地的生物物理屬性，影響生態系統功能，一般指地球表面當前所具有的自然和人類影響所形成的覆蓋物，包括地表植被、土壤、冰川、湖泊、沼澤濕地及道路等；土地覆蓋具有特定的時間和空間屬性，其形態和狀態可在多種時空尺度上變化，而且產生變化的原因也是複雜多樣的。由於土地覆蓋和土地利用與人類的生活生產休戚相關，長期以來土地覆蓋及利用的研究成為地球表面科學研究領域中的一個重要分支(楊立民和朱智良，1999)。土地利用與土地覆蓋變化模式是有效力工具，可被用來了解和分析社會經濟過程和土地發展、農業活動和自然資源之間的關連重要性及這些改變影響生態系的結構和功能(Turner and Meyer, 1994)。

1995 年 IGBP(International Geosphere-Biosphere Programme) 和 IHDP (International Human Dimensions Program on Global Environmental Change)聯合提出了“土地利用與土地覆蓋變化”研究計劃(Land-Use and Land-Cover Change project)，確立兩個主要研究方向：第一是透過實際案例的研究中，解釋不同狀態下覆被動態的特徵與原因；其二為建立全球或區域土地利用或土地覆蓋變化模型，透過模型解釋土地利用或土地覆蓋與驅動力的相互關係，並預測全球或區域土地利用或土地覆蓋的未來趨勢(Turner 等人，1993；Turner 等人，1995)。IGBP 與 IHDP 最初的目標有四個，為了進一步瞭解全球土地利用與土地覆蓋的驅動力；調查與研究土地利用與土地覆蓋時空間變遷；確認永續發展與不同土地利用之關連性；瞭解土地利用或土地覆蓋變遷與生物地理化學(biogeochemistry)、氣候之相關性。而 LUCC 的研究領域主要有三個：

A. 領域一：土地利用動態 - 案例比較分析

透過案例比較研究人類面向的土地利用與覆蓋變遷，主要是為了土地利用變遷中的生物物理與人類面向的連結、描繪一個土地利用情況與變動的架構、串連人為面向、全球土地分類、土地覆蓋的模擬分析、瞭解全球哪些區域需優先進行土地利用與覆蓋變遷分析，因此該領域的研究目的是透過土地利用變遷的比較分析，確切深入的瞭解區域性的土地利用或土地覆蓋變遷。

B. 領域二：土地覆蓋動態 - 直接觀察與模式特徵

此研究領域的重點在於觀察方式的整合，包括區域範圍觀察、小基地詳細觀察、以及案例研究，來發展模式進行短期的預測。觀察與預測的結果可深入瞭解造成空間與時間變遷的驅動變數。

C. 領域三：區域及全球模式 - 整合評估架構

新土地利用變遷模式發展的基礎包括持續的資料整備及方法論的空間，研究領域三包括短期與長期的工作，短期內必須回顧與延伸線有區域至全球尺度的農業、草地、森林模式，更精確預測 2 至 3 年短期土地利用或土地覆蓋變遷；長期的工作則必須經由長期的累積發展一個新的模式架構，能夠更完整的呈現土地利用或土地變遷情形與發

掘主要的驅動力。

土地利用與覆蓋變遷 (LUCC) 是一個跨領域的研究計畫，目的在於增加瞭解與預測土地利用或土地覆蓋的變遷，廣義的 LUCC 研究領域包括土地覆蓋變遷的格局、土地利用變遷的過程、人類對土地利用與覆蓋變遷的反應、全球與區域模式整合、發展地表與生物物理過程及驅動者的資料庫。了解土地利用或土地覆蓋在全球變遷的研究中，有愈來愈多的研究者認為此議題為具有迫切的重要的關鍵性研究 (Turner 等人，1990；Turner and Meyer，1994；Lambin 等人，1999；Geist 和 Lambin，2001)。特別在人文向度上的研究，美國國家研究委員會 (U.S. National Research Council，1997) 認為在環境轉變速率的驅動力下，解釋土地利用或土地覆蓋格局和改變是全球性、區域性和各個尺度可以信任的決策分析。

土地利用與土地覆蓋變化的驅動力及其驅動機制是其中的關鍵 (Turner 等人，1995)，而深入探討土地利用變化的各種驅動力，是認識土地利用變化規律、預測未來土地利用變化趨勢和制定土地永續發展決策的基礎 (熊惠波等人，2002)。隨著全球變遷研究的深入，發現土地利用與土地覆蓋變化是造成全球變化的重要原因，因此土地利用或土地覆蓋變化逐漸成為地球系統新的研究重點，土地利用或土地覆蓋變化模型是深入瞭解土地利用和覆蓋變化複雜性的重要方法，其作用和目的可以概括為：對土地利用與土地覆蓋變化情況進行描述、解釋、預測和制定對策。描述是指對土地利用與覆蓋變化歷史及現狀的反映與評價；解釋是闡明土地利用與土地覆蓋型式與其社會和自然驅動力之間的因果關係；預測是根據土地利用和覆蓋的變化規律及對自然和社會條件所作的假設，推斷未來的土地利用和覆蓋狀況；制定對策則是根據一定的標準，如環境保護、經濟效率和社會公平等，社會目標，進行土地利用規劃及制訂政策。近年來在土地利用變遷的研究上，Meggs 等人 (2004) 結合一般線性模式 (generalized linear modelling) 與地理資訊系統，發展與評估棲地預測模式，以輔助瀕臨絕種動物保育計畫之研擬，研究結果發現海拔高度、坡向、坡度、與河川距離、頂層樹高與物種數量與顯著的相關性。Roschewitz 等人 (2004) 討論每年農田作物使用密度與景觀複雜性、農田特殊化的相關性，分析結論發現每年作物種植使得農地特殊化及地景結構的簡單化，促使土地利用的密度增加，是一種土地利用的錯誤引導。

土地利用變遷預測，有助於深入瞭解景觀空間的互動過程與機制，以及土地管理政策之研擬與景觀生態環境之保存。在地景環境變遷的研究領域中，地景結構變遷分析的方法除一般質性的研究之外，Forman (1995) 指出可運用定量的空間模式與變遷監測方法進一步解釋生態的影響效力、景觀之比較、明顯異同之界定、以及相互間之相關性，這些計量方法可在時空間尺度上解釋與分析景觀之空間型式、生態過程與變遷。

由於土地覆蓋與土地利用變遷與人類的的生活、生產、生態環境息息相關，長期以來土地利用的研究成為區域科學、生態學研究領域中的重要議題。土地利用與覆蓋變遷 (LUCC) 是一個跨領域的研究計畫，目的在於增加瞭解與預測土地利用與土地覆蓋的變遷，廣義的 LUCC 研究領域包括土地覆蓋變遷的格局、土地利用變遷的過程、人類

對土地利用與土地覆蓋變遷的反應、全球與區域模式整合、發展地表與生物物理過程及驅動者的資料庫等，有愈來愈多的研究者認為此議題為具有迫切的重要的關鍵性研究(Turner and William, 1990; Turner and Meyer, 1994; U.S. National Research Council, 1997; Lambin 等人, 1999)。土地利用變遷模式是分析土地利用變遷成因與結果的重要工具，目的在於更加瞭解土地利用系統的功能與支援土地利用規劃與政策。此外，模式有助於瞭解影響土地利用變遷速率與空間模式的社會經濟與生物複雜驅動力，以及估計土地利用改變造成的衝擊；甚至於，模式能夠運用於探討不同發展條件下未來土地利用變遷趨勢，彌補現今人類土地利用變遷分析能力上的不足，有助於更合理的決策制訂。整體而言，土地利用與土地覆蓋變化模型是深入瞭解土地利用和覆蓋變化複雜性的重要方法，其作用和目的主要是對土地利用和覆蓋變化情況進行描述、解釋、預測和制定對策。其中描述是指對土地利用和覆蓋變化歷史及現狀的反應與評價；解釋是闡明土地利用與覆蓋型式與其社會和自然驅動力之間的因果關係；預測是根據土地利用和覆蓋的變化規律及對自然和社會條件所作的假設，推斷未來的土地利用和覆蓋狀況；制定對策則是根據一定的標準，如環境保護、經濟效率和社會公平等，社會目標，進行土地利用規劃及政策制訂。

土地利用變遷的問題，牽涉到時間、空間、人類行為，及彼此間的交互作用，具有多重的複雜性與不確定性。因此近年來發展的土地利用變遷分析、預測模式，由於不同研究領域具有不同的研究目的、主題、空間尺度、時間尺度、人為影響程度，因此發展出不同的模式，Brassoulis (2000) 依模式特性分為統計與經濟模型 (Statistical and Econometric Models)、空間互動模型 (Spatial interaction models)、最佳化模型 (Optimization models)、整合模型 (Integrated models) 等四類，Parker 等人 (2003) 將土地使用模型細分為九大類，包括有方程式基礎模型 (Equation-Based Models)、計量經濟模型 (Econometric Models)、統計模型 (Statistical Models)、系統模型 (System Models)、專家模型 (Expert Models)、演化模型 (Evolutionary Models)、細胞自動體 (Cellular Automata)、行為者基礎模型 (Agent-Based Models) 與整合式模型 (Hybrid Models) 等。模式分類的方式依作者個人的認知、模式特性而有所差異，然而不同的分類系統中所包含的模式差異性不大。在各種土地利用變遷預測模型的比較上，Agarwal 等人 (2001) 執行美國農業部委託計劃時，回顧上百篇土地利用變遷文章後，整理出十九個較為完整的模型，綜合性分析與比較模式的方法論，及處理時間複雜性、空間複雜性、決策複雜性的能力。

目前國內應用模式進行土地利用變遷分析或預測的研究，包括馬可夫模式 (黃書禮與蔡靜如, 2000; 呂仲耿, 2001; 方梅萍, 2002; 周天穎等人, 2003)、羅吉斯迴歸模型 (陳癸月, 2002)、羅吉特模型 (李國忠與黃德銘, 2001)、複迴歸模式 (陳文福與戴梓卿, 1997; 張長義, 2000; 葉昭憲, 2002)、Urbansim (孫志鴻, 2002、2003)、細胞自動機 (顏怡璇, 2003; 賴進貴, 2003) 等，目前應用的模式，主要是分析土地利用空間變遷，或者同時處理時間與空間變遷的議題，仍然缺乏可同時處理時間、空間、人類決策等三個面向的分析模式，如果模式可同時處理上述三項議題，

將可透過情境模擬方式，評估政策的可行性、適用性、影響範圍，進一步可發展出環境政策決策支援系統，有助於目前災區復建、集水區管理、山坡地管理政策之制訂。

2.2 CLUE-S 模式文獻回顧

CLUE 與 CLUE-S 模式主要是以羅吉斯迴歸為預測土地利用變遷機率，透過土地發展情境的研擬，模擬未來土地利用，作為土地利用管制、政策修正、土地管理之參考。依循著 Verburg 等人發展 CLUE 及 CLUE-S 模型的軌跡，有助於瞭解兩模式應用的領域與研究的議題。

CLUE 模型是 Veldkamp 及 Fresco 兩人於 1996 年於 *Ecological Modeling* 期刊中提出，1999a 年 Verburg 等人應用模擬 Ecuador 不同情境的土地利用變遷。Verburg (2000) 的博士論文及發表的文章中應用 CLUE 模型深入的探討大陸不同尺度的土地利用格局特性 (Verburg and Chen, 2000)、模擬土地利用的變遷 (Verburg 等人, 1999b)、模擬牲畜分佈的變化 (Verburg and Keulen, 1999)、農作物生產與土地利用變遷的關係 (Verburg 等人, 2000)，以及印尼 JAVA 地區在面臨高人口成長壓力下土地利用的變化趨勢 (Verburg 等人, 1999c)。此外，Verburg 等人 (2001) 以 CLUE 模型分析與預測大陸土地利用變遷對沼氣消散的影響。Kok 與 Veldkamp (2001) 探討美國中部六個鄉鎮不同空間範圍與空間解析度下對 CLUE 模型分派程序的影響，結果發現所有的解釋變數對於瞭解土地利用格局都很重要，此外降低空間解析度對於解釋土地利用變遷的變數並無顯著影響，但是縮小空間的範圍有助於提高解釋變數的解釋力。Kok 與 Winograd (2002) 以 1996 年資料應用 CLUE 模式模擬 2010 不同情境下美國中部土地利用變遷，結果發現預測的六種土地利用的變化性極高，尤其是牧草地及一年生植物分佈地區；另外在模擬天然災害 (颶風) 的情境中顯示，颶風快速且劇烈的改變土地利用，但在十年後就可以復原。2001 年 Kok 等人進一步提出 CLUE-CA 模型，此模式於哥斯大黎加地區以 15x15m 的空間解析試驗模式參數的靈敏性，其次在哥斯大黎加地區以四個不同空間解析度，宏都拉斯地區以五個不同的空間解析試驗模式的效度，並應用於土地利用時空間變遷預測，且以實際的土地利用資料驗證模式的精確性。Veldkamp 等人 (2001) 以 CLUE 模式應用於大陸、厄瓜多爾、哥斯大黎加等三個地區的結果，再次驗證 CLUE 模式預測國家層級以上土地利用變遷的有效性。

由於 CLUE 模型對於小空間尺度、小空間解析度土地利用變化的預測能力較弱，因此逐漸發展出適合小區域、高空間解析度的 CLUE-S 模型。Verburg 等人 (2002) 於馬來西亞的 Klang-Langat 集水區及菲律賓的 Sibuyan 島進行 CLUE-S 模式效度的試驗與評估，研究結果發現 CLUE-S 模式有效的預測兩地區的土地利用變遷，而情境模擬方式有助於土地利用管理與規劃。但是如果研究地區缺乏土地利用的歷史資料將不利於此模型的預測，此時可引用與研究區發展趨勢相近地區的資料進行模式參數設定。Verburg 等人 (2004a) 土地利用格局的鄰近特性，其概念、方法之後被整合於 CLUE-S 模型中；Verburg 等人 (2004b) 運用 CLUE-S 模型的概念以可及性、空間政策、鄰近互動變數解釋荷蘭住宅、工業與商業、遊憩區的變遷；Verburg 與 Veldkamp (2004) 進一步以 CLUE-S 模式預測兩種不同空間尺度下菲律賓林地邊緣地區的變化；Verburg

等人 (2004d) 以 CLUE-S 模式評估東南亞地區土地利用變遷對生態過程 (ecological processes) 的影響；討論土地利用變遷對環境的衝擊 (Veldkamp and Verburg, 2004)。

整體而言，CLUE 與 CLUE-S 模型已應用於大陸、菲律賓、美國中部、厄瓜多爾、Costa Roca、Honduras 等區域，CLUE 研究的議題包括土地利用變遷、多元空間尺度整合、多領域整合、及方法論的探討等。而 CLUE-S 模式則進一步整合鄰近影響性的概念，討論土地利用變遷與政策、土地管理等相關議題。

2.3 SLEUTH 模式文獻回顧

2.3.1 國外 SLEUTH 相關文獻回顧

SLEUTH 是根據模式中需輸入資料項目 (Slope, Land cover, Exclusion, Urbanization, Transportation and Hillshade) 之總稱來命名。SLEUTH 模型相關研究以 Clarke 在 UC Santa Barbara 與 USGS 合作研究起始，SLEUTH 是 Urban Growth Model(UGM) 模式的演化模式，運用了細胞自動機、結合 Land Cover Deltatron Model(LCD) 模擬都市發展。

Clarke 等人 (1997) 以 San Francisco Bay 地區開始發展以 CA 為基礎的土地利用變遷模擬方法與技術，這些方法與技術為 SLEUTH 的原型；Clark 於 1997 年以 Deltatrons 描述 SLEUTH 的土地轉移方式；Clark 與 Gaydos (1998) 運用 CA 及 GIS 之整合模型預測 San Francisco Washington、Baltimore 及長期的都市成長；Candau (2002) 探討 SLEUTH 模型時間尺度的敏感性；Silva 與 Clarke (2002) 應用此模式進行 Lisbon 與 Porto 地區都市成長模擬，驗證模式應用於歐洲的適用性；Herold 等人 (2003) 結合遙感探測的應用、空間矩陣和空間模式分析，研究美國加州 Santa Barbara 的都市發展；Yang 與 Lo(2003) 設計三個特定的方案，運用 SLEUTH 模式模擬空間都市成長在不同環境條件下的成果；Syphard 等人(2005) CA 模式發展 SMMNRA 這地區的歷史資料格局，用來預測從 2000 到 2005 年的三種都市擴張方案，限制發展坡度並使用了數個景觀矩陣評估，比較與 GIS 模式發展在相同地區的結果。

下表 1 為 SLEUTH 模式相關文獻彙整與大綱：

表 1：SLEUTH 模式國外文獻

作者	標題	年份	內容
Keith C. Clarke, S.Hoppen,L.Gaydos	A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area	1997	描述一個細胞自動機的模擬模式用來預測 San Francisco Bay 地區。成長規則較典型的 CA 複雜，包含多重的資料來源，以及控制參數允許自我成長，模式根據蒙地卡羅測迴完成一連串的校正，產生未來的都市成長。
Keith C. Clarke	Land use modeling with Deltatrons.	1997	延伸自細胞自動機都市成長，導入土地覆蓋轉變。模式建構使用 Deltatron 當作細胞自動機於土地覆蓋轉變的人工主體，描述其轉變方法及概念。

Keith C. Clarke and Leonard J. Gaydos	Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore	1998	模式應用於兩個快速成長，但顯著不同的都市地區：加州舊金山灣地區和美國東部華盛頓、巴爾的摩廊道，校準和預測兩個地區的結果，回顧資料需求，比較模式初始設定和控制參數，討論 GIS 應用的角色。
Jeannette Candau, Steen Rasmussen, Keith C. Clarke	A coupled cellular automaton model for land use/land cover dynamics	2000	都市成長模式(UGM)模擬都市成長伴隨著土地覆蓋模式(DLM)組成 SLEUTH 模式。SLEUTH 模式應用在 MAIA 地區，起始年為 1992 年，設定 50 次蒙地卡羅測迴到 2050 年，產生兩個機率地圖，形容土地覆蓋改變的機率和特性。
E.A. Silva , K.C. Clarke	Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal	2002	都市化的模式通常內在化一般和已知的特性，包含特定區域的局部變化如活動、人口成長、高速公路的建立。應用校準技術有來龍去脈的發展模式，並建立一般化目的模式。這篇文獻主要的目的是： 1. 證明同樣的模式能夠應用不僅在北美洲同能夠應用於歐洲。 2. 證明使用比較性的都市研究經由校準能夠驗證架構和地理差異的重要性。 3. 顯示空間的解析度改善模式執行對局部條件更為敏感。 4. 連續多階段的最佳化經由不同階段的校準是模式應用比較的關鍵。
Martin Herold, Noah C. Goldstein, Keith C. Clarke	The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling	2003	結合遙感探測的應用、空間矩陣和空間模式分析，研究美國加州聖塔芭芭拉市的都市發展。空間矩陣用來評估都市發展在四個行政地區，一般化分析時間和空間的都市動態成長。結合遙感探測、空間矩陣和都市模式是有效用的，也許能夠證明一個新的方向用來改善空間時間形式都市化過程的認知，代表和模式。
Xiaojun Yang and C. P. LO	Modeling urban growth and landscape changes in the Atlanta metropolitan area	2003	使用都市發展模式和土地變遷模式，模擬過去三十年美國亞特蘭大都會區未來的都市發展，從時間序列的衛星影像，擷取歷史資料用來校準模式，設計三個特定的方案，模擬空間都市成長在不同環境條件下的成果。
Charles Dietzel and Keith C. Clarke	Replication of Spatio-temporal Land Use Patterns at Three Levels of Aggregation by an Urban Cellular	2004	這篇研究主要是藉由校準模式符合 5、10 和 15 不同的土地利用種類的歷史資料，檢視模式複製歷史資料的土地利用格局。模式驗證了它的強健性，可以在八年的時間內，空間和時間上正確地複製 72-93% 的土

	Automata		地利用變遷。
Noah Charles Goldstein, J.T. Candau, K.C. Clarke	Approaches to simulating the “March of Bricks and Mortar”	2004	在不同時期的時間內，重新創造都市土地利用的範圍，可檢視都市如何成長和政策如何改變，影響動態都市發展。模式研究強調都市未來的模擬，不可忽略了歷史的趨勢，因為歷史資料可以量化測試動態模式和理論，保持了解地區過去的動態成長，允許更明智的未來預測。使用時間空間方法，重新創造加州聖塔芭芭拉的都市範圍。
William D. Solecki, Charles Oliveri	Downscaling climate change scenarios in an urban land use change model	2004	文獻目的主要描述在 SLEUTH 模式中，降低氣候變遷方案的尺度，推測實驗的結果。土地利用變遷方案在美國中亞特蘭大紐約都會區(NYMR)的 31 個郡實行。
Alexandra D. Syphard, Keith C. Clarke, Janet Franklin	Using a cellular automaton model to forecast the effects of urban growth on habitat pattern in southern California	2005	土地利用變遷是影響陸地生態系統最重要的人為因子之一，導致棲地減少、破碎以及與其它總體變遷間的交互作用，如非原生種生物的入侵。在南加州，人口發展、經濟擴展是土地利用變遷的最主要驅動力，人口在四十年內預計變為兩倍。即使鄰近大都會區，the Santa Monica Mountains National Recreation Area(SMMNRA)大部份地區尚未發展，有 50% 保護為公共用地。在這篇研究中，CA 模式發展這地區的歷史資料格局，用來預測從 2000 到 2005 年在 SMMNRA 的三種都市擴張方案，限制發展坡度大於 25%、30%和 60% 山坡。棲地格局和範圍在這三個方案中使用了數個景觀矩陣評估，比較與 GIS 模式發展在相同地區的結果。
Claire A. Jantz and Scott J. Goetz	Analysis of scale dependencies in an urban land use change model	2005	在土地利用模式中，尺度會影響土地利用格局的大小和量化描述，重大地影響模式參數變化，以及土地利用過程。測試改變網格解析度後，模式得到的結果，檢查每一種類型的都市成長規則在不同網格大小的變化，探索模式跨尺度獲得成長率和格局的能力。

George Xian and Mike Crane	Assessments of urban growth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data	2005	模式使用映射都市範圍和決定 Landsat 衛星遙測資料的不透水表面，結果顯示不透水資料使用一組空間資料組，用來模擬歷史都市發展和預測未來都市和次都市的範圍、密度和使用 SLEUTH 模式成長的格局。
Martin Herold , Helen Couclelis, Keith C. Clarke	The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change	2005	本文探索結合遙測和空間指數，目的改進分析和塑造都市成長和土地利用變遷。當遙測資料用於有一段時間的都市成長和分析，遙測和空間指數的提出組合相當新穎。聲稱提出的方法導致都市動力學的並且幫助發展另一個都市空間結構變遷的觀念。理論論據說明與實例從加利福尼亞市區，聖塔芭芭拉。有些問題為未來研究幫助加強提出架構的潛力，特別是關於都市動力學的進一步在不同尺度的探索。
Charles Dietzel and Keith Clarke	The effect of disaggregating land use categories in cellular automata during model calibration and forecasting	2006	都市成長的空間模式在計劃過程中扮演很重要的角色，有個問題還沒有充足的被提出，從都市、非都市種類加到這些模擬後，分開土地利用的類型到何種程度?這篇文獻主要是為了回答這個問題，經由在 San Joaquin 郡塑造都市化後，使用 SLEUTH 都市擴張模式在兩個相同地區，但不同資料組：一個是都市、非都市資料，另一個是相同的資料，但非都市的資料分成九個土地利用資料。
Charles Dietzel and Keith Clarke	Toward optimal calibration of the SLEUTH land use change model	2007	SLEUTH 模式是一個計算模擬模式，使用合適的細胞自動機模擬都市成長和改變周圍土地利用，使用 backcast(回顧)測試之前已知資料是一個有效用的模擬方法，模式使用 Brute Force 方法，找尋所有的參數可能組合解，這篇文獻利用 self-organizing map(SOM)方法，用來縮減處理資料量找尋最佳參數解，指出如何使現有的 13 個校準指標最佳化，新的指標方法應用在未來的 SLEUTH 模式。

檢視國外相關 SLEUTH 文獻，研究應用於 UGM 模式，發展都市格局，預測都市發展趨勢之地理文獻已蓬勃發展 (Clarke, 1997; Clarke and Gaydos, 1998; Candau et al., 2000; Goldstein et al., 2004)；若考慮土地利用圖層，使用 Deltatron 模式模擬，分成不同土地利用類別評估模式對於歷史格局複製的正確性 (Dietzel and Clarke, 2004; Dietzel and Clarke, 2006)，後續研究可運用景觀生態指數評估土地利用格局及生態效益 (Herold et al., 2003; Syphard et al., 2005)。

由廣泛蒐集文獻得知，SLEUTH 模式已廣泛運用於世界各地模擬，包含美國巴爾的摩、舊金山灣區、加州 Santa Barbara、亞特蘭大都會區等地；泰國 Chaing Mai、澳洲雪梨、葡萄牙 Lisbon 等，模式不受限於區域性，可推廣於世界各地使用。

2.3.2 國內 CA 與 SLEUTH 相關文獻回顧

國內對於SLEUTH模式之應用可於近年內文獻得知，其運用細胞自動機概念於都市發展，在前人之研究已廣泛使用，蒐集文獻以CA或SLEUTH模式應用於土地利用變遷為禱。汪禮國(1997)研究細胞自動體(CA)探討可能的都市變遷規則，結果提出複雜型態是建立在半格子狀結構之演化規則基礎上。賴進貴等人(2000)研究淡水河流域，以CA概念為基礎，從空間演化面，建立土地利用變遷模式以及對於變遷網格進行空間組織結構的分析。林峰田等人(2002)於台北都會區，研究結合細胞自動機與訂定轉移影響因子模擬都市發展，建構土地利用轉移規則。簡文謙(2003)於台中地區研究以細胞個體的行為來模擬都市內部空間的演化現象，以二種不同的情境參數設定及三種不同的鄰近關係，結果顯示在相同的起始狀態下，模擬規則的影響會使得CA 模擬產生明顯差異。張永葵(2006)應用SLEUTH模式於宜蘭平原地區模擬都市成長，驗證宜蘭平原地區之適用性。

表 2：SLEUTH 模式國內文獻

作者	題目	年份	內容
汪禮國	細胞自動體模式 (Cellular Automata)與都市空間演化	1997	研究以細胞自動體(CA)探討可能的都市變遷規則，將演化規則以 NDFA(nondeterministic finite state automata)轉變為(deterministic finite state automata)，分析規則屬於半格子狀或樹狀結構，結果提出複雜型態是建立在半格子狀結構之演化規則基礎上。
賴進貴、王韋力、紀明德	從空間演化觀點探討土地利用變遷	2000	以 CA 概念為基礎，從空間演化面，建立土地利用變遷模式，研究區域為淡水河流域，整合資料與不同年代間的土地利用變遷情形，對於變遷網格進行空間組織結構的分析。研究成果顯示每一個變遷網格其周遭網格的土地利用類型呈現不同的特性，從空間結構無法解釋土地利用變遷。
林峰田等人	宮格自動機於土地利用變遷模擬之結合機制	2002	研究結合細胞自動機與訂定轉移影響因子模擬都市發展，模擬區域為台北都會區。蒐集相關資料包含八十三年國土調查資料、縣市土地使用計畫分區圖、各年度人口調查資料等，建構土地利用轉移規則，模擬評估民國八十七年的土地利用發展。
簡文謙	以 GIS 及非規則空間 CA 為基礎的都市土地使用模擬方法	2003	研究以細胞個體的行為來模擬都市內部空間的演化現象，研究區域為台中市內部地區。在研究地區以二種不同的情境參數設定及三種不同的鄰近關係，結果顯示在相同的起始狀態下，模擬規則的影響會使得 CA 模擬產生明顯差異；在不同空間轉變規則

			下，都市空間變遷均可以自我呈現出自我組織特性；不同鄰近關係對於模擬結果之影響遠比轉變規則差異所造成的影響為小。
張永葵	應用GIS 與細胞自動機(CA)模擬都市空間之擴張—以宜蘭平原為例	2006	運用 SLEUTH 模式模擬宜蘭平原地區都市成長，以40、80、160、320 公尺等不同的網格尺度進行模擬，尋找適合模擬的網格大小，驗證此模式於宜蘭平原地區之適用性。再應用於宜蘭平原之宜蘭市、羅東鎮與蘇澳鎮三個主要都市，以模式中參數探討都市擴張模擬與預測。

檢視國內 CA 與 SLEUTH 模式相關文獻，以細胞自動機為觀念基礎發展的土地利用變遷模式，主要在於訂定其細胞成長規則及土地利用別轉變機率的訂定，有別於廣為使用的統計機率模式，提供研究土地利用模式相互比較的概念。

三、研究區域

本計畫研究範圍為台北都會區東南隅寶橋集水區，以下為其背景資料：

3.1 地理區位

寶橋集水區位在臺北都會區東南方，總面積約為 98.6 平方公里，行政區域主要包含臺北市文山區與臺北縣石碇鄉、深坑鄉、新店市為主要行政範圍，邊緣有少部分南港區、坪林鄉、汐止市、平溪鄉。文山區在寶橋集水區內面積約佔全區之 76.85%，位於臺北市之東南方；石碇鄉在集水區內面積約佔全鄉之 35.05%，位於臺北盆地的東南方，西邊與文山區、深坑鄉、新店市相鄰，東邊與坪林鄉銜接，南邊接壤烏來鄉，北邊則與汐止鄉、平溪鄉為界；深坑鄉在集水區內面積約佔全鄉之 86.60%，地處臺北縣地理位置之中心地帶，西邊相鄰文山區，東邊接壤石碇鄉，北邊銜接南港區，南邊與石碇鄉為界；新店市在集水區內面積約佔全市之 4.47%，西邊接壤中和市、東邊相鄰石碇鄉，南邊有烏來鄉、北邊則與景美和木柵相鄰。蒐集本集水區之資料以主要涵蓋範圍文山區、石碇鄉、深坑鄉、新店市為主。



行政邊界圖

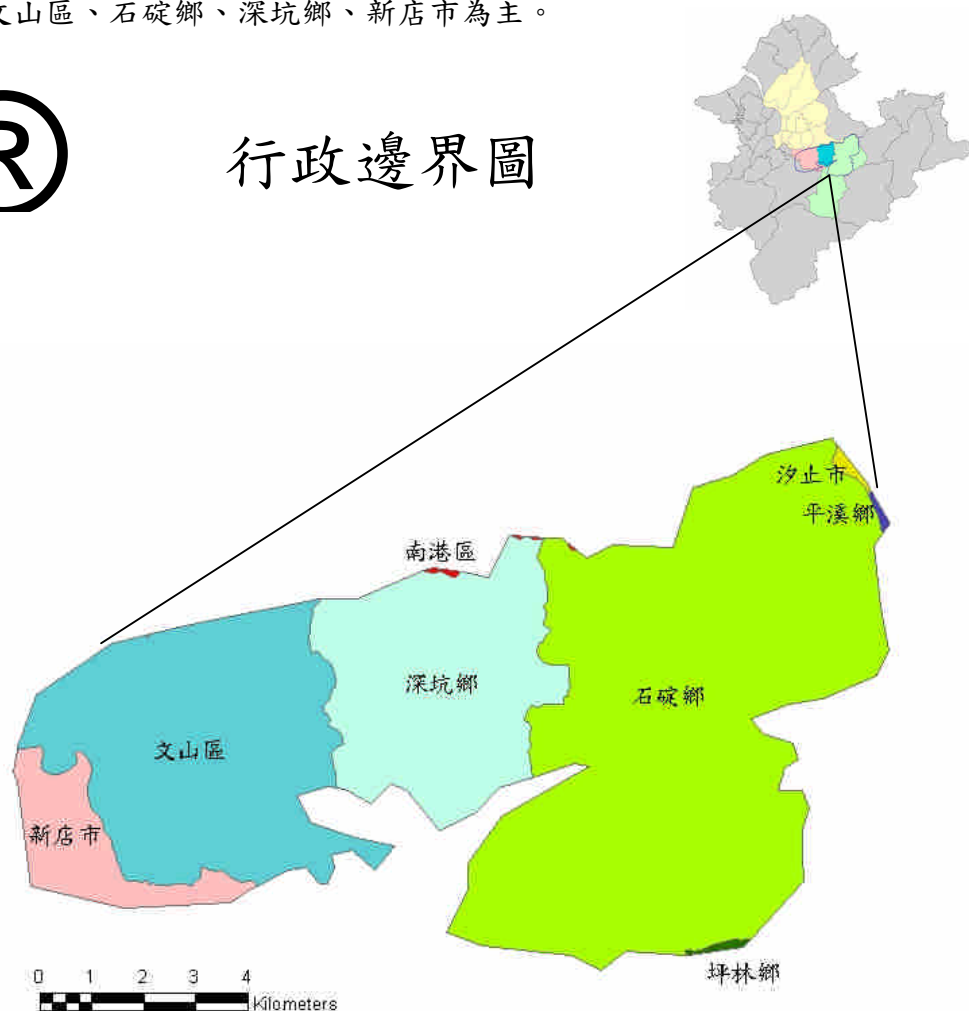


圖 3：寶橋集水區行政邊界圖(資料來源：區域土地使用計畫管理系統，1998)

3.2 自然環境

3.2.1 地形

寶橋集水區上游為河谷地形，中下游河階地形發達，河階大多面積廣闊但階數不多，地勢大致呈東北東-西南西走向，最大高程為840公尺，最小高程為15公尺，高程差為825公尺，平均粗坡度約為50公尺/公里(盧光輝與黃榆茗，2004)。

由「修訂台北縣綜合發展計畫」地區發展計畫(2002)調查：石碇鄉之地形多屬丘陵和中級山岳地區，南部為北勢溪主流中心部份，北部則有景美溪及其他支流如永定溪、烏塗溪、石碇溪等流經本鄉。其主要骨幹為雪山山脈及其支脈，高度為海拔100至600以尺，為地勢較高之地區；深坑鄉主要為V字型不對稱的河谷地形，境內多丘陵，南北兩側山區坡度大，地形陡峭。同時土壤母岩岩性鬆軟，極易風化。

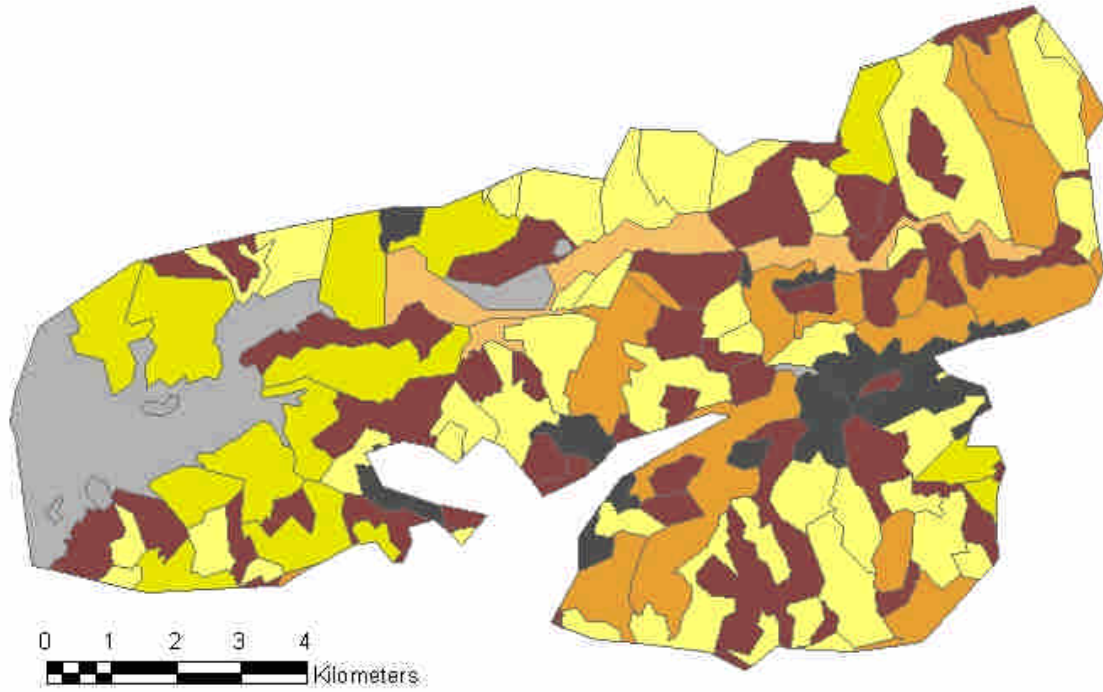
文山區志(2006)描述，文山區位於臺北盆地之東南，全區境內約有4分之3的地區，屬於海拔50公尺以上的丘陵地，地勢東高西低、南高北低，丘陵地形發育主要受到地層分布及臺北斷層、崙頭斷層、新店斷層逆衝和數條褶皺等構造線的影響，山稜線均略呈東北東走向。

新店市志(2006)描述，新店市地勢南高北低，屬於雪山山脈分支的丘陵地帶，全境除北部新店溪兩岸為較大河谷平原外，餘均為坡度30%以上之山坡地。

3.2.2 土壤

研究區域的土壤概況方面，根據內政部營建署區域土地使用計畫的分類，主要的土壤為幼黃壤與崩積土，其次為石質土，石質土、黃壤、岩石分佈較少，集水區內土壤分佈散亂。表土質地主要為壤土，其次為坵質壤土、粗砂。土壤外部排水性良好。

土壤分佈圖



圖例		
岩石	沖積土	黃壤
崩積土	無母質	
幼黃壤	石質土	

圖 4：寶橋集水區土壤分佈圖(資料來源：區域土地使用計畫管理系統，1998)

3.2.3 氣候

由「修訂台北縣綜合發展計畫」地區發展計畫(2002)調查：深坑鄉氣候溫和，雨量充沛，年均溫約攝氏 20 度，年雨量約 2800-2900 公厘。冬季三個月大都為連續性陰雨，氣溫多在攝氏 15 度以下，寒冷潮濕。夏季 6、7、8 三個月，氣溫較高，然本鄉因屬山區丘陵地形，故較臺北市涼爽，月均溫在攝氏 26 度至 28 度之間。夏季月平均雨量約 240 至 290 之間，多係颱風侵襲所帶來之暴風雨或午後對流性雷雨。

由文山區志(2006)提及：文山區位於北緯 25 度左右，屬副熱帶季風氣候區，氣候溫和，雨量充沛，年均溫約攝氏 20~22 度，年雨量約 2800 公厘。本區全年月平均溫超過攝氏 20 度以上的月份，平地為 4 至 11 月，長達 8 個月，山上則為 5 至 10 月，亦達半年之久。本區因位於臺北盆地東南緣，屬丘陵地形，故較臺北市中心涼爽。降雨季節分佈於全年，沒有明顯乾季，雨量最多的月份是 9 月，最少的是 12 月。

根據新店市志(2006)描述，新店地區地勢平坦區年均溫度約為 22.4℃，山地丘陵區之年平均溫度為 22.1℃，全年平均氣溫最高的月份出現在 7、8 月。新店市冬季主要受東北季風影響，夏季則多受西南季風吹襲。惟西南季風在強度與盛行時間上均不及東北季風。本市夏季日照相當強烈，平均每日日照實數高達 6 小時以上，月均溫超過 20℃者多達 8 個月以上，年均溫約 22.1℃，最冷月平均溫度 15.4℃，故全年在氣候上屬溫熱無寒冬的型態。於丘陵地帶的年降雨量為 2,798.9 公厘，平地地區為 2,361.8 公厘，表明新店地區因為地形因素，降雨有由平地向丘陵山地增多的趨勢。

寶橋集水區境內於臺北縣石碇鄉有雨量站石碇(2)，由圖中歷史年雨量可知，每年最大年雨量可達 4800 毫米以上，最低也約有 1800 毫米以上。

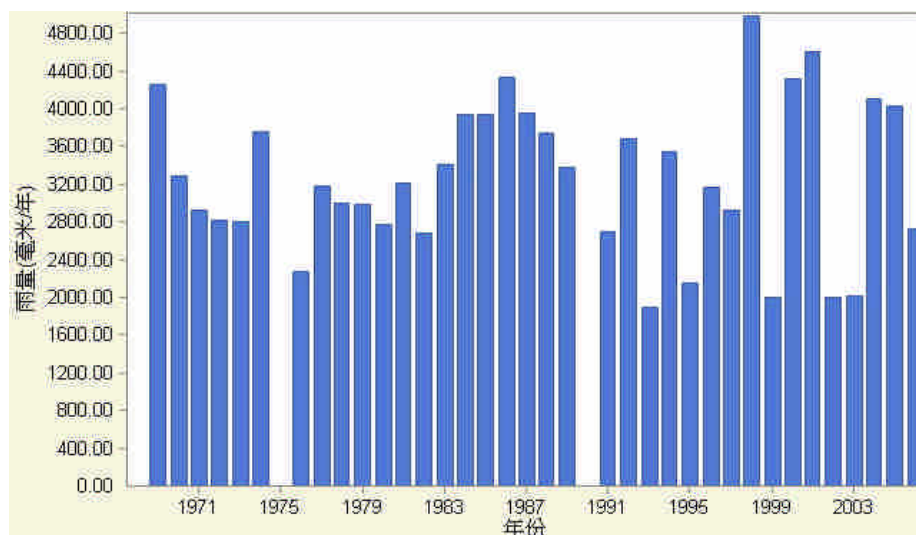


圖 5：石碇(2)測站年雨量統計圖

(圖片來源：經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統)

3.2.4 水文

寶橋集水區境內主要由景美溪、永定溪、石碇溪為三條主要溪流。

景美溪流經石碇、深坑兩鄉與臺北市文山區，流域面積113.72平方公里，其上源為永定溪與石碇溪，永定溪分南北兩源，南支發源於石碇鄉司公髻尾山北坡，北流經大溪墘，與發源於耳空龜之北支相會，向西流，在石碇子埔附近北會十八重溪，西流至雙溪，始與石碇溪合流(詹瑋，2002)。

由「修訂台北縣綜合發展計畫」地區發展計畫(2002)調查：石碇鄉之主要溪流，一為北面之永定溪，河道約20~30公尺，水量豐富，其由藤寮坑溪匯流合成。另為東南面之崩山溪，河道較窄約10~15公尺，此兩溪再匯入深坑溪，其餘尚有許多野溪，雨季時水量豐富，乾季時則為乾涸。新店市境內屬新店溪流域。臺北盆地中的淡水河流域由三大支流構成：大漢溪、新店溪及基隆河，其中新店溪因流經新店而得名。新店溪全長73.3公里，全流域約1000平方公里，占淡水河流域總面積的33%。新店市的範圍涵蓋了景美溪會流處的兩岸地帶。

寶橋集水區範圍內於臺北市木柵設有水位站寶橋，屬景美溪流域，由圖中1990年到2000年之歷史水位可知，每年平均水位約為9公尺。

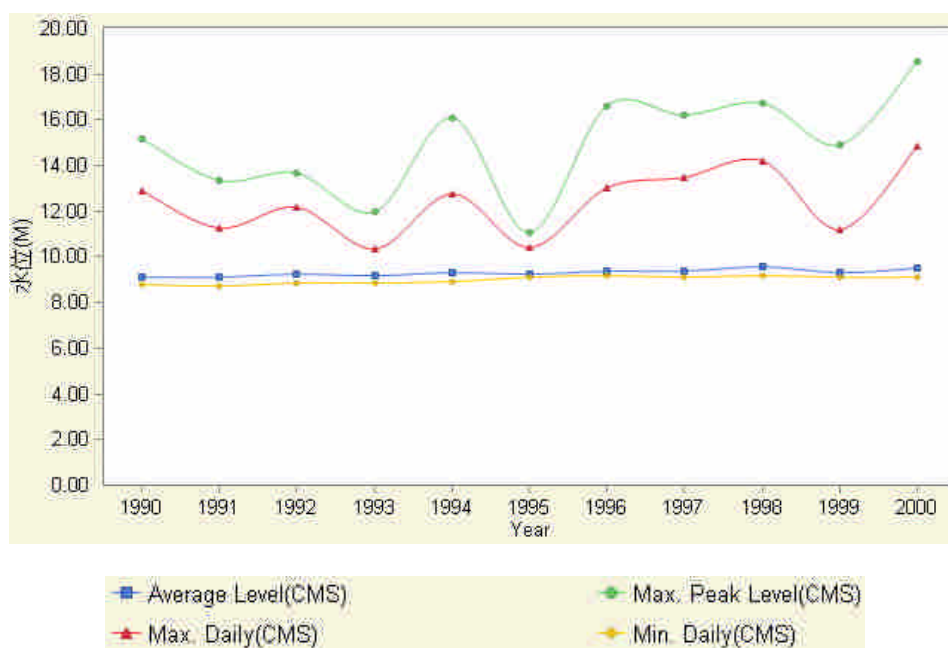


圖 6：寶橋測站水位分佈圖

(圖片來源：經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統)

3.3 人文社經環境

3.3.1 歷史概況

詹瑋(2002)於博士論文中，提出文山地區（景美、木柵、深坑、新店、坪林、石碇）的歷史發展研究：

景美地區，是移民進入文山地區的門戶，在景美開闢之同時，移民也沿著景美溪向木柵移墾。深坑的開墾大致而言，在溪北的萬順寮莊、深坑仔莊，是以高姓族人為主，而土庫莊的開闢，亦是以高姓為主共同開墾的，其開墾時間在乾隆、嘉慶間，而建莊時間則不晚於嘉慶二十一年。石碇地區，據《臺北縣志》〈開闢志〉內容來看，石碇北半部，景美溪流域一帶，大概是乾隆末年、嘉慶初年所開闢。新店地區的拓墾可分為兩部分，一為大坪林庄，一為安坑庄。雍正、乾隆年間，泉州移民從溪子口沿新店溪繼續向南移墾，在水尾上岸，於此地形成街市，名曰店子街，這是新店的第一條街市。

由「修訂台北縣綜合發展計畫」地區發展計畫(2002)調查：

石碇地區早期為宜蘭、坪林等地進出臺北之門戶，受制於崎嶇複雜的山嶽地形，經濟發展向來以農業為主，工商業並不發達，早期鄉內之豐富礦藏及聞名的文山包種茶曾經盛名一時，今因煤礦業之沒落及坪林鄉茶葉的掘起，而使本鄉的產業發展倍受打擊；隨著賴以為生的產業逐漸沒落，鄉內青年紛紛之轉向外地求職，造成嚴重的人口外流問題，鄉內中、老年工作者多以打零工維生，形成都會邊緣的弱勢族群。

深坑舊名為「簪纓」，其開發可遠溯至1755年，閩南發生旱災，福建泉州人許宗琴一族人渡海至台開墾，而展開深坑墾荒之始頁。深坑在早期因適合船隻停泊而興建渡船頭，形成熱鬧的貨物轉運站，後因開墾重心遷移，萬順寮渡口的地位遂為深坑街渡口所取代。深坑可說是台灣最早的茶鄉，也因位於文山地區茶葉輸出的水陸交通樞紐而極盛一時。光復後因新店及坪林茶園大興，木柵也極力發展觀光茶業，深坑則因交通不便且地處偏僻無法繼續經營。今日深坑因交通便利而再度繁華，只是主角轉為口味獨特的「豆腐」及百年「古厝」。

新店開發最早的新店老街(新店街)位於新店溪與青潭溪交會口，鄰近碧潭邊。民國81年因新店路闢建工程而陸續拆毀。如今新店街的商業機能仍盛，但早期建築物已然不見。在北新公路未闢之前，北新鐵路(現今汀州路)是從台北萬華到新店的一條風景線，遊客多搭乘該鐵路前往碧潭風景區。沿途以萬華起站，依次有馬場町(和平)、古亭町(古亭)、螢町(螢橋，今廈門街口)、十五分、七張、大坪林、新店等分站。日本政府為了開發運輸新店、烏來地區的木材、茶葉、煤炭資源，並兼具聯絡蘭陽盆地之用，遂於西元1919年興闢此鐵路，1965年因羅斯福路等公路的開築而停駛。

3.3.2 人口

寶橋集水區根據臺北縣市各行政區的戶政事務所統計，依集水區內佔各區、各鄉之面積比例換算人口數，計算集水區內人口至2000年已達到約23萬8千人，人口集中在臺北市文山區，人口數最多；其次為臺北縣新店市，再來為深坑鄉、石碇鄉，其餘為集水區邊緣的其它行政區，由於佔地面積比例很小，因此人口數極少。

表 3：寶橋集水區人口數統計

年份(西元年)	1998	1999	2000
文山區人口數統計(人)	168019	171150	174614
深坑鄉人口數統計(人)	9595	9756	9886
石碇鄉人口數統計(人)	5693	5531	5612
新店市人口數統計(人)	47592	47330	47513
南港區人口數統計(人)	192	189	191
平溪鄉人口數統計(人)	33	31	30
汐止市人口數統計(人)	10	11	10
坪林鄉人口數統計(人)	4	4	4
總計人口數(人)	231139	234002	237861

(資料來源：台北縣市各戶政事務所人口統計)

3.3.3 土地利用

本計畫以 SPOT 衛星影像進行寶橋集水區土地利用判釋，年代分別為 1990、1993、1998、2000 年。在 1990 年至 2000 年中，集水區的土地利用型態以林地最多，其次是建地，以林地面積減少最多，約為 385.6 公頃；農地居次，約為 32 公頃。增加以都市用地為主，增加了 456.96 公頃；其次是草地，增加了 11 公頃。

3.3.4 交通

A. 文山區

文山地區的運輸概況：

高速公路：國道三號，又稱福爾摩沙高速公路，簡稱福高。連接市區辛亥路與國道三甲，在萬芳交流道與信義快速道路相接。國道三甲又稱台北聯絡線，連接國道三號與台北南部、木柵、台北縣深坑等地。從台北市辛亥路辛亥隧道上端起，經過萬芳隧道後，萬芳交流道與信義快速道路聯接信義、木柵區，在木柵交流道與國道三號主線會合。

市區主要道路：

根據文山區志(2006)描述，主要道路有羅斯福路 5、6 段：1 至 4 段分屬中正區與大安區，5、6 段屬本區。興隆路 1、2、3、4 段：起自羅斯福路 6 段，至木新路 3 段止，為文山區內主要的幹道之一。木柵路 1、2、3、4、5 段：本路為景美、木柵間幹道。

捷運系統：

臺北捷運木柵線，於民國85年3月28日通車營運，是臺北捷運最早通車的捷運路線，木柵線全線皆為高架路線，全長約 10.9 公里，在文山區內設有動物園、木柵、萬芳社區、萬芳醫院、辛亥等站。貓空纜車於民國96年7月4日正式通車營運，為臺北市首條高空纜車，全線長約4.03公里，設置4個車站，2個轉角站作為路線轉向之用（臺北大眾捷運股份有限公司網站

Available: <Http://www.trtc.com.tw/c/index.asp>）。

B. 石碇鄉

石碇鄉之交通運輸有三條主要幹道：

由「修訂台北縣綜合發展計畫」地區發展計畫(2002)調查：

北宜公路：為石碇地區主要聯外幹道，連絡宜蘭、臺北兩地，而具有重要之區域性交通運輸功能。106縣道：石碇地區連絡深坑鄉、臺北市文山區，為旅客進入本鄉的主要交通幹道。北宜高速公路：通車後大幅度提高石碇鄉交通可及性，為石碇地區帶來發展空間。

C. 深坑鄉

根據黃榆茗(2003)描述：

深坑鄉主要交通運輸由景美溪北岸之萬順村，以北部第二高速公路西邊兩雲山區博嘉里相鄰，有106縣道向西通往木柵，106縣道為通往石碇鄉之主要聯絡道路。109號縣道，此道路於公賣局深坑倉庫東側與106縣道相接，向北銜接臺北市南港區舊庄路一段，為深坑與南港間的重要通道。

D. 新店市

新店市的交通運輸概況：

由新店市志(2006)描述：

本市內重要聯外公路均已完備，臺北市區南邊最重要的幹線道路羅斯福路、汀州路相連，是省道9號的一部分，另一條路線則是由新店經木柵（今臺北市文山區）地區通往臺北市東南側的辛亥路。在新店溪另一邊的安坑，與新店市區（大坪林）是以碧潭橋相連接。早期此地對外主要交通路線有3條，除了往新店方向的碧潭橋外，還有一條通往中和（安和路，或稱為臺北縣道111），另一條則是通往三峽（安康路，或稱為臺北縣道110）。新店市也為北宜公路（省道九號的一部分）的入山口，也是臺北前往宜蘭等東岸縣市最主要的必經地。而新烏公路（新店—烏來，也稱為省道九甲，是省道九號的支線）則是進出烏來鄉唯一的一條交通動線。在本市境內有許多晚期才建設

完成的交通建設，如北部第二高速公路全線長108公里。主線從南北高速公路的汐止始，經南港、新店、中和、大溪、竹東至新竹科學園區南端銜接南北高速公路，長90公里。北二高通過新店市，並且設置有新店與安坑兩個交流道，此為近年新興築的高速公路建設工程。臺北都會區大眾捷運系統新店線自臺北火車站沿羅斯福路跨越景美溪進入新店，再沿北新路至現今的公路局新店車站，新店線主線於本市設有大坪林站、七張站、新店市公所站、新店站。另為服務新店十四張地區民眾之需求，配合新店機廠聯合開發，於機廠上方設置小碧潭站，稱為小碧潭支線。

四、實施步驟與研究方法

4.1 實施步驟

本計畫之實施步驟流程圖如下：

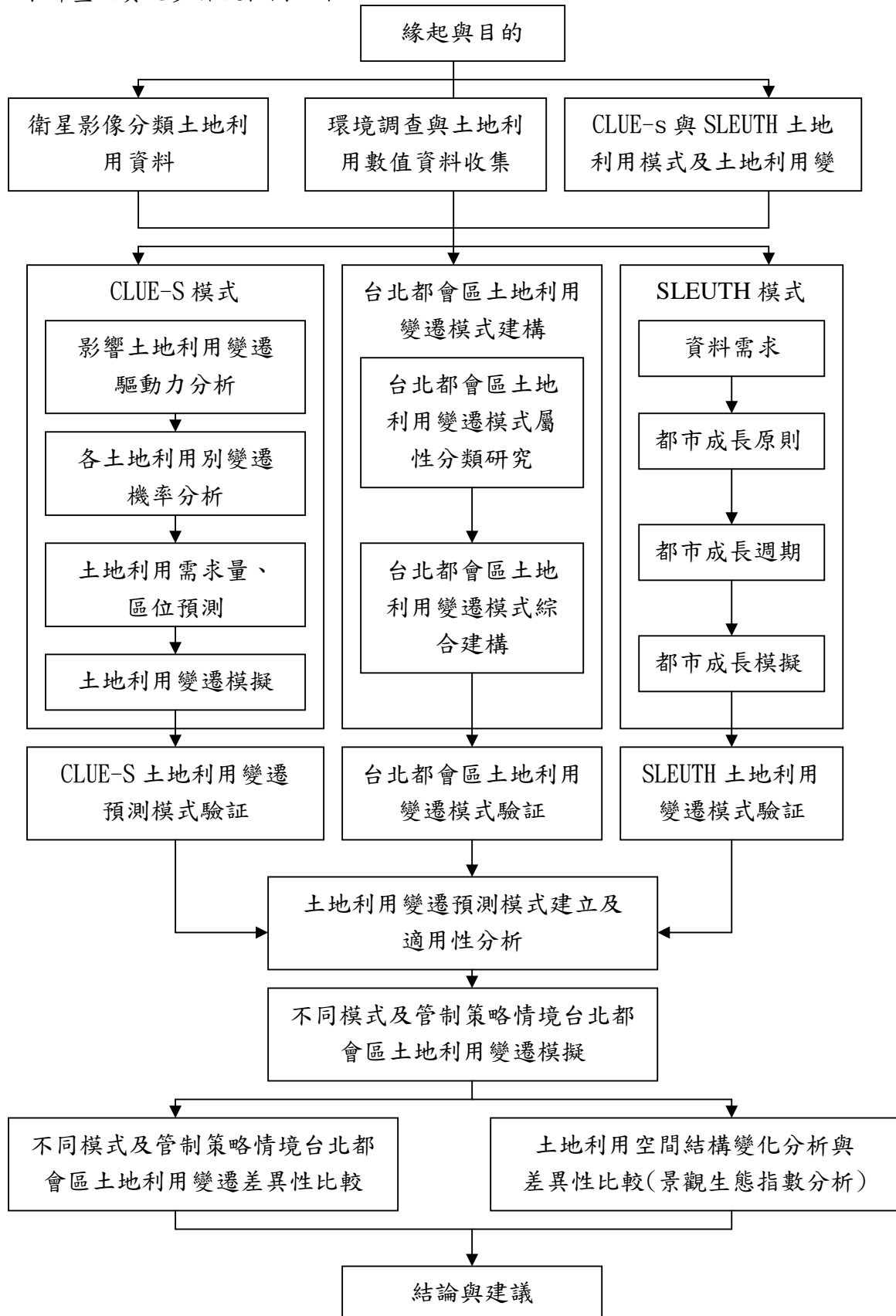


圖 7：實施步驟流程圖

4.2 研究方法

4.2.1 SLEUTH 模式

模式架構

SLEUTH 模式廣泛地運用在地理文獻中檢查都市歷史格局和預測未來成長(Dietzel and Clarke, 2004)。模式是一個獨立尺度的細胞自動機模式，與傳統 CA 模式有差異(Clarke and Gaydos, 1998)。模式並非依據一般從歷史或假設資料的機率分佈概念，允許每個網格根據規則獨立行動，類似於都市擴張(Clarke, 1997)。

模式操作如一組巢狀迴圈：外圈重複執行每一個成長歷史，保留累積的統計資料，內圈執行單一年的成長規則(Clarke and Gaydos, 1998)。規則應用於某時間的一個網格中，全部網格更新且當作一年的測迴完成，當作接下來年間的都市擴張基礎，隨機選取有潛力都市化的網格，成長規則評估網格特性和它的鄰域(Clarke and Gaydos, 1998)。模式由多樣的起始條件，允許以蒙地卡羅方法平均輸出機率，給定網格是否都市化機率(Clarke, 1997)。SLEUTH 模式校準應用五個參數根據轉變規則，描述歷史成長格局，分別為跳躍式擴散係數：控制所有的擴散成長、新擴散中心係數：決定一個新產生或道路影響發展開始它的循環、蔓延係數：控制向外擴張的數量、道路引力係數：激發靠近交通網絡的都市發展、坡度阻礙係數：影響較陡坡度的發展機率(Clarke, 1997; Clarke and Gaydos, 1998; Yang and Lo, 2003; Dietzel and Clarke, 2006)。成長規則分別為自發性的成長：在未發展地區塑造都市成長、道路影響成長：由於增加易受影響度而沿著道路網絡促進成長、新中心的成長：允許孤立的網格成為新的都市擴張中心、邊緣成長：促進已發展都市網格擴張到四周(Yang and Lo, 2003)。

校準階段分為三個步驟：粗糙校準、細微校準、最後校準，Lee-Sallee 指數用來縮小參數間距。自我修正規則是模式為了精準地反映出典型的 S-曲線都市擴張率，當有許多網格可用來都市化時，在成長循環初期，參數值快速增加，然後隨著時間，參數值減緩，當成長率低於臨界低值，若沒有自我修正，模式會產生只有線性或指數的成長(Silva and Clarke, 2002)。

都市成長模式(UGM)可以獨自執行，亦可以驅動土地覆蓋轉變模式(LCD)；創造景觀變化是由在 UGM 模式中新都市化的網格數量驅動，改變循環初始由隨機選擇網格，測試是否適合改變，四個條件的網格不能改變：網格內無資料、水體、已都市化網格、Deltatron 網格(Dietzel and Clarke, 2004)。當選定一個合適的網格，兩個土地利用類別被隨機選擇，平均坡度最接近選擇網格的類別，允許土地覆蓋轉變，計算初使類別和隨機選取類別的轉變機率，若隨機選取值大於轉變機率，網格不會轉變，相反地；若轉變發生，會隨機蔓延到它的鄰居，創造聚落，在第一階段的成長中，許多土地利用變遷的聚落產生，它們的年紀也被記錄(Candau et.al, 2000；Dietzel and Clarke, 2004)。第二階段的 Deltatron 模式，在它的鄰居中，存在 Deltatrons 嘗試初始化在可用的土地上，若一合適網格有前一時間階段產生的二或三個 Deltatron 鄰居，網格就創造轉變，測試土地利用轉變機率，一旦轉變完成，Deltatron 被記錄年紀或被殺(Candau et.al, 2000；Dietzel and Clarke, 2004)。

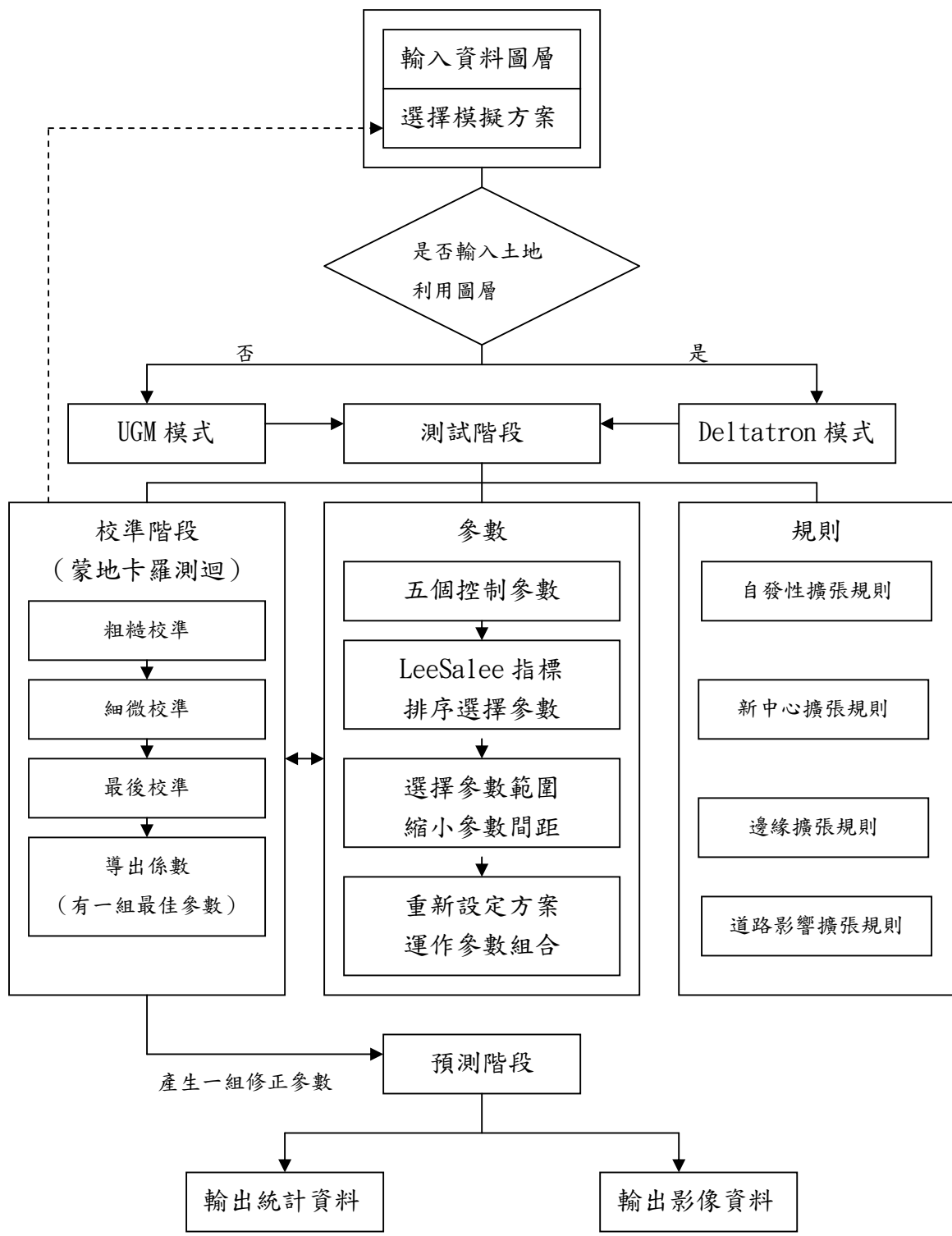


圖 8：SLEUTH 模式架構圖

校準模式主要包括測試階段、校準階段與預測階段三個階段(Silva and Clarke, 2002)。

(1)測試階段

模式依照需求一開始即檢驗輸入圖層是否符合格式，允許連續執行，避免耗費大量時間後產生錯誤情形。模式以起始值 0 單一數值為控制參數，允許驗證每一個控制參數，對於其輸出成果的控制影響(Clarke, 1997)。

(2)校準階段

統計和圖形分析用校準模式，圖形上的分析在初始階段用來建立參數範圍和預估參數設定，用來驗證模式在複製空間格局和歷史範圍的成長，統計分析用來計算 Pearson 相關係數在控制年中模擬和實際分佈的情形(Clarke and Gaydos, 1998)。從起始年代圖層開始，五個參數的數值從 0-100，參數以單位增量增加，計算所有的排列組合，輸出統計資料，找出相關係數最高的一組當作最佳參數。

校準階段包含四個步驟：

第一步驟：粗糙校準

蒙地卡羅測迴設定約 4~5 次。所有參數起始值為 0，增量值為 25，停止值為 100。

第二步驟：細微校準

蒙地卡羅測迴設定約 7~8 次。所有參數設定從粗糙校準選取參數範圍，使用 Lee-Salee 指數縮小參數間距，增量值之選擇由起始值到停止值約 4~6 等分。

第三步驟：最後校準

蒙地卡羅測迴設定約 8~10 次，使用 Lee Salee 指數縮小參數間距，增量值之選擇由起始值到停止值約 4~6 等分，產生一組最佳參數值。

第四步驟：導出係數

蒙地卡羅測迴設定約 100 以上，選擇 avg. log 檔案中停止年的 5 個控制係數值，四捨五入後取整數，產生一組修正參數值，當作預測階段之輸入值。

(3)預測階段

將校準模式階段產生之最佳參數值，經由導出係數階段產生一組修正參數值，帶入預測模式階段，模擬未來數年的土地利用變化。

(4)參數資料

主要參數資料包括成長係數、蒙地卡羅測迴、自我修正參數。

A. 成長係數

成長係數或參數的值影響成長規則應用，這些值的校準藉由比較模擬的土地覆蓋變遷與地區的歷史資料，以下是五個係數值的大綱：

(資料來源：USGS Project Gigalopolis: Urban and Land Cover Modeling Available:<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/>；本計畫整理)

a. 跳躍式擴散係數(Dispersion coefficient)

自發性的成長：控制了一個網格像素會隨機地選取可能的都市化次數。

擴散值是從跳躍式擴散係數值得來(如式 4-1)：

$$\text{dispersion_value} = ((\text{dispersion_coefficient} * 0.005) * \sqrt{\text{row}^2 + \text{column}^2}) \quad (4-1)$$

式中：

dispersion_value：擴散值

dispersion_coefficient：跳躍式擴散係數

row：列像素值

col：欄像素值

道路影響成長：控制有多少的步驟或像素，隨機地在交通網絡上行走的道路行程。

跳躍式擴散係數應用到道路影響成長(如式 4-2)：

$$\text{run_value} = (\text{roads}(i,j) / \text{max_road_value} * \text{dispersion_coefficient}) \quad (4-2)$$

式中：

roads(i, j)：道路位置像素值

run_value：跳躍值；都市像素沿道路網絡的最大步驟值

max_road_value：最大道路值

dispersion_coefficient：跳躍式擴散係數

當道路位置像素等於最大道路值且跳躍式擴散係數等於 100，跳躍值為最大值 100。

b. 新擴散中心係數(Breed coefficient)

新中心的成長：決定一個自發性成長的像素變成新擴散中心的機率。

新擴散中心係數應用到新中心成長：當一個新的自發性成長都市像素，如果隨機值小於蔓延係數，嘗試都市化鄰近的兩個像素。

道路影響成長：新擴散中心係數決定道路行程的次數。新擴散中心係數應用到道路影響發展：

對於常數 k 值小於等於蔓延係數會繼續道路行程，直到大於時停止。

c. 蔓延係數(Spread coefficient)

邊緣成長：決定任意像素是擴散中心部份的機率，(若在 3x3 的鄰近區，有 3 個或多個像素形成一個都市群落)在它的鄰近區會產生額外的都市像素。蔓延的係數值應用到邊緣成長：

如果隨機值小於蔓延係數值，會試著都市化鄰近的像素。

d. 坡度阻礙係數(Slope coefficient)

坡度阻礙係數影響著全部的成長規則，當一個像素位置是否適合都市化，會考慮此像素位置的坡度。在坡度百分比與都市發展除了線性的關係外，坡度阻礙係數扮演著一個乘數，如果坡度阻礙係數高，坡度增加都市化機率急速下降；當坡度阻礙係數較接近於 0，坡度增加影響都市化的機率較低。

臨界坡度則是山坡地都市可開發之最大坡度值，當發展地減少時，坡度限制會變小，直到坡度限制的極限(張永葵，2006)。

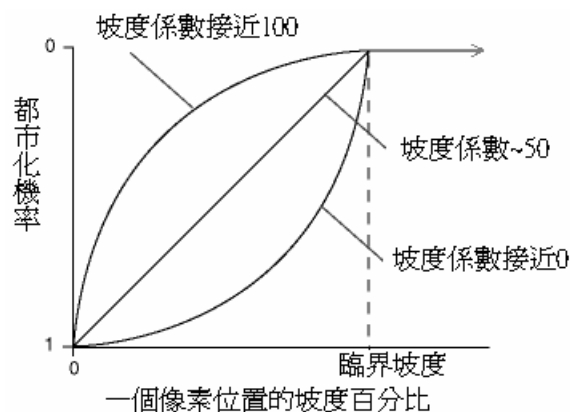


圖 9：坡度百分比與都市化機率關係

(圖片來源：USGS Project Gigalopolis: Urban and Land Cover Modeling
<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/>；本計畫整理)

這個關係會創造一個查找表，與實際坡度值和坡度係數影響機率有關。藉由第一次的計算，坡度係數用來計算坡度權重(如式 4-3)：

$$\text{exp} = \text{slope_coefficient} / \text{MAX_SLOPE_RESISTANCE_VALUE} / 2.0 \quad (4-3)$$

式中：

exp：坡度權重

slope_coefficient：坡度阻礙係數值

MAX_SLOPE_RESISTANCE_VALUE：最大坡度抵抗值，最高為 100

使用上述 exp 值建立查找表：

當 i 值從 0 開始，i 值小於查找表的大小，i 值以 1 增加，直到等於查找表大小停止循環。如果隨機值 i 小於臨界坡度值，使用式(4-3)結合式(4-4)建立查找表數值，若隨機值大於等於臨界坡度值時，隨機值為 1.0。

$$\text{val} = (\text{CRITICAL_SLOPE} - i) / \text{CRITICAL_SLOPE}$$

$$\text{lookup table}[i] = 1.0 - \text{val}^{\text{exp}} \quad (4-4)$$

式中：

val：常數值

i：隨機值，最大不超過查找表大小

exp：坡度權重

slope_coefficient：坡度阻礙係數值

CRITICAL_SLOPE：臨界坡度值模式設定為 21

lookup table[i]：查找表隨機值所對應之都市化機率

e. 道路引力係數(Road gravity coefficient)

道路影響成長：一個道路像素選擇道路行程的最大搜尋距離，由影像尺度的部份比例決定。

道路值是由道路引力係數導出(如式 4-5)：

$$\text{rg_value} = (\text{rg_coefficient} / \text{MAX_ROAD_VALUE}) * ((\text{row} + \text{col}) / 16.0) \quad (4-5)$$

式中：

rg_value：道路值；選定新都市像素尋找路的最大鄰近區數量

rg_coefficient：道路引力係數值

MAX_ROAD_COEFF_VALUE：最大道路係數值

row：列像素數

column：欄像素數

當最大道路係數值規定為 100，(row, col)是列數和欄數，所以當道路值在道路引力係數值為 100 時，會是 1/16 的影像尺度。如果道路引力係數值少於 100，道路值會是小於影像尺度的 1/16 部份比例。道路值應用到道路影響成長(如式 4-6)：

$$\text{max_search_index} = 4 * (\text{rg_value} * (1 + \text{rg_value})) \quad (4-6)$$

式中：

max_search_index：最大搜尋數

rg_value：道路值定義為選定新都市像素尋找路的最大鄰近區數量

若第一個鄰近區(道路值為 1)是由選定都市像素的 8 個鄰近像素所組成；第二個鄰近區(道路值為 2)，代表 16 個像素向外與第一個鄰近區相鄰。由此向外搜尋道路會繼續直到一條新路被找到，或者找尋距離大於最大搜尋數。

B. 蒙地卡羅測迴：

a. 蒙地卡羅法

陳志閣(2004)碩士論文中描述，蒙地卡羅法(Monte Carlo method)是進行實驗歸納時常採用的一種方法，藉由模擬隨機變數的函數的樣本期望值去得到近似母體期望值的技巧；進行蒙地卡羅方法必須要先確認變數的機率分配函數，一般來說，進行確認變數的機率分配函數會以採用實際進行調查的資料或歷史資料為主，一般稱為客觀機率分配函數，若缺乏實際或歷史資料的情況下，則由研究者自行設定，成為主觀機率分配函數。當確認隨機變數的機率分配函數後，藉由此函數的累積機率分配函數(CDF)，隨機數產生器及反函數的應用後即可獲得一隨機變數。假設 x 為一隨機變數及其累積機率分配函數式： $F_x(x) = y$

x ：隨機變數

y ： x 之累積機率分配值， $0 \leq y \leq 1$

可知其反函數為： $F_x^{-1}(y) = x$

如此從隨機數產生器中產生的0 至1 的隨機亂數（即 y ）後，經由反函數的運用則可獲得一 x 隨機變數值。

b. SLEUTH模式蒙地卡羅模擬

地理模擬中蒙地卡羅模擬是其中一項有效力的工具，一個隨機模式重複執行多次，產生一個輸出分佈來描述模式的隨機性和變化性。然而在地理統計中，沒有標準的方法來界定一個模式中，合適或最佳的蒙地卡羅測迴次數。在隨機的基礎上，檢視模擬結果，採用空間中所有蒙地卡羅測迴執行的平均，產生一個機率的地圖。

蒙地卡羅測迴主要為設定模式重複計算的次數。每一次執行就會初始化參數的範圍排列，一次執行會跑蒙地卡羅測迴設定的次數，每一次蒙地卡羅模擬會從起始年後一年到停止年。每次執行的第一次蒙地卡羅會由 RANDOM_SEED 初始化，一次模擬結束後，開始初始化種子，接著另一次新的蒙地卡羅模擬。過程連續很多次蒙地卡羅模擬，當一次執行後，完成蒙地卡羅測迴訂定數值，會以蒙地卡羅測迴設定次數平均模擬每年的統計指標，記錄控制年統計指標數值於檔案 avg.log 中；檔案 control_stats.log 則記錄模擬與實際控制年的各項統計指標的 Pearson R^2 相關。與每一組新的參數增量增加，新的執行開始直到所有可能的參數排列組合完成。

模式中計算是從輸入圖層中建物資料的年代所決定，每一測迴是從資料起始年計算到資料的結束年，經由多次的計算，以平均出每次計算出之成果(張永葵，2006)。

C. 自我修正參數：

應用自我修正，第一個步驟是決定系統在成長或是穩定發展時期，BOOM的狀態會發生在都市成長率超過臨界高值，代表加速成長時期，增加了都市擴張的速度。BUST狀態會產生在都市成長率低於臨界低值時，這個時期係數會較低，減緩都市擴張的速度。臨界低值、臨界高值兩個數值控制了跳躍式的擴張參數、新中心的擴張參數、蔓延式的擴張參數三個擴張參數的變化(Solecki and Oliveri, 2004)。

若沒有自我修正的功能，模式將會產生線性或是指數性的都市成長，自我修正參數在模式中是形成都市成長曲線呈 S 曲線成長所不可或缺的(張永葵，2006)。

SLEUTH模式，可以自行定義另外的成長參數，例如調整坡度圖層，驅使土地在都市成長上，更容易或不易隨著坡度變化。道路圖層可以使用加權分類，主要大道、州際公路和公路給定值100，次要的道路給定值50，非都市網格給定值0。這些加權道路和原本的非加權道路，主要用來分別BOOM和BUST狀態循環是否開啟(Solecki and Oliveri, 2004)。

應用於自我修正係數之計算式如下(改寫自Candau，2002)：

a. 計算都市成長率(growth_rate)、都市像素百分比(percent_urban)

都市成長率

$$\text{growth_rate} = \text{number_growth_pixels} / \text{total_number_urban_pixels} * 100 \quad (4-7)$$

都市像素百分比

$$\text{percent_urban} = (100 * (\text{total_number_urban_pixels} + \text{road_pixels}) / (\text{total_number_pixels} - \text{road_pixels} - \text{excluded_pixels})) \quad (4-8)$$

式中：

number_growth_pixels：現在成長循環中新的都市像素數量

total_number_urban_pixel：現在和之前成長循環的都市像素數量

total_number_pixel：總像素數量

road_pixels：道路像素數量用於現在都市循環

excluded_pixels：在限制發展圖層中絕對限制值的像素數量

b. BOOM 狀態：模式係數設定 1.01

若都市成長率(grow_rate)大於臨界高值(CRITICAL_HIGH)：

$$\text{slope_coefficient} = \text{slope_coefficient} - (\text{percent_urban} * \text{SLOPE_SENSITIVITY})$$

$$\text{rg_coefficient} = \text{rg_coefficient} + (\text{percent_urban} * \text{ROAD_GRAV_SENSITIVITY})$$

其中若跳躍式擴散係數(dispersion_coefficient)小於其最大值(Max)：

$$\text{dispersion_coefficient} = \text{dispersion_coefficient} * \text{BOOM}$$

$$\text{breed_coefficient} = \text{breed_coefficient} * \text{BOOM}$$

$$\text{spread_coefficient} = \text{spread_coefficient} * \text{BOOM}$$

式中：

slope_coefficient：坡度阻礙係數值

rg_coefficient：道路引力係數值

dispersion_coefficient：跳躍式擴散係數

breed_coefficient：新擴散中心係數

spread_coefficient：蔓延係數

percent_urban：都市像素百分比

坡度敏感值(SLOPE_SENSITIVITY)：應用在坡度抵抗係數在自我修正時的常數值，模式係數設定0.1。

道路引力敏感值(ROAD_GRAV_SENSITIVITY)：應用在道路引力係數在自我修正時的常數值，模式係數設定0.01。

臨界高值(CRITICAL_HIGH)：都市成長率最高門檻，處於系統中 BOOM 狀態，模式係數設定1.3。

MAX：各係數的最大值。

c. BUST 狀態：模式係數設定 0.9

若都市成長率(grow_rate)小於臨界低值(CRITICAL_LOW)：

$$\text{slope_coefficient} = \text{slope_coefficient} + (\text{percent_urban} * \text{SLOPE_SENSITIVITY})$$
$$\text{rg_coefficient} = \text{rg_coefficient} - (\text{percent_urban} * \text{ROAD_GRAV_SENSITIVITY})$$

若跳躍式擴散係數(dispersion_coefficient)大於零：

$$\text{dispersion_coefficient} = \text{dispersion_coefficient} * \text{BUST}$$
$$\text{breed_coefficient} = \text{breed_coefficient} * \text{BUST}$$
$$\text{spread_coefficient} = \text{spread_coefficient} * \text{BUST}$$

式中：

slope_coefficient：坡度阻礙係數值

rg_coefficient：道路引力係數值

dispersion_coefficient：跳躍式擴散係數

breed_coefficient：新擴散中心係數

spread_coefficient：蔓延係數

percent_urban：都市像素百分比

坡度敏感值(SLOPE_SENSITIVITY)：應用在坡度抵抗係數在自我修正時的常數值，模式係數設定0.1。

道路引力敏感值(ROAD_GRAV_SENSITIVITY)：應用在道路引力係數在自我修正時的常數

值，模式係數設定0.01。

臨界低值(CRITICAL_LOW)：都市成長率最低門檻，處於系統中BUST狀態，模式係數設定0.97。

(5)UGM 成長規則(都市成長規則)

(資料來源：USGS Project Gigalopolis: Urban and Land Cover Modeling Available:<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/>；本計畫整理)

A.自發性的擴張規則

此一行為規則是模擬一個既有的都市擴張中心以外，發展出另一個新的擴張中心的行為條件。自發性成長定義了隨機的都市化發生，在像素自動機的架構中，這代表了任何的非都市化像素，在這像素上任何時間有任一機率變成都市化。因此，無論給定像素 $U(i, j, t)$ 在座標 (i, j) 時間 t 會否被都市化，在時間 $t+1$ 時會表示成：

$$U(i,j,t+1) = f[\text{dispersion_coefficient}, \text{slope_coefficient}, U(i,j,t), \text{random}]$$

跳躍式擴散係數值(dispersion_coefficient)決定了自發性，總體的都市化機率，而坡度抵抗係數(slope_coefficient)決定了加權的局部坡度機率，過程是隨機的。如果像素已經是都市化或者限制發展，它不會變動，因此轉變能力是依據像素目前的值。

自發性的成長：與跳躍式擴散係數(dispersion_coefficient)和坡度抵抗係數(slope_coefficient)相關。

如下圖10所示：

對於常數 p 值從0開始， p 以1漸增，直到等於擴散值(dispersion_value)停止循環選擇，以隨機選取像素位置 (i, j) ，若像素位置 (i, j) 可被都市化，像素位置 (i, j) 即為都市網格，產生新擴散中心成長。



圖 10

(圖片來源：USGS Project Gigalopolis: Urban and Land Cover Modeling

<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/About/bkStrSimulation.htm> 本計畫整理)

B. 新中心的成長規則

下一個都市成長階段定義為動態的新擴散中心。這個階段決定了任何新的、自發性都市化的像素會變成新的擴散中心。新擴散中心係數(*breed_coefficient*)定義了每一個新的都市像素 $U(i, j, t+1)$ 變成一個新的擴散中心 $U'(i, j, t+1)$ 之機率，假定兩個相鄰的像素都可用於都市化。

$U'(i, j, t+1) = f[breed_coefficient, slope_coefficient, U(i, j, t), U(k, l, t)]$

當 (k, l) 是 (i, j) 的相鄰像素，且 (i, j) 是擴散中心，兩個像素相鄰於新擴散中心，則 (i, j) 與 (k, l) 定義成一個區域上有三個或更多的相鄰都市化像素，這個步驟依據加權坡度抵抗係數和相鄰像素的可利用性造成轉變。

新擴散中心的成長：與新擴散中心係數(*breed_coefficient*)和坡度抵抗係數(*slope_coefficient*)相關。

如下圖11所示：

如果隨機整數值(*random_integer*)小於新擴散中心係數(*breed_coefficient*)，兩個相鄰的像素可被都市化，像素位置 (i, j) 鄰近像素會被都市化。

圖 11

(圖片來源：USGS Project Gigalopolis: Urban and Land Cover Modeling <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/About/bkStrSimulation.htm> 本計畫整理)

C. 邊緣成長規則

邊緣動態成長被定義成從已存在的擴散中心成長，繁殖了包括 $(t+1)$ 這個時間階段產生的新中心，以及更多先前建立的中心，因此，假若一個非都市像素，至少有三個相鄰的都市像素，它有某機率也變成都市化，由蔓延係數(*spread_coefficient*)定義，假定它有可能建立在像素上坡度抵抗係數(*slope_coefficient*)。這個邊緣成長可描述為：

$$U(i, j, t+1) = f[\text{spread_coefficient}, \text{slope_coefficient}, U(i, j, t), U(k, l, t)]$$

(k, l) 為最鄰近 (i, j) 的像素。

邊緣成長：與蔓延係數(spread_coefficient)和坡度抵抗係數(slope_coefficient)相關。

如下圖12所示：

對於所有的非邊緣像素(i, j)，若像素(i, j)是都市像素且隨機整數值(random_integer)小於蔓延係數(spread_coefficient)，其中若至少兩個都市相鄰像素存在，隨機選取一個非都市像素的相鄰像素都市化，則像素位置(i, j)的相鄰像素為都市像素。

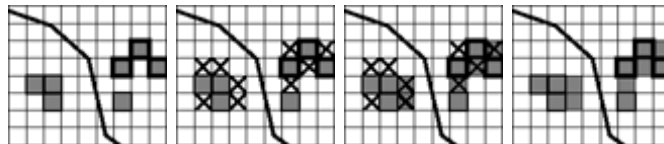


圖 12

(圖片來源：USGS Project Gigalopolis: Urban and Land Cover Modeling <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/About/bkStrSimulation.htm> 本計畫整理)

D. 道路影響成長

最後的成長階段，道路影響成長，決定於存在的交通公共建設和最近的都市化情形如上述步驟 1, 2, 3。機率由新擴散中心係數(breed_coefficient)定義，選擇新的都市像素(時間 t+1)，在它的鄰近區尋找存在的道路。如果道路被發現在給定像素的一個最大的半徑中(道路引力係數 road_gravity_coefficient 決定)，暫時的都市像素會被放在最接近選定像素的道路上。下一步，暫時的都市化像素產生一個隨機的路線沿著道路(或道路連接到原始路段)步驟數由跳躍式擴散係數(dispersion_coefficient)決定。最後暫時的都市像素的位置視為新都市化擴散核心，如果一個相鄰像素對於暫時的都市像素(在道路上)可用來都市化，它會發生(在可能的候選位置隨機選擇)。如果兩個相鄰的像素對於新都市像素是可用來都市化的，它會發生(在可能的候選位置隨機選擇)，因此創造在道路上的暫時的都市像素定義為：

$$U'(k,l,t+1) = f [U(i,j,t+1), \text{road_gravity_coefficient}, R(m,n), \text{random}]$$

i, j, k, l, m, n 是像素的座標，R(m, n)定義為一個道路像素，隨機的的道路路程表示為：

$$U''(i,j,t+1) = f [U'(k,l,t+1), \text{dispersion_coefficient}, R(m,n), \text{random}]$$

(i, j)是相鄰於(k, l)的許多道路像素。定義暫時的都市像素位置在隨機路程的末端(p, q)，新的鄰近都市擴散中心會定義成：

$$U'''(i,j,t+1) = f [U''(p,q,t+1), R(m,n), \text{slope_coefficient}, \text{random}]$$

兩個額外的相鄰都市像素會被加入：

$$U''''(i,j,t+1) = f [U'''(p,q,t+1), \text{slope_coefficient}, \text{random}]$$

(i, j)和(k, l)屬於(p, q)的最鄰近像素。以上四個階段被稱為道路行程，每一個試圖選取一個新的都市化像素，移動到一條道路為一個新的道路行程，在任何的成長循環中，道路行程數量是由新中心係數值(breed_coefficient)所決定。

道路影響成長：與新擴散中心係數 (breed_coefficient)、道路引力係數 (road_gravity_coefficient)、蔓延係數 (spread_coefficient)和坡度抵抗係數 (slope_coefficient)相關。

如下圖13所示：

對於常數p值從0開始，p以1漸增，直到大於新中心係數值停止循環。其中道路引力係數等於影像尺寸和道路引力係數的函數。最大搜尋數等於最大距離，由道路引力係數所決定，用來搜尋道路像素。(i, j)是現有的成長循環，隨機選取的都市化像素。搜尋道路從(i, j)向外直到最大搜尋距離。如果發現道路，沿著道路隨機選取方向，依道路值和跳躍式擴散係數決定一連串的步驟。若一個鄰近像素可用於都市化，像素位置(i, j)鄰近像素被都市化。假定兩個像素鄰近於新都市像素，兩個鄰近於都市像素的像素被都市化。

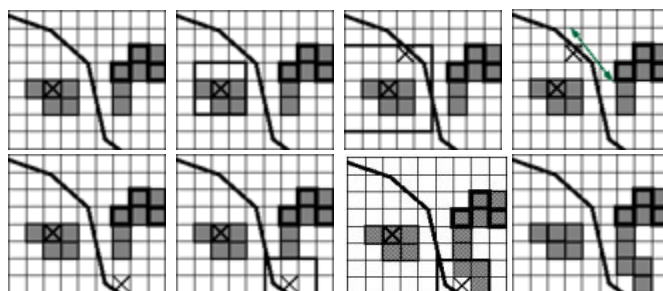


圖 13

(圖片來源: USGS Project Gigalopolis: Urban and Land Cover Modeling

<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/About/bkStrSimulation.htm> 本計畫整理)

(6)土地轉變特徵

Clarke(1997)延伸早期研究，從模擬都市發展到土地轉變影響擴張，提出三點土地轉變特徵(以下三點整理自Clarke, 1997; Candau等人, 2000):

A. 狀態改變

變遷代表狀態的離散改變，假定一個地區，在一個時間中為狀態 A，在另一時間為狀態 B，即為狀態改變發生，假定都市化驅使改變，模式中都市是一個不變的類別，一旦像素被都市化，在模式執行中會保持不變。

B. 離散位置

土地變遷有空間位置，對於每一個狀態間的變遷，有地理位置把它歸類於那個地方。當訊息只留住類別變化，對於土地利用變遷模式是很重要的，尤其是動態地。一般而言，描述這些地點不是空間獨立的，土地變遷有很大的空間自相關性，有正有負，雖然鄰近區和驅使力會影響變遷的機率，但每一個變遷是建立在空間尺度上的個體。

C. 局部背景

土地變遷有背景連結性，一個簡單的土地變遷模式，能夠計算一個轉變矩陣，隨機選取一個狀態，獲得一個隨機變數搭配轉變條件，在舊狀態隨機選取的像素，強迫在那像素中變動，忽略了像素在在選取變遷中有空間背景，或者局部的”狀態鄰近區”，一個像素在八個鄰近像素中有相同的狀態，轉變機率選小於一個像素在鄰近像素中有不同狀態。

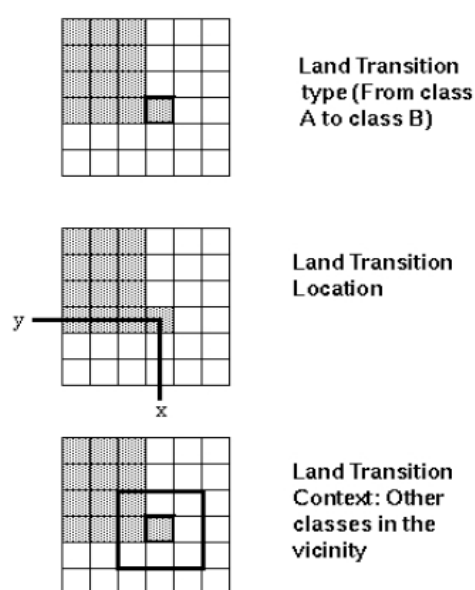


圖14：土地轉變三點特徵

(7) 土地覆蓋轉變矩陣

Clarke於1997年提出Deltatron模式之土地覆蓋轉變矩陣的觀念。假定 N 個土地利用類別在時期 0 ，相同數目的類別在時期 1 ，可以計算導出轉變矩陣 L ，定義 $L[r, c]$ ，從 r 類型轉變成 c 類型，計算每一列轉變的數量，除以其總和，得到這個時間階段的轉變機率矩陣“ T ”（如表）， T 矩陣至少要有兩個相同的土地利用圖和不同的兩個時期。由於我們假設所有的土地變遷是獨立的，整體的轉變機率揭開了一系列的觀察。然而只有兩個土地覆蓋地圖，沒有機率統計的特性，若可使用三個以上的土地覆蓋地圖，就可允許變異的估計。對於這些轉變都市化的驅動力，可導入外部的模式，在這裡使用CA模式，在景觀中產生一組 N 個新的成長像素。這些新的都市像素用來當作從土地轉變矩陣導出機率的驅動，例如，正歸化機率在 L 中產生 T ，對於 x 個都市轉變像素， $x=X/N$ 可以用來當作隨機變數產生器，這個結果為另外的土地轉變（除了相關於都市）所產生，在一個單一的模式迭代中。

(8) Deltatron模式

Deltatron是一個人為的改變行為者，在改變的空間有生命。當一個土地覆蓋轉變產生，細胞就出生了，一個deltatron試圖改變土地覆蓋類別在目前的鄰近區。一個deltatron會生存於一次迭代中，假如在下一個時間階段中，另一個轉變到相同類型（例如在轉變矩陣中相同欄數），發生在八個鄰近區的轉變。在下一個階段，沒有更多的轉變會發生在原始像素，一些deltatron會被隨機殺掉。其餘的死掉由於沒有更進一步的變化發生在鄰區。

Deltatrons的影響有如細胞自動機，成長和衰退的時期都會自然發生，在改變中有階段的變化，系統似乎在空間結構中變動（從初始點完全簡單的向外擴散）和混亂。在這時期間的快速區地影響（都市成長），明顯地更多deltatrons被創造，它們有更多的影響和互動，倒是更多的時間空間混亂格局。

Deltatron使用下列條件假設考量(Clarke, 1997)：

- A. 土地轉變考慮發生在一個均質的空間網格。
- B. 轉變為一個有限的狀態中，狀態數為很小。
- C. 從觀察的數量，轉變矩陣準確的預估土地利用狀態轉變機率。
- D. 外部的模式用來改變主導驅使類別改變狀態。
- E. 土地變遷中存在值得考慮的空間自相關性。
- F. 土地轉變存在時間的相關性。
- G. 特定的土地轉移受背景影響。
- H. 土地轉變隨機於某種程度上發生，例如，獨立於驅動力。

(9)Deltatron成長規則

都市化過程驅動了非都市土地利用的變化，土地覆蓋變化定義為四個步驟過程：

(1)初始變化(2)聚落變化(3)繁殖變化(4)Deltatron 變老(Candau 等人，2000)。

Deltatron，是變動的帶動者，土地變遷沿著時間和空間的影響，不包含土地類別數值，扮演著一個土地覆蓋變動何時和何地發生的參考(Candau 等人，2000)。

以下四個步驟整理自(Candau 等人，2000)：

A. 初始變化

每一個新的都市像素是土地覆蓋變化的誘因，隨機選擇一個非都市像素產生一個deltatron，選定的像素可能保持原狀或者變化成另一個土地利用型態，但不可選擇都市像素、水體或無土地覆蓋資料區域。對於每一個土地覆蓋類別轉變的決定是由平均坡度、歷史土地覆蓋變化和現在的像素坡度。

$L(i,j,t+1)=g1[newly_urbanized,multi_state_markov_chain,L(i,j,t),D(i,j),random]$

其中 $L(i, j, t+1)$ 定義為在時間 t 位置 (i, j) 的土地覆蓋種類(值)； $D(i, j, t)$ 定義為在deltatron 中的對應年紀。

定義一個馬可夫鏈，是由兩年的土地利用圖層轉變機率決定，如果一個轉變發生，產生一個新的deltatron，只有尚未變成deltatron的可以變化成新的deltatron。

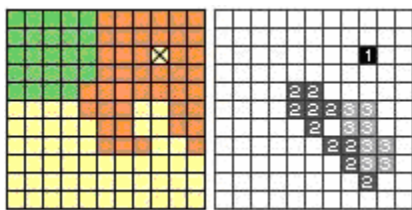


圖 15

初始變化：

對於常數 p 值， p 以1漸增，直到大於等於新的都市像素數量停止循環，產生一個轉變的種子。隨機選擇像素 (i, j) 當作轉變的中心，新的土地利用類別是由轉變機率和坡度決定，隨機選擇其餘兩種土地利用類別，其中何者的平均坡度最接近選擇之像素，即為新的土地利用類別。

若 (i, j) 通過轉變測試，會在 (i, j) 上應用土地類別變化，deltatron等於1，創造一個改變的群落。

(圖片文字來源：Candau 等人，2000；本計畫整理)

B. 創造動態聚落

創造動態聚落定義為新創造的deltatrons 一個聚集的過程，以及伴隨著土地利用轉變。參數聚落大小，控制著新的deltatron 的大小， $L(k, l)$ 是新的deltatron 在位置 (p, q) 的鄰近像素。

$L(k,l,t+1)=g2[cluster_size,L(k,l),two_state_markov_chain,random]$

挑選每一個新的像素(隨機在可能的鄰近像素中)改變到相同的土地利用，當作新的deltatron，或者保持沒變化，由坡度和歷史的轉變機率(兩種狀態的馬可夫鏈，也定

義為一個隨機的馬可夫域)。注意在這步驟，像素只可改變成土地覆蓋伴隨著 deltatron 有的，或者仍然沒改變。在階段 i ，像素由合適的機率，有潛力改變到任一個土地利用類別。

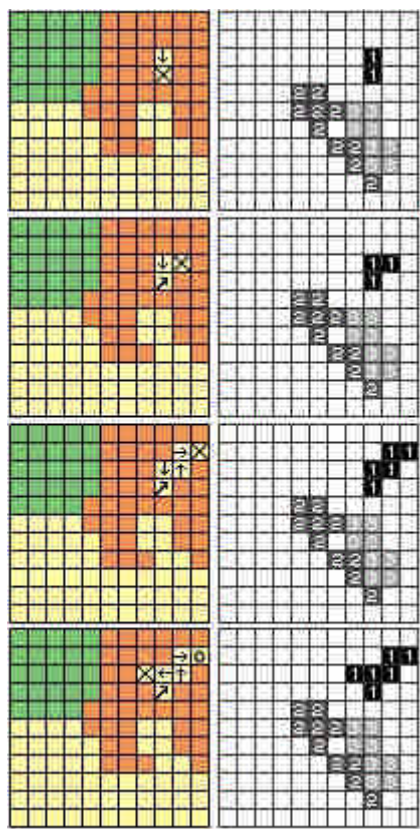


圖 16

(圖片文字來源: Candau 等人, 2000; 本計畫整理)

新的轉變像素扮演著土地利用變化的聚集中，一個隨機像素以相同的機率從它的鄰近區域，用來測試土地利用變化(仍然沒改變或改變到相同的新土地利用類別)。為了促進聚落，存在某機率使得聚集中能夠移回到原始(第一次)的 deltatron 位置 (i_center, j_center) 使得過程繼續，直到由聚落大小參數的終止。

C. 繁殖變化

繁殖的動態變化非常相似於都市動態成長的邊緣成長步驟。所有的非 deltatron 像素，鄰近於至少兩個 deltatron 像素，年紀為 2 (創造時間在 $t-1$)，用來測試於相同的機率，保持不變或者變化到相同的土地覆蓋類別，當作一種鄰近的 deltatron 土地覆蓋型態。

$$L(i,j,t+1)=g3[D(k,l,t-1),L(i,j),two_state_markov_chain,random]$$

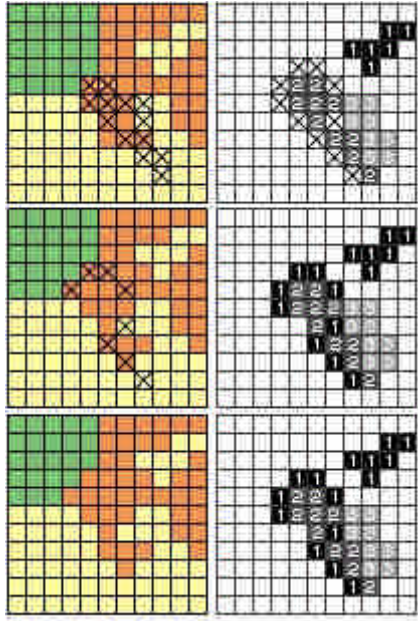


圖 17

(圖片文字來源: Candau 等人, 2000; 本計畫整理)

繁殖變化：

對於所有的像素(i, j)；若(i, j)不是一個 deltatron，deltatron的鄰居數量等於年紀2的 deltatron的數量。

若deltatron鄰居數量等於2，隨機選擇其中一個deltatron鄰居，得到其土地覆蓋種類。若(i, j)通過隨機的機率測試，應用土地覆蓋變化在(i, j)，deltatron(i, j)等於1。

D. Deltatrons 變老

最後，在 deltatron 的年紀階段，所有的 deltatron 變老到下一個時間階段。Deltatron 的數目或循環會存活，是由轉變的最小年數所定義。

$$D'(i,j,t+1)=g4[D(i,j)]$$

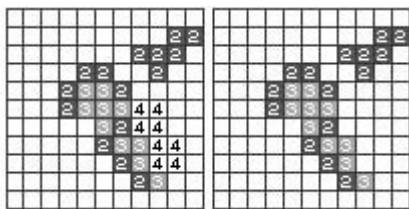


圖 18

Deltatron變老：

對於所有的像素(i, j)；若deltatron(i, j)大於0，deltatron(i, j)增加1。對於所有的像素(i, j)；若deltatron(i, j)大於轉變的最小年數，deltatron(i, j)等於0。

(圖片文字來源: Candau 等人, 2000; 本計畫整理)

4.2.2 土地利用變遷驅動力分析方法

土地利用變遷驅動力分析方法主要是探討各種自然與人為對土地利用轉變的影響，其概念符合迴歸的基本概念，也就是以各種驅動因素為自變數，以土地利用別發展轉變為因變數，由此可建立土地利用變遷驅動力分析模式。其中以二元羅吉斯迴歸 (Binary Logistic Regression Model) 被應用的最為廣泛與頻繁，二元羅吉斯迴歸假設每一種狀況發生與否相互獨立，彼此間無相關性，通常以虛擬變數將反應變數予以量化。此外，二元羅吉斯迴歸在使用上並不受多元常態分配的假設限制，可在解釋變數同時存在連續或離散資料時使用。羅吉斯迴歸非常適用於依變數為二元資料 (Binary) 的模式，依變數只可以用 0 與 1 來表達兩種可能結果的資料，例如：土地利用轉變或不轉變，其統計的公式如下：

$$P = \frac{e^{f(x)}}{1 + e^{f(x)}}$$

$$f(x) = \beta_0 + \beta_1\chi_1 + \beta_2\chi_2 + \dots + \beta_k\chi_k$$

二元羅吉斯的關鍵來自於勝算率 (P/1-P) 的觀念，令 P 為成功事件的機率，1-P 為失敗事件的機率。

$$P = \frac{e^{f(x)}}{1 + e^{f(x)}}$$

$$1-P = \frac{1}{1 + e^{f(x)}}$$

勝算率為 (P/1-P) = e^{f(x)}，兩邊取自然對數後可得

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = f(x) = \beta_0 + \beta_1\chi_1 + \beta_2\chi_2 + \dots + \beta_k\chi_k$$

對勝算率取對數，再對 X 做多項式迴歸的模式稱為羅吉斯迴歸模式。一般最常用的模式是 k=1，k=1 的模式非常適用於可以用二維列聯表來陳列資料型態的問題。本研究也採用 k=1 的模式。另外，在假設 P=0.5 時，即可算出轉折點 (cutoff value) 的臨界值。

$$0.5 = \frac{e^{f(x)}}{1 + e^{f(x)}}$$

$$0.5(1 + e^{f(x)}) = e^{f(x)}$$

$$0.5 = 0.5e^{f(x)}$$

$$1 = e^{f(x)}$$

e^{f(x)} = 1，兩邊取自然對數 (ln) 後 可得 f(x) = 0，再經由所求得的羅吉斯迴歸的估計式求解，即可得到轉折點的臨界值。

4.2.3 CLUE-S 模式

(1) 模式結構

CLUE-S 模式可分為兩個次模組，分別是非空間需求模式與空間分派模式（圖 19）。非空間需求模式是計算所有土地利用別總面積變化量，將變化量轉化為不同區位土地利用變化，主要以網格系統（raster-based system）進行。此外，空間需求模式可結合簡單或複雜的經濟模型，進行需求量的預測，並將逐年土地變化量預測的結果，投入空間分派模式。空間分派模式，是結合經驗性（empirical）、空間分析與動態模式而成，此模式主要是考量空間政策與限制、土地利用型態特殊轉換設定、土地利用需求及區位特性等四個面向，產生一系列的條件與機率，透過循環尋優過程尋求最佳解（圖 20）。

(2) 空間策略與限制

空間策略與土地產權會影響土地利用變遷的格局，空間策略與限制是指因空間發展政策或產權限制土地利用變遷的區域；另外，透過政策可指定特定的土地利用變遷區域，例如建築物興建於特定的農業用地。在 CLUE-S 模式中可透過土地利用轉移矩陣表示土地利用別間的轉換關係。

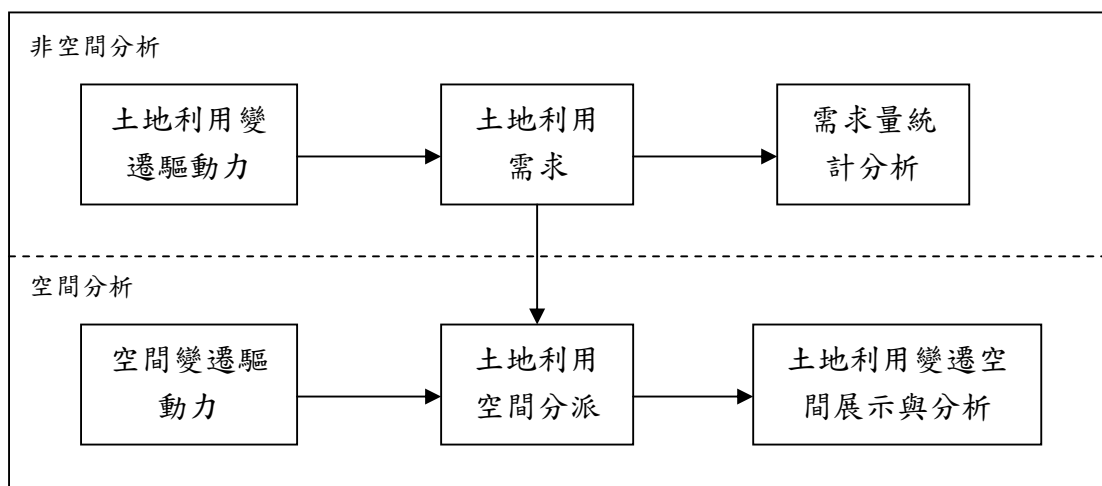


圖 19 CLUE-S 模式架構圖

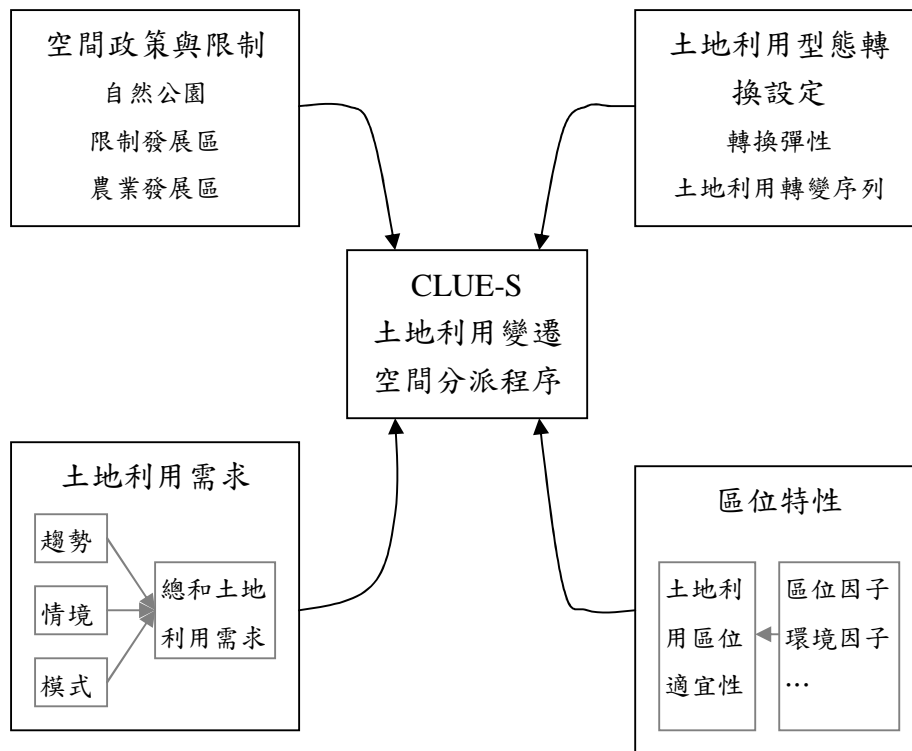


圖 20 CLUE-S 模式土地利用變遷空間分派程序示意圖

(3) 土地利用型態轉變設定

土地利用型態特殊轉變設定是以轉換彈性 (conversion elasticities) 與土地利用轉換序列 (land use transition sequences) 呈現個別土地利用型態的特性。其中轉換彈性與土地利用的可被轉變性有關，通常高資本投資的土地利用型態，不容易被轉換為其他土地利用，因此用地轉變的趨勢可以轉換成本 (conversion cost) 進行估算，然而成本並無法完全表現出所有影響土地利用轉換因素，例如營養物質消耗、美學價值等無法以成本計算。因此，可藉由專家學者或根據過去土地利用轉變行為的觀察，比較各土地利用別間相對性的可能產生變遷的程度，在 CLUE-S 模型中此值介於 0 與 1 之間，0 表示極易改變，1 表示不可改變。

在轉移矩陣方面，所謂的轉移是指”土地利用是否允許轉移、哪些區域允許或禁止特定的土地利用別轉換、一區域現況土地使用型態可維持多久或可維持相同土地利用型態的最大年限”。此外，可藉由土地利用轉移矩陣表，表示土地利用型態轉移的最大與最小年限，而區位條件與土地利用壓力會增加或縮短年限，結合轉移矩陣中不同的限制設定，可模擬出產生土地利用型態轉移的時間長度。

表 4 土地利用轉移矩陣示意表

土地利用轉移矩陣		未來土地利用		
		林地	農地	草地
現況土地利用	林地	+	+	+
	農地	-	+	+
	草地	-	+	+

+表可進行轉換 -表不可轉換

(4) 土地利用需求

土地利用需求是計算總體需求量，需求量的計算可透過案例分析、情境模擬或其他分析預測模型取得，需求量預測變化的趨勢可配合人口數、土地資源耗竭量進行修正；另外，進行與土地利用變遷相關的政策分析時，土地需求量的預測可以總體經濟模型預測其變化。

(5) 區位特性

在時空間條件的特性上，土地使用型態改變可能發生於高轉變機率的區域，而高轉變機率的區域是不同影響因子與決策制訂過程交互作用下的產物，其結果可繪製成土地利用圖。二元邏輯斯模式 (binomial logit model) 常被應用於討論某一地點土地利用型態改變與否的預測，此模式主要是透過與空間、區位相關的生物物理、社會經濟的函數進行土地利用型態變化的預測。因此，本研究進行土地利用變遷驅動力分析時所建立的二元羅吉斯迴歸結果，將投入於 CLUE-s 模式中，預測未來各種土地利用變遷的機率。

(6) 鄰近區域特性 (neighborhood characteristics)

土地利用型態的轉變有時是受鄰近區域的特性所影響，例如都市邊緣地區是最容易轉變為都市用地的區域，因此有必要將鄰近區域的特性視為土地利用變遷的趨動力，通常會計算鄰近區域的影響乘數 (enrichment factor; F)，其定義為：

$$F_{i,k,d} = \frac{n_{k,d,i} / n_{d,i}}{N_k / N}$$

$F_{i,k,d}$ ：i 地點土地利用型態 k 鄰近範圍 d 內的影響性

$n_{k,d,i}$ ：與 i 地點 d 範圍內土地利用型態 k 的數量

$n_{d,i}$ ：鄰近區域的總數

N_k ：研究範圍內土地利用型態 k 的所有個數

N ：研究範圍內土地利用的總個數

CLUES 以羅吉特模型計算 i 地點受鄰近地區影響的機率 P ，公式如下：

$$\text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 F_{1,i} + \beta_2 F_{2,i} + \dots + \beta_n F_{n,i}$$

(7) 分派過程 (allocation process)

分派過程首先界定不可改變的區域，包括保護區及轉移矩陣中不可轉移的部分，進一步定義出允許土地利用型態改變的區域。其次對每一種土地利用型態 u 計算每一個土地單元 i 的轉移機率 (TPROP $_{i,u}$)，其公式為：

$$\text{TPROP}_{i,u} = P_{i,u} + \text{ELAS}_u + \text{ITER}_u$$

其中 $P_{i,u}$ 為 i 空間單元適合土地利用型態 u 機率 (羅吉斯迴歸計算結果)， ELAS_u 土地利用 u 轉移彈性， ITER_u 為循環變數 (iteration variable)，用以描述土地利用型態及土地利用別間的相互競爭強度 (competitive strength)。最初的空间分派是根據各土地利用型態的循環變數及空間單元的總轉移機率來決定，轉移矩陣中不允許轉移的土地利用別則不被分派，此過程將決定確切的土地利用改變單元數及區位，而總分派面積等於總需求面積。

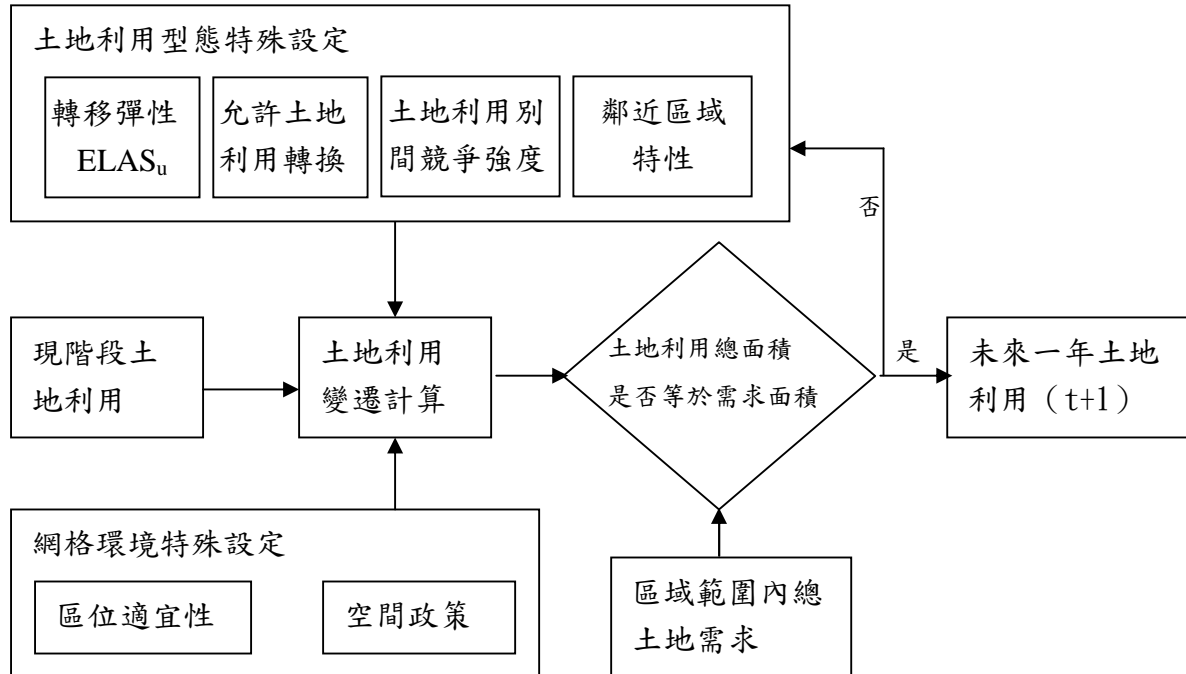


圖 21：CLUE-S 分派模式流程圖

4.2.4 景觀生態指數

景觀生態指數可以反應景觀格局的空間組成與結構。應用在景觀生態學以外的研究，以及跨越不同種類的環境(例如都市區域)，方法與假設可通稱為-空間指數：定義為從主題範疇的數位圖像分析導出的方法，可描述在不同尺度和解析度的空間異質性(Herold et al., 2005)。描述空間結構和格局在不同的空間表述，會有各種空間指數，每次應用必須根據上下文選擇、詮釋、分析和評估，給定主題圖像和內在的變化過程(Gustafson, 1998)。

本計畫應用美國農業部(USDA)研發的 FRAGSTATS(Mcgarigal and Marks, 1995)結合地理資訊系統軟體 Arcview 3.2a 對研究區域計算景觀生態指數。

(1) 嵌塊體指標

A. 嵌塊體數目 (Number of Patches, NP)

嵌塊體數目的多寡，表示景觀上之地物類型零散程度。

$$NP = n_i$$

其中 n_i 景觀內 i 類別的嵌塊體數目。NP 大於 1，既無單位亦無任何限制。

B. 平均嵌塊體大小 (Mean Patch Size, MPS)

MPS 為平均嵌塊體的面積，以公頃表示。若該類為物種之棲地，則嵌塊體愈大，對物種的保育能力愈好。

$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10000} \right)$$

a_{ij} ：表示 i 類嵌塊體中第 j 個之面積，以平方公尺表示。

n_i ：於景觀內 i 類別的嵌塊體數目。

(2) 形狀指標

A. 平均形狀指數 (Mean Shape Index, MSI)

形狀指數表示嵌塊體形狀的變化，其值愈近於 1，其嵌塊體形狀愈規整，於向量式資料表示為一圓形；於網格式資料則表示一矩形。

$$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right)}{n_i}$$

a_{ij} 表示 i 類嵌塊體中第 j 個之面積，以平方公尺表示。 n_i 於景觀內 i 類別的嵌塊體數目。 p_{ij} 為屬於 i 類嵌塊體中第 j 個之邊緣周長，此以平方公尺表示。

B. 面積權重平均形狀指標(Area Weighted Mean Shape Index : AWMSI)

景觀形狀指數於網格資料之計算，以矩形作為比較之標準，當平均形狀指數(MSI)值為 1 時，於向量式資料表示為一圓形；於網格式資料則表示一矩形。值愈大表示嵌塊體的形狀愈不規則，其值無單位且無最大值之限制，計算公式如下所示：

$$AWMSI = \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{0.25 p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$$

a_{ij} ：表示 i 類嵌塊體中第 j 個之面積，以平方公尺表示。

n_i ：景觀內 i 類別的嵌塊體數目。

p_{ij} ：屬於 i 類嵌塊體中第 j 個之邊緣周長，此以平方公尺表示。

(3) 邊緣指標

A. 邊緣總長度 (Total Edge, TE)

TE 所表示者為嵌塊體的邊緣總長度，邊緣長度關係到嵌塊體與相鄰的景觀單元的能量、物質及物種的相互作用，且若能與嵌塊體的大小、形狀結合，較具生態上的意義。

$$TE = \sum_{k=1}^m e_{ik}$$

其中 e_{ik} 為景觀中 i 、 k 兩相鄰嵌塊體邊界的長度，以公尺表示。 m 景觀中為嵌塊體型態的個數，包括景觀邊界。

B. 嵌塊體平均碎形維度(Mean Patch Fractal Dimension, MPFD)

碎形維度為量度嵌塊體形狀特徵，MPFD 為平均嵌塊體碎形維度，其值測於 1~2 之間，若值愈大，則表示嵌塊體形狀愈複雜。

$$MPFD = \frac{\sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{2 \ln(0.25 p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right) \right]}{n_j}$$

a_{ij} ：表示 i 類嵌塊體中第 j 個之面積，以平方公尺表示。 n_i ：於景觀內 i 類別的嵌塊體數目。 P_{ij} ：為屬於 i 類嵌塊體中第 j 個之邊緣周長，以平方公尺表示。

C. 面積權重平均碎形維度 (Area Weighted Mean Patch Fractal Index : AWMPFD)

碎形維度為量度嵌塊體形狀特徵，MPFD 為平均嵌塊體碎形維度，其值測於 1~2 之間，若值愈大，則表示嵌塊體形狀愈複雜，而面積權重平均碎形維度則加入各嵌塊體面積大小作為考量因子，以 AWMPFD 表示之。

$$AWMPFD = \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{2 \ln(0.25 p_{ij})}{\ln a_{ij}} \right) \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$$

a_{ij} ：表示 i 類嵌塊體中第 j 個之面積，以平方公尺表示。

n_i ：於景觀內 i 類別的嵌塊體數目。

p_{ij} ：為屬於 i 類嵌塊體中第 j 個之邊緣周長，此以平方公尺表示。

(4) 平均鄰近指標

A. 平均鄰近距離 (Mean Nearest Neighbor, MNN)

平均鄰近指標(MNN)為兩嵌塊體之鄰近程度，此指數值愈大表示兩嵌塊體相鄰程度愈低，分散程度高；反之，值愈小表示為較聚合之嵌塊體。

$$MNN = \frac{\sum_{j=1}^n h_{ij}}{n_i}$$

h_{ij} ：表 i 類兩相鄰嵌塊體之距離，以公尺表示。

n_i ：為 i 類型之嵌塊體數。

(5) 空間結構指標

A. 散置和並排指數 (Interspersion and Juxtaposition Index : IJI)

此指數值介於 0~100 間，當值為 0 時表示僅與另 1 類之嵌塊體相鄰，其值隨著相鄰嵌塊體型態數目增加而增加，當指數值為 100 時，表示此類型之嵌塊體平均分佈於一景觀上。其算式如下所示：

$$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m-1)} \quad (100)$$

e_{ik} ：為景觀中兩相鄰嵌塊體 i 、 k 邊界的長度，以公尺表示。

m ：為嵌塊體的類別數，亦包括景觀邊界。

五、結果與討論

5.1 SLEUTH 模式分析

SLEUTH 模式依照模式需求，若需分析土地覆蓋變化，必須將 6 個 GIS 圖層(如表 5)，轉換成 6 個 GIF 圖檔輸入，其中至少需有 4 個都市圖層、2 個道路圖層、2 個土地利用圖層、1 個坡度圖層、1 個限制發展圖層、1 個山坡陰影圖層。其中 4 個年代的都市圖層是由 SPOT 衛星影像分類後之都市圖層，道路圖層是依據經建版地形圖數化而成，土地利用圖層分別為建地、農地、草地、林地、水體及裸露地等 6 個類別。

表 5：SLEUTH 輸入圖層

圖層名稱	圖層數量	年代	資料來源	附註
都市圖層	4	1990 1993 1998 2000	SPOT 衛星三 波段影像分類 都市圖層	
道路圖層	2	1990 2000	五萬分之一經 建版第一版、 第二版地形圖 數化	
坡度圖層	1		DTM 計算	Arcview 使用 DTM 計算坡度
限制發展區圖 層	1		SPOT 衛星三 波段影像分類 水體圖層	
土地利用圖層	2	1990 2000	SPOT 衛星三 波段影像分類 土地利用圖層	分成 6 個土地 利用類別
山坡陰影圖層	1		DTM 計算	Arcview 使用 DTM 計算山坡 陰影

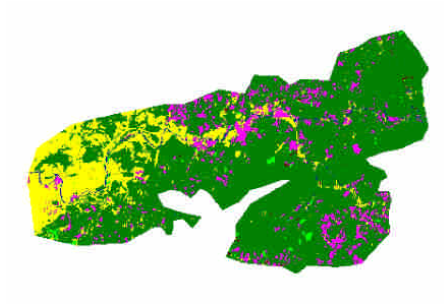
根據 Clarke 教授於 1997 年發表的研究，參數以 1 到 100 表示對於都市擴散方式的重要性，數值越高，其重要性越高，且對都市發展特性之影響力越高。最佳參數由模式以蒙地卡羅測迴模擬各年間的新都市成長得到。修正參數應用自我修正規則而得。寶橋地區以蔓延式擴張擴散為主，主要是從都市邊緣擴張。由表 6 得知，若以最佳參數與修正參數而言，在坡度的限制上，寶橋地區的數值是降低的，數值由 99 到 76，因為由過去的趨勢中，越來越多建物蓋在坡地上，對於坡度的阻礙自然降低。下表 6 為本計畫所設定之 SLEUTH 模式參數：

表 6：SLEUTH 參數設定

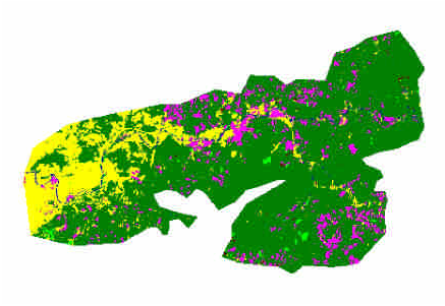
	最佳參數	修正參數
跳躍式擴散的係數	5	5
新擴散中心的係數	7	7
蔓延式的係數	51	54
坡度阻礙係數	99	76
道路引力係數	50	52

5.1.1 SLEUTH 模式影像輸出：

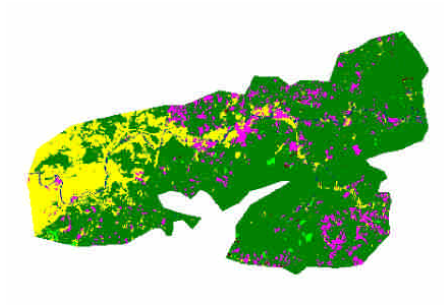
模式需考慮相鄰網格之變化，對於不規整之集水區邊界，若邊緣不考慮各網格鄰居變化，無法完整表達模式所提供邊緣成長規則意義以及使用 Moore 型 8 鄰近網格，因此以稍大於寶橋集水區之矩形區域先行模擬，再使用集水區邊界劃為寶橋集水區範圍，下圖 22 為 SLEUTH 模式模擬 2001 年至 2010 年的土地利用影像輸出，觀察可知都市擴張有邊緣發展往外擴增趨勢。



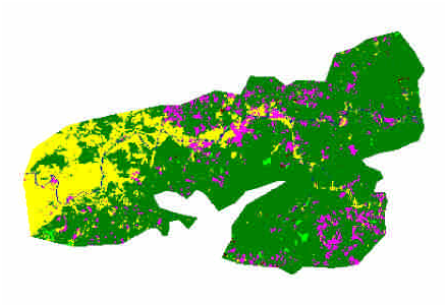
2001 年寶橋土地利用圖層



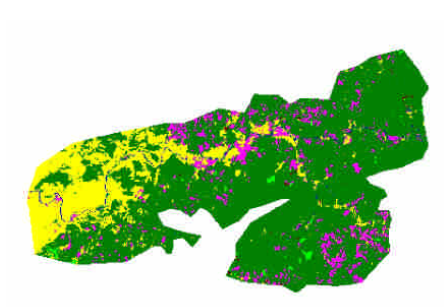
2002 年寶橋土地利用圖層



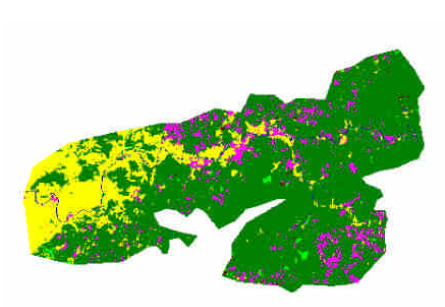
2003 年寶橋土地利用圖層



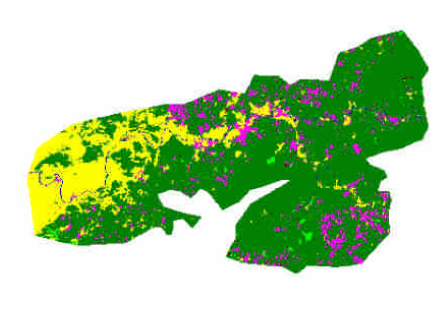
2004 年寶橋土地利用圖層



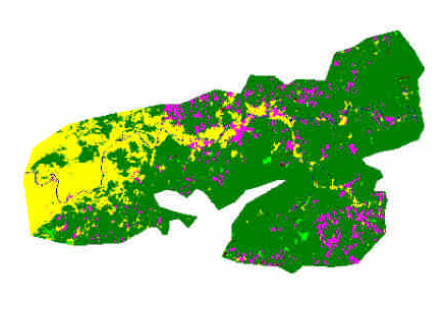
2005 年寶橋土地利用圖層



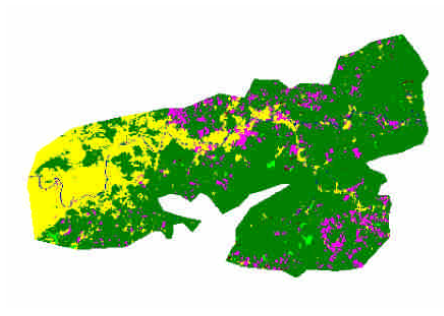
2006 年寶橋土地利用圖層



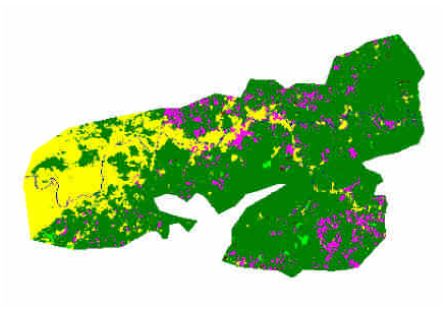
2007年寶橋土地利用圖層



2008年寶橋土地利用圖層



2009年寶橋土地利用圖層



2010年寶橋土地利用圖層

圖 22：SLEUTH 模式寶橋集水區土地利用影像模擬輸出

5.1.2 SLEUTH 模式統計指標輸出：

SLEUTH 模式會輸出統計指標，主要藉以許多統計指標表達模式之都市成長情況，包含新產生的都市網格數量、平均坡度、都市成長率等，如下所述：

(1)Sng(自發性成長產生的新都市像素數量)

此行為規則是在網格空間中，隨機選擇新都市產生的位置，若其坡度適合轉變成都市，可轉變為都市網格，由圖 23 中數據可知，都市成長較少依此規則產生。

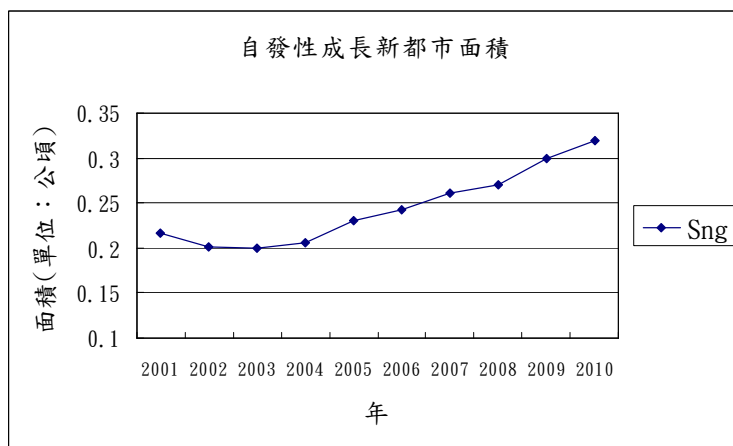


圖 23：自發性成長新都市面積圖

(2)Sdg (新中心成長產生的新都市像素數量)

主要是檢驗新產生都市網格可否進一步擴張，若可以，會在鄰近區內隨機產生兩個都市網格，並考慮坡度是否合適，由圖 23、24 中數據可知，此值偏低，可能由於新產生都市網格由於都會區密集開發，產生於坡度較高地區，因此擴張能力不佳。Sng 與 Sdg 此兩種擴張方式在此次模擬中均不是主要擴張方式。

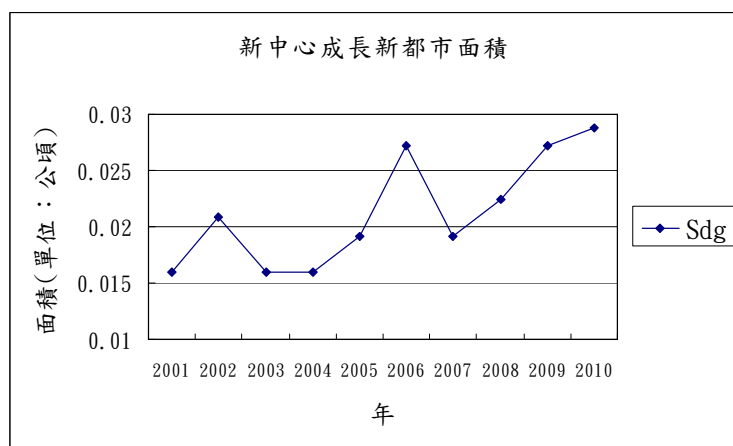


圖 24：新中心成長新都市面積圖

(3)Og(邊緣成長產生的新都市像素數量)

由圖 25 中數據得知，邊緣成長產生新都市像素為最主要的擴張方式，對於寶橋集水區大部分為地勢陡峭地形，都市發展集中，只能往都市邊緣擴張發展是可允許的。

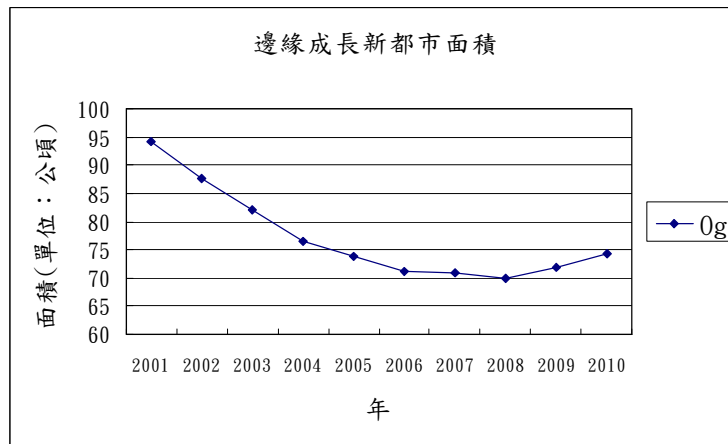


圖 25：邊緣成長新都市面積圖

(4)Rt(道路成長產生的新都市像素數量)

此處比較輸入資料之 1990 與 2000 年之道路圖層，主要差異為 2000 年多了國道三號完工通車，以及加入捷運模擬，因此此處以道路成長的像素數量為第二多。

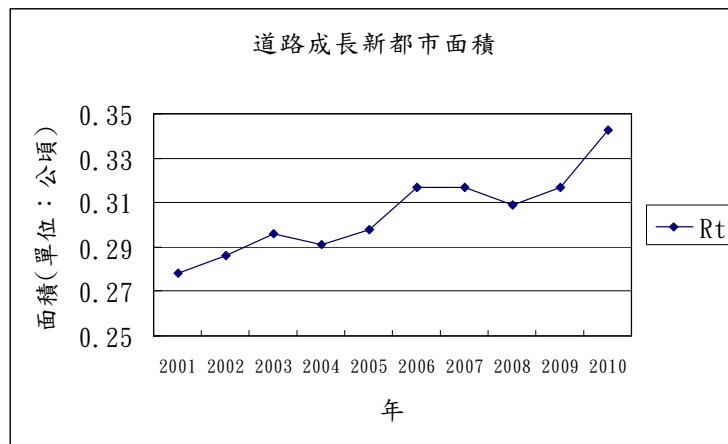


圖 26：道路成長新都市面積圖

(5)新都市成長像素(grw_pix)

每年都市成長面積平均約為 77.8 公頃。由圖 27 所示，模式從 2001 年起遞減至 2006 年，之後有上升趨勢，可能由於平均都市網格坡度急速上升，都市開始建立在較高坡度的網格上所致。

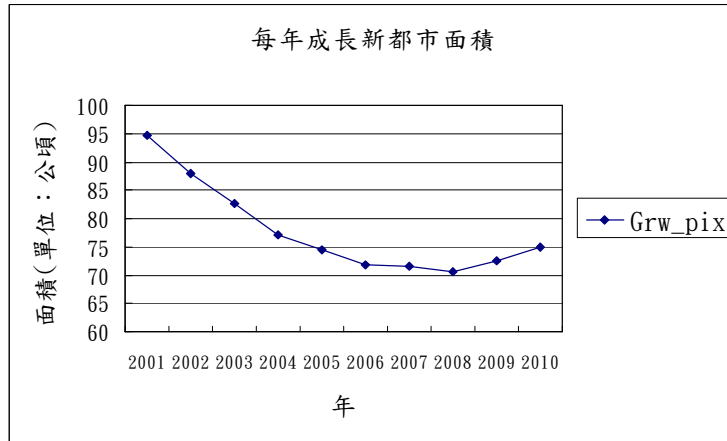


圖 27：每年成長新都市面積圖

(6)都市成長率(Grw_rate)

計算方法為每年之新都市像素除以全部的都市像素乘以 100，每年平均約為 1.73%。

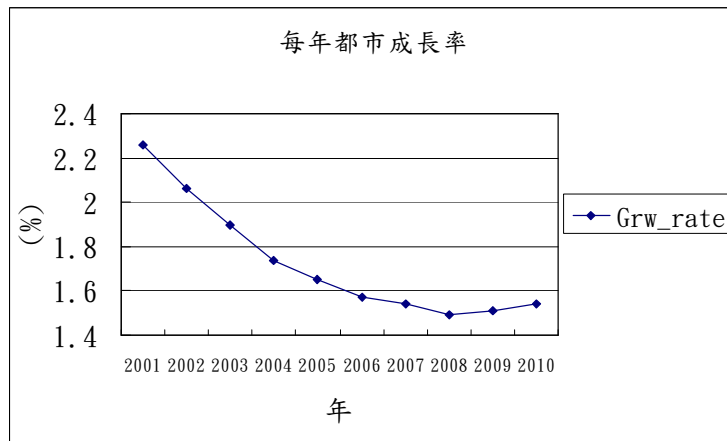


圖 28：每年都市成長率圖

(7)平均都市像素坡度(slope)

平均都市像素坡度為 5.25%，由圖 29 所示，逐年呈現上升趨勢，都市建立在較高的坡度網格上。

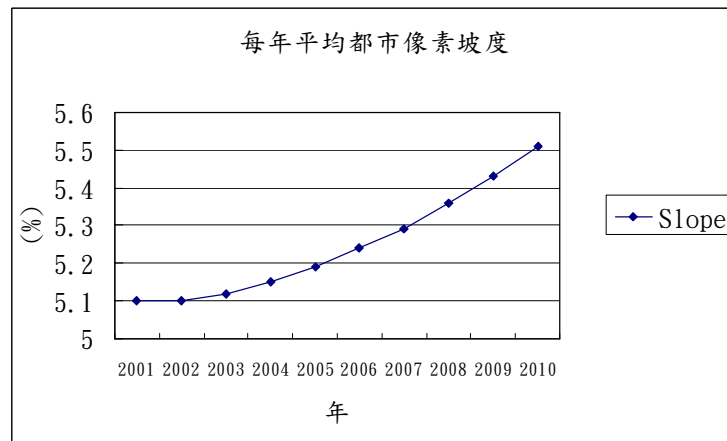


圖 29：每年平均都市坡度像素圖

SLEUTH 模式為了比較輸出與歷史資料的差異，採用 Pearson product-moment correlation(R^2)當作評估空間和量化適合度(goodness of fit)的方法(Clarke et al.,1996)。如下表 7，其中 Leesalee 為主要縮小參數間距之指標，亦是評估模式對於空間歷史資料符合的能力(Dietzel and Clarke,2004)。由下表可知其值達到 0.70518，模式校準歷史資料與模擬資料比較後，可知準確度高，因此可採用此組係數進行預測未來年代。

F-match 統計指標為模式中在各土地利用別適合度的比例，評估複製土地利用轉變格局的正確度(Dietzel and Clarke,2006)，由表中得知，其值高達 0.91319，SLEUTH 模式可準確的複製 91%的土地利用變化在這 6 個土地利用類別。

表 7：SLEUTH 統計指標輸出(導出係數階段)

統計指標	數值	描述
Product	0.11258	所有指標分數相乘積
compare	0.93726	模式預測控制年代最後一年之都市像素數量與實際控制年代最後一年之都市像素數量之比值。
pop	0.63982	輸入控制年代都市建物圖層的實際都市像素數量與模擬出來的控制年代都市像素數量之相關係數
edges	0.93467	輸入控制年代都市建物圖層的實際都市像素邊緣數量與模擬出來的都市像素邊緣數量之相關係數
clusters	0.94483	輸入控制年代都市建物圖層的實際都市聚落與模擬出來的都市聚落數量之相關係數
clusters size	0.85144	輸入控制年代都市建物圖層的實際都市聚落大小與模擬出來的都市聚落大小之相關係數
Lee-Salee	0.70518	一種形狀指數，用來決定縮小參數間距。計算方式為輸入控制年代都市建物圖層實際都市像素數量與模擬出來都市像素數量之兩者交集除以兩者聯集

slope	0.85746	輸入控制年代都市建物圖層的實際都市像素坡度平均值與模擬出來的都市像素坡度平均值之相關係數
urban	0.71792	輸入控制年代都市建物圖層的實際可轉變為都市狀態像素與模擬出來的都市像素之相關係數
xmean	0.99021	輸入控制年代都市建物圖層的實際 x 值與模擬出來的都市像素 x 欄值之相關係數
ymean	0.99193	輸入控制年代都市建物圖層的實際 y 值與模擬出來的都市像素 y 值的之相關係數
Rad	0.64123	輸入控制年代都市像素被圓包圍的平均半徑與模擬出來的都市像素被圓包圍的平均半徑之相關係數
Fmatch	0.91319	土地利用類別適合度比例
附註		
Compare 指標計算式	<p>若模擬的都市像素數量小於實際都市像素數量，計算 $Compare = (P_{\text{modeled}} / P_{\text{actual}})$，其它則為 $Compare = 1 - (P_{\text{modeled}} / P_{\text{actual}})$</p> <p>其中 P_{modeled} 為模擬的總都市像素數量 P_{actual} 為實際的總都市像素數量</p>	
相關係數計算式	$r = \frac{\sum (x - \bar{x}) \times (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \times \sum (y - \bar{y})^2}}$ <p>其中 r 為 Pearson 相關係數，x 為實際控制年的所求像素數量或數值；y 為模擬控制年的所求像素數量或數值</p>	

<p>Lee-Salee 計算式</p>	$Lee - Salee = \frac{(a \cap b)}{(a \cup b)}$ <p>其中 a 為模擬的總都市像素範圍</p> <p>b 為實際的總都市像素範圍</p> <p>Lee-Salee 計算為兩者交集除以聯集。</p>
<p>Rad 計算式</p>	$Rad = \sqrt{Std_x^2 + Std_y^2}$ <p>其中 Std_x 為 x 之標準差；Std_y 為 y 之標準差，Rad 表示都市分佈在模擬與實際中的標準半徑之相關係數</p>
<p>F-match 計 算式</p>	$F-match = match_count / (match_count + trans_count)$ <p>其中 match_count 為模擬與實際相同的土地利用像素數量</p> <p>trans_count 為模擬與實際不符合的土地利用像素數量</p>

5.1.3 都市成長機率

在預測階段中，模式使用蒙地卡羅測迴產生每年的都市成長機率影像，使用不同顏色以間距範圍分類，詮釋這些連續的數值，數值越高，越有可能被都市化。寶橋地區可用於都市化區域範圍不太，由於集水區四周山峻林立，東邊坡度多高於 21% 臨界坡度，都市大規模發展不易，多集中在西邊密集開發，因此在都市已開發地區鄰域，都市化機率較高。如圖 30 所示，現有都市網格周圍之網格，都市化機率較高。

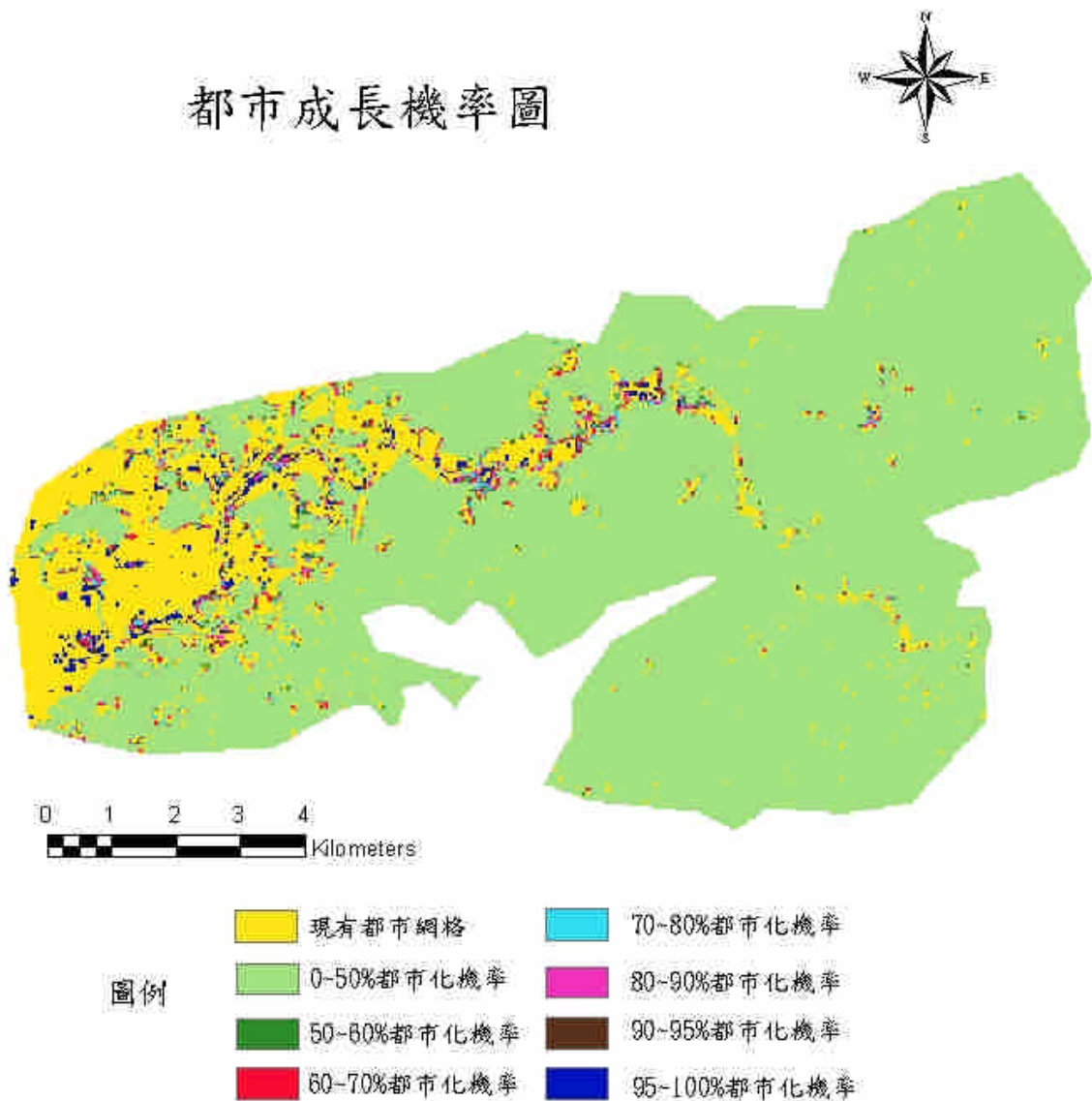


圖 30：預測階段都市成長機率圖

5.2 土地利用變遷驅動力分析

土地利用變遷驅動力分析可瞭解驅動土地利用變遷主要因子，分析結果作為後續土地利用管制策略研擬之參考；其次，建立土地利用變遷機率模式，作為後續土地利用變遷模擬之應用(吳振發，2006)。

5.2.1 土地利用變遷驅動變數

二元羅吉斯迴歸使用上並不受多元常態分配的假設限制，可在解釋變數同時存在連續或離散資料，因此成為分析土地利用變遷機率及驅動因子影響程度分析的重要方法(吳振發，2006)。

羅吉斯迴歸的依變數為土地利用別，建地、農地、草地、林地、水體、裸露地 6 大類，自變數為影響土地利用變遷的驅動變數，導出迴歸方程式，探討驅動變數的影響程度。土地利用變遷的驅動力可區分為自然與人為兩大因素，自然的驅動力包括有地形、氣候、土壤、水文、非人為災害等，人為的驅動力則包括與都市建物的鄰近性、人口密度、交通可及性等。

寶橋集水區的實際面土地利用分派上，就建地而言，由於受限於集水區大部分面積都是山坡地，地勢平坦低平地區，人口集中聚集分佈；在農業方面，土壤性質、交通可及性、水源條件是主要影響條件；在草地方面，地形、土壤條件、周圍開發程度會決定是否被人類開發利用的主要影響因子；在林地分佈方面，海拔高度、土壤條件、水源條件、周圍開發程度為其主要影響因子。

寶橋集水區在土地利用變遷的驅動因素區分為兩大類型，分別是自然環境與人為環境。在自然環境驅動因素方面，驅動力包含高程、坡度、土壤外部排水性、土壤沖蝕指數 K 值、與河川距離等 5 項因素；人為環境的驅動變數則為與道路距離、與都市計畫區距離、與建築物距離、里人口密度等 4 項因素。

表 8：二元羅吉斯迴歸依變項、自變項屬性分析表

變數		資料類別	資料型態	單位	類別	資料來源
依變數		土地利用	二元	0-1	0:建地 1:農地 2:草地 3.森林 4.水體 5.裸露地	2000 年 SPOT 衛星影像分類
自變數	自然環境	高程	等比尺度	公尺	-	DTM 計算
		坡度	等比尺度	%	-	DTM 計算
		土壤外部排水性	等比尺度	-	-	營建署區域計畫土地使用管理系統
		土壤沖蝕指數 K 值	等比尺度	-	-	
		與河川距離	等比尺度	公尺	-	依據土地利用圖計算

	人為環境	與道路距離	等比尺度	公尺	-	依據土地利用圖計算
		與都市計畫區 距離	等比尺度	公尺	-	營建署區域計畫土地 使用管理系統
		與建築物距離	等比尺度	公尺	-	依據土地利用圖計算
		里人口密度	等比尺度	人/km ²	-	台北縣市戶政事務所

5.2.2 模型檢定

羅吉斯模式的-2 Log likelihood 值，是統計軟體 SPSS 對於羅吉斯模式的輸出指標，此值愈小愈好，代表模式的配合程度愈好。林震岩(2007)敘述對於 Cox & Snell R Square 與 Nagelkerke R Square 分析結果，兩個量度存在爭議，統計值也有很大差異，使用何種近似量度，屬於研究人員偏好。由表 9 得知，在羅吉斯模式中，建地、水體與林地有較高的模式配合度。

表 9：羅吉斯迴歸模式量度表

模式量度			
依變數	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
建地	93.799	0.574	0.999
農地	31811.879	0.052	0.119
草地	5787.429	0.002	0.026
林地	45831.313	0.32	0.473
水體	576.701	0.066	0.884
裸露地	1949.746	0.002	0.07

Hosmer and Lemeshow 檢定以卡方值來描述，卡方值愈小，對於模式的適合度愈佳，由表 10 得知，以建地、水體與裸露地有較佳的適合度。

表 10：Hosmer and Lemeshow 檢定

Hosmer and Lemeshow 檢定		
依變數	Chi-square	顯著水準
建地	21.423	0.006
農地	36.387	0.000
草地	54.684	0.000
林地	903.273	0.000
水體	10.713	0.219
裸露地	6.273	0.617

5.2.3 模式分類正確率

利用羅吉斯迴歸模式，對於依變數的觀察值給予預測，檢驗此模式可正確預測於這些觀察值。由表 11 得知各土地利用別分類正確率在 74.8%以上，其中以裸露地、水體、草地的分類正確率最高，分別為 99.8%、99.4%及 99.2%，其次為農地 91.8%、建地為 84.7%、林地為 74.8%。

表 11：土地利用別分類正確性

項目	觀測值		預測值		正確率 (%)
			0	1	
建地	觀測值	0	52229	0	100.0
		1	9405	0	0
	總百分比(%)				84.7
農地	觀測值	0	56553	0	100.0
		1	5081	0	0
	總百分比(%)				91.8
草地	觀測值	0	61121	0	100.0
		1	513	0	0
	總百分比(%)				99.2

林地	觀測值	0	0	15546	0
		1	0	46088	100.0
	總百分比(%)				74.8
水體	觀測值	0	61236	0	100.0
		1	398	0	0
	總百分比(%)				99.4
裸露地	觀測值	0	61485	0	100.0
		1	149	0	0
	總百分比(%)				99.8

The cut value is 0.5

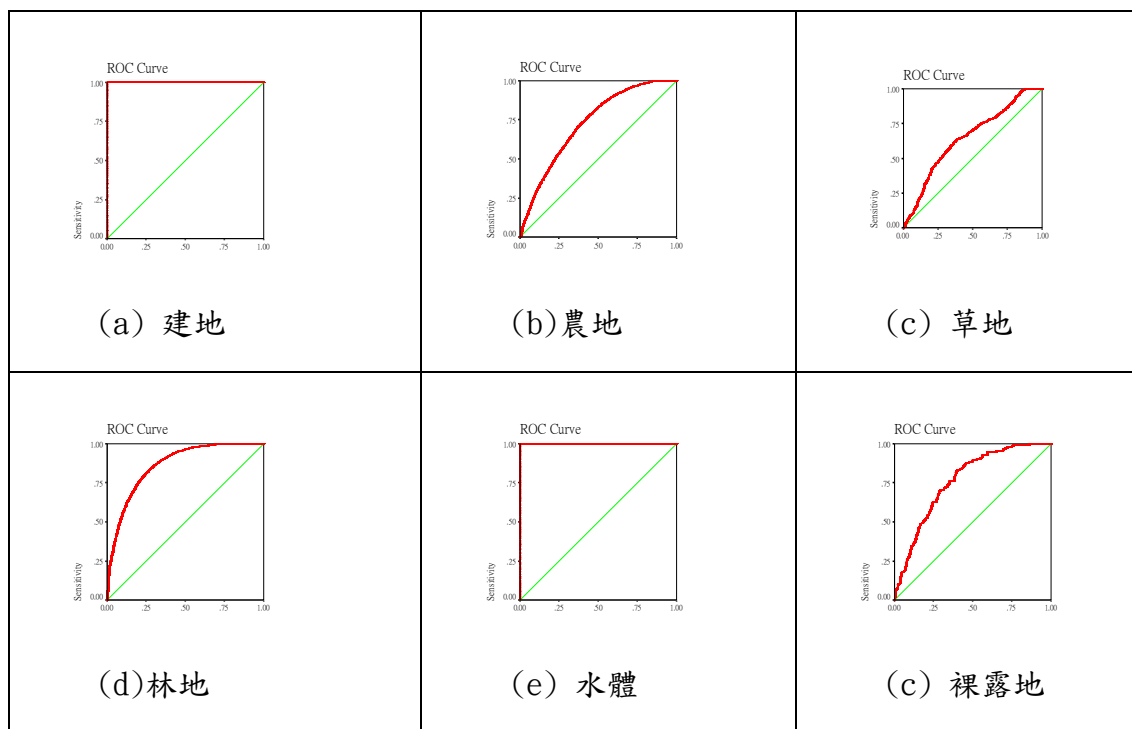


圖 31：ROC 曲線圖

由 ROC 曲線觀察各土地利用別預測的準確率，所有土地利用類別皆高於 0.65(如表 12)，其中以建地與水體的準確率最高，依序為林地、裸露地、農地、草地。

表 12：ROC 曲線下面積

土地利用	面積
建地	1.000
農地	0.731
草地	0.651
林地	0.865
水體	1.000
裸露地	0.768

5.2.4 土地利用變遷驅動力模式分析

(1) 建地二元羅吉斯迴歸模式

建地的二元羅吉斯迴歸模式中，坡度、與建物距離及里人口密度會影響其分佈與變遷，坡度(-0.01959)、與建物距離(-0.28306)為負面的影響性因素，里人口密度(0.00002)。發現距離建築物愈近的區域、坡度愈低、里人口密度高，為建地分佈機率較高的區域。

(2) 農地二元羅吉斯迴歸模式

農地的二元羅吉斯迴歸模式中，除了土壤外部排水性不會影響其分佈或變遷外，其餘的變數皆會影響。其中屬於正面影響的因素，依重要性排序分別為土壤沖蝕指數 K 值(2.14613)、與河川距離(0.00041)、與都市計畫區距離(0.00006)等三項；負面的影響性因素依序為坡度(-0.06681)、與建築物距離(-0.00112)、與道路距離(-0.0009)、高程(-0.00045)、里人口密度(-0.00036)。此結果顯示屬於坡地平緩及高程較低、土壤沖蝕指數 K 值高、距離道路與建物近、里人口密度低，但是離都市計畫區、河川遠的區域是農地分佈機率較高的區域。

(3) 草地二元羅吉斯迴歸模式

草地的二元羅吉斯迴歸模式中，除了與高程、與建築物距離、土壤外部排水性、里人口密度等四項因素不會影響其分佈或變遷外，其餘的變數皆會影響其分佈與變遷。其中屬於正面影響的因素，依重要性排序分別為土壤沖蝕指數 K 值(4.49656)、與河川距離(0.00042)、與都市計畫區距離(0.0003)等三項，以土壤沖蝕指數 K 值影響草地分佈的程度較大；負面的影響性因素依序為坡度(-0.03928)、與道路距離(-0.00079)以前者的影響力較強，與道路距離影響力較弱。所以可得知，屬於土壤沖蝕指數 K 值較高、坡度緩、與河川和都市計畫區距離遠但是距離道路較近的地區，是草地分佈機率較高的區域。

(4) 林地二元羅吉斯迴歸模式

林地的二元羅吉斯迴歸模式中，除了與都市計畫區距離因素不會影響其分佈或變遷外，其餘的變數皆會影響林地的分佈與變遷，其中屬於正面影響的因素依重要性排序，以土壤沖蝕指數 K 值(0.79638)、土壤外部排水性(0.21452)、坡度(0.0942)、與建築物距離(0.00514)、高程(0.00093)、與道路距離(0.00064)，以土壤沖蝕指數 K 值影響力較強；負面的影響性因素為與河川距離(-0.00011)、里人口密度(-0.00004)具有影響。由此可知，屬於土壤沖蝕指數 K 值高、土壤外部排水性佳、坡度陡高程高、與建築物及道路越遠、與河川距離越近、里人口密度低的地區，為林地分佈的機率越高。

(5) 水體二元羅吉斯迴歸模式

水體的二元羅吉斯迴歸模式中，除了與道路距離、坡度、與河川距離會影響其分

佈或變遷外，其餘的變數皆不會影響其分佈與變遷。負面的影響性因素為與河川距離(-0.57114)、坡度(-0.05939)，正面影響距離為與道路距離(0.00303)。由此可得知，距離河川近、坡度低、與道路距離遠的地區為水體分佈的機率較高的範圍。

(6) 裸露地二元羅吉斯迴歸模式

裸露地的二元羅吉斯迴歸模式中，除了高程、與河川距離、與都市計畫區距離等三項變數不會影響其分佈或變遷外，其餘的變數皆會影響。在正面影響的因素方面，為土壤沖蝕指數 K 值(4.1408)；負面的影響性因素依序為土壤外部排水性(-1.1805)、坡度(-0.04078)、與道路距離(-0.00149)、里人口密度(-0.00137)、與建築物距離(-0.00089)，其中以土壤外部排水性影響較大。由此可得知，土壤沖蝕指數 K 值高、土壤外部排水性低、坡度緩、與道路與建物距離近、里人口密度低的地區為裸露地分佈的機率較高的範圍。

整體而言，坡度、與道路距離為影響寶橋集水區各種土地利用分佈的主要因素，其次為與河川距離、與建築物距離、土壤沖蝕指數 K 值、里人口密度等四項變數，其餘高程、與都市計畫區距離、土壤外部排水性等三項因素的影響力較低。

表 13：土地利用二元羅吉斯迴歸分析表

驅動因子	自變項					
	建地	農地	草地	林地	水體	裸露地
與道路距離	-	-0.0009***	-0.00079**	0.00064***	0.00303*	-0.00149**
坡度	-0.01959	-	-	0.0942***	-	-
高程	-	0.06681***	0.03928***	0.00093***	0.05939***	0.04078***
與河川距離	-	-0.00045*	-	-	-	-
與建築物距離	-	0.00041***	0.00042***	0.00011***	0.07462***	-
與都市計畫區距離	-	-	-	0.00514***	-	-0.00089*
土壤外部排水性	0.28306***	0.00112***	-	-	-	-
土壤沖蝕指數 K 值	-	-	-	0.21452***	-	-1.1805***
里人口密度	-	2.14613***	4.49656***	0.79638***	-	4.1408**
常數	0.00002	-	-	-	-	-
	6.17634	0.00036***	-	0.00004***	1.3887	0.00137***
		-1.10472	-5.19111	-1.50887		-4.69698

* : p<0.1; ** : p<0.01; *** : p<0.001.

5.2.5 土地利用變遷驅動力分析

本計畫以二元羅吉斯迴歸模式進行景美河流域 2000 年建地、農地、草地、林地、水體、裸露地土地利用驅動力分析，分析發現坡度、與道路距離、與河川距離、與建築物距離、土壤沖蝕指數 K 值、里人口密度等六項變數是影響寶橋集水區各種土地利用分佈的主要驅動因子。根據此分析結論及所建立的二元羅吉斯迴歸模型，建議未來的土地利用管制：

(1) 坡度

本計畫中發現，坡度對於林地的分佈有顯著地助益，坡度越陡的地區為林地主要分佈區域。坡度越高的地區是自然敏感地主要分佈的地點之一，不適合農地的開發，因此在寶橋集水區應持續維持林地使用，避免人為開發造成災害。

(2) 與道路距離

在寶橋集水區的計畫中發現，與道路的距離越近，交通便利性越高，越有助於開發農地，裸露地也因與道路距離越近，越多分佈相關；林地則與道路距離越遠，較不受人為干擾。

(3) 與建築物距離

都市發展與建地的開發有顯著的影響，與建地距離自然是越近越有相關性，與道路距離越近越有助於建地的開發，林地分佈在與建築物距離越遠處。在考慮生態保全上，可擴大緩衝區，有條件的允許開發。

(4) 與河川距離

植生分佈與水源條件具有不可分割的相依性，林地分佈與河川距離越近有越高機率，對於農地及草地而言，由於寶橋集水區沿河川開發程度高，農地與草地在與河川距離影響因子中，距離近並沒有對於其機率分佈較高。

(5) 土壤沖蝕指數 K 值

土壤沖蝕指數越高產生的土壤沖蝕越大，建地由於是建築物、柏油、硬鋪面所涵蓋，因此沖蝕量為零；草地的土壤沖蝕指數最高，林地次之。本計畫結果顯示沖蝕指數越高地區為林地、農地、草地、裸露地主要分佈地點，將會產生極高的土壤沖蝕量，因此未來應加強高土壤沖蝕指數地區裸露地及草地的植林，農地開墾有限度利用，除了降低土壤沖蝕外，亦可提升生態效益。

(6) 里人口密度

人口的發展會促進都市擴張，當生存空間品質已無法滿足人類需求時，會往外圍區域發展，在寶橋集水區中，人口密度低的空間用來發展農業，亦或維持原本的植生，裸露地的分佈也在較少人口處，人口密度高的空間自然成為建地聚集處。未來應該保持法令，人口避免定居於山坡地，減低坡地開發災害。

5.3 CLUE-S 模式分析

(1) 土地利用面積需求

本計畫以 2000 年為輸入土地利用圖層，模擬 2001 至 2010 年土地利用變遷趨勢。利用 SLEUTH 模式所預測出 2001 至 2010 年之土地利用別面積，當作 CLUE-S 模式之土地利用面積需求，藉以比較兩模式之差異。根據各土地利用別面積變化趨勢設定各年土地利用面積需求(如表 14)。

表 14：土地利用面積需求

年代	土地利用類別面積(單位：公頃)					
	建地	農地	草地	森林	水體	裸露地
2000	1504.80	812.96	82.08	7374.08	63.68	23.84
2001	1549.44	798.08	80.16	7346.56	63.68	23.52
2002	1594.08	782.72	79.04	7318.56	63.68	23.36
2003	1639.84	771.68	76.32	7286.56	63.68	23.36
2004	1686.40	751.68	74.72	7261.92	63.68	23.04
2005	1732.48	733.60	72.32	7236.48	63.68	22.88
2006	1776.96	717.44	71.04	7209.92	63.68	22.40
2007	1822.40	697.76	70.88	7184.64	63.68	22.08
2008	1865.76	682.72	68.16	7160.16	63.68	20.96
2009	1909.44	667.68	67.36	7132.80	63.68	20.48
2010	1954.24	650.72	66.08	7106.56	63.68	20.16

(2) 土地利用管制政策

本計畫為與 SLEUTH 模式有相同的比較限制空間，在限定土地管制方面則與 SLEUTH 模式輸入相同的限制發展圖層，亦即分類後之水體圖層。

(3) 土地利用轉移矩陣

各別土地利用轉移之設定上，本計畫假設水體面積不變，設定參數設定上，以水體不可能轉變成其它的土地利用別之概念，其它土地利用別允許互相轉移，進行土地利用模擬(如表 15)。

表 15：土地利用轉移表

景觀類型	建地	農地	草地	林地	水體	裸露地
建地	1	1	1	1	0	1
農地	1	1	1	1	0	1
草地	1	1	1	1	0	1
林地	1	1	1	1	0	1
水體	0	0	0	0	1	0
裸露地	1	1	1	1	0	1

0：土地不可轉換；1：土地可轉換

(4)土地利用轉移彈性

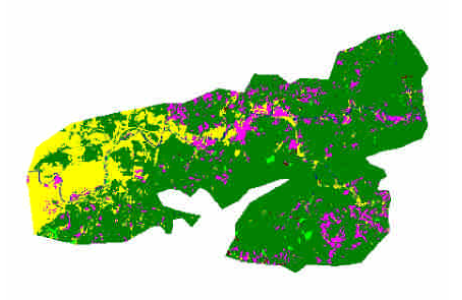
土地利用轉移彈性是指土地利用轉換的成本，當轉移彈性為 0 時，表示土地利用的轉移成本很低，可輕易轉變為其他種土地利用別；相反的當轉移彈性為 1 時，表示轉移的成本極高，要轉變為其他土地利用，相當不易(吳振發，2006)。本計畫中，假設水體與建地為 1，要改變其狀態相當不易或者是成本極高，其它土地利用別以相同參數權重值相互競爭轉變，由測試模式後得知，轉移彈性若超過 0.4，CLUE-S 模式無法跑出所設定之需求，因此各土地利用轉移彈性上限訂為 0.4(如表 16)。

表 16：土地利用變遷轉移彈性

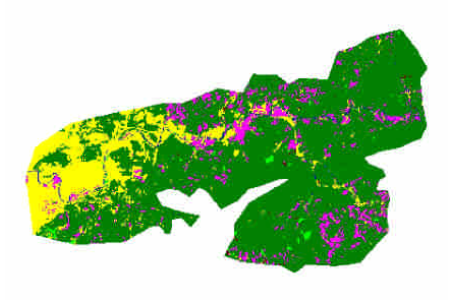
建地	農地	草地	森林	水體	裸露地
1	0.4	0.4	0.4	1	0.4

5.3.1 CLUE-S 模式土地利用圖層輸出

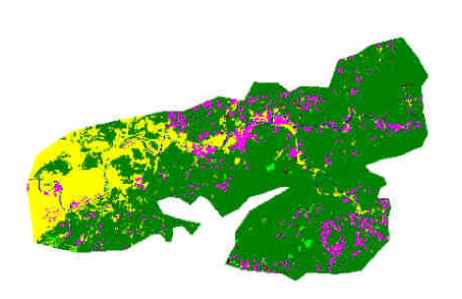
由 CLUE-S 模式模擬，可產生 2001 年至 2010 年之寶橋集水區土地利用圖層，由圖 32 中觀察可知，各年間的土地利用變化較 SLEUTH 模式大，由於模式不考慮鄰近區域影響，不是以集中趨勢發展。



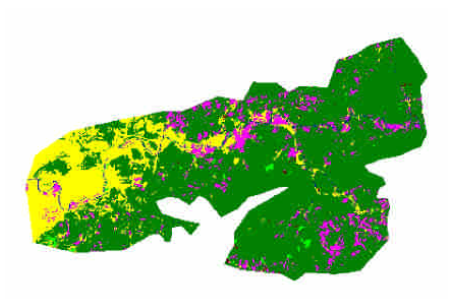
2001 年寶橋土地利用圖層



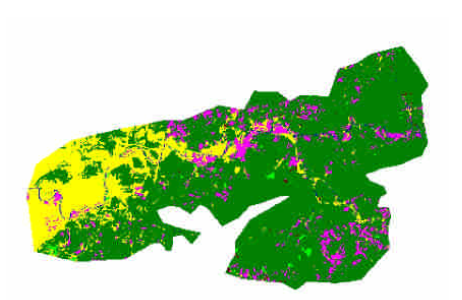
2002 年寶橋土地利用圖層



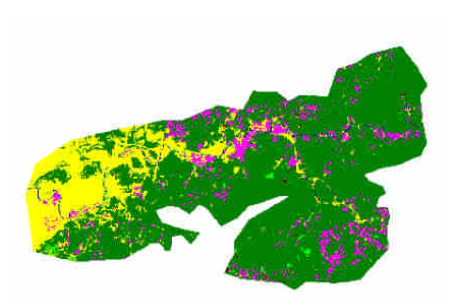
2003 年寶橋土地利用圖層



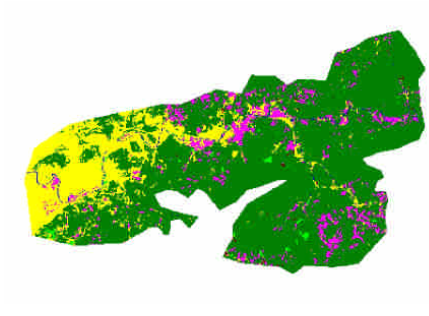
2004 年寶橋土地利用圖層



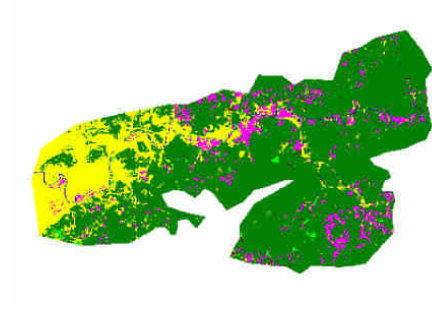
2005 年寶橋土地利用圖層



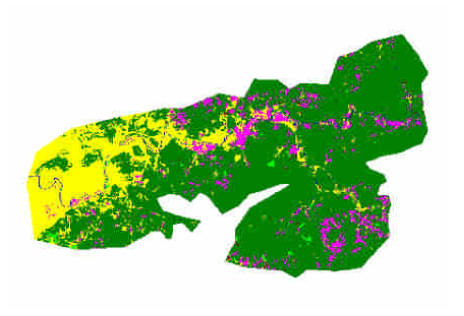
2006 年寶橋土地利用圖層



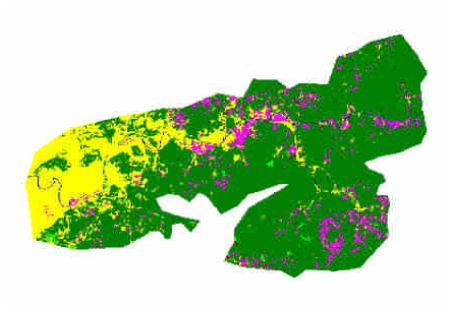
2007 年寶橋土地利用圖層



2008 年寶橋土地利用圖層



2009 年寶橋土地利用圖層



2010 年寶橋土地利用圖層

圖 32：CLUE-S 模式寶橋集水區土地利用圖層模擬輸出

5.4 景觀生態指數分析

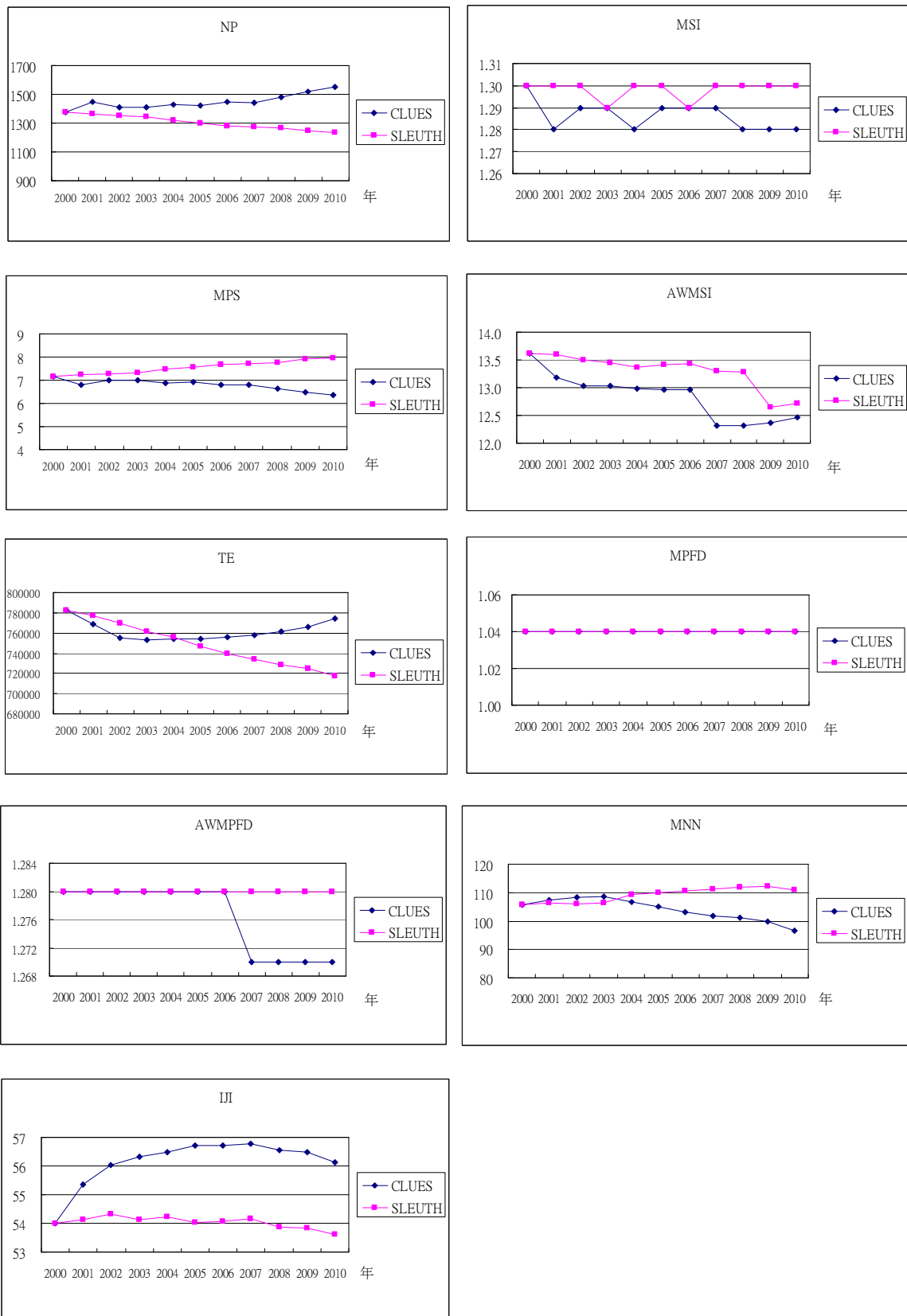


圖 33：CLUE-S 模式與 SLEUTH 模式之景觀生態指數比較

(1)嵌塊體數目 (Number of Patches, NP)

嵌塊體數目的多寡，表示景觀上之地物類型零散程度。CLUE-S 嵌塊體數目隨年代增加而漸增，最高為 2010 年達到 1503；SLEUTH 則漸減，最低為 2010 年的 1237。

(2)平均嵌塊體大小 (Mean Patch Size, MPS)

MPS 為平均嵌塊體的面積，以公頃表示。若該類為物種之棲地，則嵌塊體愈大，對物種的保育能力愈好。SLEUTH 嵌塊體面積隨著年代增加而增加，CLUE-S 則漸減，由此可知，SLEUTH 嵌塊體面積集中可能是由於考慮鄰近區之概念，而普遍面積較大，最高為 2010 年的 7.97，而 CLUE-S 缺乏考慮鄰近區位，嵌塊體零散，最低為 2010 年的 6.47。

(3)邊緣總長度 (Total Edge, TE)

TE 所表示者為嵌塊體的邊緣總長度，邊緣長度關係到嵌塊體與相鄰的景觀單元的能量、物質及物種的相互作用，且若能與嵌塊體的大小、形狀結合，較具生態上的意義。SLEUTH 邊緣長度幾乎呈線性遞減，最低為 2010 年的 717640，CLUE-S 則遞減後遞增，最高為 2010 年達到 774440。由此可知 SLEUTH 之嵌塊體有越來越集中趨勢，而 CLUE-S 有更為分散現象。

(4)平均形狀指數 (Mean Shape Index, MSI)

形狀指數表示嵌塊體形狀的變化，其值愈近於 1，其嵌塊體形狀愈規整，於向量式資料表示為一圓形；於網格式資料則表示一矩形。CLUE-S 之 MSI 指數範圍較 SLEUTH 廣，範圍在 1.27-1.30 之間；SLEUTH 範圍則在 1.29-1.30 之間。

(5)嵌塊體平均碎形維度 (Mean Patch Fractal Dimension, MPFD)

碎形維度為量度嵌塊體形狀特徵，MPFD 為平均嵌塊體碎形維度，其值測於 1~2 之間，若值愈大，則表示嵌塊體形狀愈複雜。兩模式相同，均為 1.04，嵌塊體形狀簡單。

(6)平均鄰近距離 (Mean Nearest Neighbor, MNN)

平均鄰近指標(MNN)為兩嵌塊體之鄰近程度，此指數值愈大表示兩嵌塊體相鄰程度愈低，分散程度高；反之，值愈小表示為較聚合之嵌塊體。CLUE-S 之各嵌塊體較 SLEUTH 為相鄰，CLUE-S 隨年代漸減，最低為 2010 年的 100.2，SLEUTH 則隨年代漸增，最高為 2009 年的 112.1，整體而言，兩模式指數差異不大。

5.4.1 景觀生態指數 T 檢定分析

從表 17 中的獨立樣本 T 檢定結果得知，CLUE-S 模式的 NP、TE、IJI 較 SLEUTH 模式高，其餘較 SLEUTH 模式低，其中 MPFD 兩者相同。

不同模式間的 NP、MPS、MSI、AWMSI、MNN、IJI 均達到顯著差異，但 TE、AWMPFD 則未達顯著差異。

表 17：獨立樣本 T 檢定

	CLUE-S 平均數(N=10)	SLEUTH 平均數(N=10)	平均數差距	T 值顯著水準
NP	1433.4	1298.9	134.5	7.700 ***
MPS	6.881	7.599	-0.718	-7.541***
TE	748668	745540	3128.000	0.452
MSI	1.282	1.298	-0.016	-5.657 ***
AWMSI	12.878	13.271	-0.393	-2.990 **
MPFD	1.04	1.04	-	-
AWMPFD	1.279	1.28	-0.001	-1.000
MNN	104.35	109.48	-5.130	-4.818 ***
IJI	56.43	54.036	2.397	16.35 ***

*:p<0.1 **:p<0.01 ***:p<0.001

5.4.2 歷史格局比較

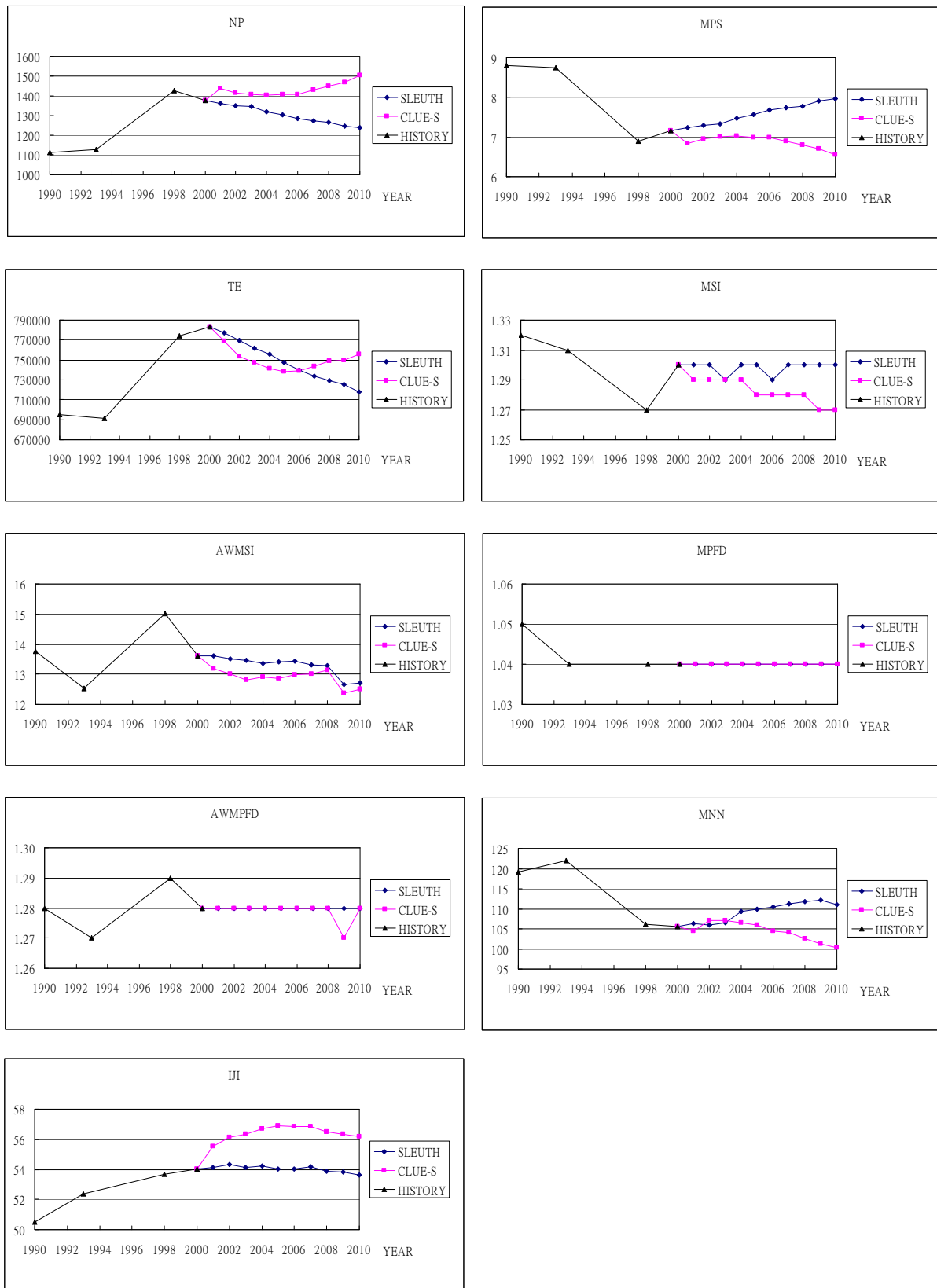


圖 34：SLEUTH、CLUE-S 與歷史格局景觀指數比較圖

由圖 34 可知，CLUE-S 模式之景觀生態指數變化趨勢較 SLEUTH 模式符合歷史格局的改變，CLUE-S 模式在 NP、MPS、TE、MSI、AWMSI、MNN 之景觀指數與歷史景觀指數有較為相似的上下震盪變化，而 SLEUTH 模式在 NP、TE、AWMSI 隨著年代漸減；MPS、MNN 漸增發展，未能符合歷史格局之變化趨勢，反應出 CLUE-S 模式較為能夠描述歷史格局發展特性，預測未來的空間格局。

5.5 土地利用變遷網格分析

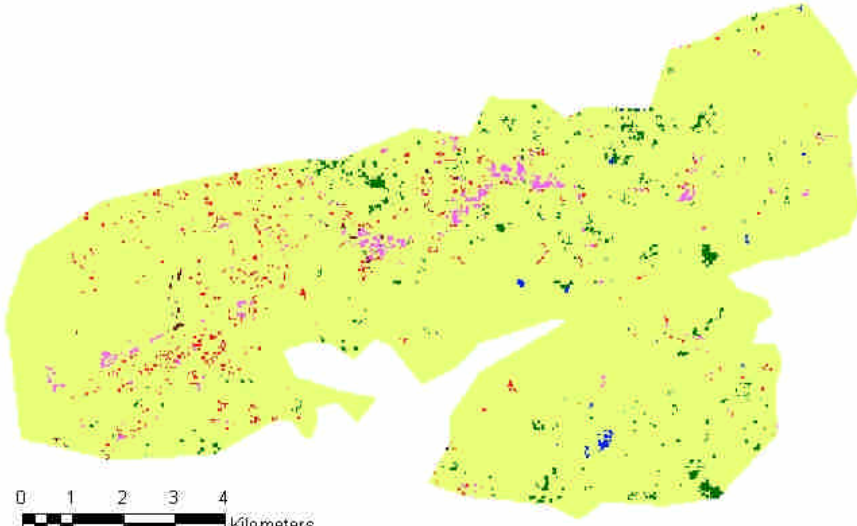
此分析採用 Arcview 軟體，利用 Map Query 功能比較 SLEUTH 模式與 CLUE-S 土地利用變遷之網格，以 SLEUTH 模式於 2010 年預測之土地利用圖層結果當底圖，對應於 CLUE-S 模式於 2010 年預測之土地利用圖層，分析在相同網格中有不同土地利用類別的網格分析轉變類別。如表所示，各土地利用別之網格數目差異不大，CLUE-S 模式之建地、草地、林地網格數目大於 SLEUTH 模式，水體網格數目相同，其餘則較小。

本研究區域共有 61634 個網格，由表 18 得知，兩模式數量差異最多的為農地變林地網格，共計 925 個網格，其次為建地變林地網格，共計 702 網格；建地變農地網格，共計 629 個網格，其餘則數量較少。SLEUTH 模式中之建地，可於 CLUE-S 模式轉變成農地、草地、林地、裸露地等 4 種類別，推測 CLUE-S 模式由於設定其轉移彈性為 0.4，除了建地與水體外，其餘土地利用類別皆可轉移，土地利用類別分佈變化較大，因此在 SLEUTH 模式預測為建地處，由於 SLEUTH 模式之土地利用轉移機率較低，並且考量都市網格之鄰近區域有極高的都市化機率，因此都市網格附近之非都市網格，最後大都轉變為都市網格，而 CLUE-S 模式並不受限，所以兩模式差異極大。SLEUTH 模式中之農地，可變換成草地與林地，推估由於 CLUE-S 模式之轉移彈性設定，使得轉移解空間大，而有較多的分佈情況。SLEUTH 模式中之草地與林地，可分別變換為林地與裸露地。

表 18：SLEUTH 土地利用類別變換成 CLUE-S 之不同土地利用類別網格數

SLEUTH 土地利用類別轉變成 CLUE-S 之不同土地利用類別	網格數量
建地變農地	629
建地變草地	73
建地變林地	702
建地變裸露地	10
農地變林地	925
草地變林地	91
林地變裸露地	13
相同類別	59191

土地利用變遷網格圖



0 1 2 3 4
kilometers

圖例

- | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|  不變遷地區 |  建地變農地 |  建地變草地 |
|  草地變林地 |  建地變林地 |  建地變裸露地 |
|  農地變林地 |  林地變裸露地 | |

圖 35：2010 年土地利用變遷網格圖

六、結論與建議

本計畫目的在於建構寶橋集水區土地利用變遷模擬及景觀生態評估方法，主要是整合 CLUE-S 與 SLEUTH 土地利用變遷模擬模式，求取各模式所模擬之土地利用情境景觀生態指數，比較土地利用情境之空間格局、土地利用變遷驅動因素分析、土地利用變遷模擬、以及不同模式土地利用模擬結果及格局之差異比較，並探討寶橋集水區未來土地利用變遷趨勢、土地利用結構及與歷史格局比較情形。

6.1 結論

(1) SLEUTH 模式分析結論

SLEUTH 模式廣泛運用於世界各地之都市發展研究，以細胞自動機之小尺度網格，給定個別獨立成長規則，推測整體尺度複雜系統之都市成長。模式可由是否考量土地利用變遷圖層，分為 UGM 模式與 LCD 模式；利用模式提供蒙地卡羅測迴方法，找出與歷史格局有最佳適合度的一組係數值，作為預測未來格局之基礎。SLEUTH 模式在寶橋集水區之模擬上，邊緣成長為主要新都市網格成長規則，考量由於寶橋集水區研究區域之地形受限，都市分佈集中在邊緣發展。而 SLEUTH 模式由於考慮歷史格局之發展，在短時間內的土地利用變遷考量，對於土地利用變遷之轉變機率不高，模式呈現較為穩定的變化特性。

(2) 土地利用變遷驅動因素分析結論

二元羅吉斯迴歸進行寶橋集水區 2000 年建地、農地、草地、林地、水體、裸露地土地利用驅動力分析，分析發現坡度、與道路距離、與河川距離、與建物距離、土壤沖蝕指數 K 值、里人口密度等六項變數是影響寶橋集水區各種土地利用分佈的主要驅動因子。二元羅吉斯迴歸可有效的進行土地利用變遷驅動力分析，同時可建構起土地利用分佈與變遷的機率模型。

(3) CLUE-S 模式與 SLEUTH 模式比較結論

CLUE-S 模式與 SLEUTH 模式分別以羅吉斯迴歸與細胞自動機為基礎，在土地利用模式中分別屬於機率模型與細胞自動機模型，為兩大不同模型之代表，由上述之分析與評估，可提出以下幾點結論：

A. 土地利用變遷空間策略

在 CLUE-S 模式中土地利用變遷空間環境之設定，主要是在設定限制發展區域，以及土地利用類別間是否能夠轉換、轉移彈性，操作上是透過限制發展區劃定及轉移矩陣表方式進行設定。SLEUTH 模式中土地利用變遷空間環境之設定，同樣是利用限制發展區域劃定的方式進行空間發展區域之限制。

B. 土地利用變遷非空間策略

CLUE-S 模式中土地利用變遷非空間環境之設定參數主要是各年度土地面積需求之設定，此參數隱含著土地利用總量管制之概念，有助於土地利用變遷模擬時更符合實際的土地管制策略。SLEUTH 模式中土地利用變遷非空間環境的參數設定，可透過參數選擇控制成長規則，對於各類別土地利用網格數量之控制。

C. 土地利用變遷轉移策略

CLUE-S 模式中土地利用變遷模擬方法是透過各土地利用別間相互競爭的方式決定下一個時間各網格土地利用別，影響競爭力的因子主要是土地轉移彈性及轉移機率。SLEUTH 模式中是根據成長係數、成長規則，以 UGM 產生之新都市像素驅動 Deltatron 進行土地利用變遷模擬，模式輸入之兩年土地利用圖層作為土地利用整體轉變機率。

(4) 景觀生態指數分析結論

SLEUTH 模式相較於 CLUE-S 模式，結果得知在平均嵌塊體大小較高、嵌塊體數目較小、邊緣總長度較小，可知 SLEUTH 模式模擬之嵌塊體較為集中，推估由於 SLEUTH 模式有考量鄰域網格，鄰域網格之土地利用類別會影響現有網格發展狀態，具有邊緣成長規則，因此有較密集的嵌塊體分佈情形。相對於 CLUE-S 考慮土地轉移彈性及轉移機率，缺少鄰域發展影響之概念，只要允許轉變，不考量空間相鄰特性，會有較零散之嵌塊體。

(5) 土地利用變遷網格分析結論

由羅吉斯迴歸為基礎的 CLUE-S 模式，與細胞自動機為變遷的 SLEUTH 模式，兩種迥異的土地利用變遷概念模式，預測出土地利用變遷格局有較大差異。CLUE-S 模式由於設定其轉移彈性為 0.4，除了建地與水體外，其餘土地利用類別皆可轉移，土地利用類別分佈解空間較大，在 SLEUTH 模式預測為建地處，由於 SLEUTH 模式之土地利用轉移機率較低，並且由模式之成長規則，都市網格之鄰近非都市網格有極高的都市化機率，到最後幾乎都轉變為都市網格。對於此兩種不同概念為基底之土地利用變遷模式，即使設定在差異極小的初始條件下，模擬結果仍然會有極大的變異。

(6) 模式整合比較結論

建構 CLUE-S 模式與 SLEUTH 模式整合比較，應用於在相同的研究區域，根據研究範圍的空間環境特性，構築其適用之土地利用變遷模式，比較土地利用變遷模式對於空間格局的描述性。SLEUTH 模式廣泛應用於都市發展探討，與土地利用變遷 CLUE-S 模式比較，在以不同概念基底之土地利用變遷模式中，比較與歷史格局發展之趨勢，由結果得知，CLUE-S 模式在模擬未來的空間格局中，有近似歷史格局的上下震盪趨勢，較 SLEUTH 模式能符合歷史格局的變化。

6.2 後續研究建議

(1) 不同空間尺度與解析度模擬

由 Jantz and Goetz(2005)提出，SLEUTH 模式在不同尺度塑造土地利用格局，發現在土地利用模擬上，對於模式參數描述土地利用變化過程有重大影響，SLEUTH 模式在某些特定的網格大小中會有較佳的執行效果，本計畫研究採用網格大小 40 公尺之圖層，因此在往後研究必須加以考量比較空間解析度與空間範圍於 SLEUTH 模式之影響。

(2) 驗證資料年

檢驗土地利用模式準確性，可以使用一個驗證資料年來評估預測之結果，未來計畫將選擇其中之一預測年代，運用衛星影像分類出土地利用驗證資料，進行準確度評估。

(3) 土地利用變遷鄰域影響

SLEUTH 模式中強調網格鄰域間之影響，CLUE-S 模式研究的土地利用變遷模式建構，並未將土地利用變遷的鄰域影響性的觀念考量，未來將探討土地利用變遷的鄰域影響性，綜合考量鄰域的 CLUE-S 模式與比較 SLEUTH 模式，預計可對模式預測之準確性有進一步提昇。

(4) 整合不同領域模式

集水區中影響土地利用變遷的原因是多方面的，自然以及非自然因素的衝擊對於土地利用變遷的影響值得探討，跨領域的整合有助於土地利用變遷更深一層的了解土地利用格局，研究範圍角度更加寬廣，可整合氣候變遷、水文、生態、經濟模式，整合研究多方面思維考量。

參考文獻

中文文獻

1. 方梅萍(2002)，「台中市景觀格局的變遷及其影響因素之研究」，東海大學景觀系碩士論文。
2. 呂仲耿(2001)，「利用空間資訊探討水源涵養保安林地景變遷」，台灣大學森林研究所碩士論文。
3. 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」，第 15=233 期，第 3 卷，第 157-176 頁。
4. 周天穎、簡甫任、雷祖強(2003)，都市地區土地利用變遷量化分析之研究，「台灣土地研究」，第 6 期，第 1 卷，第 105-130 頁。
5. 史瓊雯(2003)應用景觀生態計量方法探討集水區河川沿岸土地利用變遷—以德基水庫集水區為例，中國文化大學地學研究所地理組碩士論文。
6. 張長義(2000)，「台灣北部海岸地區養殖土地利用變遷及環境衝擊之研究(二)」，國科會專案研究計劃成果報告(NSC89-2621-Z-002-007)，台灣大學地理環境資源學系。
7. 林震岩(2007)多變量分析 SPSS 的操作與應用，智勝文化事業有限公司。
8. 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劃研究所碩士論文。
9. 吳振發(2006)土地利用變遷及景觀生態評估方法之建立，國立台北大學都市計劃研究所博士論文。
10. 陳志閣(2004)都市土地利用模擬模型之建構與土地使用分區影響之分析，國立台北大學都市計劃研究所碩士論文。
11. 陳癸月(2002)，「蘭陽平原土地利用與海岸變遷關係之研究」，中國文化大學地學研究所碩士論文。
12. 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」，第 29 期，第 4 卷，第 337-366 頁。
13. 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」，第 27 期，第 1 卷，第 1-23 頁。
14. 詹瑋(2002)文山地區發展研究之歷史(1761~1945)，國立政治大學歷史系研究部博士論文。
15. 楊立民、朱智良(1999)，全球及區域尺度土地覆蓋土地利用遙感研究的現狀和展望，自然資源學報，14(4)：23-33。
16. 葉昭憲(2002)，「都市土地利用變遷模式建構之研究—以台中市重劃區為例」，國科會專案研究計劃成果報告(NSC90-2415-H-035-006)，逢甲大學土地管理學系。
17. 孫志鴻(2002)，「國土規劃與土地區位之研究—總計畫：以台北都會區為例

- (I)」，國科會專案研究計劃成果報告 (NSC90-2621-Z-002-020)，台灣大學地理環境資源學系。
18. 孫志鴻 (2003)，「國土規劃與土地區位之研究-總計畫：以台北都會區為例 (II)」，國科會專案研究計劃成果報告 (NSC91-2621-Z-002-017)，台灣大學地理環境資源學系。
 19. 賴進貴、王偉力、紀明德(2000)從空間演化觀點探討土地利用變遷，地理學與永續發展研討會論文集，台北：中國地理學會，1：67-79。
 20. 賴進貴(2003)，「土地利用變遷之空間模式」，國科會專案研究計劃成果報告 (NSC91-2415-H-002-026)，台灣大學地理環境資源學系。
 21. 熊惠波、侯會喬、江源、耿侃(2002)扎魯特旗土地利用變化及其驅動力分析，「農村生態環境」，18 (3)：5-10。
 22. 盧光輝、黃榆茗(2004)新店寶橋集水區土地利用變遷對地表逕流之影響，華岡農科學報第十四期，民國九十三年出版，中國文化大學農學院印行。
 23. 黃榆茗(2003)新店溪流流域土地利用型態與逕流特性之研究，中國文化大學地學研究所地理組碩士論文。
 24. 顏怡璇 (2003)，「運用細胞自動化工論模擬森林地景變遷之研究」，東海大學景觀系碩士論文。
 25. 簡文謙(2003)以 GIS 及非規則空間 CA 為基礎的都市土地使用模擬方法，逢甲大學建築及都市計畫研究所碩士論文。
 26. 「修訂台北縣綜合發展計畫」地區發展計畫報告書(2002)，內政部營建署。
 27. 逢甲大學地理資訊系統中心(1998)區域土地使用計畫管理系統，內政部營建署。

英文文獻

1. Agarwal, C., Green, G. M., Grove, J. M., Evans, T. P. and Schweik, C. M. (2001). A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice. General technical report NE-297. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station.
2. Candau, J. (2002). Temporal calibration sensitivity of the SLEUTH urban growth model. Master thesis, Department of Geography, University of California, Santa Barbara, CA.
3. Candau, J., Rasmussen, S. and Clarke K.C.(2000). A coupled cellular automaton model for land use/land cover dynamics. *4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling(GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs*. Banff, Alberta, Canada, September 2 - 8, 2000.
4. Clarke, K.C., Hoppen, S., Gaydos, L.(1996). Methods and techniques for rigorous calibration of a cellular automaton model of urban growth. *Proceedings of the Third International Conference/Workshop on Integrating Geographic Information Systems and Environmental Modeling*. Santa Fe, NM, January 21-25.

5. Clarke, K.C. (1997). Land use modeling with Deltatrons. *The Land Use Modeling Conference*, Sioux Falls, South Dakota. June 5-6th.
6. Clarke, K.C., Hoppen, S., and Gaydos, L. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design 1997*, 24, 247-261.
7. Clarke, K.C. and Gaydos, L. (1998). Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International Journal for Geographical Information Science*, 12, 699-714.
8. Dietzel, C. and Clarke, K.C. (2004). Replication of spatio-temporal land use patterns at three levels of aggregation by an urban cellular automata. *Lecture Notes in Computer Science*, 3305, 523-532.
9. Dietzel, C. and Clarke, K.C. (2006). The effect of disaggregating land use categories in cellular automata during model calibration and forecasting. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30, 78-101.
10. Dietzel, C. and Clarke, K.C.(2007). Toward optimal calibration of the SLEUTH land use change model. *Transactions in GIS*, 11(1), 29-45.
11. Forman, R.T.T. (1995). *Land Mosaics:the Ecology of Landscapes and Regions*,2nd edition. New York:Cambridge University Press.
12. Gustafson, E.J. (1998). Quantifying landscape spatial pattern: What is the state of the art? *Ecosystems*, 1, 143-156.
13. Goldstein, N.C.,Candau, J.T., and Clarke, K.C. (2004). Approaches to simulating the “March of Bricks and Mortar”. *Computers, Environment and Urban Systems*, 28, 125-147.
14. Geist, H.J. and Lambin, E.F. (2001). What Drives Tropical Deforestation? LUCR Report Series No. 4, Published by LUCR International Project Office, University of Louvain, Department of Geography.
15. Herold, M.,Couclelis, H and Clarke K.C. (2005). The role of spatial metrics in the analysis and modelling of urban land use change. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29, 369-399.
16. Herold, M., Goldstein, N.C. and Clarke, K.C.(2003) The spatiotemporal form of urban growth:measurement, analysis and modelling. *Remote Sensing of Environment*, 86, 286-302.
17. IGBP report No.24 and HDP report No.5. (1994). Relating land use and global land cover change[R]. Sweden, Stockholm.
18. Jantz, C.A. and Goetz, S.J. (2005). Analysis of scale dependencies in an urban land use change model. *International Journal of Geographical Information Science*, 19, 217-241.
19. Kok, K. and Veldkamp, A. (2001). Evaluating impact of spatial scales on land use pattern analysis in Central America, Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 85, 205-

221.

20. Kok, K., Farrow, A., Veldkamp, A. and Verburg, P. H. (2001). A method and application of multi-scale validation in spatial land use models, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 223-238.
21. Kok, K. and Winograd, M. (2002). Modeling land-use change for Central America, with special reference to the impact of hurricane Mitch, *Ecological Modeling*, 149, 53-69.
22. Lambin, E. F., Baulies, X., Bockstael, N., Fischer, G., Krug T., Leemans, R., Moran, E. F., Rindfuss, R. R., Sato, Y., Skole, D., Turner II B. L., and Vogel, C. (1999). Land-Use and Land-Cover Change (LUCC)–Implementation Strategy. A core project of the International Geosphere-Biosphere Programme and the International Human Dimensions Programme Global Environmental Change (=IGBP Report; 48/IHDP Report; 10).–IGBP Secretariat:Stockholm &IHDP Secretariat: Bonn.
23. Leito, A.B. and Ahern, J. (2002). Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 59, 65-93.
24. Mcgarigal, K. and Marks, B.J. (1995). FRAGSTATS:spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA For. Serv. Gen. Tec. Rep. PNW-351.
25. Meggs, J.M., Munks, S.A., Corkrey, R. and Richards, K. (2004). Development and evaluation of predictive habit models to assist the conservation planning of a threatened lucanid beetle, *Hoplogouns simsoni*, in north-east Tasmania. *Biological conservation*, 118, 501-511.
26. Parker, D. C., Manson, S. M., Janssen, M., Hoffmann, M. J. and Deadman, P. J. (2003). Multi-agent systems for the simulation of land use and land cover change: a review, *Annals of the Association of American Geographers*, 93(2), 316-340.
27. Roschewitz, I., Thies, C. and Tschardtke, T. (2004). Are landscape complexity and farm specialization related to land-use intensity of annual crop fields? *Agriculture, Ecosystem and Environment* , 105, 87-99.
28. Silva, E.A. and Clarke, K.C. (2002). Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computer, Environment and Urban Systems*, 26(6), 525-552.
29. Solecki, D.W. and Oliveri, C. (2004). Downscaling climate change scenarios in an urban land use change model. *Environmental Management*, 72, 105-115.
30. Syphard, A.D., Clarke, K.C. and Franklin, J. (2005). Using a cellular automaton model to forecast the effects of urban growth on habitat pattern in southern California. *Ecological Complexity*, 2, 185-203.
31. Turner, B.L. II., Clark, W.C., Kates, R.W., Richards, J.F., Mathews, J.T. and Meyer, W.B. (Eds.)(1990). The earth as transformed by human action: global and regional changes in the biosphere over the past 300 years. Cambridge university press with Clark university, Cambridge, p.713.

32. Turner, B.L. II . and William, C. C. (1990). The earth as Transformed by human action: Global and regional change in the past 300 years. London: Cambridgr Univ. Press.
33. Turner, B.L. II ., Moss, R.H. and Skole, eds. D.L. (1993). Relating Land Use and Global Land-Cover change: A Proposal for an IGBP-HDP Core Project.IGBP report No.24 and the HDP report No.5. Stochkolm:Royal Swedish Academy of Sciences.
34. Turner, B.L. II . and Meyer, W.B. (1994). Global Land-Use and Land-Cover Change: An Overview.–in: Meyer, W. B. and Turner, II B. L. (Eds): Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective.–University of Cambridge: Cambridge, New York, Melbourne, pp.3-10.
35. Turner, B.L. II ., Skole, D., Sanderson, D., Fishcher, G., Fresco, G. and Leemans, R. (1995). Land Use and Global Land-Cover change: A Proposal for an IGBP-HDP Core Project. IGBP report No.35 and the HDP report No.7. Stochkolm:Royal Swedish Academy of Sciences.
36. U.S. National Research Council. (1997). Rediscovering Geography: New Relevance for Science and Society. Rediscovering Geography Committee. National Academy Press: Washington, D.C.
37. Veldkamp, A. and Fresco, L.O. (1996). CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects, *Ecological Modeling*, 85, 253-270.
38. Veldkamp, A., Verburg, P.H., Kok, K., de Koning, G.H.J., Priess, J. and Bergsma, A.R. (2001).The need for scale sensitive approaches in spatially explicit land use change modelling. *Environmental Modeling and Assessment*, 6(2), 111-121.
39. Veldkamp, A. and Verburg, P. H.(2004). Modeling land use change and environmental impact, *Journal of Environmental Management*, 72, 1-3.
40. Verburg, P. H. (2000). Exploring the spatial and temporal dynamics of land use - with special reference to China, PhD-thesis, Wageningen University.
41. Verburg, P. H. and Chen, Y.Q.(2000). Multiscale Characterization of Land-Use Patterns in China, *Ecosystems*, 3, 369-385.
42. Verburg, P. H. Chen, Y. Q. and Veldkamp, T. A. (2000). Spatial explorations of land use change and grain production in China, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 82, 333-354.
43. Verburg, P. H., and Denier, van der Gon, H. A. C. (2001). Spatial and temporal dynamics of methane emissions from agricultural sources in China, *Global Change Biology*, 7(1), 31-47.
44. Verburg, P.H. and Keulen, H. (1999). Exploring changes in the spatial distribution of livestock in China, *Agricultural Systems*, 62(1), 51-67.
45. Verburg, P. H., Koning, G. H. J., Kok, K., Veldkamp, A. and Bouma, J. (1999a). A spatial explicit allocation procedure for modeling the pattern of land use change based upon

- actual land use, *Ecological Modeling*, 116, 45-61.
46. Verburg, P. H., Veldkamp, A. and Fresco, L. O.(1999b). Simulation of changes in the spatial pattern of land use in China, *Applied Geography*, 19, 211-233.
 47. Verburg, P. H., Veldkamp, T. A. and Bouma, J.(1999c). Land use change under conditions of high population pressure: the case of Java, *Global Environmental Change*, 9(4), 303-312.
 48. Verburg, P. H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V. and Sharifah Mastura, S.A. (2002). Modelling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: the CLUE-S Model, *Environmental Management*, 30(3), 391-405.
 49. Verburg, P.H. and Veldkamp, A. (2004). Projecting land use transitions at forest fringes in the Philippines at two spatial scales, *Landscape Ecology*, 19(1), 77-98.
 50. Verburg, P. H., Eck, R. J., de Nijs, T. C. M., Visser, H. and de Jong, K. (2004a). A method to analyse neighbourhood characteristics of land use patterns. *Computers, Environment and Urban Systems*, 28(6), 667-690.
 51. Verburg, P. H. van Eck, J. R. R., de Nijs, T. C. M. and Schot, M. J. D. P. (2004b). Determinants of land-use change patterns in the Netherlands, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31, 125-150.
 52. Verburg, P. H., Veldkamp, A., Engelsman, W., van Zalinge, R., van Mensvoort, M. E. F. and Overmars, K. P. (2004d). The use of models to assess the impact of land use change on ecological processes: case-studies of deforestation in SE Asia, in: Gerold, G., Fremerey, M., and Guhardja, E. (eds.) Land use, nature conservation, and the stability of rainforest margins in Southeast Asia. Springer-Verlag, Berlin, 475-494.
 53. Xian, G. and Crane M. (2005). Assessments of urban growth in the Tampa Bay watershed using remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 97, 203-215.
 54. Yang, X., Lo, C.P. (2003). Modelling urban growth and landscape changes in the Atlanta metropolitan area. *International Journal of Geographical Information Science*, 17, 463-488.

網站資料

1. 中華發展綜合研究院 (2006), 新店市志, 新店市文史館。
Available: http://library.sindian.gov.tw/tw/record/page.asp?record_id=14
2. 詹瑋等人編纂(2006), 文山區志, 台北市文山區公所。
Available: <http://www.ws.gov.tw/d/ws/page.htm>
3. 經濟部水利署水文水資源資料管理供應系統。
Available: <http://gweb.wra.gov.tw/wrweb/>
4. 臺北大眾捷運股份有限公司網站
Available: <http://www.trtc.com.tw/c/index.asp>

5. 台灣大學建築與城鄉所(2002)縣市綜合發展計畫資訊系統，內政部營建署。
Available: <http://gisapsrv01.cpami.gov.tw/cpis/>
6. 臺北縣市各戶政事務所網站之人口統計：臺北市文山區一、二、臺北市南港區戶政事務所網站；臺北縣深坑鄉、石碇鄉、新店市、坪林鄉、汐止市、平溪鄉戶政事務所網站。
7. Brassoulis, H. (2000). Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modelling Approaches. The Web Book of Regional Science, Regional Research Institute, West Virginia University.
Available: <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>
8. IGBP Report No. 35 / HDP Report No. 7. (1995). Land-Use and Land-Cover Change Science/Research Plan.
Available: <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/scienceplan/lucc.html>.
9. LUCC - Land-Use and Land-Cover Change
Available: <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/lucc.html>
10. USGS: "Project Gigalopolis: Urban and Land Cover Modelling" (2002). 18 June 2003.
Available: <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/>